

Generalização Cartográfica, Representação do Conhecimento e SIG

JÚLIO C. L. D'ALGE¹
MICHAEL F. GOODCHILD²

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil
julio@dpi.inpe.br

²NCGIA - National Center for Geographic Information and Analysis
3510 Phelps Hall, Santa Barbara, CA 93106, USA
good@geog.ucsb.edu

Abstract. This paper discusses cartographers' knowledge of the process of cartographic generalization. It debates the knowledge representation hypothesis in terms of geographic processes, and describes potentials and limitations of artificial intelligence techniques applied to generalization. A critical review is made, which attempts to reexamine the role of generalization in a GIS context.

Keywords: Generalization, GIS, Knowledge Representation.

1 Introdução

O processo de generalização cartográfica envolve muita intuição e pouca formalização. Devido à redução de escala, o cartógrafo seleciona, classifica e padroniza; executa simplificações e combinações intelectuais e gráficas; enfatiza, aumenta e reduz ou elimina feições representadas num mapa, quase sempre de modo predominantemente intuitivo, criativo. Generalização cartográfica compreende um processo de seleção de objetos, que leva em conta uma certa hierarquia de importância, seguido de um outro processo no qual ocorrem simplificações de forma e estrutura.

Embora muitos cartógrafos tenham tentado analisar os processos fundamentais que servem de base à generalização cartográfica, pouco se conseguiu em termos de um conjunto consistente de regras que indiquem o que fazer em cada caso. É interessante notar que a atual continua sendo o prognóstico de Robinson (1960) de que generalização cartográfica provavelmente permaneceria como um processo essencialmente criativo, sempre pronto a desafiar a tendência moderna de padronização que parece reduzir-se a nada mais que um simples produto de avanços meramente técnicos.

Generalização cartográfica evoluiu de uma fase inicial em que a pesquisa se concentrava no desenvolvimento de algoritmos para uma fase mais recente que tem envolvido tentativas de formalização e

representação do conhecimento cartográfico através de modelos conceituais abrangentes e sistemas especialistas.

A primeira parte deste trabalho revê generalização cartográfica à luz de alguns modelos conceituais abrangentes. A seguir se discute representação do conhecimento cartográfico sob a perspectiva de inteligência artificial. A última parte do trabalho concentra-se numa análise crítica do papel de generalização cartográfica no domínio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

2 Modelos Conceituais

Métodos algorítmicos são bastante comuns quando se buscam soluções através do computador. No entanto, é importante notar que a validade dos algoritmos e a utilidade das soluções por eles geradas depende da acurácia com que eles representam os componentes básicos dos modelos conceituais dos processos em questão. A ligação entre processos observados no mundo real e algoritmos através de modelos conceituais abrangentes tem sido uma característica marcante nas pesquisas sobre generalização cartográfica.

Müller (1989) propôs que se distinguísse generalização geométrica de generalização conceitual. Simplificação, ampliação e deslocamento são os

componentes essenciais da generalização geométrica, enquanto que a generalização conceitual compreende seleção, classificação e simbolização. De acordo com Müller, as transformações inerentes aos dois tipos de generalização não se justificam sempre na mesma escala para toda feição pertencente aos diferentes domínios temáticos. Como consequência, mudanças radicais de representação (catástrofes) nem sempre ocorreriam na mesma escala para todos os objetos incluídos num certo mapa. A análise das transformações que podem ocorrer quando objetos geográficos distintos são submetidos a uma variação contínua de escala é uma etapa importante para a automatização do processo de generalização aplicado a grandes variações de escala. Muito embora este procedimento possa contribuir para estabelecer intervalos de variação de escala para os quais transformações específicas sejam válidas, é bastante improvável que um único conjunto de operações seja genérico o suficiente para abranger grandes variações de escala. Convém lembrar que, pelo menos sob a perspectiva cartográfica convencional, grandes reduções de escala não fazem parte do processo de produção de mapas.

McMaster e Shea (1992) descreveram um modelo conceitual bastante abrangente baseado naquilo que eles denominaram de filosofia da generalização no domínio digital. A base conceitual consiste de objetivos filosóficos que indicam o motivo da generalização, de condições que estabelecem quando se deve generalizar e de transformações espaciais e temáticas que representam o modo de generalização. Alguns elementos que norteiam generalização no domínio digital são: redução da complexidade, manutenção da acurácia espacial e temática, objetivo do mapa e potenciais usuários, retenção da clareza e algoritmos eficientes. O controle sobre as transformações representa o aspecto mais crítico no processo de automatização da generalização, uma vez que as decisões devem levar em conta a importância das feições, a complexidade das relações entre feições, a eficiência do mapa como veículo de comunicação, a necessidade de se variar o esquema de generalização para diferentes feições e a robustez de transformações e algoritmos. Embora este modelo abrangente tenha influenciado sobretudo as pesquisas mais recentes em generalização, ele apresenta a limitação de não considerar correlações existentes entre os parâmetros envolvidos nas várias transformações.

Brassel e Wiebel (1988) desenvolveram um modelo conceitual dos mais interessantes. Generalização, num sentido mais amplo, é considerada como um processamento mental de informações que

envolve ordenação ou disposição, distinção, comparação, combinação, reconhecimento de relações, delimitação ou esboço de conclusões e abstração. O modelo assume generalização como um processo intelectual que estrutura realidade em certas entidades individuais, selecionando as que são importantes e representando-as sob uma nova forma. O modelo de Brassel e Wiebel destaca cinco processos de generalização no domínio digital: reconhecimento de estruturas, reconhecimento de processos, modelagem de processos, execução de processos e visualização de dados. Reconhecimento de estruturas identifica objetos e relações entre eles e estabelece medidas comparativas de importância. Reconhecimento de processos tem como objetivo definir o processo de generalização. Enquanto modelagem de processos compila regras e procedimentos, a generalização da base de dados se dá na fase de execução de processos. Visualização de dados compreende a conversão da base de dados generalizada em mapa. Os elementos fundamentais deste modelo são as estruturas da informação espacial e os processos que podem interagir com tais estruturas. Há uma ênfase em generalização cartográfica como parte de modelagem espacial e em modelos de dados alternativos como condição para uma automatização satisfatória do processo de generalização.

3 Representação do Conhecimento

Como a formalização do conhecimento cartográfico insere-se no contexto mais amplo de representação do conhecimento, é oportuno revê-la sob a perspectiva de inteligência artificial (IA). Representação do conhecimento é uma sub-área de IA cujo objetivo principal é a busca de formalismos que possam ser usados para representar informação a respeito do mundo real. Muito do que se faz em IA baseia-se na chamada hipótese da representação do conhecimento. De acordo com ela, qualquer sistema, humano ou artificial, dotado de comportamento inteligente contém, como subestrutura, uma base de conhecimento. De acordo com Reichgelt (1991), formalismos de representação do conhecimento podem ser discutidos em quatro níveis distintos: executável, lógico, epistemológico e conceitual. É necessário analisar a formalização do conhecimento cartográfico nos níveis epistemológico e conceitual. Os tipos de primitivas usadas para representar certos aspectos do conhecimento cartográfico devem ser examinadas no nível epistemológico, enquanto que no nível conceitual as primitivas devem ser efetivamente definidas. A simples análise destes dois níveis é suficiente para indicar o quão distante ainda está uma solução automatizada

baseada em conhecimento para generalização cartográfica.

Faz-se necessário investigar todos os métodos possíveis para aquisição de conhecimento que envolvam especialistas em computação e cartógrafos, pois um dos principais problemas no que diz respeito à busca de soluções automatizadas tem sido a pequena interação entre esses especialistas. Cooperação entre órgãos responsáveis por mapeamento e universidades ou centros de pesquisa deve ser intensificada como meio de progresso em relação às possibilidades de aquisição de conhecimento em generalização. Müller, Weibel, Lagrange e Salgé (1995) foram ainda mais reticentes ao colocarem que, com exceção de rotinas para rotulação automática, não existe sistema algum em uso que utilize regras abrangentes para generalização. Pode-se inclusive especular que não há provas de que tal sistema possa sequer ser construído, posto que cartógrafos têm admitido com frequência que a racionalização ou formalização das decisões tomadas durante o processo de generalização é tarefa extremamente difícil.

Weibel (1991, 1995) sugeriu que a chamada generalização com fins de modelagem, as técnicas de aquisição de conhecimento e os procedimentos de avaliação de alternativas para generalização são alguns dos fatores preponderantes para a automatização do processo de generalização. Weibel destacou alguns métodos para aquisição de conhecimento em generalização cartográfica: técnicas de engenharia do conhecimento, análise de textos, comparação entre mapas, redes neurais e inteligência amplificada. As técnicas de entrevista são bastante afetadas pelo holismo que cerca o processo cartográfico, o que faz com que cartógrafos tenham dificuldades em decompor o procedimento de generalização em ações distintas. A análise de documentos esbarra na vaguidade e na falta de completeza dos manuais de produção de mapas. Apesar dos mapas representarem o elo para a comunicação entre especialistas em computação e cartógrafos, deve-se ter em mente que um mapa normalmente é a síntese de uma série de operações complexas. Redes neurais podem ser usadas apenas como uma técnica auxiliar, pois demandam a entrada de um grande número de fatos confiáveis para gerar bons resultados. Inteligência amplificada baseia-se na possibilidade da existência de sistemas interativos capazes de armazenar as ações tomadas por usuários especialistas. De acordo com Weibel, as análises dos registros da interação entre usuário e sistema poderão conduzir à formulação de regras.

Pesquisas recentes em generalização cartográfica

têm investigado os problemas de explicitação do conhecimento e reconhecimento de estruturas. Keller (1995) chamou a atenção para a importância de cooperação em pesquisas correlatas nas áreas de IA, ciência da cognição, psicologia e ciências sociais. McMaster (1991) reconheceu que o problema da explicitação do conhecimento cartográfico precisa ser resolvido para que se possa desenvolver rotinas para a automatização da generalização. De acordo com McMaster, é possível organizar uma biblioteca de processos baseada no modelo conceitual proposto por Brassel e Wiebel. A estrutura da biblioteca de processos seria determinada pelas ligações entre transformações (procedimentos aplicados a pontos, linhas e polígonos) e regras (agrupadas em função das diferentes feições).

Mark (1991) aventou que o esquema de orientação por objetos, usado tanto para representação do conhecimento como para o desenvolvimento de programas para computador, garante uma abordagem mais geográfica na questão da generalização cartográfica. Em experimentos sobre generalização realizados com cartas topográficas Mark constatou que as regras envolvem uma grande variedade de tolerâncias que quase sempre requerem julgamento externo de caráter subjetivo. Na verdade, a sofisticação e a extensão do conhecimento geográfico inerente ao processo de generalização parecem ser os elementos determinantes da possibilidade de um sistema especialista para generalização cartográfica.

Rieger e Coulson (1993) abordaram a questão da explicitação do conhecimento cartográfico em generalização para uso em sistemas especialistas para cartografia. A investigação utilizou técnicas de entrevista com um grupo de cartógrafos experientes. Os cartógrafos foram instruídos a considerar quaisquer procedimentos de generalização, todos os tipos de mapas e qualquer variação de escala, não havendo preocupação quanto ao método de produção dos mapas generalizados. Os resultados mostraram uma absoluta falta de padronização em termos do conhecimento sobre definições de procedimentos, bem como sobre aspectos conceituais fundamentais.

Se sistemas especialistas devem sempre se basear em conhecimento proveniente do consenso entre especialistas, o uso da tecnologia de sistemas especialistas para resolver a questão da generalização cartográfica é, no mínimo, discutível. Sistemas especialistas são apropriados em áreas onde a competência é suficiente. Dreyfus e Dreyfus (1986) enfatizaram que sistemas especialistas falham completamente em domínios em que se necessita

recorrer frequentemente à compreensão em forma de linguagem natural, ao senso comum e à habilidade de se ajustar a situações inesperadas. Sem dúvida alguma o computador é extremamente eficiente em tarefas que requerem uma grande quantidade de memória, mas falha sobremodo sempre que se lida com reconhecimento. Rota e Sharp (1985), por exemplo, argumentaram que a tarefa de construir computadores com visão envolveria a necessidade de se codificar a expectativa de ocorrência de certos padrões como forma única de se replicar reconhecimento.

4 Generalização cartográfica e SIG

Cartografia desempenha um papel importante em SIG pelo simples fato de que mapas, quer em papel quer nas telas de computadores, ainda são um modelo de representação espacial extremamente completo no que diz respeito à comunicação visual. Goodchild (1988, 1992) discutiu com propriedade o quão limitados são os modelos de dados disponíveis para mapas no tocante à representação do mundo real. Não obstante, é fato incontestável que mapas constituem a principal fonte de dados para um SIG.

Os sistemas dedicados à cartografia automatizada usam estruturas de dados simples, que normalmente não incluem informações topológicas. Contudo, a flexibilidade com que tais sistemas produzem mapas de boa qualidade é suficiente para explicar a presença de procedimentos típicos de cartografia automatizada em SIG. Um outro exemplo é a própria generalização, que sempre foi considerada um processo eminentemente cartográfico. O desenvolvimento de SIG coloca generalização cartográfica num contexto mais amplo, estendendo sua motivação meramente cartográfica. Generalização transforma dados espaciais com a finalidade de dar suporte à análise espacial ou à produção automatizada de mapas em diversas escalas. Müller (1991) definiu generalização como um processo orientado à informação que tem por objetivo universalizar o conteúdo de uma base de dados espaciais para o que for de interesse. A integração de dados provenientes de fontes diversas depende da generalização de partes do conjunto de dados. Generalização também é um parâmetro básico para a visualização de dados, pois assume-se que uma representação cartográfica no mínimo aceitável ocorra durante a visualização de dados em escalas diferentes. Análise espacial também envolve generalização no sentido de que se pode realizá-la em diferentes níveis de resolução espacial. Lagrange e Ruas (1994) sugeriram que generalização no contexto de SIG deve ser usada

para transformar a base de dados de tal modo que as ligações entre as bases de dados original e transformada sejam armazenadas e possam servir a outras aplicações.

Generalização cartográfica no domínio de SIG pode ser justificada levando-se em conta os quatro aspectos mencionados anteriormente: integração de dados, visualização de dados, análise de dados e transformação da base de dados. Estes mesmos aspectos servem de referência à discussão sobre generalização cartográfica e generalização com fins de modelagem. Müller, Weibel, Lagrange e Salgé (1995) propuseram que deve-se distinguir problemas de representação gráfica daqueles que se originam de modelagem em diferentes níveis de abstração. Assim, generalização com fins de modelagem evidencia a observação de fenômenos em escalas menores, enquanto que generalização cartográfica lida com representação gráfica. Parece claro que a perspectiva de modelagem impõe generalização como um requerimento para análise de dados espaciais e transformação de bases de dados. É intuitivo associar generalização cartográfica com visualização de dados. Todavia, entende-se que estes dois enfoques para generalização devem ser considerados em conjunto. Generalização cartográfica sempre envolve algum tipo de modelagem, pois a generalização de um mapa deve ser precedida de objetivos claros que normalmente se relacionam com tentativas de modelagem em escalas menores. Por outro lado, apesar da generalização com fins de modelagem ser influenciada basicamente por inquisições de origem analítica, sempre haverá a necessidade de algum tipo de representação gráfica para os objetos em questão.

É fundamental reconhecer que generalização depende do tipo de mapa e de seu objetivo, da escala original e da variação de escala pretendida. Por isso, a busca do procedimento heurístico que atende a uma certa finalidade torna-se mais importante que discutir se um determinado processo é meramente cartográfico ou insere-se no contexto de modelagem. É essencial que as avaliações de procedimentos sejam também qualitativas e não apenas quantitativas. Cartógrafos e potenciais usuários de mapas devem ser questionados sobre a qualidade de uma mapa generalizado para um certo uso específico.

Escala é o parâmetro básico usado para definir e justificar generalização no domínio analógico. A noção de escala é bem definida para mapas em papel, mas deixa de ser válida no domínio digital. Pode-se dizer então que métodos que se baseiam em escala apenas tentam replicar no domínio digital os procedimentos manuais de generalização. Nenhum desses métodos

redefine o processo de generalização no mundo digital, posto que se fundamentam numa variável que não pode mais ser definida. Na verdade, essa redefinição da generalização requer métodos que se baseiem na resolução espacial da base de dados. Esta é a única dimensão relevante que efetivamente responde pelo detalhamento geográfico da base de dados digitais. Contudo, não se pode negar a influência do modelo de dados representado pelos mapas nos modelos e estruturas de dados disponíveis em SIG. Conclui-se que essa redefinição do processo de generalização depende da inclusão de modelos e estruturas de dados alternativos que diminuam a separação atual entre o mundo real e sua representação num SIG. Não se trata de questionar a validade de mapas como modelos de representação; trata-se apenas de buscar uma alternativa válida que melhor se beneficie do conhecimento sobre o espaço geográfico.

Referências

- Brassel, K. E.; Weibel, R. A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 2, No. 3, 1988.
- Dreyfus, H. L.; Dreyfus, S. E. Mind over Machine - the Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer. New York, The Free Press, 1986.
- Goodchild, M. F. Stepping over the Line: Technological Constraints and the New Cartography. *The American Cartographer*, Vol. 15, No. 3, 1988.
- Keller, S. F. Potentials and Limitations of Artificial Intelligence Techniques Applied to Generalization. In: Müller, J. C.; Lagrange, J. P.; Weibel, R. (eds.) *GIS and Generalization - Methodology and Practice*, London, Taylor & Francis, 1995.
- Lagrange, J. P.; Ruas, A. Geographic Information Modeling: GIS and Generalization. In: Waugh, T. C.; Healey, R. G. (eds.) *Advances in GIS Research*, Vol. 2, London, Taylor & Francis, 1994.
- Mark, D. M. Object Modeling and Phenomenon-Based Generalization. In: Buttenfield, B. P.; McMaster, R. B. (eds.) *Map Generalization - Making Rules for Knowledge Representation*, Essex, Longman, 1991.
- McMaster, R. B. Conceptual Frameworks for Geographical Knowledge. In: Buttenfield, B. P.; McMaster, R. B. (eds.) *Map Generalization - Making Rules for Knowledge Representation*, Essex, Longman, 1991.
- McMaster, R. B.; Shea, K. S. Generalization in Digital Cartography. Washington D.C., AAG, 1992.
- Müller, J. C. Theoretical Considerations for Automated Map Generalization. *ITC Journal*, Vol. 3, No. 4, 1989.
- Müller, J. C. Generalization of Spatial Databases. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. (eds.) *Geographical Information Systems*, Vol. 1, Essex, Longman, 1991.
- 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. (eds.) *GIS and Generalization - Methodology and Practice*, London, Taylor & Francis, 1995.
- Reichgelt, H. Knowledge Representation - an AI Perspective. Norwood, Ablex Publishing Corporation, 1991.
- Rieger, M. K.; Coulson, M. R. Consensus or Confusion: Cartographers' Knowledge of Generalization. *Cartographica*, Vol. 30, No. 2 & 3, 1993.
- Robinson, A. H. Elements of Cartography. New York, John Wiley and Sons, 1960.
- Rota, G. C.; Sharp, D. H. Mathematics, Philosophy, and Artificial Intelligence. *Los Alamos Science*, Spring/Summer, 1985.
- Weibel, R. Amplified Intelligence and Rule-Based Systems. In: Buttenfield, B. P.; McMaster, R. B. (eds.) *Map Generalization - Making Rules for Knowledge Representation*, Essex, Longman, 1991.
- Weibel, R. Three Essential Building Blocks for Automated Generalization. In: Müller, J. C.; Lagrange, J. P.; Weibel, R. (eds.) *GIS and Generalization - Methodology and Practice*, London, Taylor & Francis, 1995.