
FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFIA PARA GEOPROCESSAMENTO

Julio Cesar Lima d'Alge

Introdução

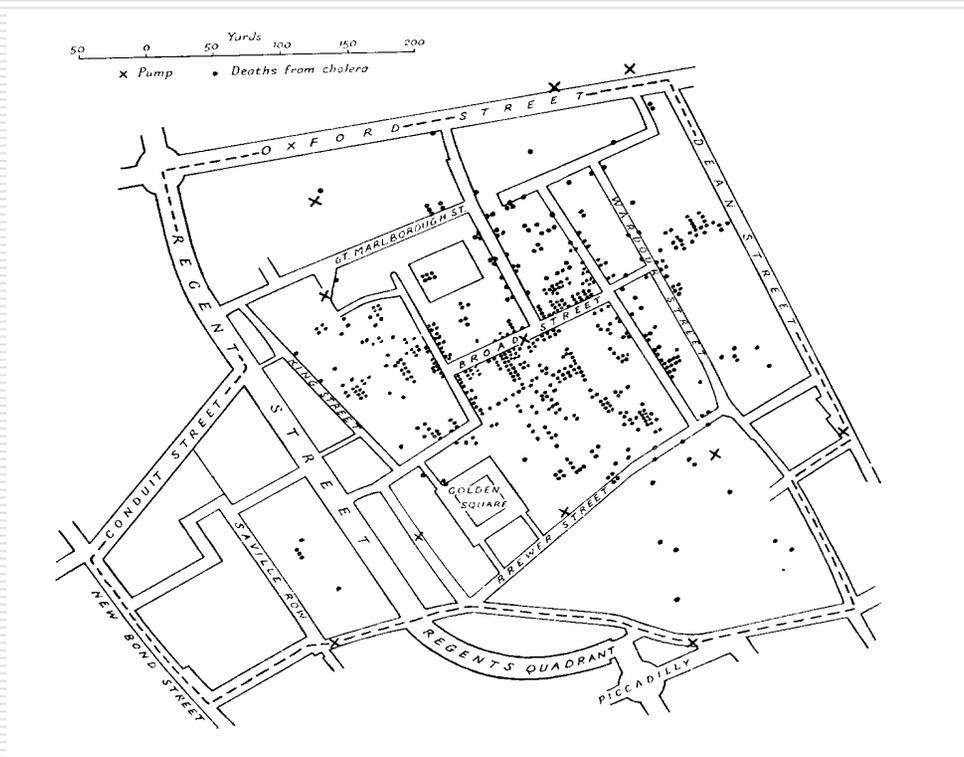
- ❑ Conceitos de Geodésia
- ❑ Sistemas de coordenadas
 - projeções cartográficas
 - transformações geométricas
- ❑ Incerteza e integração de dados
- ❑ Integração com Sensoriamento Remoto
 - correção geométrica de imagens
- ❑ Generalização cartográfica

Introdução

- Geoprocessamento é a área do conhecimento que usa técnicas matemáticas e computacionais para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico.
- Cartografia apresenta um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico.

Introdução

□ Londres ... 1854



(fonte: John Snow, 1855)

Introdução

- Características dos dados espaciais
 - localização: onde está...?
 - condição: como está...?
 - tendência: o que mudou...?
 - roteamento: por onde deve passar...?
 - padrões: qual é a distribuição...?
 - modelos: o que acontece se...?

Conceitos de Geodésia

- Determinação da forma e das dimensões da Terra
- Geóide
 - campo da gravidade
 - nível médio dos mares
- Terra cartográfica ou superfície de referência
 - elipsóide de revolução
 - esfera

Conceitos de Geodésia

- Datum planimétrico ou horizontal
 - superfície de referência posicionada em relação à Terra real
 - conceito mal entendido pela comunidade de usuários de SIG
 - causa a variação das coordenadas geodésicas
- E o que são coordenadas geodésicas?
 - geodésicas ou geográficas?

Conceitos de Geodésia

- Latitude geodésica
 - ângulo entre a normal à superfície de referência (elipsóide ou esfera), no ponto em questão, e o plano do equador.

- Longitude geodésica
 - ângulo entre o meridiano que passa pelo ponto e o meridiano origem (Greenwich, por convenção).

Conceitos de Geodésia

□ SAD-69

- atual datum planimétrico brasileiro
- 6.378.160m de semi-eixo maior
- 1/298,25 de achatamento

□ Córrego Alegre

- antigo datum planimétrico brasileiro
- 6.378.388m de semi-eixo maior
- 1/297 de achatamento

□ Na prática ambos são atuais!

Conceitos de Geodésia

- Datum planimétrico local
 - SAD-69, Córrego Alegre, NAD-83, Indian
- Datum planimétrico global
 - WGS-84, SIRGAS
- As coordenadas geográficas, na verdade, geodésicas, variam...
 - menos que 60m entre SAD-69 e Córrego Alegre;
 - menos que 100m entre SAD-69 e WGS-84, no território brasileiro.

Conceitos de Geodésia

□ Conclusões:

- lembre que a variação das coordenadas geográficas pode afetar a exatidão de sua base de dados;
- use um SIG que saiba levar em conta essa variação de coordenadas;
- saiba o que está medindo com um receptor GPS;
- tenha cuidado com dados compartilhados (importação e exportação).

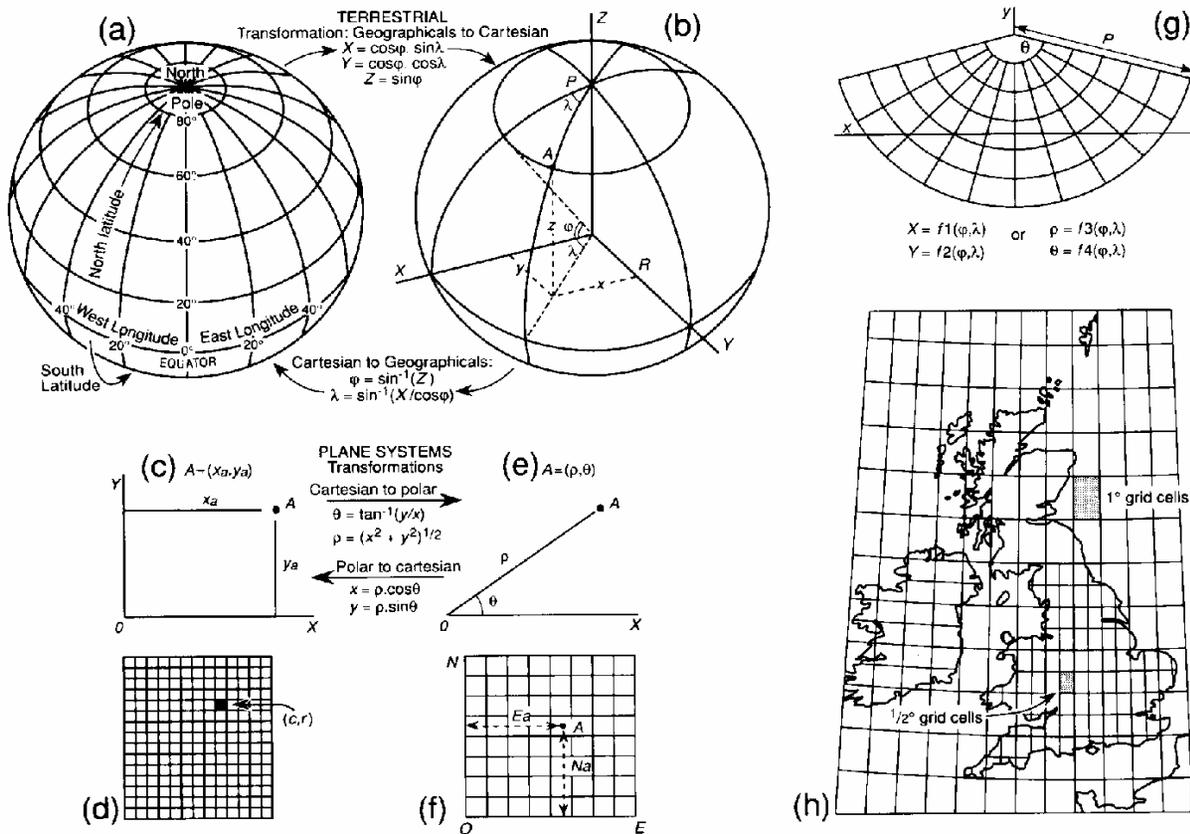
Conceitos de Geodésia

- Datum altimétrico ou vertical
 - superfície de referência para a contagem das altitudes (geóide).
 - rede de marégrafos faz medições contínuas para a determinação do nível médio dos mares.
 - adota-se um dos marégrafos como ponto de referência do datum vertical.
 - No Brasil usa-se o marégrafo de Imbituba, em Santa Catarina.

Sistemas de coordenadas

- ❑ O apontamento de um pixel na tela do computador devolve ao usuário do SIG as coordenadas geográficas do ponto.
- ❑ A entrada de um mapa via mesa digitalizadora requer uma relação entre coordenadas de mesa e de mapa.
- ❑ Uma imagem georreferenciada tem coordenadas geográficas associadas às coordenadas de imagem.

Sistemas de coordenadas



(fonte: Maguire, Goodchild, Rhind, 1991)

Sistemas de coordenadas

- Coordenadas geodésicas (geográficas)
 - figura de referência: esfera ou elipsóide

- Coordenadas geocêntricas terrestres

$$X = R \cdot \cos\phi \cdot \cos\lambda \quad \phi = \arcsen(Z/R)$$

$$Y = R \cdot \cos\phi \cdot \sen\lambda \quad \lambda = \arctg(Y/X)$$

$$Z = R \cdot \sen\phi$$

(válido para o modelo esférico)

Sistemas de coordenadas

- Coordenadas planas polares
 - desenvolvimento de projeções cônicas

- Coordenadas planas cartesianas
 - coordenadas de projeção

$$x = \rho \cdot \cos\theta$$

$$y = \rho \cdot \text{sen}\theta$$

$$\theta = \text{arctg} (y/x)$$

$$\rho = (x^2 + y^2)^{0.5}$$

Projeções cartográficas

□ Sistemas de projeção

$$x = f_1(\phi, \lambda) \quad y = f_2(\phi, \lambda)$$

$$\lambda = g_1(x, y) \quad \phi = g_2(x, y)$$

□ Propriedades

- conformidade e equivalência

□ Escolha da projeção

- localização, tamanho, forma

Projeções cartográficas

- Superfície ou figura de referência
 - esfera, elipsóide
- Superfície de projeção
 - plano, cone, cilindro, poliedro
- Posição da superfície de projeção
 - normal ou equatorial, oblíqua, transversa
- Método de construção
 - projetivo, analítico, convencional

Projeções cartográficas

Land- und Himmelscharten.

+ M col. p = n
- N col. p = m

ausführlich vorgestellt werden. In Ansehung der erstern ist nach angestellter Rechnung und gehöriger Reduction

M col. p

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} A' && + \frac{1}{2} B' \lambda && + \&c. \\
 &+ \frac{1}{2} (2 A'') \text{col. } p && + \frac{1}{2} \cdot 2 B'' \text{col. } p \lambda && + \&c. \\
 &+ \frac{1}{2} (A' + 3 A''') \text{col. } 2p && + \frac{1}{2} (B' + 3 B''') \text{col. } 2p \lambda && + \&c. \\
 &+ \frac{1}{2} (2 A' + 4 A''''') \text{col. } 3p && + \frac{1}{2} (2 B' + 4 B''''') \text{col. } 3p \lambda && + \&c. \\
 &+ \frac{1}{2} (3 A''' + 5 A''') \text{col. } 4p && + \frac{1}{2} (3 B'' + 5 B''') \text{col. } 4p \lambda && + \&c. \\
 &&& \&c. &&
 \end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned}
 n = & b && + 2c \lambda && + 3d \lambda^2 && + \&c. \\
 & + b' \text{col. } p && + 2c' \text{col. } p \lambda && + 3d' \text{col. } p \lambda^2 && \\
 & + b'' \text{col. } 2p && + 2c'' \text{col. } 2p \lambda && + 3d'' \text{col. } 2p \lambda^2 && \\
 & + b''' \text{col. } 3p && + 2c''' \text{col. } 3p \lambda && + 3d''' \text{col. } 3p \lambda^2 &&
 \end{aligned}$$

§. 76.

Hier können nun die Coefficienten Glied für Glied mit einander verglichen werden; und so findet man

$$\begin{array}{l|l|l}
 b = \frac{1}{2} A' & c = \frac{1}{2} B' & d = \frac{1}{2} C \\
 b' = \frac{1}{2} (2 A'') & c' = \frac{1}{2} (2 B'') & d' = \frac{1}{2} (2 C') \\
 b'' = \frac{1}{2} (A' + 3 A''') & c'' = \frac{1}{2} (B' + 3 B''') & d'' = \frac{1}{2} (C' + 3 C'')
 \end{array}$$

(fonte: Johann Heinrich Lambert, 1772)

Projeções cartográficas

- Projeções planas ou azimutais
 - plano tangente ou secante
 - estereográfica polar, azimutal de Lambert
- Projeções cônicas
 - cone tangente ou secante
 - cônica de Lambert, cônica de Albers
- Projeções cilíndricas
 - cilindro tangente ou secante
 - UTM, Mercator, Miller

Projeções cartográficas

- Projeções conformes ou isogonais
 - preservam ângulos
 - UTM, Mercator, cônica conforme de Lambert
- Projeções equivalentes ou isométricas
 - preservam áreas
 - cônica equivalente de Albers
- Projeções equidistantes
 - representam distâncias em verdadeira grandeza ao longo de certas direções
 - cilíndrica equidistante

Projeções cartográficas

□ Parâmetros das projeções

- figura de referência (elipsóide ou esfera)
 - datum planimétrico
- paralelo padrão (latitude reduzida)
 - deformações nulas ... verdadeira grandeza
- longitude origem (meridiano central)
 - posição do eixo Y das coordenadas planas
- latitude origem
 - posição do eixo X das coordenadas planas

Projeções cartográficas

- ❑ Principais projeções no Brasil
 - UTM (“Universal Transverse Mercator”)
 - ❑ cartas topográficas
 - Mercator
 - ❑ cartas náuticas
 - Cônica conforme de Lambert
 - ❑ cartas ao milionésimo
 - ❑ cartas aeronáuticas
 - Policônica
 - ❑ mapas temáticos
 - ❑ mapas políticos

Projeções cartográficas

- Outras projeções importantes
 - Cilíndrica equidistante
 - apresentação de dados em SIG
 - mapas mundi
 - Estereográfica polar
 - substitui a UTM nas regiões polares
 - Cônica conforme bipolar oblíqua
 - mapa político das Américas
 - Cônica equivalente de Albers
 - cálculo de área em SIG

Projeções cartográficas

□ Cilíndrica equidistante

- paralelos e meridianos igualmente espaçados
- $x = R(\lambda - \lambda_0)$, $y = R\phi$
- coordenadas planas armazenadas em metros
- dados matriciais com resolução em metros

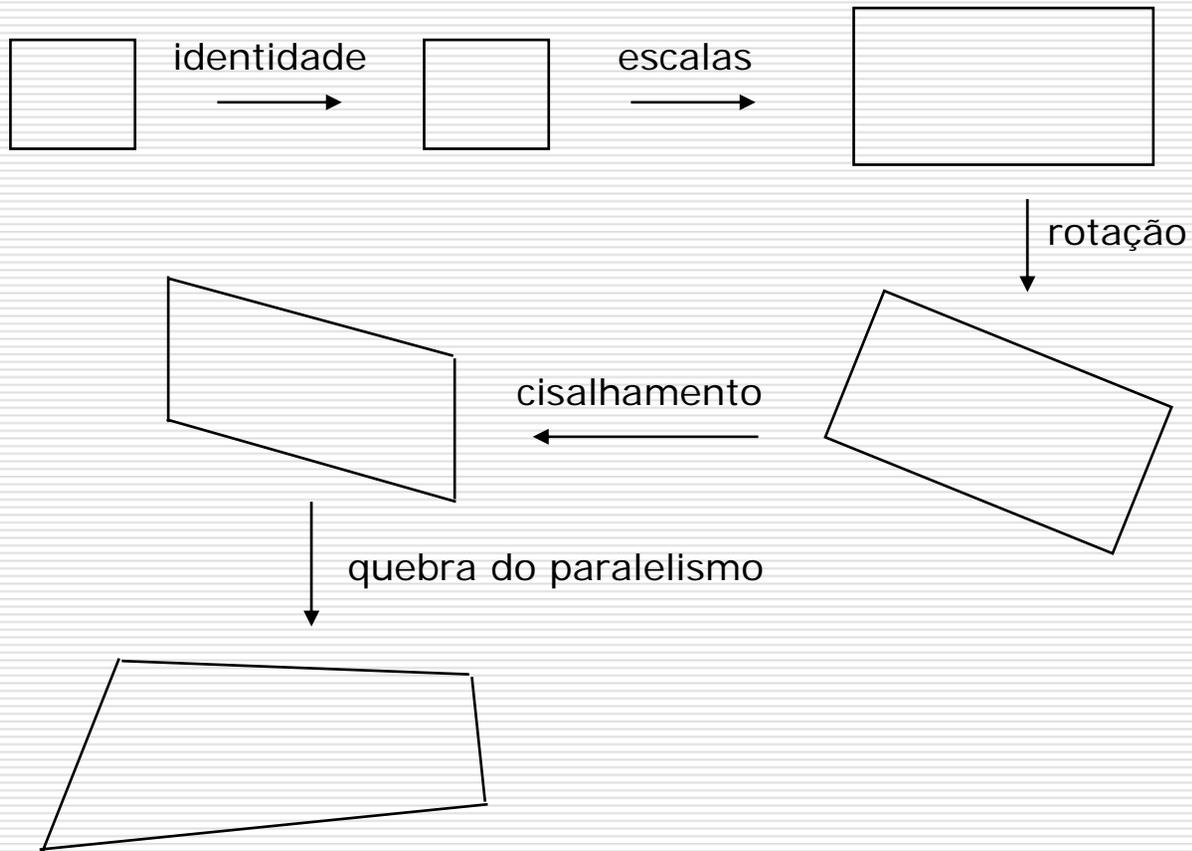
□ LatLong ... geográfica projetada

- paralelos e meridianos igualmente espaçados
- $x = (\lambda - \lambda_0)$, $y = \phi$
- coordenadas planas armazenadas em graus
- dados matriciais com resolução em graus

Transformações geométricas

- Importância em Geoprocessamento
 - relações entre os diversos sistemas de coordenadas
 - calibração da mesa digitalizadora
 - registro de imagens
 - registro de dados vetoriais
 - suporte geométrico básico às questões de modelagem matemática em SIG

Transformações geométricas



Transformações geométricas

- Ortogonal - 3 parâmetros
 - 1 rotação, 2 translações
- Similaridade - 4 parâmetros
 - 1 rotação, 1 escala, 2 translações
- Afim ortogonal - 5 parâmetros
 - 1 rotação, 2 escalas, 2 translações
- Afinidade - 6 parâmetros
 - 1 rotação, 1 cisalhamento, 2 escalas, 2 translações
- Polinomiais - ≥ 6 parâmetros

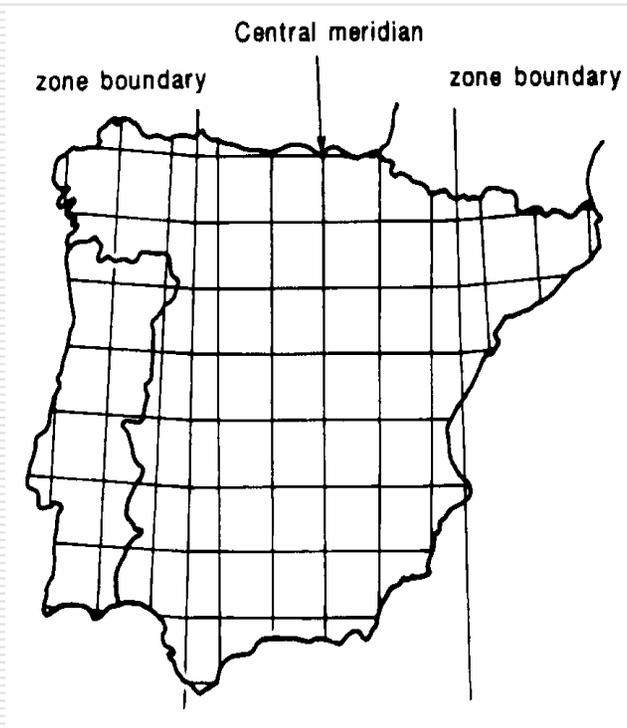
Transformações geométricas

- ❑ Transformações geométricas complexas só fazem sentido quando cada um dos seus parâmetros desempenha um certo papel em termos de modelagem.
- ❑ Conhecer o que se pretende modelar é fundamental para a escolha adequada de uma transformação geométrica.

Conhecimento da Incerteza

- Exatidão de posicionamento
 - erro na posição de pontos bem definidos
- Exatidão de atributos
 - campos (relevo) ... valor numérico
 - categorias (solo) ... certo ou errado
- Consistência lógica e completeza
 - linhas omitidas ou polígonos não rotulados
 - base de dados contém o que deve?

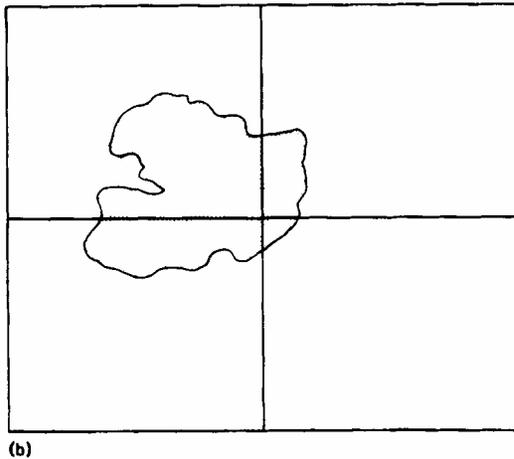
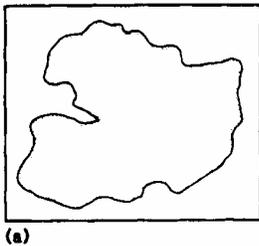
Integração de dados



(fonte: Maguire, Goodchild, Rhind, 1991)

- Sistemas de referência
 - fusos ou zonas UTM
 - criação de vários projetos
 - extensão de uma zona UTM
 - faixas da cônica de Lambert 1:1.000.000
 - criação de vários projetos
 - extensão de uma faixa Lambert
- como proceder no SIG?

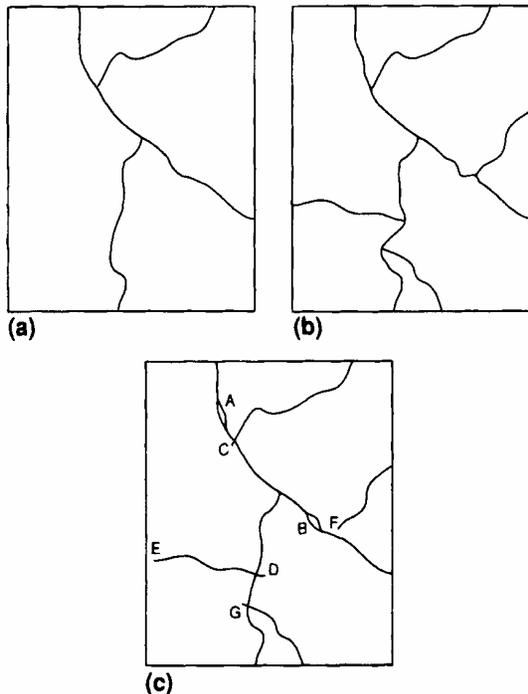
Integração de dados



(fonte: Maguire, Goodchild, Rhind, 1991)

- Cobertura dos dados
 - divisão por folhas do mapeamento
 - divisão por distrito, município ou estado
 - divisão por imagem de satélite
 - SIG deve ser flexível e permitir várias opções

Integração de dados



(fonte: Maguire, Goodchild, Rhind, 1991)

- Erros inerentes aos próprios dados
 - polígonos espúrios
 - operação de “overlay”
 - detecção automática?
 - ajuste de linhas
 - erros de digitalização
 - como a digitalização é sempre tediosa, a importação de dados digitais sempre é bem-vinda?

Integração com SR

- ❑ Sensoriamento Remoto representa uma fonte única de informação atualizada para um SIG.
- ❑ A união da tecnologia e dos conceitos e teorias de Sensoriamento Remoto e SIG tem possibilitado a criação de sistemas de informação mais ricos e sofisticados.

Integração com SR

- A não ser em atividades de caráter eminentemente emergencial, o uso efetivo de imagens de Sensoriamento Remoto requer integração com outros tipos de dados.
- A integração de imagens de satélite ou fotografias digitais à base de dados de um SIG depende fundamentalmente de uma etapa de correção geométrica.

Correção geométrica

□ Importância

- eliminação de distorções sistemáticas
- estudos multi-temporais
- integração de dados em SIG

□ Requisitos

- conhecimento das distorções existentes
- escolha do modelo matemático adequado
- avaliação e validação de resultados

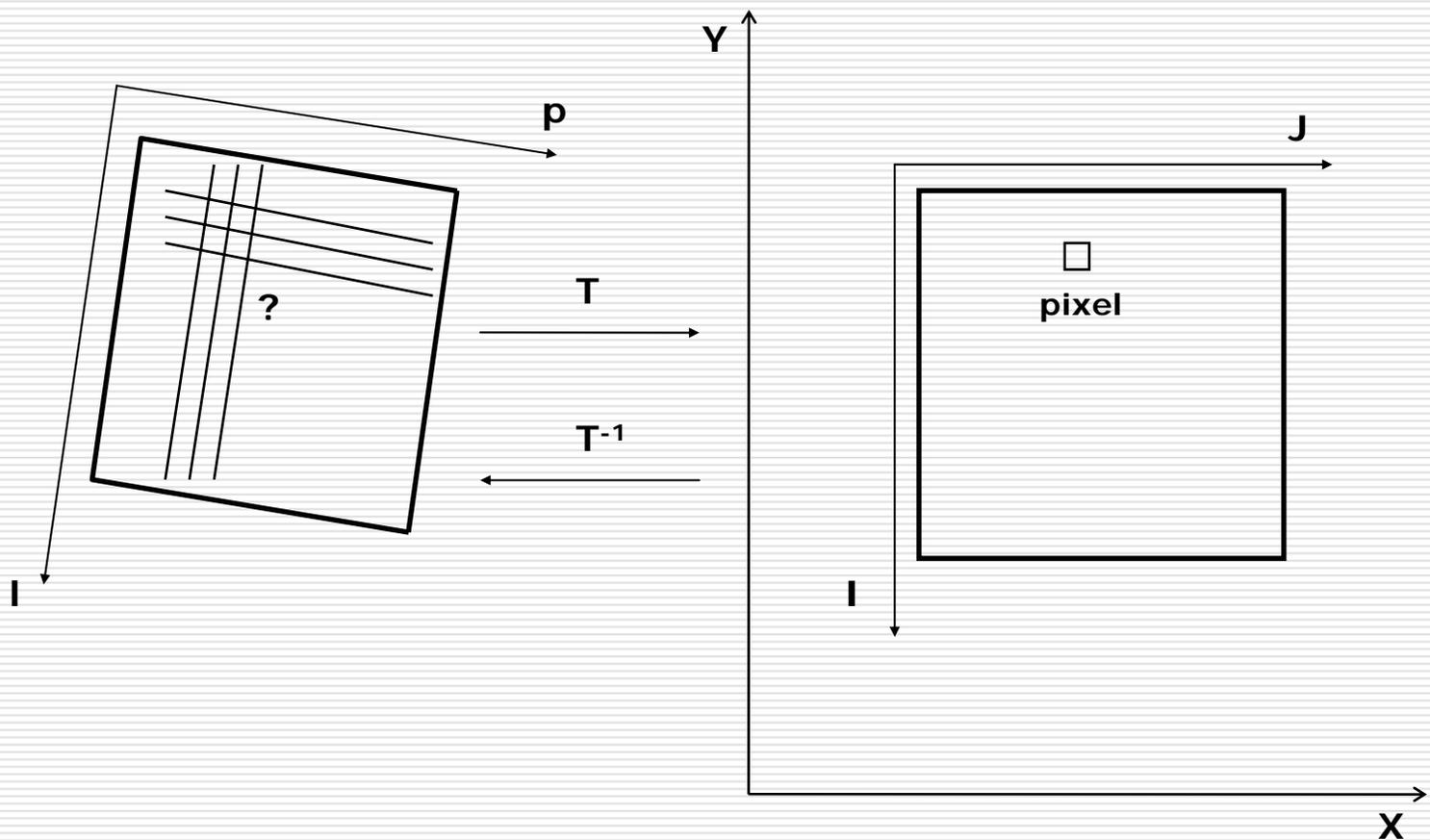
Correção geométrica

- Fontes de distorções geométricas (MSS, TM, HRV, AVHRR, IRMSS, WFI)
 - rotação da Terra (skew)
 - distorções panorâmicas (compressão)
 - curvatura da Terra (compressão)
 - arrastamento da imagem durante uma varredura
 - variações de altitude, atitude e velocidade do satélite

Correção geométrica

- Transformação geométrica (T)
 - modelo orbital (fotogramétrico)
 - modelo polinomial (registro de imagens)
- Mapeamento inverso (T^{-1})
- Reamostragem (interpolação)
 - vizinho mais próximo
 - bilinear
 - convolução cúbica

Mapeamento inverso



Registro de imagens

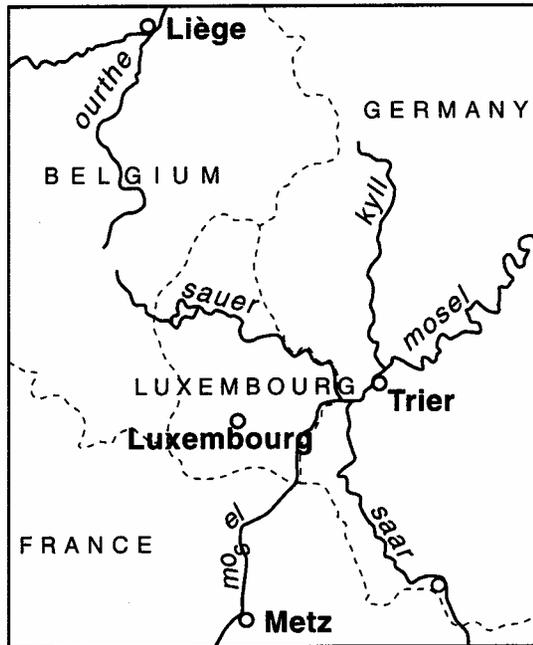
- ❑ Acredita-se que uma transformação geométrica simples possa resolver a questão de se vincular uma imagem ao sistema de referência da base de dados do SIG.
- ❑ Os parâmetros da transformação geométrica são calculados a partir da medição das coordenadas de pontos de controle.

Registro de imagens

- ❑ A escolha da transformação geométrica apropriada depende basicamente do conhecimento que o usuário tem sobre o nível de correção geométrica da sua imagem.
- ❑ A quantidade e a distribuição dos pontos de controle sobre a imagem podem ser fatores preponderantes para um bom registro.

Generalização Cartográfica

original 1:3 mln



(a)

photographic reduction
1:12 mln



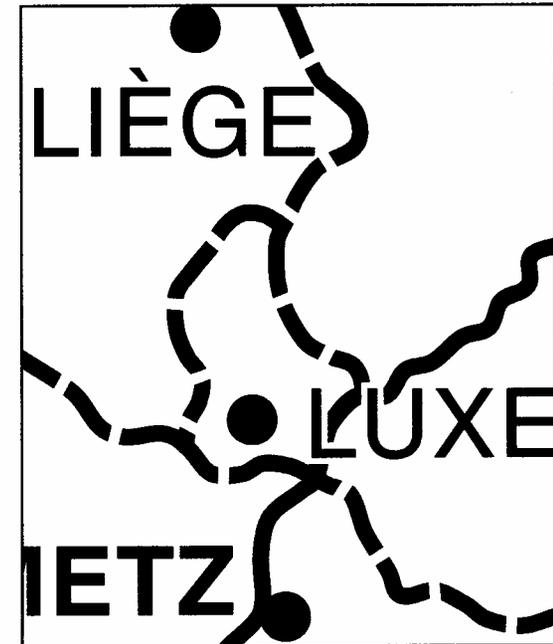
(b)

generalized
original 1:12 mln



(c)

generalized map
enlarged to 1:3 mln

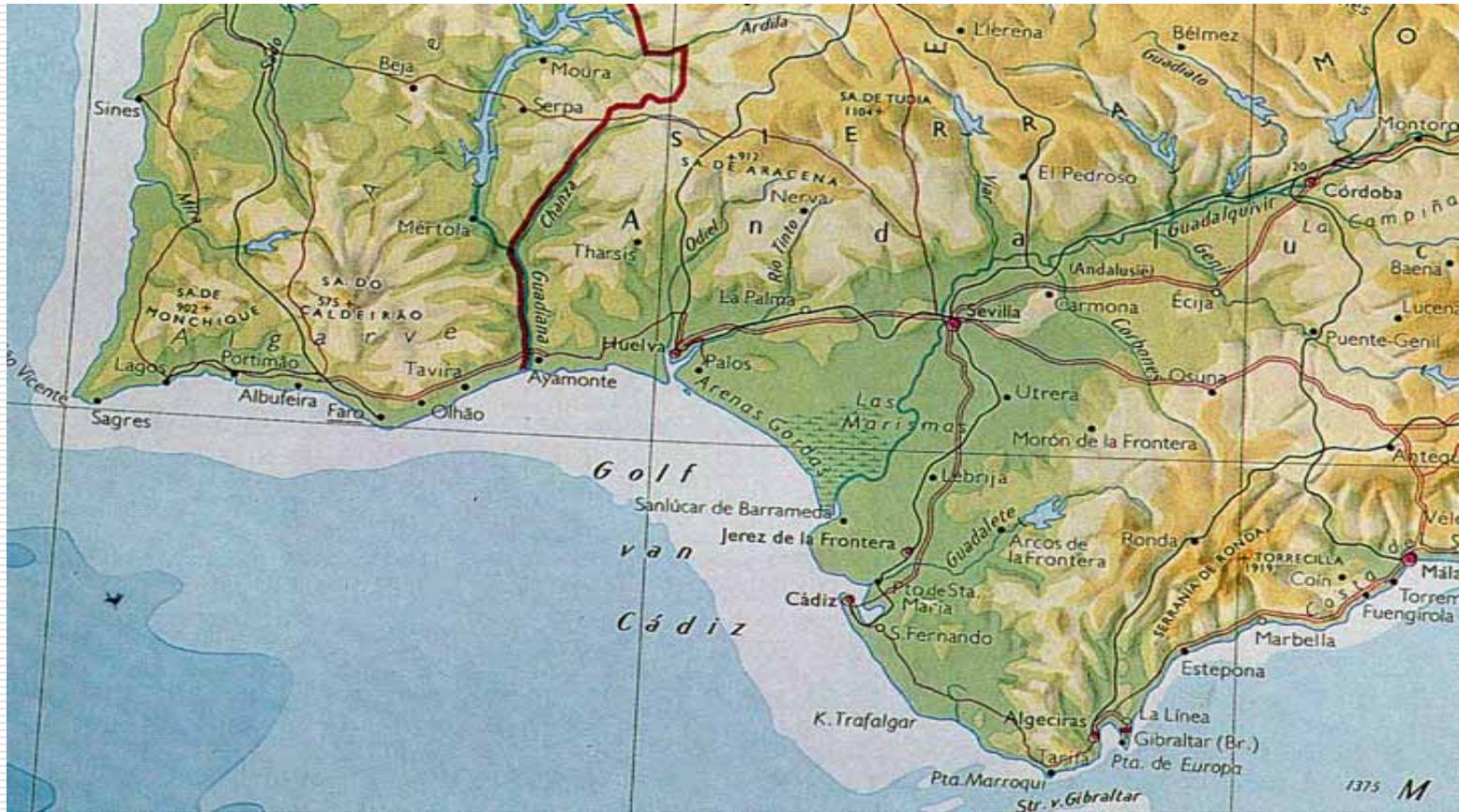


(d)

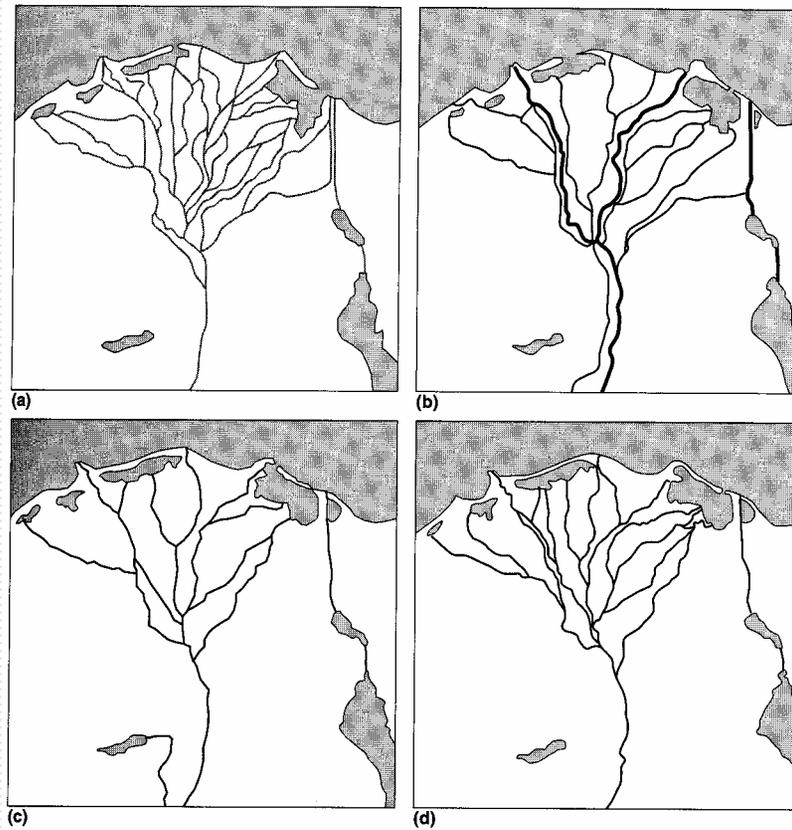
Generalização Cartográfica



Generalização Cartográfica



Generalização Cartográfica



Generalização

- Universalização do conteúdo de uma base de dados espaciais com uma certa finalidade
 - redução da complexidade
 - retenção da exatidão espacial e de atributos
 - função da escala ou da resolução espacial?
 - modelagem em níveis de abstração diferentes
 - comunicação mais eficiente

Motivações da generalização

- Seleção e representação simplificada de objetos através de transformações espaciais e de atributos
 - construção de bases de dados
 - otimização computacional
 - aumento de robustez
 - derivação de bases de dados
 - otimização da comunicação visual

Tipos de generalização

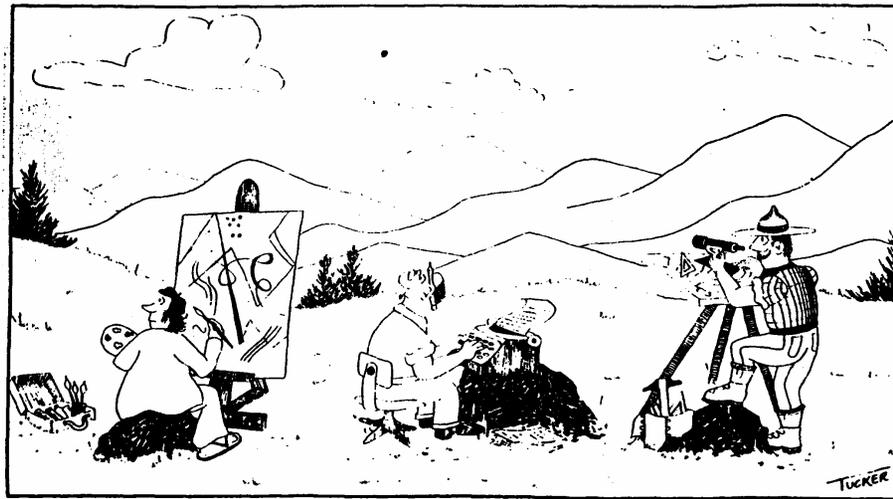
- Sequência de operações de modelagem
 - generalização de objetos
 - seleção de objetos
 - conteúdo da base de dados
 - generalização orientada à modelagem
 - simplificação da base de dados
 - generalização cartográfica
 - representação gráfica da base de dados simplificada

Estratégias de generalização

- Orientação por processos
 - deduções a partir de uma base de dados detalhada
 - explicitação de semântica e contexto
- Orientação por representações
 - representações múltiplas, multi-escala
 - ênfase na eficiência da extração de informação

Generalização

- Visualização ou modelagem?
- Emulação do processo analógico?
- Análise espacial?



(fonte: Muehrcke, Muehrcke, 1992)