

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo – SDC
Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Projeto CR Campeiro:
Fundamentos de Cartografia e de
GPS aplicados a
Agricultura de Precisão**

Organizadores:
Enio Giotto
Claire Delfini Viana Cardoso
Elódio Sebem

Santa Maria, RS
2013

Exemplares desta publicação serão distribuídos com o Sistema CR - Campeiro

*Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria*

*Laboratório de Geomática - DER / CCR
Campus Universitário – Camobi
97105-900 – SANTA MARIA – RS
Fone: (0xx55) 3220 8788
www.crcampeiro.net*

*Capa e Projeto Gráfico: Elódio Sebem
Editoração Eletrônica: Enio Giotto, Claire Delfini Viana Cardoso, Elódio Sebem*

P964 Projeto CR Campeiro: fundamentos de Cartografia e de GPS aplicados a Agricultura de Precisão / organizadores: Enio Giotto, Claire Delfini Viana Cardoso, Elódio Sebem. – Santa Maria : UFSM – Laboratório de Geomática, 2013.
131 p. : il.30cm

1. Geoprocessamento 2. Sistemas de Informação Geográfica 3. Sistema CR Campeiro 4. Cartografia 5. GPS I. Giotto, Enio II. Cardoso, Claire Delfini Viana III. Sebem, Elódio

CDU: 528.7/9

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt CRB 10/737
Biblioteca Central da UFSM

Autoridades

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Antônio Eustáquio Andrade Ferreira

Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Caio Tibério Dornelles da Rocha

Secretário de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo

Helcio Campos Botelho

Chefe do Depto de Propriedade Intelectual e Tecnologia Agropecuária

Roberto Lorena de Barros Santos

Coordenação de Acompanhamento e Promoção da Tecnologia Agropecuária

Ministério da Educação

Aloizio Mercadante

Ministro de Estado da Educação

Felipe Martins Müller

Reitor da Universidade Federal de Santa Maria

Thomé Lovato

Diretor do Centro de Ciências Rurais

Rudiney Soares Pereira

Chefe do Depto de Engenharia Rural

Equipe Técnica – Curso EaD e Desenvolvimento

Enio Giotto

Engenheiro Florestal, Doutor
Prof. Titular / Departamento de Engenharia Rural - CCR - UFSM
eniogiotto@gmail.com

Claire Delfini Viana Cardoso

Geografa, Doutora
Prof.^a Adjunta / Colégio Politécnico da UFSM
cdvcardoso@gmail.com

Elódio Sebem

Engenheiro Florestal, Doutor
Prof. de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico / Colégio Politécnico da UFSM
elodiosebem@politecnico.ufsm.br

Diana Bertani Giotto

Médica Veterinária, Doutora
Prof.^a de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico / Colégio Agrícola de FW
dbertani@hotmail.com

Luiz Patric Kayser

Arquivista, Mestre
Prof. Assistente / Colégio Politécnico da UFSM
patric@politecnico.ufsm.br

Gustavo Heydt Réquia

Bacharel em Sistemas de Informação
Prof. de Ensino Superior / Antônio Meneghetti Faculdades
grequia@gmail.com

Andressa V. Karsburg

Acadêmica Engenharia Florestal / UFSM
andressakg@hotmail.com

Charles Steinmetz

Acadêmico Sistemas de Informação / UNIFRA
charlessteinmetz@gmail.com

Cristiane Martins Moreira

Acadêmica Tecnologia em Geoprocessamento / UFSM
martinscristianem@yahoo.com

Fábio Soares Pires

Acadêmico Engenharia Florestal / UFSM
fabinho.br@hotmail.com

Vanessa Cassenote

Acadêmica Engenharia da Computação / UFSM
vanessacassenote.92@gmail.com

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFIA	15
1.1 Introdução a Cartografia.....	15
1.2 Princípios Teóricos.....	17
1.3 Localização	25
1.3.1 Sistema de Coordenadas Geográficas.....	26
1.3.2 Sistema de Coordenadas Tridimensionais (X, Y e Z)	28
1.3.3 Sistemas de Coordenadas Planas Cartesianas	28
1.3.4 Sistema de Projeção Cartográfica.....	29
1.3.4.1 Tipo de Superfície Adotada	30
1.3.4.2 Grau de Deformação da Superfície.....	31
1.4 Sistema de Coordenadas UTM	33
1.5 Norte de quadricula, magnético e geográfico	37
1.6 Mapeamento Sistemático Nacional.....	38
1.7 Conversões entre sistemas de referência	39
1.8 Uso de sistemas de coordenadas nas regiões polares	41
1.9 Precisão e acurácia.....	43
1.9.1 Precisão	44
1.9.2 Acurácia	45
1.10 Novos avanços no mapeamento da superfície terrestre	45
CAPÍTULO 2: TECNOLOGIA GNSS.....	47
2.1 O Conceito GNSS	47
2.2 Como o GNSS funciona	47
2.3 Aplicações do GNSS.....	48
2.4 Sistemas GNSS	48
2.4.1 GPS.....	49
2.4.2 GLONASS	50
2.4.3 GALILEO	51
2.4.4 COMPASS	52
2.5 Sistemas de Aumentação	52
2.5.1 Sistema de Cobertura para Navegação Geoestacionário Europeu - EGNOS	53
2.6 Aplicações GNSS.....	54
2.6.1 Agricultura e Pesca	54
2.6.2 Pulverização Química	54

2.6.3	Monitoração de Rendimento de Safras	55
2.6.4	Extensão de Safras e Rastreamento de Gado	55
2.6.5	Navegação e Monitoramento de Barcos de Pesca	56
2.6.6	Engenharia Civil	56
2.6.7	Monitoramento de Estruturas	56
2.6.8	Orientação de Máquinas	56
2.6.9	Logística e Gerenciamento de Canteiros de Obras	57
2.6.10	Manutenção da Infraestrutura de Rodovias e Ferrovias.....	57
2.6.11	Energia.....	57
2.6.12	Sincronização de Redes para Geração e Distribuição de Energia	58
2.6.13	Mapeamento de Infraestrutura	58
2.6.14	Meio-Ambiente	58
2.6.15	Monitoramento Ambiental	59
2.6.16	Ciências Naturais	59
2.6.17	Proteção de Recursos Marinhos	59
2.6.18	Segurança Ambiental	60
2.6.19	Seguros	60
2.6.20	Telecomunicações	60
2.6.21	Localização de Telefones Móveis	60
2.6.22	Rede de Comunicações	61
2.6.23	Aviação	61
2.6.24	Operações em Portos	61
2.6.25	Navegação em Hidrovias	62
2.6.26	Aplicações em Rodovias	62
2.6.27	Aplicações em Ferrovias	62
CAPÍTULO 3: SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL GPS		63
3.1	Um breve histórico	63
3.2	Definição	65
3.3	Sistema de referência do GPS	65
3.4	Composição ou segmentos do sistema	67
3.4.1	Segmento do Espaço	67
3.4.1.1	Satélites GPS	68
3.4.1.2	O tempo GPS	69
3.4.1.3	Estrutura do Sinal dos Satélites GPS	69
3.4.2	Segmento de Controle e Monitoramento.....	71
3.4.3	Segmento do Usuário.....	73
3.4.3.1	Serviços Oferecidos e Tipos de Usuários	73

3.4.3.2	Receptores GPS	73
3.4.3.2.1	Componentes	73
3.4.3.2.2	Tipos de Receptores	74
3.4.3.2.2.1	Quanto ao Número de Frequências	74
3.4.3.2.2.2	Quanto ao Número de Canais	74
3.4.3.2.2.3	Quanto ao Tipo de Canais	74
3.4.3.2.2.4	Quanto ao Tipo de Sinal Observado	75
3.4.3.2.2.5	Quanto ao Tipo de Levantamento	75
3.5	Princípio Básico do Posicionamento	76
3.5.1	O processo de trilateração a partir de satélites	78
3.5.2	Medição da Distância Satélite-Receptor	79
3.5.2.1	Pelo Tempo de Propagação - Código C/A ou P	79
3.5.2.2	Pela Diferença de Fase - Portadora L1 ou L2	81
3.5.3	Coordenadas dos Satélites Xs, Ys e Zs	81
3.5.3.1	Efemérides Transmitidas	82
3.5.4	Cálculo das Coordenadas do Receptor X, Y e Z	83
3.6	Fatores que Afetam a Precisão do Posicionamento por Ponto	83
3.6.1	Erros relacionados aos satélites	83
3.6.1.1	Não Sincronização do Relógio do Satélite com Tempo GPS	83
3.6.1.2	Forma de Cálculo das Coordenadas dos Satélites	83
3.6.1.4	Distribuição Geométrica dos Satélites - DOP	84
3.6.1.5	Disponibilidade Seletiva - SA	86
3.6.2	Erros relacionados à propagação do sinal	86
3.6.2.1	Atraso na Ionosfera (ΔI)	86
3.6.2.2	Atraso na Troposfera (ΔT)	87
3.6.2.3	Multicaminhamento	88
3.6.2.4	Perda de Ciclos	89
3.6.3	Erros relacionados ao receptor/ antena	89
3.6.3.1	Erro do Relógio	89
3.6.3.2	Erro entre os Canais	90
3.6.3.3	Centro de Fase da Antena	90
3.6.4	Erros relacionados à estação	90
3.6.4.1	Coordenadas da Estação	90
3.6.4.2	Estacionamento da Antena no Ponto de Coleta	91
3.6.4.3	Erro Grosseiro Devido a Diferença de Datum	91
3.6.5	Comparação das Diversas Fontes de Erros nas Medidas	92
3.7	Altimetria com GPS	92

3.7.1 Modelo de Ondulação Geoidal (No).....	93
3.8 Método Diferencial	94
3.8.1 Com o Código (DGPS).....	94
3.8.2 Com a Fase da Portadora	96
3.9 Posicionamento Relativo.....	96
3.9.1 Modelos Utilizados na Solução da Diferença de Fase	97
3.9.1.1 Dupla diferença de fase	97
3.9.2 Tipos de Posicionamento Relativo	98
3.9.2.1 Posicionamento Relativo Estático	98
3.9.2.2 Método Relativo Estático Rápido	98
3.9.2.3 Método Reocupação	99
3.9.2.4 Método Relativo Semi-cinemático (Stop and Go).....	99
3.9.2.5 Método Relativo Cinemático	100
3.9.2.6 Cinemático Pós-Processado	100
3.9.2.7 Cinemático em Tempo Real.....	100
3.10 Redes de Apoio ao Posicionamento	101
3.10.1 Estação de Controle Ativo.....	101
3.10.1.1 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).....	101
3.10.1.2 Rede INCRA de Bases Comunitárias do GNSS - (RIBaC)	
.....	103
3.10.1.3 Rede Faróis da Marinha.....	105
3.10.1.4 Redes de Estações Ativas Particulares.....	106
3.10.2 Estação de Controle Passivo	106
3.10.2.1 Rede Estadual de Pontos GPS - Rio Grande do Sul.....	107
CAPÍTULO 4: INTERFACE DO CR CAMPEIRO 7 COM O GPS.....	111
4.1 Introdução	111
4.2 Conexão <i>on line</i>	111
4.3 Download/Upload de Pontos e Trajetos	114
4.3.1 Carregar Pontos e Trajetos para o GPS	116
4.3.2 Descarregar Pontos e Trajetos do GPS.....	117
4.4 Arquivos GPX.....	119
4.5 Operações na Guia VET	122
4.5.1 Abertura de Arquivos de Coordenadas Geográficas.....	122
4.5.2 Edição e Conversão:.....	123
4.5.3 Colagem de Pontos copiados para a Área de Transferência do	
Windows.....	124
4.5.4 Visualização do Desenho.....	124
4.5.5 Salvar Arquivos de Coordenadas.....	125

4.5.6 Visualizar como layer na função Espacialização – Mapas/Shapes e Imagens	126
4.6 Interface GPS – Online: Finalidade de Navegação	127
4.7 Interface GPS–Online: Sistema AP Campo.	130
REFERENCIAS	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes modelos de representação da superfície terrestre.....	19
Figura 2. Superfície da Terra, Geóide e Elipsóide.....	20
Figura 3. A terra e os modelos de representação.....	20
Figura 4. Superfície irregular do geóide.....	21
Figura 5. Representação do Elipsóide.....	21
Figura 6. Representação aproximada da ondulação geoidal.....	24
Figura 7. Meridianos.....	26
Figura 8. Paralelos.....	26
Figura 9. Origem das coordenadas geodésicas.....	27
Figura 10. Sistema de coordenadas geográficas.....	27
Figura 11. Eixo de cartesianos X, Y e Z.....	28
Figura 12. Planificação da superfície terrestre.....	29
Figura 13. Classificação das projecções quanto ao tipo de superfície adotada.	30
Figura 14. Cilindro secante a terra.....	34
Figura 15. Fusos UTM e sobreposição de fusos nos pólos.....	35
Figura 16. Características do fuso UTM.....	35
Figura 17. Folhas na escala 1:1.000.000 que abrangem o Brasil.....	36
Figura 18. Tipos de Norte.....	37
Figura 19. Exemplo de articulação das folhas UTM.....	39
Figura 20. Paralelismo entre os eixos cartesianos dos Data SAD69 e WGS84.....	40
Figura 21. Erro de posicionamento.....	41
Figura 22. Esquema da origem das coordenadas UPS.....	42
Figura 23. Precisão e acurácia.....	44
Figura 24. Satélite GOCE.....	46
Figura 25. Recebendo Sinais de Satélites para calcular a posição corrente.	48
Figura 26. Concepção artística de um satélite GPS.....	50
Figura 27. Satélite GLONASS.....	51
Figura 28. Concepção artística do GSTB-V2/A em órbita.....	52
Figura 29. Cobertura atual dos sistemas de aumentação.....	53
Figura 30. GPS e o sistema de coordenadas cartesiano.....	65
Figura 31. Os três segmentos do sistema GPS.....	67

Figura 32. Distribuição do segmento espacial.....	67
Figura 33. Satélite GPS.....	68
Figura 34. Estrutura do Sinal GPS.	69
Figura 35. Segmento de controle.	71
Figura 36. Direção da comunicação em cada segmento.	72
Figura 37. Trilateração	77
Figura 38. Trilateração por satélite.....	77
Figura 39. Superfície de contorno em um satélite.....	78
Figura 40. Superfície de contato entre dois satélites.	78
Figura 41. Superfície de contato entre três satélites.	79
Figura 42. Defasagem do código C/A.	80
Figura 43. Posicionamento pela portadora.....	81
Figura 44. Posição dos satélites e GDOP.....	85
Figura 45. Visor de um receptor de navegação.	85
Figura 46. Atraso ionosférico.	86
Figura 47. Efeito da posição do satélite.	87
Figura 48. Efeito do atrazo zenital troposférico.	88
Figura 49. Representação do multicaminhamento do sinal.....	89
Figura 50. Erro de posicionamento devido ao Datum.	92
Figura 51. Dimensão de cada uma das fontes de erros (m).	92
Figura 52. Relação entre a altitude elipsoidal e geoidal.....	93
Figura 53. Ondulação geoidal.	94
Figura 54. Correção diferencial.	94
Figura 55. Envio da correção por link de rádio.....	95
Figura 56. Envio da correção por satélite.....	96
Figura 57. Dupla diferença de fase.	97
Figura 58. Rede RBMC.	102
Figura 59. Rede RIBaC.	104
Figura 60. Faróis da marinha.	106
Figura 61. Rede de marcos passivos no Rio Grande do Sul.....	108
Figura 62. Marco de precisão ou de centragem forçada (à esquerda) e de azimute.....	108
Figura 63a. Abrindo a função de conexão online com o GPS.....	112
Figura 64b. Botão de atalho a função de conexão online com o GPS.	112
Figura 65. Tele de conexão com o GPS.	113
Figura 66. Navegação e comunicação com Servidor WEB.....	114
Figura 67. Posicionamento com o GPS.	115
Figura 68. Abrindo arquivo VET para carregar o GPS.	117

Figura 69. Download de waypoints.	118
Figura 70. Download de trajetos.	119
Figura 71. Acessar arquivos GPX e waypoints e trilhas.	119
Figura 72. Coordenadas de arquivo GPX carregadas na guia VET.	120
Figura 73. Estrutura de um arquivo GPX e armazenamento de pontos.	121
Figura 74. Estrutura de um arquivo GPX de armazenamento de trilhas. ...	121
Figura 75. Operações da Guia VET.	123
Figura 76. Colagem de pontos da área de transferência.	124
Figura 77. Visualização em forma de polígono.	125
Figura 78. Opções de arquivos vetoriais.	126
Figura 79. Função de espacialização de mapas/shapes e imagens.	127
Figura 80. Procedimento da guia VET.	127
Figura 81. Sobreposição da entidade selecionada na guia VET.	128
Figura 82. Interface GPS, Conexão online e Navegação.	128
Figura 83. Quadro de azimute e velocidade.	129
Figura 84. Quadro de introdução de dados do destino.	129
Figura 85. Quadro Direção - Destino.	129
Figura 86. Croqui da Direção.	129
Figura 87. Conexão GPS com o Sistema AP de Campo.	130

Apresentação

Esta obra visa atingir o público usuário de Geotecnologias, mais especificamente os interessados em posicionamento por satélites e que utilizam o Sistema CR Campeiro 7. Para isso, oferece uma compilação de outros materiais disponíveis *on line* (e citadas no item referências bibliográficas) sobre Fundamentos de Cartografia e Sistema de Navegação por Satélites.

Desta forma, oferecemos um embasamento teórico aliado a uma abordagem prática, o que torna esta obra um instrumento de apoio no ensino da Cartografia e do GNSS, além de permitir a utilização das ferramentas disponíveis no Sistema CR Campeiro 7 de forma prática.

Os Autores

Capítulo 1: Fundamentos de Cartografia

Uma vez que o produto final da operação de receptores de sinal GPS são coordenadas, cabe ao operador possuir o conhecimento básico dos elementos de Cartografia envolvidos, para que possa fazer uma leitura correta do dado gerado, bem como, avaliar se a informação que está sendo fornecida pelo aparelho supre suas necessidades.

Cada um dos tópicos aqui apresentados não tem a intenção de abordar a plenitude do conhecimento existente sobre a referida área. No entanto, acredita-se que o texto apresentado irá proporcionar o conhecimento básico necessário para a manipulação adequada da tecnologia de Posicionamento Global.

A Cartografia trata de representar na forma de mapas e plantas o conhecimento humano sobre a superfície do planeta. Uma vez que estas representações se dão em elementos planos (mapas e cartas), o homem criou metodologias e conceitos para transcrever aquilo que observamos em uma superfície não plana (a Terra), para estes documentos.



(Recorte da Folha
SH.22-V-C-IV-3)

1.1 Introdução a Cartografia

O objeto da Cartografia consiste em reunir e analisar dados das diversas regiões da terra, e representar graficamente em escala reduzida, os elementos da configuração que possam ser claramente visíveis. Para pôr em evidência a configuração da superfície terrestre, o instrumento principal do cartógrafo é o mapa. Mas, outras representações, tais como modelos de relevo, globos, fotografias aéreas, imagens de satélite e cartogramas, são assuntos próprios para serem tratados em Cartografia.

Definimos um mapa como uma representação convencional da configuração da superfície da terra. Toda a representação está numa pro-

porção definida com o objeto representado. Esta proporção é chamada de escala. Ou ainda, pode-se definir um mapa como um desenho seletivo, convencionado e generalizado de uma região com grande área, comumente da superfície terrestre, como se fosse vista de cima e numa escala muito reduzida. A maioria dos mapas recebe inscrições, isto é, são dados nomes as feições representadas, e são relacionados a um sistema de coordenadas.

Em geral, os mapas têm as seguintes finalidades:

- ⇒ obter informações sobre a distribuição espacial dos fenômenos, como solos, precipitação, uso da terra, densidade demográfica, etc.;
- ⇒ discernir relações espaciais entre os vários fenômenos;
- ⇒ coletar, através de medições, dados necessários às análises geográficas, propiciando informações para a descrição e análises estatísticas.

Atualmente, outros produtos são considerados valiosos em Cartografia, tais como:

Globo - representação cartográfica sobre uma superfície esférica, em escala pequena, dos aspectos naturais e artificiais de uma figura planetária, com finalidade cultural e ilustrativa.

Mapa - representação no plano, geralmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos.

Carta - representação no plano, em escala média ou grande, dos aspectos artificiais e naturais de uma área tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais (paralelos e meridianos) com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de precisão compatível com a escala.

Planta - é um caso particular de carta. A representação se restringe a uma área muito limitada e a escala é grande, conseqüentemente o número de detalhes é bem maior.

Fotografia Aérea - são produtos obtidos ao nível suborbital, muito utilizados para elaboração e ou atualização de documentos cartográficos de média a grande escala.

Mosaico - é o conjunto de fotos de uma determinada área, recortadas e montadas técnica e artisticamente, de forma a dar a impressão que todo o conjunto é uma única fotografia.

Ortofotocarta - é uma fotografia resultante da transformação de uma foto original, que é uma perspectiva central do terreno, em uma projeção ortogonal sobre um plano, complementada por símbolos, linhas e quadriculagem, com ou sem legenda, podendo conter informações planimétricas.

Fotoíndice - montagem por superposição das fotografias, geralmente em escala reduzida. Normalmente a escala do fotoíndice é reduzida de 3 a 4 vezes em relação a escala de voo.

Imagem de Satélite - são produtos obtidos ao nível orbital, muito utilizados para elaboração e ou atualização de documentos cartográficos em escalas variadas.

Carta-Imagem - são imagens de satélite montadas no formato de folhas de carta, onde informações de coordenadas e toponímia é acrescentada sobre a imagem.

Atlas - são coleção de mapas comumente publicados em uma linguagem com as mesmas convenções e projeções, mas não necessariamente na mesma escala é chamada de "Atlas". Um tipo de Atlas que merece destaque é o escolar. Estes Atlas apresentam uma grande diversidade de mapas; aspectos geológicos, geomorfológicos, solos, climáticos, políticos, estrutura viária e econômicos, etc. Este tipo de Atlas tem três funções básicas: fonte de informação, fornecer as configurações geográficas e estimular o interesse dos alunos.

1.2 Princípios Teóricos

Apesar de se assumir que a forma da Terra é redonda, em estudos onde se exige precisão de posicionamento, como é o caso da maioria das representações da superfície terrestre em mapas e cartas, deve-se considerar mais cuidadosamente as pequenas diferenciações da sua forma.

No século XVII, Isaac Newton demonstrou que não sendo a Terra um corpo rígido e estando animada de um movimento de rotação, ela não deveria possuir uma forma esférica e sim, a de um elipsóide de revolução, sendo achatada nos polos.

Por meio de triangulações geodésicas, pôde-se verificar que a Terra não possuía uma forma elipsoidal perfeita, mas sim a de um geóide, que não pode ser descrita de forma matemática simples, mas que pode ser determinada a partir de medidas da aceleração da gravidade nos mais di-

versos pontos da superfície da Terra. Numa primeira aproximação, o geóide seria a forma que a Terra teria se sua superfície fosse completamente coberta com água, pois esta se molda de acordo com a aceleração da gravidade em cada ponto.

Com o lançamento de satélites artificiais foi possível determinar com melhor precisão o geóide, através das anomalias observadas no movimento destes satélites e provocadas pela distribuição não uniforme da massa terrestre. O geóide difere muito pouco das formas elipsoidal e esférica, quando se considera que o valor do raio terrestre é muito maior do que a diferença entre o geóide e estas duas formas. Por isto, pode-se sem muito erro dizer que a Terra é praticamente esférica.

A forma da Terra, girando em torno de seu eixo e movendo-se dentro do Sistema Solar do qual faz parte, é resultado da interação de forças internas e externas tais como: gravidade, força centrífuga, constituição diferente dos materiais que a formam, etc.

As forças tectônicas, por exemplo, são forças internas que provocam modificações na superfície do globo terrestre tais como: dobramentos, falhas, terremotos, surgimento de vulcões. A ação dessas forças produz sobre a superfície terrestre uma série de irregularidades como: montanhas, vales, planaltos, etc. que formam a superfície topográfica da Terra. Essas irregularidades são muito pequenas se comparadas ao tamanho e volume total da Terra, entretanto, essa superfície aparente é de grande importância para o topógrafo, geodesta, etc., pois é sobre essa superfície que são realizadas as medições e os estudos para as diversas finalidades.

Devido a esses acidentes e irregularidades, a superfície da Terra não tem uma forma simples que possa ser expressa em termos matemáticos. A fim de simplificar o cálculo de coordenadas da superfície terrestre, foram adotadas algumas superfícies matemáticas simples que se aproximam em maior ou menor grau do real. Uma primeira aproximação seria uma esfera. Porém, a esfera seria suficientemente aproximada para solucionar com a precisão requerida, alguns problemas como, por exemplo: cálculos astronômicos, navegação e solução de cálculos geodésicos usando a trigonometria esférica. Entretanto, a Terra não é exatamente uma esfera, sendo achatada nos polos e abaloada próximo ao Equador.

Segundo GAUSS (1777-1855), a forma do planeta, em uma definição mais rudimentar, é representada pela superfície delimitada pelo nível médio dos mares, não perturbados por ventos e correntezas, já que estes, ocupam aproximadamente 72% da superfície do planeta. Esta superfície é

denominada **geóide**, o qual é definido como o sólido formado pelo nível médio dos mares supostamente prolongado por sob os continentes.

As diversas matérias que compõem a superfície possuem diferentes densidades, fazendo com que, em função disso, a força gravitacional atue com maior ou menor intensidade em locais diferentes. As águas do oceano procuram uma situação de equilíbrio, ajustando-se às forças que atuam sobre elas, inclusive no seu suposto prolongamento. A interação de forças buscando equilíbrio faz com que o geóide tenha o mesmo potencial gravimétrico em todos os pontos de sua superfície, resultando em ondulações e depressões.

Considerando a necessidade de se definir matematicamente a forma do planeta, para as diferentes aplicações das atividades humanas, surge como problema o alto grau de complexidade da representação matemática do geóide, assim, por não ser uma superfície perfeitamente lisa, que possa ser definida matematicamente, o geóide também não serve para que se defina a forma do planeta, sendo utilizado apenas para nivelamento geodésico.

É preciso então buscar um modelo mais simples para representar o nosso planeta. Para contornar o problema lançou-se mão de uma figura geométrica chamada elipse que ao girar em torno do seu eixo menor forma um volume, o **elipsóide de revolução**. Assim, o elipsóide é a superfície de referência utilizada em todos os cálculos básicos que fornecem subsídios para a elaboração de uma representação cartográfica. Essa é então a superfície matemática que mais se aproxima da superfície real da Terra (Figuras 1, 2 e 3).

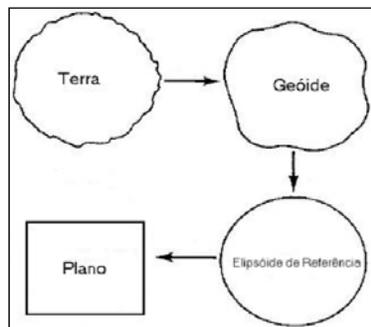


Figura 1. Diferentes modelos de representação da superfície terrestre.
(Fonte: Rosa, 2004)

O geóide é, então, a forma adotada para a Terra, sendo sobre esta superfície realizada todas as medições. Como o geóide é uma superfície irregular, de difícil tratamento matemático, foi necessário adotar, para efeito de cálculos, uma superfície regular que possa ser matematicamente definida. A forma matemática assumida para cálculos sobre o geóide é o elipsóide de revolução, gerado por uma elipse rotacionada em torno do eixo menor do geóide.

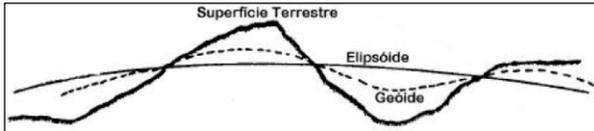


Figura 2. Superfície da Terra, Geóide e Elipsóide.
(Fonte: Rosa, 2004)

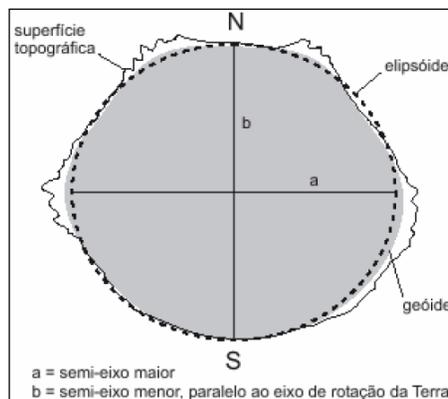


Figura 3. A terra e os modelos de representação.
(Fonte: Rosa, 2004)

O geóide (Figura 4) tem sua forma definida a partir de estudos gravimétricos, sendo por definição uma superfície onde todos os pontos têm igual valor de aceleração da gravidade, ou seja, superfícies equipotenciais. O fio de prumo é atraído pela força gravitacional terrestre sendo perpendicular ao geóide sob o ponto da superfície onde se encontra.

Como vimos, medições e levantamentos feitos na superfície terrestre (geóide) são matematicamente solucionados no elipsóide. Os sistemas geodésicos buscam uma melhor correlação entre o geóide e o elipsóide, elegendo um elipsóide de revolução que melhor se ajuste ao geóide local,

estabelecendo a origem para as coordenadas geodésicas referenciadas a este elipsóide, através dos datum horizontal e vertical.



Figura 4. Superfície irregular do geóide.
(Fonte: <http://www.esteio.com.br> 12/07/2009)

Em geral, cada país ou grupo de países adotou um elipsóide (Figura 5) como referência para os trabalhos geodésicos e topográficos. São usados elipsóides que mais se adaptem às necessidades de representação das regiões ou continentes.

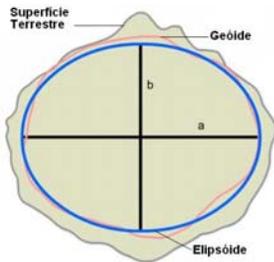


Figura 5. Representação do Elipsóide.
(Fonte: <http://patriciaeducadora.blogspot.com/>
22/05/2013)

Para definir um elipsóide necessita-se conhecer os seus parâmetros, ou seja, o seu semi-eixo maior (a) e o semi-eixo menor (b) ou o achatamento (e). O achatamento pode ser calculado por: $e = a - b/a$. A posição deste elipsóide em relação à Terra, bem como sua forma e tamanho, constituem um conjunto de parâmetros que são usualmente denominados Datum Geodésico.

Datum - É um conjunto de pontos e seus respectivos valores de coordenadas, que definem as condições iniciais para o estabelecimento de um sistema geodésico. Com base nessas condições iniciais, um sistema geodésico é estabelecido através dos levantamentos geodésicos. Um sis-

tema geodésico é um conjunto de estações geodésicas (marcos) e suas coordenadas.

Um Datum (pl. Data) é constituído pela adoção de um elipsóide de referência que representará a figura matemática da Terra, um Ponto Geodésico Origem e um Azimute inicial para fixar o sistema de coordenadas na Terra e servir como marco inicial das medidas de latitudes e longitudes. O critério para a escolha do Ponto Geodésico Origem é a máxima coincidência entre a superfície do geóide e do elipsóide. Portanto, um mesmo ponto do terreno terá valores de coordenadas diferentes quando referido aos diferentes Data.

Datum Planimétrico (horizontal) - é o ponto de referência geodésico inicial que representa a base dos levantamentos horizontais, ou seja, é definido por um conjunto de parâmetros, e é um ponto de referência para todos os levantamentos cartográficos sobre uma determinada área. A localização ideal do ponto seria onde houvesse coincidência entre o geóide e o elipsóide ($h=0$).

Existem dois tipos de Data horizontais: Globais - quando o elipsóide for global e não tiver ponto de amarração sobre a superfície terrestre que não os definidos no sistema. Os Locais - quando o elipsóide for local, neste caso deve possuir parâmetros diferenciais.

Existem muitos elipsóides representativos da forma da Terra, que foram definidos em diferentes ocasiões e por diferentes autores. Dentre eles os mais comuns são:

No Brasil são quatro os Data mais utilizados: SAD69, SIRGAS 2000 são os data planimétricos oficiais; Córrego Alegre, que é o datum local mais antigo, sendo comum encontrar trabalhos neste sistema, como por exemplo, as cartas na escala 1:50.000 do mapeamento sistemático; e o WGS84, que é o datum mundial (global) utilizado pelo sistema GPS.

O WGS84 é dito um Datum global e geocêntrico, pois o elipsóide adotado (GRS80) ajusta-se à Terra como um todo e a origem dos seus eixos coordenados é no centro de massa da Terra. No datum global o elipsóide é fixado à Terra pelo Equador e o Meridiano de Greenwich (não necessita de Ponto Geodésico Origem nem de Azimute inicial). Veja o Quadro 01 para alguns Data.

Ao longo do tempo foram testados vários elipsóides de revolução para melhor definir a Terra. Com instrumentos geodésicos cada vez mais precisos, a cada reunião da UGGI, novos valores de elipsóide são propostos para melhor definir a Terra como um todo. Entretanto, cada parte da Terra

possui suas particularidades físicas. Assim, definem-se elipsóides globais que melhor representam a Terra como um todo e elipsóides locais que melhor se ajustam a determinados continentes ou parte da Terra.

Quadro 01. Data usuais.

Elipsóide	Datum	Semi-eixo maior a (m)	Semi-eixo menor b (m)	Local de Adoção
Bessel 1841	Bukit Rimpah	6.377.484	6.356.165	Alemanha
Clarke 1866	American Samoa 1962	6.378.206	6.356.584	EUA
Krassovsky 1940	Afgooye	6.378.245	6.356.863	Russia
Hayford Internacional 1924	Córrego Alegre	6.378.388	6.356.912	Brasil (Antigo)
UGGI-67	SAD-69	6.378.160	6.356.775	Brasil (Atual)
UGGI-79	WGS-84	6.378.137	6.356.752	Globo
GRS80	SIRGAS 2000	6.378.137	6.356.752	Américas

Coordenadas definidas em elipsóide globais são menos ajustadas a determinados locais da Terra que as coordenadas definidas em elipsóides locais. Porém, para outros continentes, coordenadas definidas em elipsóides locais podem produzir grandes distorções. A definição de um elipsóide internacional seria um absurdo, se a tal definição tivesse qualquer importância prática. Na realidade a substituição de um elipsóide por outro modifica muito pouco as cartas e mapas de escala pequena (menor do que 1:100.000).

Datum Altimétrico (vertical) - é a superfície formada pelo nível médio do mar, definida através de um marégrafo estável, a partir de longos períodos de observação para estabelecer a altitude zero. As altitudes são calculadas partindo-se do Datum Altimétrico.

No Brasil - Marégrafo de Imbituba (SC) - 1958 - A altitude do ponto de origem (RN 4X) em relação ao nível médio do mar local: 8,6362 m.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é constituído por cerca de 70.000 estações implantadas pelo IBGE em todo o Território Brasileiro, divididas em três redes:

- Planimétrica: latitude e longitude de alta precisão
- Altimétrica: altitudes de alta precisão
- Gravimétrica: valores precisos de aceleração gravimétrica

É importante estar sempre atento às informações constantes nas legendas dos mapas utilizados, pois para uma mesma área podem existir mapas em sistemas geodésicos diferentes, já que muitos mapas utilizados ainda hoje, no Brasil, são anteriores a década de 1980 e, portanto estão referenciados ao Datum Córrego Alegre.

Apesar da proximidade entre os sistemas Córrego Alegre e SAD-69 ser grande, o fato de não se efetuar as transformações devidas para a compatibilização dos documentos utilizados, pode introduzir erros da ordem de 10 a 80 metros, o que pode ser significativo dependendo do objetivo do trabalho e/ou escala utilizada.

A transformação de um datum para outro, pode ser realizada através de rotinas computacionais que estão incluídas, atualmente, na maioria dos sistemas computacionais em uso.

Convém também destacar, que é necessária muita atenção, quando da utilização de GPS na aquisição de dados, para que o equipamento esteja corretamente configurado. Normalmente o GPS está configurado para um sistema global, de uso internacional, como é o caso do WGS-84.

Sendo o geóide um modelo matemático de desenvolvimento complexo, pois sua forma exata depende de características gravimétricas, foi novamente conveniente adotar-se a figura do elipsóide de revolução. No entanto, deve se levar em consideração que ambos não são totalmente coincidentes, o que leva a necessidade de se conhecer a ondulação geoidal N de cada local (Figura 6), onde se deseje determinar a altitude local a partir de um ou de outro modelo.

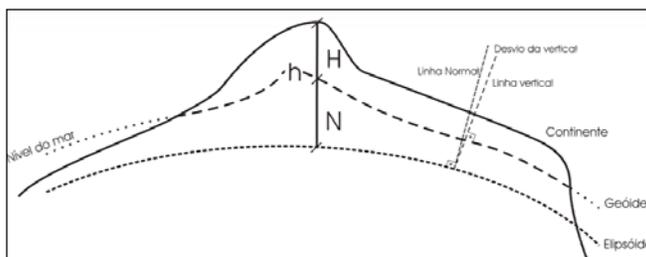


Figura 6. Representação aproximada da ondulação geoidal.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

A relação $N = h - H$ é utilizada para determinar o valor de N quando se conhece a altitude elipsoidal h (sobre o elipsóide) e a altitude ortométrica H (sobre o geóide) do ponto considerado.

1.3 Localização

A Terra possui um movimento de rotação que se processa em torno de um eixo imaginário. Os pontos de interseção deste eixo de rotação com a superfície terrestre são os pólos geográficos. Podemos traçar na Terra um círculo perpendicular ao eixo de rotação e que divide a Terra em duas metades iguais ou hemisférios. Este círculo máximo é chamado de equador terrestre ou equador geográfico. Todos os círculos menores que podemos traçar na Terra, paralelos ao equador, são denominados paralelos de latitude terrestre ou geográfica. É possível também traçar outros círculos máximos (que dividem também a Terra em hemisférios), perpendiculares ao equador terrestre. Estes círculos são chamados de meridianos terrestres ou geográficos. Através destes círculos, podemos determinar as coordenadas geográficas de um lugar.

Assim como as pessoas se utilizam de pontos de referência para se localizar, foi criado um sistema de pontos de referência para localizar qualquer lugar da Terra em um globo ou mapa, que são os sistemas de coordenadas. Eles resultam do desenvolvimento de técnicas cartográficas para a elaboração de mapas, e são linhas neles traçadas com o objetivo de determinar a posição absoluta dos diversos lugares da Terra.

O Sistema de coordenadas da Terra baseia-se na rede de coordenadas cartesianas. Este sistema foi traçado considerando a Terra como uma esfera perfeita. Assim, os pólos foram definidos como os pontos de interseção do eixo de rotação da Terra com a sua superfície e o equador é o raio máximo do planeta.

Para que cada ponto da superfície terrestre possa ser localizado, existe um sistema de coordenadas (linhas imaginárias), que são representadas em um mapa ou carta. Um objeto geográfico qualquer somente poderá ser localizado se pudermos descrevê-lo em relação a outro objeto cuja posição seja previamente conhecida.

Os meridianos são as linhas que passam através dos pólos e ao redor da Terra, ou seja, são círculos máximos da esfera cujos planos contêm o eixo de rotação ou eixo dos pólos. Decidiu-se que o ponto de partida para a numeração dos meridianos seria o meridiano que passa pelo observatório de Greenwich, na Inglaterra. Portanto, o meridiano de Greenwich é o meridiano principal (Figura 7). A leste de Greenwich os meridianos são medidos por valores crescentes até 180° e, a oeste, suas medidas são decrescentes até o limite de -180° .

Os paralelos são círculos da esfera cujo plano é perpendicular ao eixo dos pólos. O equador é o paralelo que divide a Terra em dois hemisférios. O 0° corresponde ao equador, o 90° ao pólo norte e o -90° ao pólo sul (Figura 8).



Figura 7. Meridianos.
(Fonte: Rosa, 2004)

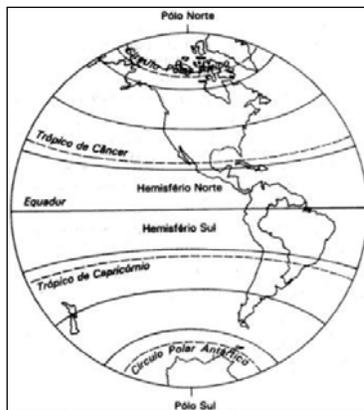


Figura 8. Paralelos.
(Fonte: Rosa, 2004)

O valor da circunferência dos paralelos varia conforme a latitude geográfica. A mesma pode ser determinada por: $C_P = C_E \cdot \cos \Phi$, onde C_P é o valor da circunferência no paralelo desejado, C_E é o valor da circunferência no equador terrestre (40.000 km) e Φ é a latitude geográfica do lugar.

1.3.1 Sistema de Coordenadas Geográficas

O sistema de coordenadas geográficas constitui-se um sistema eficiente para a localização inequívoca da posição de objetos, fenômenos e acidentes geográficos na superfície terrestre. Neste sistema a Terra é dividida em círculos paralelos ao equador chamados Paralelos e em elipses que passam pelos pólos terrestres (perpendiculares aos paralelos) chamadas Meridianos. Cada ponto da Terra tem um único conjunto de coordenadas geodésicas definidas por Latitude e Longitude (Figuras 9 e 10).

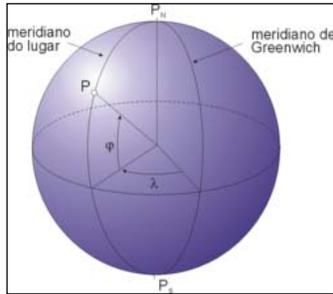


Figura 9. Origem das coordenadas geodésicas.
(Fonte: <http://pt.wikipedia.org> 30/05/2009)

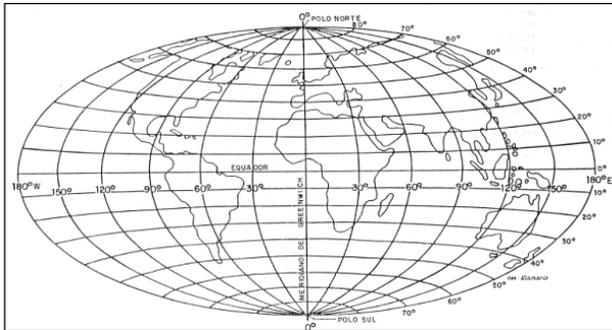


Figura 10. Sistema de coordenadas geográficas.
(Fonte: Rosa, 2004)

Latitude Geográfica ou Geodésica (ϕ): é o ângulo entre a normal ao elipsóide no ponto considerado e sua projeção no plano equatorial. Dito de outra maneira, latitude geográfica é o ângulo (medido ao longo do meridiano que passa pelo lugar) formado entre o equador terrestre e o ponto considerado.

Todos os pontos do equador terrestre têm latitude geográfica igual a 0° . Pontos situados ao norte do equador têm latitudes maiores que 0° variando até 90° que é a latitude do pólo geográfico norte. Da mesma forma varia as latitudes ao sul do equador terrestre, desde 0° a 90° , latitude do pólo geográfico sul. Para se diferenciar os valores, atribui-se sinal positivo para as latitudes norte e negativo para as latitudes sul.

A latitude é um elemento importante para explicar as diferenças térmicas, isto é, as diferenças de temperatura na superfície terrestre. As

temperaturas diminuem do Equador para os pólos. Assim, quando menor a latitude, maior a temperatura.

Longitude Geográfica ou Geodésica (λ): é o ângulo entre os planos do meridiano de Greenwich e do meridiano que passa pelo ponto considerado, sendo positiva a Leste (0 a $+180^\circ$) e negativa a Oeste (0 a -180°).

1.3.2 Sistema de Coordenadas Tridimensionais (X, Y e Z)

O sistema de coordenadas tridimensionais é constituído de três eixos cartesianos ortogonais (X, Y e Z), muito utilizados pelos satélites artificiais (GPS) para cálculo de posições, utilizando geometria tridimensional (Figura 11). As principais características do sistema são:

- Origem dos eixos no centro de massa da Terra (Geocêntrico);
- Eixo X coincidente com o traço do meridiano de Greenwich no plano do Equador;
- Eixo Y ortogonal a X no plano do Equador 90° anti-horário;
- Eixo Z coincide com o eixo de rotação da Terra.

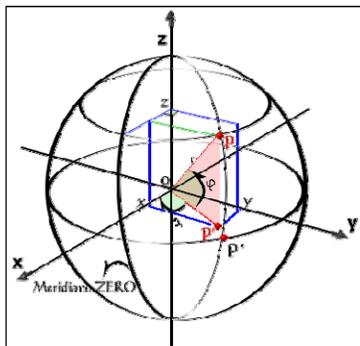


Figura 11. Eixo de cartesianos X, Y e Z.

(Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/image19/19_71a_01.gif 30/05/2009)

1.3.3 Sistemas de Coordenadas Planas Cartesianas

O sistema de coordenadas esféricas, apesar de localizar pontos inequivocamente na superfície elipsóidica, se mostrou pouco prático para trabalhar com mapas planos, e assim foram estabelecidos sistemas de coordenadas planas cartesianas associadas às projeções cartográficas. Os sistemas de coordenadas planas cartesianas têm a origem dos eixos coor-

denados estabelecidas em certos paralelos e meridianos terrestres e as coordenadas do sistema são medidas em metros, e não em graus. A coordenada X é chamada falso Este (E) e a coordenada Y é chamada falso Norte (N). Cabe ressaltar que as coordenadas planas estão estritamente associadas ao sistema de projeção do mapa. Cada coordenada plana corresponde a uma coordenada geográfica que foi transformada pelas equações do sistema de projeção.

1.3.4 Sistema de Projeção Cartográfica

Para entender o que são projeções cartográficas, é necessário lembrar de que o planeta tem a forma arredondada e que o mapa é desenhado sobre uma folha de papel, isto é, numa superfície plana. Por isso foram criadas as projeções cartográficas, que permitem representar uma realidade esférica numa superfície plana. A Terra é redonda, mas os papéis são planos. Representar em um desenho a superfície do planeta obriga, então, a admitir imperfeições (Figura 12).

As projeções cartográficas são, portanto, formas ou técnicas de representar a superfície terrestre em mapas. Essas técnicas ajudam os cartógrafos a amenizar o problema do arredondamento do planeta na elaboração de mapas. Quando representamos uma área pequena, por exemplo, uma cidade, um bairro, uma fazenda, a projeção cartográfica não é tão importante, no entanto, não podemos ignorá-la quando da representação de grandes áreas, como por exemplo, um estado um país.

Uma projeção cartográfica consiste num conjunto de linhas (paralelos e meridianos), que formam uma rede, sobre a qual são representados os elementos do mapa.

Todos os mapas e/ou cartas são representações aproximadas da superfície terrestre, uma vez, que a forma esférica da Terra é desenhada sobre uma superfície plana. A elaboração de um mapa/carta consiste em um método pelo qual se faz corresponder a cada ponto da superfície terrestre, como sendo a um ponto no mapa. Para se obter esta correspondência utilizam-se os sistemas de projeções cartográficas. Os sistemas de proje-

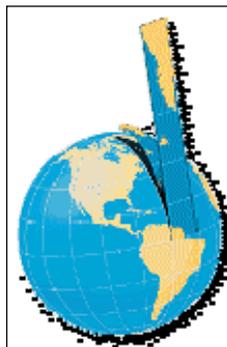


Figura 12. Planificação da superfície terrestre.
(Fonte: <http://www.esteio.com.br>
12/07/2009)

ções cartográficas são classificados quanto ao tipo de superfície adotada e pelo grau de deformação da superfície.

1.3.4.1 Tipo de Superfície Adotada

Quanto ao tipo de superfície adotada, são classificadas em: cilíndricas, planas ou azimutais e cônicas, segundo representem a superfície curva da Terra sobre um cilindro, um plano, um cone ou um poliedro tangente ou secante à esfera terrestre (Figura 13).

Projeção Plana ou Azimutal - o mapa é construído imaginando-o situado num plano tangente ou secante a um ponto na superfície da Terra. Ex. Projeção Esterográfica Polar.

Projeção Cônica - o mapa é construído imaginando-o desenhado num cone que envolve a esfera terrestre, que é em seguida desenrolado. As projeções cônicas podem ser também tangentes ou secantes. Nas projeções cônicas os meridianos são retas que convergem em um ponto e todos os paralelos, circunferências concêntricas a esse ponto. Ex. Projeção Cônica de Lambert.

Projeção Cilíndrica - o mapa é construído imaginando-o desenhado num cilindro tangente ou secante à superfície da Terra, que é depois desenrolado. Pode-se verificar que em todas as projeções cilíndricas, os meridianos bem como os paralelos são representados por retas perpendiculares. Ex. Projeção Mercator.

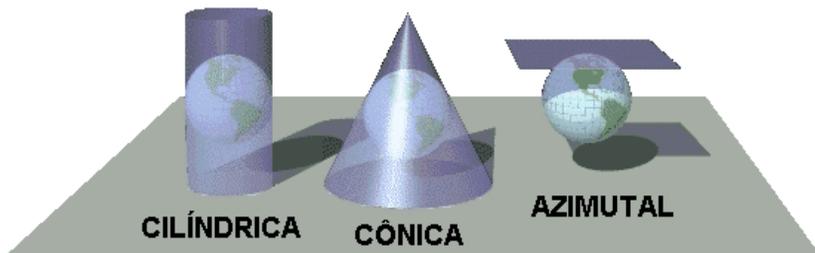


Figura 13. Classificação das projeções quanto ao tipo de superfície adotada.
(Fonte: <http://www.esteio.com.br> 12/07/2008)

1.3.4.2 Grau de Deformação da Superfície

Quanto ao grau de deformação das superfícies representadas, são classificadas em: conformes ou isogonais, equivalentes ou isométricas e equidistantes.

Projeções Conformes ou Isogonais - possuem a propriedade de não deformar os ângulos de pequenas áreas. Nestas projeções os paralelos e os meridianos se cruzam em ângulos retos, e a escala em torno de um ponto se mantém para qualquer direção. Porém, ao se manter a precisão dos ângulos, distorce-se a forma dos objetos no mapa. Ex. Mercator

Projeções Equivalentes ou Isométricas - não deformam áreas, conservando uma relação constante, em termos de área, com a superfície terrestre. Devido a suas deformações não são adequadas à Cartografia de base, porém são muito utilizadas para a Cartografia temática. Ex. Azimutal de Lambert

Projeções Equidistantes - são as projeções que não apresentam deformações lineares, ou seja, os comprimentos são representados em escala uniforme. Esta condição só é conseguida em determinada direção. Estas projeções são menos empregadas que as projeções conformes e equivalentes, porque raramente é desejável um mapa com distâncias corretas apenas em uma direção. Ex. Cilíndrica Equidistante.

Projeções Afiláticas - não possui nenhuma das propriedades dos outros tipos, isto é, equivalência, conformidade e equidistância, ou seja, as projeções em que as áreas, os ângulos e os comprimentos não são conservados.

Todos os sistemas de projeções apresentam deformações, já que não é possível "achatar" uma superfície esférica em uma superfície plana sem a deformar. Estas deformações podem ser lineares, angulares, superficiais ou, uma combinação destas três.

O importante é ter-se a capacidade de decidir a melhor projeção para a aplicação que se deseja, analisando-se as propriedades geométricas oferecidas por cada projeção, de modo a preservar as características mais importantes para cada tipo de uso, pois, frequentemente precisamos conhecer a distância entre lugares, a área de cidades, estados, países, ou outras parcelas de terra.

Todo o mapa apresenta algum tipo de distorção, que depende da natureza do processo de projeção. Dependendo do objetivo do mapa, estas distorções podem ser minimizadas quanto à forma, área, distância ou dire-

ção. Portanto, quando utilizamos mapas, devemos procurar escolher as projeções que preservem as características mais importantes para o nosso estudo e que minimizem as outras distorções.

Normalmente em um país, é utilizado um conjunto padrão de projeções, previamente definido, para atender às demandas específicas de utilização e à representação em escala. No Brasil, para o mapeamento sistemático, utiliza-se o seguinte padrão para projeções:

⇒ Escala 1:25.000 a 1:250.000 - Projeção UTM

⇒ Escala 1:500.000 a 1:1.000.000 - Projeção Conforme de Lambert

⇒ Escala 1:5.000.000 - Projeção Policônica.

A seguir apresentamos alguns tipos de projeções cartográficas mais usadas na elaboração de mapas:

Projeção de Mercator (conforme) - Também conhecida como Projeção Cilíndrica de Mercator, procura traçar um mapa de toda a superfície terrestre. Ela reproduz bem o tamanho e o formato das áreas situadas na zona intertropical, mas exagera na representação das áreas temperadas e polares. Para se ter uma idéia desses exageros, basta observarmos um Mapa Mundi, onde a Groenlândia, parece ter a mesma área que a do Brasil, quando na verdade é cerca de quatro vezes menor.

Projeção de Peters - Essa projeção tem como objetivo fazer uma projeção oposta a de Mercator. Procura fazer um retrato mais ou menos fiel do tamanho das áreas, só que acaba muitas vezes distorcendo as formas. Na verdade, essa projeção não se preocupa com a forma, mas com a proporção, isto é, com o tamanho relativo de cada área, trata-se de uma projeção equivalente.

Projeção Plana ou Polar - Segundo esta projeção, as diversas partes da superfície terrestre estariam supostamente dispostas num plano, que está centrado num ponto qualquer do globo. Esta projeção tem a vantagem nas áreas próximas do centro ficam muito bem representadas, bem detalhadas, mas as áreas distantes vão ficando cada vez mais distorcidas.

Projeção de Aitoff - Essa projeção é um meio termo entre as projeções de Mercator e Peters. Essa projeção é muito usada na representação dos mapas mundi.

Projeção Policônica (afilática) - Apropriada para uso em países ou regiões de extensão predominantemente norte-sul e reduzida extensão este-oeste. É amplamente utilizada nos EUA. No Brasil é utilizada em mapas da série Brasil, regionais, estaduais e temáticos. Não é conforme nem

equivalente, só tem essas características próxima ao Meridiano Central. Apresenta pequena deformação próxima ao centro do sistema, mas aumenta rapidamente para a periferia.

Projeção Cônica Conforme de Lambert (conforme) - A existência de duas linhas de contato com a superfície nos fornece uma área maior com baixo nível de deformação. Isto faz com que esta projeção seja bastante útil para regiões que se estendam na direção leste-oeste, porém pode ser utilizada em quaisquer latitudes. A partir de 1962, foi adotada para a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo.

Existem ainda outros tipos de projeções, mas estas são as mais usadas atualmente, embora todas tenham aspectos positivos e negativos. Nenhuma projeção é melhor ou pior que as outras. A escolha de uma delas vai depender da finalidade do mapa: viajar, comparar áreas, navegar, etc.

1.4 Sistema de Coordenadas UTM

A projeção adotada no Mapeamento Sistemático Brasileiro é o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), que é também um dos mais utilizados no mundo inteiro para cartografia sistemática recomendada pela União da Geodésia e Geofísica Internacional (UGGI). A projeção UTM é um caso particular da Projeção Transversa de Mercator com as características abaixo:

a) A superfície de projeção é um cilindro cujo eixo é perpendicular ao eixo polar terrestre. É uma projeção conforme, portanto mantém os ângulos e a forma das pequenas áreas.

b) O Cilindro de projeção é secante ao elipsóide de revolução, segundo os meridianos, ao longo dos quais não ocorrem deformações de projeção ($K=1$). As áreas entre os meridianos de secância sofrem reduções de escala ($K<1$), enquanto as áreas fora dos meridianos de secância apresentam escalas ampliadas ($K>1$). Desta forma permite-se que as distorções de escala sejam distribuídas ao longo do fuso de 6° (Figura 14).

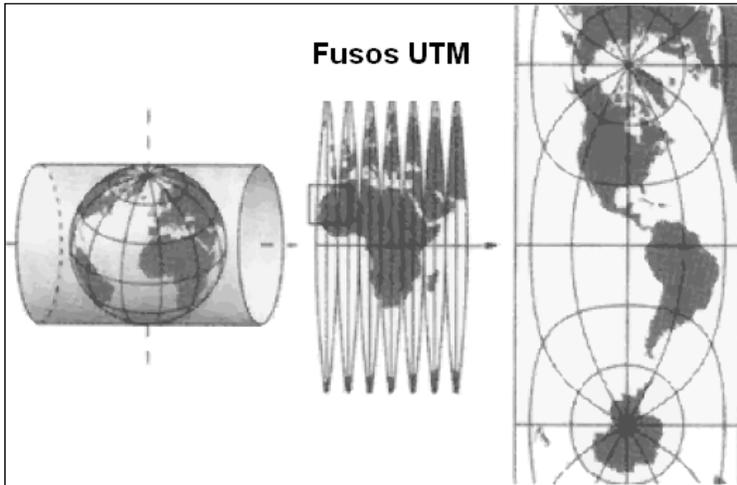


Figura 14. Cilindro secante a terra.

(Fonte: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home/products/maps> 10/06/2008)

c) O elipsóide terrestre é dividido em 60 fusos parciais com 6° de amplitude cada um. O coeficiente de redução máxima ocorre ao longo do meridiano central do fuso (MC) e tem o valor constante $K=0,9996$.

d) O Equador é uma linha reta horizontal, o Meridiano Central é uma linha reta vertical, os paralelos são curvas de concavidade voltada para os polos e os meridianos são curvas de concavidade voltadas para o MC.

e) A origem do sistema cartesiano de coordenadas é formada pelo meridiano central do fuso (eixo Y) cujo valor é $E=500.000,00$ metros, e pelo Equador (eixo X) que tem valor $N=0,00$ metros, para coordenadas no hemisfério norte e $N= 10.000.000,00$ metros, para coordenadas no hemisfério sul.

f) As constantes de $E=500.000$ m e $N= 10.000.000$ m chamadas, respectivamente, de Falso Este e Falso Norte visam evitar coordenadas negativas.

Todas estas características estão representadas nas Figuras 15 e 16.

Em latitude, os fusos são limitados ao paralelo de 80° N e 80° S, porque as deformações tornar-se muito acentuadas para latitudes superiores. As regiões polares devem ser representadas pela projeção Universal Polar Estereográfica.

Como são 60 fusos para toda a Terra, cada fuso é numerado a partir do antimeridiano de Greenwich para a direita.

No Brasil estão os fusos de numeração de 18 a 25, com ordem crescente do Acre para o Oceano Atlântico (Figura 17).

A simbologia adotada para as coordenadas UTM é: N - para as coordenadas norte-sul; e E - para as coordenadas leste-oeste. Logo, uma localidade qualquer será definida no sistema UTM pelo par de coordenadas E e N.

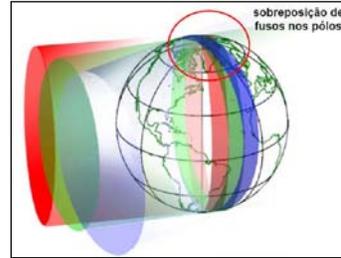


Figura 15. Fusos UTM e sobreposição de fusos nos pólos. (Fonte: Seeber, 1993)

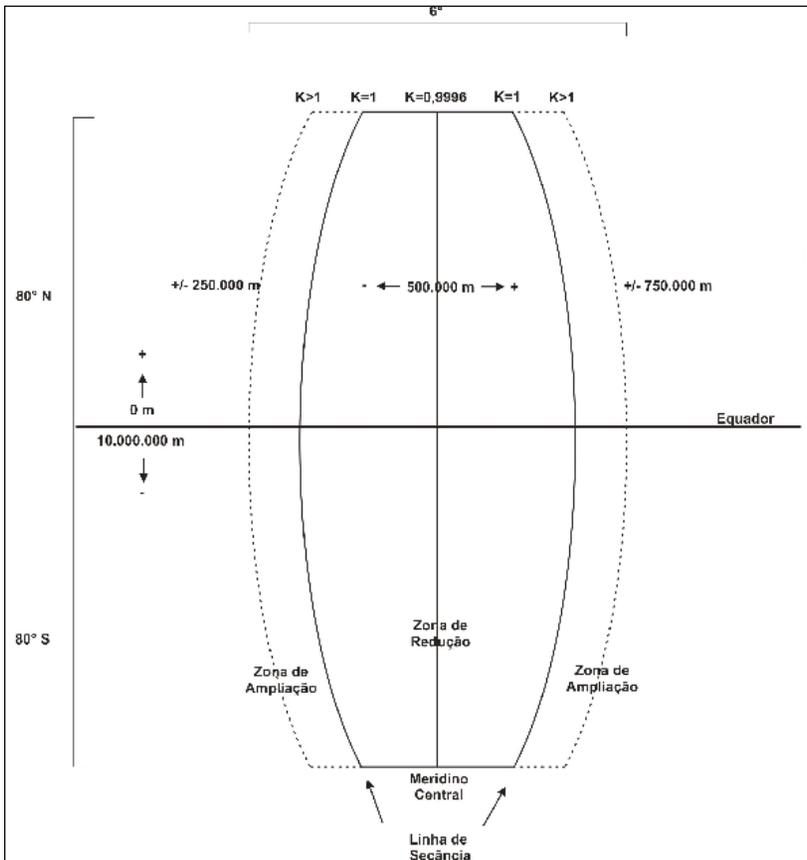


Figura 16. Características do fuso UTM. (Fonte: Rosa, 2004)

Cada fuso UTM possui meridiano central com uma taxa de deformação em escala o fator $K = 0,9996$ para pontos sobre o meridiano central o qual recebe a designação de K_0 . Para qualquer outro ponto dentro do fuso o coeficiente de deformação linear é dado pela seguinte formulação:

$$B = \cos(\phi) \operatorname{sen}(\lambda - \lambda_0) \qquad K = K_0 / (1 - B^2)^{1/2}$$

Onde: λ_0 é o meridiano central do fuso UTM, λ é o meridiano do lugar, Φ é a latitude do lugar, K_0 é o coeficiente de deformação linear no meridiano central e K é o coeficiente de deformação linear do lugar.

Os sistemas de coordenadas comumente usados para representar os dados espaciais são: latitude/longitude e UTM (Universal Transversa de Mercator).

O conhecimento acerca do fuso é fundamental para o posicionamento correto das coordenadas do sistema UTM. O seu cálculo pode ser efetuado facilmente através da seguinte fórmula:

$$Fuso = \text{inteiro}((180 \pm \lambda)/6) + 1$$

Usa-se o sinal (+) para longitudes leste de Greenwich e (-) para longitudes oeste de Greenwich.

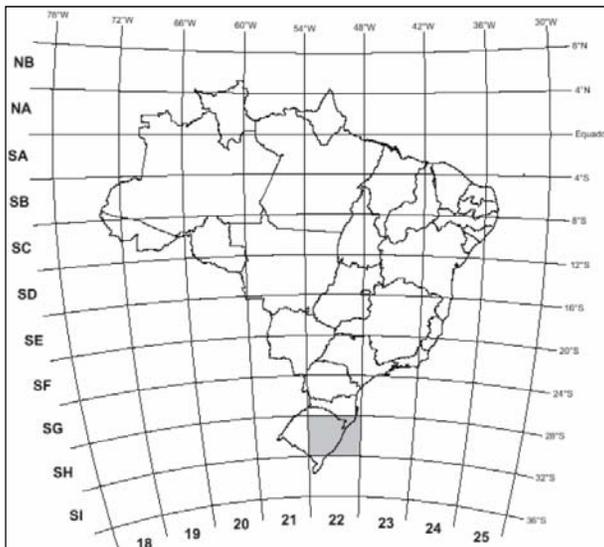


Figura 17. Folhas na escala 1:1.000.000 que abrangem o Brasil. (Fonte: projetotaquarintas.blogspot.com 22/05/2013)

1.5 Norte de quadricula, magnético e geográfico.

Os meridianos do fuso ou zona da projeção formam um ângulo com as linhas verticais da quadricula. Esse ângulo é nulo para o meridiano central, 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 quadricula (Figura 18).

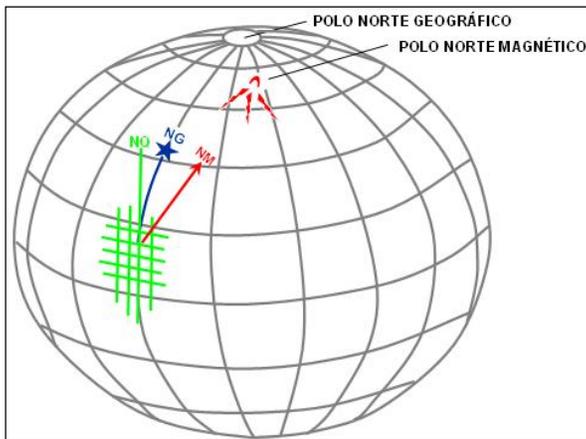


Figura 18. Tipos de Norte.

(Fonte: <http://www.vector.agr.br/rovane/faq/faq.htm> 12/08/2009)

Norte Geográfico: é a direção determinada pelo meridiano do ponto considerado.

Norte de Quadricula: é a direção determinada por uma paralela ao meridiano central no ponto considerado.

Norte Magnético: é a direção determinada pelo meridiano magnético no ponto considerado. A agulha da bússola aponta para esta direção quando está sobre o ponto.

O ângulo formado entre o norte geográfico e o norte magnético é chamado de declinação magnética. O ângulo formado entre o norte geográfico e o norte de quadricula é chamado de convergência meridiana.

1.6 Mapeamento Sistemático Nacional

O sistema de referência utilizado para as folhas topográficas e geográficas é baseado no sistema da 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 regiões polares foi utilizada a Projeção Estereográfica Polar. Como sabemos, o sistema todo abrange um fuso de 6° de longitude por 4° de latitude. Sabemos também que os fusos são numerados em ordem crescente a partir do antimeridiano de Greenwich de 0 até 60 e são escalonados para o sul em SA, SB, SC, etc. e para o norte em NA, NB, NC, etc. Assim sendo, uma carta do mundo ao milionésimo será denominada, por exemplo, como SA-23, NB-22, etc.

Porém, a área abrangida por uma carta na escala de 1:1.000.000 oferece poucos detalhes da superfície. Como solução, para aumentar os detalhes, as escalas das cartas são ampliadas, para as escalas de: 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000, etc executadas pelo método aerofotogramétrico, segundo uma articulação sistemática padrão formando uma grande série cartográfica.. Ampliando-se a escala os graus de arco abrangidos pela carta/folha são diminuídos

Os mapas sistemáticos até a escala de 1:25.000, são considerados um pré-requisito para o desenvolvimento do país. No Brasil os principais órgãos executores de mapeamento sistemático são o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG. As escalas e articulações das folhas oficiais do mapeamento sistemático são mostradas no Quadro 02.

Quadro 02. Características das Cartas Topográficas.

Escala	Área ϕ x λ	Medidas da Folha no Terreno (Km)	Folhas Contidas na Carta ao Milionésimo	Nomenclatura
1.000.000	4° x 6°	444,48 x 666,72	1	-
500.00	2° x 4°	222,24 x 333,36	4	V, X, Y, ou Z
250.000	1° x 1,5°	111,12 x 166,68	16	A, B, C, ou D
100.000	30' x 30'	55,56 x 55,56	96	I,II,III,IV,V ou VI
50.000	15' x 15'	27,78 x 27,78	384	1 ,2,3 ou 4
25.000	7,5' x 7,5'	13,89 x 13,89	1.536	NE, NO, SE ou SO

A Figura 19 seguir mostra a articulação das folhas UTM para Camobi desde a escala de 1:1.000.000 até a escala de 1:25.000.

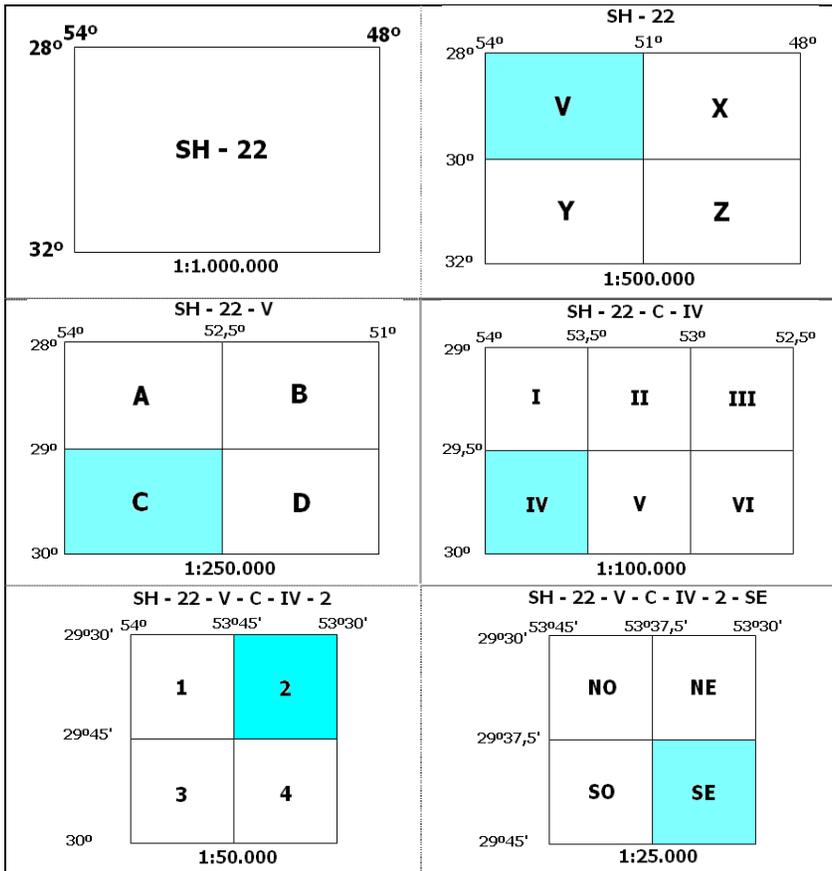


Figura 19. Exemplo de articulação das folhas UTM.
(Fonte: Sebem, 2008).

1.7 Conversões entre sistemas de referência

O registro de dados da superfície a partir do sistema de coordenada UTM é um processo relativamente simples, sendo, portanto o sistema mais utilizado. No entanto, todos os dados devem ser registrados no mesmo sistema de coordenadas, caso contrário não será possível a sobreposição

e/ou cruzamento dos mesmos por meio de um SIG. A relação existente entre os dois Data muito usuais no Brasil, o SAD69 e o WG84 está demonstrada na Figura 20.

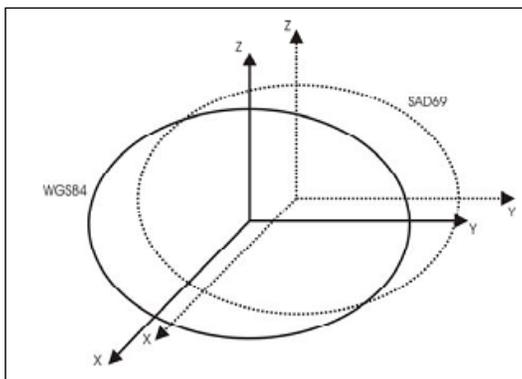


Figura 20. Paralelismo entre os eixos cartesianos dos Data SAD69 e WGS84.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Desta forma, para que uma coordenada tomada em WGS84 seja plotada sobre uma carta em SAD69, ou vice-versa, esta coordenada deve sofrer uma conversão de Datum.

Na obtenção de coordenadas em outros sistemas a partir de SAD69, utilizam-se os seguintes parâmetros de transição apresentados no Quadro 03.

Quadro 03: Diferenças entre os Data. (IBGE, 2005)

Parâmetros / Sistemas (m)	Córrego Alegre	SIRGAS 2000 / WGS-84
ΔX	138	-67,35
ΔY	-164,4	3,88
ΔZ	-34	-38,22

Estes parâmetros devem ser computados junto às coordenadas cartesianas X, Y e Z no momento da conversão. Processo que é executado automaticamente nos programas de posicionamento por GPS. O usuário deverá ficar atento para o valor correto dos parâmetros acima, sobre prejuízo de um posicionamento incorreto com demonstra a Figura 21.

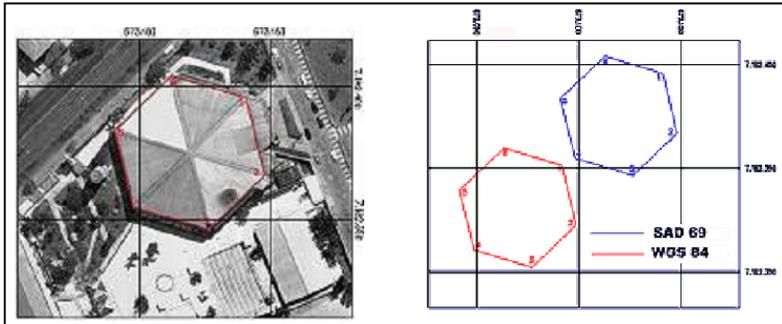


Figura 21. Erro de posicionamento.
(Fonte: <http://www.esteio.com.br> 12/07/2008)

1.8 Uso de sistemas de coordenadas nas regiões polares

A projeção UTM e seu sistema de coordenadas é utilizado entre as latitudes 80° S e 84° N. Estes limites permitem o uso do sistema UTM na quase totalidade das áreas continentais do hemisfério norte e na totalidade das áreas continentais do hemisfério sul, com exceção da Antártida. Expôr detalhadamente os motivos desta diferença, além de extenso, seria tedioso – geógrafos, geodestas e cartógrafos discutiram bastante até adotarem esta convenção que, como todas as convenções, mesmo tendo referências técnicas, é, até certo ponto, arbitrária. Fica, porém, uma sugestão de fácil realização: num globo terrestre de uso didático ou mesmo no Google Earth, o leitor poderá observar que, no hemisfério norte, as terras continentais se estendem até muito mais perto do respectivo pólo do que na correspondente situação no hemisfério sul. É este o principal motivo.

Para as latitudes superiores, o que equivale a dizer regiões polares extremas, usa-se a projeção **UPS (Universal Polar Stereographic)**. A projeção UPS pode ser descrita como um sistema de coordenadas retangulares desenvolvido para uso nas regiões polares e que, na forma de expressão das coordenadas, se assemelha à projeção UTM. Num receptor GPS de navegação configurado para indicação de coordenadas no formato UTM/UPS, entre 80° S e 84° N a indicação será em coordenadas UTM. Entre estas latitudes e os pólos, a indicação será em coordenadas UPS.

No sistema UPS, que é semelhante no Pólo Norte e no Pólo Sul, a superfície de projeção é um plano perpendicular ao eixo de rotação da Terra e os pólos são usados como origem das coordenadas. A fim de evitar o uso

de coordenadas negativas, atribui-se, para a origem, o valor 2.000.000 mE (East / Leste) e 2.000.000 mN (North / Norte). Conforme figura 22.

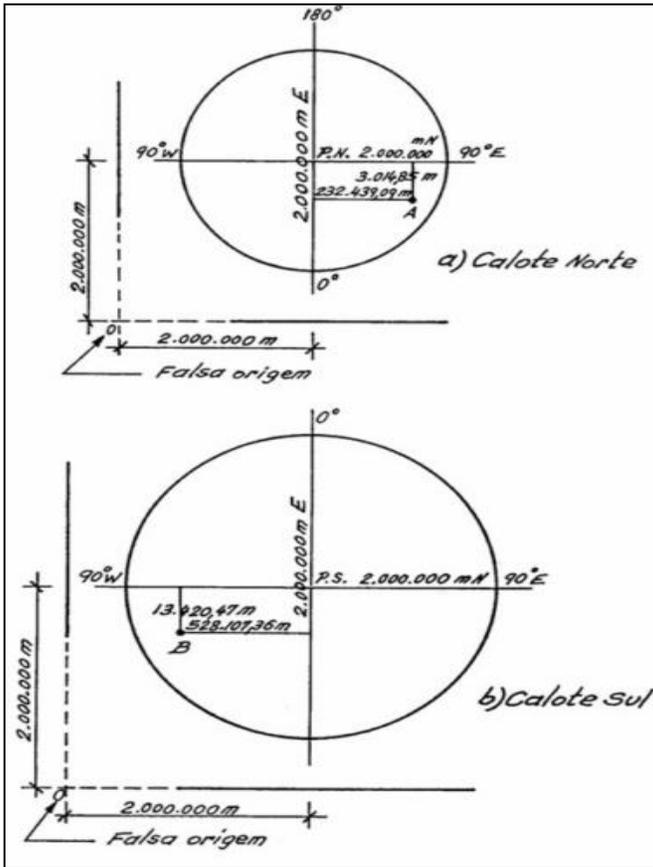


Figura 22. Esquema da origem das coordenadas UPS.
(Fonte: www.gd4caminhos.com 22/05/2013)

Na projeção UPS, N e E são uma mera convenção cartográfica para nomear os eixos. As duas projeções UPS estão centradas nos pólos e apenas uma regra de memorização é suficiente para determinar a disposição dos eixos: nos dois pólos, o eixo E da Projeção UPS cresce na direção do meridiano 90°. Com isso, a amarração dos eixos aos outros meridianos fica completamente definida.

Exatamente no Pólo Sul, a indicação de um receptor GPS configurado para indicação em coordenadas UTM/UPS seria UPS, 2.000.000 mE e 2.000.000 mN. Configurado para coordenadas geográficas, indicaria 90°00'00" S para latitude (se for selecionada o formato de coordenadas ddd mm ss.s – indicação de graus, minutos, segundos e décimos de segundo). A indicação de longitude dependeria do modelo e do fabricante mas, de qualquer forma, seria irrelevante (como todos os meridianos se encontram no Pólo Sul e no Pólo Norte, qualquer valor de longitude estaria correto).

Cabe ressaltar que a distância equivalente a um arco de 1° de latitude é praticamente constante, mas que a distância equivalente a 1° de longitude diminui a medida que aumentam as latitudes. Isto afeta o tamanho de diversas cartas topográficas. Por exemplo, cartas em escala 1:50.000 (cobertura 15' X 15' no Mapeamento Sistemático Terrestre Brasileiro) que representam áreas próximas ao Equador são praticamente “quadradas”, enquanto que cartas de latitudes maiores se parecem com retângulos com a base mais estreita que a altura. Em áreas em latitudes bastante elevadas, é comum a existência de cartas em escala 1:50.000 e na projeção UTM que cubram, por exemplo, 15' X 30', 15' X 45' e até mesmo 15' X 1°00' – em geral, dentro de um mesmo fuso UTM. Obviamente, em outras escalas também pode ocorrer a ampliação da cobertura longitudinal.

1.9 Precisão e acurácia

Para muitas pessoas, acurácia e precisão significam a mesma coisa. Para alguém envolvido em medições estes dois termos têm significados bem diferentes. Medições por sua natureza, são inexatas, a dimensão desta falta de exatidão é o erro. Isto é diferente do erro sistemático, o qual é a introdução de um erro que pode ser rastreado até sua fonte, podendo ser detectado, quantificado e corrigido. Um erro sistemático é uma espécie de engano na técnica de medição, como ler de maneira errada uma escala ou ajustar erroneamente o aparelho que será utilizado para tomar as medidas. Erros são inerentes ao processo de medição, e incorporam coisas como a precisão dos instrumentos de medida, seu correto ajustamento, e uso adequado do equipamento.

Uma analogia utilizada para explicar as diferenças entre precisão e acurácia, é a de um atirador e suas tentativas em acertar o centro do alvo (Figura 23).

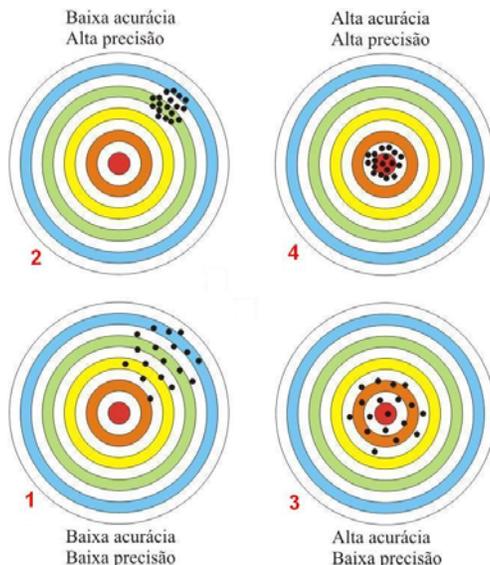


Figura 23. Precisão e acurácia.

(Fonte: <http://sampa.if.usp.br/~suaide/LabFlex/blog/files/acuracia.jpg> 30/05/2009)

1.9.1 Precisão

Precisão é o grau de refinamento da execução de uma operação, ou o grau de perfeição dos instrumentos e métodos utilizados para obter os resultados. Uma indicação da uniformidade ou reprodutibilidade dos resultados. Precisão está relacionada com a qualidade de uma operação na qual um resultado é obtido, diferindo da acurácia, que por sua vez, está relacionada com a qualidade do resultado.

Na Figura 23, o alvo n°1 demonstra que o atirador obtém resultados muito ruins na tentativa de acertar o centro do alvo, não havendo qualquer tipo de uniformidade na distribuição de seus resultados. O atirador é impreciso e nada acurado.

Já no segundo alvo, o atirador consegue uniformidade, no entanto, sem acurácia. Esta uniformidade pode ter sido alcançada utilizando-se uma luneta, ou um estabilizador para a arma. Com o conhecimento adquirido observando os resultados, o atirador poderá aplicar um ajuste sistemático, do tipo, apontar um pouco para o lado ou ajustar o equipamento (luneta), buscando alcançar resultados mais acurados, além da já alcançada precisão.

1.9.2 Acurácia

É o grau de conformidade com uma verdade padrão. Acurácia está relacionada com a qualidade dos resultados, sendo, portanto, diferente de precisão como já exposto acima. No alvo n°3, o atirador aproxima-se do objetivo, no entanto sem grande precisão. Talvez tenha de trocar o equipamento ou de metodologia utilizada, se o objetivo for alcançar uma precisão ainda maior, uma vez que através desta metodologia utilizada até então, foi alcançado o limite da técnica ou do equipamento.

No alvo n°4 estão representados resultados associados a acurácia e precisão. Diferente do alvo n°2, pois o atirador deve ter feito algum tipo de ajuste sistemático após avaliar a posição dos tiros precisos, mas sem acurácia. A precisão não melhorou muito, mas a conformidade com um valor verdadeiro, aumentou bastante.

1.10 Novos avanços no mapeamento da superfície terrestre

Em março de 2009, o satélite GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA) foi colocado numa órbita baixa da Terra, quase heliosíncrona, por um lançador Rockot, a partir do cosmódromo de Plesetsk, no norte da Rússia.

O GOCE é o primeiro de uma nova família de satélites da ESA concebidos para estudar o nosso planeta e o seu ambiente, a fim de melhorar o conhecimento e compreensão dos processos do sistema da Terra e a sua evolução, para que possamos enfrentar os desafios das alterações climáticas globais. Em particular, o GOCE irá medir as diferenças de minutos no campo de gravidade da Terra a nível global.

Durante 24 meses, o satélite irá recolher dados de gravidade tridimensionais em todo o planeta. Os dados brutos serão processados em terra para produzir o mapa mais preciso do campo gravitacional da Terra e aperfeiçoar o geóide: a verdadeira forma de referência do nosso planeta. O conhecimento preciso do geóide, que pode ser considerado como a superfície de um oceano global ideal em repouso, terá um papel muito importante em estudos futuros do nosso planeta, dos oceanos e da atmosfera. Servirá de modelo de referência para medir e modelar as alterações do nível do mar, a circulação dos oceanos e a dinâmica das calotas de gelo polares.

Os dados recolhidos pelo GOCE irão fornecer uma precisão de 1 a 2 cm na altitude do geóide e 1 mGal para a detecção de anomalias do campo de gravidade (as montanhas, por exemplo, costumam provocar variações gravitacionais locais que vão desde dezenas de miligal a aproximadamente uma centena). A resolução espacial será melhorada de várias centenas ou milhares de quilômetros em missões anteriores para 100 km com o GOCE.

A cartografia do campo de gravidade da Terra com esta precisão será útil para todas as áreas das ciências da Terra.

Para a Geodesia, irá proporcionar um modelo de referência unificado para medições de altura em todo o mundo, eliminando as descontinuidades entre os sistemas de altura para as diversas massas terrestres, países e continentes. O mapa geoidal preciso permitirá uma melhor determinação orbital para satélites que monitorizam o manto de gelo e, assim, uma maior precisão das medições.

Para a Geofísica, combinando os resultados do GOCE com os dados do magnetismo, da Topografia e da Sismologia, irá ajudar a produzir mapas detalhados em 3D das variações de densidade na crosta terrestre e no manto superior. Este será uma importante contribuição para a melhoria de toda a modelagem de bacias sedimentares, fendas, movimentos tectônicos e alterações verticais do mar/terra, melhorando a nossa compreensão dos processos responsáveis pelas catástrofes naturais. A Figura 24 a seguir mostra uma ilustração do satélite GOCE.



Figura 24. Satélite GOCE.

(Fonte: <http://www.mundogeo.com.br> 12/05/2009)

Capítulo 2: Tecnologia GNSS

2.1 O Conceito GNSS

O termo GNSS (Global Navigation Satellite System) surgiu em 1991 e inicialmente era chamado de GNSS-1 englobando os sistemas GPS e GLONASS, posteriormente passou a ser designado de GNSS-2 quando agregou o sistema Galileo. Um Sistema Global de Navegação por Satélite é formado por uma constelação de satélites com cobertura global que envia sinais de posicionamento e tempo para usuários localizados em solo, aeronaves, ou transporte marítimo. Há vários sistemas GNSS como o GPS (dos EUA), GLONASS (da Rússia), o Galileo (da Europa) e COMPASS (China), sendo que, os dois últimos sistemas encontram-se em implantação.

A constelação de satélites é distribuída de tal forma que pode prover seus serviços em todo o mundo e com um número de satélites que permita o fornecimento de serviços de alta qualidade.

2.2 Como o GNSS funciona

Os satélites da constelação são equipados com um relógio atômico (que é muito preciso na ordem de nano segundos). Os satélites emitem um sinal de tempo para os receptores, que calculam o tempo passado desde quando o sinal foi enviado pelo satélite até quando ele foi recebido. Os satélites também enviam informações sobre suas posições quando eles transmitiram o registro de tempo. O receptor é capaz de calcular sua localização usando o sinal de três satélites e a posição de um deles. Se o sinal de um quarto satélite é usado, o receptor pode calcular sua localização sem a necessidade de um relógio atômico.

A Figura 25 mostra este conceito; onde um receptor automotivo calcula sua posição corrente (latitude, longitude e altitude).

2.3 Aplicações do GNSS

Ser capaz de calcular nossa posição corrente nos dá a possibilidade de aplicar este conhecimento de muitas formas. Esta informação é usada para navegação de carros, aeronaves e embarcações. Nós também podemos usá-la para propósitos de mapeamento, tanto pela obtenção direta em campo como pelo processamento de imagens de satélites ou aéreas que devem ser georreferenciadas usando pontos de controle. Nós também podemos usar informação localizacional para praticar esportes como caminhada ou ciclismo, ou ainda em missões de resgate. Recentemente, o GNSS tem sido usado para agricultura de precisão, para aperfeiçoar o rendimento de safras. Há mais aplicações onde o GNSS pode ser usado, como será apresentado mais adiante.



Figura 25. Recebendo Sinais de Satélites para calcular a posição corrente.
(Fonte: <http://www.defenseindustrydaily.com/images/SPACSatelliteGalileoSystemConceptlg.jpg>
30/05/2009)

2.4 Sistemas GNSS

Como a necessidade pelo GNSS aumenta diferentes nações começaram a trabalhar no desenvolvimento de seus próprios sistemas. Este desenvolvimento iniciou com uma orientação militar como no caso do NAVSTAR-GPS, sistema dos Estados Unidos da América que passou a ser completamente operacional em 1994. O governo russo completou a conste-

lação GLONASS em 1995, mas este sistema precisa atualmente de reparos, mas está programado para estar totalmente operacional e com cobertura global em 2010. A União Européia está trabalhando no desenvolvimento do sistema GALILEO, que está previsto para estar operacional em 2013.

Outros países também preparam seus próprios sistemas de navegação por satélite, como é o caso, da China com o denominado COMPASS que já lançou seus primeiros satélites e pretende lançar mais 10 nos próximos dois anos. Também a Índia que possui grande tradição no lançamento de satélites imageadores, anunciou recentemente que está desenvolvendo o seu próprio sistema de navegação por satélites e deverá lançar 7 satélites nos próximos anos.

2.4.1 GPS

A constelação de satélites GPS iniciou sua operação em Dezembro de 1993. Com uma configuração de 24 satélites organizados em 6 planos orbitais e mais 3 satélites de reserva, os quais possuem uma inclinação de 55 graus e uma altitude de 22.200 Km, que fornecem serviços em todo o mundo. Os satélites GPS transmitem informações em duas frequências denominadas L1, a 1.575,42 Mhz, e L2, a 1.227,6 Mhz, usando o protocolo de comunicação Code Division Multiple Access (CDMA). A informação transmitida pelos satélites é usada para calcular a posição de receptores no momento da transmissão do sinal. O GPS fornece dois serviços, o Serviço de Posição Padrão (Standard Positioning Service - SPS) e o Serviço de Posicionamento Preciso (Precise Positioning Service - PPS). O SPS fornece uma precisão de 100 m horizontal e 156 m vertical (estas precisões referem-se a SA ativada), e este é o serviço que pode ser usado gratuitamente. O PPS fornece uma precisão de 22 m horizontal e 27,7 m vertical, e foi projetado para serviços militares. É por isso que ele também tem um sistema Anti-Imitação (AntiSpoofing - AS) que replica o código de distância até o satélite, e um sistema de Disponibilidade Seletiva (Selective Availability - SA) que nega a precisão total do sistema para usuários do serviço SPS. Estes sistemas de proteção são removidos para usuários do serviço PPS através de criptografia. O plano de modernização para o Sistema GPS incluiu o novo código civil L2C (mais penetrante) e a terceira portadora (L5) que será usada livremente pelos usuários.

O novo código L2C já está disponível 6 satélites, e permitirá melhor acurácia nos posicionamentos dentro de construções e, principalmente, em

áreas arborizadas. Sendo mais robusto e com mais potência que o código C/A, que foi concebido na década de 70, será essencial para o uso em telefones celulares (E911) *indoor* GPS, obtendo melhor qualidade nas medidas de pseudodistâncias e poderá ser rastreado em ângulos de elevação próximos de zero. Além de ter uma potência mais baixa em relação aos demais sinais, o que oferece vantagens nas aplicações, principalmente para os operadores que utilizam baterias.

Foi lançado no dia 24 de março de 2009 o satélite GPS denominado IIR-20 (M), o qual serve de referência, pois será o primeiro satélite a transmitir a nova frequência L5, e desta forma, dará acesso prioritário sobre a mesma ao Sistema GPS. A nova portadora L5 (1176,45 MHz) foi especificada para ser melhor que a L1 em várias formas: mais potente (6 dB); mais resistente à interferência; tem uma componente desprovida de dados, o que melhora a capacidade de rastreamento; melhor acurácia, mesmo com a presença de multicaminho; está localizada numa porção do *spectrum* reservado para os serviços aeronáuticos de radio-navegação (ARNS), sendo essencial para a aviação.

Com a L5 teremos a possibilidade de montar combinações que possibilitarão lidar muito melhor com ambiguidade e com os efeitos da ionosfera. Isso quer dizer resolver ambiguidades mais rápido, e sob condições mais difíceis.

Atualmente o Sistema GPS conta com 31 SVs (Space Vehicle) operacionais em órbita. A Figura 26 mostra um satélite GPS.

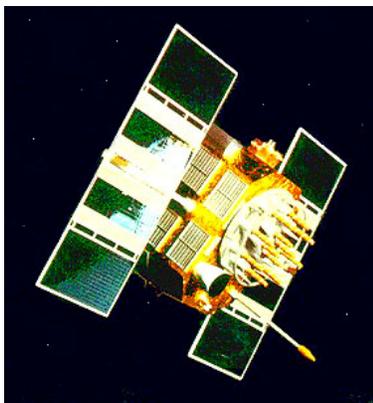


Figura 26. Concepção artística de um satélite GPS.

(Fonte: <http://wiki.sj.cefetsc.edu.br/wiki/index.php/12/08/2009>)

2.4.2 GLONASS

O GNSS criado pela Rússia é o GLONASS, que foi projetado para ter 24 satélites (incluindo 3 satélites de reserva) distribuídos em 3 planos orbitais separados em 110° com 8 satélites por plano. O GLONASS esteve

perto de sua configuração final por volta da metade dos anos 90, mas devido a problemas econômicos e de manutenção nem todos os satélites continuaram trabalhando. Há atualmente um programa de modernização que será finalizado por volta de 2012. O GLONASS foi projetado para uso militar, mas também tem um serviço civil gratuito. Ele usa 2 bandas L e usará 3 no futuro. O GLONASS transmite informações usando o protocolo Frequency Division Code Multiple Access (FDMA), também chamado de FYS. Trabalha com dois níveis de precisão, um para uso militar com aproximadamente 20 m horizontal e 34 m vertical, e outro para uso civil com precisão de 100 m horizontal e 150 m vertical. O serviço militar é também protegido por um sistema antispoofing.

A constelação GLONASS conta hoje com 20 satélites, sendo 19 em operação e um em fase de manutenção. O grupo de veículos provê serviços ininterruptos de navegação em todo o território russo. A partir dos lançamentos de novos satélites em 2009 e 2010, o sistema contará com o número mínimo de 24 veículos para oferecer serviços em todo o globo. Na Figura 27. podemos ver um satélite GLONASS.

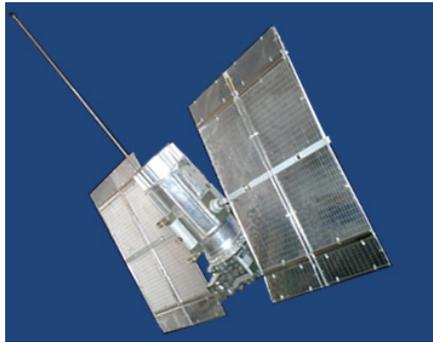


Figura 27. Satélite GLONASS.

(Fonte: <http://www.spacetoday.org/Satellites/GLONASS.html> 30/05/2009)

2.4.3 GALILEO

O GALILEO é um Sistema Europeu de Navegação por Satélites que está em construção e está estimado para ser finalizado em 2013, mas seu cronograma de implantação vem sofrendo constantes atrasos. Teve o primeiro satélite do sistema lançado em 18 de dezembro de 2005, o qual foi chamado de GIOVE A, sendo posteriormente lançado o GIOVE B. O segmento espacial está planejado com a seguinte configuração 30 satélites

(sendo 27 em uso e 3 de reserva), distribuídos em três planos orbitais de 56° e altitude de operação em 23.616 Km. O GALILEO vai fornecer 5 serviços: Serviço Aberto (Open Service - OS), Segurança de Vida (Safety Of Life - SOL), Serviço Comercial, Serviço Público Regulado (Public Regulated Service - PRS), e Busca e Resgate (Search And Rescue - SAR).

A Figura 28 mostra uma concepção artística do satélite GSTB-V2/A (ou GIOVE-A) em órbita, que foi o primeiro satélite lançado da constelação GALILEO.



Figura 28. Concepção artística do GSTB-V2/A em órbita.
(Fonte: http://www.esa.int/esaCP/SEM10V638FE_index_1.html 12/08/2009)

2.4.4 COMPASS

A China também está desenvolvendo seu próprio sistema global de navegação por satélites, o denominado Beidou (ou Compass em inglês) teve seu primeiro satélite enviado ao espaço em abril de 2007, sendo que, em 15 de abril de 2009 foi lançado o segundo veículo. Para que, o sistema esteja completamente operacional são necessários 30 satélites, o que está previsto para ocorrer em 2015.

2.5 Sistemas de Aumentação

Algumas aplicações requerem informações mais precisas do que as fornecidas pelos sistemas GNSS atuais. A forma com que se consegue isso é pela implementação de sistemas de aumentação que não apenas incrementam a precisão, mas também a integridade e disponibilidade. Isto é

feito com a incorporação de estações base cujas posições são conhecidas com precisão de tal forma que os erros dos satélites podem ser calculados e corrigidos. Há Sistemas de Aumentação Baseados em Solo (Ground Based Augmentation Systems - GBAS) como Sistema de Áreas Locais de Aumentação (Local Area Augmentation System - LAAS) ou GPS Diferencial (Differential GPS - DGPS), e também Sistemas de Aumentação Baseados em Satélites (Satellite Based Augmentation Systems - SBAS). Dentre os sistemas SBAS, há os Sistemas de Aumentação de Grande Alcance de Área (Wide Area Augmentation System - WAAS) nos EUA, o Sistema de Aumentação de Satélite Multi-funcional (Multi-functional Satellite Augmentation System - MSAS) no Japão e o Serviço de Cobertura para Navegação Geostacionário Europeu (European Geostationary Navigation Overlay Service - EGNOS).

Neste capítulo, apresentamos uma breve descrição do EGNOS. Uma das mais importantes aplicações na qual um sistema de aumentação é necessário é a aviação civil, particularmente durante a fase de aproximação do voo (pouso)

Os sistemas atuais de aumentação são mostrados na Figura 29.



Figura 29. Cobertura atual dos sistemas de aumentação.

(Fonte: <http://www.netmap.de/domain/192.168.2.200/oe-nav.com/WAAS/waas%20cover.jpg>
30/05/2009)

2.5.1 Sistema de Cobertura para Navegação Geostacionário Europeu - EGNOS

EGNOS é um projeto em conjunto da ESA, da Comissão Europeia e EUROCONTROL (a Organização Europeia para a segurança da Navegação Aérea). O EGNOS é projetado para adequar-se aos requisitos extremamente desafiadores do pouso de aeronaves, então ele também é adequa-

do para a maioria dos requisitos dos usuários. O EGNOS é o sistema de aumento baseado em satélites da Europa. Foi criado para incrementar o sinal dos sistemas GPS (fornecido pelos Estados Unidos) e do GLONASS (fornecido pela Rússia) com o objetivo de fornecer precisão diferencial e informações sobre integridade, de tal forma que o novo sinal pode ser usado para aplicações críticas como pouso de aeronaves, que requerem grande precisão.

2.6 Aplicações GNSS

2.6.1 Agricultura e Pesca

Tomar conta da segurança da produção de alimento é uma grande prioridade para evitar doenças como a Encefalopatia Bovina Espongiforme (Bovine Spongiform Encephalopathy - BSE), também conhecida como a doença da "Vaca Louca", a doença do "Pé-e-boca", ou produtos que têm sido modificados geneticamente. É por isto que medidas de controle são tomadas com o objetivo de aumentar a qualidade da produção de comida e ao mesmo tempo conservar o meio-ambiente. Por outro lado, no setor de pesca, há um grande território a ser protegido de práticas ilegais, para a implementação de regras internacionais, e finalmente, é necessário fornecer uma navegação segura para qualquer tipo de embarcação. Nesta seção, mencionamos alguns exemplos de aplicações nos setores de agricultura e pesca.

2.6.2 Pulverização Química

Como sabemos, produtos químicos são usados para incrementar a produtividade, através do controle de pestes e infestação de ervas-daninhas em safras. O problema é que estes químicos contaminam nosso ambiente e algumas vezes são lançados em áreas onde não são realmente necessários, com um grande impacto econômico. Uma forma como o GNSS pode ajudar é com o posicionamento preciso de aeronaves, de forma que o piloto possa pulverizar herbicidas, inseticidas ou fertilizantes nos lugares corretos e com quantidades apropriadas. Este controle automático vai permitir uma distribuição mais homogênea de produtos, que vai resultar em uma redução da quantidade necessária. Para esta aplicação, um posicionamento preciso

de menos do que 1 metro é requerido, e uma precisão de 1 centímetro seria a ideal. Assim, se conectarmos um receptor GNSS a um veículo de pulverização e a uma base de dados, provavelmente também a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e também usar dados de campo, poderemos controlar o processo de pulverização.

2.6.3 Monitoração de Rendimento de Safras

Esta é outra importante aplicação na qual necessitamos de um efetivo gerenciamento de recursos. Fazendeiros podem identificar suas safras como áreas com maior ou menor rendimento nos seus campos, então eles podem variar a aplicação de produtos químicos com o objetivo de aumentar o rendimento com o menor impacto possível no ambiente e menor custo. Para isso, é necessário um monitoramento contínuo de parcelas de terra. Receptores GNSS podem ser instalados em colhedoras, de forma que elas possam ser rastreadas em campo, escolher áreas específicas para tomar como exemplos, registrar os dados e produzir mapas de rendimento (a partir da análise dos dados).

2.6.4 Extensão de Safras e Rastreamento de Gado

Organizações podem fornecer suporte a fazendeiros que precisam saber qual terra agriculturável está em safra e sua área exata. Estas informações são necessárias para fixar valores ou para pagar um seguro em caso de um evento natural que destrua a safra. Assim, medidas precisas das parcelas agrícolas são necessárias. Fazendeiros geralmente usam documentos cadastrais históricos mostrando as linhas da propriedade para declarar sua área plantada, mas as parcelas atuais mudam a cada estação e a informação não é precisa. É aqui que o GNSS poderia ser usado para obter uma área precisa de safras. As medidas obtidas com o GNSS poderiam ser integradas a um GIS, assim a informação poderia ser re-utilizada para diferentes propósitos.

Fazendeiros poderiam também ser capazes de rastrear o gado através do uso de transponders que poderiam ser ligados a um sistema que os monitora (tipicamente isto é feito com um mapa da área que mostra a posição dos alvos).

Isto pode ser feito para o gado, mas também para qualquer tipo de produto, em qualquer estágio deste produto, como produção, preparação, transporte e venda.

2.6.5 Navegação e Monitoramento de Barcos de Pesca

Uma navegação segura de barcos de pesca pode ser alcançada pelo uso de um sistema de navegação eletrônica, para saber a área onde estão localizados, combinando os dados de uma carta de navegação e sua posição obtida com precisão (isto pode ser obtido com o GNSS).

Barcos de pesca também precisam de transmissão periódica de suas posições (posição, distância e denominação) para os centros de controle, para mantê-los em segurança e também para verificar que eles não estejam localizados em uma zona proibida. Se leis internacionais não estão sendo seguidas, há multas caras e até mesmo a suspensão de direitos de pesca.

2.6.6 Engenharia Civil

A Engenharia Civil é uma área que tem requisitos de grande precisão e confiabilidade, onde o GNSS pode ser usado em combinação com mapas digitais de diferentes fontes, desde o planejamento de estruturas até a manutenção e mapeamento de construções existentes. Aqui mostramos alguns dos usos do GNSS na Engenharia Civil.

2.6.7 Monitoramento de Estruturas

Receptores GNSS podem ser usados para detectar qualquer movimento em uma estrutura como um edifício, uma ponte, ou um monumento histórico. Também podem ser usados para medir os níveis de rios e lagos. A transmissão desses eventos para um centro de monitoramento vai ajudar a detecção em tempo real de qualquer movimento. Por exemplo, muitas pontes têm uma carga maior do que o especificado em seus parâmetros de projeto, e seu monitoramento é necessário. O uso da tecnologia de receptores de satélites e softwares de processamento em tempo real são ferramentas com bom custo-benefício, que podem ser usadas para automatizar os sistemas de monitoramento.

2.6.8 Orientação de Máquinas

Receptores GNSS junto com técnicas cinemáticas em tempo real podem também ser usadas para guiar maquinário pesado em vários tipos

de obras. Também é de grande interesse a orientação automática de máquinas para trabalhar em ambientes perigosos.

2.6.9 Logística e Gerenciamento de Canteiros de Obras

Para locais com grandes construções, as rotas de acesso e as áreas de trabalho nas estruturas mudam constantemente, ao mesmo tempo em que muitos veículos estão se movendo. Estas atividades devem ser eficientemente gerenciadas com o objetivo de evitar confusões que poderiam ser perigosas e resultar em perda de tempo; assim, o GNSS poderia ser usado para fornecer informações altamente precisas e contínuas para o canteiro de obras.

2.6.10 Manutenção da Infraestrutura de Rodovias e Ferrovias

A grande rede de rodovias e ferrovias do mundo precisa de engenheiros civis para fazer sua manutenção. Estas rodovias e ferrovias devem ser monitoradas para a percepção de qualquer mudança na superfície ou nas cargas. O GNSS vai ajudar com medidas precisas como inclinação ou alinhamentos, junto com informações de data e posição.

O processamento desta informação poderia ser feito off-line, evitando interrupções de tráfego, e poderiam ser originadas por veículos de manutenção trabalhando para obter informações fornecidas automaticamente pela tecnologia GNSS.

2.6.11 Energia

Aplicações em energia envolvem projeto, construção, e operação de grandes redes. Por exemplo, a eletricidade deve ser distribuída ao longo de grandes distâncias e a rede dedicada a isto deve ser continuamente monitorada com o objetivo de detectar qualquer quebra de linha e fazendo os reparos o mais breve possível. Uma abordagem similar é seguida nos setores de óleo e gás, onde diferentes tipos de riscos devem ser monitorados para dar o alerta e para aumentar a segurança em caso de trabalho em lugares perigosos (por exemplo, riscos geo-morfológicos e geofísicos).

2.6.12 Sincronização de Redes para Geração e Distribuição de Energia

Há atualmente um crescimento necessário para integrar redes de distribuição de energia, o qual enfatiza a economia de energia e eficiência, e requer sincronização precisa e acurada. O GNSS pode ser usado para sincronização e permite um transporte eficiente de força.

Como um exemplo desta aplicação nós temos que medidas de perturbações devem ser registradas no tempo com erros de menos do que 0,001 segundos (o que pode ser feito com o GNSS). Porém, energia elétrica não é facilmente estocada e quando aparece um erro de funcionamento, uma onda de corrente ou voltagem se propaga ao longo das linhas, danificando equipamentos e causando longas interrupções de serviço. Uma indicação remota de metros poderia poupar custos. Outra aplicação onde o registro preciso de tempo de eventos é necessário é o rastreamento da origem de problemas, de forma que uma ação corretiva possa ser tomada.

2.6.13 Mapeamento de Infraestrutura

Um sistema de mapeamento eletrônico poderia beneficiar a operação de uma instalação elétrica, porque poderia guardar localizações precisas de polos de produção, transformadores, ou até mesmo consumidores, onde a precisão poderia ser alcançada usando o GNSS. Com esta ferramenta de mapeamento, uma falha na infraestrutura poderia ser identificada imediatamente, serviços de manutenção poderiam ser planejados, e tempo poderia ser economizado. O mesmo tipo de aplicação pode ser usado para água, desperdício de água, e instalações de gás.

2.6.14 Meio-Ambiente

O sistema GNSS vai também ser usado para proteger o meio-ambiente. Pode ser usado para rastrear poluentes, cargas perigosas e icebergs, mapeamento dos oceanos e da criosfera, e estudo de marés, correntes e nível dos mares. Também será usado para monitorar a atmosfera, vapor de água para previsão do tempo e estudos climáticos, e a ionosfera para comunicações por rádio, ciência espacial e também previsão de terremotos. Na natureza, pode ser usado para rastrear animais selvagens para tornar possível sua preservação.

2.6.15 Monitoramento Ambiental

O sistema GNSS tem muitas aplicações para o monitoramento ambiental. Conhecendo e estudando os sinais da constelação de satélites disponível no sistema GNSS, podemos determinar com precisão perfis atmosféricos sobre grandes áreas, incluindo densidade, pressão, umidade e padrões de vento. Medidas contínuas de parâmetros atmosféricos vão ajudar na previsão do tempo e no monitoramento do clima. Também será possível fazer estudos dos mares e oceanos, incluindo mapeamento de correntes e marés com bóias flutuantes.

Podemos também estudar calotas de gelo e icebergs. Estudos têm sido feitos para rastrear o derretimento do gelo causado pela erupção de um vulcão sob a placa de gelo. Dados como estes podem ajudar a prever o movimento do gelo e da água. A sistematização do GNSS pode também ser usada em vulcanologia, para estudar movimentos tectônicos e prever terremotos.

2.6.16 Ciências Naturais

Pode ser usado em biologia e proteção animal, pois permitirá o rastreamento contínuo de animais selvagens. Um pequeno receptor pode ser preso a animais protegidos, para seguir seus movimentos e a migração de espécies que possam estar em perigo. Vai ajudar a monitorar, estudar o comportamento, e preservar habitats.

2.6.17 Proteção de Recursos Marinhos

Também pode ser usado para pesquisa relacionada a recursos marinhos. Por exemplo, pode ser aplicado em oceanologia, hidrografia, e ecologia marinha. Uma aplicação seria o estudo de estoques de peixes, onde dados poderiam ser coletados (mapeados) para ajudar no gerenciamento de pescarias, aumentando o rendimento, e melhorando a sustentabilidade. Áreas com restrições à pesca poderiam também ser monitoradas, assim espécies protegidas não estariam em perigo, até mesmo estas áreas a serem protegidas poderiam ser identificadas com a coleta de dados pela comunidade científica. Aqui, o sistema GNSS junto com a coleta de dados e técnicas de análise de dados vai contribuir para uma abordagem harmonizada para a avaliação de estoques globais.

2.6.18 Segurança Ambiental

Há também aplicações para proteger o ambiente e fazer nossas vidas mais seguras, de uma forma mais efetiva. Um exemplo seria o gerenciamento do transporte de óleo, onde os responsáveis por um vazamento de óleo (acidental ou intencional) poderiam ser facilmente identificados. Da mesma forma, um transporte seguro de carga nuclear ou qualquer outro material perigoso vai aumentar a segurança das pessoas e do ambiente.

2.6.19 Seguros

Nesta aplicação, os serviços do GNSS vão permitir a inovação em termos de condições de política. Pode ser usado efetivamente para controlar e monitorar bens valiosos como o caso de ouro, dinheiro, ou qualquer outro item segurado. Estes bens podem estar mais seguros se estiverem continuamente rastreados, com o benefício direto para a companhia seguradora e os consumidores. O GNSS vai fornecer um suporte legal para o setor de seguros e ao mesmo tempo disponibilizar um número de novos serviços (por exemplo, para seguros de carros e imóveis).

2.6.20 Telecomunicações

Serviços de comunicação, combinados com sistemas de localização, têm um grande número de aplicações em posicionamento, busca por endereços, informações sobre tráfego em tempo real, entre outras.

2.6.21 Localização de Telefones Móveis

Há duas razões principais para localizar uma chamada. A primeira para chamadas de emergência (E-112 na Europa e E-911 nos EUA) que têm uma nova legislação em alguns países para aumentar a eficiência de serviços de emergência para os cidadãos com a resposta precisa e rápida a chamados de socorro. A segunda, para disponibilizar novos serviços baseados na localização dos consumidores. A localização de uma chamada pode ser conseguida (tecnicamente) pela integração de um receptor GNSS em um telefone celular (ou solução de mão) ou pelo uso de uma rede de comunicação. Uma vez que a localização da chamada é conhecida, uma série de serviços, conhecidos como Serviços Baseados em Localização (*Location Based Services* - LBS) pode ser oferecida.

2.6.22 Rede de Comunicações

À medida que novas tecnologias digitais fornecem mais serviços de tempo (vídeo em tempo real, vídeo conferência, transações encriptadas banco-a-banco) é necessária uma arquitetura em rede confiável (GSM, UMTS, Internet, ATM). O aumento do número de consumidores desses serviços faz com que os operadores aumentem a qualidade, confiabilidade, e amplitude dos serviços. É por isso que há a necessidade de resolver todos os problemas de tempo e sincronização em redes, relacionados com estes serviços. O GNSS vai ser usado para fornecer informações altamente precisas sobre tempo e frequência, sem a necessidade de investimento em caros relógios atômicos.

2.6.23 Aviação

A navegação por satélites tem sido durante muito tempo um meio alternativo de localização. O GPS tem sido usado como um serviço de posicionamento complementar em diferentes fases de vôo, tanto em lazer como em transporte comercial. No sistema Galileo é utilizado como um recurso o EGNOS que permite ajudar a refinar e melhorar a navegação por satélites e auxiliar pilotos em todas as fases de voo, além de prover a segurança requerida para esse tipo de aplicação.

A disponibilidade do Galileo e do GPS (sendo eles compatíveis) vai fornecer robustez (através da redundância e alta confiabilidade do serviço) para todas as fases de voo.

É previsível que a melhora na precisão e a integridade do serviço vai permitir a redução na separação entre aeronaves no congestionado espaço aéreo, com o objetivo de acompanhar o crescimento do tráfego, o qual tem crescido aproximadamente 4% por ano em todo o mundo nos anos recentes e com uma tendência de dobrar o número de voos em 20 anos. O GNSS vai contribuir para fornecer sistemas de posicionamento confiáveis e precisos para fazer isso possível.

2.6.24 Operações em Portos

Entre as mais difíceis manobras de barcos estão à aproximação em portos e o posicionamento nas docas, particularmente sob condições climáticas ruins. É por isso que a assistência local com navegação por saté-

lites é uma ferramenta fundamental para todos os tipos de operações em portos e posicionamento em docas. A disponibilidade aumentada de satélites vai ajudar a fornecer os serviços até mesmo em ambientes com visibilidade limitada do céu.

2.6.25 Navegação em Hidrovias

Satélites também fornecem navegação precisa ao longo de hidrovias, especialmente em ambientes geográficos críticos ou condições meteorológicas severas. É assim que barcos navegam ao longo de rios e canais, onde a precisão e integridade de dados de navegação são essenciais para automatizar manobras em hidrovias estreitas.

O GNSS vai contribuir para aumentar a disponibilidade de navegação por satélites e, através do serviço de integridade, vai contribuir para a confiabilidade e uso seguro de navegação de barcos automatizada e controle de tráfego.

2.6.26 Aplicações em Rodovias

No setor de rodovias há muitas aplicações para o GNSS à medida que o número de veículos aumenta. Em 2010 haverá mais do que 670 milhões de carros, 33 milhões de ônibus e caminhões, e 200 milhões de veículos comerciais leves em todo o mundo.

Receptores de navegação por satélites são hoje comumente instalados em carros novos como uma ferramenta para fornecer novos serviços para motoristas como informações de tráfego em tempo real, chamadas de emergência, orientação em rotas, gerenciamento de frotas, e Sistemas de Assistência Avançados a Motoristas. Além disso, o GNSS vai oferecer aos turistas urbanos uma disponibilidade adicional de sinais de satélites, reduzindo o efeito de somreamento de edifícios.

2.6.27 Aplicações em Ferrovias

Revitalizar as ferrovias é uma das prioridades de muitos países do mundo na área de Transportes. O compartilhamento do transporte de carga por ferrovias tem declinado de 21% em 1970 para 8% em 1998. É por isso que o GNSS vai ter um importante papel para reverter estes números e melhorar a competitividade do setor de ferrovias.

Capítulo 3: Sistema de Posicionamento Global GPS

3.1 Um breve histórico

Embora hoje a localização espacial seja uma tarefa relativamente simples para o usuário de posicionamento por satélite, ela foi um dos primeiros problemas científicos que o ser humano procurou solucionar. O homem sempre teve interesse em saber onde estava. Inicialmente restrita à vizinhança imediata de seu lar, mais tarde a curiosidade ampliou-se para locais do comércio e por fim, com o desenvolvimento da navegação marítima, praticamente alcançou o mundo todo. Conquistar novas fronteiras, com deslocamento seguro, exigia o domínio sobre a arte de navegar, saber ir e voltar de um local a outro, com conhecimento de seu posicionamento, durante todo o trajeto, tanto na terra como no mar ou no ar.

Por muito tempo o Sol, os planetas e as estrelas foram pontos de referência na orientação. Mas além da necessária habilidade do navegador, as condições climáticas podiam significar a diferença entre o sucesso e o fracasso de uma expedição. Por isto, a navegação exigiu, desde seu início, o desenvolvimento de instrumental de apoio à orientação. Um dos primeiros instrumentos de navegação foi a bússola, invento chinês que proporcionou uma verdadeira revolução na arte de navegar. Mas ainda perdurava um problema: como determinar a posição de uma embarcação em alto-mar? A indicação norte-sul da bússola não é suficiente. O astrolábio a despeito de seu peso e tamanho, possibilitava apenas a obtenção da latitude, sujeita a grande margem de erro. A medição com esse instrumento só podia ser realizada à noite e com boa visibilidade. Melhorias ocorreram, no transcorrer dos anos, com a introdução de novos instrumentos, tais como o quadrante de Davis e o sextante. Este último foi utilizado pelo navegador brasileiro, Amyr Klink, em sua viagem solitária de travessia do oceano Atlântico a remo, desde a Namíbia situada na costa sul da África até a costa nordeste brasileira, realizada no segundo semestre de 1984 e narrada no livro do navegador "Cem Dias entre Céu e Mar".

A determinação da longitude foi considerada o maior problema científico do século XVIII. De qualquer forma, mesmo com os melhores instrumentos, a navegação celeste só proporcionava valores aproximados da

posição, o que nem sempre eram apropriados para encontrar um porto durante a noite.

Com o lançamento do primeiro satélite artificial da Terra, os soviéticos iniciaram a corrida espacial. Foram pioneiros com o lançamento do SPUTNIK I em 4 de outubro de 1957. O rastreamento orbital do SPUTNIK era feito principalmente a partir do conhecimento das coordenadas das estações terrestres de rastreamento e do desvio Doppler dos sinais, gerado no próprio satélite. Este princípio permitiu a determinação da órbita do satélite e foi concebido pelos físicos W. Guier e G. Weiffenbach, pesquisadores do laboratório Johns Hopkins. O processo inverso, ou seja, a idéia de se determinar as coordenadas de pontos sobre a superfície terrestre (que é o objetivo básico do atual GPS), a partir do conhecimento da posição de satélites no espaço, em um determinado instante, deve-se a um outro pesquisador do mesmo instituto, Dr. McLure.

Dentre os primeiros resultados do lançamento de satélites artificiais, com benefícios diretos para a Geodésia, destaca-se a verificação da influência do achatamento terrestre no movimento orbital dos satélites. Concebido por Newton no século XVIII e comprovado através de medidas efetuadas sobre a superfície terrestre, a forma não esférica da Terra, pode ser detectada a partir de anomalias nas órbitas previstas, reflexo direto de variações do campo de gravidade terrestre. No que diz respeito às aplicações da Geodésia, o estudo do campo de gravidade terrestre a partir do movimento dos satélites, permitiu avanços significativos.

Outros setores tecnológicos contribuíram expressivamente para o desenvolvimento do GPS, entre eles, a micro eletrônica e a comunicação via satélites.

Mesmo fundamentados em altas tecnologias, os primeiros sistemas de navegação desenvolvidos, apresentavam algum tipo de problema. Entre estes sistemas, o predecessor imediato do atual GPS, foi o NNSS (Navy Navigational Satellite System). Originalmente idealizado para localização e navegação de navios de guerra americanos, este sistema foi amplamente utilizado para aplicações geodésicas, em todo o mundo. O geoposicionamento propiciado pelo NNSS já era realizado por meio de ondas eletromagnéticas e o sistema era suportado por uma constelação de 8 satélites ativos, em órbitas polares elípticas (quase circulares), a uma altitude média de 1.100 km. O NNSS: que ficou em operação até meados de 1993, tinha dois grandes problemas: não provia cobertura mundial total e havia um lapso de tempo considerável, entre passagens sucessivas dos satélites para um

mesmo ponto na superfície terrestre. Para se obter uma posição acurada, necessitava-se de dois a três dias estacionado num mesmo ponto.

No entanto, como em qualquer área da evolução humana, as experiências foram se acumulando ao longo do tempo, o processo evolutivo culminou com o atual GPS, que é o assunto principal do presente curso.

3.2 Definição

A denominação oficial desse sistema de posicionamento é conhecida pela sigla NAVSTAR GPS, cujo significado é NAVigation Satellite with Timing And Ranging - Global Positioning System.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema espacial de posicionamento, baseado em radionavegação, que vem sendo desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD - Department of Defense), que pode ser usado para determinar a posição, em relação a um sistema de referência, de um ponto qualquer sobre ou próximo à superfície da Terra.

3.3 Sistema de referência do GPS

O GPS permite aos usuários determinar suas posições em coordenadas cartesianas retangulares X, Y, Z em relação ao centro de massa da Terra $(0, 0, 0)$ e posteriormente convertê-las coordenadas elipsoidais expressas em latitude, longitude e altura elipsoidal h (Figura 30).

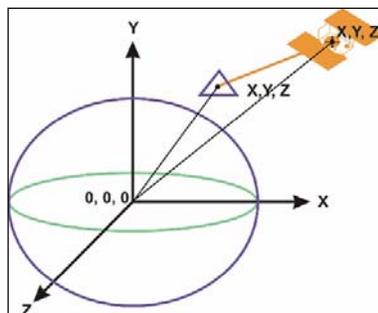


Figura 30. GPS e o sistema de coordenadas cartesiano.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

O sistema de referência usado pelo GPS é conhecido como World Geodetic System (WGS 84). Além de coordenadas, o sistema fornece uma medida de tempo, cujo controle é feita por relógios atômicos. Existem 3 escalas de tempo envolvidos no sistema: o tempo na escala de tempo do satélite, o tempo na escala de tempo do receptor e o tempo na escala de tempo controlada pelo segmento de monitoramento e controle, considerada como a referência de tempo ou o padrão (tempo "oficial do sistema GPS), para o qual os relógios dos satélites e dos receptores deverão ser corrigidos.

As especificações de uso do sistema de posicionamento global para usuários civis do sistema são:

- Disponibilidade contínua 24 horas/dia
- Cobertura Global
- Latitude/Longitude/Altitude/Data/hora
- Precisão absoluta 100/156 metros (HV) sob SA (10 vezes melhor após maio de 2001)
- Precisão relativa 5m - 0,005m

As principais vantagens do sistema, em relação aos métodos tradicionais de levantamento são: Visada:

- Dispensa intervisibilidade entre as estações;
- Permite determinar linhas mais longas. Precisão:
- Métodos que cumpre normas do IBGE e INCRA. Rapidez:
- Automatização na coleta, processamento por programas específicos, Coordenadas tridimensionais - 3D:

- Transporte plamaltimétrico simultâneo.

As principais desvantagens do sistema, em relação aos métodos tradicionais de levantamento são:

Visada aos satélites:

- problemas com vegetação densa, úmida e alta;
- vetado para túneis/minas subterrâneas.

Área urbana alta:

- multicaminhamento;
- poucos satélites GPS disponíveis (obstrução do sinal).

Custo (ainda) alto:

- equipamentos e suprimentos;
- operadores;

Não realiza nivelamento:

- necessita informação "geoidal".

3.4 Composição ou segmentos do sistema

A estrutura do Sistema de Posicionamento Global é dividida em três entidades principais: segmento do espaço ou espacial, segmento de controle e monitoramento e segmento dos usuários (Figura 31).

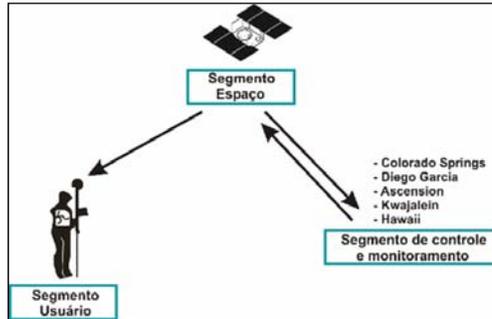


Figura 31. Os três segmentos do sistema GPS. (Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.4.1 Segmento do Espaço

A estrutura final do sistema compreende 27 satélites (24 operacionais e 3 de reserva) distribuídos em 6 planos orbitais, com 4 satélites operacionais por plano, inclinados de 55° em relação ao plano do equador e uma altura dos satélites de aproximadamente 20.000 km (Figura 32). Esta configuração implica num período de 12 horas para completar uma volta em torno da Terra.

O objetivo dessa forma de distribuição dos satélites (configuração da constelação) é assegurar, que em qualquer ponto sobre a superfície da Terra ou próxima a ela, a disponibilidade mínima de 4 satélites acima do horizonte durante as 24 horas do dia.

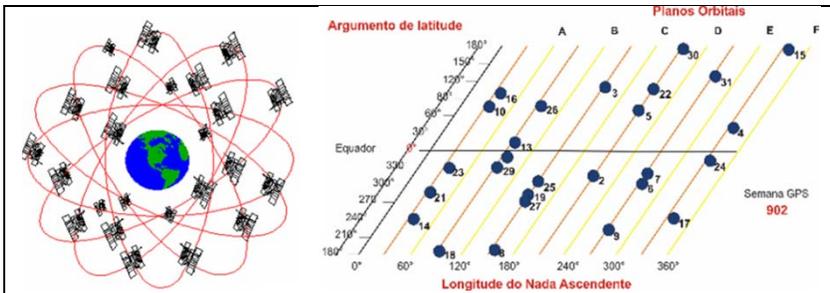


Figura 32. Distribuição do segmento espacial. (Fonte: Robaina e Caten, 2006)

O segmento do espaço é formado pelos satélites que possuem as seguintes funções:

- a) Manter uma escala de tempo bastante precisa. Para isso cada satélite possui dois relógios de césio e de rubídio;
- b) Emitir dois sinais ultra-sensíveis em frequência, modulados em fase através dos códigos denominados pseudo-aleatórios, sobre as duas frequências específicas do sistema $L1 = 1.57542$ GHz e $L2 = 1.22760$ GHz;
- c) Receber e armazenar as informações oriundas do segmento de controle;
- d) Efetuar manobras orbitais para guardar a sua posição definida na constelação ou para substituir um outro satélite defeituoso;
- e) Retransmitir informações (mensagens de navegação) ao solo.

3.4.1.1 Satélites GPS

Os satélites GPS (Figura 33) são transmissores de sinais de rádio, gerados a partir de uma frequência fundamental de 10,23 MHz, a partir de osciladores de Césio ou de Rubídio e todas as outras frequências são derivadas da fundamental.

Sua identificação pode ser feita de várias maneiras, mas a forma mais utilizada é através do seu PRN (Pseudo Random-Noise - em português poderia ser traduzido como ruído falsamente aleatório) ou SVID (Space Vehicle Identification - identificação do veículo espacial). Este é o número que aparece no visor da maioria dos aparelhos receptores GPS, para identificar os satélites que estão sendo rastreados. Publicações e distribuição de informações técnicas sobre os satélites, inclusive na internet, normalmente utilizam o PRN como identificador.

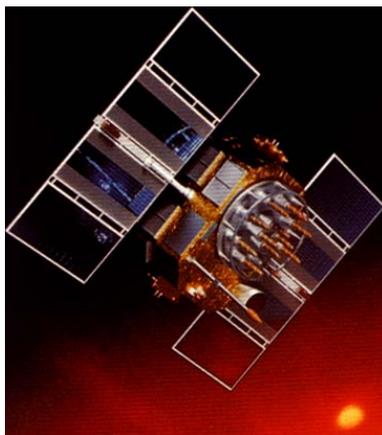


Figura 33. Satélite GPS.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.4.1.2 O tempo GPS

O sincronismo do tempo entre os relógios dos satélites e dos receptores é de extrema importância no processo de posicionamento. Portanto, cada satélite carrega padrões de frequência altamente estáveis (baseados nos pulsos atômicos do Césio e do Rubídio), com estabilidade entre 10-12 e 10-13 segundos por dia, constituindo uma referência de tempo extremamente precisa, denominada de tempo GPS. Originalmente quatro conjuntos de satélites fizeram parte do projeto NAVSTAR-GPS. São denominados satélites dos blocos I, II, MA e IIR. Os satélites dos blocos II e IIA estão equipados com dois osciladores atômicos de Césio e dois de Rubídio, enquanto os do bloco I eram equipados apenas com osciladores de quartzo, muito menos precisos. Os satélites do bloco IIR estão sendo equipados com osciladores de Rubídio, e os do bloco IIF poderão utilizar o MASER de hidrogênio (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), o que há de melhor nos dias atuais, em termos de padrão de frequência.

3.4.1.3 Estrutura do Sinal dos Satélites GPS

Os satélites transmitem duas ondas de rádio denominados portadoras, obtidas pela multiplicação eletrônica da frequência fundamental pelo fator 154 e 120 (Figura 34).

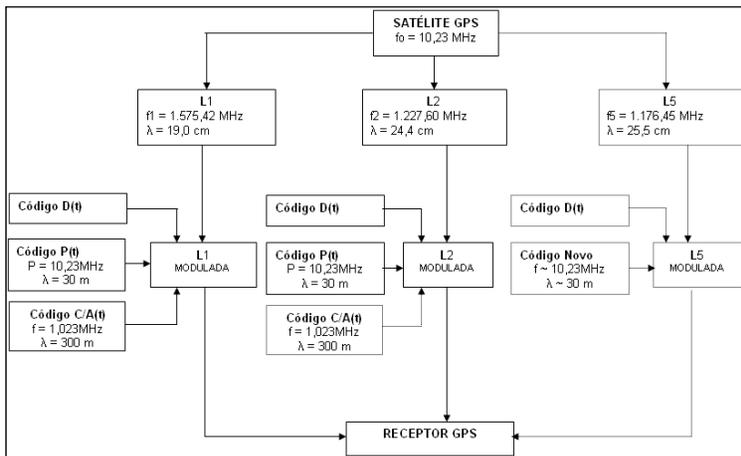


Figura 34. Estrutura do Sinal GPS.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Como as frequências obtidas estão na faixa da banda L de radio-frequências (1000 a 2000 MHz), as portadoras transmitidas são conhecidas como L1 e L2, com frequências $f_1 = 1575,42$ e $f_2 = 1227,60$ MHz, respectivamente. Os comprimentos de onda calculados por $\lambda = c / f$ são, aproximadamente $\lambda_1 = 19,0$ cm e $\lambda_2 = 24,4$ cm, adotando-se para a velocidade da luz (c) o valor de 299.792.458 m/s.

Os satélites transmitem continuamente dois códigos modulados em fase sobre as portadoras L1 e L2. Sobre a L1, modula-se o código C/A (Clear Access ou Course Aquisition) e sobre as portadoras L1 e L2, modula-se o código P (Precise Code).

O código C/A apresenta uma frequência de 1,023 MHz e um comprimento de onda de 300m, enquanto que o código P é gerado na frequência fundamental de 10,23 MHz, apresentando um comprimento de onda de 30m.

Sobre as portadoras L1 e L2 é modulado também o Código D o qual carrega as mensagens de navegação contendo as efemérides, correções dos relógios dos satélites e "saúde" dos satélites que são utilizados pelos receptores (Quadro 04).

Quadro 04. Arquivo de Navegação - Efemérides transmitidas pelo satélite em tempo real.

2.10	N: GPS NAV DATA	RINEX VERSION / TYPE
teqc 2007Jun25	Gerencia da RBMC 20090331 08:30:04UTC	PGM / RUN BY / DATE
Linux 2.4.21-27.Elsmpl	Opteron gcc Linux x86_64 +=	COMMENT
2	NAVIGATION DATA	COMMENT
CCRINEXN V1.6.0 UX	CDDIS 31-MAR-09 02:51	COMMENT
IGS BROADCAST EPHEMERIS FILE		COMMENT
0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
0.000000000000D+00	0.000000000000D+00	0
15		0 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
		LEAP SECONDS
Orbitas transmitidas adaptadas do arquivo brdc de orbitas		COMMENT
Transmitidas disponibilizadas pelo IGS		COMMENT
		END OF HEADER
2 09 3 30 0 0 0.0	1.540374942120D-04-5.684341886080D-13	0.000000000000D+00
6.200000000000D+01	7.343750000000D+01	4.541974796270D-09-1.796955667420D+00
3.799796104430D-06	9.040987235490D-03	1.189857721330D-05
5.153641262050D+03	8.640000000000D+04-1.471489667890D-07	5.950437661670D-01-3.725290298460D-08
9.419504135240D-01	1.432812500000D+02	2.761269496040D+00-7.966760584570D-09
7.250301747860D-11	1.000000000000D+00	1.525000000000D+03
0.000000000000D+00	2.000000000000D+00-1.722946763040D-08	6.200000000000D+01
8.161800000000D+04	4.000000000000D+00	
3 09 3 30 0 0 0.0	3.723301924760D-04	5.115907697470D-12
0.000000000000D+00	5.300000000000D+01-3.606250000000D+01	5.371295164570D-09-2.158193449420D+00
-1.909211277960D-06	1.173369609750D-02	6.793066859240D-06
5.153738094330D+03	8.640000000000D+04	8.381903171540D-08-5.515159421780D-01-1.080334186550D-07
9.263818023320D-01	2.284062500000D+02	8.945245024100D-01-8.220699567990D-09
-3.514432104490D-10	1.000000000000D+00	1.525000000000D+03
0.000000000000D+00	2.000000000000D+00-4.190951585770D-09	5.300000000000D+01
7.921800000000D+04	4.000000000000D+00	

As Efemérides são parte das mensagens transmitidas (broadcasting) pelos satélites, em tempo real, com informações de sua órbita e do seu sistema de tempo, a partir das quais pode-se calcular as coordenadas dos satélites no sistema de referência WGS 84.

3.4.2 Segmento de Controle e Monitoramento

O segmento de controle tem a função de realizar o monitoramento contínuo dos satélites, calcular suas posições, transmitir os dados e executar a supervisão necessária para o controle de todos os satélites do sistema.

Os componentes desse segmento do sistema GPS são: estação de controle central, estações de monitoramento e controle e antenas terrestres.

O sistema de controle (Figura 35) é composto de: 1 estação de controle central (MCS - Master Control Station), localizada em Colorado Springs, Colorado; 5 estações monitoras (Hawaii, Colorado Springs, Ascension Island, Diego Garcia e Kwajalein), as 3 últimas possuem antenas para transmissão de dados para os satélites. As 5 estações de monitoramento pertencem à AAF (American Air Force). Adicionalmente, um conjunto de 7 estações do NIMA (National Imagery and Mapping Agency), formam, com as 5 anteriormente mencionadas, o conjunto total das estações monitoras do GPS.

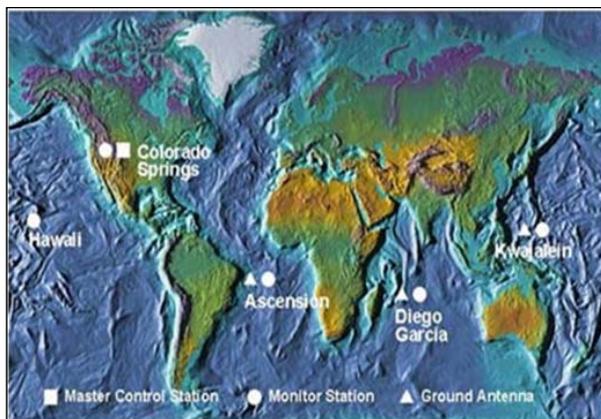


Figura 35. Segmento de controle.

(Fonte:

<http://www.faa.gov/about/officeorg/headquartersoffices/ato/serviceunits/techops/navservices/gnss/gps/controlsegments/media/controlSegment.jpg> 30/05/2009)

Cada estação monitora é equipada com oscilador externo de alta precisão e receptor de dupla frequência, que rastreia todos os satélites visíveis e transmite os dados para a MCS, via sistema de comunicação. Os dados são processados na MCS para determinação das órbitas dos satélites, que, juntamente com as correções dos relógios dos satélites, são transmitidos, para fins de atualização periódica das mensagens de navegação. Os dados de determinação das órbitas são denominados efemérides. O IGS (International GPS Service - Serviço GPS Internacional), estabelecido pela IAG (International Association of Geodesy - Associação Internacional de Geodésia), tem capacidade de produzir efemérides com precisão da ordem de poucos centímetros em cada uma das coordenadas do satélite, permitindo atender à maioria das aplicações que exige alta precisão. Essas efemérides ficam disponíveis aos usuários no prazo de 1 semana a partir da coleta dos dados. O IGS produz também efemérides preditas, com precisão da ordem de 1 m, disponibilizando-as, para a comunidade de usuários, poucas horas antes do início de sua validade.

Uma vez que satélites dão uma volta completa em torno do planeta a cada 12 horas, os satélites do GPS passam sobre algumas estações de monitoramento do Segmento de Controle, duas vezes ao dia possibilitando medir a sua altitude, posição e velocidade. As variações encontradas são, geralmente, causadas por fatores tais como: atração gravitacional da Lua e do Sol e pressão da radiação solar sobre o satélite. Uma vez obtida a posição do satélite, a Estação Mestre devolve essa informação para o próprio satélite que a transmitirá para os receptores.

A comunicação dos satélites é bidirecional com as antenas terrestres, tanto recebem como enviam dados enquanto a comunicação dos receptores com os satélites é unidirecional, isto é, somente os satélites enviam dados (Figura 36).

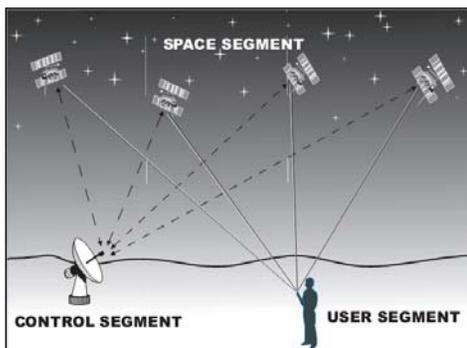


Figura 36. Direção da comunicação em cada segmento. (Fonte: <http://www.garmin.com/aboutGPS> 15/06/2008)

3.4.3 Segmento do Usuário

Este segmento compreende os usuários do sistema, os tipos de receptores e os serviços de informações de apoio disponíveis.

3.4.3.1 Serviços Oferecidos e Tipos de Usuários

Os serviços oferecidos pelo sistema GPS são de dois tipos, de acordo com o acesso do usuário às informações:

O SERVIÇO DE POSICIONAMENTO PADRÃO - SPS: os usuários desse tipo de serviço têm acesso aos dados do GPS como são transmitidos, com todo tipo de degradação (SA) e criptografia do código P (AS), sendo composta da comunidade civil com acesso ao código C/A sem restrição. O uso civil é caracterizado pela não obtenção de coordenadas precisas, em tempo real, por um único receptor.

O SERVIÇO DE POSICIONAMENTO PRECISO - PPS: os usuários deste tipo de serviço tem acesso aos dados do GPS, como os dados dos relógios dos satélites não adulterados (sem SA) e ao código P sem criptografia (sem AS), sendo composto dos militares dos EUA e usuários autorizados.

3.4.3.2 Receptores GPS

3.4.3.2.1 Componentes

Os principais componentes dos receptores de sinais GPS, são a ANTENA com pré-amplificador, uma SECÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIA (RF) para identificação e processamento do sinal, MICROPROCESSADOR para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados, OSCILADOR, responsável pela geração da frequência interna do receptor, INTERFACE com o usuário, como painel de exibição de dados e comandos de operação, que permitem a configuração do receptor antes dos levantamentos, FONTE DE ENERGIA e MEMÓRIA para armazenar os dados coletados.

Sob o ponto de vista prático, especial interesse reside na antena utilizada, que deve garantir estabilidade do seu centro de fase em relação ao seu centro geométrico e proteção ao multicaminhamento, sendo que esse efeito é atenuado com a instalação da antena sobre um disco de metal

(ground plane) ou pelo uso de dispositivos compostos por faixas condutoras concêntricas com o eixo vertical da antena e fixado ao disco (choke ring), cuja função é de impedir que a maioria dos sinais refletidos sejam recebidos pela antena.

3.4.3.2.2 Tipos de Receptores

Os receptores podem ser divididos segundo vários critérios, dentre os quais se destacam os seguintes:

3.4.3.2.2.1 Quanto ao Número de Frequências

Podem-se encontrar receptores de:

a) **SIMPLES FREQUÊNCIA:** nos quais a antena desses receptores recebem somente a frequência L1 e o acesso para o código C/A é dado pela correlação entre o sinal do satélite com uma réplica gerada no receptor.

b) **DUPLA FREQUÊNCIA:** que recebem duas frequências L1 e L2 e podem ter acesso ao código C/A e ao código P.

3.4.3.2.2.2 Quanto ao Número de Canais

a) **MONOCANAIS:** que são os receptores que possuem apenas um canal que se move rapidamente de um satélite para outro. Estes tipos de receptores são construídos com um número reduzido de circuitos e por isso são mais baratos. São mais lentos na atualização das coordenadas, imprecisos e são mais susceptíveis a perda de ciclo durante a observação;

b) **MULTICANAIS:** possuem vários canais independentes para rastrear, simultaneamente, cada satélite visível no horizonte.

3.4.3.2.2.3 Quanto ao Tipo de Canais

Nesta categoria podem-se encontrar os receptores com canais do tipo:

a) **SEQUENCIAIS ou INDEPENDENTES:** nos quais cada canal rastreia um único satélite de cada vez, passando a captar dados de outro satélite tão logo tenha armazenado dados suficiente para o cálculo das coordenadas do ponto;

b) **MULTIPLEXADOS:** que tem funcionamento semelhante aos receptores de canais sequenciais, mas apresentam a vantagem de serem mais rápidos na mudança para a captação dos dados de outros satélites. Possuem circuitos mais complexos, sendo mais precisos e mais caros.

3.4.3.2.2.4 Quanto ao Tipo de Sinal Observado

Existem receptores que rastreiam:

- Apenas código C/A;
- Código C/A e a portadora L1;
- Código C/A e as portadoras L1 e L2;
- Códigos C/A e P e as portadoras L1 e L2;
- Somente a portadora L1;
- Portadoras L1 e L2 (receptores sem código).

3.4.3.2.2.5 Quanto ao Tipo de Levantamento

a) **NAVEGAÇÃO:** São os equipamentos que fornecem o posicionamento em tempo real baseado no código C/A ou P. A distância satélite-receptor é medida através do tempo de propagação com precisão no SPS da ordem de 3 a 10m e precisão PPS na ordem de 0.3 a 1 m, com a AS desativada. Os aparelhos que usam o código P estão restritos ao uso militar ou usuários atualizados. Se dotados de link de rádio podem receber correções diferenciais provenientes de uma estação base;

b) **TOPOGRÁFICOS:** Estes equipamentos trabalham com a fase da portadora L1, com pós-processamento dos dados em software específico e auxiliados por acessórios de apoio (tripés e bastões com nível de calagem) atingem uma precisão da ordem de 1cm. Existe ainda outros receptores, denominados de cadastrais que se distinguem dos anteriores pela sua capacidade de armazenamento de dados alfanuméricos associados às feições levantadas (ponto, linha, área). Uma vez que trabalham com o código ou com a fase apresentam precisões de 10 cm a 1m;

c) **GEODÉSICOS:** que são receptores de dupla frequência (L1 e L2). Os receptores de dupla frequência com seus recursos eletrônicos sofisticados sofrem menos os efeitos da ionosfera e conseguem resolver a ambigüidade mais rapidamente, de modo que pode-se conseguir precisões em pós-processamento da ordem de 5mm + 1 ppm com metade do tempo que um receptor topográfico. São indicados para atividades como transporte de coordenadas e controle de redes. Quando utilizados em trabalhos topográficos conseguem-se produtos de escala melhor que 1:1000. Os receptores L1/L2 que rastreiam o código C/A e o código P em ambas as portadoras, quando dotados de link de rádio podem ser utilizados para a determinação de coordenadas em tempo real e competem com as modernas estações totais na locação de obras;

d) **HÍBRIDOS**: que são receptores capazes de rastrear satélites da constelação GPS, de origem norte americana com da constelação GLONASS (Global Navigation Satellite System), de origem russa. São poucos receptores disponíveis no mercado e atualmente não apresentam vantagens significativas pela fraca manutenção dada ao sistema russo.

Independentemente do tipo de classificação, o que realmente é importante para o usuário é a precisão desejada para a aplicação requerida, lembrando que esta é função de outros elementos, como por exemplo, o tipo de posicionamento, a observável utilizada, o comprimento da linha base, o número, a geometria e a condição dos satélites observados, o tempo de observação, dentre outros.

3.5 Princípio Básico do Posicionamento

Posicionamento consiste na determinação da posição de objetos em relação a um referencial específico. Embora o GPS empregue alguns dos equipamentos da mais alta tecnologia já construídos e softwares sofisticados, o princípio básico do posicionamento por satélite é relativamente simples.

O cálculo de posicionamento do receptor GPS está baseado nas distâncias entre o receptor e os satélites e, ainda, da posição de cada satélite no espaço cartesiano. Isso significa que se determina a posição na terra medindo as distâncias para um grupo de satélites localizados no espaço. Os satélites atuam, na realidade, como pontos de referência precisa.

O princípio básico do posicionamento usado pelo GPS é conhecido como trilateração eletrônica: determinando as distâncias de um ponto de posição desconhecida a 3 outros pontos de posições conhecidas, então se determina a posição do ponto desconhecido.

Para ilustrar, suponha que na Figura 37 A, B e C sejam 3 radiofaróis instalados em uma região costeira em posições conhecidas (latitude, longitude e altitude) e que o barco receba mensagem dos radiofaróis informando suas posições. Se algum equipamento no barco conseguir calcular as distâncias aos 3 radiofaróis, então, usando essas distâncias juntamente com as coordenadas dos radiofaróis, é possível calcular as coordenadas do barco.

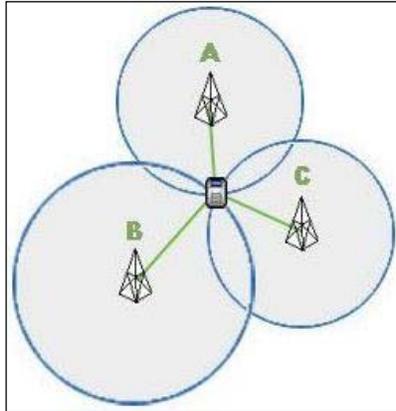


Figura 37. Trilateração

(Fonte: <http://blogs.businessmobile.fr/wp-content/i/2006/05/bt2-5.jpg> 30/05/2009)

Para o caso de GPS então, sendo dado um sistema cartesiano de referência, no caso WGS 84, um ponto A pode ser determinado por suas coordenadas X, Y e Z (Figura 38).

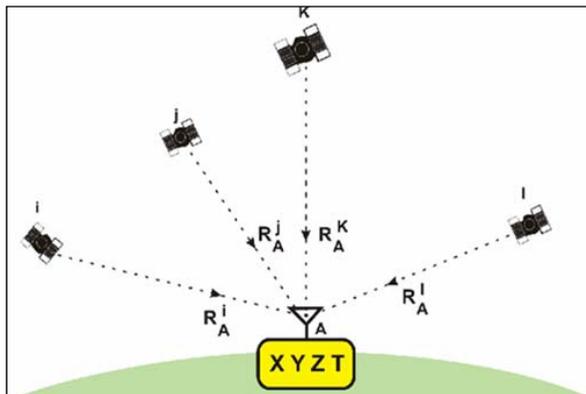


Figura 38. Trilateração por satélite.

(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

A ideia básica do posicionamento por satélites GPS, consiste em 3 procedimentos fundamentais:

Medir as distâncias satélite-receptor.

Determinar as coordenadas dos satélites X_s , Y_s e Z_s .

Calcular as coordenadas do receptor no ponto A (X_A , Y_A e Z_A).

3.5.1 O processo de trilateração a partir de satélites

Inicialmente é conhecida a localização de alguns satélites no espaço. Se um objeto encontra-se a certa distância do satélite 1, em torno de 20.000 km, isso significa que estará em algum lugar sobre uma superfície esférica imaginária que está centrada no satélite 1, cuja esfera tem um raio de 20 000km (Figura 39).

Sabendo que o mesmo objeto está também a 21.000km de um outro satélite 2, então estará ao mesmo tempo sobre uma outra superfície esférica imaginária com o raio de 21.000 km com centro no satélite 2. Entretanto, somente um lugar no universo poderá conter esta posição, que fica, ao mesmo tempo, a 20.000 km do satélite 1 e a 21.000 km do satélite 2. Este lugar é a circunferência formada pela interseção das duas superfícies esféricas (Figura 40).

Sabendo que a distância do objeto para um terceiro satélite é de 22.000 km, da mesma forma que nos dois satélites anteriores, o objeto estará na superfície esférica com raio de 22.000 km centrada no 3o satélite. Nestas condições, existirão somente dois pontos, no espaço, onde o objeto poderá estar. Estes dois pontos são aqueles onde a superfície esférica de 22.000 km corta a circunferência formada pela interseção das superfícies esféricas de 21.000 km e de 20.000 km.

Pela medição da distância ao terceiro satélite fica reduzida a área de incerteza à apenas dois pontos no espaço (Figura 41).

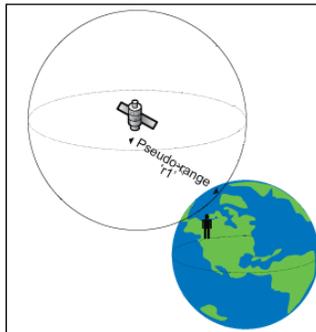


Figura 39. Superfície de contorno em um satélite.

(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

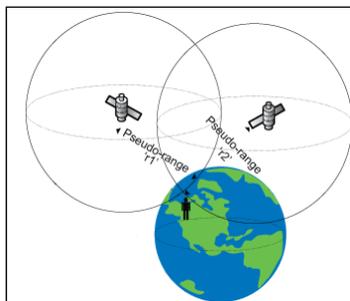


Figura 40. Superfície de contato entre dois satélites.

(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

A posição correta do objeto é determinada a partir do fato de que uma dessas é impossível de se aceitar, normalmente localizado a uma grande distância da Terra.

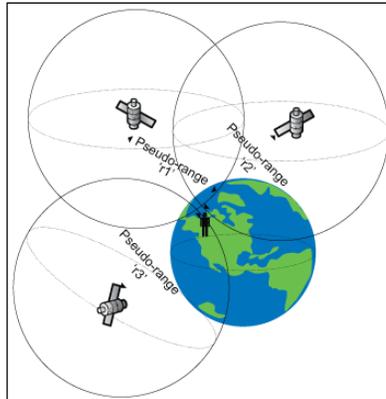


Figura 41. Superfície de contato entre três satélites.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Os programas de cálculo dos receptores GPS possuem técnicas que permitem identificar com segurança o ponto correto de nossa localização.

Os receptores GPS utilizam este princípio, usando satélites como pontos de referência, para triangular a sua posição na superfície da Terra. Embora em movimento, os satélites podem ser considerados como âncoras no processo de amarração do posicionamento, pois os receptores realizam cálculos instantâneos a cada segundo.

3.5.2 Medição da Distância Satélite-Receptor

Existem duas formas utilizadas para a medição da distância do satélite ao receptor: através do tempo de propagação do sinal e através da medida de fase da portadora.

3.5.2.1 Pelo Tempo de Propagação - Código C/A ou P

A necessidade de posicionamento instantâneo em algumas aplicações de GPS é satisfeita através do posicionamento por pseudo-distância ou também conhecida por posicionamento por código. A pseudodistância

nada mais é que a distância do receptor a um satélite, calculada com base no tempo de trânsito do sinal, desde o satélite até o receptor. O tempo de trânsito (dt) é obtido mediante comparação, entre o código recebido do satélite e uma réplica deste, gerada no receptor (Figura 42). A defasagem entre os dois códigos (o recebido e o gerado no receptor), possibilita determinar o tempo de trânsito do sinal transmitido pelo satélite, desde que haja um perfeito sincronismo entre os relógios do satélite e o do receptor.

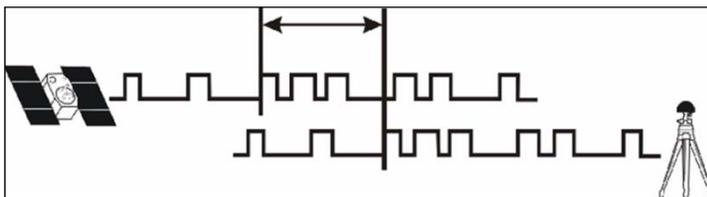


Figura 42. Defasagem do código C/A.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

O posicionamento do receptor GPS é calculado com base na sua distância para os satélites no espaço. Portanto, precisamos de um método para calcular essa distância. Surpreendentemente, a idéia básica está na velha fórmula $D = V \cdot T$ (Distância é igual a Velocidade multiplicada pelo Tempo), das aulas de Física.

Como visto anteriormente cada satélite transmite, simultaneamente, (em acurado sincronismo), duas ondas portadoras, a L1 e a L2. As ondas (eletromagnéticas) destas portadoras, se deslocam a velocidade da luz que é de 300.000 km/s (valor aproximado). Assim, de posse do tempo de trânsito do sinal e multiplicando este tempo, expresso em segundos, por 300.000 km/s, obtém-se a nossa distância para o satélite. Na equação $D = V \cdot T$ se conhece a velocidade que é de 300.000 km/s, sendo o tempo T determinado na seqüência.

Os relógios necessitam ser muito precisos de modo a registrar espaços de tempo muito curtos, uma vez que a onda eletromagnética move-se muito rapidamente. Para se ter uma idéia: um satélite que estivesse a uma distância de 20.200km, uma mensagem transmitida por ele levaria aproximadamente 0,066 segundos para alcançar a superfície da Terra. Este tipo de acuracidade só é possível por meio de relógios eletrônicos muito precisos. Os relógios de pulso marcam o tempo com razoável precisão, mas, mesmo assim, são inaceitáveis para os cálculos do GPS. Os relógios dos

receptores GPS são muito mais precisos. A maioria dos receptores pode medir o tempo com uma acuracidade de nano segundos (10^9 segundos).

3.5.2.2 Pela Diferença de Fase - Portadora L1 ou L2

A distância satélite-receptor é determinada pela medida da fase α (parte fracionária do comprimento de onda λ) adicionada à contagem de ciclos inteiros de comprimentos de onda β e o número inteiro de ciclos de onda desconhecidos N (ambiguidade) (Figura 43).

$$\text{Distância: } R = (\phi + N) \cdot \lambda$$

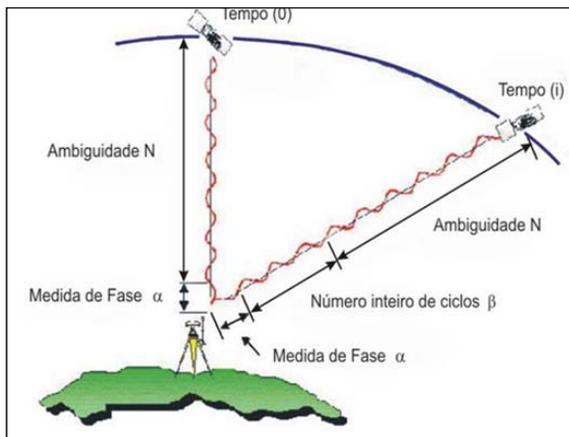


Figura 43. Posicionamento pela portadora.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Sendo $\phi = \alpha + \beta$ na qual α é a medida de fase (fração do comprimento de onda) e β é o número de ciclos inteiros contados a partir do "lock-on" com o satélite e λ o comprimento de onda ($L1 = 19,0$ cm e $L2 = 24,4$ cm).

3.5.3 Coordenadas dos Satélites X_s , Y_s e Z_s

A obtenção das coordenadas dos satélites pode ser obtida por duas diferentes alternativas, através das efemérides transmitidas pelos satélites ou as efemérides precisas, as quais podem ser obtidas com diferentes níveis de precisão.

3.5.3.1 Efemérides Transmitidas

Os sinais transmitidos pelos satélites GPS fornecem através da mensagem de navegação (Código D) os elementos orbitais necessários para o cálculo das coordenadas de cada satélite (XSI Ys e Zs), bem como os coeficientes para a correção do relógio dos satélites. As coordenadas obtidas estão associadas ao WGS 84 e são as utilizadas para a determinação das coordenadas do receptor (XA, YA e ZA) em tempo real ou pós processadas (Quadros 04, 05 e 06).

Quadro 05. Tipos de efemérides precisas.

Acurácia			
Tipo	Coordenadas (cm)	Relógio (ns)	Disponibilidade
IGS - Precisas	5	0,3	De 7 a 10 dias após o rastreio
IGR - Rápidas	10	0,5	Até 48 horas após o rastreio
IGP - Preditas	50	150	Horas antes do dia a que se refere

Quadro 06. Exemplo do arquivo de efemérides precisas - coordenadas X_s, Y_s, Z_s e $\delta^j(t)$.

*	2004	3 18 12 0	0.00000000		
P 1	5412.075479	-16983.693475	-19508.607623	335.277673	
P 3	19040.281259	3234.252335	18229.086780	94.654492	
P 4	-11520.406323	-10231.183537	-21591.071811	-91.013035	
P 5	-17847.206800	12753.905944	-14986.065197	22.078311	
P 6	2072.954135	22354.584978	-13900.224934	-2.748501	
P 7	-16950.742245	-20134.483115	-3784.756231	599.007754	
P 8	-5456.633231	-17051.550811	19319.372153	340.898064	
P 9	-15275.600963	20451.002761	6149.490671	-35.024638	
P 10	-26663.306151	1074.805491	1232.062838	41.196094	
P 11	13847.924917	-21943.497369	5316.845533	103.907947	
P 13	-5442.851281	-23574.610565	-11092.897839	-30.380908	
P 14	16576.335151	19960.356873	-5597.866203	-18.241195	
P 15	10539.004225	10978.507146	21518.089151	240.930828	
P 16	26330.542661	1547.176641	-3106.503143	14.731612	
P 17	-19239.640072	13541.969962	-11378.059002	236.673821	
P 18	3168.257273	15105.348390	21662.504049	-19.447544	
P 20	13715.634084	-13254.140019	-18552.970420	-179.644768	
P 21	-2415.403711	22423.346112	13656.934904	73.893864	
P 22	16227.429331	12468.949401	17068.288246	-27.432330	
P 24	-17593.374689	3333.336765	-19344.836072	12.657667	
P 25	13856.725562	6739.397948	-21265.081764	62.840316	
P 26	-14431.082816	4161.742854	21702.460688	390.607657	
P 27	2248.799537	-23787.353524	11524.616202	28.886209	
P 28	-15855.706176	-12251.230468	17773.339848	24.435665	
P 29	-16975.573778	-673.058718	20697.070923	233.987793	
P 30	-2784.527581	15722.724463	-21445.934463	825.370376	
P 31	11973.886100	-10020.798022	21140.096115	36.200027	

3.5.4 Cálculo das Coordenadas do Receptor X, Y e Z

O cálculo das coordenadas da antena do receptor envolve tipos de medidas efetuadas, modelos matemáticos empregados e modos de posicionamento utilizados.

3.6 Fatores que Afetam a Precisão do Posicionamento por Ponto

3.6.1 Erros relacionados aos satélites

3.6.1.1 Não Sincronização do Relógio do Satélite com Tempo GPS

A mensagem de navegação traz os coeficientes necessários para o cálculo da correção do relógio dos satélites, na época da realização das medidas.

A expressão utilizada para realizar correção ou a sincronização do tempo no relógio do satélite com o tempo GPS é dada por:

$$\delta^j = a_0 + a_1 \cdot (ts - t_{oc}) + a_2 \cdot (ts - t_{oc})^2$$

Na qual a_0 , a_1 , a_2 e t_{oc} são obtidas na mensagem de navegação, sendo $ts = T_s + \delta^j$ o tempo na escala GPS, na qual, t_s é o tempo na escala do relógio do satélite.

3.6.1.2 Forma de Cálculo das Coordenadas dos Satélites

As informações orbitais podem ser obtidas a partir das efemérides transmitidas pelos satélites ou a partir das pós-processadas pelo segmento de controle do sistema GPS, denominadas efemérides precisas ou ainda pelo uso das efemérides preditas pelo IGS (Internacional GPS Service).

O Quadro 07 demonstra o erro esperado na determinação de uma linha base de diferentes comprimentos utilizando diferentes fontes para o cálculo das coordenadas dos satélites (X_s , Y_s e Z_s).

Quadro 07. Erro em função da fonte de coordenadas para os satélites.

Efemérides	Erro orbital (m)	Linha base (km)	Erro linha base (cm)
Transmitidas		10	0,5
	10	100	5
		1000	50
Transmitidas		10	1
	20	100	10
		1000	100
IGS - Preditas		10	0,05
	1	100	0,5
		1000	5
IGS - Precisas		10	0,005
	0,1	100	0,05
		1000	0,5

Os softwares dos receptores devem corrigir o erro do relógio do satélite, para o caso da portadora L1 através de $\delta_{L1}^j = \delta^j - T_{GD}$ e $\delta_{L2}^j = \delta^j - 1,664694T_{GD}$ para o caso dos receptores que rastreiam também a portadora L2.

3.6.1.4 Distribuição Geométrica dos Satélites - DOP

A relação entre o desvio padrão das observações ρ_r , e o desvio padrão associado à posição ρ , é descrito por um escalar que é usado na navegação: o *Dilution Of Precision* (DOP). O fator DOP descreve o efeito da distribuição dos satélites no espaço sobre a precisão obtida na solução de navegação, sendo estimado por $\rho = DOP \cdot \rho_r$. O melhor valor possível para o DOP é igual a 1 e o pior é igual a infinito.

O fator DOP tem diferentes definições, tais como $\rho_H = HDOP \cdot \rho_r$ para o posicionamento horizontal, $\rho_V = VDOP \cdot \rho_r$ para o posicionamento vertical, $\rho_P = PDOP \cdot \rho_r$ para o posicionamento em 3D e $\rho_T = TDOP \cdot \rho_r$ para a determinação do tempo.

A combinação do PDOP e TDOP cria uma nova designação para o DOP que é o GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*), sendo $GDOP = \sqrt{(PDOP)^2 + (TDOP)^2}$.

O GDOP é interpretado como sendo a razão entre o erro no posicionamento e o erro inerente do sistema GPS. O valor de GDOP deve ser pequeno (inferior a 6) (Figura 44).

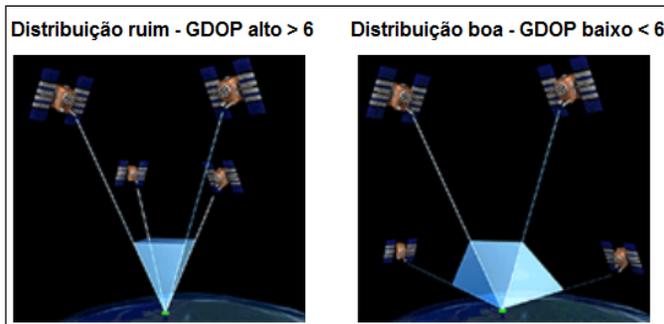


Figura 44. Posição dos satélites e GDOP.
(Fonte: <http://www.javad.com/jns/gpstutorial/images/GDOP3.gif> 31/05/2009)

O GDOP expressa a influência da geometria e do tempo na qualidade das observações, onde pequenos valores indicam boa geometria para os satélites selecionados e também pequenos erros no posicionamento e na determinação da medida do tempo.

Nos visores dos receptores GPS de navegação é informada a precisão associada a atual posição do aparelho (Figura 45).

Esta precisão é fornecida a partir de equações as quais levam em consideração o HDOP para o momento, informações de precisão enviadas através do sinal de navegação (efemérides) pelo satélite e ainda, o nível de precisão que está sendo adotado para o posicionamento, se de 1 desvio padrão (68%), 2 desvios padrões (95%) ou 3 desvios padrões (99%).

O desvio padrão adotado é determinado pelo fabricante do aparelho. Sendo que, por exemplo, se estiver sendo adotado um nível de 68% para o posicionamento da Figura 4.16, isso quer dizer que há uma chance de ter a coordenada dada pelo aparelho em algum lugar em um raio de 9 metros no entorno do aparelho, fixada em 68%.

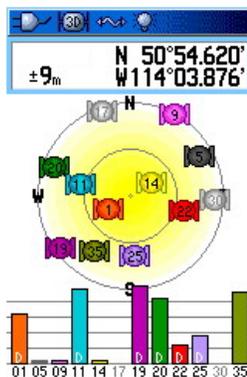


Figura 45. Visor de um receptor de navegação.
(Fonte: Autores)

3.6.1.4 Disponibilidade Seletiva - SA

O objetivo é o de degradar, propositalmente, a obtenção de coordenadas precisas com um único receptor pelos usuários do SPS. Existem duas formas de implementar a SA: alteração da frequência fundamental do oscilador do satélite, afetando tanto as portadoras como os códigos; e, o truncamento das informações transmitidas na mensagem de navegação necessárias (efemérides) para o cálculo das coordenadas dos satélites.

3.6.2 Erros relacionados à propagação do sinal

3.6.2.1 Atraso na Ionosfera $U(\Delta t)$

O atraso no tempo de propagação do sinal devido a sua passagem na ionosfera pode ser medido, modelado ou ignorado, sendo que o efeito de cada atitude tem reflexo direto nos cálculos das coordenadas do receptor (Figura 46).

A medida do atraso ionosférico é realizada por receptores de dupla frequência, sendo o principal motivo do uso da portadora L2 nos receptores. Nos receptores de uma frequência L1, o atraso ionosférico é obtido através de modelos específicos, sendo que para a sua utilização os coeficientes do modelo são transmitidos na mensagem de navegação. Dentre os modelos da ionosfera existentes, destaca-se o modelo de Klobuchar.

O cálculo do atraso ionosférico é feito a partir do conhecimento do azimute Az e da elevação E do satélite ($Z_0 = 90^\circ - E$), em relação ao horizonte da antena do receptor.

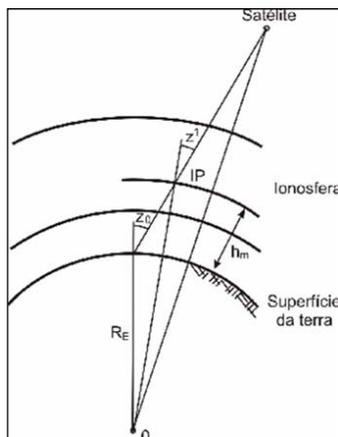


Figura 46. Atraso ionosférico.
Figura 3.17. Atraso ionosférico.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.6.2.2 Atraso na Troposfera (ΔT)

O atraso do sinal na troposfera pode ser modelado ou ignorado, sendo que o efeito de cada atitude tem reflexo direto no cálculo das coordenadas do receptor, tal como no caso da ionosfera, sendo a diferença fundamental que esse efeito não pode ser medido pelo receptor. Os modelos de cálculo disponíveis, utilizam valores padrão para a temperatura $T = 20^\circ \text{C}$, para a pressão atmosférica $P = 1000 \text{ hPa}$ e para a umidade relativa do ar $U_r = 50\%$ ou valores dessas variáveis medidos no local e na hora do rastreamento. Dentre os vários modelos desenvolvidos, apresenta-se o modelo da troposfera de Hopfield.

O atraso na propagação do sinal GPS na troposfera pode ser dividida em duas componentes: a componente seca e a componente úmida, sendo que a componente seca pode ser modelada pela expressão matemática em função da temperatura, da pressão atmosférica e do ângulo de elevação do satélite em relação ao plano do horizonte do receptor:

$$\Delta^{Trop}(E) = \Delta_d^{Trop}(E) + \Delta_w^{Trop}(E)$$

Na Figura 47 pode-se observar o efeito do ângulo de elevação E do satélite sobre o atraso na componente seca e na componente úmida quando na sua passagem na camada da atmosfera denominada de troposfera.

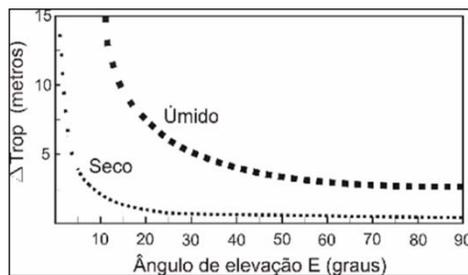


Figura 47. Efeito da posição do satélite.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Na Figura 48 pode-se observar o esquema ilustrativo de um sinal de radiofrequência propagando-se na atmosfera, desde um satélite até um receptor localizado na superfície terrestre. O Atraso Zenital Troposférico é a diferença entre a trajetória curva (traço contínuo) e a distância geométrica

(traço intermitente) devido à diminuição da velocidade de propagação e o aumento da curvatura da trajetória do sinal causados pela influência dos gases que se concentram na baixa atmosfera terrestre.

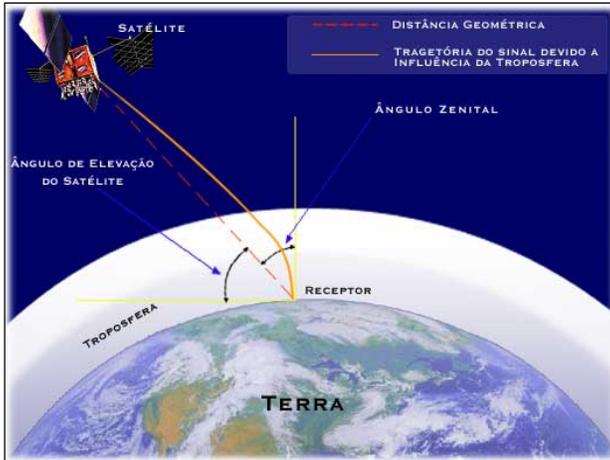


Figura 48. Efeito do atraso zenital troposférico.

(Fonte: <http://pituna.cptec.inpe.br/zenital/img/imagem1.jpg> 31/05/2009)

3.6.2.3 Multicaminhamento

O sinal pode chegar à antena do receptor por caminhos diferentes, direto e indireto (Figura 49). O caminho indireto causado pela reflexão em superfícies vizinhas à antena, tais como construções, carros, árvores, massas de água e cercas, dentre outros, produz distorções na fase da portadora e no código modulado sobre a portadora, degradando a qualidade do posicionamento. Em geral, não há um modelo para tratar o efeito do multicaminhamento, pois as situações geométricas dos diferentes locais variam de forma arbitrária. A forma de atenuação do efeito é aumentar o tempo de coleta, o uso de antenas capazes de atenuar o efeito do multicaminhamento (antenas chok-ring) e evitar os fatores que podem causar esse efeito, como não posicionar a antena do receptor próximo a edificações, por exemplo.

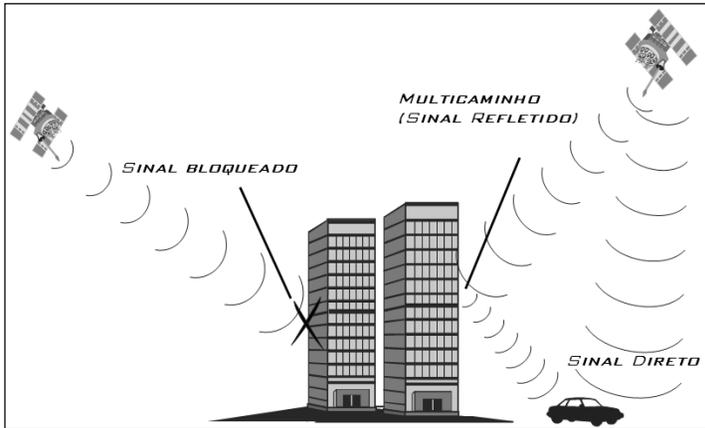


Figura 49. Representação do multicaminho do sinal.

(Fonte: <http://www8.garmin.com/aboutGPS> 15/06/2008)

3.6.2.4 Perda de Ciclos

Esse tipo de problema ocorre devido à obstrução do sinal de um ou mais satélites, de modo que não sejam captados pela antena do receptor. A perda do sinal acarreta a perda na contagem do número inteiro de ciclos medidos pelo receptor, sendo que a ocorrência deste problema é denominada de perda de ciclos (cycle slips), a qual produz uma descontinuidade das medidas. As causas não são restritas somente as obstruções, mas também podem ser causadas por aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o hardware do receptor. A localização desse tipo de ocorrência e a determinação de sua magnitude é denominado de correção de perdas de ciclos (cycle slip fixing).

3.6.3 Erros relacionados ao receptor/ antena

3.6.3.1 Erro do Relógio

Os receptores são equipados com osciladores de quartzo, que possuem boa estabilidade e são de custo relativamente baixo. Cada receptor possui a sua própria escala de tempo, definida pelo oscilador interno, a qual difere da escala de tempo GPS. Alguns receptores permitem a utilização de padrões externos de tempo, de custo muito elevado, normalmente

utilizados na pesquisa ou em determinações de redes de alta precisão. No caso do posicionamento relativo, os erros dos relógios é praticamente eliminado, sendo suficiente a utilização dos osciladores de quartzo. Os receptores devem estar sincronizados entre eles na ordem de 1 milissegundo e em relação a escala de tempo GPS deve apresentar uma diferença da ordem de 1 micro segundo.

3.6.3.2 Erro entre os Canais

No caso de receptores multicanais, existe a possibilidade de ocorrer erro sistemático entre os canais, uma vez que o sinal de cada satélite percorrerá um caminho eletrônico diferente. Para corrigi-lo, o receptor dispõe de um dispositivo que realiza uma calibração no início de cada levantamento. Cada canal rastreia, simultaneamente, um satélite em estudo e determina os erros em relação a um canal tomado como padrão e todas as medidas posteriores serão corrigidas desse valor.

3.6.3.3 Centro de Fase da Antena

O centro de fase eletrônico da antena é o ponto onde as medidas dos sinais são referenciados e nem sempre coincide com o centro geométrico da antena. A diferença varia com a intensidade do sinal, com a direção do sinal e não é igual para as duas portadoras. Para levantamentos de alta precisão, todas as antenas devem ser calibradas e as antenas iguais orientadas na mesma direção não apresentam maiores problemas, uma vez que as discrepâncias são praticamente iguais e, de certa forma, eliminadas no posicionamento relativo.

3.6.4 Erros relacionados à estação

3.6.4.1 Coordenadas da Estação

O posicionamento relativo determina a diferença entre as coordenadas dos pontos da base e as coordenadas do ponto de interesse, significando que o comprimento e a orientação da linha base podem estar corretos. A informação errada das coordenadas da estação de referência se propagará para as coordenadas da outra estação, induzindo a um erro de localização. Erros da ordem de 5 m nas coordenadas da base podem pro-

duzir erros de 1 ppm, aproximadamente, nas coordenadas geodésicas (ϕ , λ e h).

3.6.4.2 Estacionamento da Antena no Ponto de Coleta

A atividade de identificação do ponto, centragem, nivelamento e medição do centro de fase da antena do receptor pode se constituir em fontes de erros nas operações com GPS a campo. Por isso, é importante adotar-se alguns procedimentos de segurança, principalmente porque os erros ocorridos nesta fase só poderão ser detectados se houver repetição das medidas da linha base. O nivelamento e a centragem da antena devem ser verificados antes e depois de cada sessão de observação. A medição da altura do centro de fase da antena sobre o marco deve ser realizada antes e depois de cada sessão, efetuando-se a medida ao nível do milímetro e registrando-se os valores no relatório de ocupação. Alguns modelos de antena requerem sua orientação para o norte verdadeiro (ou magnético), sendo dotadas de uma indicação (seta) que deverá ser direcionada para o norte.

3.6.4.3 Erro Grosseiro Devido a Diferença de Datum

Atualmente as cartas no Brasil, utilizam um sistema de referência do tipo local, denominado SAD 69 (South American Datum 69), por compromissos internacionais. As cartas mais antigas utilizavam o sistema de referência local denominado Córrego Alegre.

Se, por exemplo, na locação de uma estrada municipal, que foi aberta depois da carta confeccionada, cujo datum horizontal é SAD 69, deve se tomar cuidado para que as coordenadas a serem plotadas sobre a carta, estejam no mesmo sistema de referência, a fim de se evitar esse tipo de erro grosseiro (Figura 50).

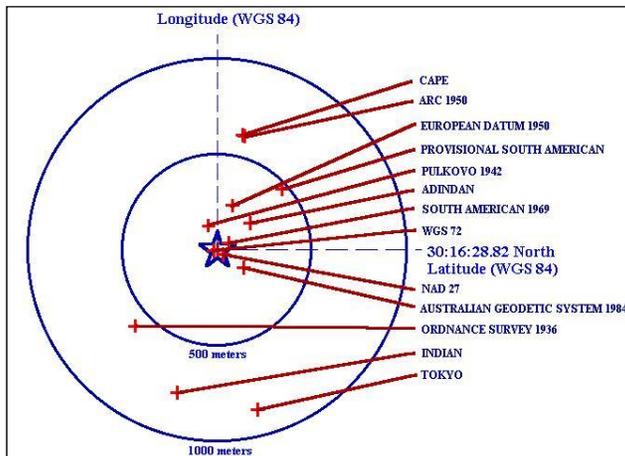


Figura 50. Erro de posicionamento devido ao Datum.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.6.5 Comparação das Diversas Fontes de Erros nas Medidas

Na Figura 51 estão representadas as fontes de erro de maior influência no posicionamento absoluto.

Por determinação do governo norte americano a SA foi desativada em maio de 2000.

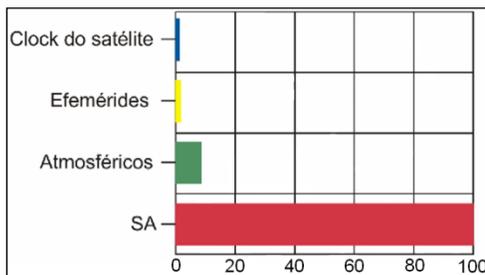


Figura 51. Dimensão de cada uma das fontes de erros (m).
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.7 Altimetria com GPS

Existe uma grande expectativa no uso do GPS no levantamento altimétrico do terreno para implantação de diferentes tipos de projetos de engenharia, que envolve grande quantidade de pontos a ser levantados para gerar um modelo digital da elevação do terreno.

O levantamento do terreno por métodos convencionais (nivelamento geométrico ou trigonométrico) envolve altitudes em relação ao nível médio dos mares denominada de altura ortométrica H , diferença entre o ponto na superfície real e o geóide. A altitude determinada no levantamento de pontos no terreno com o GPS é denominada de altura elipsoidal ou geométrica h , diferença de altitude do ponto na superfície real e o elipsóide, tem significado apenas matemático e sem significado físico (Figura 52).

O modelo matemático que relaciona os dois tipos de altitudes, pode ser expresso por:

$$H = h - N_0$$

Onde, N_0 denomina-se de ondulação geoidal, sendo uma relação aproximada em virtude das grandezas envolvidas não serem co-lineares.

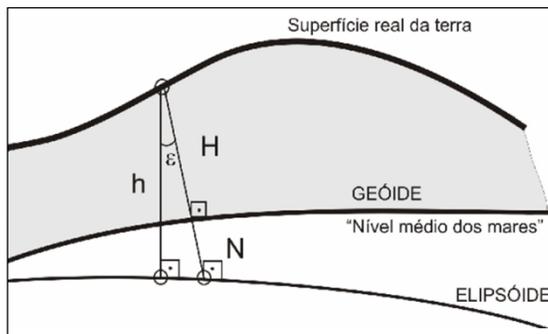
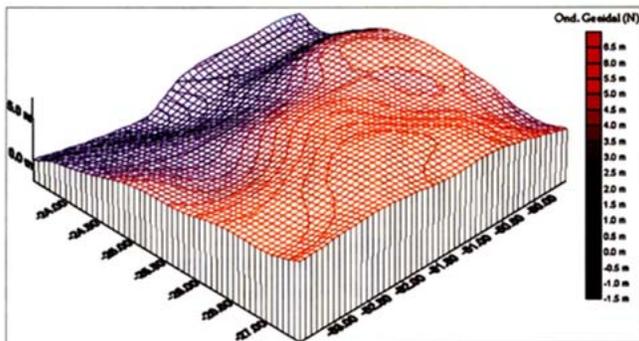


Figura 52. Relação entre a altitude elipsoidal e geoidal.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.7.1 Modelo de Ondulação Geoidal (N_0)

Existem modelos matemáticos denominados de modelos de ondulação geoidal globais e mesmo modelos de ondulação de caráter regional que deixam muito a desejar quanto a acurácia na determinação da altitude ortométrica de pontos do terreno, a partir da altitude geométrica fornecida pelo GPS, dentre os quais aparecem os modelos geoidais globais OSU (Ohio State University 1991) e o EGM 96 (Earth Goddard Model 96) (Figura 53) bem como o mapa geoidal MGB-92 (IBGE/EPUSP), adotado oficialmente no Brasil, que proporciona ondulação geoidal com precisão absoluta da ordem de 3m e relativa da ordem de 1 cm/km.



Separação geóide-elipsóide baseada no modelo EGM96
(Fonte: Lemoine et al, 1996)

Figura 53. Ondulação geoidal.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Os resultados que os modelos anteriores podem proporcionar, deve-se buscar trabalhar com modelos de ondulação geoidal locais, gerados para cada local onde houver a necessidade.

3.8 Método Diferencial

3.8.1 Com o Código (DGPS)

O DGPS - Differential Global Positioning System - é uma técnica de medição baseada no código C/A, cujo principal objetivo desse método é a eliminação dos erros sistemáticos de navegação, sobretudo em função do SA. Com a alternativa do DGPS o erro fica na ordem de 1 a 3 metros no receptor móvel (Figura 54).

Um receptor GPS é colocado fixo num ponto com



Figura 54. Correção diferencial.
(Fonte:

http://www.anmpn.pt/informacoes/2002/imagens/esq_uma_gps.jpg 22/05/2013)

coordenadas previamente determinadas. Através da comparação de valores obtidos pelo rastreamento dos satélites com os valores conhecidos, são obtidas as correções a serem aplicadas.

Existem duas formas de obtenção das correções a serem aplicadas: diferenças de pseudodistâncias (R) e diferenças de coordenadas (X, Y e Z), sendo as correções que utilizam a diferença de pseudodistâncias a forma mais precisa. Em relação à época de aplicação das correções, esta pode ser em tempo real ou pós-processada.

Quando se exige a posição da antena do receptor móvel em tempo real é necessário que o receptor da estação de referência (ou base) determine as correções (pseudodistâncias ou coordenadas) e as transmita, via rádio, para que sejam recebidas e aplicadas as pseudodistâncias ou as coordenadas do receptor móvel (DGPS por rádio) (Figura 55).

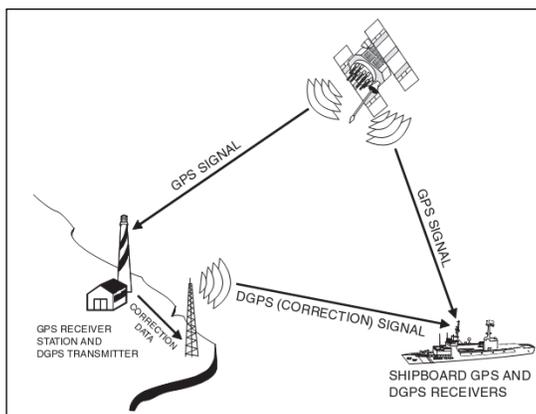


Figura 55. Envio da correção por link de rádio.
(Fonte: <http://www8.garmin.com/aboutGPS> 15/06/2008)

No Brasil, empresas privadas como a RACAL, a FUGRO e a OMNISTAR estão explorando o DGPS, via satélite, através de redes de estações no Brasil e na América do Sul (DGPS por satélite) (Figura 3.27).

Quando não é exigida a posição da antena do receptor móvel em tempo real é necessário que o receptor da estação base determine as correções (pseudodistâncias ou coordenadas) e as armazene para serem usadas posteriormente por um programa computacional de processamento (pós-processamento).

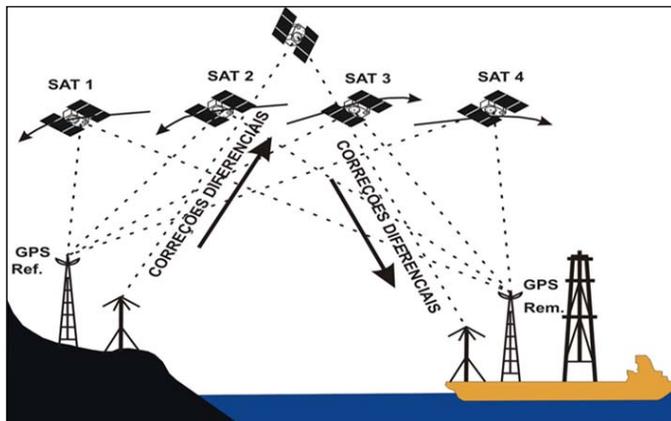


Figura 56. Envio da correção por satélite.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.8.2 Com a Fase da Portadora

Se a solução das ambiguidades for realizada em movimento (OTF) e a transmissão das correções for em tempo real para um receptor em movimento o método de posicionamento é denominado de Real Time Kinematic (RTK).

Tanto maior a precisão desse tipo de processamento, quanto menor for a latência dos dados e se caso a latência for nula, tem-se uma solução de pós-processamento, o que também é válido para o caso do DGPS com código.

3.9 Posicionamento Relativo

O posicionamento relativo é semelhante ao diferencial quanto ao uso de um dos receptores fixo servindo como referência ou base e o outro (ou outros) como móvel (ou móveis), mas difere daquele por não receberem correções a serem aplicadas em tempo real. Normalmente, são utilizados quando se quer maior precisão, tanto estáticos quanto cinemáticos, sendo as coordenadas desconhecidas determinadas a partir da combinação dos dados das estações envolvidas em programas de pós-processamento. Apesar de o código poder ser utilizado, preferencialmente é utilizada a diferença de fase da portadora.

Neste tipo de posicionamento, o modelo matemático utilizado, pelos programas comerciais de pós-processamento é obtido pela combinação dos dados entre estações e satélites, denominada de dupla diferença de fase. Ainda os programas comerciais lançam mão da combinação chamada tripla diferença de fase, cuja principal aplicação é na detecção e correção de perdas de ciclo da portadora.

3.9.1 Modelos Utilizados na Solução da Diferença de Fase

A partir do modelo matemático do posicionamento absoluto com a diferença de fase da portadora (diferença de fase pura) podem se obter os modelos matemáticos: o das simples diferenças, o das duplas diferenças e o das triplas diferenças de fase.

3.9.1.1 Dupla diferença de fase

A dupla diferença de fase consiste na diferença entre duas simples diferenças de fase, envolvendo dois receptores e dois satélites (Figura 3.28).

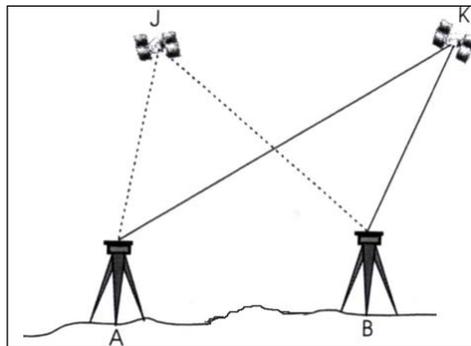


Figura 57. Dupla diferença de fase.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

Sejam dois receptores A e B, onde a posição A tem suas coordenadas conhecidas, rastreando dois satélites J e K, simultaneamente. A equação resultante dessa combinação mostra que a influência do erro correspondente ao relógio do satélite foi eliminado e a influência da refração atmosférica (troposfera e ionosfera) foi reduzida e podem até desaparecer.

rem se forem iguais nas duas estações A e B, bem como foram cancelados os erros do relógio dos receptores. O modelo da dupla diferença de fase, na forma condensada, é representado pela expressão:

$$\lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk}$$

O termo N_{AB}^{jk} é denominado de ambiguidade da dupla diferença e a equação da dupla diferença é normalmente a combinação utilizada na maioria dos programas computacionais de pós-processamento, em virtude da eliminação dos erros sistemáticos envolvidos nos modelos originais.

3.9.2 Tipos de Posicionamento Relativo

Dentre os métodos de posicionamento relativo, quanto ao estado do receptor (parado ou se movimentando), na época da coleta (gravação ou armazenamento) pode-se destacar dois métodos: o posicionamento estático e suas variações e o posicionamento relativo cinemático.

3.9.2.1 Posicionamento Relativo Estático

Técnica tradicional de medição GPS, onde cada estação é ocupada até que uma quantidade suficiente de dados tenha sido coletada para quatro ou mais satélites.

O tempo de observação varia de acordo com a quantidade de satélites, as condições atmosféricas, o tipo de receptor e o comprimento da linha base. Experiências com GPS geodésico mostram que esse método exige de 1 a 4 horas. No caso de GPS de frequência simples os tempos de ocupação poderão ser duas vezes maiores.

O método estático é ideal para distâncias maiores que 15km, sendo utilizado para implantação, controle e densificação de redes geodésicas, estabelecimento de pontos de controle para aerofotogrametria e para vários outros trabalhos de precisão.

3.9.2.2 Método Relativo Estático Rápido

Esse método é uma variação do método estático, que foi desenvolvida para bases curtas, menores que 15 km, mas segue as mesmas diretrizes do método estático.

Para bases curtas e com uma boa geometria da constelação, um receptor geodésico (dupla frequência), pode resolver a ambiguidade em um tempo menor que o método estático. O tempo de observação com receptores de dupla frequência é variável, mas da ordem de 10 a 20 minutos e os receptores podem ser desligados entre uma estação e outra. Esse método é muito utilizado para adensamento de redes e outros trabalhos geodésicos que requerem alta precisão com um tempo menor.

3.9.2.3 Método Reocupação

Esse método é outra variação do método estático, sendo especialmente desenvolvido para situações em que se tem menos de 4 satélites disponíveis.

O método consiste em ocupar as mesmas estações várias vezes e utilizar todos os dados coletados para calcular as coordenadas das estações.

Se, por exemplo, em uma dada situação, na primeira etapa de medição, houver apenas 3 satélites disponíveis e, na segunda etapa, também houver apenas 3 satélites, o processamento será realizado como se tivessem sido observados 6 satélites. O tempo recomendado para reocupar uma mesma estação é no mínimo 1 hora após a ocupação precedente.

O método reocupação é ideal para levantamentos em situações em que se tem uma configuração pouco privilegiada para a operação de um sistema GPS.

3.9.2.4 Método Relativo Semi-cinemático (Stop and Go)

A idéia básica do método é que inicialmente as ambigüidades devem ser resolvidas com um tempo de 10 a 20 minutos, sendo esse processo conhecido como INICIALIZAÇÃO, para num segundo momento, movimentar-se (go) um dos receptores para um ponto de interesse para realizar uma coleta estática (stop) por um curto intervalo de tempo e mantendo-se o outro em uma estação fixa. A inicialização pode ser feita por 3 modos de inicialização:

- 1- determinação de uma base com longo período de ocupação;
- 2 - curto período de ocupação sobre uma base conhecida e
- 3 - troca de antenas, este último menos utilizado.

O método exige que se mantenha a comunicação em modo contínuo com os satélites durante todo o processo de medição, sendo a sua principal limitação. Cada vez que ocorre uma perda de ciclo (cycle slip) é necessário permanecer no próximo ponto até que a ambiguidade seja resolvida novamente (aproximadamente 2 minutos). Os GPS topográficos e cadastrais indicam que esse método exige tempo de medição de ordem de 10 a 20 minutos para cada estação, sendo um método ideal para ser utilizado em cadastros e serviços topográficos rotineiros, em áreas com poucas obstruções.

3.9.2.5 Método Relativo Cinemático

O método cinemático tem sua maior aplicação na determinação de trajetória de objetos em movimento. Pode também ser utilizado para o levantamento de perfis (estradas), determinação de posição de barcos e aviões. Os dados desse tipo de posicionamento podem ser processados após a coleta (pós-processados) ou durante a coleta (tempo real).

3.9.2.6 Cinemático Pós-Processado

No método cinemático mede-se a posição relativa dos pontos levantados em um intervalo de tempo pré-definido pelo usuário, com o receptor deslocando-se continuamente, mantendo-se a sintonia com os satélites.

Os dados que descrevem o objeto em movimento são armazenados para posterior pós-processamento no escritório, sendo que existem duas opções para a solução das ambigüidades: solucioná-lo antes de iniciar o movimento ou estimá-lo em conjunto com os dados coletados em movimento.

3.9.2.7 Cinemático em Tempo Real

Existem algumas aplicações que necessitam que se conheça as coordenadas da antena do receptor em tempo real e para que esse objetivo seja alcançado é necessário que o receptor em movimento receba e aplique correções transmitidas por uma estação de referência, o que requer um link de rádio para essa finalidade.

Esse método é conhecido como Real Time Kinematic ou RTK, sendo constituído por dois receptores de (dupla ou simples frequência) com

suas antenas e dotados de um link de rádio, sendo uma das limitações desse método a distância entre os receptores, que deve ser da ordem de 4 km, devido a transmissão das correções serem feitas em VHF ou UHF.

Uma exigência desse método é a necessidade de resolver as ambigüidades em movimento (OTF), o que pode se traduzir numa grande vantagem se esse método for utilizado em aplicações estáticas, reduzindo o tempo de observação.

A partir de cada um dos métodos discutido e das características inerentes a estes na busca da solução para as coordenadas de um levantamento, pode-se traçar a seguinte tabela do tempo mínimo em função da precisão, Quadro 08.

Quadro 08. Métodos de levantamento e seu respectivo tempo e precisão esperada.

Método de medição	Tempo de Observação	Precisão
Absoluto	30 - 60 seg	30m - 100m
DGPS	Tempo Real	1m - 3m
Cinemático	1 seg	10cm - 1m
Stop and Go	10 a 20 seg	10cm - 20cm
Rápido Estático	10 a 20 min	1cm + 1ppm
Estático	1 - 4 horas	5mm + 1ppm

3.10 Redes de Apoio ao Posicionamento

3.10.1 Estação de Controle Ativo

Essas estações funcionam, dê modo permanente e contínuo, como um ponto de coordenadas conhecidas para serem utilizadas no processamento diferencial, possibilitando aos usuários que possuam apenas um receptor, desenvolver suas atividades de posicionamento dentro da região atendida, adquirindo posteriormente o arquivo coletado pela ECA na estação mais próxima do seu local de interesse.

3.10.1.1 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

O IBGE, dentro de suas atribuições de gerenciamento do SGB implantou uma rede de estações GPS, com coordenadas de precisão geodésica, melhor do que 1:100.000 (Figura 58).

As estações, com raio de ação de 500 km, equipadas com receptores de dupla frequência, funcionam de forma permanente coletando e armazenando dados dos satélites. Os arquivos de dados podem ser obtidos pela INTERNET, sendo que o caminho para acesso inicia no endereço eletrônico www.ibge.gov.br, após procura-se Geociências e depois Geodésia e depois RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

São fornecidos dois tipos de arquivos. Um com as informações da estação solicitada tais como coordenadas geodésicas e altura da antena cujo nome é XXXX.PDF e tem aproximadamente 6Kb, sendo XXXX o código da estação e outro arquivo que contém as informações para cada dia, identificados como XXXXDDD1.ZIP (aproximadamente 1,6 Mb) e DDD significa o dia Juliano do ano e 1 significando arquivo único (24 horas).

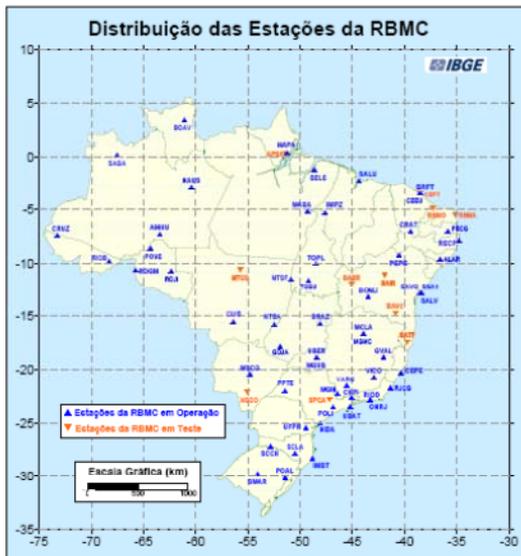


Figura 58. Rede RBMC.
(Fonte: <http://www.ibge.gov.br> 30/05/2009)

Cada arquivo compactado contém 2 arquivos no formato RINEX: o arquivo de observações (XXXXDDDD.AAO) e o arquivo de navegação (XXXXDDDD.AAN).

Por exemplo, o arquivo de informações da estação de Santa Maria - RS é SMARSAD.PDF e os dados serão encontrados dentro de um arquivo, baixado (download) para o computador do usuário de nome

SMAR0891.ZIP após a digitação da data desejada. Os arquivos a serem extraídos terão o nome SMAR0891.09o e SMAR0891.09n, que correspondem aos arquivos RINEX dos dados de observação no dia 30 de março de 2009, gravados a uma taxa de 15 segundos e o arquivo dos dados de navegação correspondente, ver o exemplo do Quadro 09.

Quadro 09: Arquivo de observação - Bases da RBMC – IBGE.

2.11	OBSERVATION DATA				G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE	
teqc	2007Jun25	RBMC		20090331 09:01:43UTC		PGM / RUN BY / DATE	
SMAR					MARKER NAME		
41621M001					MARKER NUMBER		
RBMC	IBGE/CGED				OBSERVER / AGENCY		
4644124493	TRIMBLE NETRS		1.2-0		REC # / TYPE / VERS		
60177640	TRM41249.00		NONE		ANT # / TYPE		
3280748.4269	-4468909.7778	-3143408.6037		APPROX POSITION XYZ			
0.0080	0.0000	0.0000		ANTENNA: DELTA H/E/N			
1	1					WAVELENGTH FACT L1/2	
4	L1	C1	L2	P2	# / TYPES OF OBSERV		
15.0000					INTERVAL		
CODIGO: 92013	Estacao: Santa Maria				COMMENT		
2009	3	30	0	0	0.0000000	GPS	TIME OF FIRST OBS
							END OF HEADER
09	3	30	0	0	0.0000000	0	9G19G 3G18G16G14G29G22G21G 6
-4572018.31346	24357389.4224	-3556759.45643		24357382.4224			
-17970015.95048	21946304.9454	-13999082.59246		21946301.0554			
-23423521.74748	20810269.8204	-18245345.04746		20810263.9414			
-15519894.14747	22026356.4454	-11942547.41945		22026351.2384			
-10923197.23547	23214931.1094	-8474385.98844		23214926.7854			
-2963802.09646	24773285.7344	-2304439.87643		24773281.0664			
-26462738.56648	20042142.5864	-20611837.27347		20042135.8324			
-13016444.56547	22708868.4144	-10133372.99844		22708862.8204			
-23170357.02148	20724290.5004	-18050876.04646		20724286.6644			
09	3	30	0	0	15.0000000	0	9G19G 3G18G16G14G29G22G21G 6
-4623505.57546	24347590.9694	-3596879.38943		24347585.0314			
-18009769.68348	21938740.1414	-14030059.51946		21938736.2234			

3.10.1.2 Rede INCRA de Bases Comunitárias do GNSS - (RIBaC)

A Rede INCRA de Bases Comunitárias do GNSS - RIBaC é um conjunto de estações ativas de referência do GNSS, implantadas em diversos pontos do território brasileiro e tem o propósito auxiliar a execução dos serviços de georreferenciamento, fornecendo correções relativa e diferencial das observações coletadas pelos receptores de sinais do GNSS, em qualquer dia, a qualquer hora, permitindo que correções pós-processadas sejam efetuadas, por qualquer usuário, sem ter que se deslocar para o ponto de referência escolhido (Figura 59).

Projetada inicialmente para funcionar com 80 estações, 45 já instaladas, das quais 32 se encontram em operação plena, homologadas pelo IBGE, órgão gestor do Sistema Geodésico Brasileiro. Ao final da instalação

de todas as 80 estações, a distância média entre as mesmas será de 250 km.

A RIBaC é constituída por receptores próprios do INCRA, de dupla frequência (L1/L2), que acessam observações do GPS (15 estações), incluindo as observáveis L2C e L5 e do GLONASS também (65 estações). As observáveis do GPS/GLONASS são acumuladas discretamente (a cada segundo) por cada uma das estações de referência e são publicadas a cada hora plena, pelo servidor da RIBaC, com taxa de gravação de 5 segundos. Cada arquivo publicado, após a compactação (.zip), ocupa, em média, um espaço de 260 kb e são disponibilizados no formato RINEX.



Figura 59. Rede RIBaC.
(Fonte: <http://ribac.incra.gov.br> 30/05/2009)

Os arquivos de dados podem ser obtidos pela INTERNET, no endereço eletrônico <http://ribac.incra.gov.br/>, sendo que, os dados das estações de referência da RIBaC, são armazenados com uma taxa de gravação de 5 segundos, com a seguinte nomenclatura dos arquivos:

AAMMDDHH.ZIP, onde AA são os últimos algarismos do ano corrente; MM é o mês corrente; DD é o dia corrente e HH é a hora Greenwich em que o arquivo foi gerado.

Neste arquivo, encontram-se três outros arquivos: o arquivo de dados de observação, com o nome AAMMDDHH.AA0 e os arquivos dos dados de navegação com os nomes de AAMMDDHH.AA1 e AAMMDDHH.AA2, respectivamente para os sistemas GPS e GLONASS. Lembrando que cada arquivo corresponde a uma hora de observação e portanto deverão existir 24 arquivos para cada dia de coleta de dados dos satélites.

Exemplo: 09033113.zip é um arquivo contendo uma hora de observações, iniciado às 13 horas (horário de Greenwich) do dia 31 de março do ano 2009. O Quadro 10 abaixo traz um exemplo da configuração do arquivo de observação feito pela RIBaC.

Quadro 10: Arquivo de observação - Bases da RIBaC – INCRA.

2.1	OBSERVATION DATA					G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE	
GPSNet 2.61 3086	RIBaC					31-Mar-09 10:57:39	PGM / RUN BY / DATE	
SMAR								MARKER NAME
92013								MARKER NUMBER
RIBaC	INCRA/DFG							OBSERVER / AGENCY
4644124493	TRIMBLE NETRS					1.20	REC # / TYPE / VERS	
0								RCV CLOCK OFFS APPL
60177640	TRM41249.00							ANT # / TYPE
3280748.4101	-4468909.7414	-3143408.6840				APPROX POSITION XYZ		
0.0080	0.0000	0.0000				ANTENNA: DELTA H/E/N		
1	1	0					WAVELENGTH FACT L1/2	
6	C1	P2	L1	L2	S1	S2	# / TYPES OF OBSERV	
5.000								INTERVAL
2009	3	31	13	0	0.0000000	GPS	TIME OF FIRST OBS	
							END OF HEADER	
09 3 31 13 0	0.0000000	0	8G15G27G08G28G17G10G26G07					
21722813.266	21722809.070	-18081277.95007		-14084004.54647		51.000		
38.000								
21097252.484	21097248.230	-21314007.75307		-16583843.27847		48.000		
35.000								
22548830.250	22548827.652	-12469335.60406		-9708453.58547		47.000		
33.000								
20925304.703	20925299.500	-24105342.39807		-18775099.03647		50.000		
36.000								
20884303.016	20884298.246	-21692675.79207		-16989776.85947		52.000		
40.000								
23385420.023	23385417.758	-10522841.90106		-8092880.47346		43.000		
23.000								
22184638.883	22184635.434	-18694121.05306		-14549089.06847		47.000		

3.10.1.3 Rede Faróis da Marinha

A rede é composta de 13 estações estão distribuídas ao longo do litoral brasileiro, que transmitem sinais continuamente com correções para DGPS, no formato RTMC-SC104 (Radio Technical for Marine Services Communications Special Committee 104). O alcance é de 1000 km no mar e de 300 km no continente, dependendo da topografia. A transmissão dos

sinais ocorre na frequência de transmissão na faixa exclusiva de 285-315 KHz, sendo gratuito e no caso do GPS, exige receptor específico de sinais RTMC (Figura 60).

São dados utilizados para o posicionamento diferencial em tempo real com a utilização do código C/A.



Figura 60. Faróis da marinha.
(Fonte: Robaina e Caten, 2006)

3.10.1.4 Redes de Estações Ativas Particulares

São pontos distribuídos pelo território nacional cujo gerenciamento é realizado por firmas particulares para darem suporte aos seus clientes, servindo como estações de referência ou estações base rastreando os satélites GPS durante 24 horas e fornecendo os arquivos através do acesso pela INTERNET aos clientes autorizados.

Um exemplo é rede da Santiago & Cintra composta de 25 estações de referência, com raio de ação de 300 km, que poderão servir de suporte aos levantamentos para atender a lei de Registro de Imóveis e que segundo a empresa terão seus pontos homologados pelo IBGE para fazerem parte das Estações de Controle Ativo do Sistema Geodésico Brasileiro.

3.10.2 Estação de Controle Passivo

Essas estações funcionam de maneira similar às redes clássicas ou convencionais (marco ou RN), como um ponto de coordenadas conheci-

das para serem utilizadas no processamento diferencial ou relativo, mas existe a necessidade de ocupar a estação de referência com um receptor para coletar e armazenar os sinais dos satélites.

Até dezembro de 2006 tinham sido estabelecidas 13 redes GPS estaduais (abrangendo 18 estados): São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Acre e a rede Nordeste. A rede Nordeste foi um caso a parte, pois foi estabelecida em uma única campanha de medição contemplando os estados de Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

A localização de cada marco é previamente escolhida juntamente com representantes de instituições federais, estaduais e municipais de forma a zelar pela integridade física do marco, isto é, evitar abalos que possam interferir nas coordenadas do mesmo ou até mesmo a sua destruição.

A implantação de uma rede geodésica estadual vem a colaborar na elaboração dos seguintes produtos e informações:

- Confecção de mapas e cartas;
- Referência para obras de engenharia tais como: construção e pavimentação de rodovias e estradas, construção de pontes, viadutos e túneis;
- Demarcação de unidades estaduais, unidades municipais, áreas indígenas, áreas de proteção ambiental;
- Regulamentação fundiária;
- Transmissão de energia;
- Abastecimento de água, etc.

3.10.2.1 Rede Estadual de Pontos GPS - Rio Grande do Sul

A rede de pontos GPS no Rio Grande do Sul deverá ser composta de 45 (quarenta e cinco) estações, recobrirá todo o território estadual e que servirá de referência tanto para a topografia clássica como para os receptores de sinais GPS (Figura 61).

As estações distam entre si aproximadamente 70 km. Fazem parte desta rede as estações de Porto Alegre e de Santa Maria, que integram a Rede Brasileira de Monitoramento contínuo do sistema - RBMC. A escolha dos locais para a implantação das estações levou em conta aspectos sócio-econômicos e a configuração geométrica da rede. Cada vértice passivo da rede é constituído de um marco de precisão e de um marco de azimute

Capítulo 4: Interface do CR Campeiro 7 com o GPS

4.1 Introdução

O Sistema Campeiro, disponibiliza para emprego nas rotinas de topografia, Geoprocessamento e Agricultura de Precisão, funções de interface com aparelhos de posicionamento global, popularmente conhecidos como GPS, aparelhos estes do tipo GARMIN, com operações de Download (Descarregar) e *Upload* (Carregar) de pontos ou trilhas, e também operações de conexão *on line* com o aparelho GPS

Os aparelhos GARMIN, apresentam a propriedade de obtenção de coordenadas geográficas de pontos da superfície terrestre, com erro de posicionamento na faixa de 3-5 metros, o que inviabiliza a sua utilização em levantamentos de natureza topográfica, sendo recomendada sua utilização em levantamentos que não exigem tal nível de precisão, como por exemplos levantamentos de pontos amostrais de solo, levantamentos de áreas internas, estradas e caminhos entre outros.

Em anexo a este curso é disponibilizado um material de conteúdo técnico sobre GPS, publicado em 2003, denominado “*UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL NO MEIO RURAL*” de autoria do Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina, do Departamento de Engenharia Rural da UFSM, e da Prof^a. Dr^a. Ana Caroline Paim Benedetti, do Colégio Politécnico da UFSM. Este material consiste em um curso sobre os fundamentos teóricos do Sistema de Posicionamento Global, sendo que a abordagem empregada pelos autores neste curso sobre o assunto é de fácil assimilação pelo usuário do Sistema Campeiro, e complementa as informações prestadas no presente curso.

4.2 Conexão *on line*

Esta função de interface, consiste em conectar um aparelho GPS, no computador do usuário através de uma porta serial ou USB, e pelo programa acessar a sentença NMEA, decodificando a mesma, de forma a possibilitar o conhecimento da posição em tempo real, e demais informa-

ções como número de satélites rastreados, velocidade e rumo de deslocamentos entre outros.

A função de conexão online é acessada a partir do menu principal do programa, ou pelo botão de atalho da barra de botões "geoprocessamento", sendo estas opções de acesso mostradas na figuras 63 e 64.

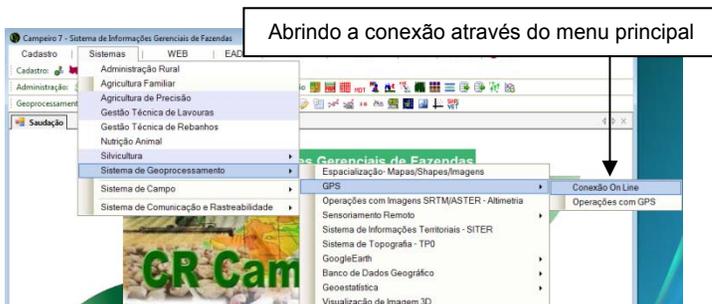


Figura 63. Abrindo a função de conexão online com o GPS.
(Fonte: Autores)



Figura 64. Botão de atalho a função de conexão online com o GPS.
(Fonte: Autores)

A figura 65, mostra a tela da função de conexão online com GPS, com as operações de ligar/desligar GPS, geração de arquivos de pontos, leitura da sentença NMEA, navegação, transmissão de posição para servidor web, recepção de posição de servidor web, visualização da posição sobre mapas e imagens, entre outras.

É condição básica para esta função, que a interface de configuração do aparelho GPS ,esteja configurada para NMEA, e que o GPS tenha opção de conexão serial.

O Botão <Iniciar GPS> , estabelece a conexão com o aparelho GPS, e o botão <Parar GPS>, encerra esta conexão.

A partir da fixação do sinal de quatro satélites com intensidade superior a 30 db, é apresentada a posição (latitude e longitude) recebida tanto em graus geográficos, como em coordenadas UTM e neste caso informando a zona ou fuso, sendo que o Datum de referência é o WGS 84, também é recuperada e mostrado no quadro, se a mesma constar na sentença NMEA

a altitude, e conforme o aparelho GPS empregado esta altitude é a elipsoi-
dal.

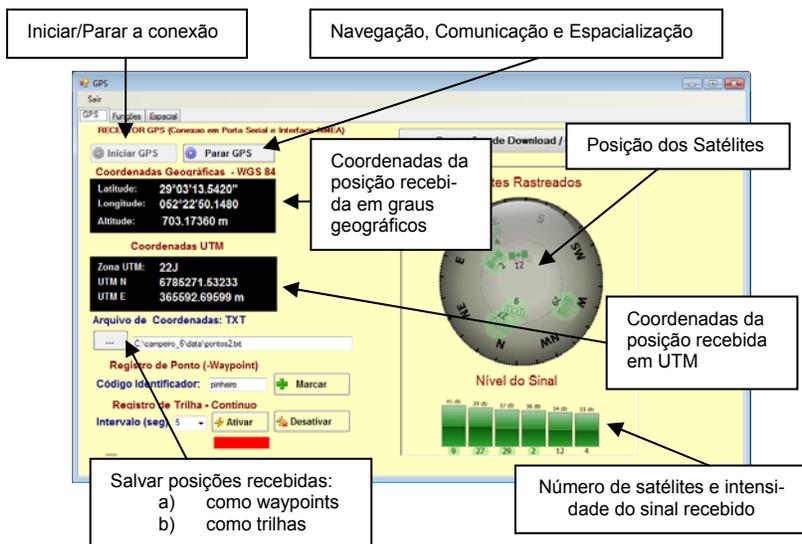


Figura 65. Tela de conexão com o GPS.
(Fonte: Autores)

Se o sinal que o aparelho estiver recebendo for com correção diferencial, as coordenadas apresentadas são as corrigidas.

Na tela de conexão, é apresentada uma figura com o número de satélites rastreados, a intensidade do sinal, e a posição celeste destes satélites.

Os elementos de navegação obtidos na conexão com o GPS, apresentados na figura 66, mostram de forma gráfica, o rumo da orientação em caso de deslocamento, bem como a velocidade em km/h, e a altitude da posição recebida.

Em uma caixa de texto, é mostrado a sentença NMEA que é obtida na recepção com o aparelho GPS.

Nesta mesma tela, estão disponíveis as operações de transmissão e de recepção de sinal de posição. Em tópico posterior este assunto será abordado com uma maior abrangência.

Alem da possibilidade de gerar um arquivo de formato texto, para armazenar posições recebidas, seja de pontos (waypoints) ou de trajetos

(tracks), o usuário pode visualizar a posição no momento de sua recepção, no mapa do talhão ou da propriedade, ou sobre uma imagem georreferenciada, e ainda marcar esta recepção como uma linha ou uma sequência de pontos e ainda associar um símbolo a posição recebida. Este processo é habilitado com a opção conexão.

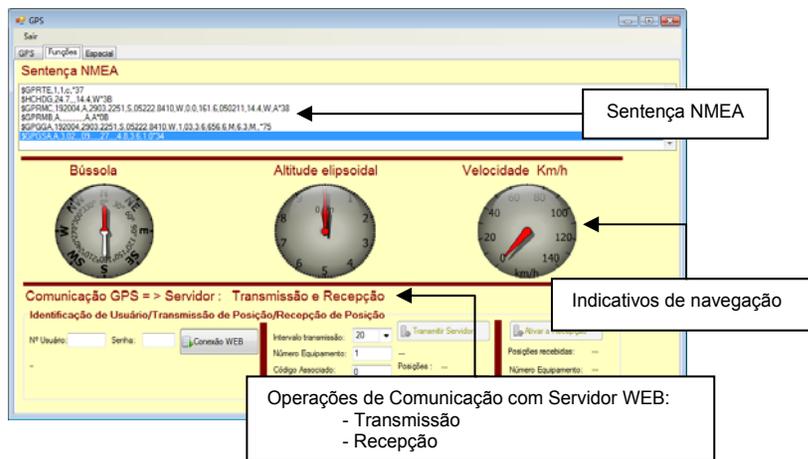


Figura 66. Navegação e comunicação com Servidor WEB.
(Fonte: Autores)

Esta função se presta também, a identificação de posição recebida de um servidor WEB, que ao mesmo tempo esta recebendo esta posição de um outro computador conectado com GPS, em outro local, sendo que para habilitar este processo, a opção Recepção deve estar ativa (figura 67).

O Mapa com o desenho do talhão/propriedade ou de arquivo shape ou ainda de imagem georreferenciada (geotiff), pode ser impresso através de função específica.

4.3 Download/Upload de Pontos e Trajetos

Os waypoints ou trilhas(trajetos) levantados a campo, e armazenados no interior do GPS, podem ser descarregados no Sistema Campeiro, e salvos em arquivos de diversos formatos que são lidos por vários programas de topografia e geoprocessamento. Outra opção é a de carregar tanto waypoints como trajetos identificados para o interior do GPS para posterior

navegação a campo, e neste sentido para carregar pontos é necessário que os mesmos estejam armazenados em arquivos de formatos VET e geo TXT que são os formatos nativos do CR- Campeiro.

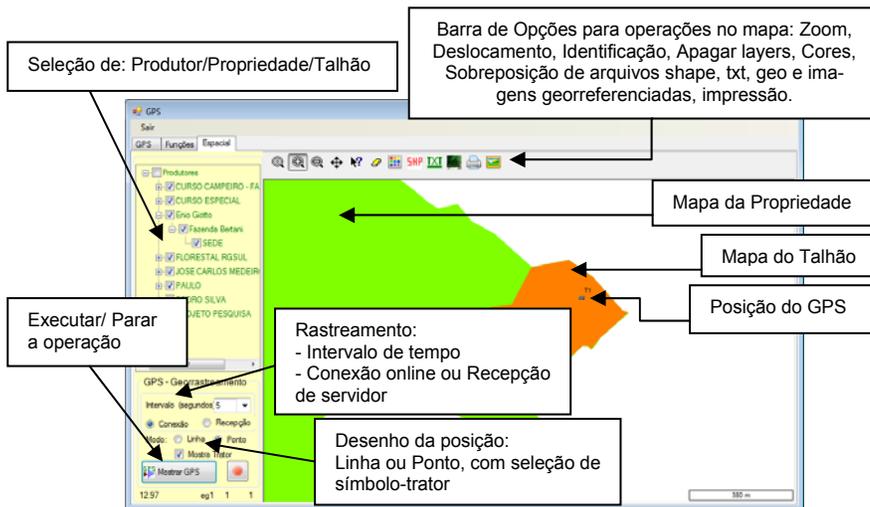


Figura 67. Posicionamento com o GPS.
(Fonte: Autores)

Para a realização destas operações a interface do aparelho GPS, deve estar setada para “GARMIN”, e se a mesma for “NMEA” as operações não terão sucesso, e antes de qualquer procedimento de carregar/descarregar é necessário selecionar a porta serial/USB de comunicação, na qual o GPS está conectado.

Os modelos de GPS atualmente produzidos pela Garmin realizam o armazenamento interno de coordenadas de pontos e trilhas em arquivos de formato XML e que tem a extensão .GPX e o aparelho ao ser conectado com o computador deverá ser reconhecido como um drive e na estrutura de arquivos deste há uma pasta denominada GPX onde são armazenados os pontos e trilhas levantados.

Nas operações de conexão com o GPS, além de baixar/carregar waypoints e trilhas, é possível também baixar waypoints próximos, rotas e o almanaque GPS, sendo que para estas funções não são executados procedimentos posteriores, e tem finalidade apenas para visualização destes elementos.

Na sequência serão apresentados e exemplificados na forma de passos os procedimentos de carregar pontos e trajetos, descarregar pontos e trajetos, e as opções de visualizar e salvar os pontos/trajetos descarregados, nos formatos Shape, VET, KML, XML e Geo TXT, e como operar a planilha básica de edição VET;

Como referido acima no caso de aparelhos GPS com armazenamento em arquivos GPX é necessário apenas efetuar a conexão como um drive e acessar pelo windows explorer a pasta de armazenamento.

4.3.1 Carregar Pontos e Trajetos para o GPS

Para o procedimento de carregar pontos ou trajetos a sequência de passos é o seguinte:

a) Selecionar o arquivo VET ou geo TXT que contem os pontos a serem carregados para o GPS.

No caso de arquivos VET, como o formato das coordenadas armazenadas é métrico (UTM), esta projeção é referenciada dentro de um fuso geográfico e é necessário transformar estas coordenadas para o formato de graus geográficos e para tanto deve-se selecionar o meridiano central do fuso e o datum origem das coordenadas.

O GPS carrega os pontos do arquivo VET e utiliza o código de cada ponto como marcador/identificador do mesmo, e neste sentido pontos que tiverem o mesmo código, apenas o último ponto lido será carregado para o interior do GPS. Como forma de evitar este problema, basta marcar a opção <Identificador = número do ponto>, para que o marcador seja o número sequencial do ponto no arquivo.

b) Ao abrir o arquivo é preenchida uma planilha na aba VET, com a relação de pontos do arquivo, com as coordenadas geográficas em graus centesimais, e também um quadro de marcação(S/N) em cada ponto, para seleção se o ponto deve ser carregado para o GPS. A condição padrão de carregar é de que o quadro de check esteja desmarcado.

c) Se os pontos forem carregados como waypoints, executar esta função a partir da aba “Waypoints”, com o botão de  >.

No caso de se pretender carregar os pontos como uma trilha/trajeto, esta função deve ser executada a partir da aba “Trajetos”, com o botão de  >, e antes indicar o identificador para o trajeto.

d) É importante ressaltar que a conexão com o GPS, deve estar estabelecida com o aparelho conectado na porta serial/USB do computador.

A figura 68, apresenta a tela com aba “VET”, após um arquivo VET ser aberto para ser carregado para o GPS.

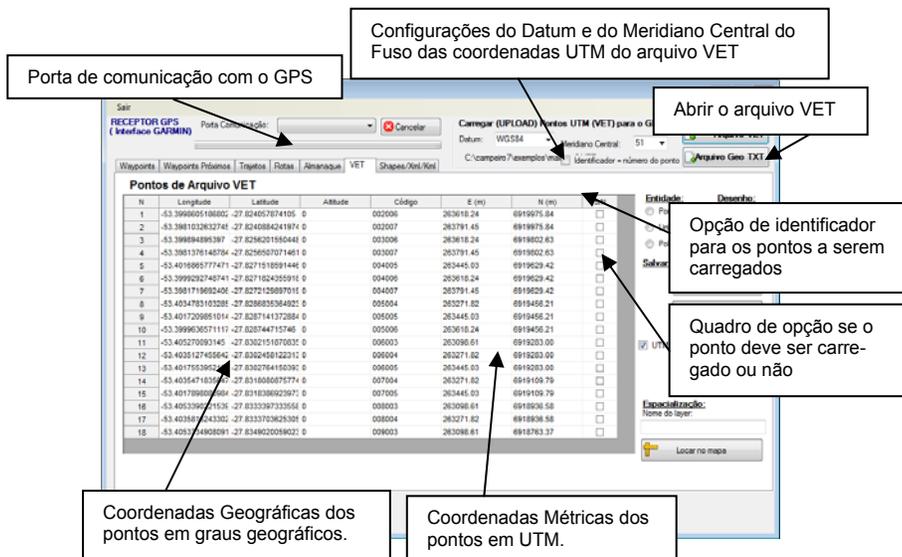


Figura 68. Abrindo arquivo VET para carregar o GPS.

(Fonte: Autores)

4.3.2 Descarregar Pontos e Trajetos do GPS

Os passos a serem seguidos para descarregar waypoints e trajetos armazenados no interior do GPS são:

- Estabelecer a comunicação com o aparelho setando a porta serial/USB
- Na aba “Waypoints” se o interesse for o de descarregar pontos, pressionar o botão < Download Waypoints>
- Os pontos serão baixados e apresentados na grade da planilha que consta na aba

Na aba “Trajetos”, se o interesse for o de descarregar as trilhas do GPS, pressionar o botão <Baixar Trajetos>

Os trajetos serão baixados e apresentados a partir de seu identificador na grade da planilha da aba de trajetos.

Quando são baixados os waypoints, ao mesmo tempo que preenche a planilha da aba correspondente, a planilha da aba “VET”, também é preenchida de forma idêntica a recuperação de um arquivo VET

Para apresentar os pontos de uma trilha na planilha VET , é necessário indicar o identificador do trajeto e proceder a recuperação individual do mesmo.

Após baixar o conjunto de waypoints ou baixar um trajeto identificado, estes pontos podem ser visualizados na forma de pontos, linhas e polígonos, podendo também ser salvos em vários formatos que são compatíveis em diversos programas de geoprocessamento.

A figura 69, mostra a planilha de dados da aba de waypoints preenchida após a descarga de pontos do GPS, enquanto que a figura 70 mostra a planilha de dados da aba de trajetos preenchida com as trilhas baixadas, e a identificação de um trajeto selecionado.

Nas abas de descarregar waypoints e trajetos, constam os botões para a execução das operações de Upload (carregar) correspondentes.

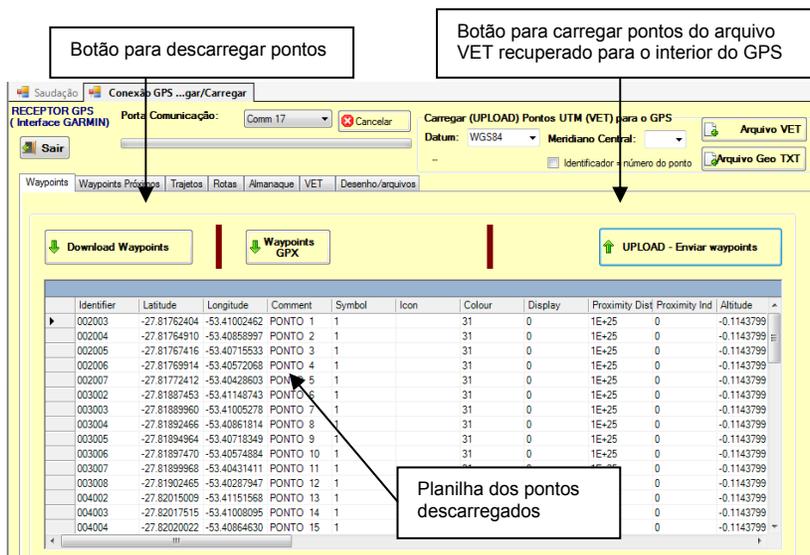


Figura 69. Download de waypoints.
(Fonte: Autores)

4.4 Arquivos GPX

Os arquivos de formato GPX para armazenamento de pontos e trilhas apresentam um formato de dados independente do dispositivo e é usado para aparelhos GPS de navegação e permitem ser lidos por softwares de geoprocessamento.

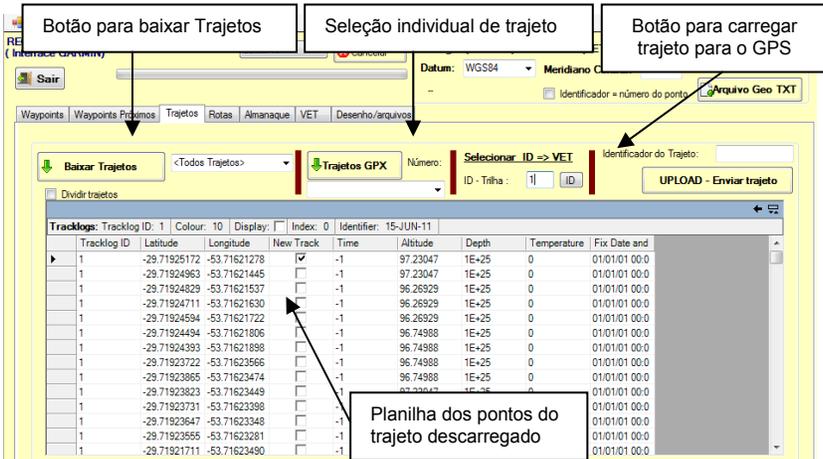


Figura 70. Download de trajetos.
(Fonte: Autores)

O botões que constam nas guias de waypoints e de trajetos permitem abrir esses arquivos e apresentar suas coordenadas na guia VET para as operações de edição e de registro nos formatos de arquivos disponíveis na função (figura 71).

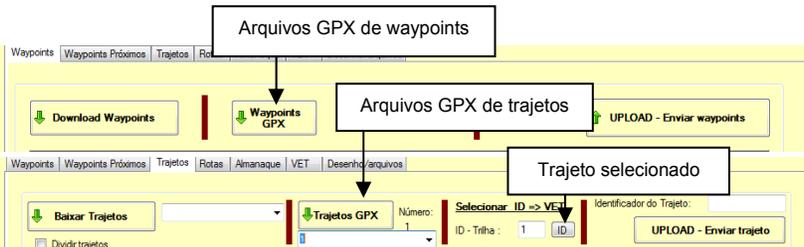


Figura 71. Acessar arquivos GPX e waypoints e trilhas.
(Fonte: Autores)

Uma vez aberto um arquivo de waypoints ou selecionado uma trilha é apresentado na guia VET as coordenadas geográficas e UTM dos pontos do mesmo (figura 72),

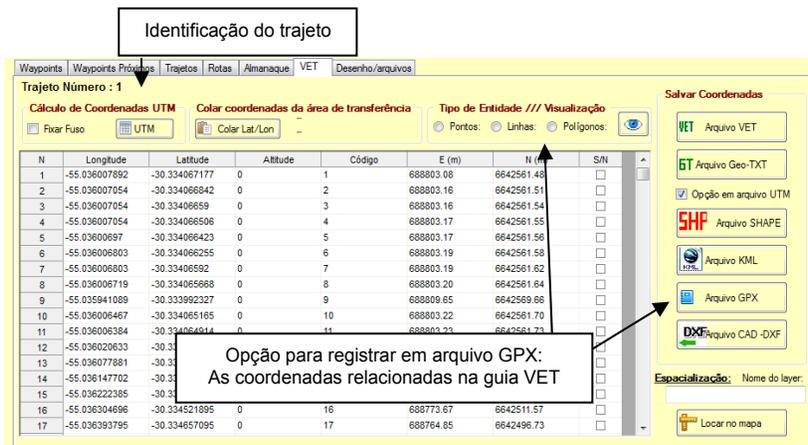


Figura 72. Coordenadas de arquivo GPX carregadas na guia VET.
(Fonte: Autores)

A operação contrária a de abrir um arquivo GPX é a de gerar um arquivo de coordenadas de waypoints ou de trilhas para repassar ao interior do aparelho para fins de navegação.

Nesse caso o procedimento é o seguinte:

- Abrir um arquivo de coordenadas geográficas VET ou GeoTXT e apresentar as mesmas na grade de dados da guia VET
- Selecionar o tipo de entidade:
 - Pontos: (o arquivo gerado será de waypoints)
 - Linhas ou Polígonos: (o arquivo gerado será de trajetos)
- No quadro <Salvar coordenadas> o botão <Arquivo GPX> executa o procedimento de salvar o arquivo.

As figuras 73 e 74 mostram a estrutura XML dos arquivos GPX de waypoints e de trajetos respectivamente.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?><gpx
xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/1"
xmlns:gpvx="http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensions/v3"
xmlns:wptx1
="http://www.garmin.com/xmlschemas/WaypointExtension/v1"
xmlns:gpptpx="http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtensio
n/v1" creator="eTrex 30" version="1.1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/1
http://www.topografix.com/GPX/1/1/gpx.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensions/v3
http://www8.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensionsv3.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/WaypointExtension/v1
http://www8.garmin.com/xmlschemas/WaypointExtensionv1.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtension/v1
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtensionv1.xsd">
<metadata><link href="http://www.garmin.com"><text>Garmin
International</text></link><time>2012-04-15T13:04:12Z</time>
</metadata><wpt lat="-25.518826" lon="-54.623972"><ele>167.127945
</ele><time>2012-04-15T13:04:12Z</time><name>CASA</name><sym>
Flag, Blue</sym></wpt><wpt lat="-25.518859" lon="-54.624062">
<ele>167.325089</ele><time>2012-04-15T13:05:03Z</time><name>
SACADA</name><sym>Flag, Blue</sym></wpt><wpt lat="-25.518868"
lon="-54.624116"><ele>182.915466</ele><time>2012-04-16T01:26:24Z
</time><name>BED FK</name><sym>Flag, Blue</sym></wpt></gpx>
```

Figura 73. Estrutura de um arquivo GPX e armazenamento de pontos.
(Fonte: Autores)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<gpx xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/1" creator="
version="1.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/1
http://www.topografix.com/GPX/1/1/gpx.xsd">
<trk>
<name>ACTIVE LOG162647</name>
<trkseg>
<trkpt lat="-30.547330" lon="-52.522283">
<ele>416.571</ele>
<time>2011-03-16T19:26:46Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="-30.547330" lon="-52.522283">
<ele>417.151</ele>
<time>2011-03-16T19:26:47Z</time>
</trkpt>
</trkseg>
</trk>
</gpx>
```

Figura 74. Estrutura de um arquivo GPX de armazenamento de trilhas.
(Fonte: Autores)

4.5 Operações na Guia VET

A figura 75 apresenta a tela com a Guia “VET” com o preenchimento da grade de dados a partir de uma abertura de arquivo VET, GeoTXT, GPX ou então de uma descarga de waypoints ou trilha armazenados no interior de aparelho GPS Garmim ou ainda do processo de colagem de um conjunto de par de coordenadas armazenados na área de transferência do windows.

É nessa guia que são realizados todos os processos de abertura, edição, conversão, visualização dos dados conforme a entidade gráfica (Polígono, Linha ou Pontos) e de salvamento dos dados nos mais diversos formatos de arquivos, os quais podem ser abertos e interpretados por outros softwares de topografia e de geoprocessamento.

De forma resumida os processos são descritos a seguir.

4.5.1 Abertura de Arquivos de Coordenadas Geográficas

a) Arquivo em formato VET: Nativo do CR Campeiro.

- Antes de abrir deve-se informar obrigatoriamente o Datum e o Meridiano Central de referência para as coordenadas UTM.

b) Arquivo em formato GeoTXT: Nativo do CR Campeiro

- Este formato armazena tanto coordenadas geográficas decimais como UTM. A marcação da opção <Identificador = número do ponto> faz com que o código de cada ponto seja o número sequencial do ponto, desconsiderando os código previamente registrados no arquivo, válido não somente para esses arquivos nativos do CR Campeiro mas também no caso de descarga de pontos de GPS.

c) Arquivo em formato GPX:

- Arquivos de waypoints e de trilhas levantados por GPS e armazenados internamente no aparelho em uma estrutura de arquivos.

d) Download de pontos e trilhas

- Pontos e trilhas armazenados no interior de um GPS Garmim a partir de uma conexão serial com definição da porta de comunicação e da instalação prévia de um drive de comunicação do próprio aparelho.

e) Colagem de pontos:

- Pares de coordenadas (latitude e longitude) armazenados na área de transferência.

Opção para fixar o fuso geográfico (MC) no cálculo de coordenadas UTM dos pontos da grade

Calcular as coordenadas UTM dos pontos a partir das coordenadas geográficas em graus decimais

Colar na grade pares de coordenadas geográficas armazenadas na área de transferência do Windows

Seleção de entidade gráfica para fins de visualização e de salvar arquivos

Opções de salvar arquivos vetoriais

Especializar na rotina de geo

N	Longitude	Latitude	Altitude	Código	E (m)	N (m)	S/N
1	-52.362966	-28.987525	0	1	367224.58	6792631.09	<input type="checkbox"/>
2	-52.36612	-28.988821	0	2	366918.95	6792483.94	<input type="checkbox"/>
3	-52.36494	-28.989722	0	3	367035.07	6792385.43	<input type="checkbox"/>
4	-52.363288	-28.99051	0	4	367197.02	6792299.97	<input type="checkbox"/>
5	-52.362345	-28.991092	0	5	367289.63	6792236.54	<input type="checkbox"/>
6	-52.362159	-28.991365	0	6	367308.10	6792206.50	<input type="checkbox"/>
7	-52.361279	-28.991139	0	7	367393.55	6792232.53	<input type="checkbox"/>
8	-52.362245	-28.989628	0	8	367297.51	6792398.87	<input type="checkbox"/>
9	-52.361122	-28.989319	0	9	367406.52	6792434.37	<input type="checkbox"/>
10	-52.361766	-28.988464	0	10	367342.69	6792528.39	<input type="checkbox"/>

Figura 75. Operações da Guia VET.
(Fonte: Autores)

4.5.2 Edição e Conversão:

O processo de edição na grade de dados consiste em marcar a opção de S/N (sim ou não) em um determinado ponto, quando for executado um processo de registro das coordenadas em um arquivo vetorial e da possibilidade de recalculer as coordenadas UTM a partir das coordenadas geográficas dos pontos inclusive indicando o fuso geográfico das mesmas, e assim as coordenadas UTM serão calculadas em função deste meridiano, desconsiderando as existentes no arquivo original. Este procedimento é para quando se tem o levantamento com pontos localizados em dois fusos geográficos e as coordenadas UTM tem que serem relacionadas obrigatoriamente a um único fuso.

4.5.3 Colagem de Pontos copiados para a Área de Transferência do Windows

Pontos geográficos (Longitude, Latitude e Altitude) capturados (copiados) de editores de texto, planilhas etc, podem ser transferidos para a grade de dados a partir da opção <Colar>.

Quando executado esse procedimento são calculadas as coordenadas UTM do conjunto de pontos, a área poligonal em hectares e o perímetro dessa área. (ao colar o sistema interpreta o conjunto de pontos existentes na área de transferência como sendo de um polígono)

Abaixo, demonstra-se a forma de como esses dados geográficos devem estar dispostos no documento original para serem copiados e na sequência, na figura 76 é mostrado a grade de dados após o processo de colagem.

-53.636198,-29.679086,0
 -53.636777,-29.679533,0
 -53.63667,-29.680018,0
 -53.63579,-29.679925,0
 -53.635533,-29.67972,0
 -53.635683,-29.679254,0

Cálculo de Coordenadas UTM		Colar coordenadas da área de transferência		Tipo de Entidade /// Visualização			
<input type="checkbox"/> Fixar Fuso	<input checked="" type="button" value="UTM"/>	<input checked="" type="button" value="Colar Lat/Lon"/>	Área: 869 ha Perímetro: 356,06 m	<input checked="" type="radio"/> Pontos:	<input type="radio"/> Linhas:	<input type="radio"/> Polígonos:	
N	Longitude	Latitude	Altitude	Código	E (m)	N (m)	S/N
1	-53.636198	-29.679086	0	1	244884.52	6713866.17	<input type="checkbox"/>
2	-53.636777	-29.679533	0	2	244829.59	6713815.34	<input type="checkbox"/>
3	-53.63667	-29.680018	0	3	244841.18	6713761.81	<input type="checkbox"/>
4	-53.63579	-29.679925	0	4	244926.13	6713774.06	<input type="checkbox"/>
5	-53.635533	-29.67972	0	5	244950.50	6713797.35	<input type="checkbox"/>
6	-53.635683	-29.679254	0	6	244934.80	6713848.69	<input type="checkbox"/>

Figura 76. Colagem de pontos da área de transferência.
 (Fonte: Autores)

4.5.4 Visualização do Desenho

Os pontos descarregados de GPS ou de arquivos vetoriais e que estão relacionados na grade de dados e marcados com S, podem ser visualizados no quadro de desenho, conforme a entidade gráfica (polígono, linha ou pontos) previamente selecionada. Na figura 77 é visualizado o polígono referente ao exemplo ilustrado na figura anterior, na guia Desenho/Arquivos.



Figura 77. Visualização em forma de polígono.
(Fonte: Autores)

Na visualização da entidade gráfica no quadro de desenho podem ser realizadas operações de Zoom in, Zoom out, Movimentação de tela, alteração de cor de preenchimento e apagar o desenho em foco, além de visualizar as coordenadas UTM (E,N) no movimento do mouse sobre o desenho.

4.5.5 Salvar Arquivos de Coordenadas.

As opções de registro das coordenadas dos pontos relacionados na grade e com a marcação de S em arquivos vetoriais são as apresentadas e descritas na figura 78, e que são as seguintes:

- Arquivo VET
- Arquivo GeoTXT
- Arquivo Shape
- Arquivo KML
- Arquivo GPX
- Arquivo DXF

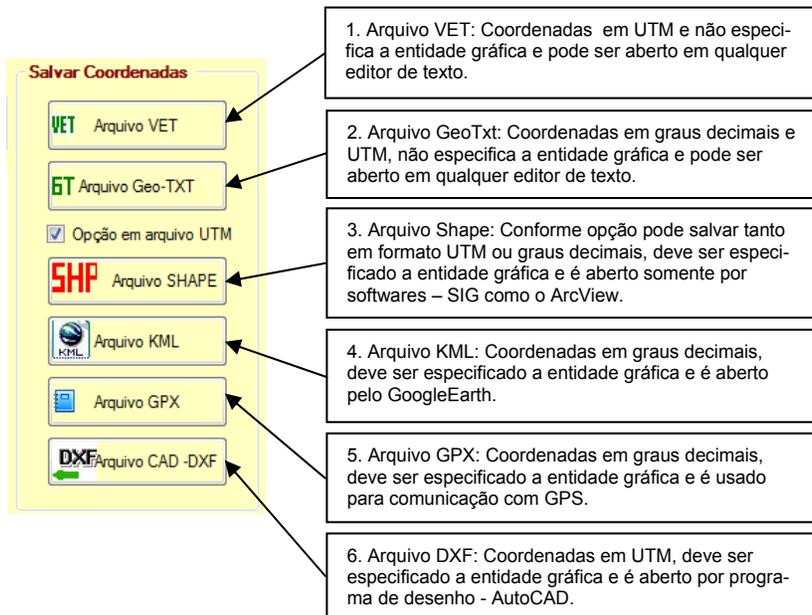


Figura 78. Opções de arquivos vetoriais.
(Fonte: Autores)

4.5.6 Visualizar como layer na função Espacialização – Mapas/Shapes e Imagens

A partir da função Espacialização-Mapas/Shapes/Imagens do sistema de geoprocessamento é possível acessar os pontos dispostos na grade de dados e espacializa-los como um layer dinâmico sobre mapas, imagens ou shapes abertos na área de desenho da função. Na sequência de figuras abaixo é ilustrado como é realizado esse procedimento:

a) Figura 79: Na função de Espacialização – Mapas/Shapes/Imagens abrir um documento cartográfico digital georreferenciado, e no menu arquivo selecionar a opção GPS.

b) Figura 80

- Ao acessar o modo de interface com GPS, conforme o caso, descarregar pontos/ trilhas de GPS ou abrir arquivo vetorial (VET/TXT/GPX) de forma que os pontos sejam mostrados na guia VET.

- Marcar a entidade gráfica (polígono, linha ou ponto)

- No quadro Espacialização: informar o nome do layer e clicar no botão <Locar no mapa>



Figura 79. Função de espacialização de mapas/shapes e imagens.
(Fonte: Autores)

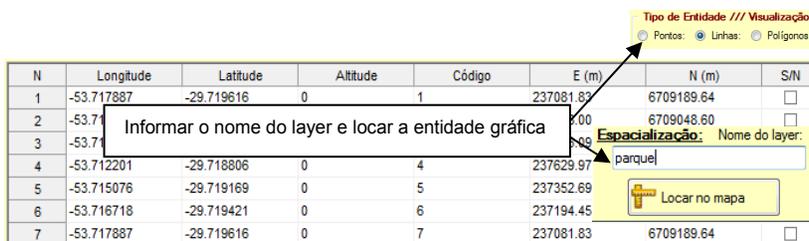


Figura 80. Procedimento da guia VET.
(Fonte: Autores)

c) Figura 81: Resultado da sobreposição

4.6 Interface GPS – Online: Finalidade de Navegação

Alem da rotina de interface com GPS com o objetivo de carregar e descarregar pontos e trajetos e a conexão online para visualização da posição atual e de outros elementos relacionados conforme apresentado e exemplificado nos itens anteriores, o Sistema CR Campeiro 7 tem outra rotina de conexão online com a finalidade também de visualização da posição atual, e de fornecimento de elementos de navegação para um ponto qualquer informado (figura 82). Esta rotina pode ser acessada a partir de botão de atalho da Guia de Geoprocessamento ou a partir do Menu Principal em opção do Sistema de Geoprocessamento.

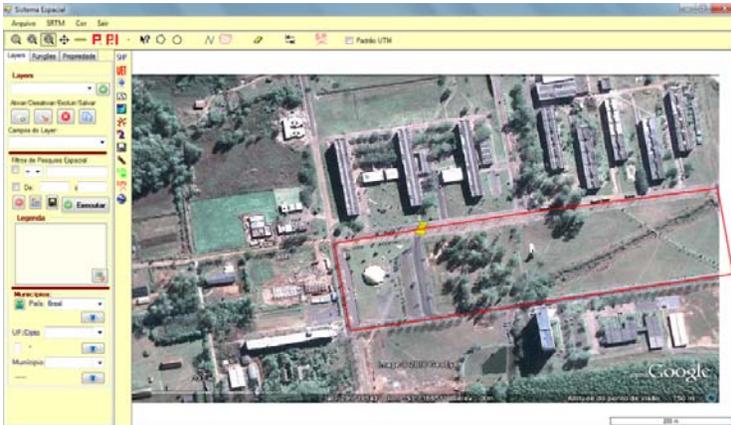


Figura 81. Sobreposição da entidade selecionada na guia VET.
(Fonte: Autores)

O GPS deve estar configurado com a sentença NMEA

1. Configuração de porta de comunicação e velocidade

2. Iniciar e Encerrar a conexão online

3. Status e nº de satélites

4. Posição atual
- Graus Decimais
- Graus Hexagesimais
- UTM
- Altitude (metros)

5. Visualizar posição no GoogleEarth e GMaps

6. Quadro de Navegação

7. Sentença NMEA

8. Bussola e direção

Porta COM: 17 Taxa: (Baud Rate) 4800

Posição Rastreada

FixStatus: 1 GPSFix Número de Satélites: 3

Graus Decimais	Graus Hexagesimais	U.T.M.
Latitude: -29.71871	29°43'07.35" Sul	6709291.7902
Longitude: -53.71714	53°43'01.70" Oeste	237151.7557

Altitude: 91.9 metros

Posição- URL Google Maps: <http://maps.google.com?q=-29.71871,-53.71714>

Posição- GMaps/GEarth: -29.71871, -53.71714

Navegação

Azimute e Velocidade

Coordenadas: Destino	Direção => Destino
Azimute Verdadeiro: 222.8°	Velocidade(km/h): 0.926 km/h

Sentença NMEA

```

SGPGSV,3,2,12,16,39,279,00,18,56,142,00,19,22,223,00,21,21,104,00,79
SGPGSV,3,1,12,03,40,225,00,06,60,224,37,14,28,026,00,15,05,140,00,75
SGPGSA,A,2,06,.....,21,22,.,3,3,3,8,1,0,36
SGPGGA,1,75,43,2,943,1,228,S,05343,0,285,W,1.03,3,8,91,9,M,8,3,M,43
SGPRMB,A,.....,A,A*0B
    
```

Figura 82. Interface GPS, Conexão online e Navegação.
(Fonte: Autores)

O quadro de Navegação apresenta três guias:

- a) Guia Azimute e Velocidade. (Figura 83): Apresenta o azimute verdadeiro da direção de deslocamento do GPS e a velocidade (km/h)
- b) Coordenadas Destino. (Figura 84): Possibilita a introdução de coordenadas geográficas de um ponto qualquer (destino) para o cálculo online de distância da posição atual a esse destino, bem como a orientação.
- c) Quadro Direção – Destino. Figura 85: Apresenta o azimute calculado para o alinhamento formado pela posição atual e o ponto informado, bem como a distância linear entre os mesmo.



Figura 83. Quadro de azimute e velocidade.
(Fonte: Autores)



Figura 84. Quadro de introdução de dados do destino.
(Fonte: Autores)

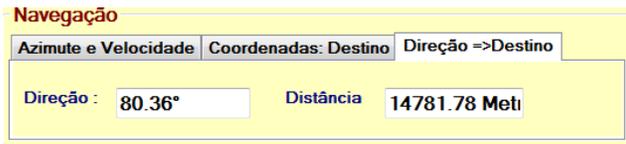


Figura 85. Quadro Direção - Destino.
(Fonte: Autores)

- d) Croqui da Direção. Figura 86: Além da apresentação numérica dos elementos da direção é mostrado também na forma gráfica de uma seta de apontamento.



Figura 86. Croqui da Direção.
(Fonte: Autores)

4.7 Interface GPS–Online: Sistema AP Campo.

O AP Campo é um sistema especialista do CR Campeiro projetado para operar em computadores com sistema operacional Windows de forma independente do programa base cujas funções de GPS foram descritas acima, e inclusive ele conta um instalador próprio e seu uso é recomendado para operações a campo de coleta de dados. O recomendável que o tipo de computador em que ele for instalado tenha tela “touch”, e uma conexão serial para a interface NMEA com o aparelho GPS.

Alem dessa possibilidade de operar de forma independente, o programa AP Campo é parte integrante do Sistema Desktop do CR Campeiro e é executado a partir de botão de atalho na Guia de Agricultura de Precisão ou do menu de Sistemas Especialista. A figura 87 mostra a tela de conexão ao GPS do AP Campo, sendo que o modo operacional deste programa e suas funções estão descritas em um tutorial específico relativo à Agricultura de Precisão.

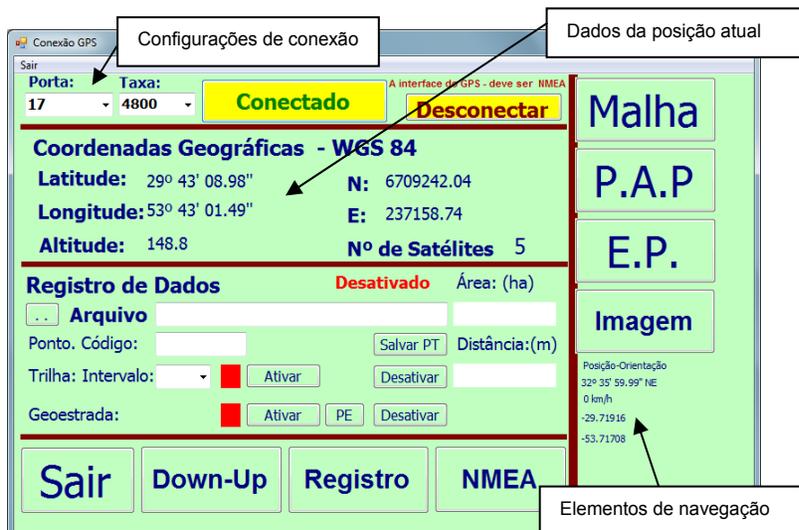


Figura 87. Conexão GPS com o Sistema AP de Campo.
(Fonte: Autores)

REFERENCIAS

BRASIL, INCRA. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília: novembro de 2003, 1ª edição.

EUROPEAN COMMISSION. "**The Galileo Project: GALILEO Design Consolidation**". August 2003.

EUROPEAN COMMISSION. "**GALILEO, A Satellite Navigation System for the World**", European Communities, 2002.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª edição, São Paulo, Editora UNESP, 2008. 480p.

ROBAINA, A.D.; CATEN, A.T. **Caderno Didático: Fundamentos do Sistema de Posicionamento Global - GPS**. Santa Maria, Colégio Politécnico da UFSM, 2006. 72p.

ROSA, R. **Cartografia Básica**. Universidade Federal de Uberlândia. 2004

SEBEM, E.; LANGENDOLFF, A.; PELLEGRINI, G. C.; TEN CATEN, A. (2008). **Rede de referência cadastral como base para qualificar a geoinformação no Campus da UFSM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO, 2. Recife, 2008. **Anais** (CD ROM) Recife.

SEEBER, GÜNTER; **Satellite geodesy : foundations, methods, and applications** / Günter Seeber.-- Berlin [etc]: W. de Gruyter, 1993.-- XIII, 531 p. : il., mapas.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS Sistema de Posicionamento Global – parte 2 - Curso de Atualização em Topografia e GPS**. São Carlos, EESC/Transportes, 1996.