



CARTOGRAFIA

Professores:
Antônio José Berutti Vieira
Claudia Robbi Sluter
Henrique Firkowski
Luciene Stamato Delazari

Curitiba – 2004

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Departamento de Geomática
Centro Politécnico Bloco VI – Jardim das Américas – Curitiba – PR
Fone: (0xx41) 361 –3160/ 3634; Fax: (0xx41) 361-3161
<http://www.geomatica.ufpr.br>

SUMÁRIO

SUMÁRIO	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
1- CARTOGRAFIA DEFINIÇÕES	1
2- PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS: FUNDAMENTOS	9
2.1 – INTRODUÇÃO	10
2.2 – CLASSIFICAÇÃO DAS PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS	11
2.2.1 Superfícies de referência	11
2.2.2 Superfícies de Projeção	12
2.2.3 Contato entre <i>SR</i> e <i>SP</i>	13
2.2.4 Posição relativa entre <i>SR</i> e <i>SP</i>	14
2.2.5 Geração da projeção cartográfica	15
2.2.6 Propriedade de uma projeção cartográfica	15
2.3 – CONCEITO DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	16
2.4 – DISTORÇÃO DE ESCALA E ELIPSE DE TISSOT	18
2.5 – PROJEÇÕES AZIMUTAIS, CÔNICAS E CILÍNDRICAS	20
2.5.1 PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS AZIMUTAIS PERSPECTIVAS	20
2.5.1.1 Projeção Azimutal Gnomônica	21
2.5.1.2 Projeção Azimutal Estereográfica	21
2.5.1.3 Projeção Azimutal Ortográfica	21
2.5.2 PROJEÇÕES CÔNICAS	22
2.5.2.1 Projeção cônica conforme	22
2.5.2.2 Projeção Cônica Equivalente	23
2.5.3 PROJEÇÕES CILÍNDRICAS	24
2.6 – PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR OU PROJEÇÃO DE GAUSS .	25
2.6.1 Problema Direto	26
2.6.2 Problema Inverso	28
2.7 – PROJEÇÃO UTM - UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR	29
2.7.1 Outras Projeções Baseadas na Projeção TM	31
2.8 – TRANSPORTE DE COORDENADAS NA PROJEÇÃO UTM	32
2.8.1 Reduções lineares	33
2.8.2 Reduções Angulares	33
2.8.3 Problema Direto	33
2.8.4 Problema Inverso	37
2.8.5 Avaliação de Área na Projeção UTM	39
3- PROJETO DE SÍMBOLOS	46
3.1 - COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA	48
3.2 - LINGUAGEM CARTOGRÁFICA	51
3.2.1 Dimensão Espacial e Primitiva Gráfica	52
3.2.2 Definição da Escala do Mapa	56
3.2.3 Nível ou Escala de Medida	57
3.2.4 Variáveis Visuais	58
4- CARTAS TOPOGRÁFICAS	67
4.1 - A CARTA TOPOGRÁFICA	68
4.2 - REPRESENTAÇÃO DO RELEVO	72
4.2.1 Pontos Altimétricos	73
4.2.2 Curvas de Nível	73
4.3 - O MAPEAMENTO SISTEMÁTICO BRASILEIRO	76

4.3.1 As convenções cartográficas	78
4.3.2 Mapeamento Topográfico e Articulação de Cartas	83
5- CARTOGRAFIA DIGITAL	96
5.1 – INTRODUÇÃO	97
5.2 - CAD x CAC x SIG	98
5.3 - CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS CAC	100
5.3.1 Níveis de Informação	100
5.4 - ESTRUTURAS DE DADOS	101
5.4.1 Estrutura Vetorial	101
5.4.2 Estrutura Matricial	102
5.5 - FORMAS PARA AQUISIÇÃO DA INFORMAÇÃO	104
5.5.1 Digitalização	104
5.5.1.1 Digitalização manual	104
5.5.1.2 Digitalização semi-automática	109
5.5.1.3 Escanerização	109
5.5.1.4 Entrada de dados via teclado	110
5.5.1.5 Entrada de dados via importação de dados	110
5.6 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Detalhe da parte superior do Mapa Mundi de Hereford	3
FIGURA 1.2 - Um exemplo de uma Carta Portulana	3
FIGURA 1.3 - Exemplo de um mapa de referência geral (em escala reduzida do original)	4
FIGURA 1.4 - Carta Topográfica do Centro Politécnico na escala 1:5000 (em escala reduzida do original)	5
FIGURA 1.5 - Parte da Carta Topográfica Antonina na escala 1:50.000 (em escala reduzida do original)	6
FIGURA 1.6 - Mapa de vegetação do Brasil (em escala reduzida do original)	7
FIGURA 1.7 - Mapa temático representando as taxas de mortalidade de crianças até 5 anos, de acordo com o censo 2000	7
FIGURA 1.8 - Mapa do Índice de Vegetação	8
FIGURA 2.1 - Superfícies relacionadas em projeções cartográficas	10
FIGURA 2.2 - Superfície de projeção (<i>SP</i>) e superfície de referência (<i>SR</i>) diferentes	11
FIGURA 2.3 - Modelos da Terra (esfera e elipsóide)	12
FIGURA 2.4 - Superfícies de projeção (<i>SP</i>) relacionadas de modo tangente com a superfície de referência (<i>SR</i>): a) plano, b) cilindro, e c) cone	13
FIGURA 2.5 - Superfícies de projeção (<i>SP</i>) relacionadas de modo secante com a superfície de referência (<i>SR</i>): a) plano, b) cilindro, e c) cone	13
FIGURA 2.6 - Posições da superfície de projeção (<i>SP</i>) em relação à superfície de referência (<i>SR</i>): a) normal, b) transversa e c) oblíqua	14
FIGURA 2.7 - Linhas de latitude e linhas de longitude numa esfera	16
FIGURA 2.8 - Coordenadas geográficas latitude ϕ e longitude λ na esfera	17
FIGURA 2.9 - Elipsóide de revolução e as coordenadas latitude ϕ e longitude λ geodésicas ..	17
FIGURA 2.10 - Princípio da Elipse Indicatriz de Tissot, círculo da <i>SR</i> e elipse na <i>SP</i>	19
FIGURA 2.11 - Elipse Indicatriz de Tissot; a) projeção conforme (valor da área distorcido); b) elipses para a projeção conforme; c) projeção equivalente em que a forma é distorcida; e d) elipses para a projeção equivalente	20
FIGURA 2.12 - Projeção Azimutal Gnomônica três casos: a) normal ou polar; b) transversal ou equatorial; e c) oblíquo	21
FIGURA 2.13 - Projeção Azimutal Estereográfica, três casos: a) normal ou polar; b) transversal ou equatorial; e c) oblíquo	21
FIGURA 2.14 - Projeção Azimutal Ortográfica, três casos: a) normal ou polar; b) transversal ou equatorial; e c) oblíquo	22
FIGURA 2.15 - Projeções azimutais não perspectivas: a) equivalente e b) equidistante	22
FIGURA 2.16 - Projeção cônica conforme: a) normal; b) transversa; e c) oblíqua	23
FIGURA 2.17 - Projeção cônica equivalente: a) normal; b) transversa; e c) oblíqua	23
FIGURA 2.18 - Projeção cônica equidistante de Euler	23
FIGURA 2.19 - Projeção de Mercator ou Projeção Cilíndrica Conforme Normal	24
FIGURA 2.20 - Cilindro transversal tangente da projeção Transversa de Mercator	25
FIGURA 2.21 - Aparência dos meridianos e paralelos na Projeção de Mercator ou Projeção de Gauss	26
FIGURA 2.22 - Dois posicionamentos do cilindro transversal em diferentes fusos	29
FIGURA 2.23 - Fuso UTM e seus principais elementos	31
FIGURA 2.24 - Distorção de escala em diferentes regiões de um fuso UTM	31
FIGURA 2.25 - Esquema das reduções lineares	33
FIGURA 2.26 - Pontos formadores do polígono orientados no sentido horário	40
FIGURA 2.27 - Passos da transformação de coordenadas UTM em coordenadas cartesianas topocêntricas	42
FIGURA 3.1 - Comparação de uma fotografia aérea com um mapa (em escala reduzida)	47
FIGURA 3.2 - Ortofoto de uma região de Washington, DC, EUA	48
FIGURA 3.3 - Comunicação Cartográfica	49
FIGURA 3.4 - IDHM do Brasil em 2000	50
FIGURA 3.5 - Mapa de Vegetação do Brasil (em escala reduzida do original)	51

FIGURA 3.6 - Mapa da Divisão Político-Administrativa da Região Sudeste do Brasil (em escala reduzida do original)	51
FIGURA 3.7 - Ilustração de árvores consideradas com dimensão pontual	52
FIGURA 3.8 - Ilustração da rodovia e das ruas consideradas com dimensão linear	53
FIGURA 3.9 - Ilustração das quadras consideradas com dimensão de área	53
FIGURA 3.10 - Ilustração da superfície do relevo como dimensão volumétrica	53
FIGURA 3.11 - Ilustração da primitiva gráfica ponto representando a dimensão espacial	54
FIGURA 3.12 - Ilustração das primitivas gráficas linha e área utilizadas na representação da feição rio definida com a dimensão espacial linear	54
FIGURA 3.13 - Ilustração da primitiva gráfica área representando a feição área urbana de dimensão espacial área	55
FIGURA 3.14 - Reprodução reduzida de parte de uma carta topográfica na escala 1:50000, do mapeamento suíço, ilustrando a primitiva gráfica ponto representando a dimensão espacial área da feição <i>área construída</i>	55
FIGURA 3.15 - Exemplo hipotético do uso da variável visual <i>tamanho</i> para símbolos pontuais	59
FIGURA 3.16 - Mapa da população total por estado no Brasil, censo 2000, representada com a variável visual tamanho	60
FIGURA 3.17 - O círculo dos tons de cores	60
FIGURA 3.18 - Exemplo hipotético do uso da variável visual <i>tom de cor</i> para símbolos pontuais	61
FIGURA 3.19 - Exemplo hipotético do uso da variável visual <i>tom de cor</i> para símbolos de área	61
FIGURA 3.20 - Representação temática utilizando a variável visual tom de cor para primitiva gráfica ponto	61
FIGURA 3.21 - Representação temática utilizando a variável visual tom de cor para primitiva gráfica área	62
FIGURA 3.22 - Ilustração da variação da luminosidade de cor (tons de cinza)	62
FIGURA 3.23 - Ilustração da variação em luminosidade de cor aplicada ao tom de cor azul ..	63
FIGURA 3.24 - Exemplo hipotético do uso da variável visual <i>valor de cor</i> para símbolos de área	63
FIGURA 3.25 - Mapa da taxa de analfabetismo entre 15 e 17 anos, no Brasil, de acordo com o censo 2000	64
FIGURA 3.26 - Ilustração da variação em saturação de um tom de cor	65
FIGURA 3.27 - Ilustração das variáveis visuais saturação de cor e valor de cor em mapas temáticos	65
FIGURA 3.28 - Exemplo hipotético do uso da variável visual <i>forma</i> para símbolos pontuais..	65
FIGURA 3.29 - Exemplo de mapa temático representado com a variável visual forma	66
FIGURA 4.1 - Ilustração da paisagem de uma região de Maceió	68
FIGURA 4.2 - Parte de uma planta topográfica na escala 1:500 (ilustração em escala aproximada)	69
FIGURA 4.3 - Parte de uma planta topográfica na escala 1:2500 (ilustração em escala aproximada)	70
FIGURA 4.4 - Parte de uma carta topográfica na escala 1:50000 (ilustração em escala aproximada)	70
FIGURA 4.5 - Parte de Carta Topográfica Antonina, na escala 1:50.000 (ilustração em escala aproximada)	71
FIGURA 4.6 - Parte de uma carta topográfica na escala 1:100.000 do mapeamento suíço (ilustração em escala aproximada)	72
FIGURA 4.7 - Exemplos de Pontos Altimétricos da Carta Topográfica Antonina (ilustração em escala aproximada 1:50000)	73
FIGURA 4.8 - Exemplos de Pontos Altimétricos da Carta Topográfica Antonina (ilustração em escala aproximada 1:50000)	74

FIGURA 4.9 - Parte de uma carta topográfica na escala 1:25.000, com as curvas de nível em sépia e preto (ilustração em escala aproximada)	75
FIGURA 4.10 - Simbologia para as curvas de nível aproximadas e suplementares das convenções cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro	76
FIGURA 4.11 - Simbologia para as curvas de nível aproximadas e suplementares das convenções cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro	76
FIGURA 4.12 - Rodovia não pavimentada (BR 230)	80
FIGURA 4.13 - Rodovia pavimentada (BR 330)	81
FIGURA 4.14 - Rodovia pavimentada (BR 330)	81
FIGURA 4.15 - Simbologia para a representação das RODOVIAS de acordo com a Convenções Cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro	82
FIGURA 4.16 - Simbologia para auto-estrada, de acordo com as Convenções Cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro	82
FIGURA 4.17 - Área coberta por uma Carta Internacional ao Milionésimo	83
FIGURA 4.18 - Cartas topográficas ao milionésimo que cobrem o território nacional	84
FIGURA 4.19 - Limites e nomenclatura da carta Curitiba na escala 1/1.000.000	85
FIGURA 4.20 - Articulação sistemática das cartas topográficas	85
FIGURA 4.21 - Código relativo a escala 1/500.000	87
FIGURA 4.22 - Código relativo a escala 1/250.000	87
FIGURA 4.23 - Código relativo a escala 1/100.000	88
FIGURA 4.24 - Código relativo a escala 1/50.000	88
FIGURA 4.25 - Código relativo a escala 1/25.000	88
FIGURA 4.26 - Nomenclatura completa até a escala de 1/25.000	89
FIGURA 4.27 - Fragmento da carta topográfica 1/50.000 produzida pelo IBGE	89
FIGURA 4.28 - Fragmento da carta topográfica 1/2.000 produzida para a Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral do Rio de Janeiro	90
FIGURA 4.29 - Articulação das cartas topográficas até a escala de 1/2.000 (Cartas Cadastrais)	90
FIGURA 4.30 - Código relativo a escala 1/500.000	92
FIGURA 4.30 - Código relativo a escala 1/250.000	92
FIGURA 4.32 - Código relativo a escala 1/100.000	93
FIGURA 4.33 - Código relativo a escala 1/50.000	93
FIGURA 4.34 - Código relativo a escala 1/25.000	93
FIGURA 4.35 - Nomenclatura completa até a escala de 1/25.000	94
FIGURA 4.36 - Código relativo a escala 1/10.000	94
FIGURA 4.37 - Código relativo a escala 1/5.000	95
FIGURA 4.38 - Código relativo a escala 1/2.000	95
FIGURA 4.39 - Nomenclatura completa até a escala de 1/2.000	95
FIGURA 5.1 - Exemplos de informação espacial	99
FIGURA 5.2 - Resultado de consulta espacial	99
FIGURA 5.3 - Organização das informações em níveis	100
FIGURA 5.4 - Representação 2D de fenômenos numa estrutura vetorial	102
FIGURA 5.5 - Exemplo da representação de feições na estrutura vetorial	102
FIGURA 5.6 - Representação dos elementos na estrutura matricial	103
FIGURA 5.7 - Representação na estrutura matricial	103
FIGURA 5.8 - Representação vetorial e matricial de uma mesma feição	104
FIGURA 5.9 - Mesa digitalizadora	105
FIGURA 5.10 - Cursor da mesa digitalizadora	105
FIGURA 5.11 - Esquema para orientação do mapa sobre a mesa digitalizadora	106
FIGURA 5.12 - Digitalização de uma carta topográfica com mesa de digitalização	107
FIGURA 5.13 - Digitalização duplicada da mesma feição	107
FIGURA 5.14 - Conexão inapropriada para feições que são bifurcadas	108
FIGURA 5.15 - Feição que está segmentada, mas que deve ser contínua	108
FIGURA 5.16 - Feições lineares que deveriam se conectar suavemente, mas que estão deslocadas	109

FIGURA 5.17 - Exemplo de *plotter* usado para impressão da carta topográfica 110

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Coordenadas UTM de 22 vértices do polígono	43
TABELA 2.2.- Coordenadas retangulares dos pontos formadores do polígono referidas num referencial local topocêntrico centrado na sua posição média	43
TABELA 2.3 - Valores numéricos de área em diferentes referenciais	44
TABELA 2.4 - Diferença em unidades de área entre os valores em diferentes referenciais (Área linha – Área coluna)	44
TABELA 2.5 - Diferença percentual entre os valores de área em diferentes referenciais (Área linha / Área coluna)	44
TABELA 4.1 - Códigos de Zona	86
TABELA 5.1 - Conjunto de informações semânticas, ou não espaciais	99
.....	

Capítulo 1

Cartografia: Definições

Autor:
Prof^ª Dr^ª Claudia Robbi Sluter

1- Cartografia: Definições

A necessidade de conhecer aonde habitamos, de forma que possamos nos localizar, e portanto navegar no meio em que vivemos, estimulou o surgimento e o desenvolvimento da Cartografia. Com a Cartografia nós somos capazes de documentar o conhecimento sobre a superfície terrestre. Este conhecimento engloba todos os elementos, conceitos ou fenômenos cujas localizações em relação à superfície terrestre é conhecida. O que é, então, Cartografia? A Associação Cartográfica Internacional (International Cartographic Association – ICA) apresentou a definição de Cartografia, em sua publicação *Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography* (MEYNEN apud DENT, 1999, p.4) como:

“A arte, ciência e tecnologia de mapeamento, juntamente com seus estudos como documentos científicos e trabalhos de arte. Neste contexto pode ser considerada como incluindo todos os tipos de mapas, plantas, cartas e seções, modelos tridimensionais e globos representando a Terra ou qualquer corpo celeste, em qualquer escala.”

Esta definição apresenta a Cartografia em duas partes, ou seja, o que é a Cartografia e os produtos gerados pelas atividades da Cartografia. Na primeira parte esta definição nos mostra que Cartografia é mapeamento, entendendo mapeamento como a geração dos documentos cartográficos. Isto significa que a Cartografia engloba as atividades sequentes ao levantamento e processamento das informações sobre a superfície terrestre, sendo estas atividades desempenhadas nos trabalhos referentes à Geodésia, à Fotogrametria, ao Sensoriamento Remoto.

A segunda parte apresenta os produtos gerados pela Cartografia. De todos estes produtos, provavelmente os mais comumente encontrados são os mapas e as cartas. Talvez porque sejam os mais utilizados e portanto os mais úteis. Neste momento da análise da definição de Cartografia nos deparamos com uma interessante questão: qual é a definição de mapa ou carta? Antes de responder a esta pergunta, vamos nos ater a uma outra questão que possa ser arguida: existe diferença entre mapa e carta? Ou melhor, mapa é diferente de carta? A diferença entre estes dois termos, utilizados para denominar representações de regiões da superfície terrestre, é consequência de suas diferentes origens. Ambas as denominações se referem ao mesmo tipo de produto, portanto conceitualmente mapa e carta são sinônimos. O uso da palavra **mapa**, para o significado citado, é originária da Idade Média, da palavra latina *mappae*, utilizada para denominar o mapa do mundo, em latim *mappae mundi*, que significa “pano do mundo” (Figura 1.1). A denominação **carta** surgiu no século XIV, com o comércio marítimo, com o termo **cartas portulanas**, designação portuguesa para cartas marítimas (Figura 1.2).

Como então podemos definir mapa? KEATES(1988, p.3) define mapa como sendo uma “imagem gráfica bidimensional que mostra a localização de coisas no espaço, isto é, em relação à superfície terrestre”. Segundo o NRC (2004) mapa é “uma representação gráfica (comumente sobre uma superfície plana) da organização espacial de qualquer parte do universo físico em qualquer escala, que simboliza uma variedade de informações, tanto estáticas quanto dinâmicas”. Ambas as definições afirmam que mapa é uma imagem ou representação gráfica, ou seja, é um tipo especializado de imagem gráfica. O mapa é uma imagem gráfica especial porque nele estão representadas feições cuja localização em relação à superfície terrestre é conhecida. Na definição de KEATES(1988) esta característica dos mapas está referida como “a localização de coisas no espaço, isto é, em relação à superfície terrestre”, enquanto na definição apresentada pelo NRC(2004) temos

“organização espacial de qualquer parte do universo físico”. Neste caso, a definição não limita os mapas à representação de feições terrestres, mas inclui o “universo físico”, o que pode abranger outros planetas. Além disso, a definição do NRC explicita a representação em escala e a utilização de símbolos cartográficos, quando cita “que simboliza uma variedade de informações”.



FIGURA 1.1 - Detalhe da parte superior do Mapa Mundi de Hereford
Fonte: BRITANNIA (2004)

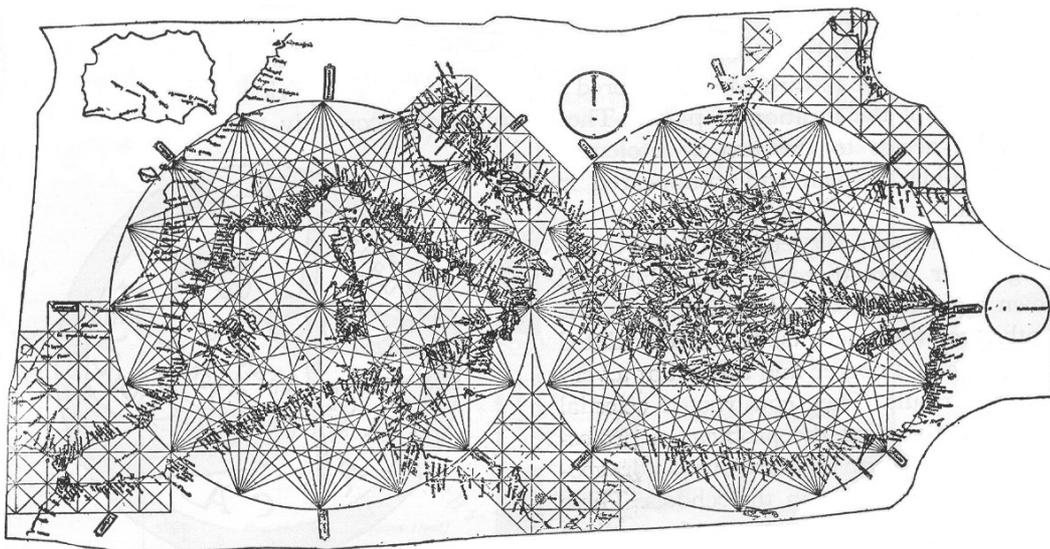


FIGURA 1.2 - Um exemplo de uma Carta Portulana
Fonte: RAISZ, 1948, p.18

Assim destas duas definições nós podemos obter algumas importantes características dos mapas, ou seja:

- São imagens gráficas bidimensionais;

- Estas imagens são resultados da aplicação de símbolos gráficos para representar as feições;
- As feições são informações cujas localizações em relação à superfície terrestre são conhecidas;
- A representação das feições é realizada em uma determinada escala;
- A representação da localização geográfica e em escala exigem o uso de uma projeção cartográfica.

A classificação mais comum dos mapas é a que os agrupa de acordo com a finalidade para a qual são construídos. De acordo com esta classificação os mapas podem ser classificados em **mapas de propósito geral**, sendo um exemplo comum as **cartas topográficas**, e os **mapas temáticos**. Os **mapas de propósito geral** (Figura 1.3) são assim denominados pois podem ser úteis em diversas situações, nas quais a localização espacial é a principal informação adquirida do mapa. Portanto, estes mapas são construídos para a representação da localização de uma variedade de diferentes feições. As **cartas topográficas** (Figuras 1.4 e 1.5) são um tipo de mapa de referência geral, pois devem atender a qualquer atividade para a qual seja necessário o conhecimento da localização de todas as feições visíveis na paisagem.



FIGURA 1.3 - Exemplo de um mapa de referência geral (em escala reduzida do original)
Fonte: SIMIELI e DE BIASI, 1999

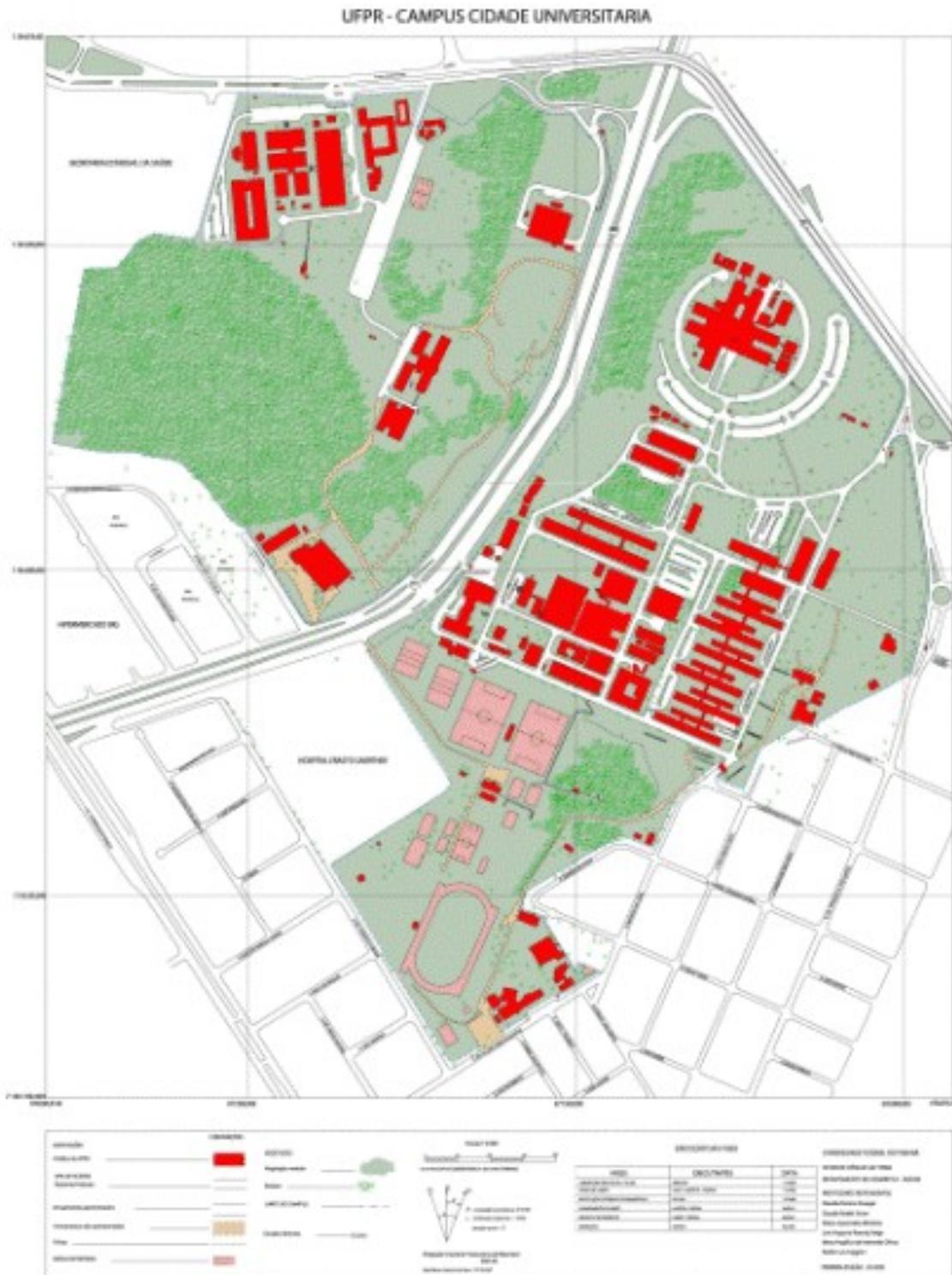


FIGURA 1.4 - Carta Topográfica do Centro Politécnico na escala 1:5000 (em escala reduzida do original)
Fonte: DGEOM – Departamento de Geomática da UFPR



FIGURA 1.5 - Parte da Carta Topográfica Antonina na escala 1:50.000 (em escala reduzida do original)

Fonte: FRIEDMANN, 2003, p.82

Segundo DENT (1999, p.7), a Associação Cartográfica Internacional (ICA) define mapa temático como “um mapa projetado para revelar feições ou conceitos particulares, no uso convencional esse termo exclui as cartas topográficas”. O propósito dos mapas temáticos é mostrar as características estruturais de alguma distribuição geográfica particular. As Figuras 1.6, 1.7 e 1.8 apresentam três exemplos de mapas temáticos.



FIGURA 1.6 - Mapa de vegetação do Brasil (em escala reduzida do original)
Fonte: SIMIELI e DE BIASI, 1999

Mortalidade até cinco anos de idade, 2000
 Todos os Estados do Brasil

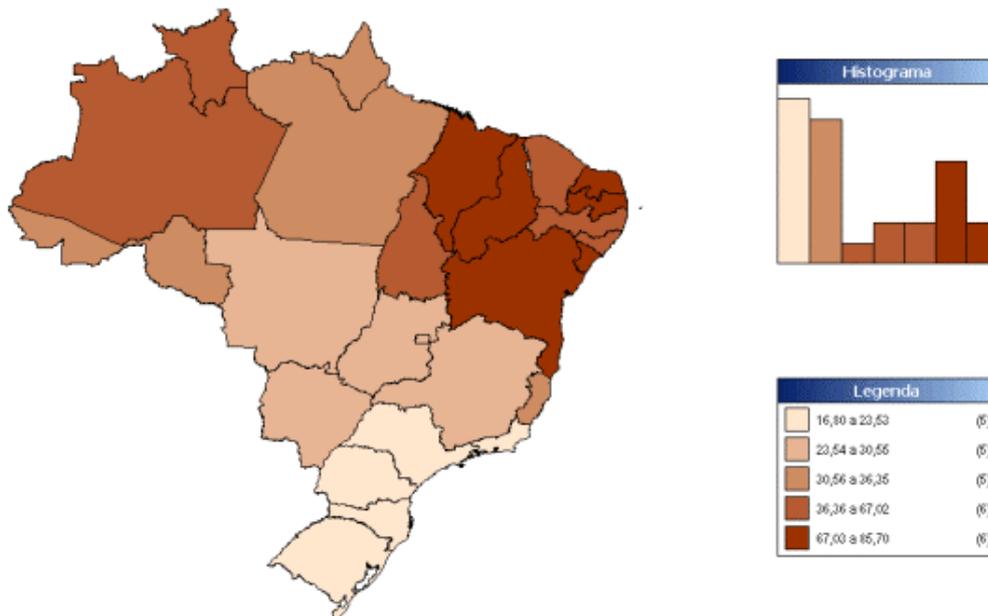


FIGURA 1.7 – Mapa temático representando as taxas de mortalidade de crianças até 5 anos, de acordo com o censo 2000
Fonte: FJP e IPEA, 2003

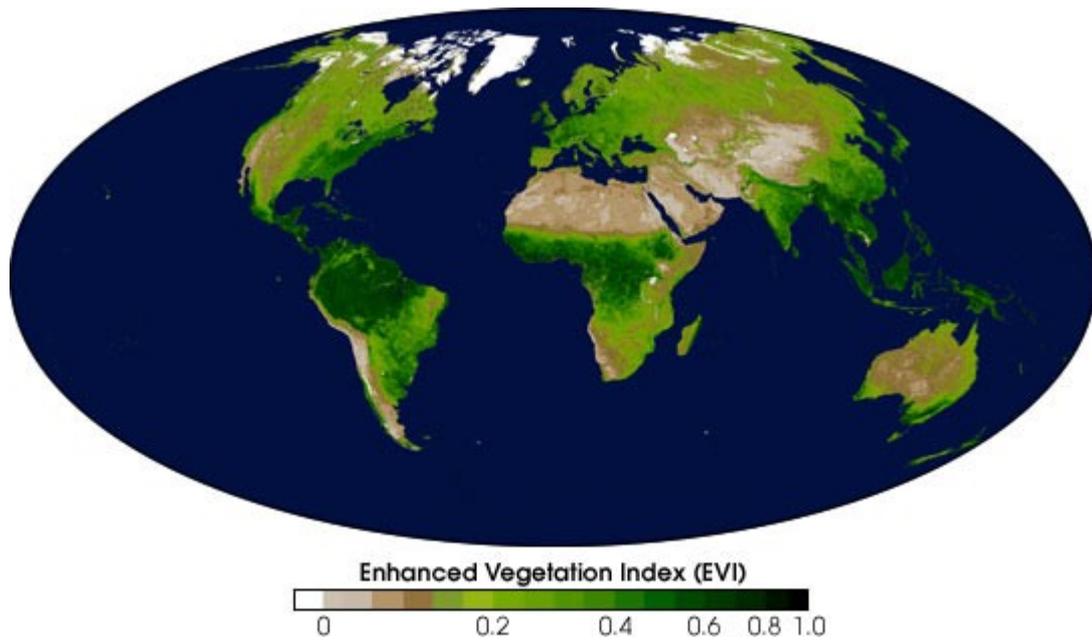


FIGURA 1.8 – Mapa do Índice de Vegetação
Fonte:

Capítulo 2

Projeções Cartográficas

Autor:
Prof. Dr. Henrique Firkowski

2 - Projeções Cartográficas: Fundamentos

2.1 – INTRODUÇÃO

A Cartografia se constitui numa ferramenta aplicável a qualquer das atividades humanas que requeiram conhecimento acerca do seu ambiente ou de relacionamentos ocorridos entre fenômenos deste ambiente. Sob a denominação Cartografia encontram-se todos os procedimentos e métodos voltados para o planejamento, coleta, representação e utilização de dados geográficos, quer na forma digital quer na forma analógica. A Cartografia pode ser vista, dentre outras formas, como meio de comunicação de informação. Neste sentido a Cartografia é veículo de comunicação mais eficiente do que um relatório escrito ou do que uma tabela ou gráfico.

Como já foi ressaltado no primeiro capítulo, há a necessidade de se estabelecer um relacionamento métrico entre aquilo que está representado no mapa com o seu correspondente fonte do dado representado. É neste ponto que se introduz a projeção cartográfica. Além dos processos de abstração e generalização a que as entidades /objetos/ fenômenos do mundo real estão submetidos ao se buscar representá-los na forma de mapa, existe ainda um aspecto analítico que envolve a produção dos mapas. O aspecto analítico diz respeito ao relacionamento geométrico entre as entidades/objetos/fenômenos representados e as entidades/objetos/fenômenos existentes no mundo real. Este relacionamento, que é baseado em funções matemáticas, recebe o nome de projeção cartográfica.

Uma projeção cartográfica pode ser definida como um relacionamento matemático entre posições referidas a um modelo de superfície terrestre e posições referidas a uma superfície plana ou uma superfície desenvolvível no plano. De forma mais rigorosa uma projeção cartográfica é a transformação de espaços bi-unívoca entre uma superfície de referência (*SR*) e uma superfície de projeção (*SP*) (Figura 2.1). Todas as projeções cartográficas envolvem operações analíticas e operações de representação gráfica.

Visto que projeção cartográfica foi definida como uma transformação entre espaços deve-se aceitar que algo que é resultante de um processo de transformação será diferente do original (Figura 2.2), uma vez que as projeções cartográficas não são realizadas por meio das transformações ortogonais. O aspecto mais importante no tema projeções cartográficas reside no conceito de *distorção* ou *distorção de escala*.



FIGURA 2.1 - Superfícies relacionadas em projeções cartográficas

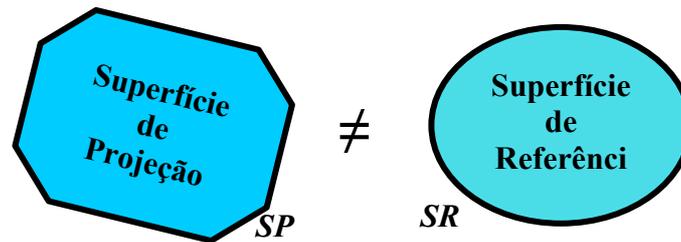


FIGURA 2.2 - Superfície de projeção (*SP*) e superfície de referência (*SR*) diferentes

2.2 – CLASSIFICAÇÃO DAS PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

A nomenclatura das diferentes projeções cartográficas não segue uma padronização, visto que há projeções cartográficas cuja identificação se dá pelo nome de seu autor e outras cuja identificação envolve tanto nomes quanto características ou a propriedade da própria projeção (RICHARDUS, 1982). No entanto, para todas as projeções cartográficas deve ser estabelecido um conjunto de elementos que possam individualizá-la. Tais elementos são: a) o modelo adotado para a Terra, isto é qual é a superfície de referência (*SR*); b) a figura geométrica adotada como superfície de representação ou superfície de projeção (*SP*); c) o modo como o modelo da Terra e a superfície de projeção se tocam; d) o ângulo formado entre o eixo de rotação do modelo da Terra e a linha de simetria da superfície de projeção; e) o modo como as funções de projeção cartográfica são desenvolvidas; e f) a propriedade verificada ou existente nas entidades/ objetos representados quando comparados com os originais do modelo da Terra adotado.

As projeções cartográficas podem ser identificadas pelo nome de seu idealizador, como por exemplo, Projeção de Mercator, Projeção de Robinson. As projeções cartográficas também podem ser identificadas por um nome composto por alguns dos elementos descritos acima, como por exemplo, projeção Azimutal Ortográfica Oblíqua.

2.2.1 Superfícies de referência

Um *modelo* é uma representação de algo com aproximação suficiente para atender a alguma finalidade. O rigor da representação é função (dependente) da finalidade da modelagem. Assim, como o planeta Terra é um sólido curvo um dos modelos que podem ser aplicados para descrevê-lo é uma esfera. No entanto, os desenvolvimentos ocorridos no campo da Geodésia mostraram que um elipsóide é um modelo da Terra mais adequado para algumas finalidades. A pesquisa científica comprovou que existe um achatamento na região dos pólos e uma protuberância na região equatorial. A realização de representações cartográficas em escalas grandes usando a aproximação da Terra por uma esfera não é apropriada pelos erros que isso pode produzir. Cada uma destas superfícies tem suas características próprias e sua aplicabilidade como superfície de referência.

A esfera é uma superfície que tem curvatura constante e requer apenas um parâmetro para a sua definição (Fig. 2.3 a). Este parâmetro é o raio (*R*), ou seja, para definir uma esfera basta definir um valor para o raio. A distância de qualquer ponto pertencente à esfera ao seu centro é constante. Para esta superfície de referência são definidos como característicos os pólos *PN* e *PS*, a linha do Equador contida num plano

perpendicular à linha dos pólos e um círculo máximo que contém a linha dos pólos denominado meridiano de Greenwich.

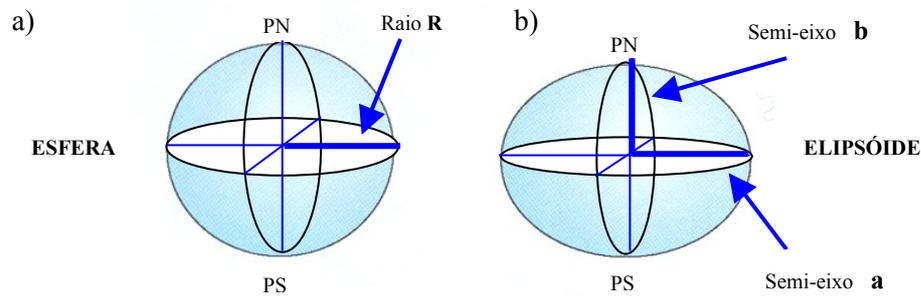


FIGURA 2.3 - Modelos da Terra (esfera e elipsóide)

A superfície do elipsóide (Fig. 2.3 b) é diferente da superfície da esfera, e pode ser descrita como a superfície que se obtém pela rotação de uma semi-elipse, daí ser denominada *elipsóide de revolução*. Os semi-eixos da elipse são denominados a e b . O círculo que representa o Equador tem raio de curvatura a (semi-eixo maior). Todos os meridianos têm forma de elipses com o semi-eixo maior contido no plano do Equador e o semi-eixo menor b contido na linha PN – PS. Percebe-se assim, que a superfície do elipsóide é mais complexa do que a superfície da esfera, e esta complexidade pode ser sintetizada no fato de que um elipsóide tem infinitos raios de curvatura em cada ponto, enquanto a esfera tem apenas um para toda ela. Em cada ponto da superfície do elipsóide existem dois raios de curvatura principais que são o raio de curvatura da seção meridiana M e o raio de curvatura da seção transversal ou primeiro vertical N . Todos os procedimentos analíticos que consideram a superfície do elipsóide tomam em consideração os seus raios de curvatura principais.

A utilização de uma ou outra superfície de referência (esfera ou elipsóide) leva a diferentes resultados no produto final que é o mapa. De um modo geral a adoção do modelo de Terra ou da superfície de referência depende da escala e da finalidade da representação.

No âmbito da cartografia ou da Engenharia Cartográfica, o estudo das propriedades geométricas da superfície da esfera pertence ao campo da Astronomia de Posição, e o estudo das propriedades geométricas da superfície do elipsóide pertence ao campo da Geodésia. Os conceitos relativos às duas superfícies são de extrema importância para o tema Projeções Cartográficas visto que as superfícies de referência são tomadas como a verdade que será mapeada. Isso quer dizer que, os valores referidos a estas superfícies são tomados como a verdade para comparar valores representados, e desta comparação é que se conclui acerca da distorção a que a grandeza foi submetida ao ser representada numa ou noutra projeção cartográfica.

2.2.2 Superfícies de Projeção

A superfície de projeção (SP) podem ser um plano, ou um cilindro ou um cone. Isso não significa que se produzirão mapas para ser usados ou interpretados enquanto estiverem na forma de cone ou cilindro, significa dizer que as características geométricas destas figuras proporcionam variabilidades apropriadas para se realizar as projeções cartográficas. Uma projeção cartográfica é produzida usando apenas uma superfície de projeção. Estas

superfícies de projeção (*SP*) admitem seu desenvolvimento num plano, ou seja, é possível tornar plana a superfície de um cone e a superfície de um cilindro.

2.2.3 Contato entre *SR* e *SP*

As transformações de espaços que se realizam nas projeções cartográficas sempre ocorrem tendo como consideração que as duas superfícies *SR* e *SP* têm pontos ou linhas comuns, isto é, as duas superfícies se tocam. Por exemplo, uma *esfera* e um plano podem se tocar de modo que, do ponto de vista geométrico, só exista um ponto de contato, ou então que o contato ocorra por meio de um conjunto de pontos que, necessariamente neste caso, pertencerão a um círculo da *SR*. Para o caso da *SR* e um cone ou um cilindro pode-se ter contato por meio de uma linha ou por meio de duas linhas. Quando um plano toca a *SR* num único ponto se diz que o contato ocorre de modo tangente, e o mesmo se diz da *SP* cone ou cilindro quando o contato ocorre por meio de uma linha (Figura 2.4). Quando o contato entre um plano e uma esfera ou um elipsóide ocorre por meio de uma linha tem-se o contato de modo secante. Para um cone e para um cilindro o contato de modo secante ocorre quando existem duas linhas de contato (Figura 2.5).

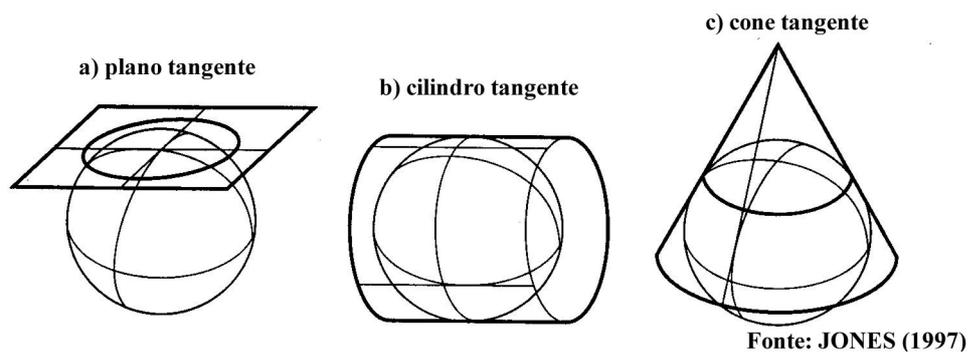


FIGURA 2.4 - Superfícies de projeção (*SP*) relacionadas de modo tangente com a superfície de referência (*SR*): a) plano, b) cilindro, e c) cone
Fonte: Jones (1997)

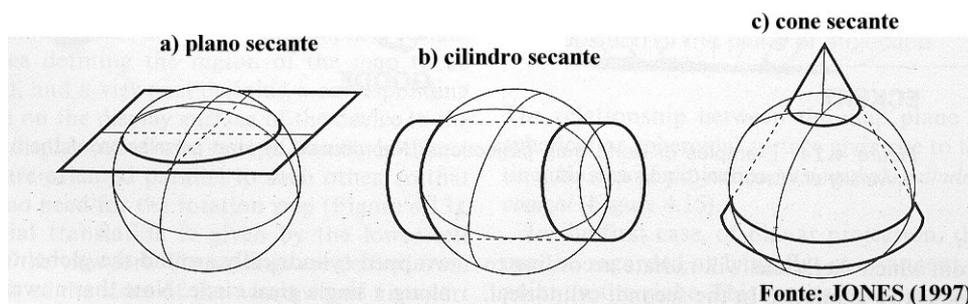


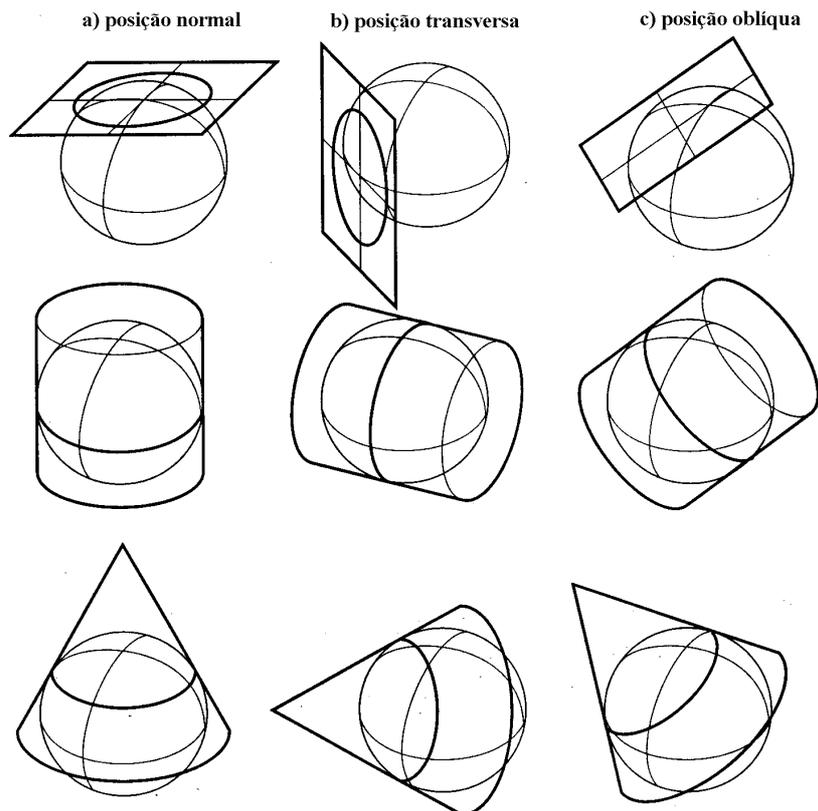
FIGURA 2.5 - Superfícies de projeção (*SP*) relacionadas de modo secante com a superfície de referência (*SR*): a) plano, b) cilindro, e c) cone
Fonte: Jones (1997)

2.2.4 Posição relativa entre *SR* e *SP*

A maneira como ocorre o contato entre a *SR* e a *SP* depende da definição de eixo de rotação da *SR* e e eixo de simetria da *SP*. O eixo de rotação da *SR* é definido como a linha dos pólos, ou linha *PN-PS*. A linha de simetria da *SP* pode ser definida como a linha que contém todos os centros dos círculos ou das elipses formados por pontos das seções aos cones ou aos cilindros. No caso de um plano a linha de simetria é uma das normais ao plano.

Quando os eixos de simetria e de rotação formam ângulo de 0° (zero graus) se diz que a *SP* está em posição *normal*; quando estes eixos formam um ângulo de 90° (noventa graus) se diz que a *SP* está em posição *transversa*; e quando os dois eixos formam ângulo diferente de 0° e de 90° se diz que a *SP* está em posição *oblíqua*. Na Figura 2.6 pode-se observar as diferentes possibilidades.

Há ainda as projeções cartográficas polisuperficiais em que a mesma superfície de projeção é utilizada repetidas vezes em diferentes posições relativamente à *SR*. Um exemplo deste tipo de projeção é a Projeção Policônica, utilizada pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para realizar a representação de todo o território nacional.



Fonte: JONES (1997)

FIGURA 2.6 - Posições da superfície de projeção (*SP*) em relação à superfície de referência (*SR*): a) normal, b) transversa e c) oblíqua

Fonte: Jones (1997)

2.2.5 Geração da projeção cartográfica

Todas as projeções cartográficas envolvem procedimentos analíticos, isto é, envolvem cálculos, embora o termo projeção seja utilizado para sua denominação. O resultado da aplicação de uma projeção cartográfica, embora resulte muitas vezes num produto gráfico como um mapa, é obtido por meio de operações analíticas (ver item 2.3).

As projeções cartográficas podem ser classificadas, segundo o processo de geração, em projeções geométricas, semi-geométricas e analíticas. Isso quer dizer que são utilizados aspectos geométricos para desenvolver uma projeção cartográfica, ou que são utilizados aspectos geométricos e condições matemáticas em seu desenvolvimento, ou que apenas condições matemáticas são aplicadas ao desenvolvimento da projeção cartográfica respectivamente (RICHARDUS, 1982).

2.2.6 Propriedade de uma projeção cartográfica

O aspecto mais importante numa projeção cartográfica está ligado ao resultado da comparação entre grandezas geométricas representadas na *SP* e suas correspondentes ou suas originais da *SR*. Quando se comparam grandezas da *SP* com as suas correspondentes da *SR* chega-se às seguintes possibilidades:

- 1- a grandeza na *SP* é igual à sua correspondente original da *SR*;
- 2- a grandeza na *SP* é maior do que sua correspondente original da *SR*; ou
- 3- a grandeza na *SP* é menor do que sua correspondente original da *SR*.

A diferença entre valores da *SR* e os correspondentes na *SP* é devida ao fato da *SP* ser uma representação da *SR*, e não a própria *SR*. Como já foi dito, quando se realiza a comparação entre as superfícies de referência e de projeção percebe-se que são diferentes e esta diferença recebe o nome de *distorção* ou *distorção de escala*. De acordo com o comportamento da *distorção de escala* pode-se classificar as projeções cartográficas em:

- 1) **Conformes** – são aquelas projeções cartográficas em que a *distorção* atua de modo igual para todas as direções em cada ponto na *SP*. Esta propriedade tem o significado geométrico de preservação da forma das entidades/objetos/elementos representados. De forma mais rigorosa diz-se que nas projeções cartográficas que têm a propriedade de conformidade os ângulos são preservados. A projeção UTM tem a propriedade de conformidade e por conseqüência proporciona a manutenção da forma/ângulos.
- 2) **Equivalentes** – são aquelas projeções cartográficas em que a *distorção de escala* atua de forma inversa em duas direções perpendiculares em cada ponto na *SP*. Numa direção ocorre ampliação do elemento geométrico e na outra ocorre uma redução do elemento geométrico, de modo a garantir que o valor numérico da área da região representada seja mantido. Desse modo o valor numérico da área obtido no mapa deve ser afetado apenas da escala nominal de representação para se obter o valor numérico da área na *SR*. A Projeção Cilíndrica Equivalente Normal tem esta propriedade.
- 3) **Equidistantes** - são aquelas projeções cartográficas em que uma família de linhas não sofre *distorção*, ou seja, o comprimento de qualquer parte ou qualquer destas linhas deve apenas ser afetado da escala nominal de representação para se obter o comprimento correspondente na *SR*. A Projeção Azimutal Ortográfica tem esta propriedade.
- 4) **Afiláticas** - são aquelas projeções cartográficas em que não ocorre nenhuma das três propriedades anteriores. A Projeção Cilíndrica de Muller é afilática.

A ocorrência de uma das propriedades implica necessariamente na ausência das outras, ou seja são excludentes. Quando uma projeção cartográfica tem a propriedade de

conformidade não será possível identificar nela as propriedades de equivalência ou equidistância.

2.3 – CONCEITO DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA

A representação de uma *SR* numa *SP* implica na seleção destas duas superfícies. Além disso, implica na seleção ou especificação dos outros elementos descritos acima na classificação das projeções cartográficas. Uma projeção cartográfica será, então, uma transformação entre espaços de modo que os elementos referidos a uma *SR* são calculados ou transformados para a *SP*. A forma genérica de uma projeção cartográfica é dada pelas Equações 2.1.

$$\begin{aligned} X &= f_1(\varphi, \lambda) \text{ e} \\ Y &= f_2(\varphi, \lambda). \end{aligned} \quad (2.1)$$

As quantidades *X* e *Y* representam posições ou coordenadas de pontos na *SP* e as quantidades φ (lê-se "fi"), λ (lê-se "lâmbda") representam posições ou coordenadas na *SR*. As coordenadas φ, λ são denominadas coordenadas geográficas latitude (φ) e longitude (λ), a cada interseção de um paralelo com um meridiano tem-se uma posição na *SR* (Figura 2.7).

Logo, nas eq. 2.1 são calculadas coordenadas numa projeção cartográfica (*X, Y*) a partir do conhecimento das coordenadas de pontos da superfície de referência (φ, λ). Existem virtualmente infinitas possibilidades de relacionar as quantidades de uma *SR* para obter valores em uma *SP*. Desse modo pode-se dizer que existem virtualmente infinitas projeções cartográficas.

Para que a transformação seja reversível, e possam ser calculadas posições na *SR* a partir das posições na *SP* deve existir o relacionamento funcional expresso nas Equações 2.2.

$$\begin{aligned} \varphi &= f_1^{-1}(X, Y) \text{ e} \\ \lambda &= f_2^{-1}(X, Y). \end{aligned} \quad (2.2)$$

As quantidades φ e λ representam posições ou coordenadas de pontos na *SR* e as quantidades *X* e *Y* representam posições ou coordenadas na *SP*. Logo, nas eq. 2.2 são calculadas coordenadas numa superfície de referência (φ, λ) a partir do conhecimento das coordenadas de pontos da superfície de projeção (*X, Y*).

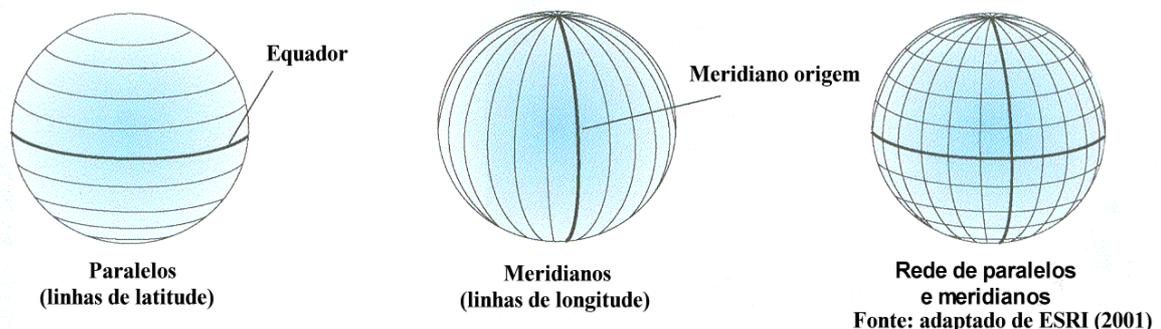
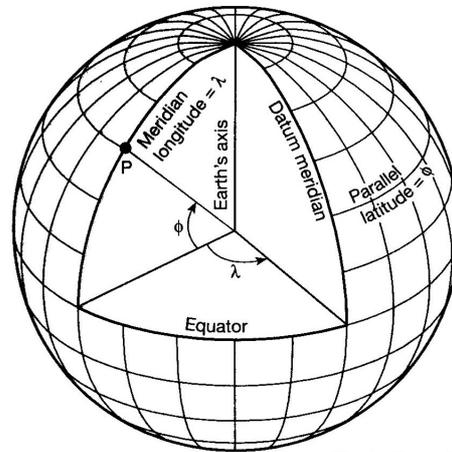


FIGURA 2.7 - Linhas de latitude e linhas de longitude numa esfera
Fonte: Adaptado de ESRI (2001)

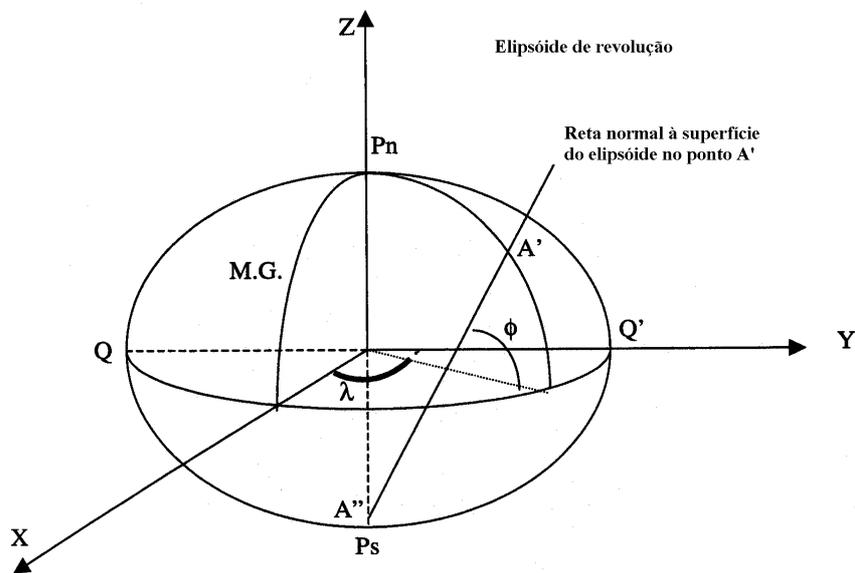
Os valores de latitude e de longitude são medidos em unidades angulares, normalmente graus sexagesimais. Os valores válidos de latitude ϕ variam entre -90° (noventa graus Sul) e $+90^\circ$ (noventa graus Norte), e os valores de longitude λ entre -180° (cento e oitenta graus Oeste) e $+180^\circ$ (cento e oitenta graus Leste) (Figura 2.8).



Fonte: Jones (1997)

FIGURA 2.8 - Coordenadas geográficas latitude ϕ e longitude λ na esfera
 Fonte: Jones (1997)

Para aplicações em que a escala de representação deve ser grande adota-se o elipsóide como superfície de referência. O elipsóide tem coordenadas latitude e longitude geodésicas e estas têm os mesmos limites de existência que as coordenadas referidas a uma esfera (Figura 2.9).



Fonte: adaptado de NADAL (2003)

FIGURA 2.9 - Elipsóide de revolução e as coordenadas latitude ϕ e longitude λ geodésicas
 Fonte: Adaptado de Nadal (2003)

2.4 – DISTORÇÃO DE ESCALA E ELIPSE DE TISSOT

A distorção de escala se constitui, como já foi dito, no aspecto mais importante das projeções cartográficas, visto que o produto de uma projeção cartográfica sofre algumas modificações relativamente ao original na *SR*. O tema distorção de escala deve ser abordado de forma aprofundada nos cursos regulares de Cartografia. Todo o estudo relativo à distorção de escala está baseado na Geometria Diferencial e constitui a Teoria das Distorções (RICHARDUS, 1982). Na Teoria das Distorções inicia-se com a caracterização de uma superfície qualquer seguida da generalização do conceito de superfície. O passo seguinte consiste do estudo das propriedades de uma superfície e sua generalização. De posse de ferramentas analíticas oriundas da Teoria das Distorções é possível avaliar uma projeção cartográfica bem como desenvolver projeções cartográficas.

A distorção de escala (m) é obtida da comparação entre o comprimento de um arco infinitesimal da *SP* com o seu correspondente da *SR* (Eq. 2.3).

$$m^2 = dS^2 / ds^2. \quad (2.3)$$

Nesta expressão dS é o comprimento infinitesimal na *SP* e ds é o comprimento infinitesimal na *SR*. Desse modo, quando dS for maior do que ds há ampliação do comprimento representado comparativamente ao original. Quando dS for menor do que ds então o comprimento representado é menor do que o original. E como uma terceira possibilidade quando dS for igual a ds então os dois comprimentos serão iguais, ou seja não ocorreu distorção.

Na prática o conceito de distorção de escala consiste em determinar o valor da escala correta em qualquer posição de um mapa ou carta. Rigorosamente, uma carta não apresenta distorção apenas em posições particulares, e estas posições particulares são aquelas onde ocorre o contato entre a *SR* e a *SP*. Além disso, a distorção de escala de um modo geral depende da orientação do segmento infinitesimal ds , e isso quer dizer que quando o segmento tem uma orientação a_1 está sujeito a uma distorção m_1 e quando está orientado em outra direção a_2 estará sujeito a uma distorção m_2 .

A distorção de escala é variável com a orientação do segmento infinitesimal ds e existe simetria em seu comportamento, isto é para cada valor de distorção de escala existem quatro direções possíveis. Para cada ponto existem também valores máximos e mínimos de distorção de escala. Pelo fato de existir valores máximos e mínimos de distorção de escala devem existir também valores intermediários. Os valores de distorção de escala podem ser visualizados por meio de uma elipse denominada Elipse Indicatriz de Tissot (em homenagem ao seu proponente).

A elipse de Tissot (Figura 2.10) permite que sejam visualizados os valores de distorção de escala para um ponto qualquer e para qualquer direção a partir daquele ponto. O processo que permite calcular os valores máximo e mínimo de distorção de uma posição também permitem calcular a distorção de escala para qualquer direção a partir daquele ponto.

Na Figura 2.10 são mostrados o ponto P e os pontos afastados deste de uma distância ds . Os pontos em torno do ponto P formam um círculo na *SR*. Na superfície de projeção *SP*, os pontos da *SR* resultam numa elipse. Isso quer dizer que a distância dos pontos formadores da elipse e seu centro, ponto P' , é variável. A distância do ponto P aos pontos A, B, C, D, E e F na *SR* é constante e vale ds . Por outro lado, a distância do ponto P' aos pontos A' e B' é a mesma mas é diferente da distância de P' aos pontos C' e D' na *SP*. Considerando-se as linhas da AB, BC, CD e EF da *SR* na *SP* percebe-se que são representadas pelas linhas $A'B', B'C', C'D'$ e $E'F'$. Pode-se observar que as linhas AB e

CD são perpendiculares entre si na SR mas não se mantêm dessa forma na SP . Sabe-se que as direções dos paralelos e dos meridianos na SR são perpendiculares, e pode-se perceber que estas linhas não se mantêm perpendiculares na SP . Então, se AB e CD representarem respectivamente as direções dos meridianos e dos paralelos na SR , então na SP estarão formando o ângulo w que é diferente do ângulo reto, pois são representadas pelas linhas $A'B'$ e $C'D'$, que claramente não são perpendiculares entre si ($w \neq 90^\circ$). Este efeito, de tornar um ângulo de 90° em um ângulo diferente de 90° , é considerado como uma manifestação da distorção.

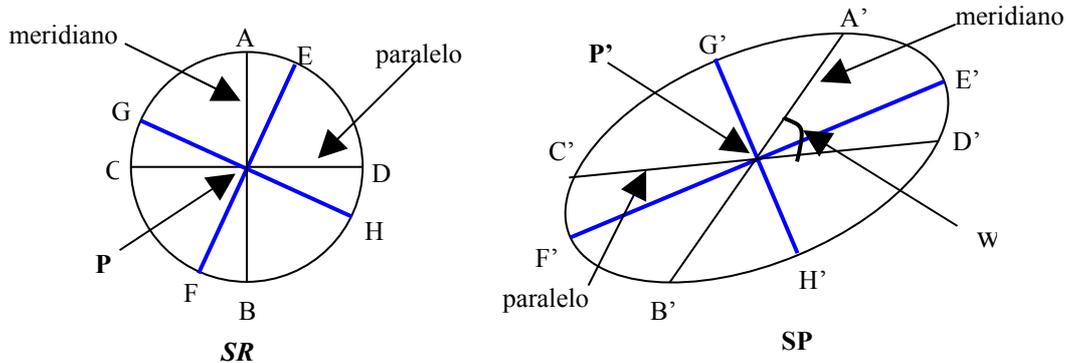


FIGURA 2.10 - Princípio da Elipse Indicatriz de Tissot, círculo da SR e elipse na SP

Ainda com relação à mesma figura, pode-se dizer que a maior distorção ocorreu segundo a direção PE ou PF , pois os segmentos de reta $P'E'$ e $P'F'$ são os maiores da elipse. Na mesma linha de raciocínio, se diz que a menor distorção ocorreu segundo a direção PG ou PH pois os segmentos de reta $P'G'$ e $P'H'$ são os menores da elipse. Além disso, como PA e PB representam a direção do meridiano pode-se dizer que a distorção que atuou sobre o meridiano é maior do que a distorção mínima e menor do que a distorção máxima. O mesmo pode ser dito acerca da linha PD e PC . Deve-se observar que a distorção que afeta os meridianos e os paralelos é diferente pois $P'A'$ é diferente de $P'D'$.

Como exemplos de elipses de Tissot pode-se observar os itens b e d da Figura 2.11. Na projeção apresentada no item a da Figura 2.11 tem-se uma projeção cartográfica com a propriedade de conformidade. E neste caso as elipses de Tissot resultam em círculos, que são um caso particular do comportamento da distorção de escala, pois a manutenção da forma implica que a distorção de escala deve ser igual em todas as direções. Na mesma figura, porém nos itens c e d tem-se uma projeção com a propriedade de equivalência, isto é, uma projeção cartográfica em que os valores numéricos de áreas de polígonos medidos na projeção mantêm uma relação constante com os seus originais na SR . A manutenção do valor numérico das áreas ocorre à custa da distorção na forma dos elementos representados.

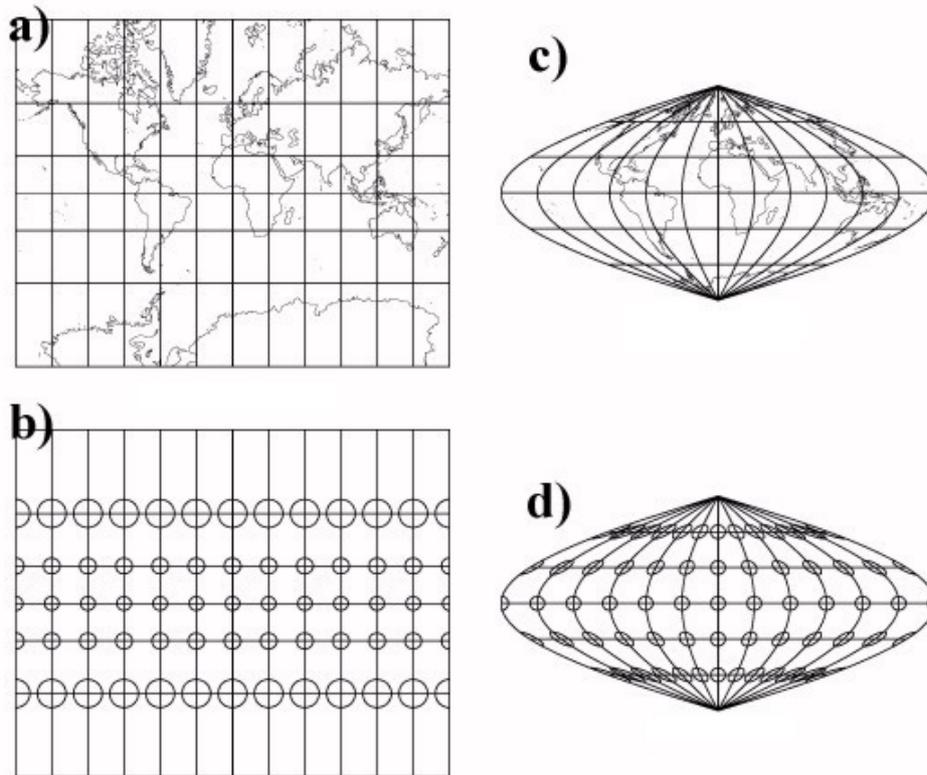


FIGURA 2.11 - Elipse Indicatriz de Tissot; a) projeção conforme (valor da área distorcido); b) elipses para a projeção conforme; c) projeção equivalente em que a forma é distorcida; e d) elipses para a projeção equivalente

Fonte: adaptado de <http://www.mapthematics.com/Essentials/Essentials.html>

2.5 – PROJEÇÕES AZIMUTAIS, CÔNICAS E CILÍNDRICAS

Uma das formas de abordar as diferentes projeções cartográficas é ter por referência a superfície de projeção. Desse modo algumas das possíveis projeções cartográficas azimutais, algumas cônicas e algumas cilíndricas são a seguir apresentadas.

2.5.1 PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS AZIMUTAIS PERSPECTIVAS

As projeções cartográficas azimutais perspectivas são aquelas em que a *SR* sempre é a esfera e a *SP* sempre é um plano. A posição do plano pode variar e de acordo com a classificação apresentada anteriormente pode ocupar as posições normal, transversa ou oblíqua. Neste conjunto de projeções cartográficas a geração é do tipo geométrica, isto é, existe um ponto de vista, um ponto a projetar e um ponto projetado.

De acordo com a posição do ponto de vista as projeções azimutais perspectivas podem ser divididas em: Azimutal Gnomônica, Azimutal Estereográfica e Azimutal Ortográfica. As projeções cartográficas Azimutais têm este nome por sua característica de manter ou preservar (não distorcer) o valor dos azimutes das linhas que se iniciam no ponto em que o plano toca a *SR*.

2.5.1.1 Projeção Azimutal Gnomônica

Nesta projeção cartográfica o ponto de vista está localizado no centro da SR , e o plano tangente pode ocupar qualquer posição (normal, transversa ou oblíqua). Tem como característica representar qualquer círculo máximo como reta (ortodrômica). É uma projeção cartográfica afilática, isto é, não é conforme, não é equivalente e também não é equidistante (Figura 2.12). Esta projeção não admite a representação da linha polar ao ponto de tangência pois sua representação seria deslocada ao infinito.

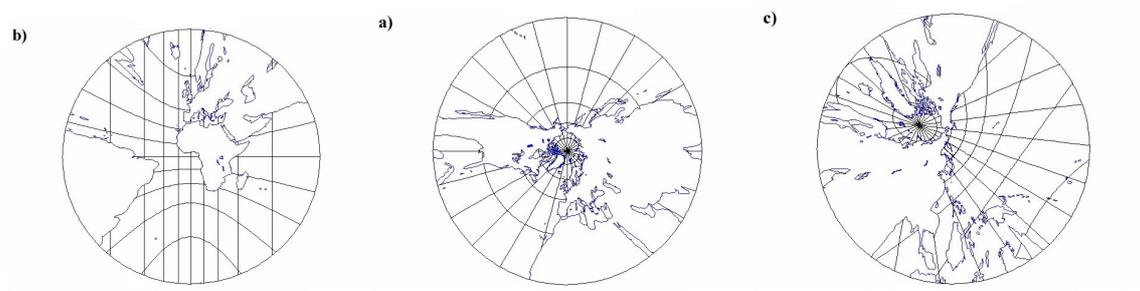


FIGURA 2.12 - Projeção Azimutal Gnomônica três casos: a) normal ou polar; b) transversa ou equatorial; e c) oblíquo

Fonte: adaptado de <http://www.geometrie.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

2.5.1.2 Projeção Azimutal Estereográfica

Nesta projeção o ponto de vista está localizado no ponto oposto ao ponto de tangência, e como na projeção Gnomônica o plano pode ser tangente nos pólos, no equador ou em qualquer outra posição. A projeção Azimutal Estereográfica tem a propriedade de conformidade, isto quer dizer que a forma local dos elementos representados é preservada (Figura 2.13).

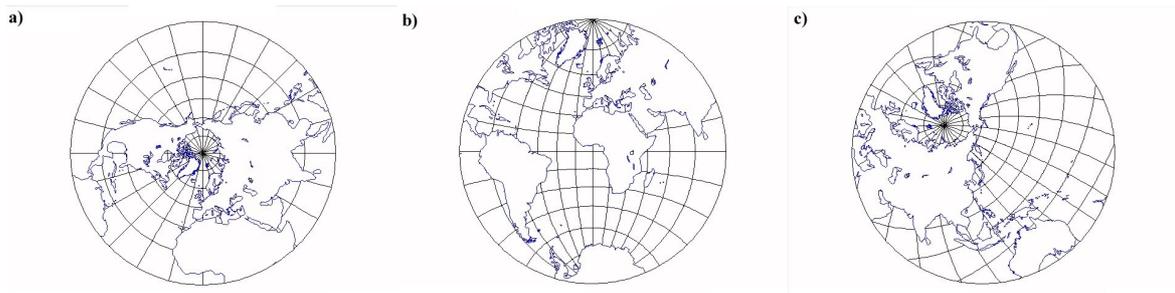


FIGURA 2.13 - Projeção Azimutal Estereográfica, três casos: a) normal ou polar; b) transversa ou equatorial; e c) oblíquo

Fonte: adaptado de <http://www.geometrie.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

2.5.1.3 Projeção Azimutal Ortográfica

Nesta projeção o ponto de vista está localizado no infinito, e os pontos são projetados ortogonalmente sobre o plano tangente em qualquer dos três casos. Para qualquer dos três casos ocorre a equidistância ao longo dos pontos pertencentes a círculos concêntricos ao ponto onde o plano é tangente à esfera. Para o caso normal esta propriedade proporciona a manutenção do comprimento dos paralelos (Figura 2.14).

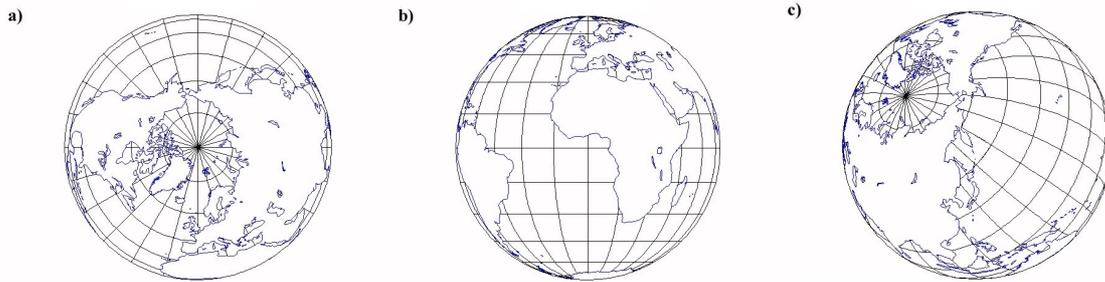


FIGURA 2.14 - Projeção Azimutal Ortográfica, três casos: a) normal ou polar; b) transverso ou equatorial; e c) oblíquo

Fonte: adaptado de <http://www.geometric.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

Há ainda projeções azimutais não perspectivas que têm a propriedade de equivalência (Figura 2.15a) e equidistância (Figura 2.15b). Na Figura 2.15 é possível observar que as representações embora semelhantes não são iguais visto que têm diferentes propriedades, uma é equivalente e outra é equidistante. Em ambas ocorre distorção, no entanto de comportamento diferente.

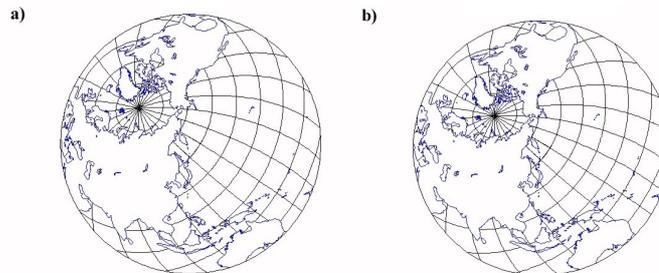


Figura 2.15 - Projeções azimutais não perspectivas: a) equivalente e b) equidistante

Fonte: adaptado de <http://www.geometric.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

2.5.2 PROJEÇÕES CÔNICAS

As projeções cartográficas cônicas usam um ou mais cones como *SP*. Estas projeções podem ser desenvolvidas a partir de condições matemáticas de conformidade, equivalência ou equidistância, ou a partir de outra condição matemática qualquer. As projeções cônicas normais são apropriadas para realizar representação de regiões com extensão predominante na direção Leste-Oeste. Ainda para as projeções cônicas normais a distorção de escala tem igual valor para todos os pontos que pertencem ao mesmo paralelo. Assim, para o caso normal, a distorção de escala é diferente ao longo dos meridianos.

2.5.2.1 Projeção cônica conforme

A projeção cônica conforme com um paralelo-padrão é apresentada Figura 2.16 nas três posições da *SP* relativamente à *SR*. Nestas assim como em todas as projeções, não ocorre distorção de escala ao longo da linha de tangência. A linha de tangência ou linha sem distorção de escala para o caso normal se confunde com um paralelo, e pode-se avaliar o comportamento da distorção tomando-a como referência. No entanto, para os casos transversos e oblíquos esta linha de tangência não é facilmente perceptível e nem o comportamento da distorção de escala é facilmente descrito. Para o caso normal existe

simetria, e dentre os três casos desta projeção é o caso que apresenta as equações de transformação menos complexas.

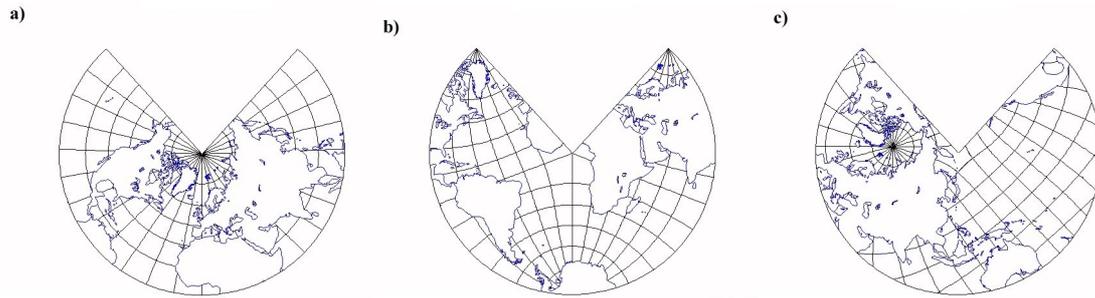


FIGURA 2.16 - Projeção cônica conforme: a) normal; b) transversa; e c) oblíqua
 Fonte: adaptado de <http://www.geometrie.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

2.5.2.2 Projeção Cônica Equivalente

A propriedade destas projeções cônicas é a equivalência. Comparativamente às projeções cônicas conformes mostradas no item anterior a forma é distorcida de modo que seja possível privilegiar a manutenção do valor numérico da área (Figura 2.17).

Na Figura 2.18 mostra-se uma projeção cartográfica proposta por Euler em 1777 e que tem a propriedade de equidistância. Existe um conjunto de linhas cuja distorção de escala é igual a 1, isto é estas linhas não sofrem distorção. No caso desta projeção a equidistância ocorre ao longo dos meridianos. Nas direções diferentes da direção dos meridianos existe distorção e é crescente quando a latitude diminui.

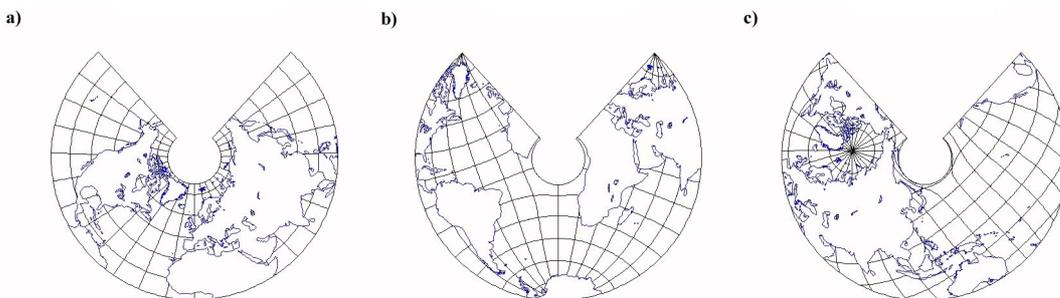


FIGURA 2.17 - Projeção cônica equivalente: a) normal; b) transversa; e c) oblíqua
 Fonte: adaptado de <http://www.geometrie.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

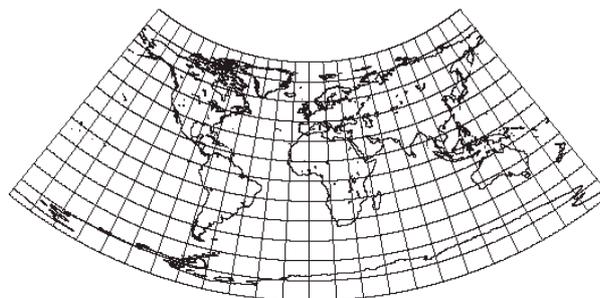


FIGURA 2.18 - Projeção cônica equidistante de Euler
 Fonte: adaptado de http://www.ilstu.edu/microcam/map_projections/Conic.html

2.5.3 PROJEÇÕES CILÍNDRICAS

As projeções cilíndricas são aplicadas para representar regiões próximas do equador, isto é, regiões de baixas latitudes. Nestas projeções ocorre a tangência na linha do equador ou sobre dois paralelos simétricos ao equador para o caso normal. Evidentemente também existem os casos transversos e oblíquos.

Dentre as projeções cilíndricas, aquelas que levam o nome de Mercator são as mais conhecidas e as mais importantes para o mapeamento e para a navegação. A projeção transversa de Mercator é de extrema importância para o mapeamento e será descrita em mais detalhes adiante. A projeção de Mercator tem como característica a representação da linha de azimute por meio de uma reta, o que é de importância para a navegação (aspectos históricos em: <http://www.ualberta.ca/~norris/navigation/Mercator.html>) (Figura 2.19). Na projeção de Mercator os meridianos são linhas retas verticais paralelas entre si e igualmente espaçadas e os paralelos são linhas retas horizontais paralelas porém com espaçamento crescente com o aumento do módulo da latitude. Este afastamento entre os paralelos depende do módulo da latitude e se deve à propriedade de conformidade, que estabelece que, se há ampliação numa direção a partir de um ponto, então haverá ampliação em todas as direções. Como nas projeções conformes os ângulos são preservados, então as linhas de meridianos e de paralelos se interceptam a ângulos retos (90°).

A projeção cartográfica denominada Space Oblique Mercator ou projeção Espacial Oblíqua de Mercator foi desenvolvida para a representação dinâmica de dados oriundos de imagens obtidas por sensores remotos como o LANDSAT (detalhes e especificações em: http://exchange.manifold.net/manifold/manuals/5_userman/mfd50Space_Oblique_Mercator.htm). Apesar do nome da projeção levar o termo Mercator, o comportamento das linhas de latitude e linhas de longitude nesta projeção é distinto daquele da projeção de Mercator. No entanto, as linhas de latitude e as linhas de longitude mantêm-se perpendiculares devido à propriedade de conformidade.

Na projeção de Mercator percebe-se que para as altas latitudes ocorre maior distorção em área, no entanto sua maior utilidade como já foi mencionado é a possibilidade de obtenção direta de ângulos de orientação, necessários para navegação.

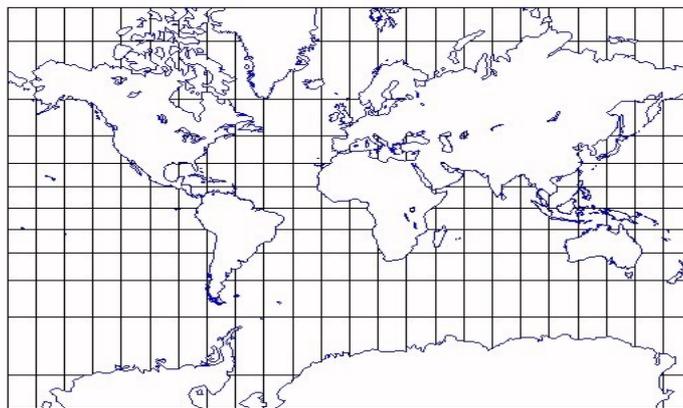


FIGURA 2.19 - Projeção de Mercator ou Projeção Cilíndrica Conforme Normal

Fonte: adaptado de <http://www.geometric.tuwien.ac.at/karto/>

2.6 – PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR OU PROJEÇÃO DE GAUSS

A projeção transversa de Mercator foi proposta por Johann Lambert (1728-1777) em 1772. O formulário para a SR elipsóide foi desenvolvido inicialmente pelo alemão Carl Friedrich Gauss em 1822, e por L. Krueger, por L.P. Lee e outros autores no Século XX. Para a Projeção Transversa de Mercator (TM) ou Projeção de Gauss tem-se o desenvolvimento de expressões da transformação de (φ, λ) para (X, Y) e também de (X, Y) para (φ, λ) . A primeira é denominada Transformação Direta e a segunda Transformação Inversa.

As especificações da projeção transversa de Mercator ou projeção de Gauss são:

Superfície de Referência -> Elipsóide
 Superfície de Projeção -> Cilindro
 Contato -> Tangente por linha
 Posição -> Transversa (Figura 2.20)
 Geração -> Analítica
 Propriedade -> Conforme

Na projeção de Mercator ou Projeção de Gauss as linhas de latitude e as linhas de longitude se interceptam a ângulos retos, isto é, 90° . O meridiano central ou meridiano de tangência e o equador são retas. Todos os outros meridianos e paralelos são curvas que também se interceptam a 90° . Os meridianos tem concavidade voltada para o meridiano central (MC), e os paralelos são curvas com a concavidade voltada para o pólo do respectivo hemisfério (Figura 2.21).

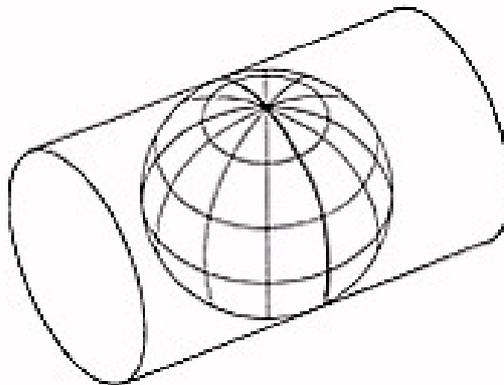


FIGURA 2.20 - Cilindro transversal tangente da projeção Transversa de Mercator

Fonte: adaptado de

http://exchange.manifold.net/manifold/manuals/5_userman/mfd50Universal_Transverse_Mercator_UT.htm

Os meridianos representados numa projeção TM têm concavidade voltada para o meridiano central, e isso faz com que seja necessário definir um ângulo entre a direção dos eixos coordenados X e a direção do meridiano ou Y e a direção do paralelo. Este ângulo é denominado convergência meridiana γ .

A convergência meridiana γ é o ângulo entre a direção de uma paralela ao eixo coordenado X e a direção do meridiano no ponto considerado. A convergência meridiana γ é contada a partir da paralela ao eixo coordenado X em direção à tangente ao meridiano no ponto considerado. Desse modo a convergência meridiana pode assumir valores positivos e

negativos. A convergência meridiana γ é nula para os pontos do meridiano de contato e para pontos do equador.

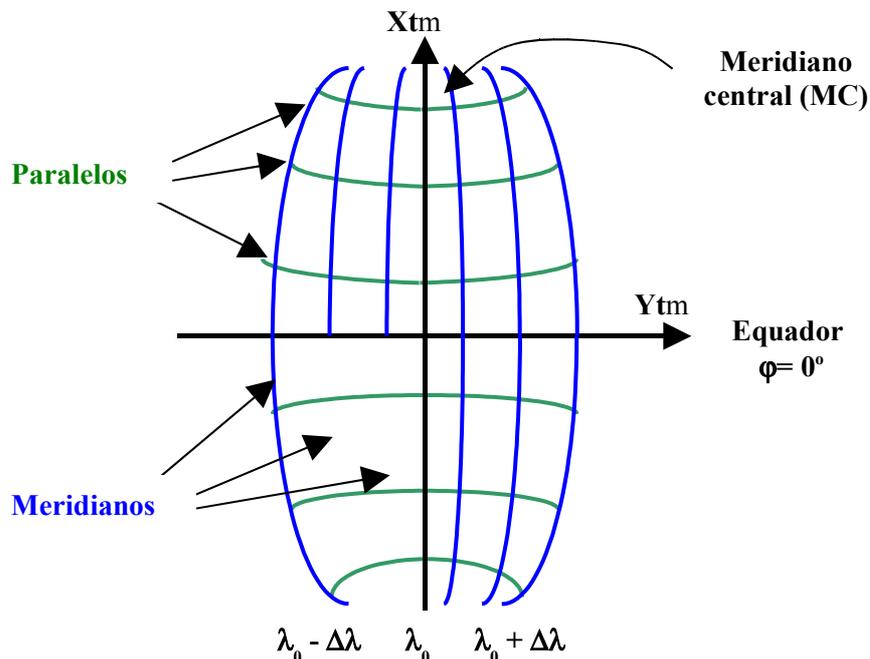


FIGURA 2.21 - Aparência dos meridianos e paralelos na Projeção de Mercator ou Projeção de Gauss

O formulário apresentado a seguir é inteiramente baseado na publicação: *Conformal Map Projections in Geodesy*, E.J. Krakiwsky, Department of Surveying Engineering - University of New Brunswick - Canada, 1973.

Desta projeção é que se obtém, por especificação, a Projeção UTM (Universal Transverse Mercator), que é adotada como projeção cartográfica do mapeamento oficial do Brasil desde 1956. Além disso, outras projeções são derivadas da TM por especificação como é a projeção UTM. Um programa Windows para estas transformações pode ser obtido em: <http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/firkowski/pessoal/prog/utmgeovv.exe>.

2.6.1 Problema Direto

1- Coordenadas na Projeção Transversa de Mercator ou Projeção de Gauss $(X, Y) = f(\varphi, \lambda)$.

$$\begin{aligned}
 X = & Bm + \frac{N \Delta \lambda^2}{2} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{N \Delta \lambda^4}{24} \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - t^2 + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) + \\
 & \frac{N \Delta \lambda^6}{720} \sin \varphi \cos^5 \varphi (61 - 58 t^2 + t^4 + 270 \eta^2 - 330 \eta^2 t^2 + 445 \eta^4 + 324 \eta^6 - \\
 & 680 \eta^4 t^2 + 88 \eta^8 - 600 \eta^6 t^2 - 192 \eta^8 t^2) + \frac{N \Delta \lambda^8}{40320} \sin \varphi \cos^7 \varphi (1385 - \\
 & 311 t^2 + 543 t^4 - t^6).
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

$$\begin{aligned}
Y = N \Delta \lambda \cos \varphi + \frac{N \Delta \lambda^3}{6} \cos^3 \varphi (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{N \Delta \lambda^5}{120} \cos^5 \varphi (5 - 18t^2 + t^4 + \\
14\eta^2 - 58\eta^2 t^2 + 13\eta^4 + 4\eta^6 - 64\eta^4 t^2 - 24\eta^6 t^2) + \frac{N \Delta \lambda^7}{5040} \cos^7 \varphi (61 - 479t^2 + \\
179t^4 - t^6)
\end{aligned} \quad (2.5)$$

A quantidade Bm é o comprimento de arco de elipse meridiana contado a partir do equador até o ponto de latitude φ , e:

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2(\varphi))^{1/2}; \quad (2.6)$$

$$\eta^2 = (e')^2 \cos^2 \varphi; \quad (2.7)$$

$$t = \operatorname{tg}(\varphi);$$

e'^2 é a segunda excentricidade.

Estas expressões conduzem a valores de X e Y com acurácia de $1mm$ para pontos com afastamento de até 3° do meridiano central.

2- Comprimento de arco de elipse meridiana

Expressão para o cálculo do comprimento de um arco de elipse meridiana definido pelos limites $(\varphi_1; \varphi_2)$, em que sempre $\varphi_1=0$.

$$B = a [A_0 \varphi - A_2 \sin(2\varphi) + A_4 \sin(4\varphi) - A_6 \sin(6\varphi) + A_8 \sin(8\varphi)] \quad (2.8)$$

$$A_0 = 1 - \frac{1}{4} e^2 - \frac{3}{64} e^4 - \frac{5}{256} e^6 - \frac{175}{16384} e^8$$

$$A_2 = \frac{3}{8} (e^2 + \frac{1}{4} e^4 + \frac{15}{128} e^6 - \frac{455}{4096} e^8)$$

$$A_4 = \frac{15}{256} (e^4 + \frac{3}{4} e^6 - \frac{77}{128} e^8)$$

$$A_6 = \frac{35}{3072} (e^6 - \frac{41}{32} e^8)$$

$$A_8 = - \frac{315}{131072} e^8$$

Nestas expressões a é o semi-eixo maior e e^2 é a primeira excentricidade do elipsóide.

3- Distorção de escala em função das coordenadas geodésicas $m = f(\varphi, \lambda)$.

$$m = 1 + \frac{\Delta \lambda^2}{2} \cos^2 \varphi (1 + \eta^2) + \frac{\Delta \lambda^4}{24} \cos^4 \varphi (5 - t^2). \quad (2.9)$$

Esta expressão, segundo *KRAKIWSKY*, fornece o valor da distorção de escala para um ponto com erro de uma ou duas unidades no oitavo dígito significativo para pontos com afastamento do meridiano central de até 3° .

4- Convergência meridiana em função de coordenadas geodésicas $\gamma = f(\varphi, \lambda)$.

$$\gamma = \Delta \lambda \sin \varphi \left[1 + \frac{\Delta \lambda^2 \cos^2 \varphi}{3 (\rho'')^2} (1 + 3 \eta^2 + 2 \eta^4) + \frac{\Delta \lambda^4 \cos^4 \varphi}{15 (\rho'')^4} (2 - t^2) \right] \quad (2.10)$$

com :

$$\rho'' = \operatorname{cosec} 1''$$

2.6.2 Problema Inverso

1- Coordenadas elipsóidicas em função das coordenadas na Projeção Transversa de Mercator ou Projeção de Gauss $(\varphi, \lambda) = f(X, Y)$.

$$\begin{aligned} \varphi = \varphi_0 - \frac{Y^2}{2 M_0 N_0} t_0 + \frac{Y^4}{24 M_0 N_0^3} t_0 (5 + 3 t_0^2 + \eta_0^2 - 4 \eta_0^4 - 9 \eta_0^2 t_0^2) - \frac{Y^6}{720 M_0 N_0^5} t_0 \\ (61 - 90 t_0^2 + 46 \eta_0^2 + 45 t_0^4 - 252 \eta_0^2 t_0^2 - 3 \eta_0^4 + 100 \eta_0^6 - 66 \eta_0^4 t_0^2 - 90 \eta_0^2 t_0^4 + 88 \eta_0^8 + \\ 225 \eta_0^4 t_0^4 + 84 \eta_0^6 t_0^2 - 192 \eta_0^8 t_0^2) + \frac{Y^8}{40320 M_0 N_0^7} t_0 (1385 + 3633 t_0^2 + 4095 t_0^4 + \\ 1575 t_0^6) \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \Delta \lambda = \frac{Y}{N_0 \cos \varphi_0} - \frac{Y^3}{6 N_0^3 \cos \varphi_0} (1 + 2 t_0^2 + \eta_0^2) + \frac{Y^5}{120 N_0^5 \cos \varphi_0} (5 + 6 \eta_0^2 + 28 t_0^2 - \\ 3 \eta_0^4 + 8 \eta_0^2 t_0^2 + 24 t_0^4 - 4 \eta_0^6 + 4 \eta_0^4 t_0^2 + 24 \eta_0^6 t_0^2) - \frac{Y^7}{5040 N_0^7 \cos \varphi_0} (61 + 662 t_0^2 + \\ 1320 t_0^4 + 720 t_0^6). \end{aligned} \quad (2.12)$$

O valor φ_0 é o resultado obtido pelo método iterativo de Newton-Raphson aplicado à expressão do cálculo do comprimento de elipse meridiana, iniciado com φ_i dado pela aproximação $\varphi_i = X/a$.

Todos os elementos com sub-índice zero são calculados em função da latitude φ_0 . As constantes η_0 e t_0 tem o mesmo significado daquele mostrado no problema direto.

Método de Newton-Raphson

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} - \frac{f(\varphi_{n-1})}{f'(\varphi_{n-1})} \quad (2.13)$$

1- φ_{n-1} é igual a φ_i para a primeira iteração;

2- $f(\varphi_{n-1})$ é dado por:

$$f(\varphi_{n-1}) = a [A_0 \varphi - A_2 \sin(2\varphi) + A_4 \sin(4\varphi) - A_6 \sin(6\varphi) + A_8 \sin(8\varphi)] - X \quad (2.14)$$

3- $f'(\varphi_{n-1})$ é dado por:

$$f'''(\varphi_{n-1}) = a [A_0 - 2 A_2 \cos(2\varphi) + 4 A_4 \cos(4\varphi) - 6 A_6 \cos(6\varphi) + 8 A_8 \cos(8\varphi)] \quad (2.15)$$

O processo iterativo é terminado quando o módulo da diferença entre os módulos dos valores de latitude entre duas iterações for menor do que ε , que pode ser de $0.0001''$ dado em radianos. A latitude obtida por este processo iterativo é denominada *latitude do pé da normal a X* pelo ponto P , ou *foot point latitude*, isto é a latitude que corresponderia ao ponto P se este pertencesse ao meridiano central.

3- Distorção de escala em função das coordenadas (X, Y).

$$m = 1 + \frac{Y^2}{2 N_0^2} (1 + \eta_0^2) + \frac{Y^4}{24 N_0^4} (1 + 6\eta_0^2 + 9\eta_0^4 + 4\eta_0^6 - 24\eta_0^4 t_0^2 - 24\eta_0^6 t_0^2) + \frac{Y^6}{720 N_0^6} \quad (2.16)$$

4- Convergência meridiana em função das coordenadas (X, Y).

$$\begin{aligned} \text{tg } \gamma = & \frac{Y}{N_0} t_0 - \frac{Y^3}{3 N_0^3} t_0 (1 - \eta_0^2 - 2\eta_0^4) + \frac{Y^5}{15 N_0^5} t_0 (2 + 2\eta_0^2 + 9\eta_0^4 + 6\eta_0^2 t_0^2 + 20\eta_0^6 + 3\eta_0^4 t_0^2 - \\ & 27\eta_0^6 t_0^2 + 11\eta_0^8 - 24\eta_0^8 t_0^2) - \frac{17 Y^7}{315 N_0^7} t_0. \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.7 – PROJEÇÃO UTM - UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Para a utilização da projeção UTM convencionou-se, em nível internacional, realizar a representação de fusos com 6° de amplitude em longitude, de acordo com a convenção da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo. Desse modo para representar toda a Terra são necessários 60 cilindros transversos secantes. Assim, um par de coordenadas UTM é válido em 60 fusos diferentes e portanto é necessário especificar a que fuso pertence o ponto. Isso pode ser feito pelo conhecimento da longitude do seu meridiano central. Na Figura 2.22 mostram-se dois cilindros transversos para dois meridianos centrais quaisquer.

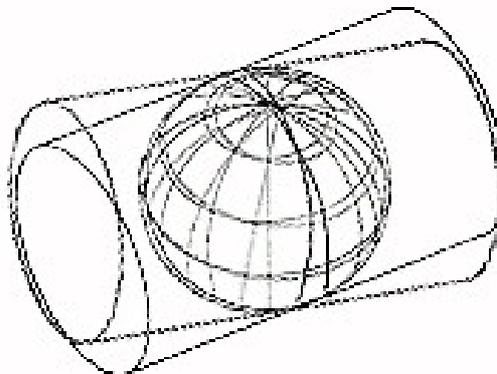


FIGURA 2.22 - Dois posicionamentos do cilindro transverso em diferentes fusos

Fonte: adaptado de

http://exchange.manifold.net/manifold/manuals/5_userman/mfd50Universal_Transverse_Mercator_UT.htm

Esta projeção é derivada da Projeção Transversa de Mercator - TM e tem por especificações:

- 1- Representação transversa de Mercator com fusos de 6° de amplitude;
- 2- Numeração dos fusos em concordância com a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo (primeiro fuso 180° até 174° Oeste, e último fuso 174° Leste até 180°);
- 3- Meridianos centrais com longitudes múltiplas de 6° iniciando em 177° Oeste;
- 4- Distorção de escala igual a **0,9996** no meridiano central do fuso;
- 5- Limitação em latitude até 84° Norte e 80° Sul.
- 6- Norte Falso para pontos do Hemisfério Sul igual a $10.000.000m$;
- 7- Este Falso igual a $500.000 m$;
- 8- Coordenadas Norte e Este:

$$\begin{aligned} \text{Norte} = N &= X_{TM} * 0.9996 + 10.000.000m \quad (\text{para pontos do H.S.}) \\ \text{Norte} = N &= X_{TM} * 0.9996 \quad (\text{para pontos do H.N.}) \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\text{Este} = E = Y_{TM} * 0.9996 + 500.000m \quad (2.20)$$

X_{TM} e Y_{TM} são coordenadas na projeção TM.

A distorção de escala (m) na Projeção UTM é dada por

$$m_{UTM} = m_{TM} * 0.9996. \quad (2.21)$$

A convergência meridiana (γ) para ambas as projeções cartográficas, TM e UTM, é a mesma visto que ambas as coordenadas (X, Y) são multiplicadas pelo mesmo valor 0.9996 , o que não altera a forma. Assim

$$\gamma_{UTM} = \gamma_{TM}. \quad (2.22)$$

Na Figura 2.23 são mostrados os elementos componentes de um fuso UTM. Estes elementos são: os meridianos limite do fuso de 6° , um par de paralelos, as linhas de secância e os eixos coordenados onde são contadas as coordenadas Norte e Este. As linhas que representam os paralelos as linhas que representam os meridianos formam ângulo de 90° , pois a projeção UTM tem a propriedade de conformidade. As linhas de secância não são meridianos, isto é não são formadas por pontos que têm a mesma longitude, nem são retas, isto é, também não são linhas formadas por pontos que têm a mesma coordenada ESTE. Estas linhas são denominadas curvas complexas.

A distorção de escala (m) assume o valor 0.9996 para todos os pontos do meridiano central do fuso. Sobre as linhas de secância a distorção de escala assume o valor 1 visto que estas linhas complexas não sofrem distorção, pois pertencem a ambas as superfícies (SR e SP) simultaneamente. A região situada entre o meridiano central e as linhas de secância sofre distorção de escala de compressão e as regiões entre as linhas de secância e o correspondente meridiano limite de fuso sofrem ampliação. A redução é caracterizada por valores de distorção de escala menores do que a unidade ($m < 1$), e a ampliação por valores de distorção de escala maiores do que a unidade ($m > 1$) (Figura 2.24).

Do ponto de vista de simetria e das linhas de latitude e longitude a distorção de escala tem o seguinte comportamento:

- 1- tem mesmo valor para pontos simétricos em relação ao meridiano central;
- 2- tem mesmo valor para pontos simétricos em relação ao equador;

- 3- tem valor diferente ao longo de cada paralelo exceto para pontos simétricos; e
- 4- tem valor diferente ao longo de cada meridiano exceto para pontos simétricos.

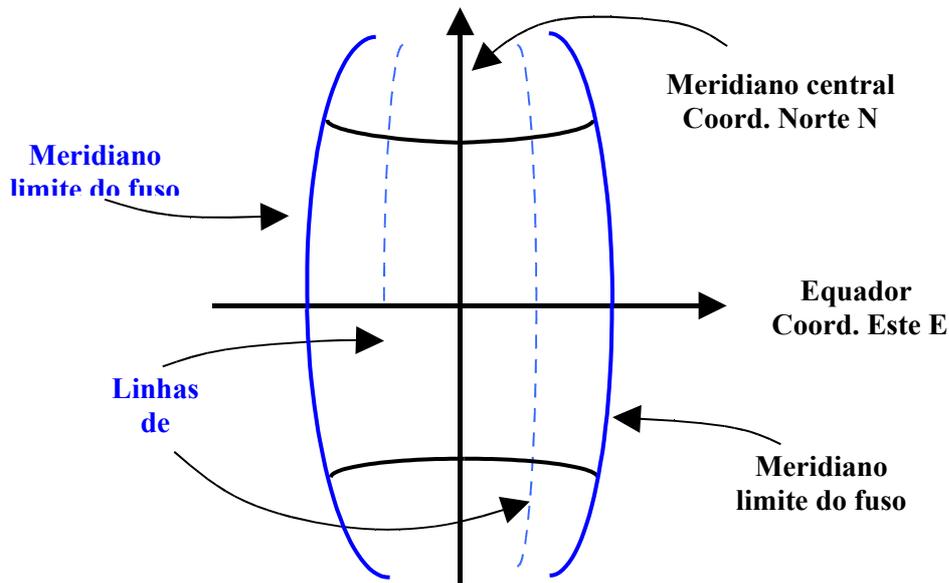


FIGURA 2.23 - Fuso UTM e seus principais elementos

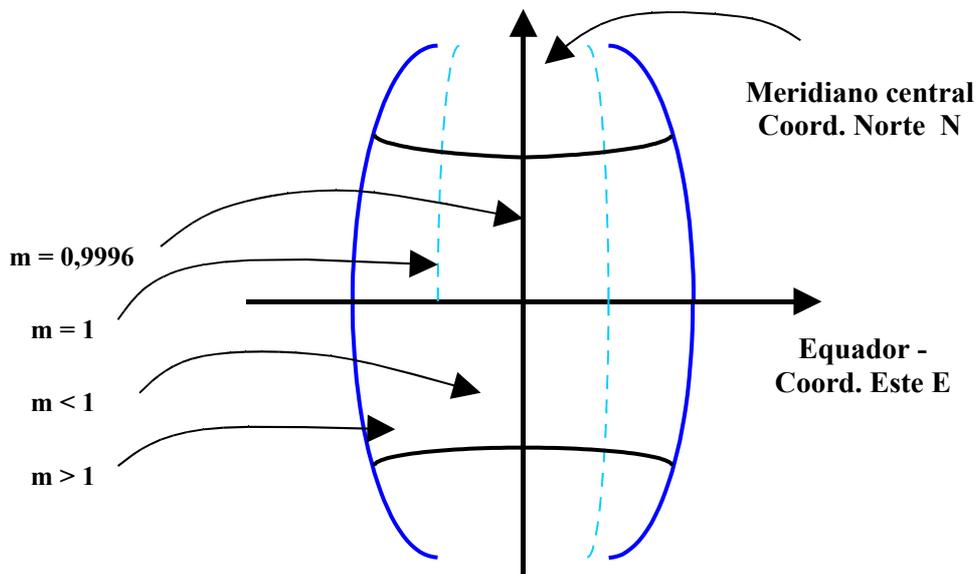


FIGURA 2.24 - Distorção de escala em diferentes regiões de um fuso UTM

2.7.1 Outras Projeções Baseadas na Projeção TM

Além da Projeção Universal Transversa de Mercator outras projeções conformes voltadas para mapeamento de regiões cujas características de extensão e/ou de posição em relação às convenções adotadas no sistema UTM não sejam compatíveis ou favoráveis. A

seguir são listadas algumas destas projeções derivadas por especificação da projeção Transversa de Mercator- TM (Krakiwsky, 1982).

1- LTM Local Transverse Mercator

- fusos de 1° de amplitude
- meridianos centrais a cada $30'$
- distorção de escala sobre o MC igual a $0.999\ 9995$
- coordenadas
$$\begin{aligned} N &= X_{TM} * 0.999\ 995 + 5.000.000\ m \\ E &= Y_{TM} * 0.999\ 995 + 200.000\ m \end{aligned} \quad (2.23)$$

2- RTM Regional Transverse Mercator

- fusos de 2° de amplitude
- meridianos centrais nas longitudes ímpares
- distorção de escala sobre o MC igual a $0.999\ 9995$
- coordenadas
$$\begin{aligned} N &= X_{TM} * 0.999\ 995 + 5.000.000\ m \\ E &= Y_{TM} * 0.999\ 995 + 400.000\ m \end{aligned} \quad (2.24)$$

3- Gauss-Kruger

- fusos de 3° de amplitude
- meridianos centrais múltiplos de 3°
- distorção de escala sobre o MC igual a 1
- coordenadas
$$\begin{aligned} N &= X_{TM} + 5.000.000\ m \\ E &= Y_{TM} + 200.000\ m \end{aligned} \quad (2.25)$$

4- Gauss-Tardi

- fusos de 6° de amplitude
- meridianos centrais múltiplos de 6°
- distorção de escala sobre o MC igual a $0.999\ 333$
- coordenadas
$$\begin{aligned} N &= X_{TM} * 0.999\ 333 + 5.000.000\ m \\ E &= Y_{TM} * 0.999\ 333 + 500.000\ m \end{aligned} \quad (2.26)$$

2.8 – TRANSPORTE DE COORDENADAS NA PROJEÇÃO UTM

Apesar da representação de dados na projeção UTM ser realizada num plano e ter um sistema de coordenada retangular não existe uma correspondência direta entre as grandezas medidas no terreno e aquelas representadas na projeção. No caso da topografia qualquer linha representada no plano topográfico está sujeita à mesma escala de representação. No entanto na projeção UTM, assim como em qualquer projeção cartográfica, uma linha estará sujeita a um ou outro valor de escala de acordo com a sua posição na projeção. Esta dependência escala-posição é característica das projeções cartográficas. Assim, a utilização de medidas resultantes de operações de campo na projeção UTM está sujeita a algum tratamento que as torne adequadas à projeção. A manipulação de coordenadas no plano UTM pode ser feita com dois propósitos principais: 1) determinar coordenadas UTM de um terceiro ponto a partir de observações de campo de distância e ângulo horizontal realizadas a partir de um ponto com coordenadas UTM

conhecidas; ou 2) determinar as quantidades geodésicas azimute e distância a partir de um par de pontos com coordenadas UTM conhecidas.

Para que se possa utilizar observações de campo para inserí-las numa base de dados UTM é necessário realizar algum tratamento a estas observações uma vez que os dados são coletados sobre a superfície física ou no interior da superfície física e as coordenadas UTM são referidas a uma projeção cartográfica.

Este tratamento que deve ser dado aos dados observados é conhecido como redução de dados observados. Como são realizadas medidas de ângulo e distância estas são as grandezas que sofrem o tratamento.

2.8.1 Reduções lineares

Uma distância observada em campo, em geral, é inclinada e representa a distância entre o centro eletrônico do distanciômetro e o espelho refletor. O cálculo de uma coordenada no plano de projeção UTM requer um comprimento reduzido à projeção por meio da aplicação do conceito de distorção de escala. As reduções lineares são todas aquelas operações que possibilitam obter a distância na projeção a partir de uma distância medida no campo. Durante este processo de redução a distância inclinada é usada para calcular a distância horizontal, e esta é usada para calcular a distância reduzida à superfície do elipsóide. Esta por fim é usada, tendo por base a aplicação do conceito de distorção de escala, para calcular a distância na projeção cartográfica (Figura 2.25).

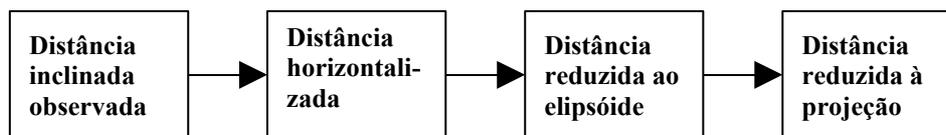


FIGURA 2.25 - Esquema das reduções lineares

2.8.2 Reduções Angulares

Apesar da projeção UTM ter a propriedade de conformidade existe um tratamento a ser dado às grandezas angulares observadas em campo antes que se possa usá-las no cálculo de novas coordenadas UTM. Estão envolvidos o conceito de convergência meridiana γ , azimute de quadrícula Azq , azimute geodésico Azg , ângulo entre a corda da geodésica projetada e a geodésica projetada ψ . Partindo de um azimute geodésico, o cálculo do azimute de quadrícula requer a consideração dois ângulos a convergência meridiana e redução angular.

No transporte de coordenadas UTM o problema DIRETO está caracterizado no propósito 1, e o problema INVERSO caracteriza o propósito 2 (citados no item 2.8).

2.8.3 Problema Direto

Dados de entrada:

- coordenadas UTM de um ponto ré (N_1, E_1);
- coordenadas UTM do ponto ocupado (N_2, E_2);
- ângulo observado entre o lado 2-1 e 2-3 (α);
- comprimento da geodésica 2-3 (De).

Pretende-se calcular as coordenadas UTM do ponto 3.

Sequência de cálculo

1) Cálculo da latitude do pé da normal ao eixo X pelo ponto médio 1-2

$$X_1 = (N_1 - 10.000.000) / 0.9996; \tag{2.27}$$

$$X_2 = (N_2 - 10.000.000) / 0.9996;$$

$$X_m = (X_1 + X_2) / 2; \tag{2.28}$$

φ_{12} = função de (X_m/a) , por Newton -Raphson.

2) Cálculo do raio médio (R_m)

$$N_{12} = a / (1 - e^2 \text{sen}^2(\varphi_{12}))^{1/2}; \tag{2.29}$$

$$M_{12} = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \text{sen}^2(\varphi_{12}))^{3/2}; \tag{2.30}$$

$$R_m = (N_{12} * M_{12})^{1/2}; \tag{2.31}$$

3) Cálculo da redução angular ψ_{21}

$$\Delta X' = (N_1 - N_2); \tag{2.32}$$

$$Y_1 = (E_1 - 500.000) / 0.9996; \tag{2.33}$$

$$Y_2 = (E_2 - 500.000) / 0.9996;$$

$$\psi_{21} = \frac{68755 * \Delta X' * (2 * Y_2 * 0.9996 + Y_1 * 0.9996)}{2 * R_m^2 * 0.9996^2} . \tag{2.34}$$

4) Cálculo do azimute da linha 1-2 sobre o plano UTM

$$Az_{12} = f(\theta);$$

$$\theta = \text{arc tg} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}; \tag{2.35}$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1;$$

$$\Delta X = X_2 - X_1;$$

θ	ΔY	ΔX	Azimute
+	+	+	$Az = \theta$
-	+	-	$Az = 180^\circ + \theta$
+	-	-	$Az = 180^\circ + \theta$
-	-	+	$Az = 360^\circ + \theta$

5) Cálculo do azimute plano aproximado do lado 2-3
(azimute plano = azimute de quadrícula)

$$Az_{qa\ 23} = Az_{12} + \alpha - 180^\circ + \psi_{21} . \tag{2.36}$$

6) Cálculo das coordenadas aproximadas do ponto 3 (N'_3, E'_3)

$$\begin{aligned} N'_3 &= N_2 + De * \cos (Az_{qa\ 23}) ; \\ E'_3 &= E_2 + De * \sin (Az_{qa\ 23}). \end{aligned} \quad (2.37)$$

7) Cálculo do raio médio (Rm) para o lado 2-3

$$\begin{aligned} X'_3 &= (N'_3 - 10.000.000) / 0.9996 ; \\ Xm_{23} &= (X'_3 + X_2) / 2 ; \\ \varphi_{23} &= \text{função de } (Xm_{23} / a), \text{ por Newton -Raphson;} \\ N_{23} &= a / (1 - e^2 \sen (\varphi_{23}))^{1/2}; \\ M_{23} &= a (1 - e^2) / (1 - e^2 \sen (\varphi_{23}))^{3/2}; \\ Rm &= (N_{23} * M_{23})^{1/2}; \end{aligned}$$

8) Cálculo da redução angular ψ_{23}

$$\begin{aligned} \Delta X' &= X'_3 - X_2 ; \\ \psi_{23} &= \frac{68755 * \Delta X' * (2 * Y_2 * 0.9996 + Y_3 * 0.9996)}{2 * Rm_{23}^2 * 0.9996^2}. \end{aligned} \quad (2.38)$$

9) Cálculo do azimute plano definitivo da corda da geodésica 2-3

$$Az_{qc\ 23} = Az_{qa\ 23} - \psi_{23} . \quad (2.39)$$

10) Cálculo da distorção de escala m_{23}

$$m_{23} = 0.9996 * \left[1 + \frac{(Y_2^2 + Y_3^2 + Y_2 * Y_3)}{6 * Rm_{23}^2 * 0.9996^2} \right]. \quad (2.40)$$

11) Cálculo do comprimento da corda da geodésica Dc

$$Dc = De * m_{23} . \quad (2.41)$$

12) Cálculo das coordenadas definitivas do ponto 3 (N_3, E_3).

$$\begin{aligned} N_3 &= N_2 + Dc * \cos (Az_{qc\ 23}) ; \\ E_3 &= E_2 + Dc * \sin (Az_{qc\ 23}) . \end{aligned} \quad (2.42)$$

Assim a partir do conhecimento das coordenadas UTM de dois pontos (N_1, E_1) e (N_2, E_2), da observação de um ângulo horizontal entre duas geodésias e da observação distância sobre a superfície física e sua posterior redução ao elipsóide, pode-se calcular a posição UTM do ponto observado (N_3, E_3).

Exemplo de valores resultantes de um cálculo de transporte de coordenadas Problema Direto:

TRANSPORTE DE COORD. NO PLANO UTM

Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná

PROBLEMA DIRETO

Ponto RE (1)

N1 = 7182000.000 m
E1 = 550000.000 m

Ponto OCUPADO (2)

N2 = 7185000.000 m
E2 = 553000.000 m

Dados observados

Ang. horiz. 165 0 0.000 (GGG MM SS.sss)
Comprimento da Geodésica 3000.0000 m

Coordenadas TM dos pontos RE e OCUPADO

X1 = -2819127.651 m
Y1 = 50020.008 mX2 = -2816126.451 m
Y2 = 53021.208 m
X médio Xm = -2817627.051 m

Lat. pé normal p/ Xm

fipe1 = -25.27556940 (gg.mmsss)

Grande normal e pequena normal

N12 = 6382110.572 m
M12 = 6347240.809 m

Raio médio

Rm = 6364651.811 m

Diferença de coord. Norte

deltaN = -3000.000 m

Redução angular

Psi21 = -0.397482808 "

Azimute no plano UTM de 1-2

Az12 = 45.000000000 (ggg.mmsss)

Lat. pé para ponto 2

fipe2 = -25.270692929 (gg.mmsss)

Grande normal para o ponto 2

NN2 = 6382106.647 m

Conv. meridiana (grau dec.)

gama = -0.1335560461 (g.mmss)

Azimute de quadricula aproximado de 23

Azqa23 = 29.59596025 (ggg.mmsss)

Ponto VANTE aproximado

N13 = 7187598.079 m
E13 = 554499.995 m
Xm23 = -2814826.891 m

Lat. pé p/ Xm23

fipe23 = -25.26246977 (gg.mmsss)

Dados para lado 23

N23 = 6382103.249 m
M23 = 6347218.959 m
Rm23 = 6364637.204 m

Distorção de escala para o lado 23

m23 = 0.99963568

Redução psi

psi23 = 0.337747 "

Azimute definitivo do lado 23

Azqc23 = 29.59592648 (ggg.mmsss)

Comprimento da corda da geodésica projetada

Dc = 2998.907 m

COORDENADAS DO PONTO 3

N3 = 7187597.13502 m
E3 = 554499.44426 m

Dados para novo transporte psi32 atualizado
psi32 = -0.35733952 "

2.8.4 Problema Inverso

Dados de entrada :

- coordenadas UTM do ponto 1 (N_1, E_1);
- coordenadas UTM do ponto 2 (N_2, E_2).

Pretende-se calcular o azimute geodésico e o comprimento da geodésica 1-2.

Sequência de cálculo

1) Cálculo da latitude do pé da normal ao eixo X pelo ponto médio 1-2

$$\begin{aligned} X_1 &= (N_1 - 10.000.000) / 0.9996; \\ X_2 &= (N_2 - 10.000.000) / 0.9996; \\ X_m &= (X_1 + X_2) / 2; \end{aligned}$$

φ_{12} = função de (X_m/a), por Newton -Raphson.

2) Cálculo do raio médio (Rm)

$$\begin{aligned} N_{12} &= a / (1 - e^2 \operatorname{sen}^2(\varphi_{12}))^{1/2}; \\ M_{12} &= a(1 - e^2) / (1 - e^2 \operatorname{sen}^2(\varphi_{12}))^{3/2}; \\ Rm &= (N_{12} * M_{12})^{1/2}; \end{aligned}$$

3) Cálculo da redução angular ψ_{21}

$$\begin{aligned} \Delta X' &= (N_1 - N_2); \\ Y_1 &= (E_1 - 500.000) / 0.9996; \\ Y_2 &= (E_2 - 500.000) / 0.9996; \end{aligned}$$

$$\psi_{12} = \frac{68755 * \Delta X' * (2 * Y_1 * 0.9996 + Y_2 * 0.9996)}{2 * Rm^2 * 0.9996^2}.$$

4) Cálculo da convergência meridiana γ .

Cálculo da latitude do pé da normal (φ_0) por Newton-Raphson para o ponto 1, ou seja, utiliza-se $Y = Y_1$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \frac{Y}{N_0} t_0 - \frac{Y^3}{3 N_0^3} t_0 (1 - \eta_0^2 - 2\eta_0^4) + \frac{Y^5}{15 N_0^5} t_0 (2 + 2\eta_0^2 + 9\eta_0^4 + 6\eta_0^2 t_0^2 + 20\eta_0^6 + 3\eta_0^4 t_0^2 - \\ & 27\eta_0^6 t_0^2 + 11\eta_0^8 - 24\eta_0^8 t_0^2) - \frac{17 Y^7}{315 N_0^7} t_0. \end{aligned}$$

5) Cálculo do azimute da linha 1-2 sobre o plano UTM

$$Az_{12} = f(\theta);$$

$$\theta = \text{arc tg} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1};$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1;$$

$$\Delta X = X_2 - X_1;$$

θ	ΔY	ΔX	Azimute
+	+	+	$Az = \theta$
-	+	-	$Az = 180^\circ + \theta$
+	-	-	$Az = 180^\circ + \theta$
-	-	+	$Az = 360^\circ + \theta$

5) Cálculo do azimute geodésico da linha 1-2

$$Az_{g12} = Az_{12} - \psi_{12} - \gamma_i$$

6) Cálculo da distorção de escala (m_{12})

$$m_{12} = 0.9996 * \left[1 + \frac{(Y_1^2 + Y_2^2 + Y_1 * Y_2)}{6 * Rm_{12}^2 * 0.9996^2} \right].$$

7) Cálculo do comprimento da geodésica De

$$Dc = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + (E_2 - E_1)^2};$$

$$De = Dc / m_{12}.$$

Assim a partir de dois pontos com coordenadas UTM conhecidas pode-se determinar o azimute geodésico da geodésica e o comprimento da geodésica.

Exemplo de valores resultantes de um cálculo de transporte de coordenadas Problema Inverso:

**TRANSPORTE DE COORD. NO PLANO UTM
PROBLEMA INVERSO**

Ponto 1

N1 = 7187597.135 m
E1 = 554499.444 m

Ponto 2

N2 = 7185000.000 m
E2 = 553000.000 m

Coordenadas TM dos pontos 1 e 2

X1 = -2813528.276 m
Y1 = 54521.253 m

X2 = -2816126.451 m

```

Y2 = 53021.208 m
Xm = -2814827.363 m

Lat. pé normal p/ Xm
fipem = -25.440198068 (Grau dec.)

Grande normal e pequena normal
N12 = 6382103.250 m
M12 = 6347218.963 m

Raio médio
Rm = 6364637.207 m

Diferença de coord. Norte
deltaN = 2597.135 m

Reducao angular
Psi12 = -0.357339518 "
Psi21 = 0.354032023 "

Azimute no plano UTM de 1-2 (de quadrícula)
Az12 = 209.999791664 (grau dec.)

Lat. pé para ponto 1
fipe1 = -25.428471315 (grau dec.)

Grande normal para o ponto 1
NN1 = 6382099.854 m

Convergência meridiana ponto 1 (Grau dec.)
gama = -0.2327080194

Azimute geodésico de 1-2
Azg12 = 210.23259894 (Grau dec)

Distorção de escala para o lado 1-2
m12 = 0.99963568

Comprimento da corda da geodésica projetada
Dc = 2998.907 m

Comprimento da geodésica
De = 3000.000 m

Final de cálculo

```

2.8.5 Avaliação de Área na Projeção UTM

O valor numérico da área de um limite determinado por um conjunto de pontos unidos entre si por segmentos de linha reta sucessivos que não se cruzam pode ser calculado com a fórmula de Gauss. O valor numérico representativo da área de um polígono pode ser referido ao plano topográfico, à superfície do elipsóide ou à uma projeção cartográfica. A determinação de valores de área referida ao plano topográfico pertence ao escopo da topografia, quando referido à superfície do elipsóide pertence ao escopo da geodésia e quando este cálculo é realizado com dados oriundos de uma projeção cartográfica então pertence ao escopo de projeções cartográficas.

A fórmula de Gauss para o cálculo da área de um polígono é:

$$Area = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1}) \quad (2.43)$$

$$Area = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1})$$

Ambas as expressões fornecem o mesmo resultado para o valor da área de um conjunto de pontos. A utilização da primeira expressão com pontos ordenados de tal modo que formem o polígono no sentido horário produzirá um valor de área positivo, e caso

contrário resultará num valor de área negativo. E a segunda expressão produzirá valor de área negativo para dados que formam o polígono no sentido horário e positivo no sentido anti-horário. Todos os valores serão iguais em módulo. Portanto, a utilização destas expressões poderá levar a valores negativos de área pois o sinal do resultado depende da expressão usada e também da orientação das coordenadas definidoras do polígono.

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo de área usando a fórmula de Gauss. Este exemplo serve apenas como ilustração do processo de cálculo da área, isto é, de uso da fórmula de Gauss.

Exemplo 1. Dadas as coordenadas, em metros, dos 7 pontos calcular sua área.

a) pontos organizados no sentido horário

$$X = [1 \ 3 \ 5 \ 7 \ 9 \ 4 \ 3];$$

$$Y = [2 \ 5 \ 6 \ 5 \ 4 \ 2 \ 1];$$

Usando a primeira expressão obtém-se $18,50m^2$

e usando a segunda expressão obtém-se $-18,50m^2$.

$$Area = (1*(1-5) + 3*(2-6) + 5*(5-5) + 7*(6-4) + 9*(5-2) + 4*(4-1) + 3*(2-2))/2 = 18,50m^2.$$

b) pontos organizados no sentido anti-horário

$$X = [3 \ 4 \ 9 \ 7 \ 5 \ 3 \ 1];$$

$$Y = [1 \ 2 \ 4 \ 5 \ 6 \ 5 \ 2];$$

Usando a primeira expressão obtém-se $-18,50m^2$

e usando a segunda expressão obtém-se $18,50m^2$.

c) O polígono formado pelos pontos organizados no sentido horário resulta como a seguir (Figura 2.26):

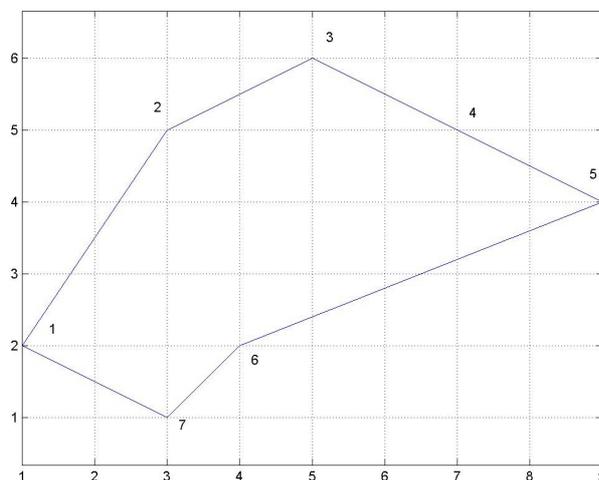


FIGURA 2.26 - Pontos formadores do polígono orientados no sentido horário

Nesta figura, os pontos de 1 a 7 estão ordenados de modo que o polígono seja criado no sentido horário. Na organização dos pontos no sentido anti-horário o ponto 7 será o ponto 1, o ponto 6 será o ponto 2 e assim até que se chegue ao ponto 1 que será o ponto 7.

O valor numérico da área de um polígono do qual se conhecem as coordenadas UTM de seus vértices é diferente do valor numérico da área do mesmo polígono quando se conhecem as suas coordenadas geodésicas, e também diferente do valor de área quando se conhecem as suas coordenadas retangulares referidas a um plano topográfico arbitrário.

Uma solução para obter o valor numérico da área de um polígono sobre a superfície do elipsóide é determinar um valor médio de distorção de escala ou (fator de escala) para o polígono e aplicá-lo ao valor numérico da área calculada com as coordenadas UTM. Isto representa uma simplificação uma vez que os lados do polígono considerado na projeção UTM são retas e estes mesmos lados na superfície do elipsóide são linhas geodésicas. No entanto, quanto menor o comprimento das geodésicas menor será esta diferença, ou o que é o mesmo, quanto menor o valor numérico da área menor será a diferença.

A obtenção do valor da área sobre a superfície do elipsóide ou superfície de referência a partir do valor da área de um polígono que tem coordenadas UTM conhecidas depende da distorção de escala a que está sujeita a região que contém o polígono. A rigor, cada posição da *SP* está afetada de um valor diferente de distorção de escala. No entanto, dependendo das dimensões da região tratada a distorção pode ser considerada como constante. A distorção de escala atua nos comprimentos das geodésicas de modo a alongá-los ou comprimí-los, dependendo da posição do polígono dentro do fuso. O resultado da ação da distorção de escala no valor numérico da área de um polígono faz com que o valor seja reduzido ou aumentado quando se compara com o valor da área na *SR*.

Para um polígono localizado na porção do fuso em que a distorção de escala é menor do que a unidade ($m < 1$) o valor numérico da área sobre a *SR* será maior do que o valor calculado com as coordenadas UTM. Se o polígono ou região estiver localizado próximo à região de secância então os valores numéricos das áreas serão muito próximos. E, se o polígono estiver localizado na região do fuso em que $m > 1$, o valor numérico da área na *SP* será maior do que na *SR*. A proporcionalidade entre os valores numéricos de área é dada pelo quadrado da distorção de escala

O valor numérico da área de um polígono do qual se conhecem as coordenadas UTM pode também ser determinado para a superfície topográfica, valor que se deverá se aproximar daquele obtido por procedimentos da Topografia. Há diferentes modos de se obter o valor numérico da área de um polígono considerado nas imediações da superfície topográfica. Um destes modos é calcular um fator de ampliação da área obtida sobre o elipsóide para a superfície topográfica F_{et} usando a seguinte relação:

$$F_{et} = (N + Hm) / N, \quad (2.44)$$

em que N é a grande normal média para a região do polígono (deve-se lembrar que a grande normal é calculada em função da latitude), e Hm é a altitude média dos pontos formadores do polígono. Outra forma de obter o valor da área do polígono é mais rigoroso e considera as altitudes dos pontos formadores do polígono e faz uso desta informação para realizar a transformação das coordenadas UTM para coordenadas cartesianas topocêntricas (conforme *Sistemas de Referência*, Cap. 8, fig. 8.1). Um sistema de coordenadas retangulares dito topocêntrico tem a posição de sua origem arbitrada, tem o eixo X voltado para Pólo Norte meridiano, o eixo Z coincidente com a vertical e o eixo Y orientado a 90° a direita de X .

A obtenção de coordenadas cartesianas topocêntricas a partir de coordenadas UTM se compõe das seguintes etapas: 1- transformação das coordenadas UTM em coordenadas geodésicas; 2- transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas cartesianas geocêntricas; 3- transformação das coordenadas cartesianas geocêntricas em coordenadas

topocêntricas (Figura 2.27). As etapas 2 e 3 pertencem ao campo de estudo da Geodésia (Sistemas de Referência), e apenas a etapa 1 é tratada em Projeções Cartográficas.

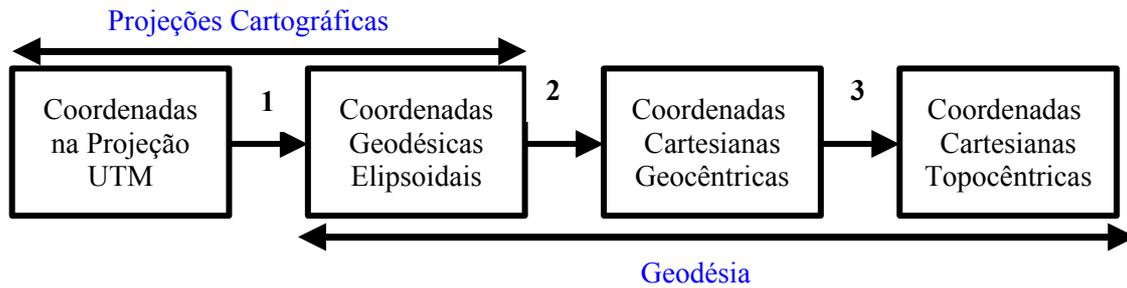


FIGURA 2.27 - Passos da transformação de coordenadas UTM em cartesianas topocêntricas

A transformação de coordenadas Geodésicas elipsoidais para coordenadas cartesianas geocêntricas pode ser realizada usando as expressões:

$$\begin{aligned}
 X_c &= (N + h) \cos(\varphi) \cos(\lambda) \\
 Y_c &= (N+h) \cos(\varphi) \sin(\lambda) \\
 Z_c &= (N+h) (1-e^2) \sin(\varphi).
 \end{aligned}
 \tag{2.45}$$

Nestas expressões N é a grande normal, h é a altitude do ponto (φ, λ) a transformar.

A transformação entre coordenadas geodésicas geocêntricas elipsoidais para coordenadas cartesianas topocêntricas locais pode ser realizada usando:

$$\begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_c - X_o \\ Y_c - Y_o \\ Z_c - Z_o \end{bmatrix}
 \tag{2.46}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ + \lambda o) & \sin(90^\circ + \lambda o) & 0 \\ -\cos(90^\circ - \varphi o) * \sin(90^\circ + \lambda o) & \cos(90^\circ - \varphi o) * \cos(90^\circ + \lambda o) & \sin(90^\circ - \varphi o) \\ \sin(90^\circ - \varphi o) * \sin(90^\circ + \lambda o) & -\sin(90^\circ - \varphi o) * \cos(90^\circ + \lambda o) & \cos(90^\circ - \varphi o) \end{bmatrix}$$

Com esta expressão matricial é possível transformar coordenadas do sistema tridimensional geocêntrico para um sistema tridimensional topocêntrico em que: as coordenadas X_c Y_c e Z_c indicam as coordenadas no primeiro sistema, as coordenadas X_L , Y_L e Z_L indicam as coordenadas no segundo sistema, X_o , Y_o e Z_o indicam as coordenadas da origem do segundo sistema relativamente ao primeiro, R representa uma matriz de rotação dada em função da latitude (φo) e da longitude (λo) da origem do segundo sistema relativamente ao primeiro.

No exemplo a seguir apresenta-se os resultados dos cálculos dos valores numéricos das áreas de um polígono do qual se conhecem as coordenadas UTM. Neste exemplo os cálculos não estão explícitos e apenas os seus resultados são mostrados e discutidos.

Exemplo 2. Cálculo do valor numérico da área na projeção UTM, na superfície do elipsóide e na superfície topográfica supondo uma altitude média de $1000m$ para a região do polígono. Para o caso do valor numérico da área para a superfície topográfica são

usados dois processos, no primeiro determina-se o fator de multiplicação F_{et} e no segundo aplica-se a transformação para o sistema de coordenadas locais topocêntricas.

TABELA 2.1 - Coordenadas UTM de 22 vértices do polígono

Pto.	N (m)	E (m)	Pto.	N (m)	E (m)
1	7338491.614	573464.906	12	7338031.831	573350.071
2	7338466.690	573492.957	13	7337992.255	573299.379
3	7338442.274	573514.835	14	7337963.332	573052.561
4	7338435.771	573516.754	15	7338270.946	572976.728
5	7338413.313	573517.591	16	7338248.684	573022.804
6	7338380.238	573509.424	17	7338245.322	573052.572
7	7338308.391	573477.236	18	7338253.968	573078.419
8	7338288.040	573481.554	19	7338318.397	573229.389
9	7338107.269	573446.588	20	7338409.469	573434.273
10	7338090.221	573403.511	21	7338425.566	573457.068
11	7338069.597	573382.848	22	7338441.046	573461.419

Altitude média da região = 1000 m (este valor foi arbitrado)

- Área na projeção (A_p), calculada usando a primeira das (2.43)

$$A_p = 149629.68 \text{ m}^2$$

- Área na superfície do elipsóide (A_e)

Distorção de escala pada o ponto médio da área $m = 0.999666446$

$$A_e = A_p / (m * m)$$

$$A_e = 149729.55 \text{ m}^2$$

- Área na superfície topográfica (A_t)

Fator de multiplicação da área do elipsóide para a sup. topográfica $F_{et} = 1.00031359$

$$A_t = A_e * F_{et}$$

$$A_t = 149776.51 \text{ m}^2$$

- Área num sistema cartesiano topocêntrico local (A_{tc})

Para este cálculo: todos os pontos têm altitude de 1000m; a origem do sistema topocêntrico ou sistema local topocêntrico tem latitude e longitude dada pelo ponto médio do conjunto de pontos formadores do polígono; e as coordenadas do ponto origem são (0,00m; 0,00m).

As coordenadas retangulares dos pontos no sistema local topocêntrico se encontram na Tabela 2. A partir das coordenadas X_L e Y_L e da fórmula de Gauss obteve-se o valor A_{tc} abaixo.

$$A_{tc} = 149776.53 \text{ m}^2$$

TABELA 2.2.- Coordenadas retangulares dos pontos formadores do polígono referidas a um referencia local topocêntrico centrado na sua posição média.

Pto	X_L (m)	Y_L (m)	Z_L (m)	Pto	X_L (m)	Y_L (m)	Z_L (m)
1	117,366	215,313	-0,005	12	4,838	-245,279	-0,005
2	145,558	190,521	-0,004	13	-45,674	-285,135	-0,007
3	167,572	166,206	-0,004	14	-292,462	-315,340	-0,015

4	169,526	159,710	-0,004	15	-369,911	-7,968	-0,011
5	170,478	137,245	-0,004	16	-323,699	-30,004	-0,008
6	162,477	104,113	-0,003	17	-293,899	-33,215	-0,007
7	130,643	32,066	-0,001	18	-268,085	-24,432	-0,006
8	135,068	11,727	-0,001	19	-117,373	40,803	-0,001
9	101,014	-169,310	-0,003	20	87,140	132,971	-0,002
10	58,004	-186,587	-0,003	21	109,864	149,193	-0,003
11	37,437	-207,327	-0,004	22	114,137	164,703	-0,003

Uma comparação entre os diferentes valores de área para o mesmo conjunto de pontos associados a diferentes referenciais é encontrada na Tabela 2.3, a seguir.

TABELA 2.3 - Valores numéricos de área em diferentes referenciais

<i>Referencial</i>		<i>Área (m²)</i>	<i>Modo de obtenção</i>
<i>Projeção UTM</i>	<i>(Ap)</i>	149629.68	Fórmula de Gauss
<i>Elipsóide</i>	<i>(Ae)</i>	149729.55	Distorção de escala ou fator de escala (m)
<i>Sup. Topográfica</i>	<i>(At)</i>	149776.48	Fator (Fet)
<i>Sist. Local Topocêntrico</i>	<i>(Atc)</i>	149776.53	Transformação entre referenciais

Observado os valores de área da Tabela 2.3 percebe-se que o valor da área para o polígono referido referida à superfície topográfica e a um sistema local topocêntrico são maiores do que aqueles para a projeção e para o elipsóide. Isso ocorre porque em geral se tem altitudes positivas, isto é, em geral não se encontram depressões sobre a superfície terrestre de tal modo que tenham altitudes menores do que o nível médio dos mares. Na Tabela 2.4 estão organizadas as diferenças entre os valores numéricos de área nos diferentes referenciais. Nesta tabela aparecem valores negativos nos casos em que o primeiro valor de área é menor do que o segundo, p. ex., (área UTM – área Elipsóide) = $-99,87m^2$ (neste caso a área sobre o elipsóide é maior do que a área sobre a projeção).

TABELA 2.4 - Diferença em unidades de área entre os valores em diferentes referenciais (Área linha – Área coluna)

<i>Área</i>	<i>UTM</i>	<i>Elipsóide</i>	<i>Sup. Topog. (Fet)</i>	<i>S. Local Topoc.</i>
<i>UTM</i>	0,00 m²	-99,87 m²	-146,80 m²	-146,84 m²
<i>Elipsóide</i>	99,87 m²	0,00 m²	-46,93 m²	-46,95 m²
<i>Sup. Topog. (Fet)</i>	146,80 m²	46,93 m²	0,00 m²	-0,05 m²
<i>S. Local Topoc.</i>	146,84 m²	46,97 m²	0,05 m²	0,00 m²

TABELA 2.5 - Diferença percentual entre os valores de área em diferentes referenciais (Área linha/Área coluna)

<i>Área</i>	<i>UTM</i>	<i>Elipsóide</i>	<i>Sup. Topog. (Fet)</i>	<i>S. Local Topoc.</i>
<i>UTM</i>	0,00 %	0,07 %	0,10 %	0,10 %
<i>Elipsóide</i>	0,07 %	0,00 %	0,03 %	0,03 %
<i>Sup. Topog. (Fet)</i>	0,10 %	0,03 %	0,00 %	0,00 %
<i>S. Local Topoc.</i>	0,10 %	0,03 %	0,00 %	0,00 %

Da observação aos dados da Tabela 2.5 percebe-se que a maior diferença percentual se encontra ao comparar o valor numérico da área do polígono referido a um sistema local topocêntrico com o valor numérico da área do polígono referido ao elipsóide. De fato, esta diferença será tanto maior quanto maior for a altitude da região que contém o polígono. A diferença percentual entre a projeção e o elipóide depende da localização do polígono dentro do fuso UTM. A interpretação do significado prático das diferenças em valor numérico de área é dependente ou pode depender da extensão tratada e do valor venal da área.

Capítulo 3

Projeto de Símbolos

Autor:
Prof^a Dr^a Claudia Robbi Sluter

3 – Projeto de Símbolos

Ao compararmos uma fotografia aérea com um mapa de uma mesma região (Figura 3.1) podemos perceber as diferenças entre ambos estes produtos. Estas diferenças nos indicam importantes características dos mapas. Os dois produtos são imagens gráficas bidimensionais (ou planas), em escala, de elementos relacionados à superfície terrestre. Estes elementos, que podem ser objetos, fatos ou conceitos, em Cartografia são denominados de *feições*. Porém nos mapas as localizações geográficas são conhecidas, pois as feições são graficamente representadas de acordo com uma projeção cartográfica.

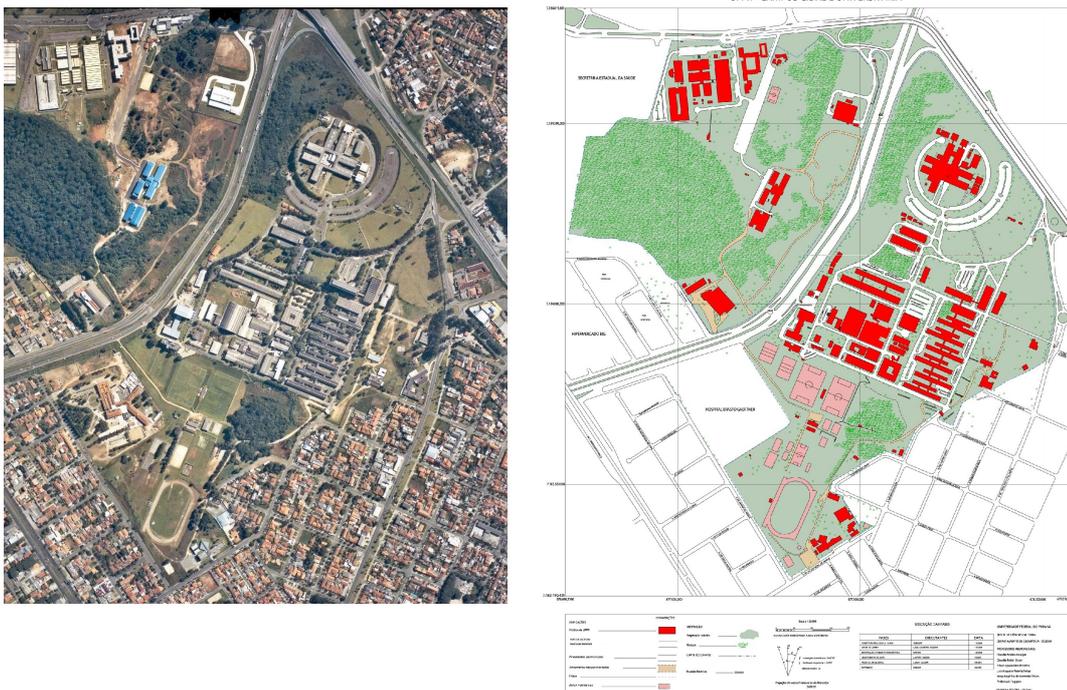


FIGURA 3.1 – Comparação de uma fotografia aérea com um mapa (em escala reduzida)

Se a utilização de uma projeção cartográfica fosse a única diferença entre fotografia aérea e mapa, nós poderíamos dizer que ortofotos são também mapas. Porém, se comparamos as ortofotos com os mapas, notamos que a principal diferença entre ambos está em como as feições são apresentadas. Na ortofoto (Figura 3.2) as feições são representadas como imagens fotográficas do mundo. Por outro lado, nos mapas as feições são representadas com símbolos cartográficos. Nos símbolos estão embutidas as informações ausentes nas imagens fotográficas. Olhando a fotografia aérea apresentada na Figura 3.1 nós podemos deduzir aonde estão as edificações, as ruas ou as rodovias, mas não temos certeza. Além disso, não podemos saber que tipo de edificação, quais ruas ou rodovias estamos vendo na fotografia. Se quisermos conhecer, com certeza, as diferentes feições existem nesta região, e que são visíveis na fotografia, teríamos que verificar *in loco*. Analisando agora a carta topográfica da Figura 3.1 (apresentada em verdadeira escala no *CDROM* em anexo), podemos, com segurança, afirmar aonde estão as ruas e as rodovias? O que nos permite conhecer o que está representado nos mapas é a simbologia criada para representar as feições.



FIGURA 3.2 – Ortofoto de uma região de Washington, DC, EUA
Fonte: USGS, 2004

Os símbolos cartográficos aumentam o nível informativo dos mapas, e nos possibilitam conhecer diversas características de qualquer lugar do mundo, sem precisarmos visitar estes locais. Isto porque com uma simbologia adequada, os mapas nos informam sobre a localização e as características das feições representadas. Para cada mapa a ser construído é definida uma simbologia. Assim, faz parte do projeto de uma novo mapa a definição da simbologia que será utilizada para a representação das feições.

3.1 - COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA

Quando construímos um novo mapa, pretendemos que os usuários deste mapa entendam facilmente o que está nele representado. Como os mapas armazenam informação, e a informação representada pelos símbolos cartográficos é transformada em conhecimento no uso dos mapas, este uso ocorre num processo de comunicação, chamado de *comunicação cartográfica*. No processo de comunicação cartográfica, o conjunto dos símbolos cartográficos formam, o que se denomina, de *linguagem cartográfica*.

A comunicação ocorre quando a informação representada é apropriadamente entendida pelo usuário. Essa situação está representada na Figura 3.3 pela sobreposição das realidades do cartógrafo e do usuário. O que é denominado de “realidade” na Figura 3.3 é o mundo que nos rodeia. Dentro desta “realidade”, como uma parte dela, se encontram a “realidade do cartógrafo” e a “realidade do usuário” as quais representam o conhecimento, do cartógrafo e do usuário, sobre o mundo. A sobreposição destas realidades ocorre quando existe um conhecimento do mundo que é comum, tanto ao cartógrafo quanto ao usuário. Esta sobreposição é essencial para que a comunicação aconteça, isto é, para que o mapa criado pelo cartógrafo seja corretamente entendido pelo usuário. E como fazer para que estas realidades se sobreponham? Gerar a sobreposição é tarefa do cartógrafo, que para tanto deve conhecer quem é o usuário do mapa que está sendo projetado, e para que o usuário necessita deste mapa, o que define o propósito do mapa. Conseqüentemente, a primeira tarefa de um projeto cartográfico é definir o propósito do mapa.

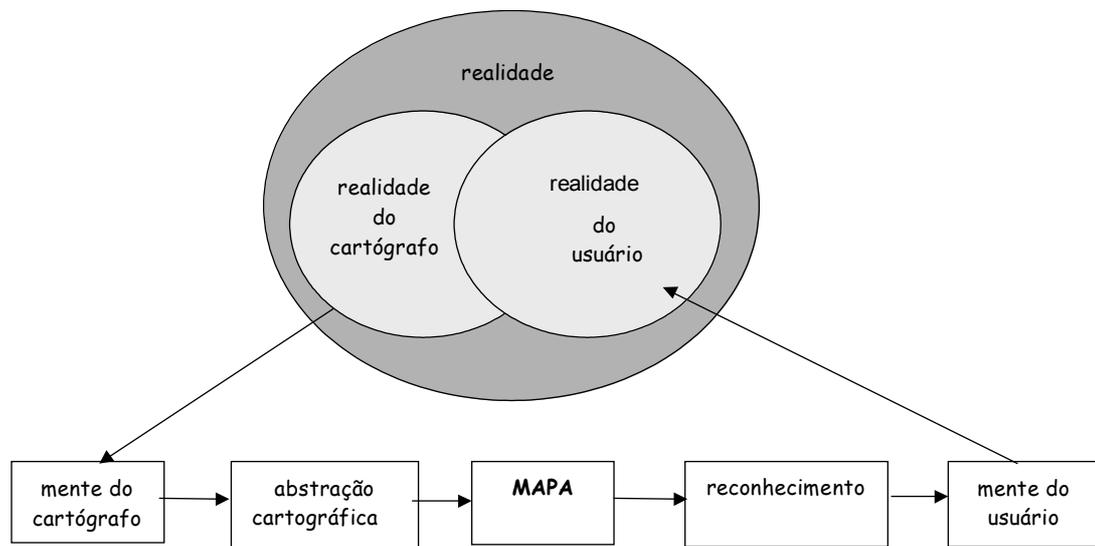


FIGURA 3.3 – Comunicação Cartográfica

Fonte: PETERSON, 1995

Os mapas são criados para diversas finalidades, ou propósitos. Alguns mapas têm suas denominações consagradas pelo propósito a que se destinam, tais como, mapas geológicos, mapas pedológicos e mapas rodoviários. Como não é possível representar num único mapa todas as feições e fenômenos conhecidos, e como tal mapa não seria eficiente em termos de comunicação cartográfica, uma das tarefas do projeto cartográfico é selecionar as feições que serão representadas. Esta decisão depende diretamente de quais tarefas o usuário realizará com o mapa, ou seja, o propósito que o usuário destinará ao mapa. Conhecendo-se o propósito do mapa pode-se decidir quais feições, bem como suas características, devem ser representadas no mapa, as quais atendem às necessidades dos usuários. As feições a serem representadas e suas características definem os temas dos mapas temáticos, e por isso são também chamadas de informações temáticas.

Definidas as informações temáticas a serem representadas, o próximo passo no projeto do mapa é definir a classificação destas informações. Com a classificação objetivamos estruturar as informações a serem representadas, de acordo com suas semelhanças e diferenças. As semelhanças e diferenças são determinadas com base nas características a serem representadas da informação temática. Esta estruturação das informações de acordo com suas classificações é importante no projeto cartográfico, pois o mapa deve apresentar as semelhanças e diferenças entre as classes temáticas representadas,

através da imagem resultante do projeto cartográfico, a qual é resultado da simbologia cartográfica criada. Para esclarecer o raciocínio aqui apresentado usaremos um exemplo no qual o usuário do mapa é a Secretaria Municipal de Educação de Curitiba, desempenhando a tarefa de planejamento de vagas para o ensino fundamental. Neste caso, as principais feições do mapa devem ser as escolas de ensino fundamental. As características da feição (informação temática) *escola de ensino fundamental* que devem ser representadas são os mantenedores, o nível escolar e o número de vagas disponíveis. Com base nestas características, as escolas serão representadas com três diferentes classificações:

Mantenedores: estadual, municipal ou privada;

Nível escolar: 1ª a 4ª séries, 1ª a 8ª séries, e ensino médio;

Número de vagas: com classes definidas numericamente, de acordo com as necessidades dos usuários.

No projeto cartográfico de um mapa temático, após determinadas as informações temáticas e suas classificações, o cartógrafo deve decidir sobre a base cartográfica do mapa. Num mapa temático, a base cartográfica é composta pelas feições topográficas, ou seja, as feições representadas nas cartas topográficas, que serão necessárias como referência espacial ao tema representado. Por exemplo, no mapa temático da Figura 3.4, o qual representa o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM do Brasil em 2000, a base cartográfica é composta pelos limites estaduais.

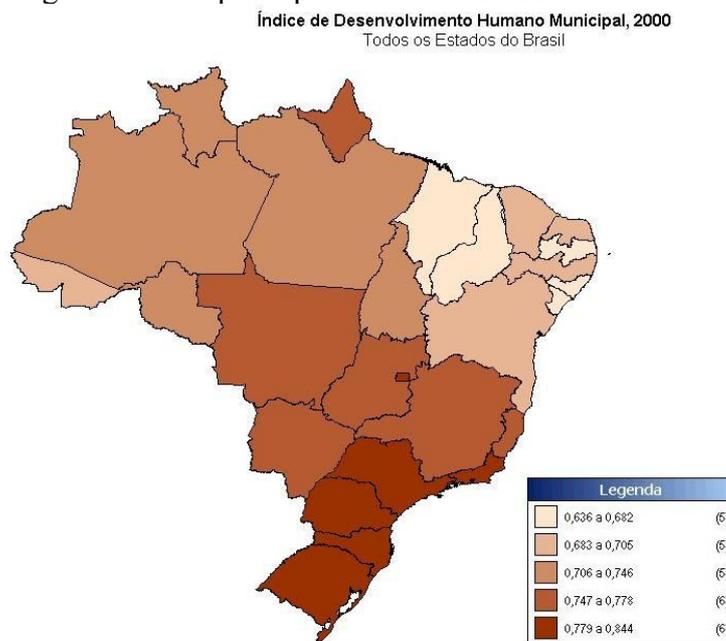


FIGURA 3.4– IDHM do Brasil em 2000

Fonte: FJP e IPEA, 2003

No exemplo da Figura 3.5, o qual apresenta o mapa da vegetação do Brasil, a base cartográfica é composta pelas feições *limites estaduais* e a *hidrografia*. O mapa da Figura 3.6 apresenta uma base cartográfica com um maior número de feições, ou seja, a base cartográfica é composta pelos *limites estaduais*, *hidrografia*, *rodovias*, *ferrovias* e *idades*. Utilizando novamente o exemplo das escolas de ensino fundamental, a base cartográfica para tais mapas poderia ser composta pelo *arruamento*, *limites de bairros* e *limites municipais*, que são as principais referências geográficas para estes mapas temáticos.



FIGURA 3.5 – Mapa de Vegetação do Brasil (em escala reduzida do original)
Fonte: SIMIELI e DE BIASI, 1999



FIGURA 3.6 – Mapa da Divisão Político-Administrativa da Região Sudeste do Brasil (em escala reduzida do original)
Fonte: SIMIELI e DE BIASI, 1999

3.2 - LINGUAGEM CARTOGRÁFICA

Sabendo-se quais feições devem compor o mapa, e no caso dos mapas temáticos incluindo as feições que definirão a base cartográfica, temos informação suficiente para definir os símbolos cartográficos. O conjunto dos símbolos, incluindo seus significados, compõem o que chamamos de *linguagem cartográfica*. Como cada mapa a ser construído deve ser projetado e construído em função das necessidades de seus usuários, o conjunto de feições e suas características variam para os diferentes mapas, portanto para cada mapa

é definido uma linguagem cartográfica. A definição da linguagem cartográfica é baseada em tres aspectos dos símbolos que são dependentes, sendo estes: a *dimensão espacial* da feição e a *primitiva gráfica* para representá-la; o *nível* (ou *escala*) de medida, definido pelas características a serem representadas do fenômeno; as *variáveis visuais* (variações visuais) das primitivas gráficas, que serão usadas para representar as feições e suas classificações.

3.2.1 Dimensão Espacial e Primitiva Gráfica

De acordo com as dimensões espaciais os fenômenos podem ser pontuais, lineares, de área ou volumétricos. As dimensões espaciais são definidas em função das características espaciais a serem representadas do fenômeno. Assim, um fenômeno é definido como pontual quando é considerado como adimensional, e portanto sua localização espacial é definida com um par de coordenadas (p. ex. X,Y) se bidimensional, ou uma tripla de coordenadas (p. ex. X,Y,Z) se tridimensional. Por exemplo, a feição *árvore* (Figura 3.7) pode ser considerada como adimensional se, para os propósitos do mapa, suas dimensões não são relevantes, sendo apenas necessário o conhecimento de sua localização pontual.



FIGURA 3.7 – Ilustração de árvores consideradas com dimensão pontual

Os fenômenos são considerados lineares se são unidimensionais, ou seja, uma de suas dimensões caracteriza seu comportamento espacial, e é suficiente para os propósitos do mapa. Como exemplo, podemos citar as feições *rodovia* ou *arruamento* (Figura 3.8) quando a localização espacial é definida por uma linha no plano (bidimensional), ou no espaço (tridimensional). Os fenômenos de área são caracterizados por serem bidimensionais, e portanto suas extensões no espaço devem ser representadas no mapa. Alguns exemplos de feições que podem ser definidas como tendo a dimensão espacial de área são *áreas de vegetação*, *quadras urbanas*, *praças* (Figura 3.9). As feições volumétricas (ou de volume) (Figura 3.10) são tridimensionais, e sua tridimensionalidade deve ser representada no mapa. As feições volumétricas podem ser representadas pelas suas superfícies, como é o caso do relevo, como também pelo seu volume verdadeiro, sendo um exemplo os volumes rochosos.



FIGURA 3.8 – Ilustração da rodovia e das ruas consideradas com dimensão linear



FIGURA 3.9 – Ilustração das quadras consideradas com dimensão de área

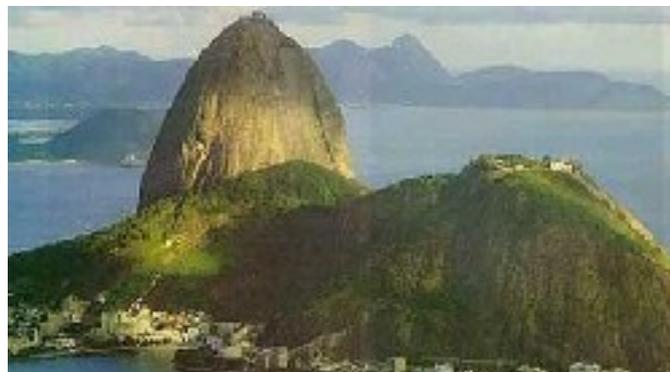


FIGURA 3.10 – Ilustração da superfície do relevo como dimensão volumétrica
Fonte: EMBRATUR

As primitivas gráficas são definidas em função das dimensões espaciais do fenômeno (ou feição) a ser representado, das dimensões da própria representação, que podem ser bidimensional ou tridimensional, e da escala do mapa. Nos mapas bidimensionais, as feições são representadas com as primitivas gráficas *ponto*, *linha* e *área*. A correspondência entre a dimensão espacial da feição e a primitiva gráfica de representação é uma das decisões sobre a linguagem cartográfica, e deve ser baseada nas características das próprias feições e nos propósitos estabelecidos para o mapa. Conseqüentemente, as feições definidas com as dimensões espaciais *pontual* serão, necessariamente, representadas pela *primitiva gráfica ponto*, como exemplifica a Figura 3.11 que mostra a fotografia aérea e a representação no mapa das árvores isoladas.



FIGURA 3.11 – Ilustração da primitiva gráfica ponto representando a dimensão espacial pontual das árvores

As feições com dimensão espacial linear podem ser representadas tanto pela primitiva gráfica linha como pela primitiva gráfica área. A Figura 3.12 exemplifica a representação da feição *rio*, cuja dimensão espacial é *linear*, representada tanto pela *primitiva gráfica linha* quanto pela *primitiva gráfica área*. A simbolização de área deste exemplo ocorre quando a localização geográfica dos rios é representada por suas margens e a área ocupada pelo rio é representada graficamente.

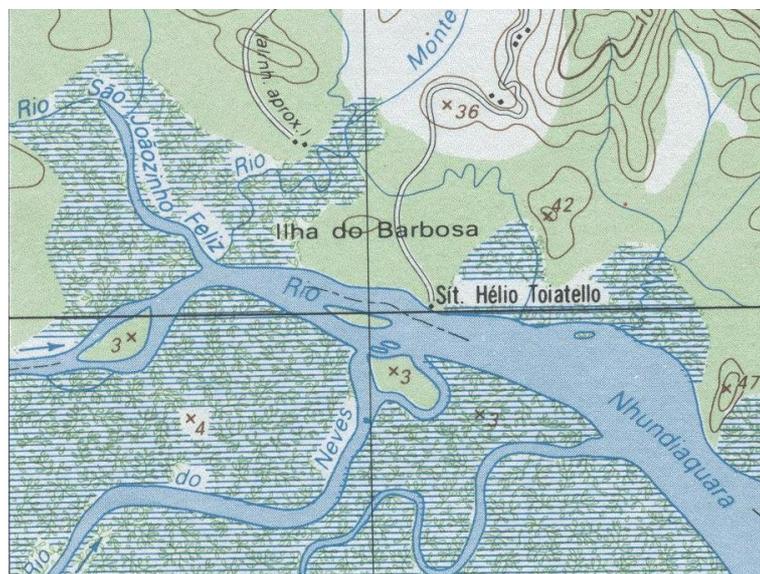


FIGURA 3.12 – Ilustração das primitivas gráficas linha e área utilizadas na representação da feição rio definida com a dimensão espacial linear

Fonte: IBGE – Carta Topográfica Antonina

As feições definidas como sendo de *dimensão espacial área*, podem ser representadas com as *primitivas gráficas área*, *linha* ou *ponto*. Se a área correspondente à extensão da feição for simbolizada (Figura 3.13), então a primitiva utilizada é área. Uma área pode também ser representada apenas pela linha que a limita, e neste caso a primitiva

número de vagas, não há necessidade de representarmos a área geográfica de cada escola. Das feições da base cartográfica, os limites de bairros e limites municipais são feições de dimensão espacial linear, que devem, nestes mapas, serem representadas com a primitiva gráfica linha. As ruas são, também, feições lineares que serão representadas com a primitiva gráfica linha, ou seja, suas dimensões (largura) serão representadas na proporção direta da escala, definidas no mapa por suas linhas limitantes, e estas linhas é que serão simbolizadas.

3.2.2 Definição da Escala do Mapa

Tendo-se definido as primitivas gráficas para a representação das feições, pode-se estabelecer a escala do mapa. A escala é determinada a partir do menor elemento a ser representado com suas verdadeiras extensões espaciais. O menor elemento pode ser uma distância ou uma área. Um exemplo de menor distância a ser representada, pode ser a menor largura de rua para um mapa de uma cidade em escala grande. Utilizando ainda o exemplo de uma mapa em grande escala de um espaço urbano, a menor área pode ser a menor extensão possível de uma quadra.

No caso de áreas, como o exemplo da menor quadra, deve ser observada a menor extensão linear da feição. Sabendo-se qual a menor extensão linear a ser representada, precisamos estabelecer qual será a sua dimensão linear no mapa. Voltando ao exemplo da menor largura de uma rua, vamos supor que esta seja de $8m$. Estabelecemos, então, que esta largura de rua será representada com uma dimensão de $5mm$. Neste caso temos:

$$E = 8000 / 5 = 1600 .$$

A escala nominal do mapa seria de $1/1600$. Porém esta é uma escala não usual, o que dificultaria o entendimento do mapa, por parte do usuário. Temos, então, que utilizar um valor de escala que, dentro das escalas convencionais, seja o mais próximo possível ao calculado. Para este exemplo a escala deveria ser $1/1000$. Se esta escala nos parece muito grande para os propósitos deste mapa, devemos analisar quais as consequências, para a representação gráfica das ruas com $8m$ de largura, se adotarmos a escala $1/2000$.

O mesmo raciocínio deve ser empregado para as menores áreas. No exemplo das quadras como menor área no mapa, imaginemos uma quadra cuja menor extensão linear é $65m$. Para este mapa nós determinamos que esta extensão linear deve ser representada com $5mm$. Da mesma forma que no exemplo anterior a escala seria:

$$E = 65000 / 5 = 13000 .$$

Neste caso a escala calculada seria $1/13000$. Como esta é também uma escala não usual, deveríamos adotar a escala $1/10000$.

Utilizando novamente o exemplo dos mapas temáticos das escolas, e analisando agora as feições da base cartográfica, percebemos que a escala deve ser definida em função do arruamento e das dimensões das quadras. A largura, no mapa, da rua de menor dimensão, $8m$, deve ser tal que seja possível representar os nomes das ruas, com uma fonte de por exemplo $4mm$ de altura, sendo o espaçamento entre as letras e a borda da rua de $1mm$. Neste caso consideramos a menor largura, no mapa, para as ruas de $6mm$. A dimensão da menor quadra no mapa deve ser tal que, se nesta existir uma escola, deva ser possível a representação de seu símbolo pontual. Neste caso podemos assumir que o maior símbolo pontual tenha em sua maior dimensão (diâmetro de um círculo ou lado de um quadrado) $8mm$. Para que este símbolo possa estar totalmente dentro da quadra, vamos

assumir que esta deva ser representada, em sua menor dimensão, com 12mm. Considerando as ruas a escala seria:

$$E = 800000/6 = 13333 .$$

Para a menor quadra, que tem em sua menor dimensão 50m, teríamos:

$$E = 5000000/12 = 416667 .$$

Realizando estes cálculos observamos que a escala para representar o arruamento, como demanda o projeto, é muito maior que a escala para representar as quadras, e portanto, definidora da escala do mapa. Diante disso, assumimos neste projeto cartográfico que o mapa será representado na escala 1/10000.

3.2.3 Nível ou Escala de Medida

O próximo passo na definição da linguagem cartográfica é decidir sobre o nível de medida, com o qual as características das feições foram definidas. Sendo o mapa um meio de comunicação visual, a simbologia escolhida deve representar apropriadamente as características das feições determinadas pelo propósito do mapa. Essas características são definidas de acordo com os níveis de medida nos quais os dados são obtidos. Os níveis (ou escalas) de medidas são tentativas de estruturar as observações sobre a realidade, e representam o nível de conhecimento que temos sobre as feições que serão representadas nos mapas. Para mapear as informações geográficas é necessário o conhecimento de quais níveis de medida estão envolvidas nas informações que serão mapeadas, podendo estes serem (DENT, 1985): *nominal*: a palavra-chave é *identificação*, pois esse nível permite apenas distinguir igualdades e desigualdades. Portanto, os grupos de informação são *denominados*, significando que são conhecidos pelos seus “nomes”. Exemplos de mapas que retratam informações nominais são: mapa dos tipos de solos, ou mapa dos tipos de culturas agrícolas; *ordinal*: acrescenta-se *ordenação* à *identificação*, permitindo uma classificação hierárquica do fenômeno. Exemplo de mapeamento usando o nível de medida ordinal é um mapa de fertilidade do solo mostrando regiões de baixa, média e alta fertilidade; *intervalar*: além da *identificação* e *ordenação*, a *diferença numérica* entre as classes é conhecida, e portanto as igualdades e desigualdades dos intervalos numéricos entre classes. Contudo, as magnitudes não são absolutas, ou seja, qualquer ponto inicial pode ser usado, sendo comum exemplificá-lo através das escalas de temperatura Celsius ou Fahrenheit. Com a escala Celsius, por exemplo, não se pode afirmar que 50°C é duas vezes mais quente do que 25°C; *de razão*: semelhante ao nível de medida intervalar, no nível de medida de razão os eventos são *ordenados* e as *diferenças numéricas* entre as classes são conhecidas. Porém as *medidas numéricas são absolutas*, permitindo a representação de razões, tal como a densidade demográfica.

Os níveis de medida também podem ser agrupados em duas categorias: *qualitativos* e *quantitativos*. Os níveis de medida nominal e ordinal são também chamados de qualitativos, pois não conhecemos as variações numéricas entre as diferentes classes de informação. De acordo com o mesmo raciocínio, os níveis de medida intervalar e de razão são também denominados de quantitativos ou numéricos.

No exemplo do projeto cartográfico para o mapeamento das escolas, os níveis de medida são determinados a partir das classificações das feições. Para este mapa das escolas temos: Mantenedores: como neste caso é importante apenas a distinção das escolas que são estaduais, municipais ou privadas, não havendo qualquer tipo de ordenação entre elas, o

nível de medida a ser adotado deve ser o nominal; Nível escolar, definido como de 1ª a 4ª séries, de 1ª a 8ª séries, e ensino médio: assumindo que é importante conhecer a evolução temporal da formação educacional das crianças e adolescente, o nível de medida deve ser ordinal; Número de vagas: neste caso a diferenciação entre as escolas será representada no mapa por classes numéricas, sendo então definido o nível de medida de razão.

3.2.4 Variáveis Visuais

Considerando os mapas bidimensionais, como podemos diferenciar as várias feições cartográficas utilizando apenas as primitivas gráficas ponto, linha e área? O que significa perguntarmos como estas primitivas gráficas podem *variar* de forma a representar as características a serem representadas das informações cartográficas? As variações gráficas dos pontos, linhas ou áreas são realizadas, na Cartografia, pelas *variáveis visuais*. A pergunta seguinte é: como escolher a variável visual a ser adotada de forma que as características das informações cartográficas sejam adequadamente representadas? Isto nos remete a uma das decisões muito importante num projeto cartográfico que é escolher as variáveis visuais, de maneira que haja uma correspondência direta entre as variações das feições representadas e as variações gráficas das primitivas gráficas. As variações das feições cartográficas são consequentes do nível de medida usado para defini-lo, e a comunicação eficiente da informação cartográfica depende da relação adequada entre o nível de medida e as variações da primitiva gráfica. Este resultado é obtido se a simbologia para o mapa é estabelecida de forma que as propriedades perceptivas visuais, dos símbolos pontuais, lineares ou de área, representam as características do *nível de medida* com o qual a feição cartográfica está definida.

Um dos primeiros trabalhos que sistematizou o uso de variáveis visuais em mapas foi apresentado por BERTIN (1983). Com base na tipologia proposta por BERTIN (1983) os resultados das pesquisas posteriores em comunicação cartográfica sugeriram modificações e ampliação do conjunto de variáveis visuais. Neste texto nós estudaremos as variáveis visuais mais comumente utilizadas na construção de mapas, com base na tipologia descrita por MACEACHREN (1994a).

Dizer que as *propriedades perceptivas visuais* dos símbolos representam as características do nível de medida definido para um determinado grupo de feições cartográficas, significa dizer que o que nós *vemos* na imagem do mapa está diretamente relacionado com as diferentes características representadas da feição. Para entendermos este processo vamos analisar um série de exemplos de mapas hipotéticos, como se nós fôssemos os usuários dos mapas. Estes exemplos são hipotéticos pois representam uma situação abstrata, e a legenda é genérica, apresentando apenas quatro classes de uma feição, sem indicar especificamente a feição representada. O objetivo destes exemplos é mostrar como as variações gráficas de um mapa estimula diferentes raciocínios e, portanto, diferentes entendimentos do comportamento espacial da feição. Desta forma, a mesma feição pode ser representada de diferentes formas em diferentes mapas. Porém, alguns mapas são mais eficientes do que outros, pois os raciocínios estimulados pela percepção visual estão mais próximos das variações das feições representadas, ou seja, das classificações estabelecidas para estas feições.

A primeira variável visual analisada é *tamanho*, exemplificada no mapa hipotético da Figura 3.15. Se perguntarmos para algumas pessoas o que elas acham que estaria representado neste mapa, a maioria responderia “a variação em quantidade de alguma feição”. Outras responderiam “uma variação em ordem, do menos ao mais, ou do menor ao maior”. Ambos os raciocínios remetem ao mesmo conhecimento sobre a feição. Portanto, para a representação de qual nível de medida a variável visual *tamanho* é adequada?

Voltando às definições dos diferentes níveis de medida e com base nos estímulos visuais provocados por este mapas (Figura 3.15) nós responderíamos os níveis de medida *intervalar* e *de razão*, podendo também ser adotada para o nível de medida *ordinal*.

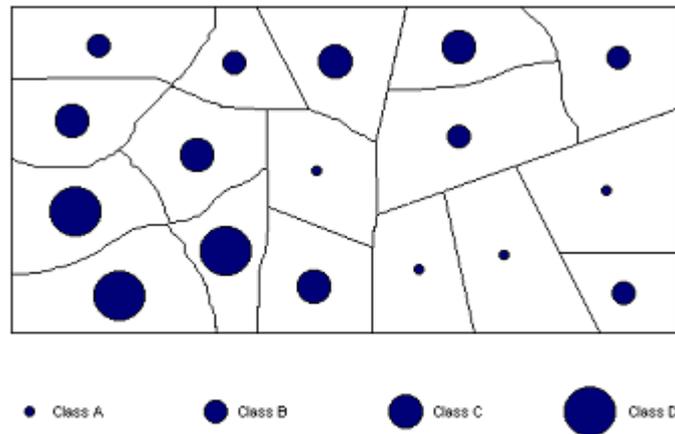


FIGURA 3.15 – Exemplo hipotético do uso da variável visual *tamanho* para símbolos pontuais
Fonte: ROBBI, 2000

Os níveis de medida *intervalar* e *de razão*, nos projetos de mapas, são considerados como tendo as mesmas soluções de variáveis visuais, e por isso agrupados em *numérico* ou *quantitativo*. Por outro lado, se a variável visual *tamanho* é adequada para a representação dos nível de medida *numérico* e *ordinal*, ela não é adequada para a representação do nível de medida *nominal*. Neste caso a variável visual *tamanho* estimularia um raciocínio visual de ordem de grandeza não existente na definição da informação representada. Isto poderia induzir os usuários a um entendimento errado do que está representado no mapa. A Figura 3.16 ilustra um mapa no qual a variável visual *tamanho* foi utilizada.

Outras variáveis visuais muito úteis, e portanto, bastante comuns são as *dimensões da cor*. Quando desenvolvemos um projeto cartográfico, pretendemos que o mapa resultante deste processo tenha um alto poder de comunicação. Isto significa dizer que as informações cartográficas estarão corretamente representadas, e que o conhecimento adquirido pelos usuários, através do uso deste mapa, será correto e não deixará margens a dúvidas. Para que isto possa ser alcançado, o conhecimento sobre as cores deve ser mais preciso do que o uso das cores no nosso cotidiano. Consequentemente, não é suficiente definirmos as cores e suas variações pelas suas denominações da linguagem, no nosso caso da Língua Portuguesa. Exemplificando, num projeto cartográfico não é suficiente definirmos que a vegetação será representada em verde, com os diferentes tipos de vegetação variando do verde claro ao verde escuro, e os rios em azul. O possível e provável problema da definição destas cores é que nós poderíamos perguntar, qual verde e qual azul? Como deve ser este verde claro e este verde escuro? Para resolvermos este problema nós utilizamos os conceitos de *dimensão da cor*. As cores são definidas segundo 3 dimensões, denominadas de *tom* (ou matiz), *luminosidade* (ou valor) e *saturação de cor*.

O *tom de cor* é definido como sendo a variação qualitativa da cor, e corresponde ao seu comprimento de onda no espectro visível (DENT, 1985). Portanto é conhecido pela denominação propriamente dita da cor, ou seja, amarelo, verde, vermelho, azul, etc. Os tons de cores são usualmente representados por um diagrama denominado de *círculo de cores* (Figura 3.17). Nos exemplos de mapas hipotéticos da Figura 3.18 e 3.19 as feições

estão representadas por símbolos pontuais e de área, respectivamente, diferenciados pela variável visual *tom de cor*.

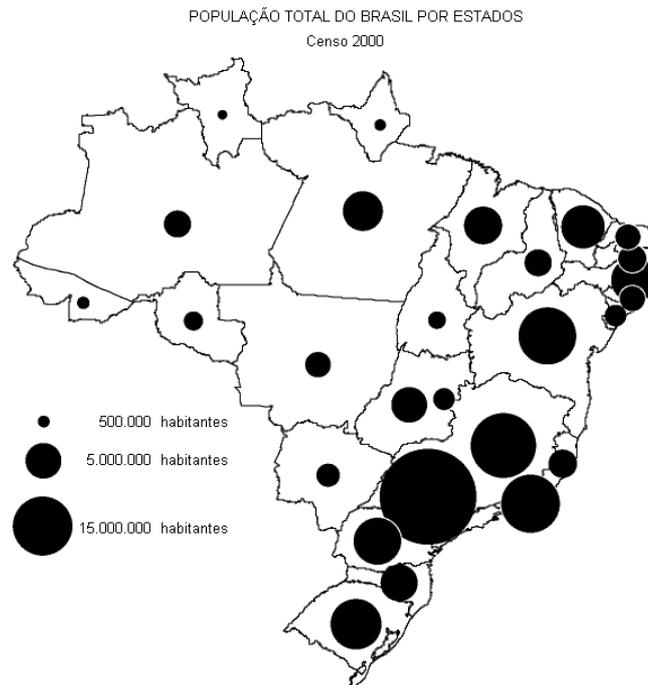


FIGURA 3.16 – Mapa da população total por estado no Brasil, censo 2000, representada com a variável visual tamanho

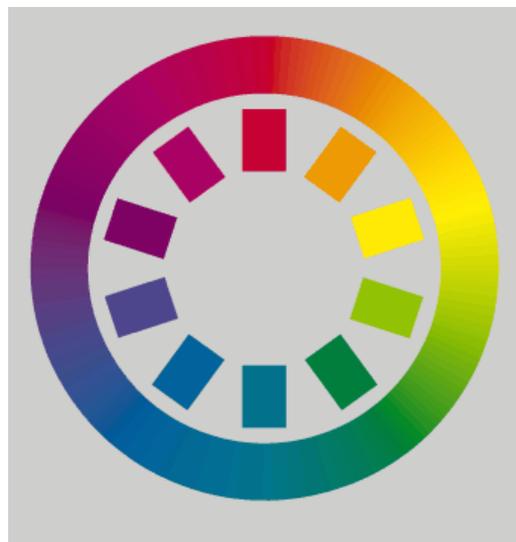


FIGURA 3.17 – O círculo dos tons de cores

Novamente, se perguntássemos a um grupo de pessoas o que elas acham que estes mapas estariam representando, provavelmente a maioria das respostas seriam algo como “este mapas representam diferentes tipos de feições”. Com estas respostas podemos perceber que os diferentes tons de cor estimulam raciocínios que induzem as pessoas a esperar que no mapa estejam representadas diferentes feições. Portanto, a variável visual *tom de cor* deve ser utilizada para a representação de feições cujas características são definidas no nível de medida nominal. Conseqüentemente, esta variável visual não é

adequada à representação de feições caracterizadas nos níveis de medida ordinal ou numérico. As Figuras 3.20 e 3.21 ilustram o uso da variável visual *tom de cor*.

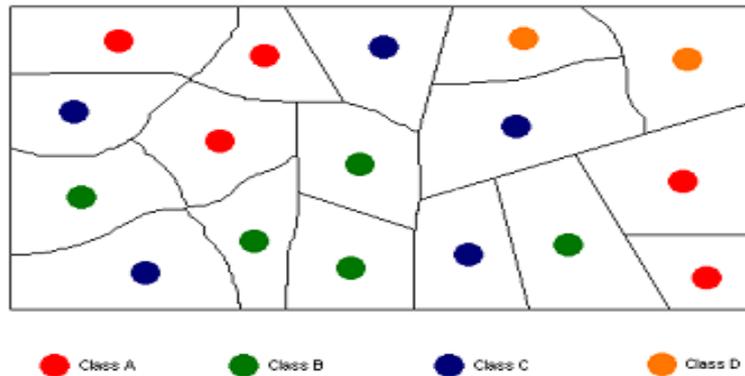


FIGURA 3.18 - Exemplo hipotético do uso da variável visual *tom de cor* para símbolos pontuais
 Fonte: ROBBI, 2000

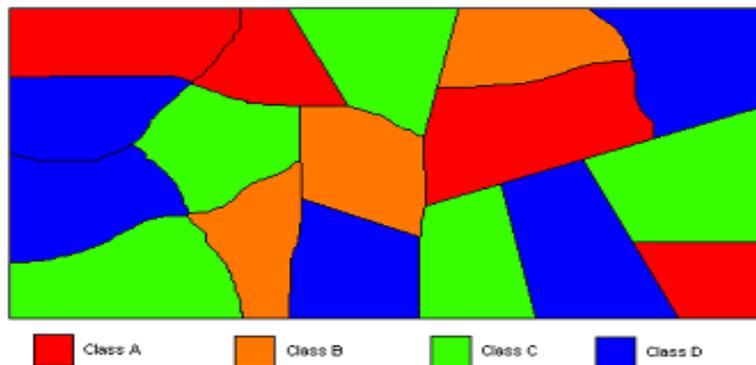


FIGURA 3.19 - Exemplo hipotético do uso da variável visual *tom de cor* para símbolos de área
 Fonte: ROBBI, 2000

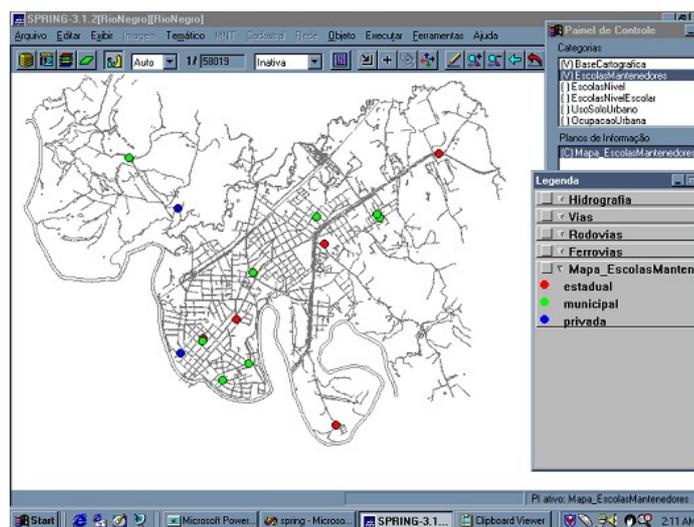


FIGURA 3.20 – Representação temática utilizando a variável visual tom de cor para primitiva gráfica ponto
 Fonte: ROBBI, 2000

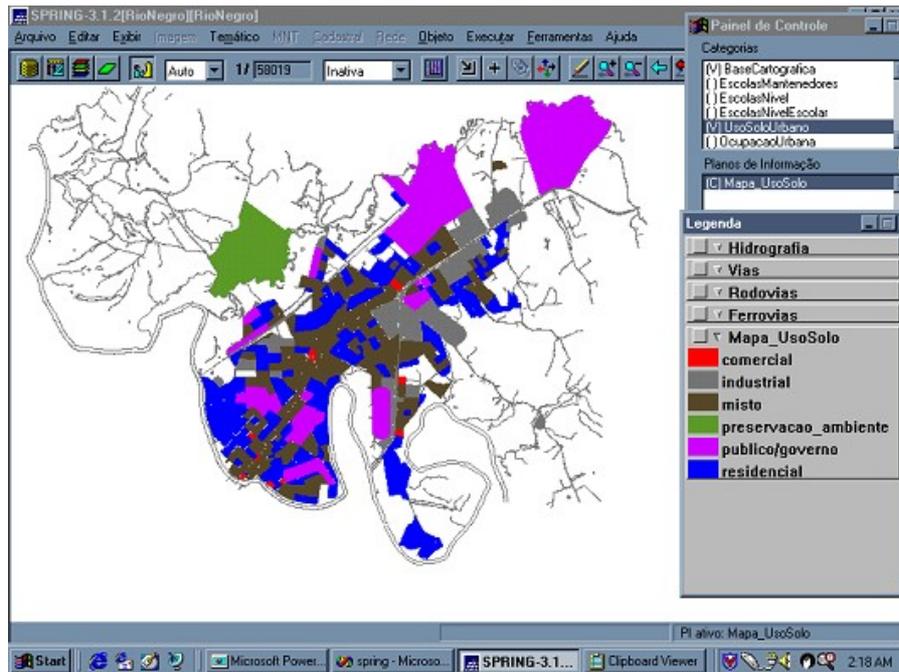


FIGURA 3.21 – Representação temática utilizando a variável visual tom de cor para primitiva gráfica área
Fonte: ROBBI, 2000

A *luminosidade da cor* (ou *valor da cor*) é definida como a quantidade de luz branca incidente na cor (DENT, 1985). Na linguagem comum é o que chamamos de claro ou escuro das cores, por exemplo verde claro e verde escuro. O verde é o tom de cor, e claro ou escuro é a variação em luminosidade da cor. Porém, como já comentado, na Cartografia estas variações são definidas com maior precisão. Para a variação em luminosidade da cor isto significa a mensuração da quantidade de luz branca na cor, exatamente como este conceito é definido. A variação em luminosidade de cor, na construção de um mapa, dissociada de um tom de cor, são as variações em *tons de cinza*, como exemplificado na Figura 3.22. A utilização da variação em luminosidade para o tom de cor azul é ilustrada na Figura 3.23.



FIGURA 3.22 – Ilustração da variação da luminosidade de cor (tons de cinza)

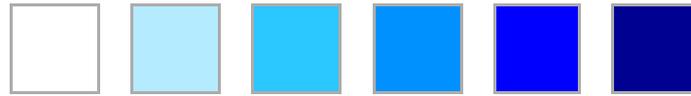


FIGURA 3.23 – Ilustração da variação em luminosidade de cor aplicada ao tom de cor azul

Adotando o mesmo raciocínio para analisar o exemplo hipotético apresentado na Figura 3.24, o qual representa classes de feições representadas pela variável visual *valor* (ou *luminosidade*) *de cor*, nós verificaríamos que a maioria das pessoas vêem uma ordem visual. Com isto, ao ver este mapa as pessoas esperariam a representação de alguma ordem associada às feições representadas. Esta ordem pode representar hierarquia, importância, cronologia, e assim por diante. Um exemplo de ordem hierárquica seria a representação das escolas pelos seus níveis de ensino oferecidos, tais como, fundamental, médio e superior. A ordem de importância pode ser, por exemplo, a representação dos diferentes graus de pureza de jazidas de carvão. As ordens cronológicas estão associadas às variações temporais de feições, tal como, a evolução da ocupação urbana de uma cidade. Por não termos, até o momento, uma variável visual mais apropriada à representação do nível de medida numérico, quando as feições são de área, nós utilizamos a ordem visual estimulada pelo valor de cor, e associamos um valor numérico às classes representadas no mapa.

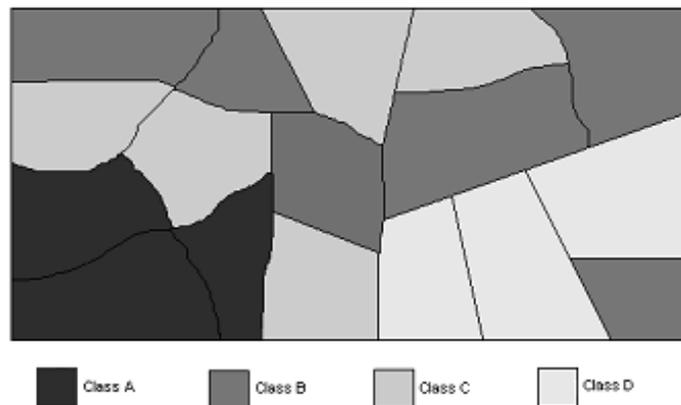


FIGURA 3.24 - Exemplo hipotético do uso da variável visual *valor de cor* para símbolos de área

Fonte:ROBBI, 2000

O exemplo hipotético apresentado mostra a variável visual *valor de cor*, dissociada de qualquer tom de cor, e por isso, o que vemos é uma variação de tons de cinza. Porém, como já descrito anteriormente, esta variável visual pode ser definida para um determinado *tom de cor*, o que na linguagem não técnica chamamos de tons claros e tons escuros. O exemplo da Figura 3.25 mostra esta variável visual aplicada a um tom de cor, e neste caso, o tom de cor não é considerado como variável visual, pois não está determinando as diferenças visuais entre as classes do mapa. Os tons de cor fazem parte, apenas, da solução gráfica definida para a simbologia destes mapas.

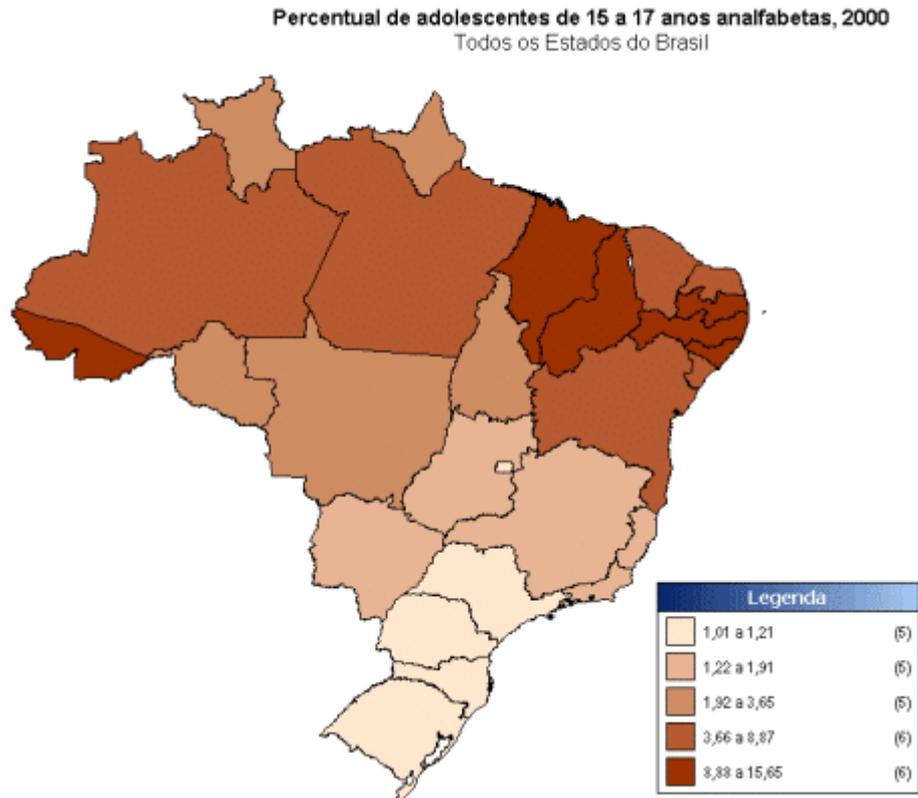


FIGURA 3.25 – Mapa da taxa de analfabetismo entre 15 e 17 anos, no Brasil, de acordo com o censo 2000

Fonte: FJP e IPEA, 2003

A terceira dimensão da cor é a *saturação de cor*. A *saturação de cor* é definida como o quanto a cor se afasta da cor neutra (DENT, 1985). *Cor neutra* é a variação dos tons de cinza, do preto ao branco. Sem maiores explicações pode ser difícil entender este conceito. De uma maneira mais simples, nós podemos dizer que a *saturação de cor* diz respeito à pureza da cor. Isto significa que a cor saturada é resultado apenas da combinação dos comprimentos de onda que definem seu tom, o tom da cor. A Figura 3.26 mostra um tom de cor amarelo variando em saturação. Quando o nível de dessaturação é máximo, a cor se transforma em cinza, ou seja, não há percepção do tom de cor. De acordo com a definição de saturação de cor, a variação em *luminosidade de cor* também seria uma variação em *saturação de cor*. Porém, os efeitos visuais da incidência de branco e de tons de cinza na cor são diferentes, e estas diferenças visuais são importantes no projeto gráfico dos símbolos. Assim, na prática do projeto cartográfico, quando trabalhamos com porcentagem de branco num determinado tom de cor, estamos trabalhando com a dimensão luminosidade de cor. Quando utilizamos porcentagens de cinza numa cor, trabalhamos com a variação em saturação da cor.

Para entender melhor a diferença, em projetos cartográficos, das variáveis visuais *valor de cor* e *saturação de cor*, é apresentado o exemplo da Figura 3.27. Estes mapas representam as quantidades de trigo colhido no Estado de Kansas, Estados Unidos, em 1993. Para o mapa da esquerda foi utilizada a variável visual *saturação de cor*, enquanto que no da direita *valor de cor*. Este exemplo nos mostra que a variável visual *valor de cor* é mais eficiente visualmente, do que a *saturação de cor*. Devido a isto, *valor de cor* é uma variável visual mais comum do que *saturação de cor*.

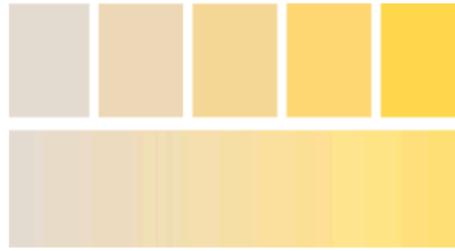


FIGURA 3.26 – Ilustração da variação em saturação de um tom de cor

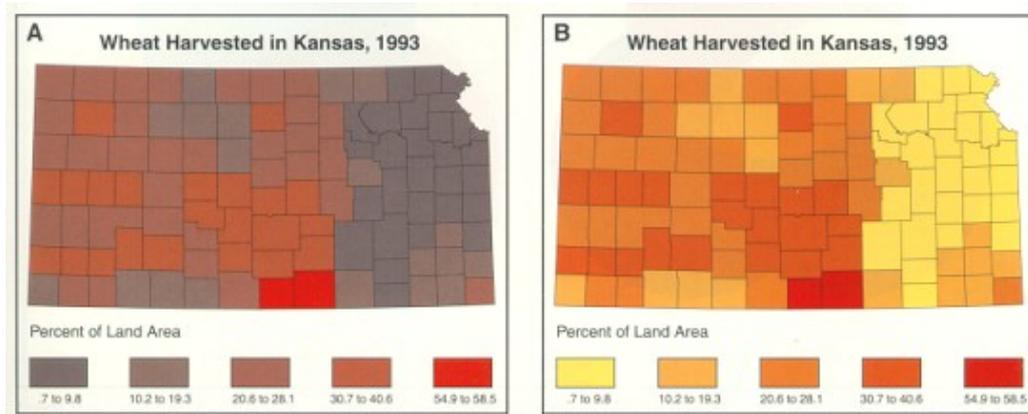


FIGURA 3.27 – Ilustração das variáveis visuais saturação de cor e valor de cor em mapas temáticos

Fonte: SLOCUM, 1999

O próximo exemplo hipotético (Figura 3.28) apresenta o uso da variável visual *forma*, aplicada a símbolos pontuais. Fazendo o mesmo exercício de raciocínio, como para a variável visual *tamanho*, devemos nos perguntar o que as pessoas deduziriam sobre o que estaria representado neste mapa. Neste caso a maioria das pessoas responderia que o mapa representa diferentes tipos de uma feição, significando diferenças nominais. Então a variável visual *forma* é adequada para a representação de feições cujas características são definidas no nível de medida *nominal*, ou seja, são conhecidas apenas as diferentes categorias da feição, tal como um mapa representando as diferentes atividades industriais no Estado do Paraná. Um exemplo de mapa para o qual foi utilizada a variável visual *forma* é mostrado na Figura 3.29.

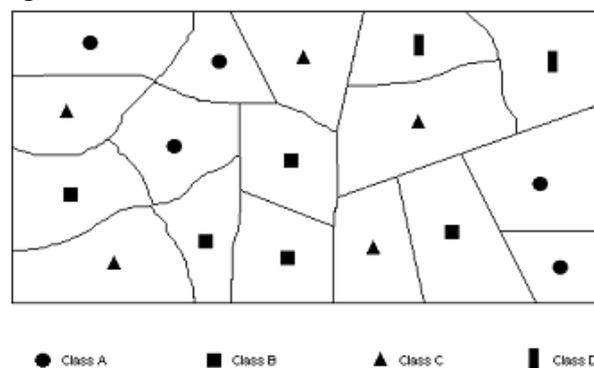


FIGURA 3.28 - Exemplo hipotético do uso da variável visual *forma* para símbolos pontuais



FIGURA 3.29 – Exemplo de mapa temático representado com a variável visual forma
Fonte: IBGE, 2002

Para ilustrar os conceitos sobre variáveis visuais vamos voltar ao exemplo utilizado neste capítulo, ou seja, a representação cartográfica das escolas, para a Secretaria Municipal de Educação. Após determinadas as primitivas gráficas e os níveis de medida, devemos definir quais variáveis visuais são adequadas à representação das feições. Na caso deste exemplo temos: Para o mapa sobre os mantenedores, no qual estarão representadas as escolas estaduais, municipais e privadas, o nível de medida já definido é o nominal, e portanto podemos adotar tanto a variável visual *tom de cor* como a variável *forma*. Sendo o tom de cor mais eficiente visualmente, se o mapa puder ser reproduzido em cores, esta variável visual é recomendada; No caso do mapa sobre os diferentes níveis escolares, ou seja, de 1ª a 4ª série, de 1ª a 8ª séries, e ensino médio, definindo o nível de medida ordinal, a variável visual *tamanho* seria adequada; Quanto ao mapa sobre o número de vagas, com classes numericamente definidas, de acordo com as necessidades dos usuários, o nível de medida é de razão, sendo eficientemente representado pela variável visual *tamanho*.

Capítulo 4

Cartas Topográficas

Autor:
Prof. Dr. Antônio José Berutti Vieira
Prof^a Dr^a Claudia Robbi Sluter

4 – Cartas Topográficas

4.1 - A CARTA TOPOGRÁFICA

As cartas topográficas são assim denominadas porque representam a *topografia*. *Topografia*, segundo KEATES (1973) “são todas as feições identificáveis da superfície da Terra, tanto naturais como artificiais, para as quais é possível estabelecer uma posição específica, expressa em relação à superfície topográfica”. O que são, então, “todas as feições identificáveis da superfície terrestre”? Para entendermos de uma maneira simples, podemos dizer que são todas as feições visíveis na paisagem. Assim, se olharmos a paisagem, tudo que vemos deve estar representado na carta topográfica, como ilustrado pela Figura 4.1. Nesta fotografia de uma paisagem da região de Maceió vemos casas, ruas, igreja, o mar, a vegetação, e estas são feições representadas nas cartas topográficas, ou seja, as edificações, as ruas, a vegetação, a hidrografia, e assim por diante.



FIGURA 4.1 – Ilustração da paisagem de uma região de Maceió
Fonte: EMBRATUR

As cartas topográficas são de propósito geral, e portanto devem servir a qualquer usuário, ou seja, a toda a sociedade, assim, devem ser úteis, por exemplo, aos planejadores, aos engenheiros e até ao público em geral. Quando alguém deseja localizar alguma feição, ou até mesmo se localizar. Descobrir quais são as estradas existentes no município em que a pessoa mora pode ser um exemplo de uso. Sendo assim, a ênfase do mapeamento topográfico deve estar no posicionamento acurado e preciso das feições representadas. Neste aspecto um projeto de cartas topográficas difere de qualquer outro projeto cartográfico. Como visto no Capítulo 3, num projeto cartográfico, as informações a serem representadas, suas classificações, a escala e a qualidade geométrica (acuracidade e precisão) da representação depende das necessidades do usuário, as quais definem o uso dos mapas. Portanto, os mapas resultantes de um projeto cartográfico devem servir, e ser adequados, ao desenvolvimento de uma determinada atividade. Por outro lado, as cartas topográficas devem servir a qualquer atividade, e portanto a qualquer possível uso. Por

isso, a acuracidade e precisão deve ser compatível com a escala de representação, uma vez que o mapeamento topográfico é a base para qualquer projeto e implementação da infraestrutura que deve servir a toda a sociedade (rodovias, barragens, açudes, exploração de recursos minerais, agricultura, etc.)

A representação da topográfica, ou seja, do conjunto de “todas as feições identificáveis da superfície terrestre”, o que significa representar “tudo” que vemos, depende da escala da carta. A escala da carta, por sua vez, determina o nível de detalhamento da representação cartográfica, que é a generalização cartográfica. Uma outra analogia que pode auxiliar o raciocínio de generalização cartográfica é imaginarmos olhar a paisagem pela janela de um edifício de 2 andares, no topo de um edifício de 15 andares, ou da janela de um avião em vôo, a 5km ou a 10km de altura. Nestas diferentes situações, os diferentes níveis de detalhamento com que vemos o que existe na superfície terrestre é correspondente às representações topográficas em diferentes escalas, e portanto em diferentes níveis de generalização. Por isso, KEATES (1973) afirma que “O *propósito fundamental* das cartas topográficas é representar as feições em suas posições corretas (acuracidade e precisão), dentro dos limites da escala”. Os diferentes níveis de generalização cartográfica são ilustrados nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, nas quais podemos observar, por exemplo, maior detalhamento na representação dos limites das propriedades e das ruas nas escalas 1:500 e 1:2.500 do que na escala 1:50.000. Nesta última as vias de comunicação representadas são as estradas ao invés das ruas.



FIGURA 4.2 – Parte de uma planta topográfica na escala 1:500 (ilustração em escala aproximada)
 Fonte: SSC (1975)

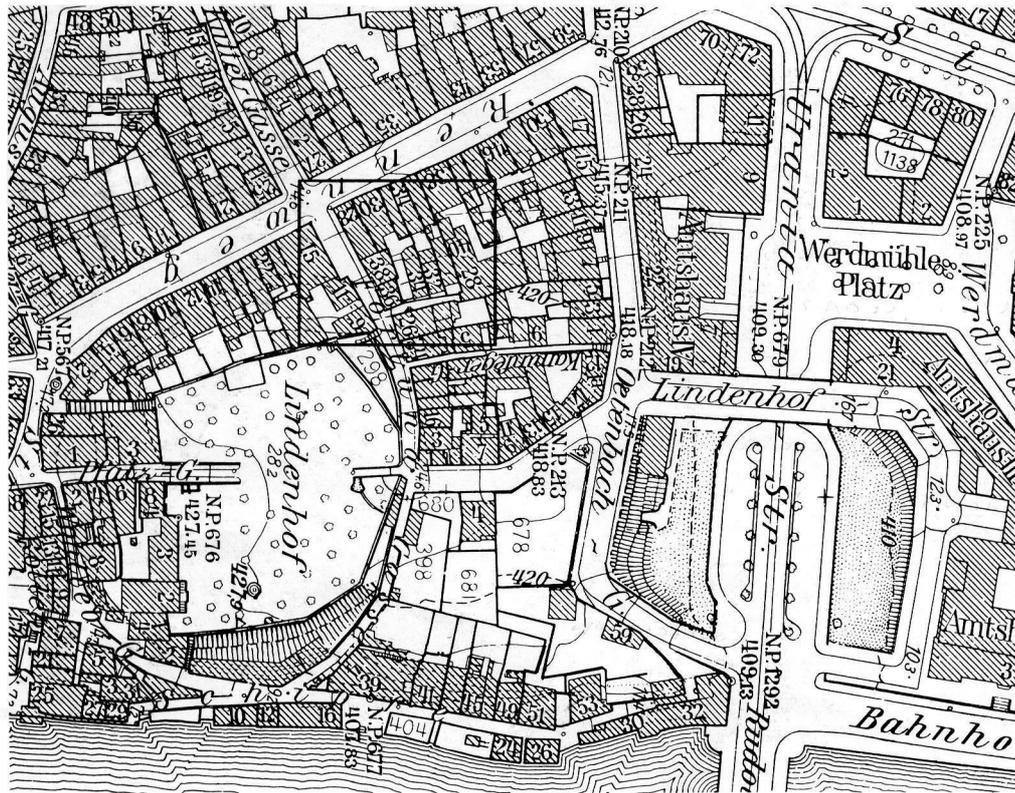


FIGURA 4.3 – Parte de uma planta topográfica na escala 1:2500 (ilustração em escala aproximada)
 Fonte: SSC (1975)

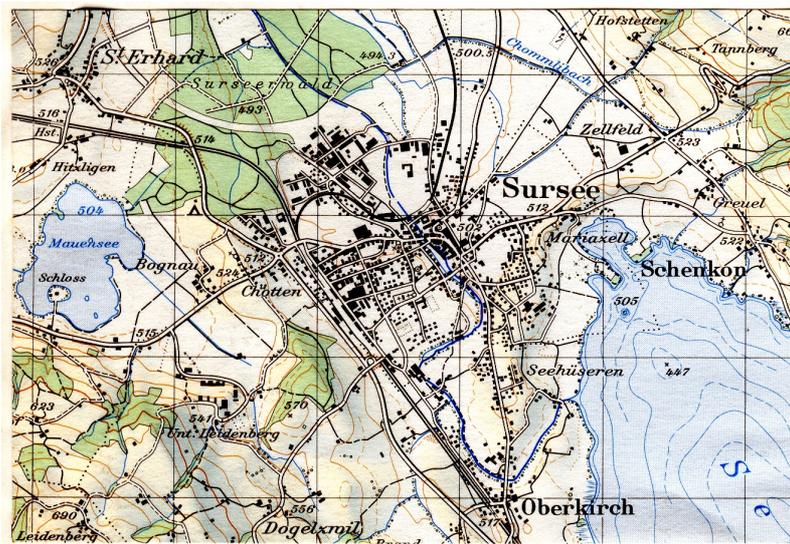


FIGURA 4.4 – Parte de uma carta topográfica na escala 1:50000 (ilustração em escala aproximada)
 Fonte: SSC (1975)

A localização espacial de feições pode ser definida tanto no espaço bidimensional (X,Y), como no espaço tridimensional (X,Y,Z). Por isso, são considerados como elementos principais da topografia, a altimetria e a planimetria. Contudo, os projetos de representações topográficas devem ser diferenciado para cartas em escalas grandes e para cartas em escalas médias e pequenas. Em cartas em escalas grandes, as dimensões das feições são representadas na relação direta com a escala, e portanto, o elemento gráfico predominante é a linha (Figuras 4.2 e 4.3). Isto introduz complexidade visual na imagem resultante, sendo a redução desta complexidade um desafio de um projeto cartográfico para cartas topográficas em escalas grandes.

Os projetos cartográficos de cartas topográficas em escalas médias e pequenas devem considerar a generalização cartográfica, necessária para a representação das feições topográficas (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6). Como consequência da generalização cartográfica, algumas feições serão representadas por primitivas gráficas pontuais e lineares. As variações gráficas dos símbolos pontuais e lineares, para estas escalas, representam algumas características das feições, diferente de suas localizações. Portanto, para estas escalas as feições devem ser classificadas. As características representadas devem ser definidas a partir da decisão de quais informações devem compor a carta topográfica, sendo a classificação das feições em altimetria e planimetria não é suficiente para as soluções cartográficas. A classificação mais adequada ao mapeamento topográfico, lembrando que são tipos de mapas de referência geral, divide o conjunto de feições em dois grande grupos, denominados de meio físico e meio humano(KEATES, 1973).



FIGURA 4.5 – Parte de Carta Topográfica Antonina, na escala 1:50.000 (ilustração em escala aproximada)

Fonte: FRIEDMANN (2003)

O *meio físico* pode ser definido, segundo KEATES (1973), como “composto dos elementos naturais ou dependentes destes, mesmo quando modificados ou influenciados pelo homem”. Portanto, são representadas as características da superfície terrestre, tais como, relevo, hidrografia, cobertura vegetal, solos, rochas, etc. O *meio humano*, também chamado de *feições culturais* ou *cultura*, é definido por KEATES (1973) como “composto de todas as feições construídas pelo homem, como parte de sua ocupação no terreno, incluindo a localização das fronteiras importantes”.

Por representar a ocupação do homem na superfície terrestre, as feições classificadas como *meio humano* são as mais importantes nas representações topográficas. Assim, é a partir destas feições que são definidas as escalas em mapeamentos sistemáticos. Pela sua importância, uma das decisões essenciais em projeto cartográfico de cartas topográficas é *quais feições do meio humano representar?* Segundo a definição de

topografia, devem ser as feições visíveis no meio. Por isso, na definição de *meio humano* está explícita a inclusão das fronteiras importantes. Além das fronteiras devem ser representada a *toponímia* por ser um elemento essencial na representação das referências espaciais. Por serem elementos abstratos e não evidentes na paisagem, são tratados separadamente no projeto cartográfico.

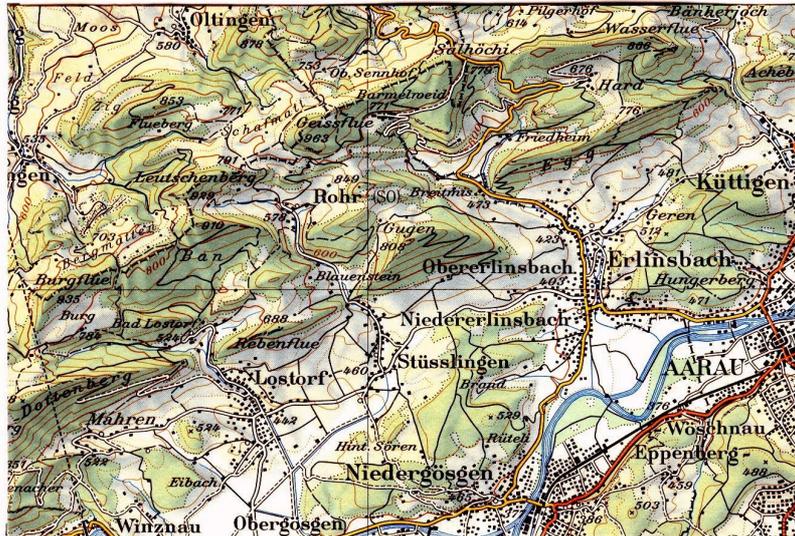


FIGURA 4.6 – Parte de uma carta topográfica na escala 1:100.000 do mapeamento suíço (ilustração em escala aproximada)
 Fonte: SSC (1975)

Por ser fundamental a toda a sociedade, o mapeamento topográfico é executado de acordo com normas que regularizam o mapeamento sistemático topográfico nacional. Pela importância deste mapeamento, este será tratado neste texto em um item específico.

4.2 - REPRESENTAÇÃO DO RELEVO

Pela sua importância e complexidade, a representação do relevo é, usualmente, tratada separadamente, em estudos sobre cartas topográficas. As características do relevo que devem ser representadas em mapas são: *tridimensionalidade* e *continuidade*. Estas duas características, ser tridimensional e ser contínuo, definem os dois elementos principais do relevo: *altitude* e *declividade*. A altitude é a distância vertical ao *datum* altimétrico. A declividade é a relação entre altura e distância horizontal. Portanto, para que a classificação represente de forma completa o relevo, esta deve contemplar este 2 elementos, ou seja, *altitude* e *declividade*. Na representação do relevo, são utilizados 3 diferentes métodos, que denominamos: *pontos altimétricos*, *curvas de nível* e *cores hipsométricas*. Neste texto nós descreveremos sobre *pontos altimétricos* e *curvas de nível*, uma vez que estas são as representações adequadas ao mapeamento sistemático, e a qualquer carta sobre a qual serão realizadas análises quantitativas que exijam precisão nos resultados das medidas.

4.2.1 Pontos Altimétricos

Na representação por *pontos altimétricos* são utilizados símbolos pontuais, que representam a localização geográfica da qual se conhece a altitude. A altitude, que é o atributo representado do relevo, é indicada por um texto adjacente ao símbolo pontual (Figura 4.7). Portanto, na representação por pontos altimétrico, o relevo é classificado pela variação em altitude, não sendo incluída a declividade.

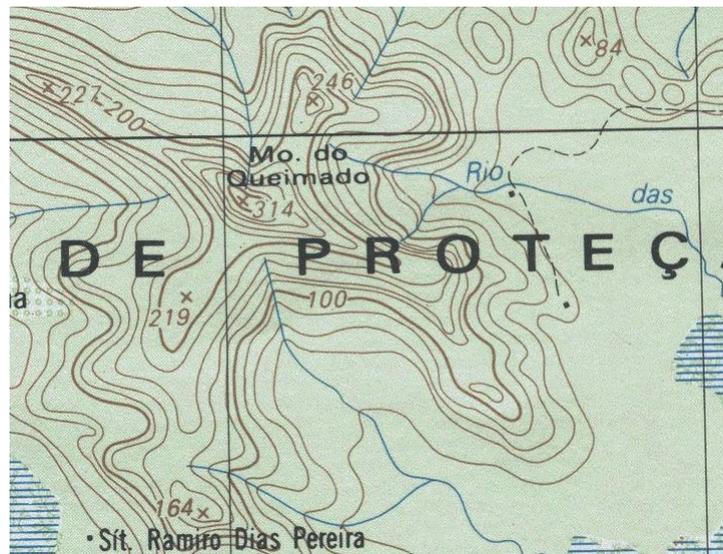


FIGURA 4.7 - Exemplos de Pontos Altimétricos da Carta Topográfica Antonina (ilustração em escala aproximada 1:50000)
 Fonte: FRIEDMANN (2003)

Devido aos pontos altimétricos representarem apenas a altitude, e pela indicação desta (texto adjacente ao símbolo pontual) ocupar um espaço na carta não relacionado ao ponto representado, este método é indicado para pontos notáveis no terreno, tais como, pontos altos, picos, desfiladeiros, povoados, depressões. Além disso, este método é útil quando combinado com os outros métodos: *curvas de nível* ou *cores hipsométricas*. A representação do relevo por *pontos altimétricos* é importante em cartas náuticas, cartas aeronáuticas e representações topográficas em escalas grandes.

4.2.2 Curvas de Nível

A representação do relevo por curvas de nível o descreve em função de seus dois elementos principais, *altitude* e *declividade*. As variações em altitude e declividade são representadas por intervalos verticais constantes. Assim, a seleção dos intervalos verticais é a decisão fundamental na representação plana do relevo por curvas de nível, a qual deve considerar (KEATES, 1973):

- A natureza do terreno;
- A escala do mapa;
- As exigências de uso do mapa;
- As dificuldades de coletar os dados.

A *natureza do terreno* diz respeito às variações em declividade da região mapeada. Se as variações em declividade são grandes, ou seja, numa mesma carta (ou série de cartas) devemos representar regiões de terreno acidentado e regiões de terreno suave, podemos

adotar duas diferentes soluções (KEATES, 1973): Diferentes intervalos para as diferentes classes de declividade, solução possível para mapas em escalas pequenas; Curvas suplementares para áreas de relevo suave.

A *escala da carta* é definida a partir das *exigências de uso do mapa*. Para cartas utilizadas em projetos de engenharia, é necessário definirmos o menor intervalo vertical possível, o que exige mapeamento em escala grande. Para escalas menores, devemos analisar os *custos* e as *dificuldades para coletar os dados* sobre o relevo, além da consideração do efeito visual da representação das curvas de nível sobre os demais símbolos cartográficos do mapa (KEATES, 1973).

Após definida a classificação do relevo, ou seja, os intervalos verticais que serão representados, devemos decidir sobre a apresentação gráfica propriamente dita. Na representação do relevo por curvas de nível, uma superfície tridimensional, ou seja, um fenômeno cuja dimensão espacial é volume, é representada pela primitiva gráfica linha. A apresentação gráfica das linhas é consequente da variável visual adotada. Segundo KEATES (1973), a decisão sobre as variáveis visuais depende:

- Da natureza da informação;
- Da necessidade do usuário;
- Da qualidade dos dados coletados;
- Do efeito visual sobre os demais símbolos.

A *natureza da informação* define a variável visual *tom de cor*. Na maioria das cartas topográficas, as curvas de nível são representadas em sépia (Figura 4.8), sendo esta decisão baseada na associação de cor do sépia com solo exposto. Além da associação de cor, o tom de cor sépia permite um contraste adequado com o branco ou fundo claro e um equilíbrio visual com o azul da drenagem.

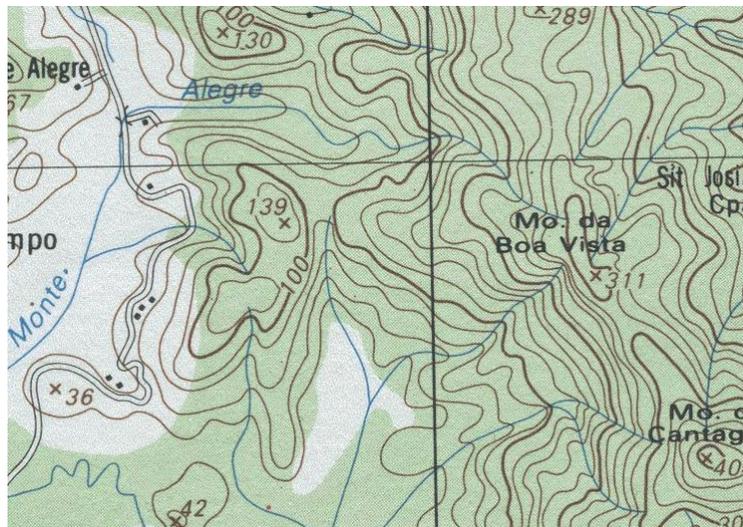


FIGURA 4.8 - Exemplos de Pontos Altimétricos da Carta Topográfica Antonina (ilustração em escala aproximada 1:50000)

Fonte: FRIEDMANN (2003)

As cartas topográficas com soluções gráficas mais sofisticadas relacionam o relevo com as características da superfície (Figura 4.9), sendo o tom de cor (KEATES, 1973): Sépia utilizado para representar áreas com solo exposto, vegetação ou cultivadas; Azul representando regiões de gelo e neve permanente; Preto para rochas expostas.

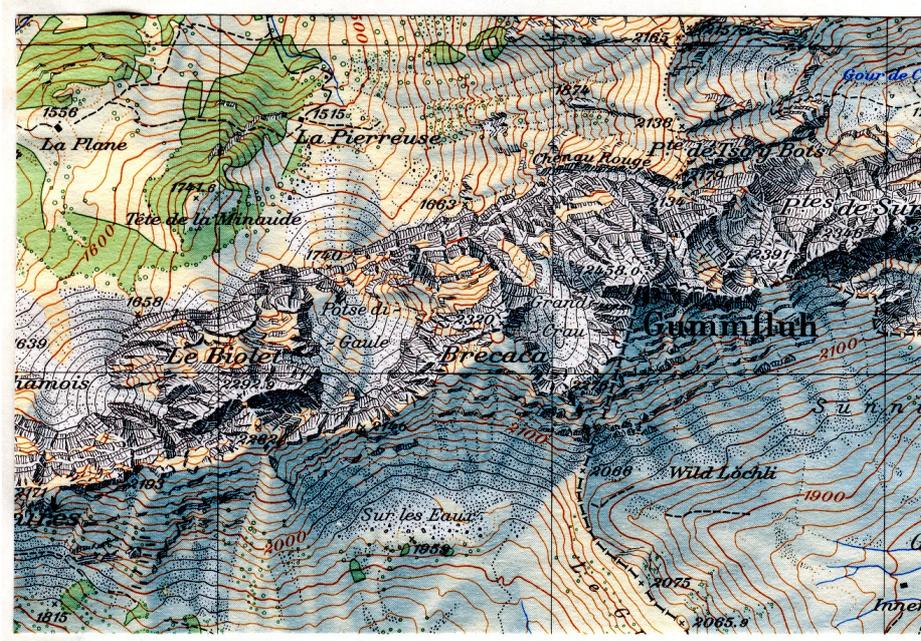


FIGURA 4.9 - Parte de uma carta topográfica na escala 1:25.000, com as curvas de nível em sépia e preto (ilustração em escala aproximada).

Fonte: SSC, 1975

Em geral são numeradas algumas curvas de nível, chamadas de *curvas mestras*, sendo a numeração das demais dependente da necessidade do usuário da carta (Figuras 4.8 e 4.9). As curvas mestras são representadas a intervalos verticais constantes, tendo-se como resultado um número também constante de curvas de nível, chamadas de *curvas padrão*, entre as curvas mestras. Tanto a qualidade dos dados coletados, como a classificação das curvas, em *curva de nível mestra* e *curva de nível padrão*, são diferenciadas na representação cartográfica pelas variáveis visuais tamanho e luminosidade (linhas contínuas e linhas tracejadas) (Figura 4.10). Segundo KEATES (1973), considerando a adoção do tom de cor sépia, o tamanho (espessura) mínimo de $0,15\text{mm}$ é adequado por resultar em contraste de cor suficiente para permitir a discriminação visual das linhas. Assim tem-se:

- Curva de nível mestra: contínua e mais espessa;
- Curva de nível padrão medida: contínua e mais delgada que as curvas mestras;
- Curva de nível suplementar: contínua e mais delgada que as curvas padrão;
- Curva de nível interpolada: tracejada.

A *natureza do terreno* e o *efeito visual sobre os demais símbolos* determinam o espaço para representar todas as curvas de nível, conseqüente da relação entre o intervalo vertical e as variações extremas de declividade, que pode ocorrer na região que está sendo mapeada. Se o espaço para representar todas as curvas de nível, em determinada área da carta, não é suficiente, deve-se eliminar progressivamente as curvas nas regiões mais íngremes. Finalmente, a representação de picos e depressões pode ser realizada por pontos cotados no interior da última curva de nível ou variação em forma da linha (Figura 4.11).

Curva de nível de eqüidistância normal aproximada		
Curva de nível mestra aproximada		
Curva de nível auxiliar ou suplementar		
Curva de nível de eqüidistância normal		
Curva de nível mestra		

FIGURA 4.10 – Simbologia para as curvas de nível aproximadas e suplementares das convenções cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro
 Fonte: BRASIL, 1998

Depressão, ladeira abrupta ou escarpa com profundidade ou altura que não exceda da eqüidistância das curvas		
Depressão com profundidade que exceda da eqüidistância das curvas		

FIGURA 4.11 – Simbologia para as curvas de nível aproximadas e suplementares das convenções cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro
 Fonte: BRASIL, 1998

4.3 - O MAPEAMENTO SISTEMÁTICO BRASILEIRO

Um estudo sobre o mapeamento sistemático poderia iniciar com a seguinte pergunta: por quê este mapeamento é chamado de sistemático? Segundo o Dicionário Aurélio, sistemático significa “referente ou conforme a um sistema” e sistema significa “conjunto de elementos, materiais ou idéias entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação”. Então a pergunta seguinte poderia ser: o que é sistemático neste mapeamento? Se este mapeamento é chamado de sistemático, é porque é composto de

elementos que são relacionados. Quais são estes elementos, e quais são suas características que permitem relacioná-los? Os elementos do mapeamento sistemático são cartas topográficas. O relacionamento entre as cartas topográficas do mapeamento sistemático ocorre em função de algumas características que devem ser obrigatoriamente definidas para estas cartas. Estas características são explicitadas no objetivo do Mapeamento Sistemático Brasileiro estabelecido pelo IBGE (2004), sendo este:

“Congrega o conjunto de procedimentos que têm por finalidade a representação do espaço territorial brasileiro, de forma sistemática, por meio de séries de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, em consonância com as prioridades conjunturais, nas escalas-padrão de 1:1.000.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.”

De acordo com o objetivo definido pelo IBGE (2004), as características essenciais das cartas topográficas que compõem o mapeamento sistemático devem ser tais que resultem no mapeamento contínuo, homogêneo e articulado do território nacional. O mapeamento articulado, ou seja, os limites geográficos das cartas segue uma articulação de folhas determinada pelo IBGE, que garante o mapeamento de todo o território brasileiro. A homogeneidade é obtida pela normatização das escalas, da projeção cartográfica, da simbologia (convenções cartográficas) e do padrão de exatidão cartográfico. A continuidade do mapeamento é resultado de atualização cartográfica.

Antes de discorrermos sobre alguns destes tópicos vamos analisar por que o mapeamento sistemático é composto por um conjunto de cartas topográficas. Esta resposta deve ser consequência da definição dos usuários destas cartas. Na definição do mapeamento sistemático, o IBGE divide o que chama de “uso da informação”, em outras palavras, os usuários são descritos em 2 grupos: interno e externo.

Os usuários internos são os responsáveis pelas demais funções do IBGE, para as quais são necessárias cartas topográficas, sendo estas definidas pelo próprio IBGE(2004) como: “Sistema Cartográfico Nacional; Levantamentos geodésicos; Composição da Mapoteca Topográfica Digital (Conversão dos documentos cartográficos para meio digital); Mapeamento de unidades territoriais (Estado, Município, outros); Arquivo Gráfico Municipal (Limites das Unidades Territoriais); Arquivo Gráfico de Áreas Especiais (Limites Áreas Especiais); Estudo da divisão político-administrativa; Mapeamento temático; Identificação e classificação dos estados, territórios e municípios beneficiados com *royalties* de petróleo, situados na zona Costeira; Previsão de safras agrícolas entre outras.”

Os usuários externos são aqueles que desempenham outras funções na sociedade, e que também necessitam de cartas topográficas, que de acordo com o IBGE (2004) são: “Ministério do Exército; Diretoria de Serviço Geográfico; Superintendências de Desenvolvimento Regionais (SUDENE, SUDAM, etc); Outros órgãos governamentais; Empresas públicas e privadas; Órgãos concessionários de serviços públicos (água, energia...); Instituições educacionais públicas e privadas; Sociedade em geral.” Aqui encontramos a resposta do porque cartas topográficas. Esta resposta está na obrigatoriedade do mapeamento sistemático servir a toda a sociedade, o que é denominado pelo IBGE (2004) de sua “aplicabilidade”, como descrito a seguir:

“Suporte ao mapeamento temático e especial; Suporte ao mapeamento aeronáutico rodoviário e ferroviário; Suporte ao planejamento em diversos níveis; Legislação de estruturas territoriais, regional e setorial; Base para

ante-projetos de engenharia; Base para projetos ambientais; Autoproteção do País; Estudos e projetos governamentais; Projetos de desenvolvimento urbano; Cadastros e ante-projetos de linha de transmissão; Posicionamento e orientação geográfica.”

Portanto, este mapeamento não é voltado a um usuário específico, e consequentemente, não possui uma finalidade específica. Ao contrário, o mapeamento sistemático deve ser de uso geral, ou seja, deve servir a qualquer possível usuário. Então, as cartas do mapeamento sistemático devem pertencer à classe de mapas de referência geral, e para serem úteis a qualquer possível atividade desempenhada em nossa sociedade, também devem mapear o território nacional com a mais alta acuracidade e precisão possível, dentro dos limites de suas escalas. Os tipos de mapas que atendem a estas exigências são as cartas topográficas.

4.3.1 As convenções cartográficas

As Convenções Cartográficas, também denominadas Normas para Emprego dos Símbolos, do mapeamento sistemático brasileiro, estão publicadas no Manual Técnico T 34-700 da DSG – Divisão do Serviço Geográfico do Exército (BRASIL, 1998). De acordo com o Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, “as prescrições contidas neste manual são de uso obrigatório por todas as organizações, civis ou militares, que venham a executar, em território nacional, os documentos cartográficos referidos como”:

“A representação dos acidentes naturais e artificiais destinados à confecção de cartas topográficas e similares nas escalas 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000.”

Como as convenções cartográficas são de uso obrigatório, estas devem explicitar quais feições devem ser representadas nas cartas topográficas, ou seja, quais feições compõem o que denominamos de acidentes artificiais e naturais; como estas feições estão agrupadas em classes e subclasses; e para cada feição, a sua definição. Além disso, podemos encontrar, nas convenções cartográficas, soluções para diferentes situações nas quais a feição ocorre. As feições incluídas em acidentes artificiais são: sistema de transporte, infra-estrutura, edificações, limites, pontos de referência e localidades. Como acidentes naturais constam: hidrografia, altimetria e vegetação.

A classe *sistemas de transporte* é definida como contendo as feições rodovias, ferrovias, hidrovias, heliportos, aeroportos, portos e demais elementos relacionados a estas feições, como por exemplo, estações rodoviárias, terminais rodoviários e pedágios. Na classe denominada *infra-estrutura* encontram-se as feições edificações de telecomunicações, estações geradoras de energia, subestações distribuidoras de energia, escolas, edificações de saúde, instalações para armazenamento, indústrias de base, linhas transmissoras, tubulações, condutos, cabos e canalizações submarinos, poços, depósitos artificiais, reservatórios, escavações, barragens, obras portuárias e costeiras e demais elementos relacionados, como por exemplo, correias transportadoras. Para a classe *edificações* estão incluídas as feições habitações indígenas, edificações, ruínas, áreas destruídas, áreas de lazer, mercados, feiras, campos de tiro, cemitérios, faróis, moinhos e demais elementos correlatos. Na classe *limites* estão agrupadas as feições cercas, muros, limites de reservas, parques e áreas militares, limites municipais, estaduais e internacionais, limites em diagramas e demais elementos correlatos. Os *pontos de referência* na representação topográfica são os marcos de referência, que de acordo com as

convenções cartográficas devem incluir vértices de triangulação, pontos de satélite, estações de poligonal, referências de nível, referências verticais, pontos barométricos, pontos astronômicos e estações gravimétricas. A classe *localidades* contém, além das feições denominadas de localidades propriamente, as aldeias e terras indígenas e as áreas edificadas. As localidades são classificadas de acordo com sua função administrativa e número de habitantes, com base nas definições do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, como segue: capital federal, capital, cidade, vila, povoado, lugarejo, núcleo, propriedade rural, e “todo lugar com uma ou mais edificações, de caráter público ou privado, que não se enquadre nas classificações anteriores e sirva de referência à população” (BRASIL, 1998).

A *altimetria* está definida em nossas convenções cartográficas (BRASIL, 1998) como os “elementos hipsográficos, que representam o relevo da superfície terrestre, relativamente ao “datum” vertical de referência. Este relevo é representado por meio de curvas de nível e pontos de altitude”. A representação do relevo, devido à sua importância em diversas atividades da sociedade, e sua complexidade foi tratada separadamente neste capítulo, no item 4.2. A hidrografia é definida como contendo os oceanos, elementos hidrográficos do litoral e zona afastada da costa, elementos hidrográficos interiores e demais elementos relacionados. Na classe *vegetação* encontram-se as feições cobertura vegetal e os diversos tipos de vegetação existentes no Brasil diferenciados pelas suas características e usos.

Após a definição e classificação das feições, num projeto cartográfico segue-se a etapa de definição e aplicação da simbologia. A simbologia deve retratar graficamente tanto os aspectos que caracterizam que um conjunto de feições pertencem a uma determinada classe, como também as características que individualizam cada feição da classe. Um dos aspectos gráficos que identifica as classes de feições do mapeamento sistemático é a variável visual tom de cor. Assim temos o meio humano representado em preto e vermelho, a hidrografia em azul, o relevo em sépia e a vegetação em verde. As demais características das feições que compõem de cada classe são representadas pelas variáveis visuais forma, tamanho e luminosidade. Portanto, a representação cartográfica das cartas topográficas é definida segundo os conceitos de projeto cartográfico e linguagem cartográfica, sendo este conhecimento fundamental o entendimento e construção deste tipo de mapeamento.

Considerando que um conhecimento adequado de projeto cartográfico é essencial para seu devido entendimento, uma vez adquirido este conhecimento, é possível utilizar devidamente as convenções cartográficas para gerar representações topográficas de qualidade. Por ser o mapeamento topográfico sistemático um assunto extenso, neste texto vamos apresentar, como exemplo, a classe de feições *Rodovia*, para conhecermos, com um maior detalhamento, como as convenções cartográficas definem a simbologia de cartas topográficas. Como exemplo da definição das denominações de feições, para as *Rodovias*, as convenções cartográficas determinam (BRASIL, 1998):

- “Denomina-se rodovia de uma só faixa aquela que presente, no terreno, leito com largura igual ou superior a $3m$ e inferior a $6m$. Quando a largura for menor que $3m$, ficará caracterizado o caminho carroçável, trilha ou picada.”
- “O número de faixas de uma rodovia é determinado pelo menor múltiplo de $3m$, abrangido pela largura do leito. Assim, uma rodovia com $10m$ de leito (menor múltiplo abrangido - $9m$) tem 3 faixas.”

A classificação das *Rodovias* é definida como segue:

- “As rodovias são classificadas em relação à possibilidade de tráfego que ofereçam, ao número de faixas e ao tipo de revestimento, como se segue.”

- “Trilha e picada - Classe 5 - via sem revestimento ou conservação, com piso e traçado irregulares, só permitindo o tráfego a pé ou de animais;”
- “Caminho carroçável - Classe 4 - via transitável somente em tempo bom e seco, sem revestimento, caracterizada pela inexistência de conservação permanente, largura média inferior a 3m, com piso e traçado irregulares, geralmente dificultando o tráfego de veículos comuns a motor;”
- “Rodovia de tráfego periódico - Classe 3 - rodovia transitável somente em tempo bom e seco, com revestimento solto ou sem revestimento, largura mínima de 3m, com pouca ou nenhuma conservação e de traçado irregular;”
- “Rodovia não pavimentada - Classe 2 - rodovia transitável durante todo ano com revestimento solto ou leve, conservado de modo a permitir o tráfego mesmo em época de chuvas, com um número variável de faixas;” (Figura 4.12)
- “Rodovia pavimentada - Classe 1 - rodovia de revestimento sólido (asfalto, concreto ou calçamento), com um número variável de faixas, sem separação física entre as pistas de tráfego;” (Figura 4.13)
- “Auto-estrada - Classe Especial - rodovia de revestimento sólido (asfalto, concreto ou calçamento), com um mínimo de 4 faixas, apresentando separação física entre as pistas de tráfego, representável em escala ou não.” (Figura 4.14)

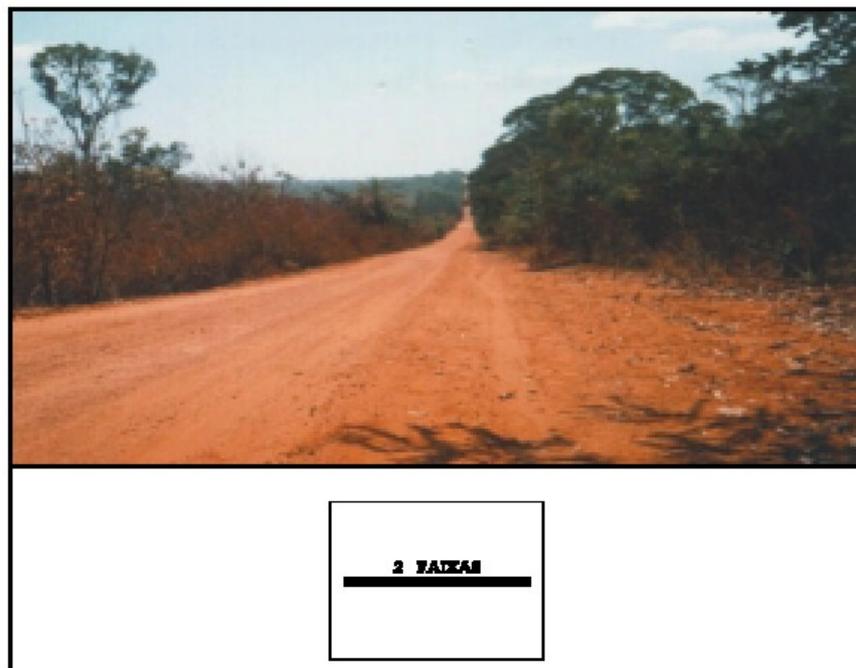


FIGURA 4.12 - Rodovia não pavimentada (BR 230)
Fonte: BRASIL, 1998

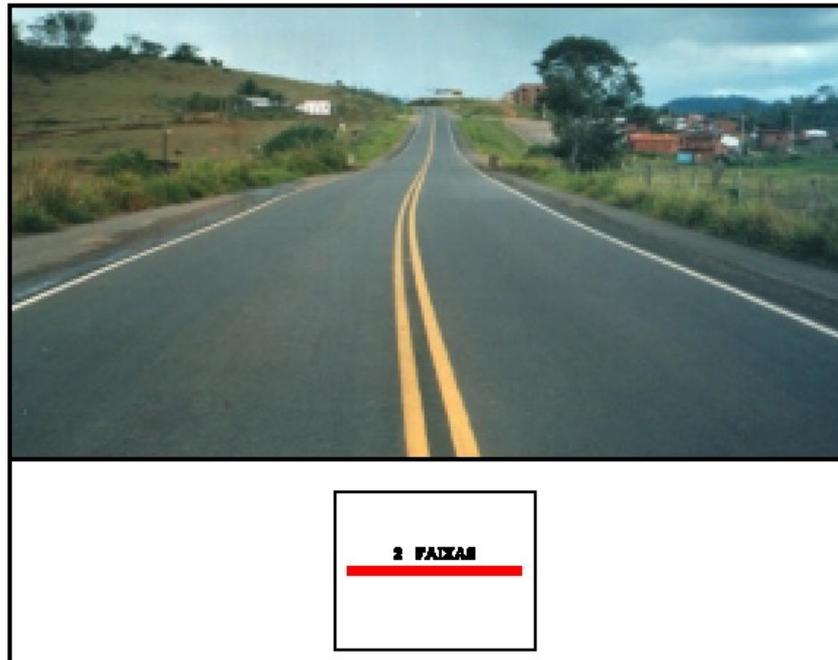


FIGURA 4.13 - Rodovia pavimentada (BR 330)
Fonte: BRASIL, 1998

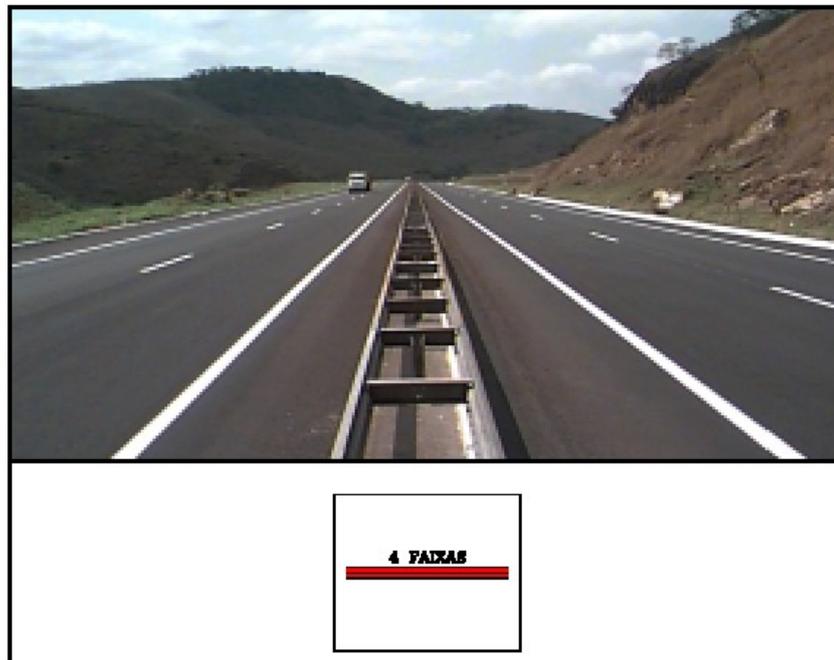


FIGURA 4.14 - Rodovia pavimentada (BR 330)
Fonte: BRASIL, 1998

Em seguida, nas convenções cartográficas encontramos as informações sobre como representar as feições que compõem a classe RODOVIAS, ou seja, a padronização dos símbolos. Esta padronização define tanto a simbologia a ser utilizada para a representação

das feições resultantes dos trabalhos de levantamentos, topográfico ou fotogramétrico, bem como a representação do produto cartográfico, ou seja, a carta topográfica. A Figura 4.15 ilustra todas as definições da simbologia para algumas das feições da classe RODOVIAS. A Figura 4.16 mostra em detalhes a simbologia para a representação final das auto-estradas.

Nº	SISTEMA DE TRANSPORTE	AQUISIÇÃO DE DADOS		REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA	REPRESENTAÇÃO FINAL		T 34-700 (1ª PARTE)
		Símbolo	Especificações		Símbolo	Especificações	
100	Trilha ou picada		SSNR - 1,50 mm	Linha		0,13	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRA a - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 1) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS a, c, d, e, g, i
101	Caminho carroçável		SSNR - 1,50 mm	Linha		0,20	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRA a - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 2) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRA a, c, d, e, f, g, i, l, n, o, p
102	Rodovia de tráfego periódico		SSNR - 1,50 mm	Linha		0,13	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRA a - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 3) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS b, c, d, i, l, n, o, e, p
103	Rodovia não pavimentada		SSNR - 1,50 mm	Linha		SSNR - 1,50 mm	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRAS a e b - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 4) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS b, c, d, h, i, l, n, o, e, p - PARÁGRAFO 2-5
104	Rodovia pavimentada		SSNR - 1,50 mm	Linha		SSNR - 1,50 mm	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRAS a e b - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 5) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS b, c, d, h, i, l, n, o, e, p - PARÁGRAFO 2-5
105	Auto-estrada		SSNR - 1,50 mm	Linha		0,13	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRA b - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 6) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS b, c, d, h, i, j, n, o, e, p - PARÁGRAFO 2-5
106	Auto-estrada com canteiro divisorio representável em escala		SSNR - 1,50 mm	Linha		0,13	CAPÍTULO 2 - LETRA b - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 6) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS b, c, d, h, i, j, n, o, e, p - PARÁGRAFO 2-5
107	Rodovia em construção		SSNR - 1,50 mm	Linha		SSNR - 1,50 mm	CAPÍTULO 2 - PARÁGRAFO 2-2 - LETRAS a e b - PARÁGRAFO 2-3 - LETRA a - ITEM 3) a d) - PARÁGRAFO 2-4 - LETRAS d, h, i, j, m, n, o, e, p - PARÁGRAFO 2-5

FIGURA 4.15 - Simbologia para a representação das RODOVIAS de acordo com a Convenções Cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro
 Fonte: BRASIL, 1998

105	Auto-estrada	Linha		SSNR - 1,50 mm 0,13 1,00
-----	--------------	-------	--	---------------------------------

FIGURA 4.16 - Simbologia para auto-estrada, de acordo com as Convenções Cartográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro
 Fonte: BRASIL, 1998

4.3.2 Mapeamento Topográfico e Articulação de Cartas

*Série de cartas*¹ é uma denominação genérica utilizada para, fazermos referência a um conjunto de cartas, que são produzidas para cobrir todo, ou parte, de um país. Esta série é produzida em escalas variadas, de forma sistemática e segundo especificações padronizadas para todo o território nacional, visando primeiramente atender as necessidades governamentais em seus diferentes níveis. Quando esta série se refere às cartas topográficas, tem-se então o *mapeamento topográfico sistemático*. Este mapeamento é o principal elemento dentro da Cartografia Sistemática Terrestre Básica. O termo “terrestre” é para se contrapor à Cartografia Sistemática Náutica e o termo “básica” é para evidenciar que este tipo de mapeamento é o elemento básico para a produção de qualquer outro tipo de carta.

Embora cada país decida o conjunto de escalas para a série de cartas, existe concordância entre as nações sobre a área coberta por uma carta topográfica, na escala de $1/1.000.000$, chamada de *Carta Internacional ao Milionésimo-CIM* e que tem uma amplitude de quatro graus de latitude por seis graus de longitude contada inicialmente a partir do meridiano de Greenwich e da linha do Equador e é representada na projeção Cônica Conforme de Lambert (Figura 4.17). No Brasil, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e o Exército brasileiro, através da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico), são, constitucionamente, responsáveis pelo mapeamento topográfico sistemático. Devido, principalmente, às dimensões nacionais e aos custos elevados para a produção deste tipo de mapeamento, tem-se que este o mapeamento topográfico sistemático está restrito às escalas² $1/1.000.000$, $1/500.000$, $1/250.000$, $1/100.000$, $1/50.000$ e $1/25.000$. Para cobrir todo o território nacional são necessárias quarenta e seis CIM (Figura 4.18).

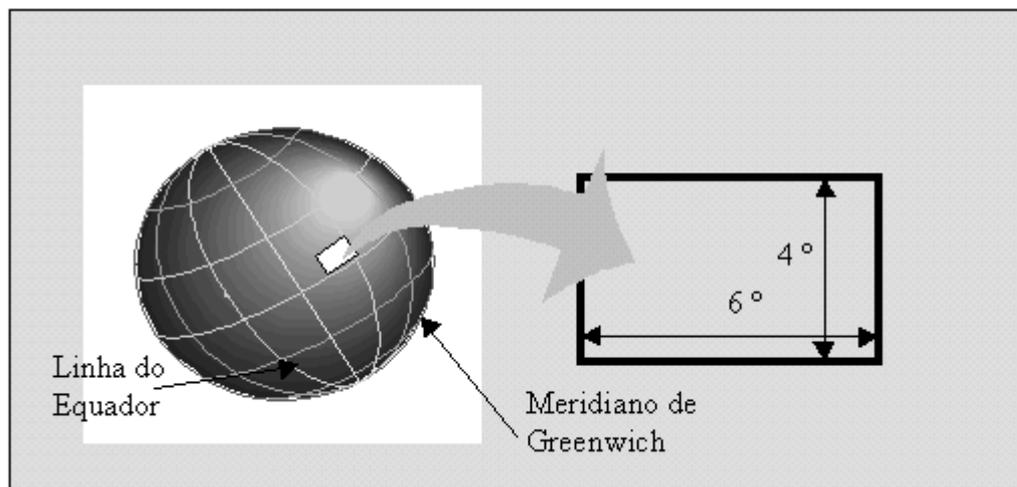


FIGURA 4.17 – Área coberta por uma Carta Internacional ao Milionésimo

¹ Embora alguns autores possam fazer distinção entre carta e mapa, no contexto deste trabalho, está-se considerando estes termos como sendo sinônimos.

² Existem países em que o mapeamento topográfico sistemático pode chegar até a escala de $1/500$.

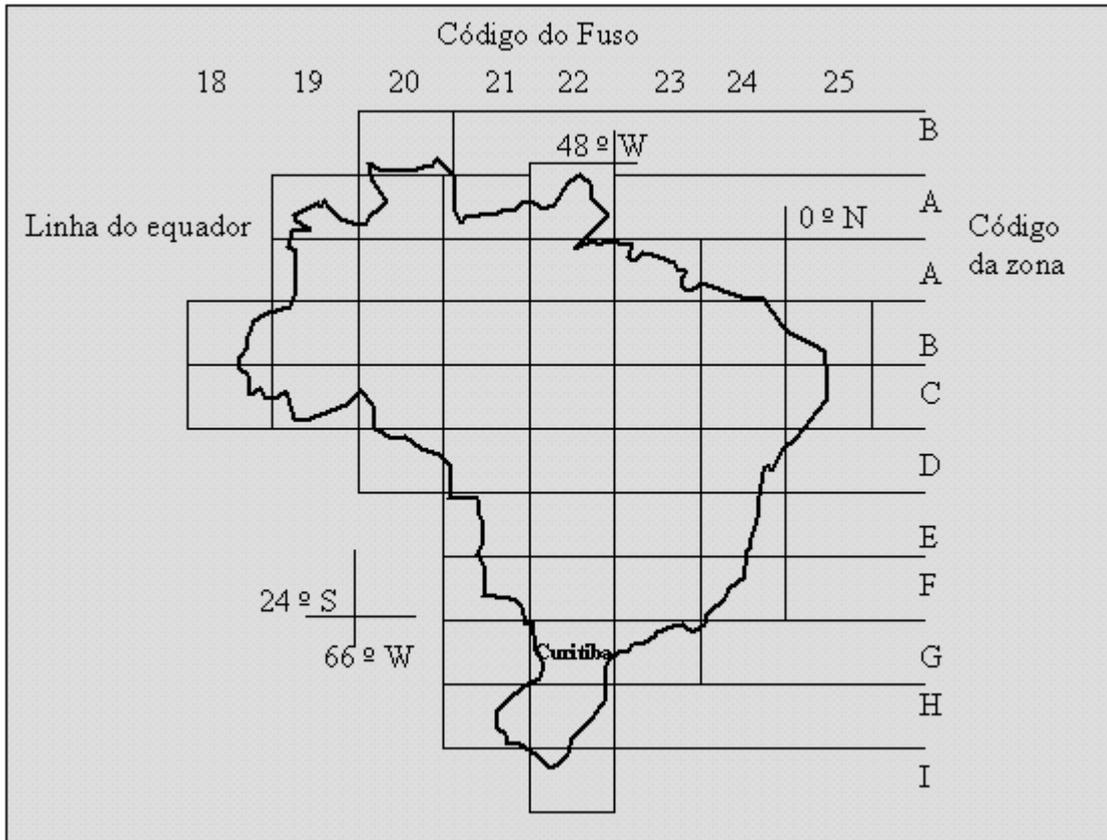


FIGURA 4.18 - Cartas topográficas ao milionésimo que cobrem o território nacional

Cada carta topográfica é identificada por um nome, que se refere à localidade, ou ao acidente geográfico de “maior importância”, que está contido pela carta. Por exemplo, a carta topográfica ao milionésimo, que tem para o canto inferior esquerdo latitude e longitude, respectivamente, $\varphi = 28^{\circ}S$ e $\lambda = -54^{\circ}W$ e para o canto superior direito $\varphi = 24^{\circ}S$ e $\lambda = 48^{\circ}W$ é denominada “Curitiba” (Figura 4.19). Se alguém desejar adquirir uma carta topográfica, pode fazê-lo usando como referência o nome da carta e a escala desejada. Entretanto, nem sempre se conhece *a priori* o nome de uma carta. Dessa forma, é mais comum fazer esta solicitação usando a nomenclatura da carta ao invés do nome da carta. A nomenclatura de uma carta topográfica ao milionésimo fica determinada por três códigos alfanuméricos. O primeiro identifica o hemisfério em que a carta está, se ao sul, código *S* e se ao Norte, código *N*. O segundo código identifica a zona em se encontra a carta. Quando se considera o hemisfério sul, a primeira zona está compreendida entre os paralelos de zero graus sul e quatro graus sul. Esta zona recebe como código à letra *A*. A segunda zona esta compreendida entre os paralelos de quatro graus sul e oito graus sul e recebe o código *B*. As zonas seguintes recebem as letras subsequentes, sendo que a última zona está compreendida entre os paralelos de trinta e dois graus sul e trinta e seis graus sul e recebe o código *I*. Para o hemisfério norte, têm-se somente as zonas *A* e *B*. O último código identifica o fuso que contém a carta. No exemplo da carta “Curitiba” a sua nomenclatura é então *SG-22*, ou seja, esta carta está no hemisfério sul, na zona *G* e no fuso 22. Na Figura 4.19 é apresentado o formato da carta ao milionésimo com as informações marginais relativas ao nome e nomenclatura da carta.

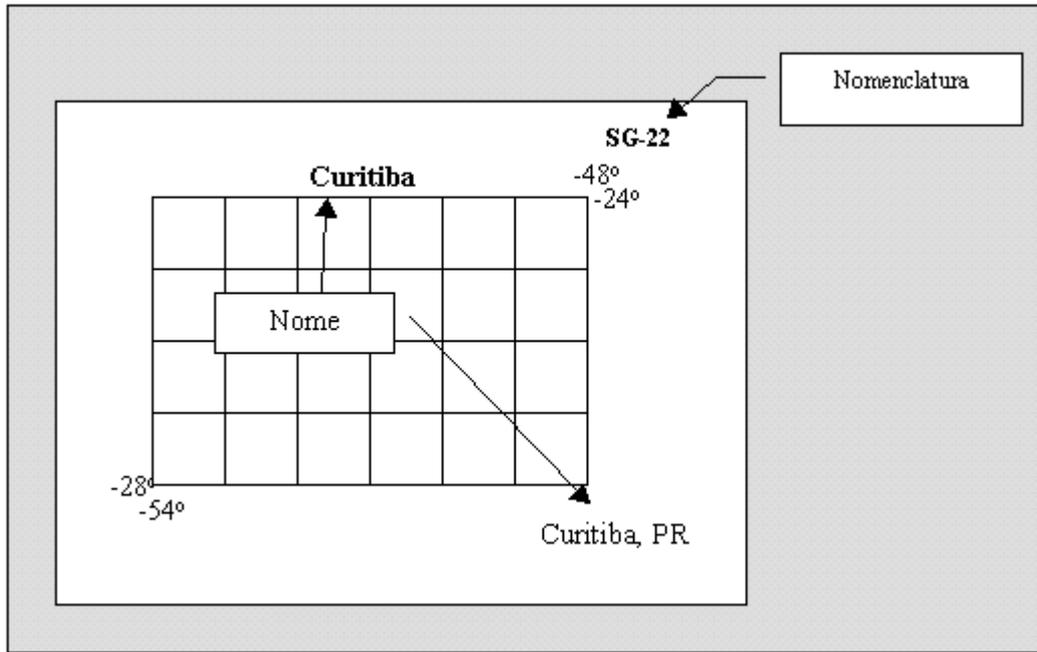


FIGURA 4.19 – Limites e nomenclatura da carta Curitiba na escala 1/1.000.000

A partir de cada carta ao milionésimo é feita a sua articulação (ou decomposição) visando identificar as outras cartas topográficas em escalas maiores: $1/500.000$; $1/250.000$; $1/100.000$; $1/50.000$ e $1/25.000$. A forma de particionamento para cada uma das cartas topográficas em escalas maiores foi estabelecida por convenção nacional e é apresentada na Figura 4.20. Para descrever os outros tipos de códigos necessários para compor a nomenclatura de uma carta topográfica até a escala de $1/25.000$, será realizado um exemplo completo a seguir.

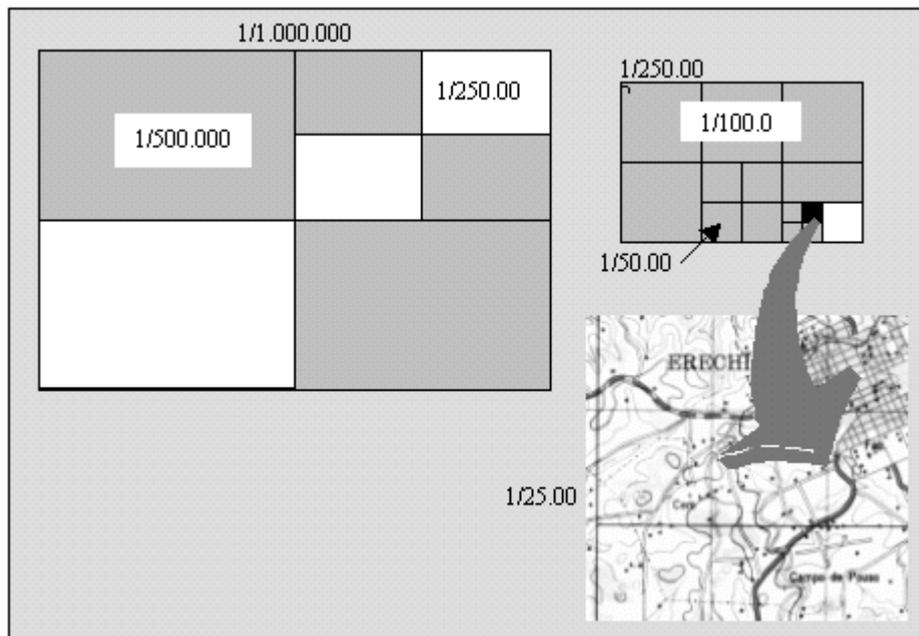


FIGURA 4.20 - Articulação sistemática das cartas topográficas

O problema então consiste em determinar-se a nomenclatura de uma carta, para uma certa escala “*E*”, que contenha uma posição geográfica (φ , λ). Como a carta ao milionésimo tem uma amplitude de quatro por seis graus, então conhecendo-se as coordenadas geográficas de um ponto qualquer é possível determinar-se quais são as coordenadas dos cantos da carta ao milionésimo que contém este ponto, simplesmente identificando para a latitude e para a longitude, respectivamente, quais são os múltiplos de quatro e de seis mais próximos da localização geográfica em estudo. Sendo dada as coordenadas $\varphi = -23^\circ 25'$ e $\lambda = -49^\circ 40'$ de um ponto *P*, qual é a nomenclatura da carta, na escala 1/25000, que contém este ponto?

- *Primeiro passo* – determinar as coordenadas geográficas dos cantos inferior esquerdo e superior direita da carta ao milionésimo que contém *P* ($\varphi = -23^\circ 25'$ e $\lambda = -49^\circ 40'$) a) como a carta tem uma amplitude de quatro graus de latitude, então os múltiplos inteiros de quatro que contêm a latitude ($\varphi = -23^\circ 25'$) são $\varphi_1 = -24^\circ$ e $\varphi_2 = -20^\circ$. Como a carta tem uma amplitude de seis graus de longitude, obtêm-se como múltiplos inteiros de seis os valores $\lambda_1 = -54^\circ$ e $\lambda_2 = -48^\circ$. Assim, as coordenadas latitude e longitude do canto inferior esquerdo da carta são, respectivamente, $\varphi_1 = -24^\circ$ e $\lambda_1 = -54^\circ$. Para o canto superior direito tem-se $\varphi_2 = -20^\circ$ e $\lambda_2 = -48^\circ$.

- *Segundo passo* – determinar o código da nomenclatura que identifica o hemisfério a) como o sinal da latitude é negativo ($\varphi = -23^\circ 25'$) o primeiro código para a nomenclatura é *S*, ou seja, o ponto está no hemisfério sul.

- *Terceiro passo* – obtenção do código da zona que contém a carta a) comparando-se o valor da latitude de *P* ($\varphi = -23^\circ 25'$) com os intervalos de latitude definidos para cada zona (Tabela 4.1), chega-se que o ponto *P* ($\varphi = -23^\circ 25'$) está compreendida pelos limites $[-20^\circ ; -24^\circ]$, então o código da zona é *F*.

TABELA 4.1 - Códigos de Zona

Latitude	Código
$[4^\circ 8^\circ]$	<i>B</i>
$[0^\circ 4^\circ]$	<i>A</i>
$[0^\circ -4^\circ]$	<i>A</i>
$[-4^\circ -8^\circ]$	<i>B</i>
$[-8^\circ -12^\circ]$	<i>C</i>
$[-12^\circ -16^\circ]$	<i>D</i>
$[-16^\circ -20^\circ]$	<i>E</i>
$[-20^\circ -24^\circ]$	<i>F</i>
$[-24^\circ -28^\circ]$	<i>G</i>

- *Quarto passo* – determinar o código do fuso a) determinar o código do fuso consiste em determinar o próprio fuso que contém o ponto *P*. O algoritmo para obter-se o fuso começa pela conversão da longitude para um valor absoluto contado no sentido anti-horário e que assume um valor positivo entre zero e trezentos e sessenta graus: Se $\lambda < 0^\circ \rightarrow \lambda^* = 360^\circ + \lambda$, Caso contrário, $\lambda > 0^\circ$, então $\lambda^* = \lambda$. Como no exemplo a longitude do ponto é menor do que zero ($\lambda = -49^\circ 40'$), então a longitude absoluta é igual $\lambda^* = 360^\circ + (-49^\circ 40')$, ou seja, $\lambda^* = 310^\circ 20'$; b) determinar o valor $N = \text{int}[\text{quoc}] + 1$, em se lê que *N* é igual a um mais a parte inteira do quociente da longitude absoluta dividida por seis.

$\text{quoc} = (310,333..)/6^\circ = [51,222..]$, então truncando o valor na parte inteira e adicionando 1, fica que $N = 52$. c) determinar o *Fuso* = $N + C$. O valor de *C* é obtido da seguinte maneira: Se o valor da longitude absoluta é maior do que cento e oitenta graus ($\lambda^* > 180^\circ$

→ $C = -30$), então o valor de C é igual a menos trinta, caso contrário, ou seja, se o valor da longitude absoluta é menor do cento e oitenta graus ($\lambda^* < 180^\circ$, → $C = 30$), então o valor de C é igual a trinta. Como no exemplo $\lambda^* = 310^\circ 20' > 180^\circ$, então $C = -30$. Substituindo os valores, obtém-se que $F = 52 - 30 = 22$. Assim a nomenclatura da carta ao milionésimo é $SF-22$.

Para determinar o restante da nomenclatura, deve-se realizar a análise de forma gráfica, particionando sistematicamente cada uma das cartas. Tendo-se por base a carta na escala de $1/1.000.000$ cuja nomenclatura é $SF-22$, deve-se particioná-la em quatro partes iguais (Figura 4.21), geram-se assim as cartas na escala de $1/500.000$. Os códigos usados para a identificação da carta de $1/500.000$ são as últimas letras do alfabeto V, X, Y e Z .

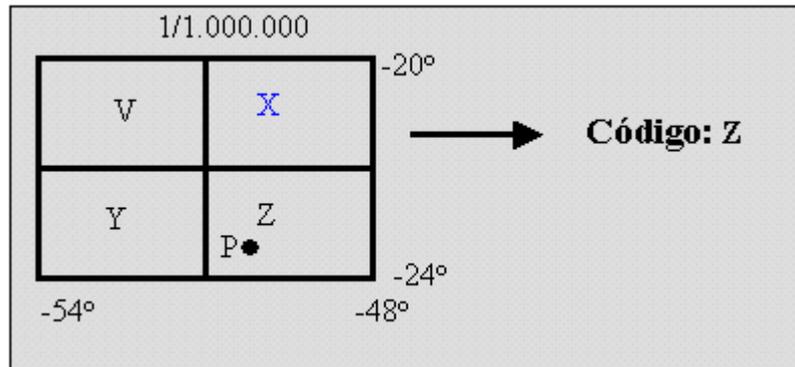
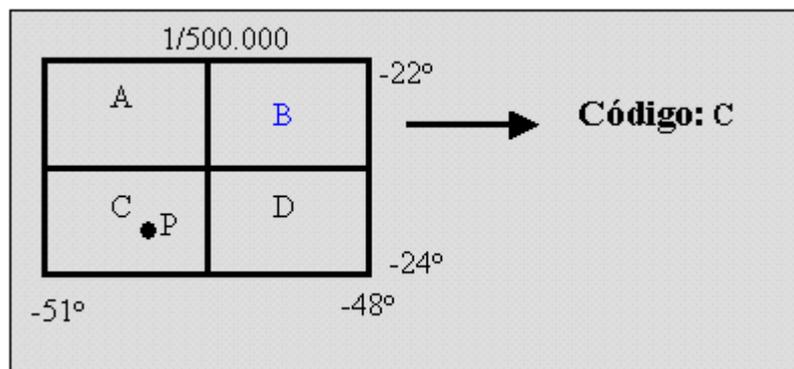


FIGURA 4.21 - Código relativo a escala 1/500.000

Tendo-se por base agora a carta de $1/500.000$, deve-se particioná-la também em quatro partes iguais, gerando assim as cartas em $1/250.000$. Para identificação destas cartas são utilizados as primeiras letras do alfabeto A, B, C e D (Figura 4.22). A partir da carta de $1/250.000$ faz-se o seu particionamento em seis cartas iguais, gerando assim as cartas em $1/100.000$. O código utilizado agora são os primeiros algarismos romanos I, II, III, IV, V e VI (Figura 4.23).



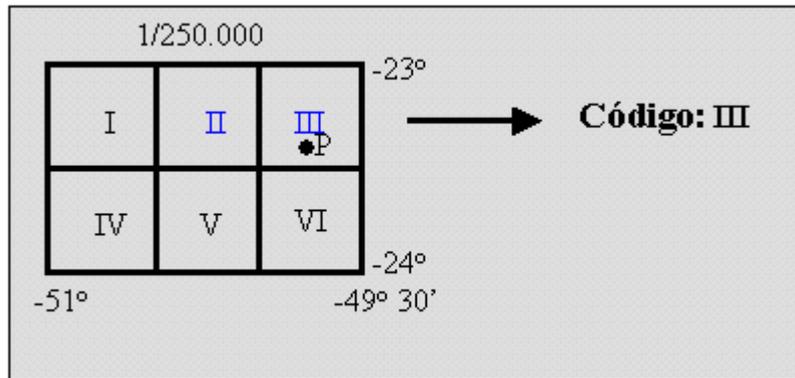


FIGURA 4.23 - Código relativo a escala 1/100.000

Partido-se de uma carta de $1/100.000$, deve-se particioná-la em quatro partes iguais gerando assim as cartas de $1/50.000$. Os códigos de identificação usados são os primeiros algarismos arábicos $1, 2, 3$ e 4 (Figura 4.24). Tomando como referência uma carta de $1/50.000$, deve-se particioná-la em quatro regiões iguais, gerando assim as cartas em $1/25.000$, que recebem os códigos, NO, NE, SO e SE , que dizem respeito com a localização geográfica, respectivamente: a norte e oeste; a norte e leste; ao sul e oeste; e ao sul e leste (Figura 4.25). Na Figura 4.26 são apresentados todos os códigos da carta topográfica na escala de $1/25.000$ que contém o ponto cujas coordenadas são: $\lambda = -49^\circ 40', \varphi = -23^\circ 25'$.

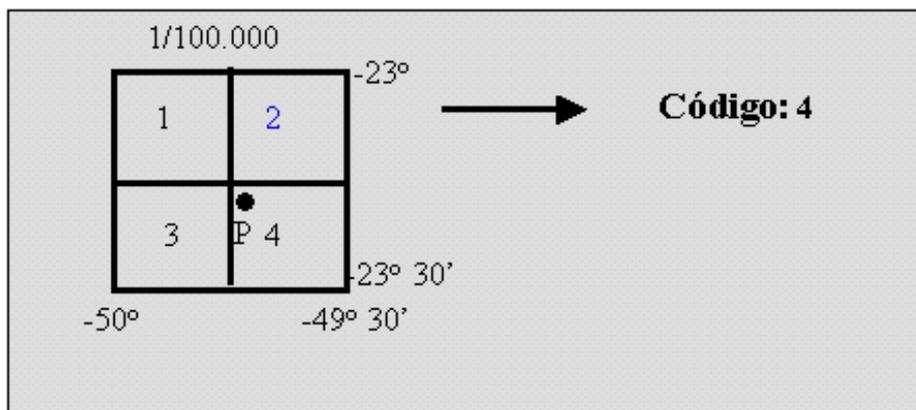


FIGURA 4.24 - Código relativo a escala 1/50.000

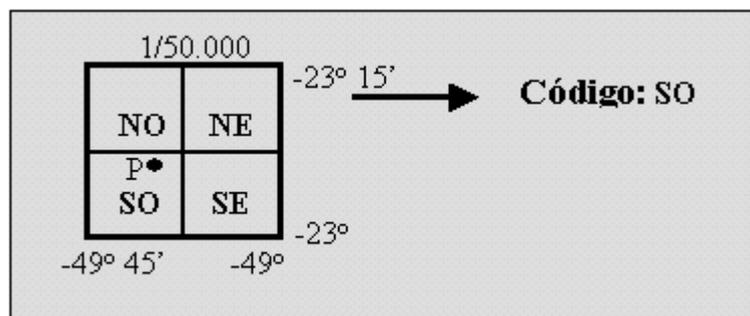


FIGURA 4.25 - Código relativo a escala 1/25.000

Primeiro passo – determinar as coordenadas geográficas dos cantos inferior esquerdo e superior direita da carta ao milionésimo que contém o ponto ($\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$). Como a CIM tem uma amplitude de 4° de latitude, então os múltiplos inteiros de quatro que contém a latitude ($\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$) são $\varphi_1 = -12^{\circ}$ e $\varphi_2 = -8^{\circ}$. Como a CIM tem uma amplitude de 6° de longitude, obtêm-se como múltiplos inteiros de 6 os valores $\lambda_1 = -42^{\circ}$ e $\lambda_2 = -36^{\circ}$. Assim, as coordenadas latitude e longitude do canto inferior esquerdo da carta são, respectivamente, $\varphi_1 = -12^{\circ}$ e $\lambda_1 = -42^{\circ}$. Para o canto superior direito tem-se $\varphi_2 = -8^{\circ}$ e $\lambda_2 = -36^{\circ}$.

Segundo passo – determinar o código da nomenclatura que identifica o hemisfério. Como o sinal da latitude é negativo ($\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$) o primeiro código para a nomenclatura é S, ou seja, o ponto está no hemisfério sul.

Terceiro passo – obter o código da zona que contém a carta. Comparando-se o valor da latitude do ponto ($\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$) com os intervalos de latitude definidos para cada zona, chega-se que o ponto **P** está compreendida pelos limites $[-8^{\circ}; -12^{\circ}]$, então o código da zona é C.

Quarto passo – determinar o código do fuso:

a) determinar primeiro o valor da longitude absoluta (λ^*), que é contado no sentido anti-horário e que assume um valor positivo entre zero e 360° . Lembre-se que: se $\lambda < 0^{\circ}$ então $\lambda^* = 360^{\circ} + \lambda$, caso contrário, se $\lambda > 0^{\circ}$, então $\lambda^* = \lambda$. Como no exemplo a longitude do ponto é menor do que zero ($\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$), então a longitude absoluta é igual $\lambda^* = 360^{\circ} + (-37^{\circ} 17' 12'')$, ou seja, $\lambda^* = 322^{\circ} 42' 48''$.

b) determinar o valor $N = \text{int}[\text{quoc}] + 1$. O $\text{quoc} = (322,71333..)/6^{\circ} = [53,786..]$, então truncando o valor na parte inteira e adicionando 1, obtêm-se $N = 54$.

c) determinar o $Fuso = N + C$. O valor de C é obtido da seguinte maneira: Se o valor da longitude absoluta é maior do cento e oitenta graus ($\lambda^* > 180^{\circ}$, então $C = -30$), então o valor de C é igual a menos trinta, caso contrário, ou seja, se o valor da longitude absoluta é menor do cento e oitenta graus ($\lambda^* < 180^{\circ}$, então $C = 30$), então o valor de C é igual a trinta. Como no exemplo $\lambda^* = 322^{\circ} 42' 48'' > 180^{\circ}$, então $C = -30$. Substituindo os valores obtêm-se que $F = 54 - 30 = 24$. Assim, a nomenclatura da carta ao milionésimo é SC-24.

Quinto passo – determinar o restante da nomenclatura:

Determinada a nomenclatura para escala de $1/1.000.000$ (SC-24), tem-se que determinar o restante da nomenclatura até $1/25.000$. Para isto faz uma análise gráfica para identificar que carta contém o ponto analisado. Particionando a carta na escala de $1/1.000.000$ em 4 partes iguais, geram-se as cartas na escala de $1/500.000$ (Figura 4.30). Os códigos usados para a identificação de cada carta $1/500.000$ são V, X, Y e Z. Como as coordenadas do ponto em estudo são $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$, deduz-se que a carta de $1/500.000$ que contém o ponto **P** é X.

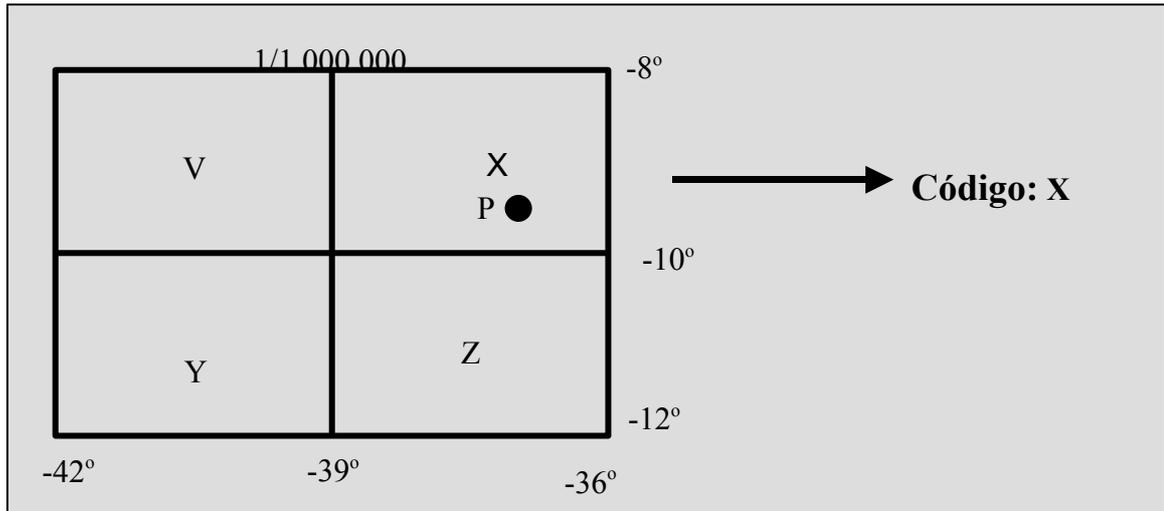


FIGURA 4.30 - Código relativo a escala 1/500.000

Tendo-se por base a carta de $1/500.000$, deve-se particioná-la também em quatro partes iguais, gerando assim as cartas em $1/250.000$. Para identificação destas cartas são utilizados as letras *A*, *B*, *C* e *D*. Como as coordenadas do ponto são $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$, deduz-se que o código é *D* (Figura 4.31).

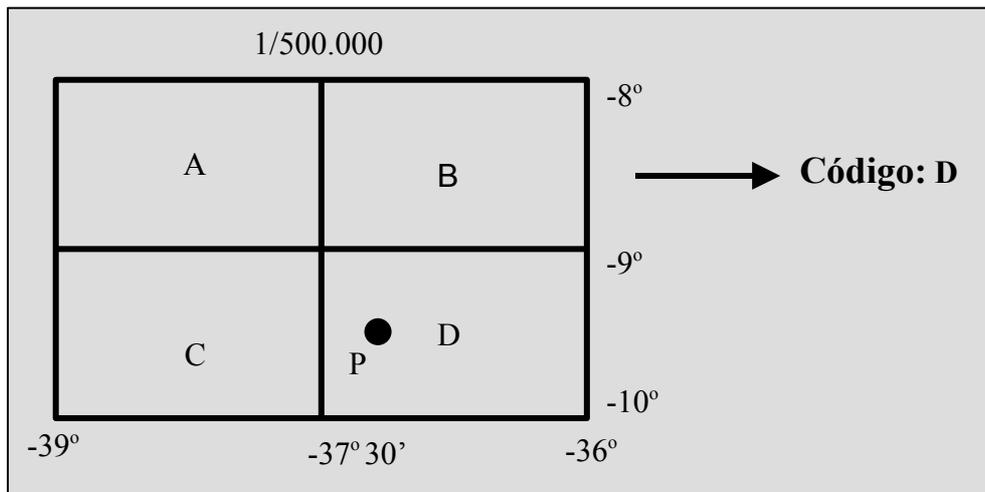


FIGURA 4.31 - Código relativo a escala 1/250.000

A partir da carta de $1/250.000$ faz-se o seu particionamento em seis cartas iguais, gerando assim as cartas em $1/100.000$. Os códigos para identificação dessas cartas são os algarismos *I*, *II*, *III*, *IV*, *V* e *VI*. Como as coordenadas do ponto são $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$, deduz-se que o código é *IV* (Figura 4.32). Partindo-se da carta de $1/100.000$, deve-se particioná-la em quatro partes iguais gerando assim as cartas de $1/50.000$. Os códigos para identificação dessas cartas são *1*, *2*, *3* e *4*. Como as coordenadas do ponto são $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$, deduz-se que a carta na escala 1/50.000 que contém o ponto tem o código igual a *1* (Figura 4.33). Tomando como referência a carta em 1/50.000, deve-se particioná-la em quatro regiões iguais, gerando assim as cartas em 1/25.000, que

recebem os códigos *NO*, *NE*, *SO* e *SE*. Como as coordenadas do ponto são $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$, deduz-se que a carta procurada tem código *NE* (Figura 4.34).

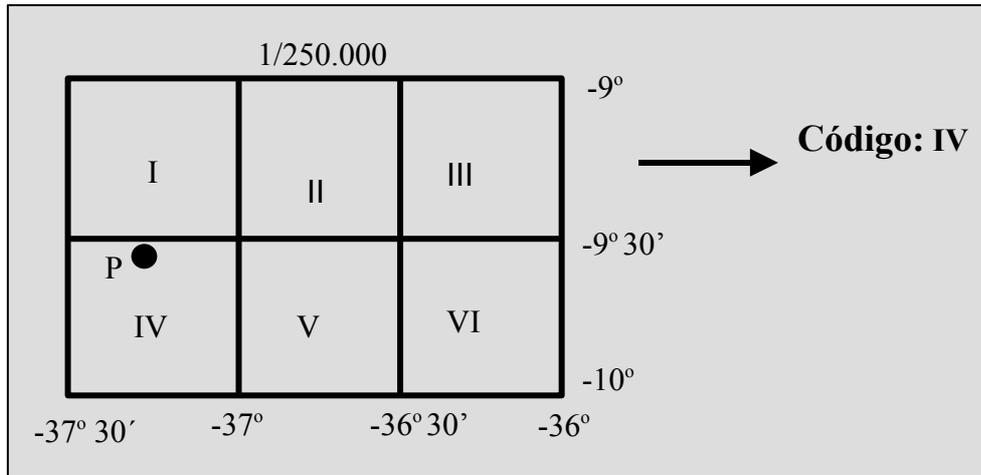


FIGURA 4.32 - Código relativo a escala 1/100.000

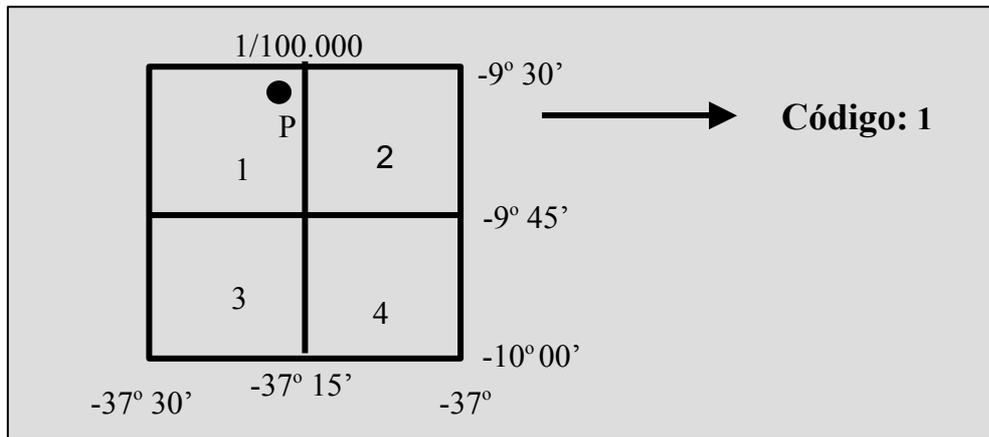


FIGURA 4.33 - Código relativo a escala 1/50.000

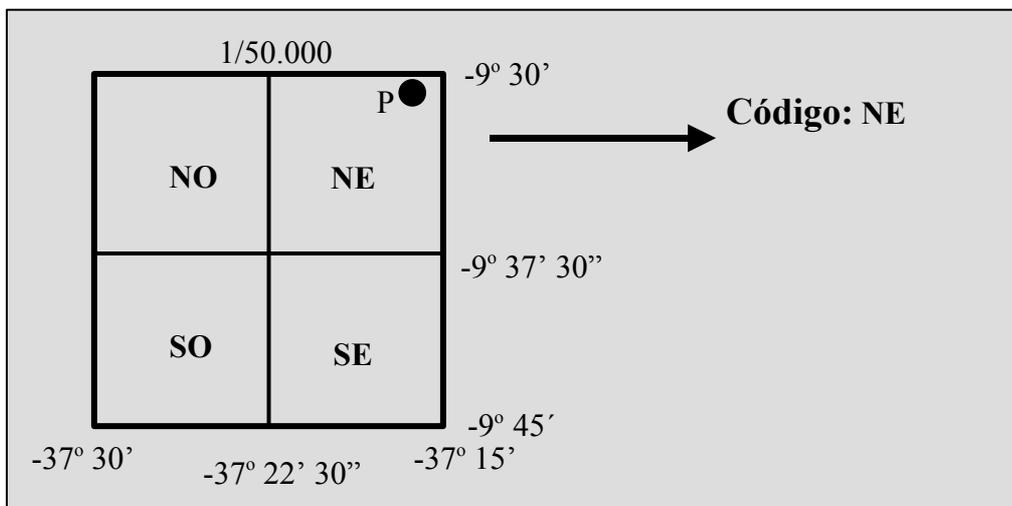


FIGURA 4.34 - Código relativo a escala 1/25.000

Na Figura 4.35 é apresentada a nomenclatura completa com todos os códigos da carta topográfica na escala de 1/25.000, que contém o ponto cujas coordenadas são: $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$.

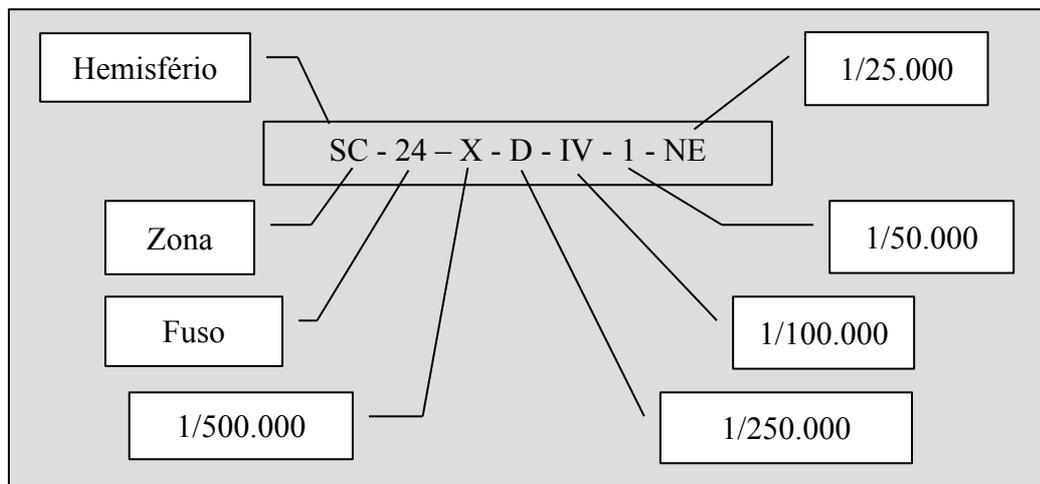


FIGURA 4.35 - Nomenclatura completa até a escala de 1/25.000

Para determinar a nomenclatura até a escala de 1/2.000, tem-se que particionar a carta na escala de 1/25.000 em 6 partes iguais, para obter as cartas na escala de 1/10.000. Para identificar cada uma destas cartas são utilizadas as letras *A, B, C, D, E* e *F*. Da análise da Figura 4.36, deduz-se que o ponto de coordenadas $\varphi = -9^{\circ} 35' 10''$ e $\lambda = -37^{\circ} 17' 12''$ está contido pela carta de código *F*. A partir desta carta de 1/10.000, faz-se o seu particionamento em 4 cartas iguais, gerando assim as cartas em 1/5.000. O código utilizado agora tem por base os algarismos romanos *I, II, III* e *IV*. Da análise da Figura 4.37, deduz-se que o ponto *P* está contido pela carta de código *IV*. Tendo por base esta carta na escala de 1/5.000, faz-se o seu particionamento em 6 partes iguais, gerando assim as cartas em 1/2.000. Para identificar estas cartas são utilizados os números 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Da análise da Figura 4.38, deduz-se que o ponto *P* está contido pela carta de código 3.

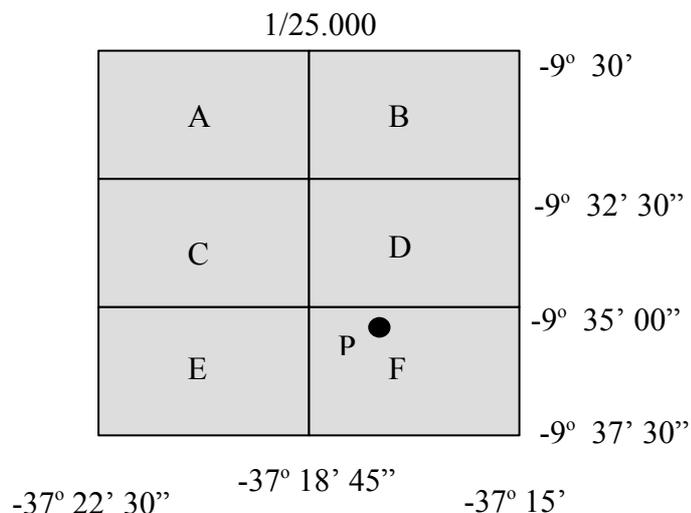


FIGURA 4.36 -Código relativo a escala 1/10.000

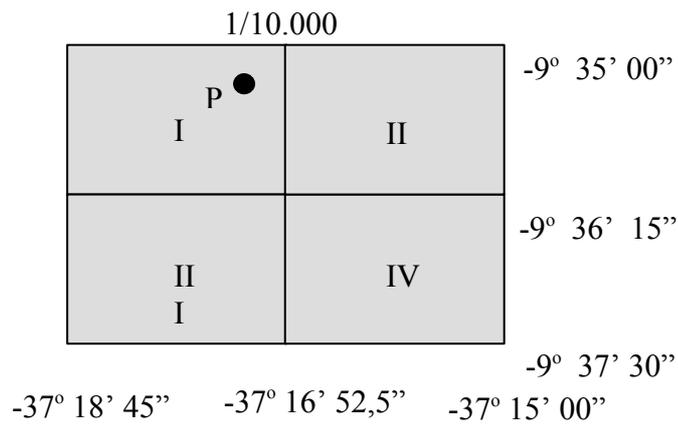


FIGURA 4.37 - Código relativo a escala 1/5.000

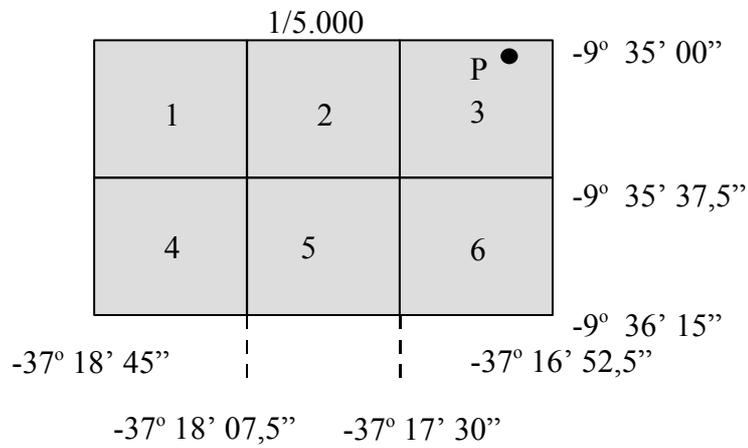


FIGURA 4.38 - Código relativo a escala 1/2.000

Na Figura 4.39 é apresentada a nomenclatura da carta topográfica na escala de 1/2.000, que contém o ponto cujas coordenadas são: $\varphi = -9^\circ 35' 10''$ e $\lambda = -37^\circ 17' 12''$.

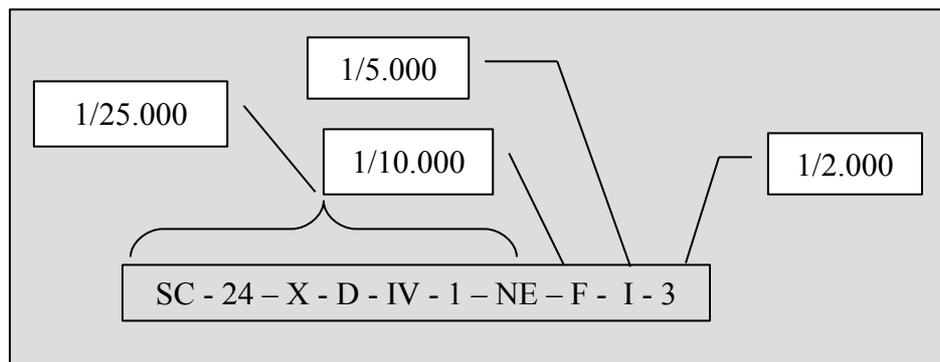


FIGURA 4.39 - Nomenclatura completa até a escala de 1/2.000

Capítulo 5

Cartografia Digital

Autores:

Prof. Dr. Antônio José Berutti Vieira

Prof^a Dr^a Luciene Stamato Delazari

5 – Cartografia Digital

5.1 - INTRODUÇÃO

Durante muito tempo os cartógrafos dedicaram estudos no sentido de desenvolver técnicas que permitissem gerar as representações cartográficas de um modo mais rápido e com menores custos. O advento do computador permitiu mudanças tanto qualitativas quanto quantitativas na produção de mapas e cartas. Qualitativamente é possível interagir com a representação em tempo real enquanto que quantitativamente é possível gerar um maior número de mapas em menor tempo (TAYLOR, 1994).

O início da utilização do computador em cartografia ocorreu por volta de 1960, nos Estados Unidos. Nesta época a ênfase estava na criação de algoritmos que reproduzissem tarefas muito dispendiosas manualmente, como, por exemplo, o traçado de curvas de nível e de malhas representando transformadas de paralelos e meridianos segundo uma certa projeção cartográfica (CLARKE, 1990). Durante os anos 60 fez-se muito esforço para implementar algoritmos que reproduzissem as tarefas manuais, sendo que em 1968 foi lançado o SYMAP, um dos primeiros pacotes gráficos para cartografia.

Juntamente com o desenvolvimento dos algoritmos que reproduziam as tarefas antes executadas manualmente ocorreu o desenvolvimento dos dispositivos para entrada, visualização e saída das informações. Com o desenvolvimento dos dispositivos para visualização, o aumento da capacidade de processamento dos computadores e a diversidade de métodos de captura de dados, houve um grande avanço também no desenvolvimento dos softwares para tratar a informação cartográfica.

Inicialmente, os softwares de cartografia digital apenas automatizaram as tarefas que antes eram executadas manualmente, com a utilização de mecanismos que “imitavam” o trabalho humano. Assim, os mapas continuavam a ser produzidos em papel, apenas com o auxílio do computador. Com o passar do tempo, os usuários da nova tecnologia perceberam que ela poderia proporcionar muito mais do que simplesmente reproduzir as tarefas manuais, e deste modo, foram desenvolvidas novas funções para o tratamento da informação geográfica.

Paralelamente ao desenvolvimento dos métodos e técnicas para produção, armazenamento e tratamento da informação geográfica, percebeu-se que a informação poderia ser utilizada para outras atividades além da reprodução de mapas. A sobreposição das informações armazenadas permitia que fossem feitas análises sobre os dados, gerando nova informação. Com isso, surgiram os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os SIGs são sistemas cujas principais características são: "integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes, dados e modelos numéricos de terrenos; combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados" (CÂMARA, 1996).

Com a evolução e a popularização dos Sistemas de Informação Geográfica cada vez mais estes sistemas são utilizados para apoiar os tomadores de decisão. Entretanto, para isto é necessário se dispor de uma base de dados espaciais e de informações associadas que possam ser utilizadas no processo de análise espacial. Hoje os softwares para produção de mapas, denominados de CAC (*Computer Aided Cartography*) continuam produzindo bases

de dados geográficas, e alimentam as aplicações realizadas com os Sistemas de Informações Geográficas.

Por meio dos métodos atuais de levantamento é possível coletar dados espaciais diretamente num formato digital. Entretanto, quase sempre os dados coletados em formato digital não estão adequadamente estruturados para aplicações em sistemas de informação geográfica e necessitam, portanto, ser reestruturados. Em algumas situações não é necessário e nem vantajoso coletar diretamente os dados espaciais para alguma aplicação temática. Uma alternativa neste caso é digitalizar as cartas topográficas existentes para gerar a base de informações espaciais sobre a qual serão sobrepostas as informações temáticas. Nas duas situações apresentadas anteriormente é necessário que se utilize um programa específico que permita, no primeiro caso a estruturação dos dados espaciais, e no segundo caso a digitalização e estruturação dos dados digitais.

Deve-se levar em consideração que a tecnologia computacional modificou o modo de criar os mapas, entretanto, a base teórica envolvida para a produção dos mapas permanece inalterada.

5.2 - CAD x CAC x SIG

Os programas computacionais destinados à digitalização de cartas e à estruturação de dados espaciais são mais especializados do que os programas normalmente voltados para fazer desenhos e projetos auxiliados por computador, que são chamados de CAD (*Computer Aided Design*). Um programa para CAD apresenta, em geral, uma representação simbólica mais simples e só é capaz de lidar com coordenadas referidas a um sistema cartesiano. Por outro lado, um programa destinado à digitalização e estruturação de dados espaciais deve apresentar mais recursos para representação simbólica e projeto de símbolos, deve ser capaz de lidar com coordenadas geodésicas, com diferentes superfícies de referência (*datum*) e diferentes projeções cartográficas. Os programas com estas características são conhecidos pela sigla CAC (*Computer Aided Cartography*). Embora um programa para CAC possa ser utilizado como um CAD, o inverso não é verdade e se não forem tomados os devidos cuidados isto pode levar à geração de resultados inapropriados. Para entender a diferença básica entre um CAC e um SIG é preciso entender os conceitos de informação espacial e informação não espacial.

A informação espacial (também denominada base de dados cartográficos ou informação geográfica) é a informação que se refere a algum elemento natural ou artificial que está sobre a superfície terrestre e que tem a sua posição definida em relação a algum referencial geodésico. Tradicionalmente, a informação espacial é representada sob a forma de cartas, imagens de satélite ou fotografias aéreas (Figura 5.1).

A informação não espacial (também chamada de atributo) é a informação dita semântica porque está relacionada com o significado do que é levantado. Esta informação pode ser qualitativa ou quantitativa. Um sistema de informação comercial manipula somente informação semântica, como, por exemplo, um sistema bancário. Tomando por base a Tabela 1, em que estão apresentadas informações sobre o cadastro de clientes de um banco, é possível acessar diretamente os vários itens apresentados para cada cliente e obter respostas para uma série de consultas diretas, como por exemplo, nome, sobrenome, sexo, etc. Além disto, é possível também realizar consultas mais sofisticadas, em que sejam relacionados alguns dos diferentes itens. Por exemplo, quais são os clientes do sexo feminino, que têm saldo médio acima de um certo valor. Neste caso, a quinta coluna e a sétima coluna seriam utilizadas para obter a resposta desejada.



FIGURA 5.1 – Exemplos de informação espacial

TABELA 5.1 - Conjunto de informações semânticas, ou não espaciais

<i>Reg</i>	<i>Id</i>	<i>Nome</i>	<i>SobreNome</i>	<i>Sexo</i>	<i>Idade</i>	<i>SaldoMedio</i>	<i>EndereçoCom</i>
1	#1234	João	Souza	M	53	5000,00	Rua Euclides,96
2	#1235	Pedro	Mattos	M	36	500,00	Av. Clara, 123
3	#1236	Maria	Carmo	F	67	1200,00	Rua XV, 12

Deste modo, pode-se afirmar que um SIG além de manipular dados semânticos (incluem-se nestes os dados estatísticos) manipula também dados espaciais, que são mais complexos, tanto na forma de organização, como nos tipos de algoritmos para sua manipulação. Com os dados espaciais é possível se responder perguntas diretas envolvendo atributos e localização, bem como realizar análises cruzando informações semânticas com dados espaciais. Mas para que isto seja possível é necessário que estes dados descrevam tanto propriedades semânticas como espaciais, lembrando que estas últimas são relativas à localização de cada fenômeno, sobre a superfície terrestre, e a sua própria forma.

Tomando como base o exemplo da Tabela 1, com a utilização de um SIG se poderia questionar “ONDE moram os clientes do sexo feminino que possuem saldo médio acima de um determinado valor?”. Como resposta seria obtida não apenas a tabela com as informações do cliente, mas também um mapa com a localização da residência de um dos clientes, como exemplificado na Figura 5.2.

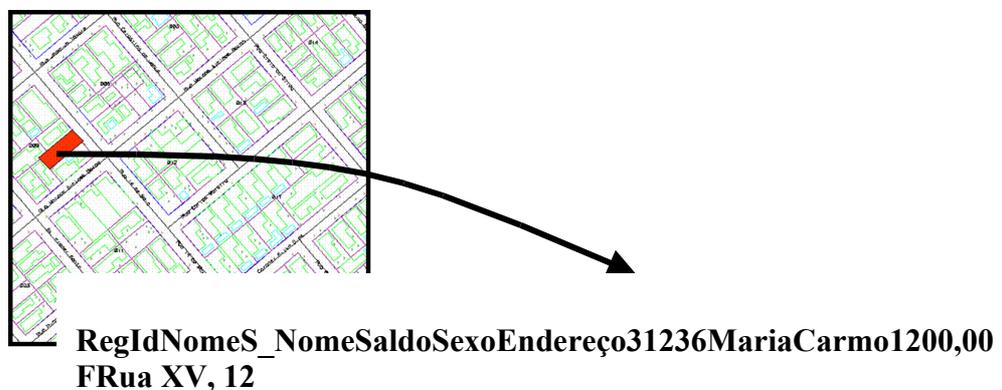


FIGURA 5.2 – Resultado de consulta espacial

A capacidade com que um SIG pode manipular dados semânticos e dados espaciais é a grande diferença em relação a um programa do tipo CAC. Um CAC permite armazenar a geometria das informações e associar a informação semântica por meio da representação gráfica. Isso significa que em um CAC, para se informar que uma rodovia é estadual ou federal é necessário alterar a sua forma de representação, por exemplo, com uma espessura de traço diferente.

Assim, pode-se distinguir duas diferentes aplicações: aquelas que utilizam programas do tipo CAC e têm como objetivo automatizar os processos de produção cartográfica, e aquelas que utilizam programas do tipo SIG e que têm como objetivo realizar análises em estão envolvidos dados espaciais e de atributo.

5.3 - CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS CAC

Os programas CAC caracterizam-se por armazenar as informações em níveis de informação, utilizando a estrutura de dados vetorial. Além disso, permitem intercâmbio de informações com outros programas, através de algum formato de dados padrão.

5.3.1 Níveis de Informação

Um programa para cartografia digital, denominado de CAC, é uma tecnologia voltada para a produção de mapas como uma alternativa que visa substituir o processo de produção cartográfica tradicional (plástico-gravura). Os dados são organizados em níveis tendo a finalidade de agrupar os elementos que têm afinidade entre si separando-os por níveis de informação (ou planos de informação). Com isto, tem-se uma forma seletiva que pode ser usada tanto para a análise como para a visualização dos dados. A seletividade da informação é obtida ativando-se os níveis (tornando-os disponíveis) ou desativando-os (tornando-os não disponíveis).

Cada nível de informação agrupa um conjunto de feições que têm correlação. Em cada nível as informações estão, posicionalmente, relacionadas a outros níveis através de um sistema de coordenadas comum. A organização utilizando níveis de informação é realizada de acordo com a finalidade estabelecida para a carta. Os níveis de informação podem ser definidos de acordo com o tema representado, por exemplo: hidrografia, limites de municípios, divisas de propriedades, cobertura vegetal etc. Na Figura 5.3 ilustra-se esta organização.

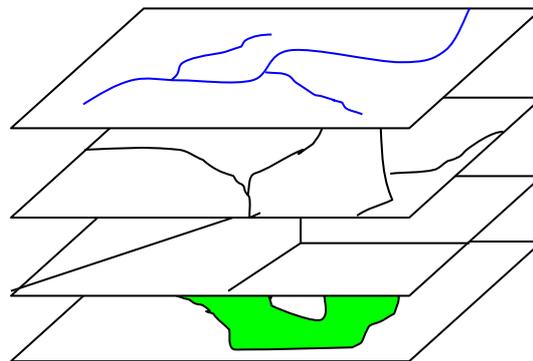


FIGURA 5.3 – Organização das informações em níveis

A organização das informações em níveis permite maior flexibilidade e eficiência no acesso aos dados. Nesta organização, cada nível assumirá determinadas características, que permitem identificar os elementos que estão sendo representados. Para cada nível de informação podem ser definidos os seguintes elementos: cor, espessura e tipo de traço,

para o caso de símbolos lineares. Para os símbolos de área: o tipo de traço e o tipo de preenchimento, ou textura.

5.4 - ESTRUTURAS DE DADOS

Uma estrutura de dados permite que se possa representar computacionalmente a informação espacial. As duas principais formas para representar as informações espaciais em meio digital são as estruturas de dados vetorial e matricial.

A escolha da estrutura de dados está diretamente relacionada aos tipos de manipulações que serão realizadas sobre os dados geográficos. Além disso, está relacionada ao objetivo pretendido para a carta, ou seja, o usuário observa a realidade e define quais são os elementos importantes para a sua aplicação e como devem ser representados.

Durante muito tempo utilizou-se mais a estrutura vetorial porque os métodos digitais eram similares aos métodos tradicionais e os principais dispositivos de entrada e de reprodução que existiam eram do tipo vetorial. O tamanho dos arquivos digitais com a estrutura vetorial também era muito menor quando comparado com os seus correspondentes na estrutura matricial.

Devido ao tipo de aplicação a ser desenvolvida neste curso, será dada ênfase à estrutura vetorial, visto que para a representação da planta de um imóvel rural esta estrutura é mais adequada. Deste modo, a estrutura matricial será abordada de maneira informativa.

5.4.1 Estrutura Vetorial

Na estrutura vetorial admite-se que o espaço é contínuo e coordenado. Cada fenômeno inserido neste espaço fica localizado por um par (X,Y) ou terno (X,Y,Z) de coordenadas, respectivamente nos casos $2D$ e $3D$. Tais coordenadas são referidas em relação à origem do sistema coordenado. Embora todos os fenômenos tenham dimensão $3D$, é possível se considerar que os fenômenos podem assumir uma representação: pontual, linear ou de área, em função da aplicação que se tem em mente. Na Figura 5.4 são apresentados exemplos de fenômenos topográficos tais como: marco, córrego e imóvel rural. Para estes fenômenos é possível se adotar, respectivamente, uma representação pontual, linear e de área e, no caso $2D$, tais representações se fazem por meio de um código e um par de coordenadas para o marco. Um código e uma seqüência de coordenadas para o córrego e um código e uma seqüência de coordenadas de modo que o primeiro ponto e o último ponto tenham as mesmas coordenadas.

Na Figura 5.5 é apresentado um exemplo de representação digital segundo a estrutura vetorial, em que as posições são referidas como coordenadas UTM. São destacadas duas feições topográficas uma árvore e uma edificação. A árvore é codificada como um símbolo pontual (código S – símbolo) e sua posição é expressa pelas coordenadas $(273165,10; 7506282,50; 0,00)$ enquanto que a edificação é codificada como um elemento de área (código P – polígono) e espacialmente por 5 pontos expressos por suas coordenadas UTM. Deve-se observar neste caso que o primeiro e o último ponto têm as mesmas coordenadas.

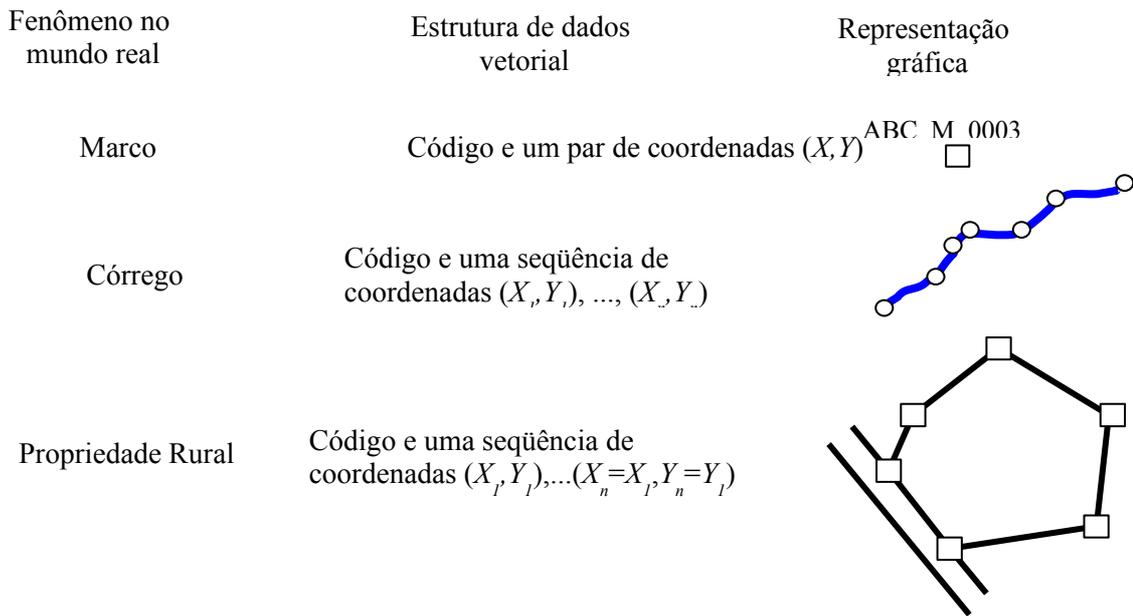


FIGURA 5.4 – Representação 2D de fenômenos numa estrutura vetorial

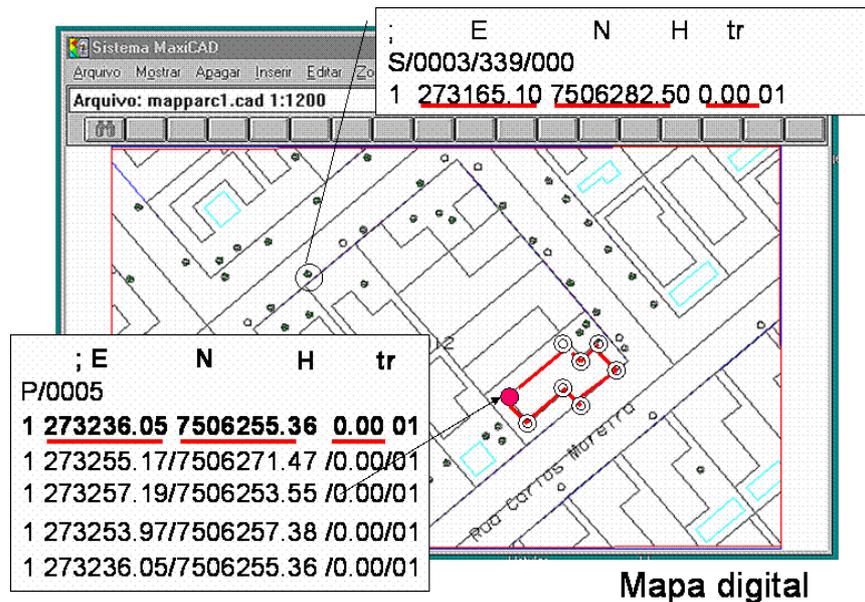


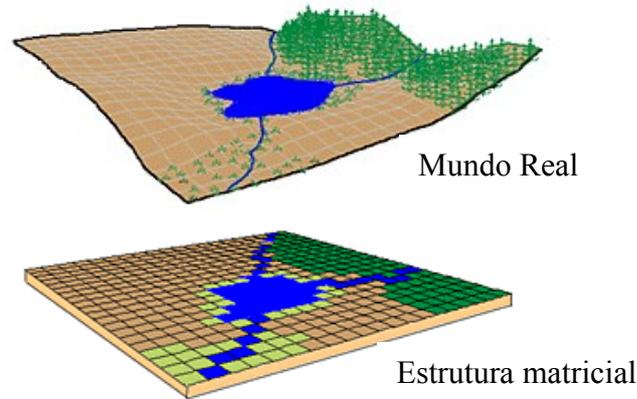
FIGURA 5.5 – Exemplo da representação de feições na estrutura vetorial

5.4.2 Estrutura Matricial

Na estrutura matricial o espaço é tido como discreto e representado como uma matriz $P(m, n)$, em que m é o número de colunas e n o número de linhas. A localização de um objeto geográfico é definida pela posição que este ocupa na matriz P . Cada célula da matriz é chamada de Pixel – *Picture Element* – e armazena um valor correspondente ao atributo estudado. Assim, o mundo real representado na Figura 5.6 quando representado por uma estrutura matricial é subdividido numa matriz de células. Cada célula assume um valor que representa o objeto geográfico no mundo real. Por exemplo, as células com cor

azul representam as feições da hidrografia enquanto as células em verde representam as feições de vegetação.

FIGURA 5.6 – Representação dos elementos na estrutura matricial



O tamanho da célula define a resolução espacial da matriz, que é a relação entre a área da célula na matriz e a área representada no terreno. Quanto maior o tamanho da célula menor será a resolução espacial e vice-versa.

Na estrutura matricial a representação dos elementos ponto, linha e área ocorre em termos das células da matriz. Por exemplo, a representação de uma feição pontual pode ser feita por uma única célula, ou por um conjunto de células, dependendo da resolução da matriz. As feições lineares são representadas por um conjunto de células agrupadas segundo uma determinada direção. A representação de elementos de área é feita por um aglomerado de células que têm o mesmo atributo.

No caso das feições lineares e dos polígonos, a resolução da imagem introduz um “serrilhado” na imagem, como pode ser observado na Figura 5.7. Nesta Figura, ilustra-se um elemento do mundo real, sobre o qual é colocada a matriz de células. Nesta matriz, nas posições onde existe informação o pixel é representado em preto, enquanto que as células sem informação são representadas em branco.

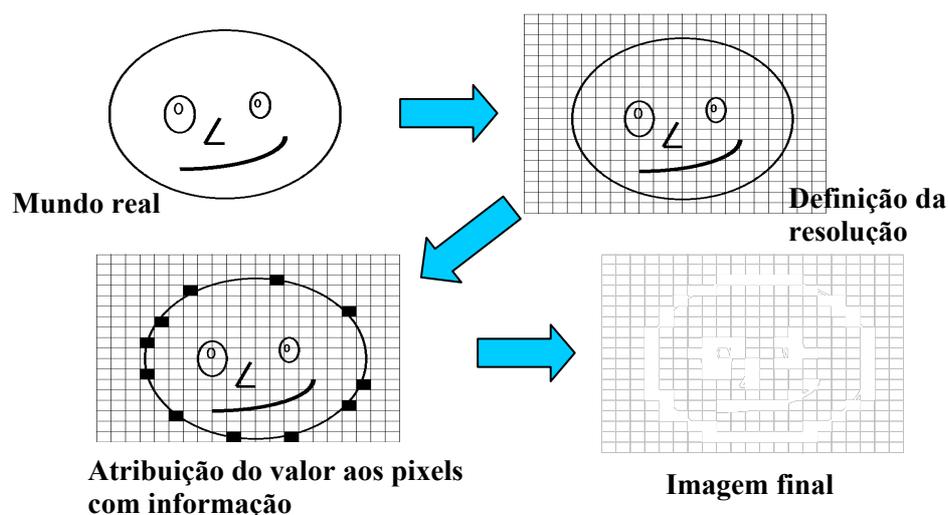


FIGURA 5.7 – Representação na estrutura matricial

Fonte: Adaptado de Burrough (1986)

Pode-se então, fazer a comparação da representação de um mesmo elemento nas duas estruturas, como mostra-se na Figura 5.8.

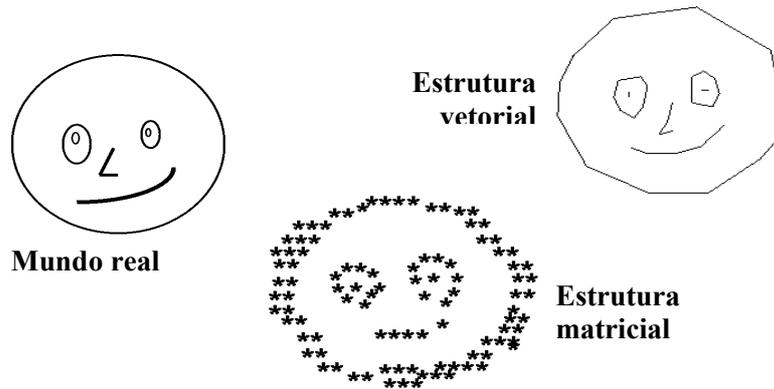


FIGURA 5.8 – Representação vetorial e matricial de uma mesma feição
 Fonte: Adaptado de Burrough (1986)

5.5 - FORMAS PARA AQUISIÇÃO DA INFORMAÇÃO

Os programas CAC dispõem de várias formas para coletar a informação geográfica. As mais usuais são a digitalização de mapas, a importação de arquivos existentes e a entrada de dados via teclado.

5.5.1 Digitalização

Quando os dados espaciais estão representados em cartas topográficas, sobre suporte de papel, para que estes possam ser utilizados em sistemas de informação geográfica é preciso, primeiramente, convertê-los e estruturá-los segundo algum formato digital. Devido a enorme quantidade de cartas topográficas existentes, ainda hoje, a Divisão de Cartografia do IBGE e a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército vêm conduzindo as tarefas de digitalização do mapeamento topográfico sistemático. Entretanto, nem sempre o que um certo usuário necessita é apropriado ou está disponível para aquisição. Assim, o usuário tem que contratar uma empresa especializada em digitalização, ou então, o próprio usuário tem que se capacitar para realizá-la. O processo de conversão dos dados representados nas cartas topográficas para um formato digital é chamado de *digitalização* e existem três métodos: digitalização manual; digitalização semi-automática; e escanerização (*scanning*).

5.5.1.1 Digitalização manual

Provavelmente, a digitalização manual é o processo mais aplicado para conversão de cartas em suporte de papel, para um formato digital. O dispositivo de digitalização usado é a *mesa de digitalização*, que é um equipamento relativamente barato. A mesa de digitalização é composta por duas partes principais: a estrutura plana de digitalização e o cursor de digitalização. Para ser operada deve estar conectada a um computador e neste deve haver um programa do tipo CAC que oriente o processo de digitalização.

A estrutura plana de digitalização é constituída, internamente, por uma malha fina de fios que é capaz de criar um campo elétrico-magnético. O cursor da mesa também produz um campo eletromagnético. A interação entre estes campos permite determinar a

posição do cursor a cada instante, que traduz-se em termos de coordenadas retangulares. Esta estrutura plana de digitalização pode ser encontrada em tamanhos distintos, mas a área útil para digitalização segue, normalmente, os padrões $A0$, $A1$, $A2$ e $A3$. Na Figura 5.9 estão representadas mesas de digitalização, com um detalhe esquemático dos fios internos.

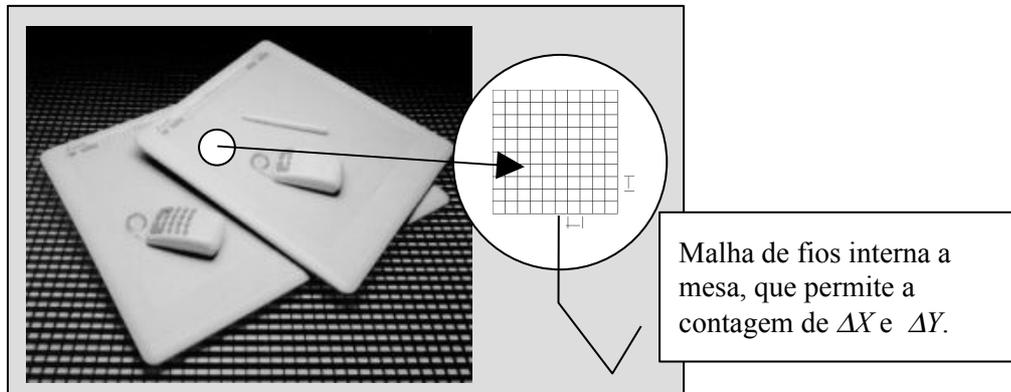


FIGURA 5.9 – Mesa digitalizadora

O cursor de digitalização permite também que sejam introduzidos comandos através de um conjunto de teclas próprias do cursor. Por exemplo, estes comandos são para informar ao programa CAC que está se iniciando ou terminando um processo de digitalização, ou então, para informar ao programa CAC que grave uma feição digitalizada. Estes comandos podem ser também introduzidos através do teclado do computador. Além disso, o cursor possui um visor com pontaria para seguir as feições a serem digitalizadas. Na Figura 5.10 ilustra-se o cursor da mesa com a indicação da função dos botões.

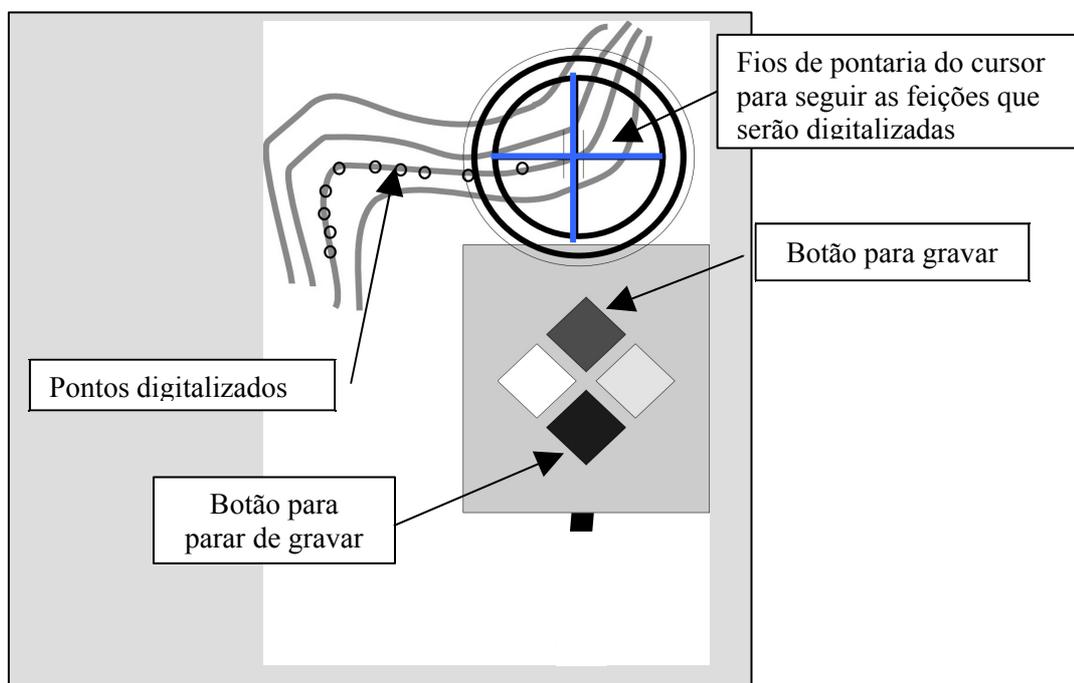


FIGURA 5.10 – Cursor da mesa digitalizadora

Para realizar a digitalização de uma carta, inicialmente deve-se fixá-la sobre a estrutura plana de digitalização, o que deve ser feito com o auxílio de alguma fita adesiva.

É importante que esta etapa seja conduzida com todo cuidado possível para evitar principalmente, a formação de dobras sobre a carta. No programa CAC é criado o arquivo digital que receberá as informações a partir da digitalização. Nesta etapa devem ser informadas a escala da carta, o sistema de coordenadas, a projeção cartográfica, as coordenadas do limite da área da carta, e devem ser criados os níveis de informação que serão necessários para digitalização das feições topográficas.

O passo seguinte é fazer a orientação da carta, que consiste em estabelecer os parâmetros (ou coeficientes) que transformam as posições medidas com a mesa de digitalização, que estão no sistema de coordenadas planas da mesa, para posições referidas a algum sistema de coordenadas terrestres. Para isto, medem-se sobre a carta ao menos 4 pontos cujas coordenadas terrestres sejam conhecidas. É comum nesta operação se utilizar alguns dos pontos da malha de coordenadas da carta, porque estes são facilmente identificados e têm coordenadas terrestres conhecidas. Na Figura 5.11 apresenta-se esquematicamente este procedimento. Os pontos P_1 , P_2 , P_3 e P_4 são os pontos de orientação, ou seja, pontos que possuem coordenadas conhecidas em ambos os referenciais. A partir deste procedimento, para toda posição ocupada pelo cursor sobre a carta corresponderá uma posição no referencial terrestre. Realizada a operação de orientação da carta, então é possível digitalizar as feições representadas sobre esta, como é ilustrado na Figura 5.12.

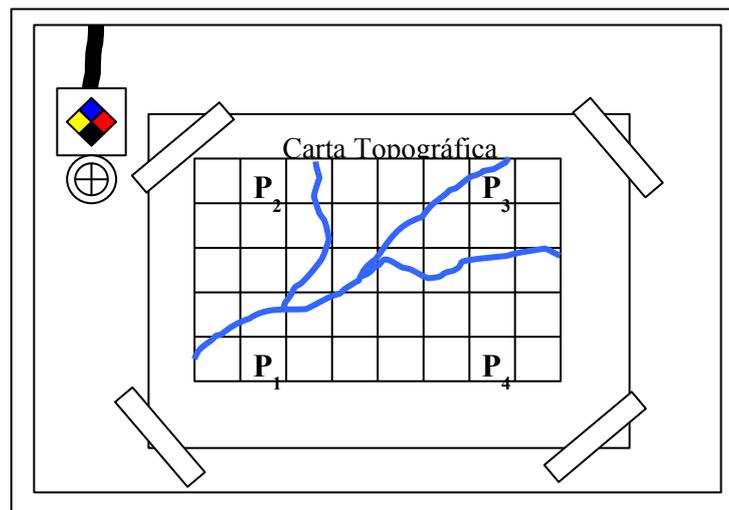


FIGURA 5.11 – Esquema para orientação do mapa sobre a mesa digitalizadora

Todas as feições digitalizadas são armazenadas sob a forma de pontos, linhas e áreas. Os pontos receberão um símbolo próprio, de modo a identificá-los com a feição correspondente do mundo real, como postes, árvores, marcos, etc. As feições lineares serão representadas por seqüências de pontos que se conectam, com uma cor específica, espessura e tipo de traço. As áreas serão definidas por um polígono fechado com ou sem um preenchimento simbólico, uma textura própria.

Para a entrada dos dados na mesa digitalizadora existem dois métodos: digitalização ponto a ponto e digitalização contínua. No primeiro caso, o operador segue com o cursor a feição desejada e insere os pontos clicando sobre o cursor o botão de gravar. Desta forma, são armazenados apenas os pontos relevantes das feições, que são escolhidos pelo operador.

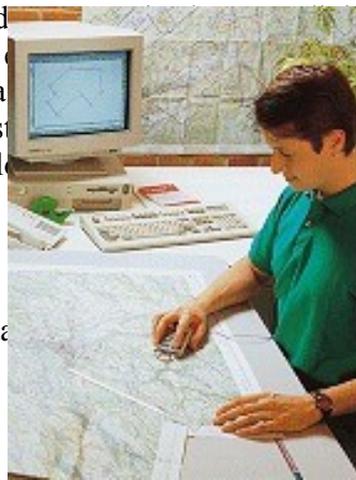


FIGURA 5.12 – Digitalização de uma carta topográfica com mesa de digitalização

No caso da digitalização por fluxo contínuo o operador segue com o cursor a feição a ser digitalizada e o programa armazena as coordenadas dos pontos a medida que o cursor se desloca de um certo valor do último ponto digitalizado. O valor da distância entre os pontos digitalizados pode ser arbitrada pelo operador, mas deve ser compatível com o objetivo da carta que está sendo digitalizada. Este modo de digitalização é mais apropriado quando as feições lineares que serão digitalizadas são irregulares (por exemplo, curso de um rio ou curvas de nível).

Erros de digitalização manual

É normal que durante o processo de digitalização se cometam alguns erros, sendo os mais comuns: digitalização duplicada da mesma feição; conexão inapropriada de feições lineares que se bifurcam; feições lineares que são contínuas, mas que estão segmentadas; e feições lineares que deveriam se conectar suavemente, mas não se conectam. Outros tipos de erros que podem ocorrer estão relacionados com a capacidade do operador de manter o cursor sobre a feição digitalizada. Entretanto, este é mais difícil de detectar e quase sempre é negligenciado. O importante se tentar eliminar os possíveis erros durante o processo de aquisição dos dados, porque, posteriormente, isto se torna muito mais difícil, tanto para detectar, como para corrigir.

a) Digitalização duplicada da mesma feição

É possível que durante o processo de digitalização manual, alguma feição, ou parte desta, seja digitalizada duas ou mais vezes, como exemplificado na Figura 5.13. Isto pode ser detectado quando se faz uma avaliação visual detalhada no próprio monitor, ou então sobre uma impressão produzida para este fim. Existe uma alternativa que é usar um programa para detectar feições duplicadas.

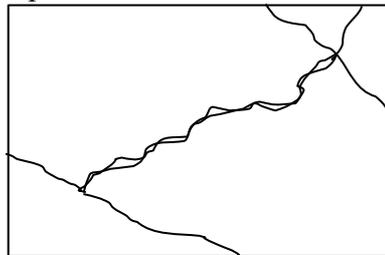


FIGURA 5.13 - Digitalização duplicada da mesma feição

b) Conexão inapropriada de feições lineares que se bifurcam

Este tipo de erro ocorre quando existe uma conexão exata entre dois ou mais elementos lineares. Entretanto, durante a digitalização o operador não consegue parar exatamente no ponto de conexão, ou seja, o último ponto digitalizado fica aquém ou além do ponto de conexão, como é mostrado nas Figuras 5.14a e 5.14b.

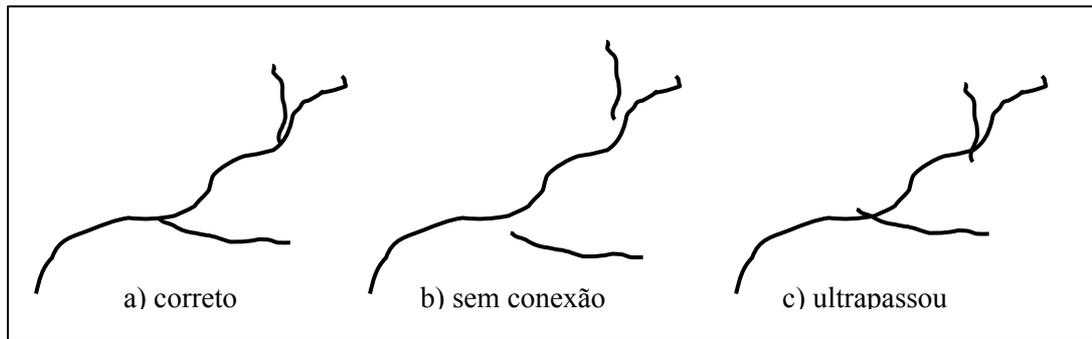


FIGURA 5.14 - Conexão inapropriada para feições que são bifurcadas

c) Feições lineares que são contínuas, mas que estão segmentadas

Este tipo de erro é comum quando a feição a ser digitalizada é extensa e o operador durante o processo de digitalização tem de iniciar várias vezes a sua digitalização. O operador, visualmente, não consegue detectar este tipo de erro, mas com o auxílio de alguma função para selecionar e destacar uma feição, sobre o monitor, isto é, facilmente, identificado e corrigido. Somente para poder exemplificar este tipo de erro, fez-se um realce representando as partes segmentadas da mesma feição com espessuras que se alternam, na Figura 5.15.

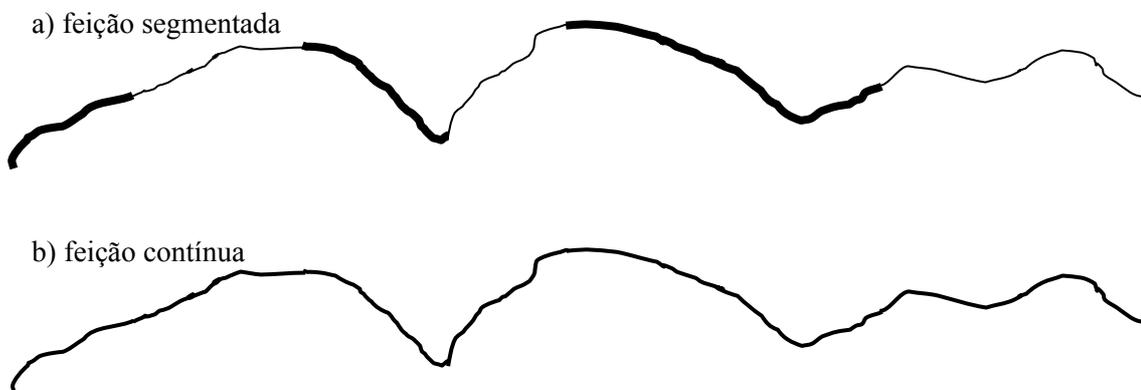


FIGURA 5.15 - Feição que está segmentada, mas que deve ser contínua

d) Feições lineares que deveriam se conectar suavemente

Este tipo de erro ocorre principalmente nas regiões de limites entre cartas adjacentes, mas que foram digitalizadas separadamente, como exemplificado na Figura 5.16.

No caso de feições que são representadas como elementos de áreas é necessário que estas áreas estejam realmente fechadas e, para isto, tem-se que forçar que o ponto inicial e o ponto final da área tenham as mesmas coordenadas. Normalmente, os programas CAC têm funções específicas para realizar esta operação, assim como as operações de edição para corrigir os erros de digitalização.

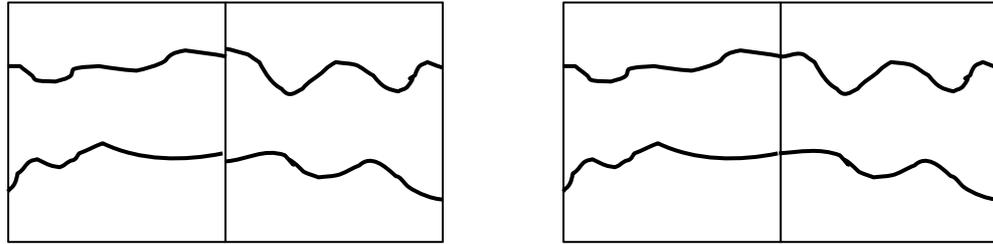


FIGURA 5.16 - Feições lineares que deveriam se conectar suavemente, mas que estão deslocadas

5.5.1.2 Digitalização semi-automática

Em virtude de esforço e do tempo despendido no processo de digitalização manual foi desenvolvido um processo de digitalização chamado de digitalização semi-automática, porque utiliza algoritmos para a identificar, automaticamente, feições topográficas, em particular as feições lineares. Entretanto, todo o processo de tomada de decisão é realizado por um operador. Por exemplo, as tomadas de decisão são para informar ao programa o ponto de partida e a direção para iniciar a digitalização, ou então, para informar qual a direção a ser seguida num caso de bifurcação do elemento digitalizado, que é uma situação de ambigüidade.

O processo de digitalização semi-automática se realiza em três etapas. Na primeira etapa é feita a escanerização de toda a carta topográfica gerando assim uma imagem matricial, ou *raster*. Para isto, é utilizado um dispositivo próprio chamado escaner (*scanner*). Este dispositivo faz a varredura da carta gerando uma matriz de valores, representada como uma estrutura matricial. Na segunda etapa, a imagem matricial da carta topográfica é visualizada sobre um monitor e utiliza-se um programa próprio que tem a função de seguir linhas sobre a imagem. Para cada linha digitalizada é gerada uma representação vetorial semelhante à digitalização manual. Em função disto é comum se denominar esta etapa de vetorização. A última etapa então consiste em se fazer o georreferenciamento dos elementos vetorizados usando-se para tanto pontos de controle.

Todo o processo de digitalização deve ser supervisionado por um operador experiente que possa interagir com o sistema quando surgem situações de ambigüidade (pontos de bifurcação) e para indicar o início o término da digitalização de uma feição. A eficiência deste método é inversamente proporcional à frequência com que o operador tem que interagir com o programa de digitalização. Desse modo, a situação ideal para aplicação deste método é aquela em que se têm somente linhas que não se interceptam, por exemplo, curvas de nível.

5.5.1.3 Escanerização

Este método de digitalização é voltado para representar um documento cartográfico por meio de uma estrutura matricial. A partir de uma análise algorítmica dos valores de pixels da matriz que representa a imagem da carta, tenta-se identificar as feições topográficas e derivar automaticamente as suas representações segundo estruturas vetoriais. A utilização deste método exige o uso de programas computacionais sofisticados para reconhecimento de padrões e os resultados satisfatórios que são obtidos ainda estão restritos a alguns tipos de feições topográficas não sendo, portanto, aplicado de forma genérica para a digitalização de cartas. Para tentar exemplificar de maneira simples este método, pode-se fazer um paralelo com a digitalização de documentos textuais, que hoje é

bastante comum, mas que quando aplicado aos documentos cartográficos apresenta ainda problemas.

5.5.1.4 Entrada de dados via teclado

Considerando que o levantamento de uma propriedade rural pode ser realizado utilizando métodos topográficos ou GPS, é relevante destacar a entrada de dados por meio da digitação das coordenadas dos pontos que definem a propriedade. Desde que o programa CAC disponha desta opção os dados podem ser inseridos de 3 maneiras: azimute e distância, coordenadas Planas e coordenadas Geográficas.

5.5.1.5 Entrada de dados via importação de dados

Uma possibilidade muito utilizada em cartografia digital é a simples importação de arquivos, que foram gerados por outros programas. Estes arquivos devem estar estruturados de acordo com algum formato padrão, ou então se utiliza algum conversor de formato para adequar os dados para serem utilizados com um certo programa. Exemplos de formatos utilizados para armazenar os dados espaciais: *DXF* (formato AutoCAD), *DGN* (formato MicroStation), *DWG* (formato AutoCAD) e *MAX* (formato MaxiCAD). Normalmente, é possível dispor os dados espaciais como arquivos texto.

5.6 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Após o arquivo digital estar pronto, o que significa que foram verificados e corrigidos os possíveis erros, deve-se prepará-lo para impressão. A impressão pode ser executada diretamente a partir do próprio programa CAC por meio de um *plotter* (Figura 5.17). Devido ao alto custo dos *plotters* é comum hoje em dia, se utilizar os serviços de empresas especializadas em impressão de plantas topográficas. Para isto, gera-se um arquivo com a extensão *PLT*, que permite que se faça a impressão do arquivo gráfico a partir de um computador que tenha um *plotter* associado, mas que não possua o programa CAC específico que foi utilizado para gerar a saída gráfica. Neste caso, no momento da geração do arquivo *PLT* devem ser especificadas todas as características para impressão, por exemplo, cores dos níveis e espessuras dos traços e o tipo de *plotter* que será utilizado para imprimir.



FIGURA 5.17 – Exemplo de *plotter* usado para impressão da carta topográfica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARC/View User's Guide - Map Projections & Coordinate Systems, Environmental Systems Research Institute, 2001.
- BERTIN, J. **SEMIOLGY OF GRAPHICS Diagrams Networks Maps**. The University of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin, EUA. 1983. Edição traduzida para a língua inglesa. 415p.
- BRASIL – Ministério do Exército – Divisão do Serviço Geográfico do Exército (DSG). **MANUAL TÉCNICO T34-700 Convenções Cartográficas (1ª parte) Normas para o Emprego de Símbolos**, 2ª ed., 1998.
- BRASIL – Ministério do Exército – Divisão do Serviço Geográfico do Exército (DSG). **MANUAL TÉCNICO Convenções Cartográficas (2ª parte) Catálogo de Símbolos**, 2ª ed., 2000.
- BRITANNIA - News Report on the **Medieval World Maps Exhibition in Hereford** by Margaret Johnson. <www.britannia.com/history/herefords/mm-exhib.html>. Acessado em 2004.
- CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas, São Paulo. Instituto de Computação, UNICAMP. 1996.
- CANTERS, F. **Small-scale Map Projections**. 1. Ed. London: Taylor & Francis, 2002.
- Clarke, K. C. **Analytical and Computer Cartography**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1990.
- DE BAKKER, M.R.P. **Cartografia - Noções Básicas**. Marinha do Brasil. Rio de Janeiro, 1965.
- DENT, B. D. **CARTOGRAPHY Thematic Map Design**. WCB McGraw-Hill. Nova York, EUA. 1985. 1ª ed.
- DENT, B. D. **CARTOGRAPHY Thematic Map Design**. WCB McGraw-Hill. Nova York, EUA. 1999. 5ª ed. 417p.
- EMBRATUR – Instituto Brasileiro do Turismo. **Galeira de Imagens**. <www.embratur.gov.br/br/galeria-imagem/index.asp>. Acesso em 2004.
- FJP – Fundação João Pinheiro e IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. **ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO DO BRASIL**. 2003.
- FRIEDMANN, R. M. P. **FUNDAMENTOS DE ORIENTAÇÃO, Cartografia e Navegação Terrestre**. Pro Books Editora. Curitiba, Paraná, Brasil. 2003.365p.
- GEMAEL, C. **Sistemas de Projeção**. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Curitiba, 1976.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento Topográfico**. <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 2004
- JONES, C.B. **Geographical Information Systems and Computer Cartography**. 1. Ed. Essex: Addison-Wesley Lonman Limited, 1997.
- KEATES, J. **CARTOGRAPHIC DESIGN AND PRODUCTION**. Longman. Nova York. 1973. 1ª ed. 240p.

KEATES, J. **CARTOGRAPHIC DESIGN AND PRODUCTION**. Longman. Nova York. 1988. 2ª ed. 261p.

KRAKIWSKY, E.J. Conformal Map Projections in Geodesy. Department of Surveying Engineering. University of New Brunswick. Fredericton, 1973.

MACEACHREN, A. **SOME TRUTH WITH MAPS: a primer in symbolization & design**. Washington, D.C.: Association of American Geographers, 129p. 1994a.

MACEACHREN, A. **HOW MAPS WORK Representation, Visualization, and Design**. The Guilford Press. Nova York, EUA. 1995. 513p.

MALING, D.H. **Coordinate Systems and Map Projections**. London, 1980.

NADAL, C.A. Sistemas de Referência. Curso de Especialização em Geotecnologias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

NRC - Natural Resources Canada. <atlas.gc.ca/site/english/index.html#> acessado em 2004

PETERSON, M. **INTERACTIVE E ANIMATED CARTOGRAPHY**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nova Jersey, EUA. 1995. 257p.

RAISZ, R. **GENERAL CARTOGRAPHY**. McGraw-Hill Book Company. Nova York, EUA. 1948. 2ª ed. 354p.

RICHARDUS, P. & ADLER, R.K., **Map Projections for Geodesists, Cartographers and Geographers**. 1. Ed. North-Holland Publishing Company, Amsterdã, 1972.

ROBBI, C. **Sistema para Visualização de Informações Cartográficas para Planejamento Urbano**. Tese de doutorado apresentada e defendida no Curso de Computação Aplicada, INPE. Março, 2000.

SIMIÉLI, M.E. e DE BIASI, M. **ATLAS GEOGRÁFICO ESCOLAR**. Editora Ática. São Paulo, São Paulo. 1999. 31ª ed.

SLOCUM, T. A. **THEMATIC CARTOGRAPHY AND VISUALIZATION**. Prentice Hall. Nova Jersey, EUA. 1999. 293p.

SNYDER, J.P. Computer Assisted Map Projections Research. United States Geological Survey, Bulletin 1629.

SSC – Swiss Society of Cartography. **CARTOGRAPHIC GENERALIZATION Topographic Maps**. Enschede, Holanda. 1975. 61p.

TAYLOR, F. Perspectives on visualization and modern cartography. In: MACEACHREN, A; TAYLOR, F. **Modern Cartography: visualization in modern cartography**. Vol.2, 1ª ed. Oxford: Pergamon Press, 1994, 354 p., p.333-341.

THROWER, N. J. W. **MAPS & MAN: an examination of Cartography in relation to culture and civilization**. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, Nova Jersey, EUA. 1972. 184p.

USGS – United States Geological Survey. <<http://mapping.usgs.gov>> acesso 2004.

VIEIRA, A. J. B.; OLIVEIRA, L. C. de. Textos Didáticos: conceitos importantes para Cartografia Digital. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática. 2001.

VIEIRA, A. J. B.; DELAZARI, L. S. Fundamentos em GIS. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática. 2004. Apostila produzida para apoiar as aulas didáticas do Curso de Extensão em Geotecnologias.

<http://www.mapmathematics.com/Essentials/Essentials.html>

<http://www.geometrie.tuwien.ac.at/karto/index.html#14>

http://www.ilstu.edu/microcam/map_projections/Conic.html

<http://www.ualberta.ca/~norris/navigation/Mercator.html>

http://exchange.manifold.net/manifold/manuals/5_userman/mfd50Space_Oblique_Mercator.htm

<http://www.geometrie.tuwien.ac.at/karto/>

http://exchange.manifold.net/manifold/manuals/5_userman/mfd50Universal_Transverse_Mercator_UT.htm