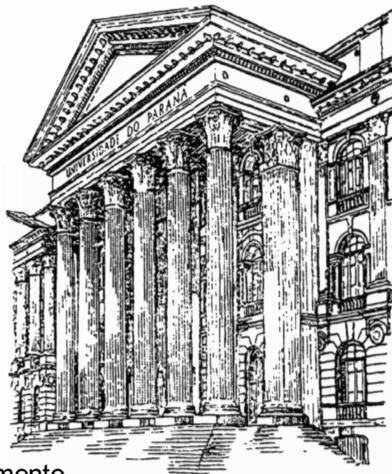


Antônio José Berutti Vieira

Leonardo Castro de Oliveira

Textos didáticos: conceitos importantes de Cartografia Digital



Departamento
Geomática

Setor
Ciências Terra

Curitiba - 2001

Vieira, Antônio José Berutti e Oliveira, Leonardo Castro de.

Textos didáticos: conceitos importantes de Cartografia Digital / Antônio José Berutti Vieira e Leonardo Castro de Oliveira. -- Curitiba : Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciência da Terra, Departamento de Geomática, 2001.

34p. : il.

1. Mapeamento digital. 2. Material didático. 3. Cartografia.

I. Título.

CDD 20 526

Prefácio

Esta publicação faz parte da série denominada "Textos didáticos" cujos subtítulos são relacionados com tecnologias e métodos utilizados no processo de produção cartográfica. A atual reedição foi motivada primeiramente pelo conjunto de sugestões que me foram encaminhadas, pelo meu desejo de aprimorar as ilustrações e também em resposta as considerações de apoio que recebi por ter iniciado este projeto. Entretanto, o que gostaria de destacar é que o maior incentivo para mim foi a salutar troca de idéias - as vezes um tanto quanto demorada, e nem sempre "fácil" - com o professor - e particular amigo - Leonardo¹, além dele ter aceito o desafio de dividir comigo a co-autoria deste e de outros volumes desta série. Mais uma vez, reafirmamos o nosso pedido de sugestões e contribuições que possam aprimorar este material (e-mail: aberutti@ufpr.br ou e-mail: leonardo@aquarius.ime.eb.br).

2ª edição, 2001

Antônio José Berutti Vieira

¹ Leonardo Castro de Oliveira é professor do Departamento de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. No IME é participante da Linha de Pesquisa Modelagem e Representação Terrestre, tendo como áreas de interesse a Geodésia e a Cartografia.

Notas do autor

Esta publicação faz parte da série denominada "Textos didáticos" cujos subtítulos são relacionados com tecnologias e métodos utilizados no processo de produção cartográfica. O que inspirou este trabalho foi a falta de publicações nacionais que apresentassem de forma simples e ilustrada tais assuntos. A primeira experiência que tive neste sentido foi na elaboração de material didático para as diferentes disciplinas que ministrei durante estes 20 anos junto ao Curso de Engenharia Cartográfica e mais recentemente junto ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Um outra experiência que também contribuiu para a realização deste trabalho foram os mini-cursos que ministrei para profissionais interessados em Cartografia e Sistemas de Informação Geográfica. Na realidade, tenho consciência do grande desafio que é se chegar a um Livro Texto, assim a minha intenção agora é produzir textos que possam servir, primeiramente, como elemento introdutório, tanto para os alunos do curso de engenharia cartográfica como para aqueles profissionais que desejam conhecer ou se atualizar no assunto. E, tão logo quanto possível, tenho a intenção de estender este material com textos complementares e mais avançados. Na oportunidade, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma ajudaram para a conclusão deste trabalho e, em especial, ao amigo e colaborador Hideo Araki. Desde já, peço que me encaminhem (e-mail: aberutti@ufpr.br) quaisquer contribuições ou sugestões que possam aprimorar este material.

1ª edição, 2000

Conteúdo

Introdução	01
Referencial terrestre e elipsóide de referência	02
Projeção cartográfica	04
Articulação sistemática dos mapas topográficos	08
Conceito sobre escala	14
Distorção de escala	16
Projeções	17
<i>Grade retangular de coordenadas</i>	<i>18</i>
<i>Projeção Transversa de Mercator</i>	<i>18</i>
<i>Projeção UTM (Universal Transverse Mercator)</i>	<i>19</i>
Tipos de informação num mapa	20
Símbolos cartográficos	22
Tipos de variações gráficas	23
Estruturas de dados	27
Dispositivos de coleta e visualização de dados	33
Bibliografia	37

Introdução

Uma vez que tenha sido caracterizado o objetivo de um mapa, a sua produção se inicia com a definição do referencial terrestre e do modelo matemático que irá modelar a superfície terrestre, normalmente chamado de superfície de referência. Tanto o referencial como a superfície de referência são resolvidos a partir de estudos geodésicos e gravimétricos que são realizados para cada país. No caso brasileiro, ainda está em vigor o referencial terrestre conhecido pela sigla SAD 69 (*South American Datum* 1969) e como superfície de referência o elipsóide (Tabela 1, pg3).

Em seguida, tem-se que escolher uma projeção cartográfica que seja compatível com os objetivos do mapa, de modo a minimizar as distorções que ocorrem quando se transforma de uma superfície curva para uma superfície plana, o mapa. Escolhida a projeção cartográfica, pode-se desenhar a malha geográfica, que é formada pelas transformadas de paralelos e meridianos. Para se desenhar estas transformadas, são usadas equações analíticas específicas da projeção cartográfica. Para os mapas topográficos em escalas maiores do que 1/250.000, a projeção cartográfica adotada, no Brasil, é a UTM (*Universal Transverse Mercator*).

Desenhada a malha geográfica, o passo seguinte é preenchê-la com os detalhes de levantamento da superfície terrestre. Isto normalmente é feito tendo por base tecnologias fotogramétricas de levantamento.

Visando a apresentação e comunicação por meio de símbolos cartográficos se realiza o projeto dos símbolos cartográficos. Para isto,

são realizadas ordenações e classificações de todas as feições topográficas que irão compor o mapa. Para se concluir os trabalhos é apropriado que se realize os testes de campo para avaliar se o produto gerado atende realmente aos requisitos estabelecidos para o objetivo do mapa.

Referencial terrestre e elipsóide de referência

Do ponto de vista prático, o referencial terrestre, realizado pelo conjunto de vértices geodésicos e referências de nível, tem a finalidade de permitir que se faça a localização espacial de qualquer feição ou entidade sobre a superfície terrestre. Assim, a posição do elipsóide de referência e a sua orientação em relação a este referencial tem de ser estabelecidos. A forma indireta de se informar sobre o referencial terrestre e a atitude do elipsóide é se explicitar o datum horizontal e o datum vertical.

Uma vez que o elipsóide de referência tenha sido espacialmente referenciado, utiliza-se a sua superfície como referência para as coordenadas planimétricas. Neste caso, 2 parâmetros são importantes: o semi-eixo maior (a) e achatamento (f). Nos mapas topográficos mais antigos, está transcrito que o datum horizontal é Córrego Alegre. Nos mapas mais atuais é informado que o **datum** horizontal é SAD 69. A observação que se deve fazer é que Córrego Alegre é o nome do vértice da rede geodésica horizontal que foi utilizado como referência para os cálculos dessa rede. Posteriormente, toda a rede geodésica foi recalculada devido a mudança de datum, e neste caso foi utilizado o vértice chamado Chuá, ambos localizados em Minas Gerais. No primeiro caso, o elipsóide de referência adotado foi o de Hayford, enquanto no segundo caso, foi um elipsóide que tem por base o elipsóide

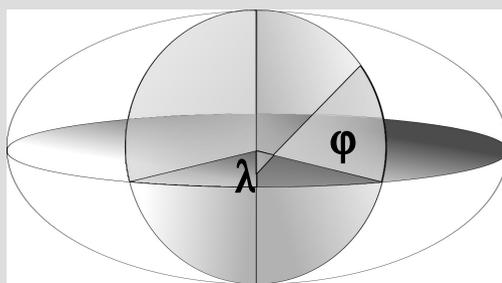
Internacional recomendado em um encontro científico internacional em 1967 (Tabela 1).

Tabela 1 Datum e elipsóide

Datum horizontal	Vértice	Elipsóide	Semi-eixo maior (a)	Achata- mento (f)
Córrego Alegre	Córrego Alegre	Hayford	6.356.388	1/297
SAD-69	Chuá	Internacional 67	6.378.160	1/298,25

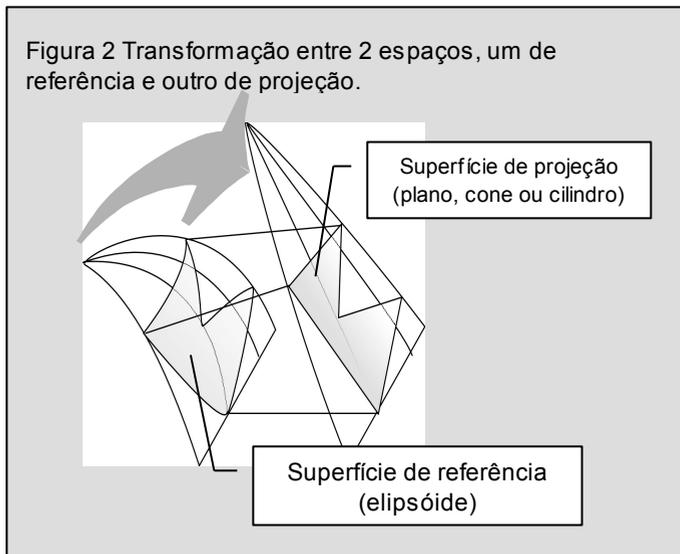
Para que se possa caracterizar uma posição sobre a superfície de referência é necessário que se estabeleça a origem do sistema e se conheça as coordenadas (ϕ , λ) dessa posição. Como a superfície de referência neste caso é um elipsóide, tem-se um sistema de coordenadas elipsoidais (Figura 1).

Figura 1 Sistema de coordenadas elipsoidais, superfície de referência elipsóide.



Projeção cartográfica

Projeção cartográfica é uma função matemática que é usada para se transformar os elementos que estão sobre uma superfície de referência, normalmente um elipsóide ou uma esfera, para uma superfície de projeção, que deve ser uma superfície plana, ou então desenvolvível numa superfície plana (por exemplo um cone ou um cilindro). Então, matematicamente falando, uma projeção cartográfica é uma transformação entre 2 espaços, um chamado de superfície de referência e o outro chamado superfície de projeção (Figura 2).



O problema que existe quando se aplica uma projeção cartográfica são as inevitáveis distorções devido a transformação de elementos da superfície de referência, com uma certa curvatura, para a

Conceitos importantes de Cartografia Digital

superfície de representação, que é uma superfície plana, ou desenvolvível, mas sem curvatura. A consequência disto é que sempre ocorrerá algum grau de distorção das propriedades representadas. Neste sentido, é possível se avaliar a distorção dessas propriedades em termos dos seguintes critérios:

- a) Eqüidistância;
- b) Eqüivalência e
- c) Conformidade (ou ortomorfismo).

Assim a projeção eqüidistante é aquela que representa corretamente sobre a superfície de projeção a distância entre 2 pontos que estão sobre a superfície de referência, de modo que a escala é mantida (fator de distorção igual a 1) ao longo da linha que une estes pontos. Contudo, isto está restrito para pontos específicos sobre a superfície de referência e não significa uma propriedade que se aplique para quaisquer 2 pontos.

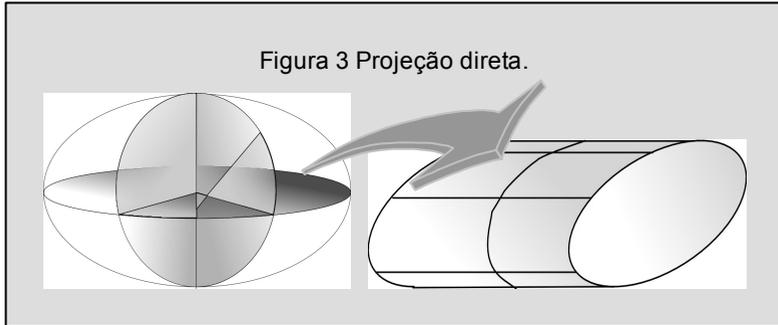
A projeção equivalente é aquela para a qual se preserva o valor da área representada a partir da superfície de referência. Para tanto, as distâncias e os ângulos são distorcidos.

A projeção conforme (ou ortomórfica) é aquela onde é preservada a forma, ou seja os ângulos não são distorcidos. Entretanto, esta propriedade não é válida para áreas de dimensões muito grandes.

No que diz respeito ao método de projeção é possível se identificar 2 tipos que são:

- a) projeção direta e
- b) projeção em 2 passos, ou projeção dupla.

Na projeção direta (Figura 3) a transformação se dá diretamente da superfície do elipsóide para a superfície de projeção (se um plano, um cone ou um cilindro). Na projeção em 2 passos, a transformação se dá primeiro do elipsóide para uma superfície esférica e desta para a superfície de projeção.



Um outro aspecto importante para se classificar uma projeção está relacionado com a sua geração. Neste sentido, destacam-se as projeções geométricas e as convencionais. As projeções geométricas são aquelas em que se usa uma técnica de projeção perspectiva, ou seja, existe uma família de linhas projetivas que passam pelo centro de projeção e atingem a superfície de projeção. Ao contrário, as projeções convencionais são aquelas que são geradas a partir de convenções estabelecidas arbitrariamente, não existindo, portanto, uma interpretação geométrica para sua construção.

No que se refere a forma de contato entre as superfícies de referência e de projeção existem dois casos possíveis:

- a) tangência e
- b) secância.

Quando a superfície de projeção é um plano, a tangência se dá em um ponto. Quando a superfície de projeção é um cone ou cilindro, a tangência se dá segundo uma linha (Figura 4). Uma maneira de aumentar o contato entre as superfícies é se usar o modo secante, que tem como consequência uma diminuição da distorção entre a área de secância. Quando a superfície de projeção é um plano, tem-se que o contato se dá sobre uma linha, e sobre 2 linhas quando a superfície de projeção é um cone ou cilindro (Figura 5).

Figura 4 Exemplos de tangência entre a superfície de referência e a de projeção.

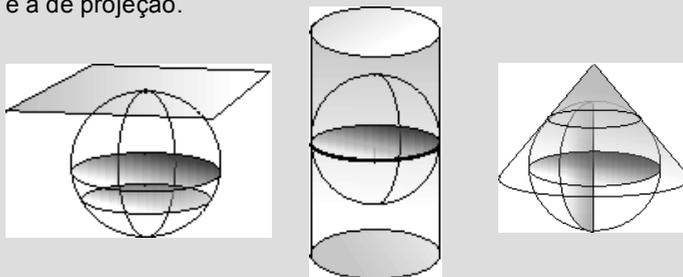
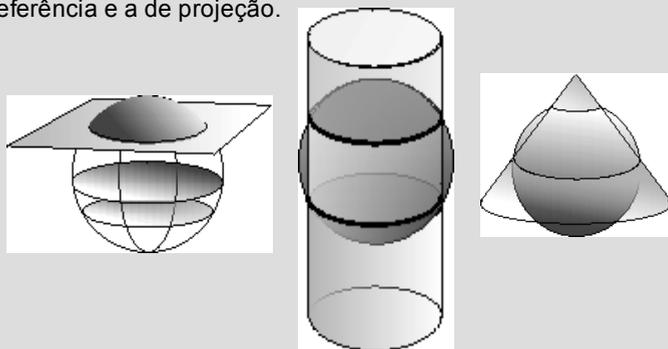


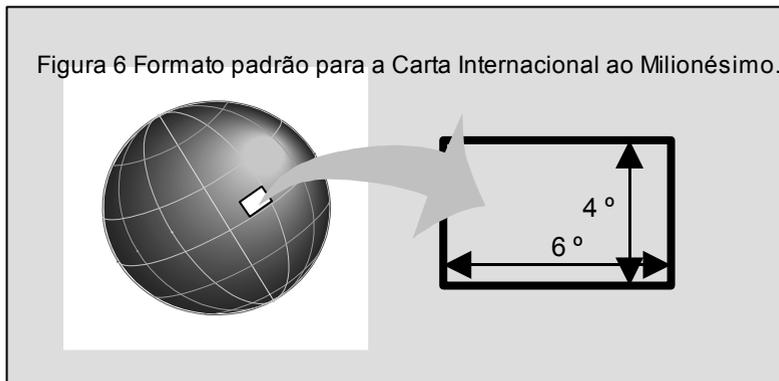
Figura 5 Exemplos de secância entre a superfície de referência e a de projeção.



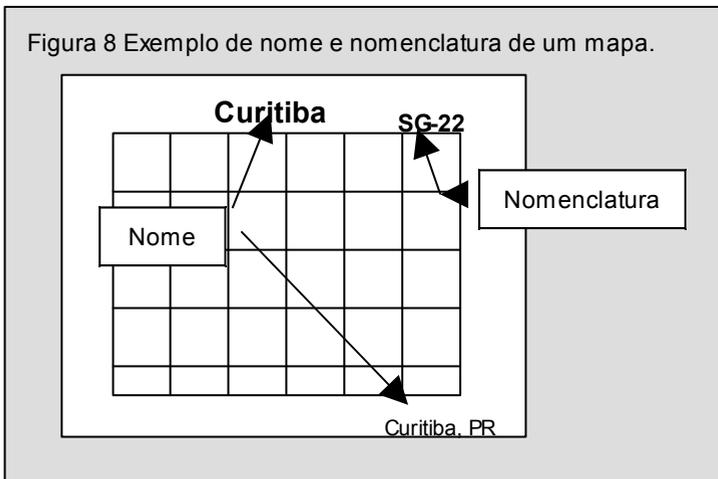
Articulação sistemática dos mapas topográficos

Série de mapas é a denominação genérica utilizada para se fazer referência ao conjunto de mapas que são produzidos para cobrir todo, ou parte, de um país. Esta série de mapas é produzida em escalas variadas, de forma sistemática e segundo especificações gerais, visando primeiramente atender as necessidades governamentais em seus diferentes níveis. Quando esta série se refere aos mapas topográficos, tem-se então o mapeamento topográfico sistemático.

Embora cada país estabeleça a série de escalas para os seus mapas, existe concordância entre as nações sobre a área coberta por um mapa topográfico na escala de 1/1.000.000, chamado de Mapa Internacional ao Milionésimo, que tem uma amplitude de 4° de latitude por 6° de longitude (Figura 6). A partir desta folha então, é feita a articulação de todo o mapeamento sistemático, em que pode-se contemplar as diferentes escalas: 1/1.000.000; 1/500.000; 1/250.000; 1/100.000; 1/50.000; 1/25.000; 1/10.000; 1/5.000; 1/2.000; 1/1.000 e 1/500 (Figura 7).



organização de mapeamento topográfico, normalmente, não o faz pelo seu nome, uma vez que o usuário, *a priori*, não deve sabê-lo. Para isto, é adotada uma nomenclatura específica, de códigos alfanuméricos, por exemplo **SG-22** (nomenclatura para escala 1/1.000.000), que pode ser gerada com relativa facilidade. Então o problema consiste em se determinar a nomenclatura da folha para uma certa escala “E”, que contenha a posição geográfica (φ , λ).



Se o mapa ao milionésimo tem uma amplitude de 4° por 6°. Então conhecendo-se as coordenadas geográficas de um ponto qualquer é possível determinar-se quais são as coordenadas dos cantos da folha ao milionésimo que contém este ponto. Por exemplo, sendo um ponto cuja coordenadas geográficas são $\varphi = -26^{\circ} 55'$ e $\lambda = -52^{\circ} 14'$, as coordenadas dos cantos da folha que contém este ponto são $[-24^{\circ}$ e $-28^{\circ}]$ e $[-54^{\circ}$ e $-48^{\circ}]$, que são, respectivamente, os valores múltiplos inteiros de 4 e de 6 mais próximos. Então, obtém-se para coordenadas

Conceitos importantes de Cartografia Digital

do canto inferior esquerdo os valores de $\varphi = -28^\circ$ e $\lambda = -54^\circ$ e, para o canto superior direito, os valores de $\varphi = -24^\circ$ e $\lambda = -48^\circ$. O passo a seguir, é determinar a nomenclatura que caracteriza o hemisfério em função do valor da latitude. Como a latitude é negativa, então o código é “S”, evidenciando que o mapa é relativo ao hemisfério sul. O segundo código é também função da latitude e caracteriza qual a zona, neste caso é “G” (Tabela 2 Códigos de Zona).

Problema para resolver:

Dada as coordenadas ($\lambda = -49^\circ 40'$, $\varphi = -23^\circ 25'$) de um ponto P, qual é a nomenclatura da carta, na escala 1/25000, que contém este ponto ?

- 1) Como o sinal da latitude é negativo o primeiro código para a nomenclatura é **S**, ou seja o ponto está no hemisfério sul.
- 2) Comparando-se o valor da latitude do ponto com os intervalos de latitude na **Tabela de Códigos de Zona**, obtém-se o código para a zona.

Para $\varphi = -23^\circ 25'$, tem-se como limites $[-20^\circ ; -24^\circ]$, então o código da zona é **F**.

Tabela 2 Códigos de Zona

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

- 3) Determinar o fuso que contém o ponto P.

Usando o seguinte algoritmo:

Se $\lambda < 0^\circ \rightarrow \lambda^* = 360^\circ + \lambda$,

Caso contrário, $\lambda > 0^\circ$, então $\lambda^* = \lambda$.

Substituindo o valor de λ fica:

$$\lambda = -49^\circ 40' < 0^\circ ,$$

então $\lambda^* = 360^\circ + (-49^\circ 40') = 310^\circ 20'$

Conceitos importantes de Cartografia Digital

a) Determinar $N = \text{int}[\text{quoc}] + 1$

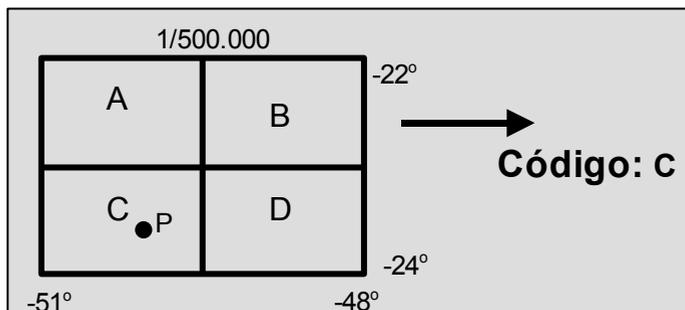
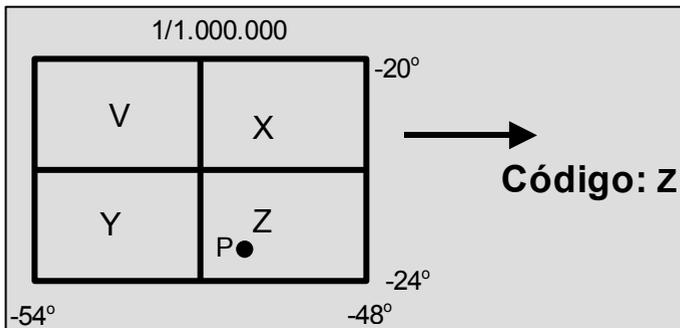
$\text{quoc} = (310,333..°) / 6° = [51,222..]$, então truncando o valor na parte inteira e adicionando 1, fica que $N = 52$.

b) Determinar o Fuso = $N + C$.

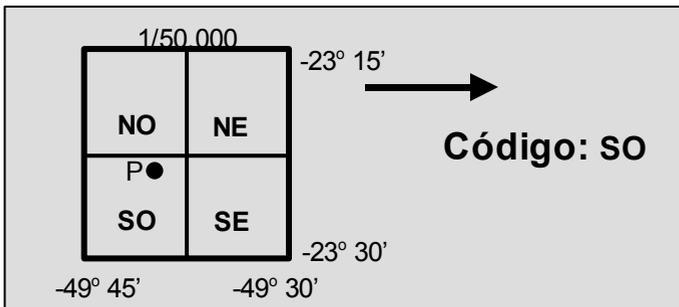
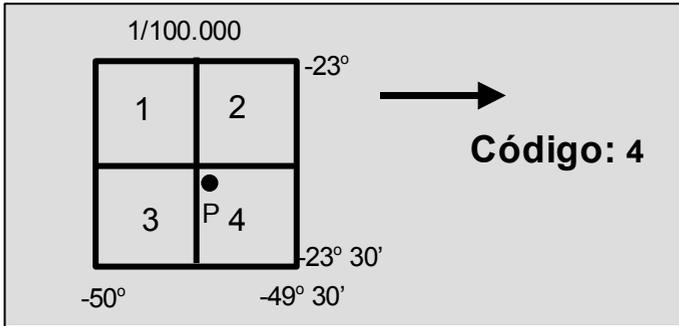
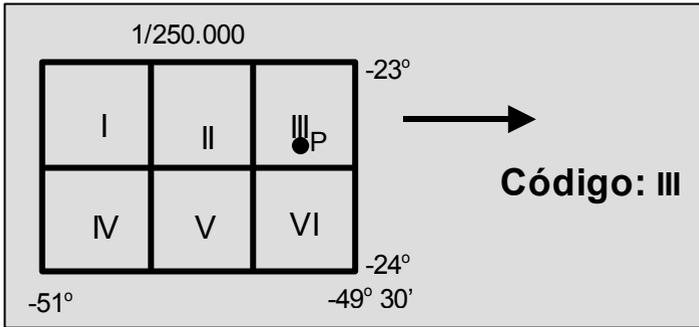
Se $\lambda^* > 180° \rightarrow C = -30$, caso contrário $\lambda^* < 180° \rightarrow C = 30$. Como $\lambda^* = 310° 20' > 180°$, então $C = -30$. Substituindo os valores obtem-se: $F = 52 - 30 = 22$

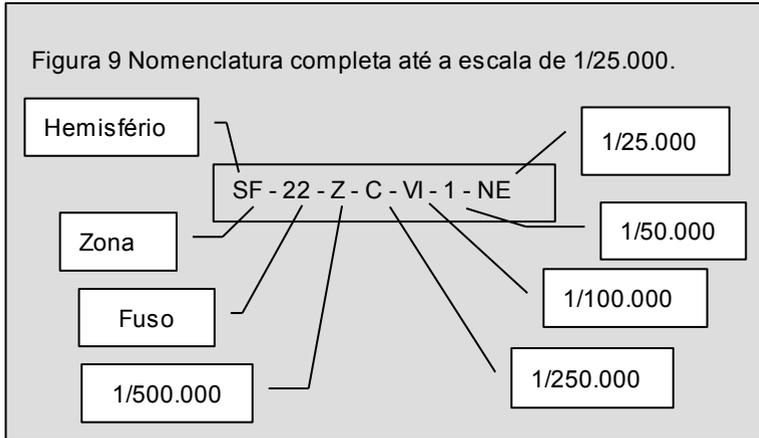
Até aqui, obteve-se como nomenclatura da folha ao milionésimo: SF-22.

A análise a seguir, deve ser realizada graficamente, por meio de figuras esquemáticas.



Conceitos importantes de Cartografia Digital





Como exercício adicional, é sugerido que se determine a nomenclatura de um mapa, na escala de 1/50.000, que contenha o ponto, cujas coordenadas são:

$$\lambda = -48^{\circ} 49', \varphi = -24^{\circ} 41' ?$$

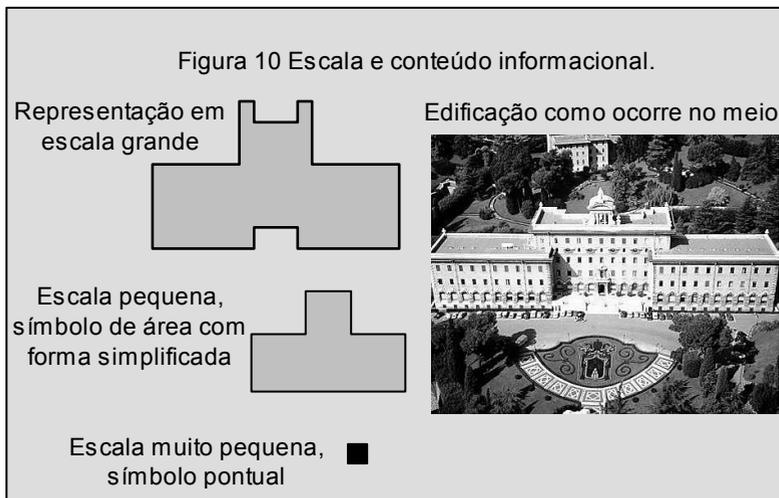
Conceito sobre escala

Escala pode ser definida como um valor adimensional que representa a relação entre duas grandezas lineares. No caso de um mapa, a escala representa a relação entre uma distância representada sobre o mapa e o seu respectivo valor sobre o modelo usado para representar o mundo real. Na equação (1), tem-se que d é o valor de uma distância sobre o mapa e D o valor desta mesma distância sobre o modelo, a escala então é a relação entre d e D . Se por exemplo fosse admitido que $d = 5\text{cm}$ e $D = 50\text{m}$, então $E = 0,001$, ou então $E = 1/1.000$. A leitura que se faz é que a distância representada sobre o mapa é 1.000 vezes menor

que o seu valor sobre o modelo de mundo real. Entretanto isto só é válido quando se está lidando com a representação de uma pequena porção da superfície terrestre, para a qual se está admitindo que a superfície de referência é plana, ou seja, se está negligenciando a curvatura da terrestre.

$$E = (d/D), \text{ ou } E = 1/(D/d) \quad \text{equação (1)}$$

Quando se está lidando com mapas, em que a forma curva da Terra está sendo considerada (por exemplo quando a superfície de referência é um elipsóide de revolução) tem-se de saber quais são as características da projeção cartográfica que foi utilizada, porque pode existir um fator de distorção de escala diferente da unidade e com isto, a escala pode não ser constante para todo o mapa.



É importante destacar também que a escala controla o conteúdo informativo que pode ser mostrado. Por exemplo, num mapa em escala grande uma edificação pode ser mostrada pelas linhas que definem os limites da sua extensão planimétrica (a área da edificação está representada proporcionalmente a escala). A medida que a escala vai sendo reduzida a forma que é utilizada para representação da feição vai sendo generalizada e, num caso extremo, para uma escala muito pequena a forma se reduz a um símbolo pontual. Neste caso, a informação que se está transmitindo ao usuário é que naquele local ocorre uma feição que pertence a classe edificação, ou seja não existe mais proporcionalidade da área do símbolo com a extensão planimétrica da feição (Figura 10, página anterior).

Distorção de escala

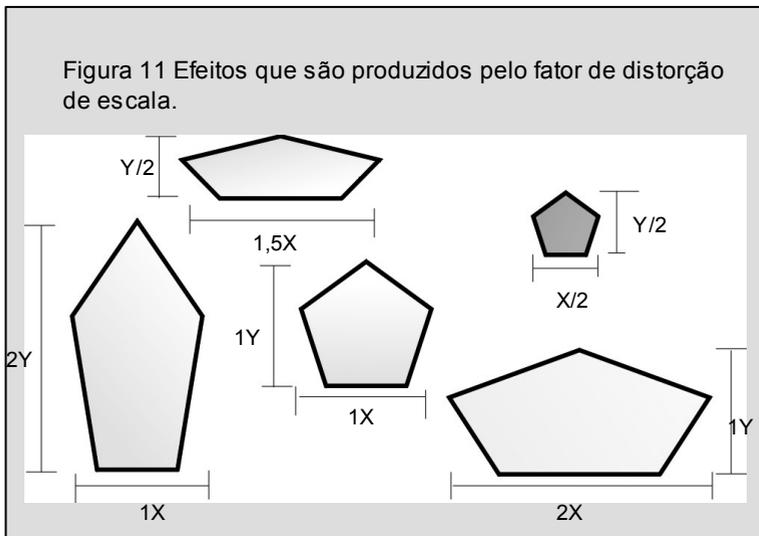
A forma de se quantificar a distorção, em consequência da aplicação de uma projeção cartográfica, é por meio do fator de distorção de escala, ou simplesmente distorção de escala (m), que pode ser expresso de maneira simplificada pela equação 2, em que dl representa uma parte infinitesimal da propriedade sobre o mapa e dL o seu verdadeiro valor sobre o modelo de mundo real:

$$m = (dl / dL) \qquad \text{equação (2)}$$

Quando a distorção de escala m assume o valor 1 significa que não existe distorção, ou seja, a propriedade é preservada após ser aplicada a projeção cartográfica. Quando m assume um valor menor que 1, então significa que ocorreu uma redução no valor que representa o comprimento. Se o valor de m for maior do que 1, significa que houve

uma ampliação do valor que representa o comprimento. No exemplo a seguir, tenta-se ilustrar cada um destes efeitos (Figura 11).

Então, quando se escolhe uma projeção cartográfica, sempre existirá um compromisso entre a propriedade que se deseja preservar e aquelas que serão distorcidas. Isto tem que se dar tendo o objetivo do mapa.



Projeções

Uma das projeções mais importantes é a UTM. Entretanto, antes de se fazer uma discussão sobre esta projeção seria interessante fazer algumas considerações sobre a grade retangular de coordenadas e a

Projeção Transversa de Mercator, uma vez que a projeção UTM é derivada desta aplicando-se certas restrições.

Grade retangular de coordenadas

Tendo em vista as dificuldades naturais que se enfrenta quando se está trabalhando com coordenadas geográficas, uma alternativa interessante para contornar este inconveniente é se representar sobre o mapa, além das transformadas de paralelos e meridianos, uma grade retangular que permite a obtenção de coordenadas planas, designadas pelas letras N (norte) e E (este). Esta grade consiste de um arranjo de linhas retas perpendiculares entre si e com igual espaçamento. É comum chamá-la pelo mesmo nome da projeção cartográfica que está sendo utilizada. Assim, se a projeção é a UTM, se teria grade UTM. A sua vantagem é que se pode trabalhar com coordenadas planas, e quando desejado, se pode transformar, por meio de formulação específica, as coordenadas (N,E) para geográficas (φ,λ) e vice-versa.

Projeção Transversa de Mercator

A projeção **Transversa de Mercator (TM)** é uma projeção cilíndrica, com cilindro tangente a um meridiano da superfície de referência. Com isto, o eixo de simetria do cilindro pertence ao plano do equador. Esta projeção é do tipo conforme, e a sua geração é feita por convenção, ou seja, não existe uma interpretação geométrica para ela. Deve-se destacar, que sobre o meridiano de tangência $m = 1$, ou seja não existe distorção de escala, mas a medida que vai se afastando deste meridiano a distorção vai aumentando progressivamente.

Projeção UTM (Universal Transverse Mercator)

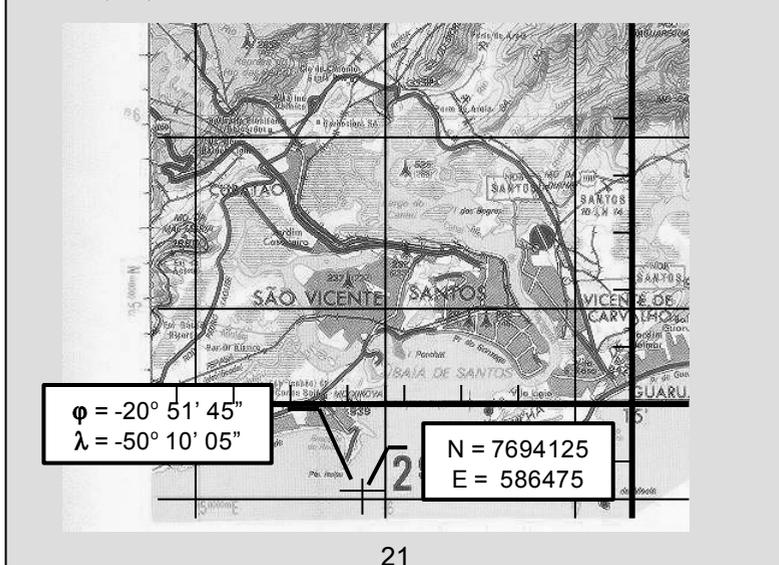
A projeção UTM está baseada na projeção TM, compartilhando, portanto, a mesma formulação matemática. As convenções que são impostas à UTM são as seguintes:

- a) A superfície de referência é dividida 60 fusos de 6° de longitude, tendo como meridiano central aqueles meridianos que são múltiplos de 6° mais 3° . Então os meridianos centrais têm as seguintes longitudes: 3° , 9° , 15° , 21° , ... etc. Estes meridianos são utilizados como referência para a grade UTM e os pontos a serem representados ficam restritos por fuso. Em consequência disto, quando se fornecem as coordenadas UTM de um ponto qualquer, têm-se que fornecer também o fuso que o contém, porque senão tem-se uma indeterminação, uma vez que para cada fuso se repete a grade UTM;
- b) O eixo de simetria da grade UTM é representado pelo meridiano central do fuso e a pela linha do equador que lhe é perpendicular. Para a linha do equador adota-se o valor de 10.000.000 m e para o meridiano central o valor de 500.000 m. Com isto, evita-se os valores negativos para as coordenadas do hemisfério sul (Figura 12);
- c) No que se refere ao fator de distorção de escala, este pode assumir valores entre 0,9996 para o ponto sobre o equador e o meridiano central e o valor de 1,00098 para o ponto sobre o equador e o extremo do fuso. Quando se convencionou que a distorção de escala é de 0,9996 para o meridiano central, tem-se como efeito que o cilindro torna-se secante ao invés de tangente.

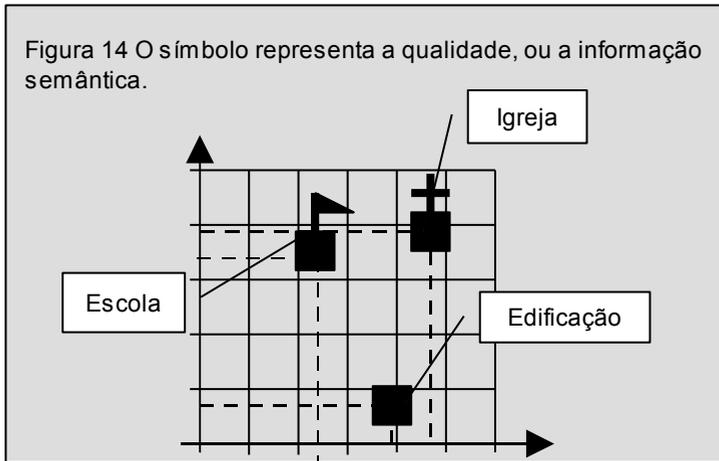
coordenadas (caso 2D). Por exemplo, no caso 2D, pode-se ter latitude e longitude, ou então as coordenadas (N, E), quando se tem por exemplo a grade UTM. Para o caso 3D, é necessário que o mapa contenha informação altimétrica.

Quando um usuário aponta para um local específico sobre um mapa, então para esse local pode-se obter suas coordenadas, e correlacionar a posição extraída do mapa com a sua localização no mundo real onde a entidade foi observada. Na Figura 13, apresenta-se um exemplo em que a informação de posição pode ser obtida a partir da malha geográfica (representada pelas transformadas de paralelos e meridianos) ou a partir da grade UTM.

Figura 13 Exemplo de uma posição sobre o mapa definida por suas coordenadas **UTM** (N,E), ou suas coordenadas geodésicas (ϕ , λ), obtidas respectivamente da grade retangular UTM e da malha geográfica.



O outro tipo de informação que se obtém diretamente do mapa é denominada de informação semântica, que diz respeito com a qualidade da feição que está representada. Por exemplo, para se saber se um ponto P, que tem coordenadas (N_p , E_p), é uma casa, uma escola, ou uma igreja, basta que se analise o tipo de símbolo que existe nesta posição (Figura 14). É por meio dos símbolos cartográficos que se transmite ao usuário o significado da entidade.



Símbolos cartográficos

Na realidade, os símbolos cartográficos são um arranjo gráfico, cuja finalidade é transmitir ao usuário algum significado ou idéia. Uma vez definido que tipo de característica será transmitida ao usuário, idealiza-se um símbolo cartográfico para comunicar isto graficamente. O estabelecimento de especificações para os símbolos cartográficos é alvo de normatização específica. Na maioria dos países esta é feita por organizações de mapeamento nacional ou estadual. No Brasil, a organização responsável pela especificação dos símbolos cartográficos

para os mapas topográficos, que caracterizam o mapeamento sistemático, é o Ministério do Exército, por meio da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG).

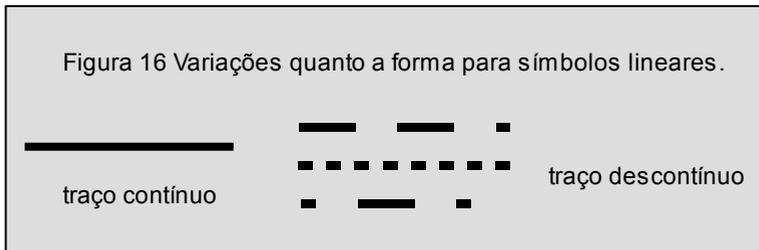
Um dos principais problemas que existe no projeto de mapas é representar a enorme quantidade de feições que existem no mundo real, tendo em vista que só existem 3 tipos de elementos gráficos (o ponto, a linha e a área). Para que os conceitos representados sobre os mapas sejam transmitidos aos usuários de forma clara e precisa é necessário que o projeto de símbolos seja feito de forma planejada e sistemática, porque todas as variações de significados das feições a serem representadas necessitam de correspondentes variações gráficas dos símbolos.

Tipos de variações gráficas

Os tipos de variações gráficas podem ser quanto a forma, quanto a dimensão, e quanto a cor. A variação gráfica quanto a forma, se aplicada aos símbolos pontuais pode ser primeiramente do tipo regular ou do tipo irregular. Em acréscimo, tem-se as formas: plana, de perfil e funcional (Figura 15). Para a forma plana, o tipo de forma básica que normalmente se utiliza é obtido de uma simplificação da forma plana da própria feição. Para a forma de perfil, o destaque é dado para a componente vertical da feição.



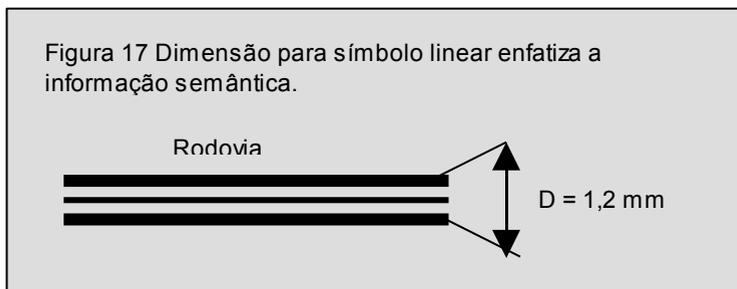
Ao contrário dessas 2 formas, a funcional não se relaciona a forma física da feição, mas sim ao seu propósito. Este tipo de variação em forma é apropriado justamente quando a aparência física da feição fornece pouca evidência para sua caracterização. Por exemplo, se fosse desejado representar um objeto cuja característica é pertencer a classe “restaurante”, provavelmente seria pouco significativo que se utilizasse uma forma plana ou de perfil simplificada. Então se deveria usar algo que sugerisse a sua função (Figura 15c), ou que desse idéia disto.



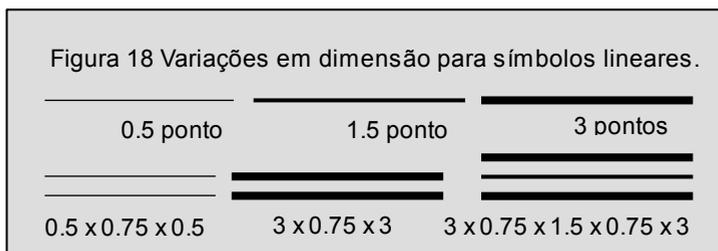
No que se refere aos símbolos lineares, a variação em forma pode ser do tipo **contínua** ou do tipo **descontínua**. Na Figura 16, apresenta-se alguns exemplos de variação em forma quando se considera o elemento descontinuidade. Como a quantidade de feições que podem ser representadas por símbolos lineares é muito grande, torna-se mais crítico se usar o elemento descontinuidade adequadamente, porque é muito mais sutil se expressar as características da feição tendo por base este tipo de variação em forma.

Como na variação em forma, a variação gráfica quanto a dimensão somente se aplica aos símbolos pontuais e lineares, dado que a dimensão se relaciona a outro tipo de característica da feição que não a sua extensão superficial. Por exemplo, quando se utiliza uma linha

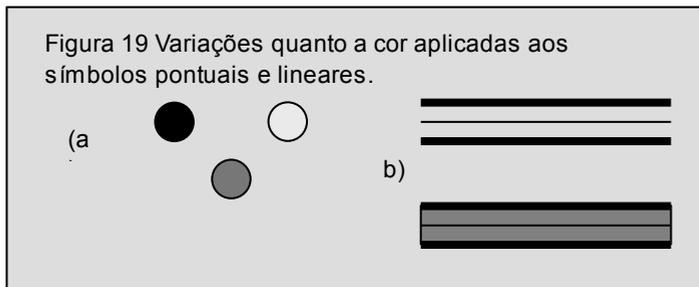
dupla de 1,2 mm para representar uma rodovia na escala de 1:100.000, não se está dizendo ao usuário que se ele medir a largura da linha e usar o valor da escala determinará a largura da rodovia. Na realidade, o que se está informando ao usuário é que segundo aquela direção ocorre uma feição que pertence a categoria rodovia, e esta possui algumas características, como por exemplo, pistas duplas que são fisicamente separadas (Figura 17).



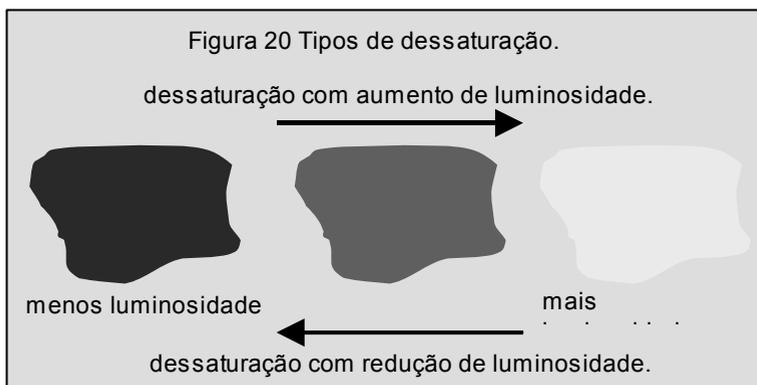
Quando é desejado representar somente uma localização então o símbolo pontual deve ter um tamanho mínimo, que permita que seja percebido pelo usuário. No caso dos símbolos pontuais, a dimensão pode variar de um tamanho mínimo, capaz de tornar o símbolo perceptível, até uma dimensão que destaque a sua importância. Para os símbolos lineares é possível se fazer uma série de variações em dimensão variando a espessura da linha e o seu afastamento, caso o padrão seja de linhas duplas (Figura 18).



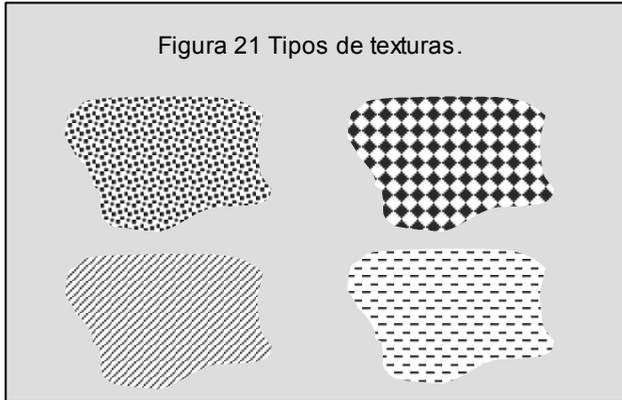
O tipo mais importante de variação gráfica é a cor, porque esta é mais facilmente percebida pelo observador e, conseqüentemente, permite que se estabeleça um grande número de diferenças perceptíveis. Na Figura 19, são apresentados exemplos deste tipo de variação gráfica quando aplicadas aos símbolos pontuais e lineares.



No caso dos símbolos de área, é possível identificar 2 tipos distintos de variações. O primeiro tipo é aquele em que a característica da superfície é representada por variações em tom, em luminosidade e em saturação. Na Figura 20, pode-se observar que existe variação em "cor" por meio de dessaturação com aumento em luminosidade e no sentido contrário com redução de luminosidade.



O outro tipo de variação gráfica, que é aplicado para os elementos de área, tem por base padrões gráficos, que são formados pela repetição de símbolos pontuais ou lineares. Na Figura 21, são apresentados alguns exemplos de desses tipos de variações gráficas, que também são chamados de texturas.

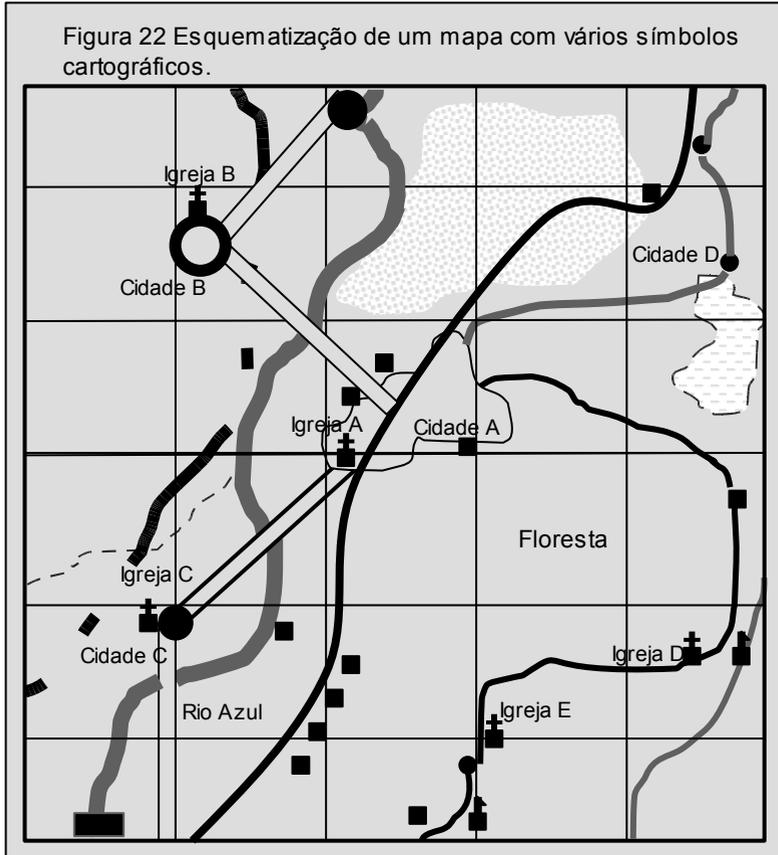


Na Figura 22, apresenta-se, sob uma forma esquemática, um exemplo onde se combinam vários símbolos cartográficos sobre um mapa.

Estruturas de dados

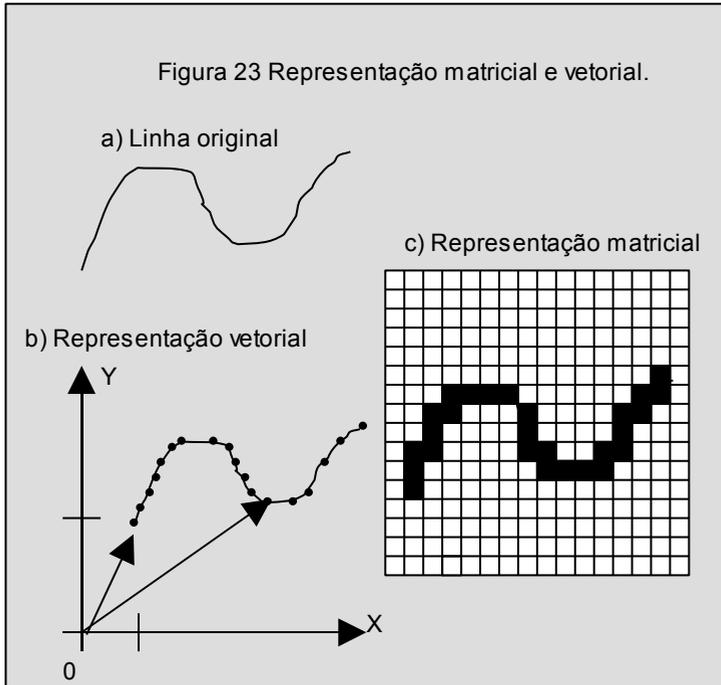
A estrutura de dados tem um peso muito grande na organização dos dados, na medida em que esta permite mais eficácia no tipo de manipulação que se realiza sobre os dados. Para a cartografia digital, hoje são importantes as estruturas de dados **vetorial** e a **matricial** (Figura 23). Entretanto, durante muito tempo, utilizou-se muito mais a estrutura vetorial, principalmente porque os métodos digitais eram similares aos métodos tradicionais e os principais dispositivos de entrada

e de visualização que existiam eram do tipo vetorial. Além disto, se poderia destacar também que os dispositivos de visualização do tipo vetorial apresentavam uma qualidade gráfica superior aqueles do tipo matricial, no que se refere a representação de feições pontuais e lineares.



O tamanho dos arquivos digitais com a estrutura vetorial também eram muito menores quando comparados com os seus correspondentes na estrutura matricial e com a estrutura vetorial era mais

fácil de se manter a forma de produção que era usada para os mapas sobre suporte de poliéster.



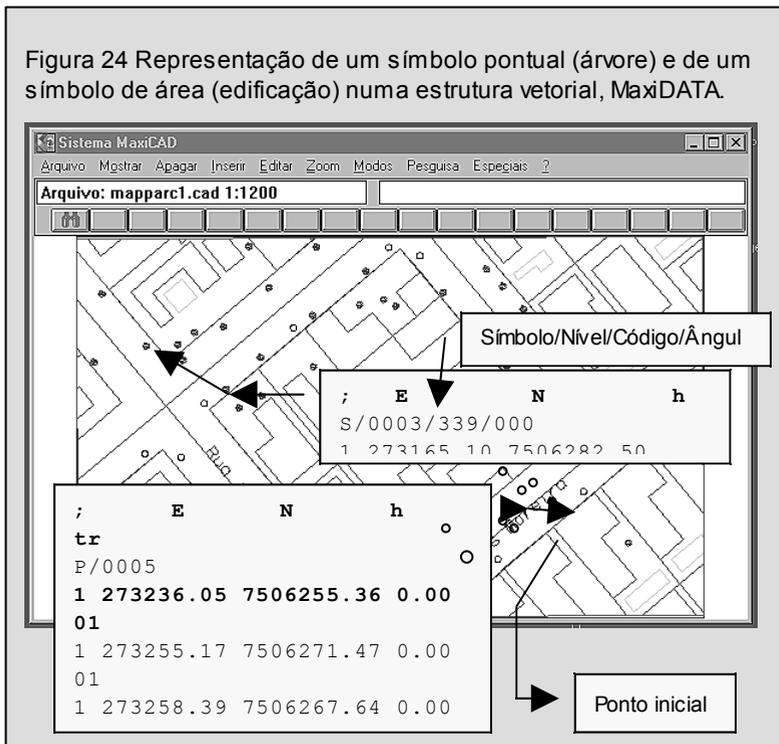
Deve-se destacar que as estruturas matriciais hoje já estão incorporadas na maioria dos programas voltados para a cartografia digital. Entretanto, o uso destas estruturas durante um bom tempo ficou mais restrito a alguns Sistemas de Informação Geográfica e aos programas usados em Sensoriamento Remoto. Em Cartografia Digital, a maior preocupação estava (e ainda está) com a automação das etapas de produção do original cartográfico, ou com a geração das bases cartográficas, enquanto que em GIS a ênfase era (e ainda é) com a análise espacial.

Uma feição pode ser imaginada sendo constituída por 3 elementos básicos, que são o ponto, a linha e o polígono. Quando se pensa numa estrutura vetorial, estes elementos podem ser representados:

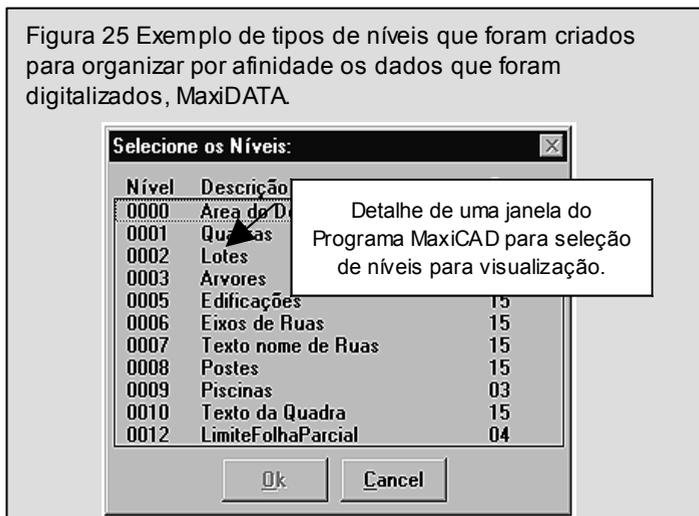
- a) por um par de coordenadas (X,Y);
- b) por uma seqüência de pontos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ e
- c) por uma seqüência de pontos de modo que o primeiro e último sejam coincidentes.

Além dessa componente posicional, é necessário introduzir a componente semântica da informação na estrutura de dados. Isto é realizado por meio das características gráficas do símbolo (forma, dimensão e cor) e de elemento textual, quando existe (Figura 24).

Figura 24 Representação de um símbolo pontual (árvore) e de um símbolo de área (edificação) numa estrutura vetorial, MaxiDATA.

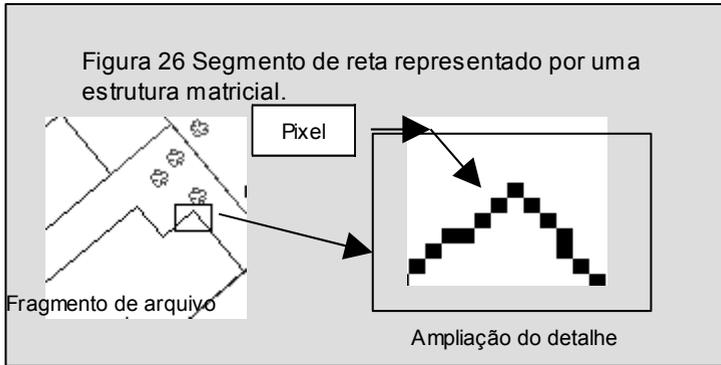


O processo de conversão de analógico para digital, com a mesa de digitalização, se dá em 2 passos. No primeiro passo, após ser inicializado o programa e orientado o mapa sobre a mesa de digitalização, o operador vai seguindo manualmente, com o cursor da mesa, elemento por elemento que está representado no mapa. Este método é conhecido como **método espaguete**, porque os elementos digitalizados se encontram desagregados e soltos como o próprio nome sugere. Em seguida, inicia-se a edição e rotulação, em que os elementos digitalizados são integrados e agrupados por afinidade e depois rotulados ou associados com informação textual (Figura 25).

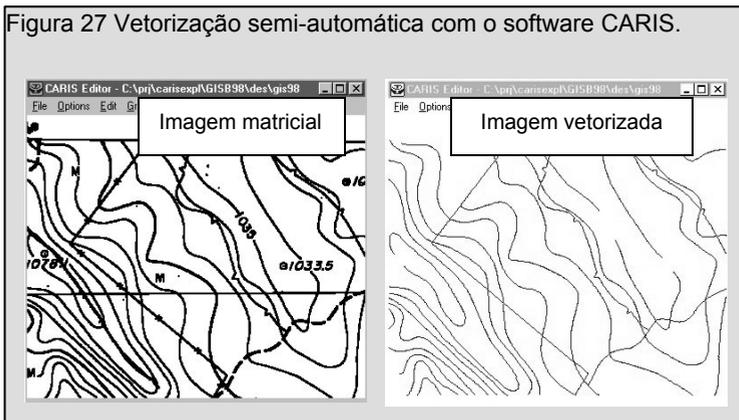


O ponto, a linha e a área podem também ser representados por estruturas matriciais (Figura 26), sendo neste caso representados, respectivamente:

- por um pixel (**picture element**);
- por uma seqüência de pixels segundo uma certa direção e
- por um agregado de pixels.



O processo de digitalização, com um dispositivo matricial, se dá em 3 passos. No primeiro passo é feita a digitalização do mapa com um **scanner**. Num segundo passo, tem-se que converter a imagem matricial para vetorial, por meio de um processo de vetorização. Neste caso um método semi-automático seria desejável, porque pode-se automaticamente detectar as linhas e deixar que o operador decida o caminho a seguir nos pontos de bifurcação, em que existe ambigüidade, ou seja, pode-se optar por um caminho ou outro. Por último, tem-se que georreferenciar a imagem vetorizada (Figura 27).



Dispositivos de coleta e visualização de dados

O dispositivo de digitalização mais usado é a mesa de digitalização, que é um equipamento relativamente barato (Tabela 3). Por meio de uma malha fina de fios, disposta internamente, quando a mesa é ligada cria-se um campo elétrico, o qual é capaz de detectar em termos de passos em x e y as mudanças de posição que o cursor da mesa apresenta quando o operador está fazendo a digitalização de um elemento sobre o mapa (Figura 28).

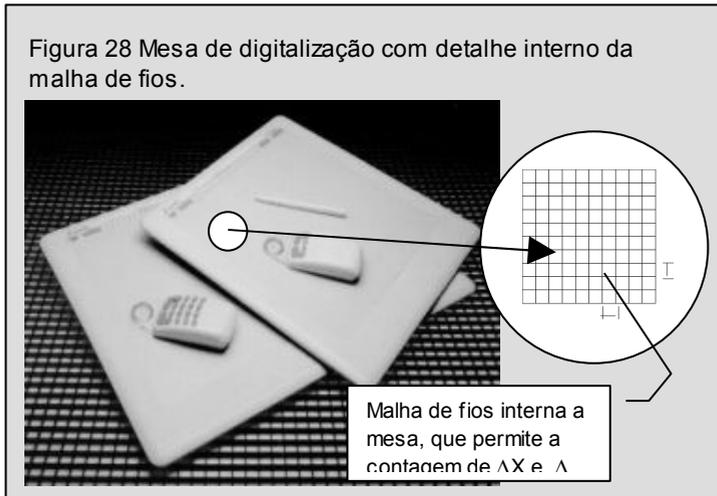
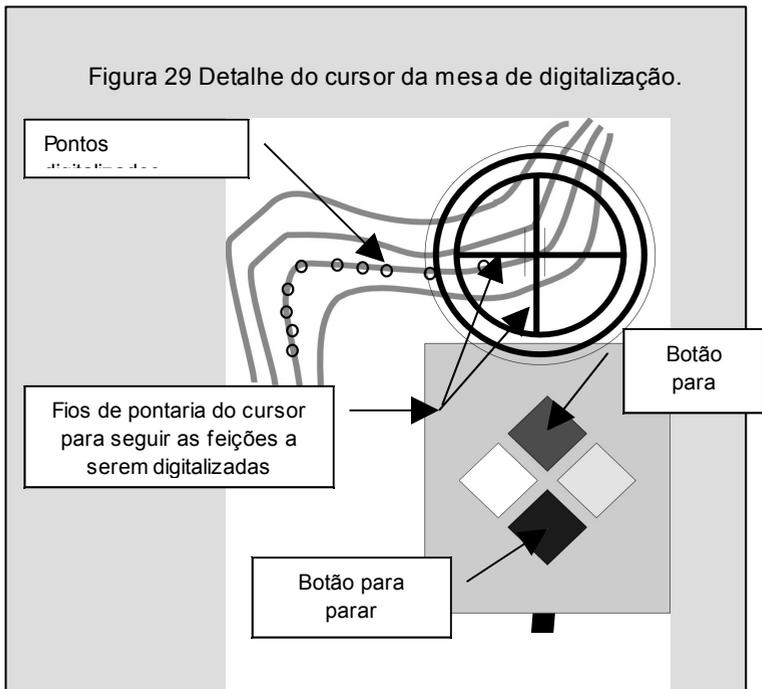


Tabela 3. Preços estimados de mesa de digitalização.

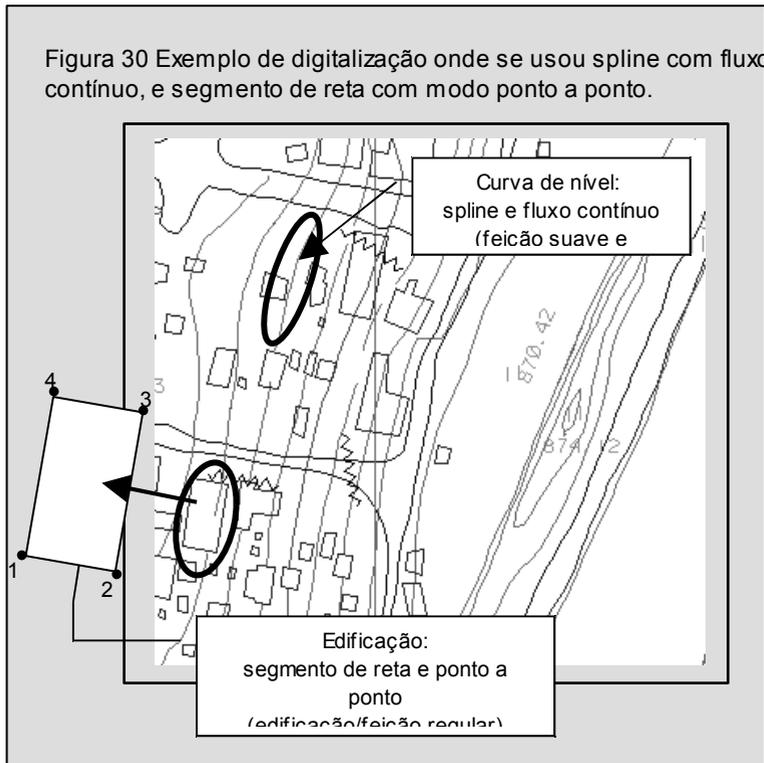
Formato	A1	A2	A3
Preço	R\$ 2500,00	R\$ 800,00	R\$ 400,00

Os modos de operação podem ser: ponto a ponto, em que o registro de uma coordenada só se dá quando o operador aciona o botão de gravação do cursor, ou então digitalização por fluxo contínuo, em que o operador aciona o botão de gravação do cursor para iniciar a digitalização do primeiro ponto da feição e, automaticamente, vão sendo registradas as coordenadas da seqüência de pontos que definirão o elemento digitalizado. Para terminar a digitalização o operador aciona botão de parar do cursor, informando ao sistema que foi concluída a digitalização (Figura 29).



É possível também selecionar o tipo de função que será utilizada para conectar os pontos digitalizados, se segmento de reta ou

spline. A escolha por segmento de reta ou **spline** e por digitalização por fluxo contínuo ou ponto a ponto, deve se dar em função das características das feições representadas e do projeto. Entretanto, é muito comum se combinar segmento de reta e modo ponto a ponto para elementos lineares e irregulares e fluxo contínuo e **spline** para elementos lineares irregulares e suaves (Figura 30).



Os dispositivos de visualização podem ser do tipo volátil e do tipo permanente. Os do tipo volátil são os monitores de vídeo, que são fabricados, normalmente, nas dimensões de 14", 15", 17", 21 e 29".

Conceitos importantes de Cartografia Digital

Como dispositivos do tipo permanente, tem-se os plotters de jato de tinta, do tipo matricial, que são fabricados em diferentes formatos. Os plotter vetoriais, comercializados até a década de 90, hoje em dia, não estão sendo mais vendidos, uma vez que estes eram muito caros e estavam restritos à produção de mapas sobre material do tipo **scribe**, o que permitia um alto padrão cartográfico. Ao contrário, os plotters matriciais (Figura 31) têm preços muito mais acessíveis (Tabela 4), mas não permitem a gravação de imagens de traço sobre **scribes**.

Figura 31 Alguns exemplos de plotters de jato de tinta.



Tabela 4. Preços estimados de plotters de jato de tinta.

	A4	A3	A1	A0
Jato Tinta	R\$ 400,00	R\$ 1.500,00	R\$ 16.000,00	R\$ 25.000, 00

Bibliografia

BONHAM-CARTER, GRAEME F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. 1a. ed. Computer Methods in The Geosciences. Geological Survey of Canada. Ottawa, Ontario. 1994. 398p.

BURROUGH, A. P.; MCDONNELL, R. A. **Principles Geographical Information Systems**. Oxford: University Press. 1998. 333p.

JONES, C. B. **Geographical Information Systems and Computer Cartography**. England, Essex: Longman. 1997. 319p.

KEATES, J. S. **Cartographic design and production**. 2ed. Essex, England: Longman. 1989. 261p.

LONGLEY, P.; GOODCHILD, M.; MAGUIRE, D.; RHIND, D. **Geographical Information Systems: Principles and Technical Issues**. USA: John Wiley & Sons. 2ed.. 1999. 580p.

MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M. ; RHIND, D. **Geographical Information Systems: Principles and Applications**. Essex, England: Longman Scientific & Technical. 1991. 530p.

VIEIRA, A. J. B. **Textos didáticos: conceitos importantes para Cartografia Digital**. Curitiba, Paraná: Imprensa da Universidade Federal do Paraná. 2000. 26p.

WORKBOYS, M. F. **GIS: A Computing Perspective**. Taylor & Francis. London. 1995. 376p.