

## Múltiplas Representações em Bancos de Dados Geográficos

*Clodoveu Augusto Davis Jr.*

*Prodabel - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte  
Av. Presidente Carlos Luz, 1275  
31230-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
T. (031)277-8391 - Fax: (031)224-0022  
e-mail: [clodoveu@pbh.gov.br](mailto:clodoveu@pbh.gov.br)*

### Resumo

Considerando os custos e o esforço envolvidos na construção de bancos de dados geográficos, é natural que se busque recursos para aumentar a utilidade dos GIS através do compartilhamento dos mesmos dados entre diversos grupos de usuários, cada qual com seu conjunto de aplicações. No entanto, muitas vezes aplicações distintas têm percepções distintas da realidade, e portanto trabalham com conjuntos diferentes de conceitos a respeito da mesma entidade geográfica. Estas diferenças muitas vezes implicam na necessidade de se contar com mais de uma representação para a mesma entidade. Assim, se diversas aplicações compartilham o mesmo banco de dados geográfico, o GIS deve assumir a responsabilidade de tornar disponíveis múltiplas representações das entidades geográficas, cada qual adequada a um grupo de aplicações. Cada uma destas representações precisa contar com os recursos, já razoavelmente disponíveis nos GIS atuais, de variação dos atributos de visualização gráfica (formas de apresentação visual: simbologia, cores, tipos de linhas, espessuras, padrões de preenchimento), para produzir os resultados desejados em tela e impressos. Este artigo apresenta uma análise do problema de representações múltiplas, indicando a necessidade deste recurso através de exemplos. São discutidas alternativas e indicados problemas potenciais para a implementação deste recurso em GIS.

### Abstract

Considering the costs and the effort associated with the construction of geographic databases, the search for instruments that increase GIS usefulness through data sharing among different user groups, each one of them with a particular set of applications. However, distinct applications often have diverse perceptions of reality, and therefore work with different sets of concepts about the same geographic entity. These differences often require more than one representation for each geographic entity. Thus, if several applications share the same geographic database, the GIS must take over the responsibility to make multiple representations for each geographic entity, each one of them adequate for a group of applications. Each of these representations will benefit from features that allow variation on the graphic visualization attributes (visual presentation elements: symbols, colors, line types, line thicknesses, hatching patterns), already reasonably available in current GIS, to be able to generate displays and printed products. This article presents an analysis of the multiple representations problem, indicating the need for this feature through examples. Alternatives are discussed, and potential problems for the implementation of this feature in GIS are indicated.

### Introdução

Sistemas de Informação Geográficos (GIS) são ferramentas projetadas para coletar, manipular e apresentar grandes volumes de dados espaciais. O termo "espaciais", neste sentido, se refere a dados que descrevem o espaço, referenciando alguma localização física. Em particular, quando são localizáveis na Terra (na superfície, acima ou abaixo dela), são ditos "geográficos" [LaTh92]. GIS são utilizados em áreas e aplicações bastante variadas: de análise ambiental a planejamento urbano, de gerenciamento de redes de serviços públicos a monitoramento de veículos e navegação. São sistemas concebidos e implementados com base em um conjunto de técnicas trazidas de diversas disciplinas da computação, tais como computação gráfica, processamento digital de imagens e bancos de dados, existindo ainda bastante esforço nas áreas de algoritmos, estruturas de dados, engenharia de software e otimização. Além disto, os GIS utilizam conceitos e técnicas de outras áreas do conhecimento, em particular na área de geociências (cartografia, geografia, topografia).

Para cumprir suas funções, os GIS utilizam diversos recursos de apresentação dos dados,

como em uma carta, mapa, planta ou esquema. Neste tipo de apresentação (em papel) ou na tela do computador, técnicas de cartografia desenvolvidas há centenas de anos são empregadas, de modo a preservar a familiaridade do usuário com os tipos convencionais de visualização de fenômenos naturais ou desenvolvidos pelo homem. Assim, a grande maioria dos GIS comerciais oferece recursos de visualização que se aproximam daqueles utilizados tradicionalmente em cartografia convencional. Os dados são organizados em "camadas" (layers, levels), numa analogia a uma série de mapas superpostos. Frequentemente, as camadas são ainda fracionadas em "folhas" (map sheets, tiles), refletindo a forma de trabalho habitual do cartógrafo.

A preocupação de implementar o processo cartográfico tradicional se reflete na própria arquitetura interna e no esquema de banco de dados adotado em GIS comerciais. Embora estes conceitos sejam intuitivos para uma ampla gama de usuários, e tenham uma transposição razoavelmente natural para um ambiente de banco de dados espacial, verifica-se que existem problemas no sentido de estendê-los para comportar sistemas de informação espaciais genéricos, e mesmo alguns tipos de aplicações. Além disso, GIS comerciais tipicamente incorporam o processo cartográfico de tal forma que se torna muito difícil, se não mesmo impossível, armazenar e utilizar múltiplas representações para cada objeto geográfico. O uso de múltiplas representações é importante para garantir que usuários e aplicações que percebem e modelam o espaço de formas diferentes possam compartilhar um mesmo banco de dados geográfico. Sem este recurso, o usuário é levado a construir modelos e a desenvolver aplicações que só funcionam bem com uma única representação para cada objeto do mundo real, e com detalhamento adequado para apenas uma determinada faixa de escalas. Aplicações que demandam a mesma informação, mas com representação ou detalhamento diferente, acabam exigindo a composição de novas camadas, introduzindo redundância no banco de dados geográfico e gerando problemas de consistência através das atualizações [ECD94a]. Aplicações que demandam a mesma informação, mas que atuam em outras faixas de escalas, acabam sendo lentas, por utilizar um detalhamento cartográfico excessivo, ou caras, por exigir a construção de todo um novo conjunto de dados cartográficos básicos, gerados especificamente para a faixa de escalas demandada pela nova aplicação.

## Representação e apresentação

A construção de um modelo conceitual é parte fundamental do processo de desenvolvimento de sistemas de informação. Durante a modelagem, é necessário identificar todos os objetos do mundo real que de alguma forma interfiram no sistema, por atuar na parcela do mundo real que se está procurando modelar. Em seguida, é preciso extrair um conjunto de características de cada objeto identificado, em um processo de abstração. Neste processo, determinados aspectos do objeto são desprezados, determinando-se as características essenciais para que o seu comportamento ou funcionamento sejam adequadamente incorporados ao sistema.

Dados geográficos possuem características peculiares que fazem com que sua modelagem seja mais complexa do que a de dados convencionais. Modelar os aspectos espaciais é de fundamental importância na criação de um banco de dados geográfico, principalmente porque se está lidando com uma abstração da realidade geográfica onde a visão que os usuários têm do mundo real pode variar, dependendo do que eles necessitam representar e do que eles esperam extrair desta representação. Dentro deste contexto, conceitos como geometria e topologia são importantes na determinação do relacionamento espacial entre objetos [Borg97]. Estes conceitos também são decisivos para o processo de entrada de dados e para a análise espacial.

A incorporação da geometria e da topologia dos objetos espaciais ao modelo de dados consiste em escolher uma representação adequada para cada um deles, que seja capaz de incorporar suas características espaciais, como localização, topologia e forma geométrica. Para isso, existem duas grandes classes de conceitos: geo-campos, adequados para representar fenômenos de variação contínua no espaço de interesse, e geo-objetos, adequados para representar entidades individualizáveis. O componente espacial de um geo-campo pode ser representado em um sistema de informação de diversas maneiras, como por meio de conjuntos de isolinhas, valores amostrais, tesselação e outros. O componente espacial de um geo-objeto é usualmente representado por meio de uma forma geométrica simples, como ponto, linha e polígono [Borg97]. É possível conceber mais de uma representação para um dado geo-objeto ou geo-campo. Por exemplo, o relevo de uma região tanto pode ser representado por um conjunto de curvas de nível, quanto por uma malha triangular irregular; uma cidade pode ser representada por um ponto (símbolo) ou pelo polígono de suas fronteiras.

A existência de uma representação para um objeto espacial não determina completamente sua aparência visual, ou seja, a forma segundo a qual o objeto será apresentado ao usuário, na tela ou em papel. A cada representação podem corresponder uma ou mais apresentações, alternativas de visualização adequadas para comunicar o significado dos dados geográficos de

acordo com as necessidades do usuário e da aplicação. Por exemplo, quadras são representadas por polígonos em um mapa municipal, mas podem ser apresentadas preenchidas em cores correspondendo às zonas de uso do solo, ou sem preenchimento e delimitadas em linhas espessas em um mapa cadastral.

Assim, é necessário ter clareza sobre a distinção que existe entre representação e codificação dos dados geográficos. Este trabalho usa o termo representação no sentido de codificação da geometria dos objetos espaciais (envolvendo aspectos como resolução, dimensão espacial, precisão, nível de detalhamento e comportamento geométrico), e o termo apresentação no sentido de visualização ou aparência gráfica (envolvendo parâmetros como cor, tipo de linha, espessura e padrão de preenchimento) dos geo-objetos ou geo-campos em papel ou na tela do computador.

## Representações múltiplas em GIS

### Modelagem de dados geográficos e múltiplas representações em GIS

A abstração de conceitos sobre objetos existentes no mundo real é uma parte importante da criação de sistemas de informação. Além disso, o sucesso da implementação de um sistema de informação é dependente da qualidade da transposição dos objetos do mundo real e suas interações para um banco de dados informatizado.

Isto é especialmente verdade em um GIS, onde o processo de modelagem de dados precisa considerar não apenas o conjunto de dados descritivos de um objeto e seu relacionamento com as demais, mas também exige escolher uma representação a adotar para cada entidade. Esta representação deve ser adequada às finalidades da aplicação, porém ocorre que aplicações distintas podem ter necessidade da mesma informação, mas em diferentes representações. Por exemplo, uma cidade poderia ser modelada em uma aplicação como um polígono, que indica suas fronteiras. Em outra aplicação, a mesma cidade poderia ser modelada como um ponto, indicando sua posição geográfica aproximada. No entanto, a cidade é a mesma, e tem as mesmas características descritivas em ambos os casos.

No processo cartográfico tradicional, estas representações estariam ligadas por um ou mais operadores de generalização, conforme descrito na Seção 3.3. Em GIS, busca-se permitir que as diferentes representações convivam no mesmo banco de dados, se possível armazenando apenas uma delas e deduzindo as demais a partir desta representação primária, evitando manter dados redundantes. Por exemplo, as coordenadas do ponto que representa a cidade poderiam ser as do centro de gravidade do polígono, e portanto não precisariam ser armazenadas, e sim calculadas sempre que necessário.

Portanto, se diversas aplicações compartilham o mesmo banco de dados geográfico, o GIS fica com a responsabilidade de permitir representações adequadas a cada aplicação, sendo obrigado a, potencialmente, trabalhar com múltiplas representações para cada objeto geográfico. Cada uma destas representações precisa contar com os recursos, já razoavelmente disponíveis nos GIS atuais, de variação dos atributos de visualização gráfica (formas de apresentação visual: simbologia, cores, tipos de linhas, espessuras, padrões de preenchimento), para produzir os resultados desejados em tela e impressos, sob a forma de plantas, croquis ou mapas (embora a produção de mapas apresente exigências adicionais). A combinação de representações múltiplas e flexibilidade de visualização permite que o GIS consiga atender às exigências de todas as aplicações que compartilham a mesma informação geográfica, de acordo com as necessidades dos usuários de cada uma dessas aplicações.

Em resumo, o GIS precisa ser capaz de gerenciar e apresentar o conteúdo do banco de dados geográfico respeitando os conceitos e noções que cada usuário tem a respeito de seu universo de trabalho. Para que isso seja conseguido, as decisões quanto à generalização e à adoção de múltiplas formas de representação de objetos geográficos devem ser tomadas considerando o esquema de dados geográficos de todas as aplicações que manipulam aqueles objetos. As seções seguintes vão explorar, primeiro, a ligação entre generalização e modelagem de dados, e em seguida os requisitos para um mecanismo de representações múltiplas em GIS.

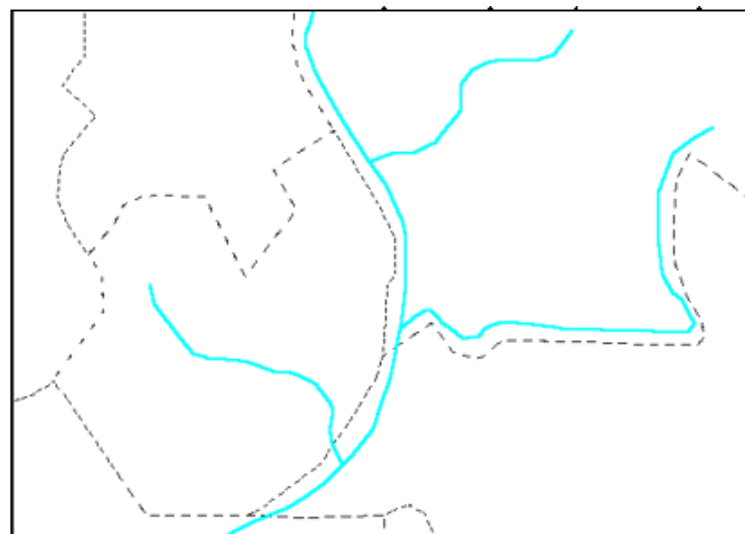
As necessidades de cada aplicação geográfica com relação à representação de objetos são determinadas durante o processo de modelagem de dados. Neste processo, adota-se um determinado modelo de dados, um conjunto de conceitos com semântica suficientemente poderosa para formular a estrutura do banco de dados geográfico, incluindo os tipos de dados, os relacionamentos e as restrições que se aplicam aos dados. Ao final do processo, tem-se uma descrição coerente desta estrutura, denominada esquema. A modelagem de dados utiliza a abstração de conceitos sobre objetos do mundo real como uma ferramenta, que nos auxilia a compreender o sistema que se pretende modelar, dividindo-o em componentes separados, e que são analisados em diferentes graus de complexidade e detalhamento.

Um processo semelhante de abstração é empregado pela cartografia, quando é necessário produzir um modelo do mundo real que permita sua representação em um mapa. Este processo é denominado generalização conceitual. É utilizado para reduzir a resolução espacial e semântica, e também para possibilitar a análise e a produção de mapas. A principal preocupação da generalização conceitual é com o conteúdo e estrutura do banco de dados (que, na cartografia convencional, corresponderia ao conjunto de dados básicos para a compilação de um mapa), independentemente dos recursos de visualização. Na generalização cartográfica, ao contrário, a preocupação principal é com a aparência visual, avaliada por fatores como legibilidade, clareza, facilidade de interpretação e outros [MWLS95].

Existe outra maneira de caracterizar a generalização conceitual, em que se constrói uma representação ambiental primária, denominada Digital Landscape Model (DLM), a partir da qual são derivadas apresentações, voltadas para as aplicações, denominadas Digital Cartographic Models (DCM). A idéia é que o DLM seja um banco de dados bastante detalhado, criado sem a preocupação de refletir as necessidades cartográficas, mas associado a um parâmetro básico de acurácia. Esse parâmetro está relacionado à fonte do dado e ao processo de aquisição, e reflete o nível de detalhamento, fornecendo uma medida do máximo erro tolerável. O DLM pode então ser trabalhado, utilizando operadores de generalização, para produzir outro DLM, com menos informação ou representações mais simples para os mesmos objetos, ou para produzir um DCM adequado para saída impressa e utilização em uma determinada escala. A transformação DLM-DLM é portanto um processo de generalização conceitual, enquanto transformações DLM-DCM ou DCM-DCM são processos de generalização cartográfica [BrWe88]. O sistema ATKIS, na Alemanha, utiliza estes conceitos [HeVi95].

Observe-se que, freqüentemente, bases geográficas digitais são na realidade DCM, pois são formadas pela digitalização de mapas existentes, e não pelo levantamento direto de dados do mundo real. Embora concebível, uma transformação DCM-DLM não seria adequada, pois a aplicação de alguns tipos de operadores de generalização (como deslocamento e exagero) na formação do mapa original insere distorções que não se enquadram no limite de acurácia previsto para o DLM. A saída seria a reversão destes operadores, o que em geral é impossível sem informação adicional.

Um exemplo desta situação ocorre em mapas que contêm limites municipais e hidrografia. Como freqüentemente rios servem de divisa entre municípios, os cartógrafos deslocam ligeiramente a linha de divisa, para que não ocorra superposição com a linha do rio. O objetivo é preservar a legibilidade, pois se as duas linhas ficarem superpostas, uma delas necessariamente será ocultada, dificultando a interpretação (Figura 1). Se este mapa for digitalizado diretamente, as fronteiras municipais conterão erros grosseiros de posicionamento. Estes podem ser corrigidos se for adotada a linha do rio como divisa durante a digitalização, que se torna, portanto, mais complicada e trabalhosa. Para que o GIS produza uma saída semelhante, é necessário contar com um operador (preferencialmente automatizado) de deslocamento, que consiga detectar os conflitos e alterar as linhas de fronteira a partir da representação acurada que está no banco de dados.



*Figura 1 - Deslocamento de limites municipais*

Para implementar as exigências da generalização conceitual, o banco de dados geográfico precisa ser capaz de manter várias representações para cada fenômeno do mundo real, através de toda uma gama de escalas. Neste caso, o GIS deve ser capaz de decidir qual representação utilizar, de acordo com as necessidades da aplicação.

A solução adotada correntemente, com os recursos disponíveis nos GIS comerciais atuais, é manter uma camada separada para cada representação demandada pelas aplicações. Estas diferentes representações passam assim a coexistir, efetivamente introduzindo redundância e gerando problemas quanto à manutenção dos dados e quanto à preservação da integridade do banco de dados geográfico. Não é desejável que o usuário seja obrigado a manter em separado todas as representações exigidas pelas aplicações; por outro lado, pode não ser possível fazer com que os diversos usuários do GIS entrem em consenso para a adoção de apenas uma delas, prejudicando a qualidade das aplicações.

A manutenção de múltiplas representações oferece uma possibilidade de solução para este problema. Promovendo algum nível de interdependência entre as representações, pode-se reduzir a redundância. Permanecem, no entanto, alguns problemas: como forçar atualizações em todas as representações quando ocorrer alguma modificação em uma delas? Como garantir que todas as representações sejam consistentes entre si? Seria aceitável fazer com que a atualização fosse restrita a uma das representações? Em que situações seria possível gerar automaticamente as demais representações a partir de uma representação primária?

A solução destas questões requer uma arquitetura que promova uma clara separação entre a representação dos objetos no banco de dados e suas formas de visualização, ou suas apresentações, em tela ou impressas. Alguns modelos conceituais de GIS existentes na literatura incluem esta possibilidade. No modelo proposto em [CCH+96], são identificados quatro níveis de abstração:



nível do mundo real, que contém os elementos da realidade geográfica;



nível conceitual, em que os objetos do mundo real são modelados em alto nível de abstração, definindo as classes que deverão ser criadas no banco de dados;



nível de representação, que associa as classes identificadas no nível conceitual a representações, de acordo com a demanda da aplicação;



nível de implementação (físico ou interno), em que são definidas formas de armazenamento e estruturas de dados para as diversas representações.

A transição de um nível ao seguinte é definida segundo uma operação de mapeamento, que depende das características da aplicação e de decisões técnicas que consideram os recursos computacionais disponíveis. Entre o nível do mundo real e o nível conceitual, valem principalmente as decisões de modelagem de dados, que buscam extrair as características dos objetos do mundo real para configurar um conjunto de classes, que podem ou não ser georreferenciadas. Entre o nível conceitual e o nível de representação, decide-se a respeito da adequação de uma ou mais representações à(s) aplicação(ões), considerando fatores como escala, época de aquisição, ou mesmo a percepção que o usuário tem sobre o dado. Entre o nível de representação e o nível de implementação, deve-se decidir entre a materialização da representação, ou seja, a necessidade do seu armazenamento no banco de dados, e a sua obtenção a partir de outra representação materializada.

Este modelo é semelhante à tradicional arquitetura ANSI-SPARC de sistemas de bancos de dados [EINa94], com a inclusão do nível de representação. Este não existe em sistemas convencionais, uma vez que raramente existe a necessidade de se contar com recursos para representação múltipla de objetos. Com isso, o modelo acima permite acomodar os tradicionais paradigmas de modelagem, em campos ou objetos, e representação, usando vetores ou matrizes. Em compensação, é introduzida a necessidade de coordenação da ligação entre o nível conceitual e o nível de representação, através do gerenciamento de atualização coordenada das múltiplas representações, detecção de inconsistências entre elas, e decisões a respeito da materialização ou não de representações.

Uma alternativa é apresentada em [Borg97], com a fusão dos níveis conceitual e de representação, baseada na idéia de que, para cada objeto espacial, é necessário contar com pelo menos uma representação básica, que orientará a modelagem das relações espaciais entre os objetos. Outras representações podem também fazer parte do modelo neste nível, sendo indicado explicitamente o relacionamento entre os diversos objetos através de uma primitiva de generalização cartográfica, conforme apresentado na Figura 3.

Mesmo com a fusão dos níveis conceitual e de representação, ainda é necessário controlar o grau de redundância que ocorre entre as diferentes representações do mesmo objeto. Isto é feito na transição entre os níveis conceitual/representação e de implementação. Nesta ocasião, deve-se decidir que métodos utilizar para produzir e manter atualizada uma representação a partir de outra.

Usando a terminologia apresentada anteriormente, no nível de implementação são especificadas transformações entre representações pertencentes a DLMs distintos, quando possíveis ou convenientes. O nível conceitual/representação

apenas registra a necessidade de representações alternativas, e indica quais seriam estas representações. Da mesma forma, transformações DLM-DCM são especificadas também no nível de implementação, levando em conta as limitações do GIS subjacente em termos da produção de diferentes apresentações a partir de uma representação dada.

## Generalização cartográfica

Em cartografia convencional, a região de estudo é freqüentemente dividida em áreas de cobertura, ou folhas de mapa. Estas são novamente divididas, de modo a produzir mapas mais detalhados e em escala maior, e gerando uma série de mapas articulados entre si. Cada um dos níveis desta hierarquia estabelece uma nova aparência para os objetos que compõem o mapa, tentando filtrar o excesso de detalhes, de modo a manter constante a densidade de informação. Em um determinado nível, cada fenômeno mapeado tem uma única aparência gráfica, escolhida em função da escala e da finalidade de uso do mapa. A simbologia adotada é usualmente exemplificada em uma legenda. Em função da aplicação, do espaço disponível para apresentação dos dados e da densidade de informações impressas, o cartógrafo seleciona, dentre os fenômenos de mesma natureza, quais aqueles que aparecerão no mapa, e de que forma o serão, deixando de lado aqueles considerados menos importantes.

Este processo é aplicado tanto na criação de um mapa a partir da realidade física quanto na transformação de um mapa mais detalhado em outro menos detalhado. Um problema que se apresenta é que este tipo de trabalho é feito manualmente, com base no conhecimento empírico do cartógrafo. As decisões para a composição de um mapa são feitas com base tanto na técnica cartográfica, extensamente conhecida e documentada, quanto na experiência pessoal do cartógrafo, aí incluído seu senso estético. O processo é conhecido como generalização cartográfica [McSh92], e sua incorporação a ambientes de GIS e cartografia digital vem provando ser um problema mais complexo do que se poderia imaginar.

A construção de bancos de dados geográficos não pode ficar restrita aos paradigmas cartográficos, uma vez que a demanda por informações georreferenciadas vem se tornando cada vez mais ampla e complexa [MWLS95]. Os limites típicos da cartografia deixam de ser aceitáveis. A divisão da área de estudo em folhas de mapa, por exemplo, não é desejável em um banco de dados geográfico digital, pois é necessário ter a capacidade de visualizar ou produzir mapas a partir de qualquer região, independente das fronteiras entre folhas. Os elevados custos de conversão de dados contribuem para que se desenvolvam esforços visando ampliar a utilização das bases geográficas, promovendo o compartilhamento de dados entre diversas aplicações. Assim, torna-se importante poder trabalhar uma área de estudo em níveis variáveis de detalhe, e também poder contar com recursos para visualizar os dados da forma mais adequada para cada aplicação. Ao mesmo tempo, deseja-se gerenciar os dados geográficos em um banco de dados consistente, eficiente e seguro.

"A informação geográfica pode ser mais rica [do que a informação cartográfica], a menos que permaneça meramente uma duplicação digital de mapas básicos já existentes" [LaRu94]. É necessário, portanto, que o GIS gerencie um banco de dados geográfico de uso múltiplo, a partir do qual seja possível extrair, no mínimo, as formas de apresentação de dados usualmente adotadas pela cartografia, em diversas escalas, diversas simbologias e densidade de informações adequada. Deseja-se também que a variação de escalas seja contínua, e não restrita a um conjunto predeterminado de valores, como na cartografia. Além disso, deseja-se que a aparência visual dos componentes do mapa seja adequada ao uso previsto pela aplicação. Para isso, o GIS precisaria produzir uma ou mais apresentações, com um nível de detalhamento dado, a partir do conjunto de dados que foi armazenado, o que nem sempre é uma tarefa simples. Este processo é denominado generalização automatizada, e é um problema em aberto: ainda se necessita contar com muita intervenção humana para que se consiga bons resultados.

A motivação para que se busque automatizar o processo de generalização foi resumida por Müller [Mull91], que listou uma série de fatores, agrupando-os em quatro categorias:



Fatores econômicos: economia em termos de consumo de recursos computacionais, como tempo de processamento e espaço de armazenamento;



Fatores de robustez dos dados: homogeneização do grau de detalhe em um banco de dados geográfico, possibilidade de integração entre bancos gerados em escalas diferentes;



Fatores de uso múltiplo: ligados à construção, manutenção e utilização de um único banco de dados geográfico para diversas aplicações;



Fatores de apresentação e comunicação: melhoria da qualidade da apresentação, em termos de legibilidade e eficiência de comunicação visual, além da adaptação ao meio de apresentação (papel, tela, animação).

Para alcançar os objetivos da generalização automatizada, algumas estratégias foram propostas [Weib96b]. A mais básica, denominada process-oriented, prevê a formação de um novo banco de dados, menos detalhado, a partir de um banco original, mais detalhado, em um longo processo batch de refinamentos sucessivos [Grun95][Nick88]. Para isso,

são utilizadas ferramentas que implementam os operadores básicos de generalização (vide seção 3.3). Existe ainda uma alternativa, em que o especialista interage diretamente com um sistema gráfico informatizado onde os operadores de generalização estão disponíveis através de uma interface com o usuário [Weib91], e cujos parâmetros podem ser armazenados para uso repetitivo [Lee95]. Com alguma customização e preparação, este sistema gráfico pode ser até mesmo o próprio GIS [More95], muito embora as funções individuais de generalização disponíveis atualmente sejam voltadas principalmente para a edição e análise [Meng97]. Outra estratégia (representation-oriented) consiste em desenvolver bancos de dados para múltiplas escalas, em analogia às séries de escalas cartográficas já mencionadas. Como não existem hoje recursos para representação múltipla de objetos espaciais, o banco de dados de cada escala tem que existir separadamente dos demais.

Existem, ainda, tentativas de se conferir às ferramentas de generalização um caráter de sistema especialista, de modo a simplificar a ação do operador, ou mesmo permitir o uso por usuários menos experientes em cartografia. Esta linha de trabalho está em centrada em desenvolver bases de conhecimento com relação ao problema de generalização [Weib95a], com base em textos acadêmicos e normas técnicas, na análise de séries de mapas generalizados [Robi95], e na experiência acumulada de cartógrafos humanos. Para isso, existem esforços no sentido de desenvolver sistemas voltados à aquisição de conhecimento [McMa95][RuLa95] e à formulação de sistemas de regras [NiFr86][Mull90b] [Weib91] [HeVi95]. Existem também iniciativas no sentido de aplicar técnicas de inteligência artificial, como case-based reasoning (CBR) [Kell95b] ou redes neurais [WeWe94] ao problema.

Parece existir, no entanto, consenso em torno do fato de que a automatização total do processo de generalização ainda não é factível no momento [Spie95], uma vez que o desenvolvimento de tais sistemas demanda uma melhor compreensão dos processos humanos de percepção de detalhes [KiJo94].

### Operadores de generalização cartográfica

Desde os primeiros esforços na área de generalização cartográfica, existia a preocupação em perceber e definir etapas deste processo, concebido pelos próprios cartógrafos como um misto de arte e técnica. Sobre isso, Wright ([Wrig42] apud [McSh92]) afirmou que "nem todos os cartógrafos estão isentos de tentar fazer com que seus mapas pareçam mais acurados do que realmente são, desenhando rios, linhas costeiras, formas naturais e outras com um detalhamento intrincado, derivado principalmente da imaginação". Esforços mais recentes de conversão de dados acabam por levar para o meio digital tal comportamento, sem que se tenha certeza sobre a verdadeira acurácia (relação entre uma medida e a realidade que ela pretende representar [Good91]) e precisão (grau de detalhe na apresentação de uma medida [Good91]) dos dados representados nos mapas.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos visando compreender e sistematizar o processo de generalização cartográfica ([BrWe88], [RSM78], [NiFr86], [McSh88]). Cada um destes trabalhos propõe uma forma diferente de divisão das etapas do processo. Na maioria das vezes, procurou-se imitar o comportamento do cartógrafo, propondo procedimentos que se assemelhassem às etapas do trabalho manual de generalização. O trabalho de McMaster e Shea [McSh88] destaca-se por propor uma visão mais abrangente, voltada para sistemas de cartografia digital, discutindo objetivos filosóficos (porque generalizar), avaliação cartométrica (quando generalizar) e transformações nos elementos espaciais e seus atributos (como generalizar). O trabalho define 10 operadores que atuam sobre as representações gráficas, e dois que atuam sobre os atributos dos elementos espaciais (Tabela 1). Alguns destes operadores podem ser empregados com base em regras bem definidas, enquanto outros somente são aplicados com sucesso pelo cartógrafo experiente, capaz de empregar critérios subjetivos em suas decisões.

<b>Transformações espaciais</b>	
✦	Simplificação: redução da quantidade de vértices usados para representar o elemento, visando produzir uma aparência semelhante ao original, embora mais simples. Exemplo: eliminação de vértices desnecessários de um rio
✦	Suavização: deslocamento dos vértices usados na representação, visando eliminar pequenas perturbações e capturar as principais tendências quanto à forma gráfica. Exemplo: suavização de uma curva de nível simplificada, para produzir uma aparência "mais natural".
✦	Agregação: junção de elementos pontuais que estejam muito próximos uns dos outros, representando o resultado pelos limites da área ocupada pelo conjunto. Exemplo: delimitação de uma área contaminada por determinada doença a partir de um grupo de pontos, cada qual representando uma ocorrência.
✦	Fusão (amalgamation): junção de áreas contíguas de mesma característica, com a eliminação das fronteiras entre elas. Exemplo: fusão de quadras em "área urbanizada", desprezando as ruas que as separam, que teriam se tornado estreitas demais para a representação.
✦	Combinação (merging): junção de duas ou mais linhas paralelas ou muito próximas, formando uma única linha. Exemplo: transformação de um rio representado pelas margens em uma única linha, seu eixo.
✦	Colapso (collapse): redução da dimensão de representação de um objeto, devido à redução do seu tamanho na representação. Um elemento de área (2-D) que se torne muito pequeno devido a uma redução de escala, por exemplo, passaria a ser representado por uma linha (1-D) ou um ponto (0-D). Exemplo: transformação de um município representado pelo seu limite em um ponto.

✦	Refinamento: abandono de elementos menos significativos, que estejam próximos a elementos mais importantes, de modo a preservar as características do conjunto com menor densidade de informação. Exemplo: eliminação dos cursos d'água menos significativos em uma bacia hidrográfica. No sentido inverso, é por vezes denominado seleção.
✦	Exagero: aumento das dimensões de elementos considerados importantes para o mapa mas que, se representados em suas verdadeiras dimensões, seriam pequenos demais para visualizar. Exemplo: aumento nas proporções de uma baía, para marcar sua existência em um mapa de escala pequena.
✦	Destaque (enhancement): alteração das características de um símbolo, visando torná-lo mais adequado para visualização em escalas menores. Exemplo: aumento relativo do tamanho de um símbolo de ponte em um mapa rodoviário, para que o mesmo se torne visível em escala pequena.
✦	Deslocamento: mudança intencional da posição de uma feição, visando destacá-la de outra, muito próxima a ela. Exemplo: deslocamento da linha de divisa entre municípios, para destacá-la de um rio, que constitui o verdadeiro limite.
<b>Transformações de atributos</b>	
✦	Classificação: agrupamento de objetos em categorias que compartilham atributos idênticos ou semelhantes. Exemplo: redução do número de categorias em um mapa de solos, agrupando categorias semelhantes em grandes grupos.
✦	Simbolização: adoção de uma aparência gráfica para a feição com base em suas características essenciais, em especial após o resultado da classificação. Exemplo: adoção de simbologia dependente da população para a representação de cidades.

Existe ainda muita discussão quanto à seqüência ideal de aplicação destes operadores [Monm91], inclusive com dúvidas sobre se tal seqüência existe. De qualquer maneira, muita pesquisa já foi realizada no sentido de buscar formas práticas de implementar cada operador no contexto de GIS e de cartografia digital, numa tentativa de automatizar completamente o processo de generalização cartográfica. Alguns trabalhos tentam simplificar o problema de generalização, considerando aspectos particulares de alguma classe de informação, como redes de transportes [Mack95][ViWi95][KrPe98], hidrografia [MoCa96] ou relevo [WaJo92][Weib92]. Alguns trabalhos propõem estruturas de dados especiais [Oost93][Oost95][BJF95][FrTi94][JBW95], e outros defendem a execução da generalização para produção de mapas ou formação de bases mais simples contando com recursos do próprio GIS [More95].

## Exemplos de aplicação

As seções seguintes procuram mostrar a utilidade e a necessidade da incorporação de recursos de múltiplas representações a GIS, através de exemplos práticos. Em cada caso, é apresentada uma classe de dificuldades práticas do uso de GIS convencional em situações que demandam mais de uma representação para a mesma entidade ou fenômeno geográfico.

### Exemplo 1 - Hidrografia

Para reunir em um só banco de dados informações com graus variáveis de resolução e detalhe, é necessário dotar os modelos de dados geográficos de recursos que permitam a incorporação dos conceitos de generalização conceitual e cartográfica ao esquema da aplicação. Um exemplo típico da necessidade de incorporação de primitivas de generalização conceitual a modelos de dados geográficos foi dado em [Borg97], onde foram comparadas as alternativas disponíveis para representar um rio em GIS. Na Figura 2a, o rio é representado por um objeto vetorial linear, que é lançado sobre seu eixo. É a representação mais comum, adotada em mapas em escalas pequenas, onde em geral a relação entre a largura do rio e seu comprimento é muito pequena. Quando a largura real do rio é visualizável na escala do mapa, caso freqüente em mapas em escalas maiores, é usada a representação da Figura 2b, com linhas separadas para cada margem. Pode-se ainda representar o rio esquematicamente como uma rede (Figura 2c), composta por nós (confluências, nascente, foz) e arcos (segmentos do rio entre nós). Esta representação é adequada para análises de drenagem e hidrologia, onde a percepção da topologia da bacia hídrica é mais importante que a aparência gráfica da hidrografia [DaDa97]. Por fim, pode-se representar o rio pelo polígono ocupado pela água (Figura 2d).

É possível também conceber transformações entre uma representação e outra. Por exemplo, a representação em rede (Figura 2c) pode ser facilmente transformada em vetorial linear (Figura 2a); a representação em polígono (Figura 2d) e a representação pelas margens (Figura 2b) podem ser esqueletizadas [BJF95], para produzir a representação vetorial linear (Figura 2a). Contudo, nem todas as transformações são possíveis: não se sabe, a priori, qual a orientação dos segmentos esqueletizados a partir das margens, para formar a representação em rede. O comportamento topológico, por outro lado, freqüentemente depende da representação adotada. Não é possível, por exemplo, fazer análises de conectividade no rio representado apenas pelas margens.



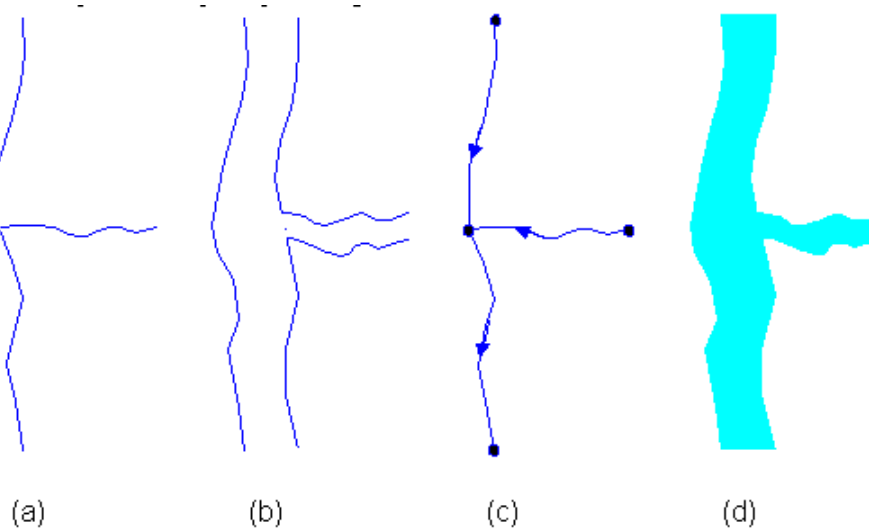


Figura 2 - Diferentes representações de um rio

No modelo Geo-OMT, proposto em [Borg97], existe uma primitiva especificamente para considerar casos como o do exemplo, em que múltiplas representações são demandadas pela aplicação ou conjunto de aplicações. No fragmento de esquema apresentado na Figura 3 as quatro representações são modeladas como classes de objetos separadas, e estão relacionadas a uma classe primária. No entanto, não existe indicação sobre as operações geométricas ou cartográficas necessárias para a transformação de uma representação em outra. Isto é intencionalmente deixado para a etapa de construção do modelo físico, quando se conhece os recursos do GIS que será usado para a implementação da transformação.

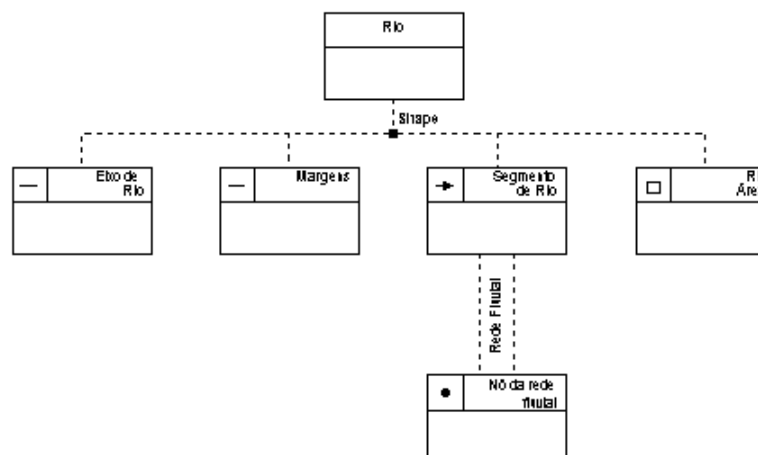


Figura 3 - Modelo de dados das múltiplas representações de um rio

O esquema mostrado na Figura 3 poderia ainda ser expandido, considerando a necessidade de representar a hidrografia em mapas de várias escalas. Partindo de uma representação básica de eixos de rio, adequada para escalas grandes, é possível obter representações para escalas menores, usando alguns operadores de generalização cartográfica, como simplificação, suavização e refinamento. O mais complicado, nesta situação, é atender a algumas exigências estéticas e subjetivas da cartografia que dependem de uma análise mais global do mapa, seu conteúdo e finalidade. Isto é feito usando outros operadores de generalização cartográfica, como exagero, destaque e deslocamento.

Uma estrutura como a apresentada na Figura 3 é rara em modelos de dados geográficos, porque as decisões quanto à modelagem de dados geográficos são freqüentemente (e erroneamente) tomadas já pensando na apresentação final, conforme exigido pela aplicação que está sendo modelada. Ou seja, o esquema é muitas vezes concebido visando um tipo específico de visualização, antecipando uma exigência da aplicação. Esta tendência acaba por inibir usos que exijam representações alternativas, ou aplicações que compartilhem dados geográficos. O mesmo se verifica nos exemplos que se seguem.

### Exemplo 2 - edificações, quadras, mancha urbana

O mapeamento urbano é freqüentemente feito com um elevado grau de resolução e detalhe. É comum encontrar cidades que foram inteiramente mapeadas a partir de aerolevantamentos, sendo que praticamente todos os elementos visualizáveis nas fotos aéreas são vetorizados e incorporados ao banco de dados geográfico. Todo este esforço é feito para atender às necessidades de aplicações que trabalham em escalas urbanas, de 1:1000 até 1:10.000. Em escalas maiores, o detalhamento passa a ser excessivo, o que dificulta a utilização e mesmo a percepção da distribuição espacial dos dados. Uma solução para este problema é oferecida por muitos GIS do mercado, e consiste em determinar

uma escala de apresentação a partir da qual determinadas camadas não serão mais visualizadas. Por exemplo, a camada de edificações pode ser visualizada em escalas superiores a 1:5.000, abaixo disso ela é desativada inteiramente, e são mantidas ativadas apenas camadas formadas por objetos tipicamente de maior dimensão, e que têm algum significado visual naquela escala, como por exemplo quadras. Uma solução mais interessante, mas que não está disponível diretamente nos GIS usuais, consiste em atribuir um valor de "importância" relativa a cada edificação [OoSc95]. Cada edificação é classificada de acordo com uma série de parâmetros, como altura, número de pavimentos, número de unidades, importância para a comunidade, e outros. As edificações mais importantes, como prédios públicos, indústrias de grandes dimensões e grandes edifícios particulares podem ser visualizados em escalas menores, próximas ou inferiores a 1:10.000, enquanto casas e prédios particulares e não muito grandes são logo desativados, em escalas próximas a 1:5.000.

Ocorre que, a partir de uma determinada escala, a percepção da organização espacial da cidade passa a ser mais esquemática, sendo mais interessante para o usuário poder perceber o padrão de arruamento e a distribuição de bairros do que edificações individuais. Em escalas menores (por exemplo, 1:50.000), mesmo o padrão de arruamento torna-se excessivamente intrincado, prejudicando a comunicação. Nesta situação, a largura de cada rua é muito pequena se colocada na escala do mapa, e portanto o usuário passa a trabalhar com o conceito de "mancha urbana", uma fusão das quadras. Para conseguir o mesmo efeito em um GIS, é necessário manter separadamente as camadas de quadras e mancha urbana, e o usuário fica incumbido da tarefa de promover alterações em uma sempre que a outra for alterada. O ideal seria que o GIS apenas permitisse alterações na camada mais detalhada, no caso a de quadras, e gerasse automaticamente a mancha urbana a partir das quadras. Isto seria possível com a implementação do operador de fusão, conforme descrito na seção 3.3, embora seja pouco provável que, devido ao custo computacional desta operação, as alterações na mancha urbana possam ser feitas instantaneamente, a partir do momento do encerramento da alteração nas quadras. Provavelmente, será necessário executar este processamento em um momento mais conveniente no futuro, preferencialmente aguardando a conclusão de diversas operações de alteração nos dados básicos.

Assim, continuam existindo camadas distintas para quadras e mancha urbana, mas estas são ligadas em dois aspectos: (1) as quadras deixam de ser visualizadas em uma determinada escala, e passa a ser usada a mancha urbana, e (2) o contorno da mancha urbana é gerado automaticamente a partir das quadras, e nunca modificado diretamente pelo usuário (Figura 4). No caso das edificações, acrescenta-se recursos para tornar a sua visualização mais inteligente [FrTi94], melhorando nossa capacidade de percepção de detalhes, na tela ou em papel. Com estes recursos, o GIS passa a ser capaz de apresentar os dados com detalhamento variável, adequado à escala de visualização.



(a) 1:25.000 - completo (Prodabel, 1992)



(b) 1:50.000 - algumas ruas eliminadas (IBGE, 1979)



*(c) 1:250.000 - apenas vias principais (IBGE, 1979)*

*Figura 4 - Transição de quadras para mancha urbana*

### Exemplo 3 - Relevo

Para descrever o relevo de uma região, usualmente se executa um levantamento topográfico. O produto deste levantamento é um conjunto de pontos significativos do terreno, associados às suas cotas altimétricas. A partir destes dados básicos, é possível produzir uma série de representações alternativas para o relevo. Por meio de triangulação, pode-se formar uma malha triangular irregular (TIN), a caminho de se produzir um modelo digital do terreno. Usando algoritmos de traçado de isolinhas, pode-se construir um mapa de curvas de nível.

É importante notar que, embora estas representações alternativas sejam mais úteis para as aplicações, em especial para a produção cartográfica, os dados básicos ainda são os pontos amostrados por meio do levantamento topográfico. Assim, qualquer refinamento ou modificação nos dados de relevo só poderá ser feito acrescentando, retirando ou modificando pontos cotados. Em seguida, a TIN ou as curvas de nível terão que ser geradas novamente.

O caminho inverso é menos interessante, porém igualmente viável. Seria possível conceber as curvas de nível como sendo o dado básico, por exemplo nas situações em que as curvas são digitalizadas a partir de um mapa existente. Neste caso, o mais interessante seria usar pontos selecionados nas curvas de nível para produzir uma TIN, a partir da qual as representações mais usuais, como curvas de nível, podem ser derivadas.

Em qualquer situação, o esquema da aplicação deve determinar qual representação (ou quais representações) deve guiar o processo de atualização, e quais métodos devem ser usados para a geração das representações alternativas.

### Exemplo 4 - rede viária principal

Algumas aplicações na área de planejamento de transportes não necessitam perceber toda a malha viária de uma cidade. Pelo contrário, se a malha completa fosse considerada, isto provavelmente inviabilizaria as complexas análises de otimização em redes que são necessárias.

Assim, são identificadas duas classes de aplicação diferentes para a rede viária de uma cidade. A primeira necessita contar com todo o detalhamento disponível, incluindo ruas de trânsito local, todos os cruzamentos e a localização dos semáforos. São aplicações que usam o detalhamento máximo disponível para calcular rotas ótimas ou para planejar o itinerário de ônibus ou de caminhões de coleta de lixo. A segunda classe de aplicações precisa ter apenas uma noção mais esquemática do funcionamento do sistema viário, considerando apenas as vias principais.

Naturalmente, é interessante trabalhar na atualização apenas da rede viária detalhada, uma vez que a rede principal é apenas um subconjunto dela. Seria possível, com uma certa facilidade, associar a cada arco (trecho de logradouro) um atributo que indicasse seu grau de importância na rede viária. Muitas cidades têm este tipo de classificação viária, denominando cada classe como "vias locais", "vias coletoras", "vias arteriais", ou nomes semelhantes. Ocorre que a simples seleção dos trechos de logradouro mais "importantes" não é suficiente para formar a rede principal. É preciso também garantir que a topologia da rede principal esteja correta, fazendo com que um conjunto adequado de nós (cruzamentos) seja também selecionado. Para isso, é necessário eliminar aqueles nós que estejam associados a apenas dois arcos de vias principais, fundindo estes arcos de modo a preservar a conexão entre os nós que realmente são necessários para a rede principal (arcos em vermelho na Figura 4c). Os arcos de vias principais também podem ser simplificados geometricamente, uma vez que o que interessa para as aplicações de planejamento é tipicamente apenas a existência de uma ligação e sua capacidade, e não seu trajeto geométrico detalhado.

### Conclusões

GIS comerciais estão ainda muito longe de conseguir implementar recursos mais adequados de generalização cartográfica. Em geral, incluem apenas alguns comandos básicos, ferramentas batch ou recursos de parametrização, e cobrem somente alguns aspectos específicos, tais como simplificação de linhas, variação na aparência de símbolos, ou ativação e desativação de camadas com base na escala de visualização. Contando com apenas estes recursos, os procedimentos de coleta de dados usados na criação de bases geográficas acabam sendo, em geral, voltados para obter o maior nível de detalhamento e precisão exigidos pela aplicação. Por isso, a representação adotada para cada objeto geográfico tende a ser a mais detalhada possível, e esta representação será usada em todas as situações. Isto efetivamente limita as possibilidades de compartilhamento de informações entre grupos de usuários, uma vez que os níveis de detalhe e precisão exigidos por uma aplicação podem ser, na perspectiva de outras aplicações, muito baixos (gerando a demanda por levantamentos complementares) ou muito altos (consumindo recursos computacionais em excesso).

Para resolver estas questões, é necessário empreender esforços no sentido de trazer para o ambiente de bancos de dados geográficos boa parte do conhecimento desenvolvido em generalização cartográfica. Isso permite a concepção de sistemas capazes de gerenciar com eficiência as informações geográficas e atender a uma ampla gama de usuários, inclusive os cartógrafos. Uma das principais ferramentas para este efeito é a generalização conceitual que, assim como a modelagem de dados, tem por objetivo a redução controlada dos dados espaciais, temáticos e temporais sobre cada

objeto considerado. No escopo de GIS, esta redução de dados é realizada de modo a (1) reduzir o espaço necessário para armazenamento, e conseqüentemente acelerar o processamento, (2) homogeneizar o nível de detalhes para compatibilização com bancos de dados já existentes, e (3) preparar uma representação mais adequada para alguma apresentação em tela ou produção cartográfica [Weib95a]. Além disso, a generalização conceitual é usada para conceber bancos de dados com graus variáveis de resolução e detalhamento, o que é importante para que se consiga atender a demandas diversas.

Do ponto de vista da implementação, observa-se que muitos dos operadores descritos na seção 3.3 estão ainda em estágio experimental de desenvolvimento, e não foram ainda incorporados a GIS comerciais. Mesmo nos casos que dispõem de implementações concretas, como em algoritmos de simplificação de poligonais, existem ainda problemas a resolver, como a solução de conflitos entre poligonais vizinhas simplificadas radicalmente [Mull90a][Mack94]. Também não terminou a busca por algoritmos capazes de produzir versões simplificadas de poligonais com aparência mais natural, simulando as ações e decisões do cartógrafo humano [ViWh90]. Este problema é mais grave no que diz respeito aos operadores que, no processo cartográfico tradicional, dependem mais fortemente da experiência e intuição do cartógrafo humano, tais como deslocamento, exagero e destaque. Apesar disso, existem diversas propostas de automatização destes operadores [BJF95][JBW95][Monm89][Monm91a] – o que não impede que nesta etapa do processo de produção cartográfica estes operadores sejam aplicados por humanos, usando ferramentas interativas de edição gráfica.

Outro problema que atinge diretamente esta área de trabalho é a grande confusão de conceitos e terminologia que ocorre na literatura. Autores com formação na área cartográfica tendem a usar com liberalidade termos e expressões usados em computação, sem maiores preocupações quanto à precisão dos conceitos envolvidos. O mesmo acontece no caso inverso, gerando uma maior dificuldade de entendimento e uma profusão de terminologias por vezes conflitantes. A posição deste trabalho é a de procurar seguir e respeitar ambos os conjuntos de conceitos, chamando a atenção para conflitos sempre que necessário. No entanto, o enfoque adotado é o de conceber o trabalho em GIS e em cartografia como sendo centralizado em um banco de dados geográfico, aplicando-se a este banco de dados prioritariamente todo o conjunto de conceitos desenvolvidos em computação, e procurando adaptar ao banco de dados geográfico os conceitos e terminologia cartográficos sempre que for viável.

É necessário promover uma clara separação entre a representação de objetos em um banco de dados geográfico e os recursos disponíveis no GIS para sua visualização. Os conceitos tradicionais de cartografia aplicam-se nesta última parte, mas não devem influenciar a primeira, que deve procurar maneiras de tratar e manipular dados geográficos com o maior grau de generalidade possível, para viabilizar seu uso em uma ampla gama de aplicações. Isto só será possível de maneira eficiente caso os GIS passem a suportar múltiplas representações para cada entidade geográfica. Considerando isso, este trabalho está prosseguindo no sentido de investigar alternativas e estratégias para a implementação de múltiplas representações em GIS, utilizando os tipos de representação adotados na modelagem de dados geográficos e os algoritmos e operadores apresentados nas áreas de geometria computacional, análise espacial e generalização cartográfica.

## Referências

- [BJF95] Bundy, G. Li., Jones, C. B., Furse, E. Holistic Generalization of Large-Scale Cartographic Data. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, London, 1995.
- [Borg97] Borges, K. A. V. Modelagem de Dados Geográficos: Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas, Dissertação de Mestrado, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.
- [BrWe88] Brassel, K. E., Weibel, R. A Review and Framework of Automated Map Generalization. International Journal of Geographical Information Systems, 2(3): 229-244, 1988.
- [CCH+96] Câmara, G., Casanova, M. A., Hemerly, A., Magalhães, G. C. e Medeiros, C. M. B. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. UNICAMP, 1996.
- [DaDa97] Davis, E. G., Davis Jr., C. A. Uma Proposta de Modelagem de Dados Geográficos para Hidrologia. In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1:597-604, 1997.
- [ECD94a] Egenhofer, M. J., Clementini, E., Di Felice, P. Evaluating Inconsistencies among Multiple Representations. In Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling, 2: 901-920, 1994.
- [EINa94] Elmasri, R., Navathe, S. Fundamentals of database systems. 2nd Edition. Addison-Wesley, 1994. 873p.
- [FRt94] Frank, A. U., Timpf, S. Multiple Representations for Cartographic Objects in a Multi-Scale Tree - An Intelligent Graphical Zoom. In Falcidieno, B. (editor) Computers & Graphics Special Issue: Modeling and Visualization of Spatial Data in Geographic Information Systems, 18(6), 1994.
- [Good91] Goodchild, M. F. Issues of Quality and Uncertainty. In Müller, J. C. (editor) Advances in Cartography, 113-139, Elsevier Applied Science, 1991.
- [Grun95] Grünreich, D. Development of Computer-Assisted Generalization on the Basis of Cartographic Model Theory. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.

- [HeVi95] Heisser, M., Vickus, G., Schoppmeyer, J. Rule-orientated Definition of the Small Area 'Selection' and 'Combination' Steps of the Generalization Procedure. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.
- [JBW95] Jones, C. B., Bundy, G. Li., Ware, J. M. Map Generalization with a Triangulated Data Structure. *Cartography and Geographic Information Systems* 22(4): 317-331, 1995.
- [Kell95b] Keller, S. F. Potentials and Limitations of Artificial Intelligence Techniques Applied to Generalization. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.
- [KiJo94] Kidner, D. B., Jones, C. B. A Deductive Object-Oriented GIS for Handling Multiple Representations. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, 2: 882-900, 1994.
- [KrPe98] van Kreveld, M., Peschier, J. On the Automated Generalization of Road Network Maps. In *Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation*, University of Bristol, UK, 1998.
- [LaRu94] Lagrange, J. P., Ruas, A. Geographic Information Modelling: GIS and Generalization. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, 2: 1099-1117, 1994.
- [LaTh92] Laurini, R., Thompson, D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, 1992.
- [Lee95] Lee, D. Experiment on Formalizing the Generalization Process. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.
- [Mack94] Mackaness, W. A. Issues in Resolving Visual Spatial Conflicts in Automated Map Design. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, 1: 325-340, 1994.
- [Mack95] Mackaness, W. A. Analysis of Urban Road Networks to Support Cartographic Generalization. *Cartography and Geographic Information Systems* 22(4): 306-316, 1995.
- [McMa95] McMaster, R. B. Knowledge Acquisition for Cartographic Generalization: Experimental Methods. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.
- [McSh88] McMaster, R. B., Shea, K. S. Cartographic Generalization in a Digital Environment: a Framework for Implementation in a Geographic Information System. In *Proceedings of GIS/LIS 1988 Annual Conference* 240-249, 1988.
- [McSh92] McMaster, R. B., Shea, K. S. *Generalization in Digital Cartography*. Association of American Geographers, 1992.
- [Meng97] Meng, L. Automatic Generalization of Geographic Data.  
URL: [http://www.vbvviak.sweco.se/Research\\_net/preport/fm9706.htm](http://www.vbvviak.sweco.se/Research_net/preport/fm9706.htm)
- [MoCa96] Molenaar, M., Casasnovas, J. A. M. A Formalism for the Structural Description of Vector Maps, and its Use for Multi-Scale Representations: a Hydrographic Example. *Cartographica* 33(1):55-63, 1996.
- [Monm89] Monmonier, M. Interpolated Generalization: Cartographic Theory for Expert-Guided Feature Displacement. *Cartographica* 26(1): 43-64, 1989.
- [Monm91] Monmonier, M. S., McMaster, R. B. The Sequential Effects of Geometric Operators in Cartographic Line Generalization. In *International Yearbook of Cartography*, 1991.
- [Monm91a] Monmonier, M. The Role of Interpolation in Feature Displacement. In Buttenfield, B., McMaster, R. (editors) *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Longman, 1991.
- [More95] Morehouse, S. GIS-Based Map Compilation and Generalization. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.
- [Mull90a] Muller, J. C. The Removal of Spatial Conflicts in Line Generalization. *Cartography and Geographic Information Systems* 17 (2): 141-149, 1990.
- [Mull90b] Muller, J. C. Rule Based Generalization: Potentials and Impediments. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*, 317-334, 1990.
- [Mull91] Muller, J. C. Generalization of Spatial Databases. In Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (editors) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, 1: 457-475, Longman, 1991.
- [MWLS95] Müller, J. C., Weibel, R., Lagrange, J. P., Salgé, F. Generalization: State of the Art and Issues. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, 1995.
- [Nick88] Nickerson, B. G. Automated Cartographic Generalization for Linear Features. *Cartographica* 25 (3): 15-66, 1988.
- [NiFr86] Nickerson, B. G., Freeman, H. Development of a Rule-Based System for Automatic Map Generalization. In *Proceedings of the Second International Symposium on Spatial Data Handling*, 537-556, 1986.
- [Nyer91] Nyerges, T. L. Representing Geographical Meaning. In Buttenfield, B., McMaster, R. (editors) *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Longman, 1991.

- [OoSc95] van Oosterom, P., Schenkelaars, V. The Development of an Interactive Multi-Scale GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 9(5), 489-507, 1995.
- [Oost93] van Oosterom, P. *Reactive Data Structures for Geographic Information Systems*, Oxford University Press, 1993.
- [Oost95] van Oosterom, P. The GAP-tree, an Approach to 'On-the-Fly' Map Generalization of an Area Partitioning. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.
- [Robi95] Robinson, G. J. A Hierarchical Top-Down Bottom-Up Approach to Topographic Map Generalization. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.
- [RSM78] Robinson, A. H., Sale, R. D., Morrison, J. L. *Elements of Cartography*, 4th Edition, John Wiley & Sons, 1978.
- [RuLa95] Ruas, A., Lagrange, J. P. Data and Knowledge Modeling for Generalization. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.
- [Smaa97] van Smaalen, J. W. N. Spatial Abstraction Based on Hierarchical Re-classification. *Cartographica Monograph* 47, 1997.
- [Spie95] Spiess, E. The Need for Generalization in a GIS Environment. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.
- [ViWh90] Visvalingam, M., Whyatt, J. The Douglas-Peucker Algorithm for Line Simplification: Re-evaluation through Visualization. *Computer Graphics Forum* 9 (213-228), 1990.
- [ViWi95] Visvalingam, M., Williamson, P. J. Simplification and Generalization of Large Scale Data for Roads: A Comparison of Two Filtering Algorithms. *Cartography and Geographic Information Systems* 22 (4), 264-275, 1995.
- [WaJo92] Ware, J. M., Jones, C. B. A Multiresolution Topographic Surface Database. *International Journal of Geographical Information Systems* 6(6), 479-496, 1992.
- [Weib91] Weibel, R. Amplified Intelligence and Rule-Based Systems. In Buttenfield, B. P., McMaster, R. B. (editors) *Map Generalization – Making Rules for Knowledge Representation*, 172-186, Longman, 1991.
- [Weib92] Weibel, R. Models and Experiments for Adaptive Computer-Assisted Terrain Generalization. *Cartography and Geographic Information Systems* 19(3): 133-153, 1992.
- [Weib95a] Weibel, R. Three Essential Building Blocks for Automated Generalization. In Müller, J. C., Lagrange, J. P., Weibel, R. (editors) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, Taylor & Francis, 1995.
- [Weib95b] Weibel, R. Map Generalization in the Context of Digital Systems. *Cartography and Geographic Information Systems*, Guest Editorial to Special Issue on Automated Map Generalization, 22(4): 3-10, 1995.
- [Weib96b] Weibel, R. Generalization of Spatial Data. In Course Notes, CISM Advanced School on the Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems, 1996.
- [WeWe94] Werschlein, T., Weibel, R. Use of Neural Networks in Line Generalization. In Proceedings of the Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, 76-85, 1994.
- [Wrig42] Wright, J. K. Map Makers are Human. *Geographical Review* 32:527-544.