

Generalização em Redes Hidrográficas utilizando SIG

Prof^a. Mariane Alves Dal Santo ¹
Prof. Dr. Carlos Loch ²
Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveria ³

UFSC - Depto. de Engenharia Civil
Florianópolis SC

¹ marianedalsanto@udesc.br

² loch@ecv.ufsc.br

³ chicoliver@yahoo.com.br

Resumo: O presente artigo descreve uma metodologia para automatizar a generalização digital de dados espaciais em redes hidrográficas. Este modelo foi implementado em Arc/Info – ESRI. A generalização cartográfica estabelece regras para preservar as características geométricas e semânticas dos objetos. Neste trabalho foram consideradas modificações de escala na ordem de 1:50.000 a 1:100.000. O processo de simplificação da escala abrangeu os seguintes estágios: Análise, correção da direção dos arcos (fluxo), classificação, seleção, eliminação e simplificação. Este processo foi avaliado com o mapa fonte com o objetivo de encontrar inconsistências com a mudança de escala

Palavras chaves: Generalização cartográfica, escalas, redes hidrográficas.

Abstract: The present article describes an methodology to automate the digital generalization of spatial data in hydrographic networks. This model has been implemented in Arc/Info – ESRI. The cartographic generalization establishes rules to preserve the geometric and semantic characteristics of the objects. In this work we consider the scale modification from 1:50.000 to 1:100.000. The process of change of the scale it enclosed the following stages: Analysis, correction of arc directions(flow), classification, selection, elimination and simplification. This process has been evaluated for map source in order to find some inconsistencies in the change of scale.

Keywords: Map generalization, scale, hydrographic network.

1 Introdução

Tradicionalmente, dependendo do seu propósito, objetos e fenômenos espaciais são representados em mapas de diferentes escalas. Atualmente, com o desenvolvimento dos sistemas digitais georeferenciados, tem-se desenvolvido metodologias e criado modelos para o tratamento dos dados geográficos. O Brasil encontra-se em fase de estruturação de suas bases de dados através da transformação dos produtos em meio analógico para o meio digital. Segundo Azevedo et al. (2001, p. 2), o Departamento de Cartografia (DECAR) do IBGE busca desenvolver metodologias e sistemas de modo a agilizar os processos de editoração e disponibilização de seus produtos cartográficos. O IBGE, através do DECAR, especificou a estrutura de armazenamento de dados cartográficos, em ambiente digital, denominada Mapoteca Topográfica Digital que congrega o conjunto de procedimentos que tem por finalidade a representação do espaço territorial brasileiro, de forma sistemática, por meio de séries de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, em consonância com as prioridades conjunturais, nas escalas-padrão de 1:1.000.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000. Porém ainda

não se tem uma metodologia desenvolvida em meio digital que resolva a problemática dos mapas multiescala.

Em cartografia utiliza-se a generalização cartográfica para a elaboração dos processos de simplificação de escalas. Através destes processos são estabelecidas regras a fim de preservar a geometria e as características semânticas dos objetos espaciais.

Segundo Tang (1996), objetos que representam o espaço geográfico, contem em si, quatro elementos de representação: geometria, propriedades não espaciais, relações topológicas e relações não topológicas. Através do processo de generalização cartográfica, segundo o seu objetivo, estes elementos podem ser transformados. Podem ocorrer transformações da geometria em diferentes escalas. A partir do momento que ocorrem mudanças geométricas, podem ocorrer mudanças nas relações topológicas ou não topológicas, ou em ambas. Porém, segundo McMaster (1992), o processo de generalização deve procurar preservar a consistência dos relacionamentos topológicos.

Com o objetivo de estruturar um modelo de generalização de redes hidrográficas que preserve a consistência dos relacionamentos topológicos, propomos um conjunto de regras para derivar uma base de dados a partir da carta topográfica do município de Criciúma na escala 1:50.000 para a escala 1:100.000. Este modelo está associado a operadores de generalização já utilizados em estudos precedentes desenvolvidos por João (1998), Ruas (1999), ESRI (2000), Moreno (2001), entre outros. Desta forma apresentamos uma metodologia de generalização da rede hidrografia e investigamos efeitos destas operações em cima do modelo dos dados.

2. Metodologia aplicada:

2.1 Organização e análise do Banco de Dados Fonte

O primeiro passo foi selecionar, na carta topográfica em meio digital do IBGE do Município de Criciúma, na escala 1:50.000, no software ARC/INFO – ESRI, os objetos (layers) pertinentes a rede hidrográfica: Rede Hidrográfica, Pontos Cotados, Curvas de Nível (mestras e intermediárias).

2.2 Análise da Rede Hidrográfica

Para modificar a escala é necessário analisar as características geométricas e topológicas da rede hidrográfica em diferentes escalas, usando como material fonte as cartas topográficas. O objetivo desta análise é encontrar as particularidades e identificar com clareza os objetos que as compõem. As redes hidrográficas são compostas por vários objetos: rios, corpos de água naturais e artificiais, etc. O resultado desta análise deve mostrar as características que definem o conhecimento de redes hidrológicas e o padrão da rede em questão. Esta análise será usada para implementar procedimentos futuros. As características analisadas foram as seguintes:

- O fluxo segue sempre em uma única direção;
- Todos os fluxos têm uma única saída (geralmente);
- Todos os sistemas hidrográficos são limitados por bacias hidrográficas;
- Áreas fechadas compõem bacias hidrográficas;
- A altura onde a rede começa e maior do que a altura onde termina.

Considerou-se também que, redes hidrográficas apresentam diferentes configurações, dependendo da escala e, em sistemas digitais, são compostas de arcos, pontos e áreas. Algumas redes são compostas apenas de arcos. Elas são chamadas de configuração arco-arco e representam fluxos. Outras configurações são chamadas de arco-area-arco, ponto-arco-area, etc. dependendo dos objetos que a compõem.

Assim, os objetos da rede (rios principais, secundários, intermitentes, etc.) que podem ser representados por linhas ou áreas dependendo da escala, sempre se conectam com outros objetos (lagos, lagoas, açudes etc.) que são representados por áreas.

Neste artigo apresentaremos uma metodologia para a configuração arco-arco.

2.3 Delimitação da sub-bacia

Para gerar o modelo de generalização, após a análise da rede hidrográfica como um todo, foi delimitada uma sub-bacia (Figura 1), a fim de desenvolver as análises específicas.

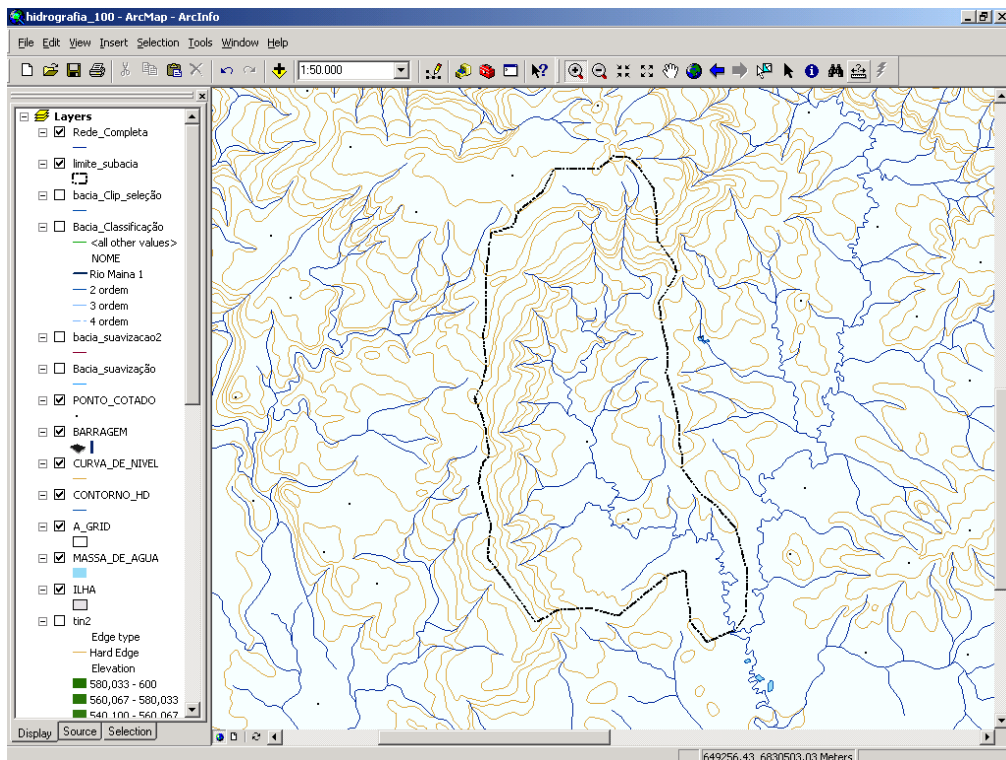


Figura 1. Delimitação de uma sub bacia (Editor) e recorte da área (Clip)

2.4 Análise da rede hidrográfica considerando o relevo (TIN)

Utilizando os layers de altimetria foi gerada uma grade triangular (TIN) com o objetivo de analisar a sub-bacia considerando o relevo onde a mesma está inserida a fim de determinar as áreas de maior altitude e o grau de declividade das vertentes (Figura 2).

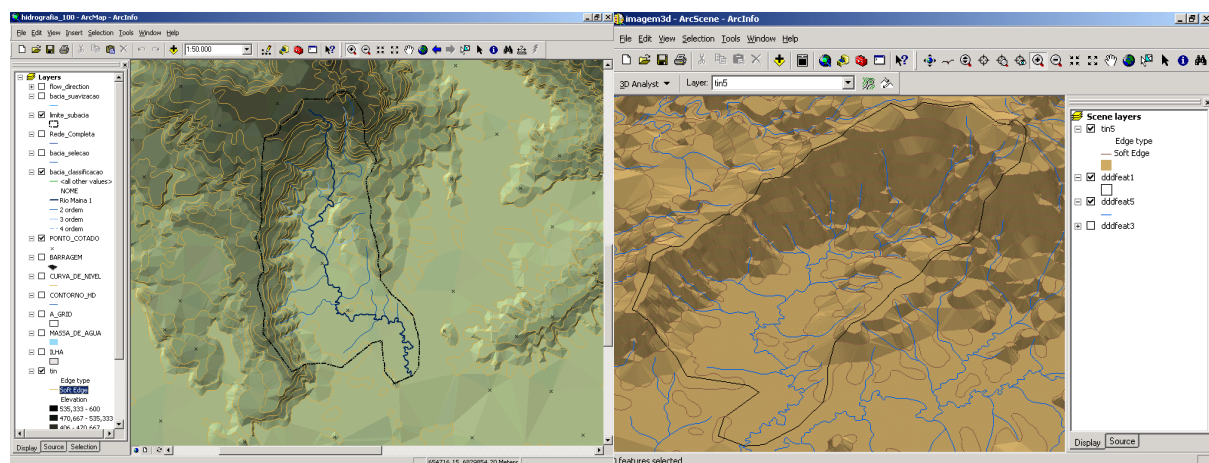


Figura 2: Análise da rede considerando a declividade das vertentes e o relevo(TIN 3D).

2.5 Correção da direção dos arcos (fluxos)

Dados vetoriais são suscetíveis a erros. Por exemplo, erros de direcionamentos dos arcos podem originar uma má classificação. Devido a isto, é importante desenvolver um processo de correção automática do direcionamento dos arcos. Neste processo de correção utilizou-se os layers de altitude, usando um buffer do nó do layer de fluxo. Os arcos foram corrigidos usando a tabela de valores dos atributos. Para todos os arcos, a altura do nó inicial deve ser maior do que a altura do nó final. O processo forneceu a correção automática dos fluxos e melhorou a qualidade dos dados. (Figura 3).

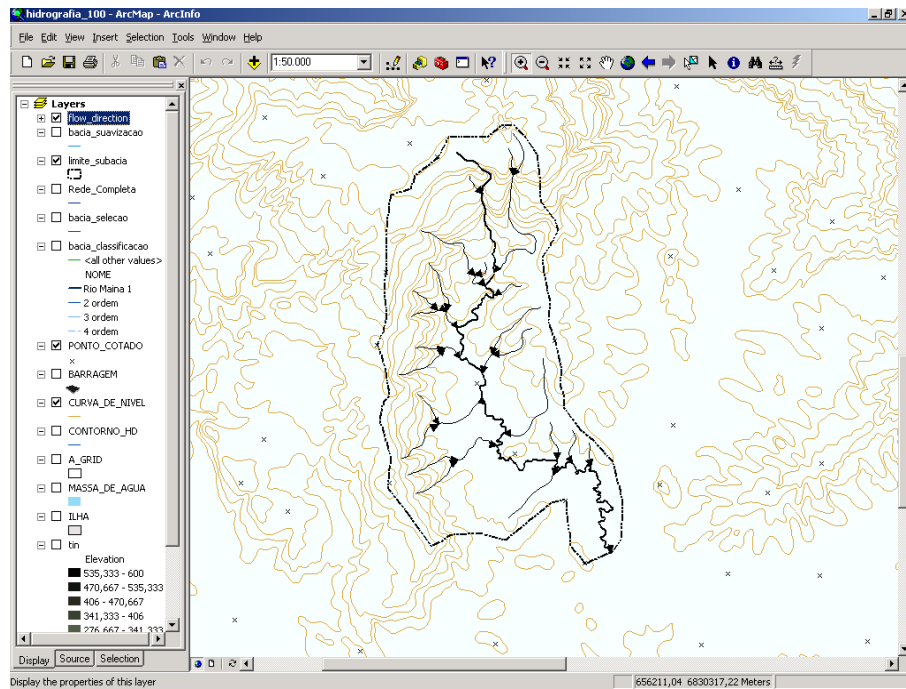


Figura 3 - Análise da rede considerando a direção do fluxo (Flow Direction)

2.4 Classificação

Este processo foi usado com uma finalidade específica e envolve geralmente a aglomeração de valores dos dados em categorias. Na classificação três processos foram usados. Dois foram usados para facilitar a execução da sistemática de generalização e outro para quantificar os objetos da rede hidrológica, o que resultou na identificação dos elementos mais importantes.

2.4.1 Classificação Preliminar – conexões entre os arcos (input/output)

A fim de classificar os arcos, estes devem ser arcos aglomerados nos subsistemas. A aglomeração foi usada para definir as conexões entre os arcos. Um subsistema consiste em elementos com algumas conexões possíveis entre elas, entre arcos. Duas alternativas foram usadas. Primeiro foi utilizado um processo automático de classificação, onde um identificador original é atribuído a cada subsistema e segundo os arcos foram classificados por sua posição na rede hidrográfica. São classificados pelas entradas (i), pelas saídas (O) e (P) por arcos incompletos. Desta forma foram atribuídos valores correspondentes a cada objeto.

2.4.2 Classificação hierárquica dos comprimentos dos arcos

O processo de quantificação foi desenvolvido com embasamento na chamada "Classificação hierárquica do comprimento" (CLAJER) de Moreno (2001), que permite quantificar os elementos da rede considerando os comprimentos em conjunto. O processo deve classificar os arcos com rota mais longa da entrada à saída (no trajeto predominante). A rota mais longa é classificada como de primeira ordem, seguida das ramificações de segunda ordem, terceira ordem, quarta ordem, e assim sucessivamente. As rotas são processadas usando os atributos FNODE e TNODE. O processo é aplicado aos arcos classificados do

mesmo subsistema. Em consequência da classificação o comprimento e a ordem são armazenados nos objetos como atributos (Figura 4). Esta classificação preserva as características topológicas de rede hidrográfica.

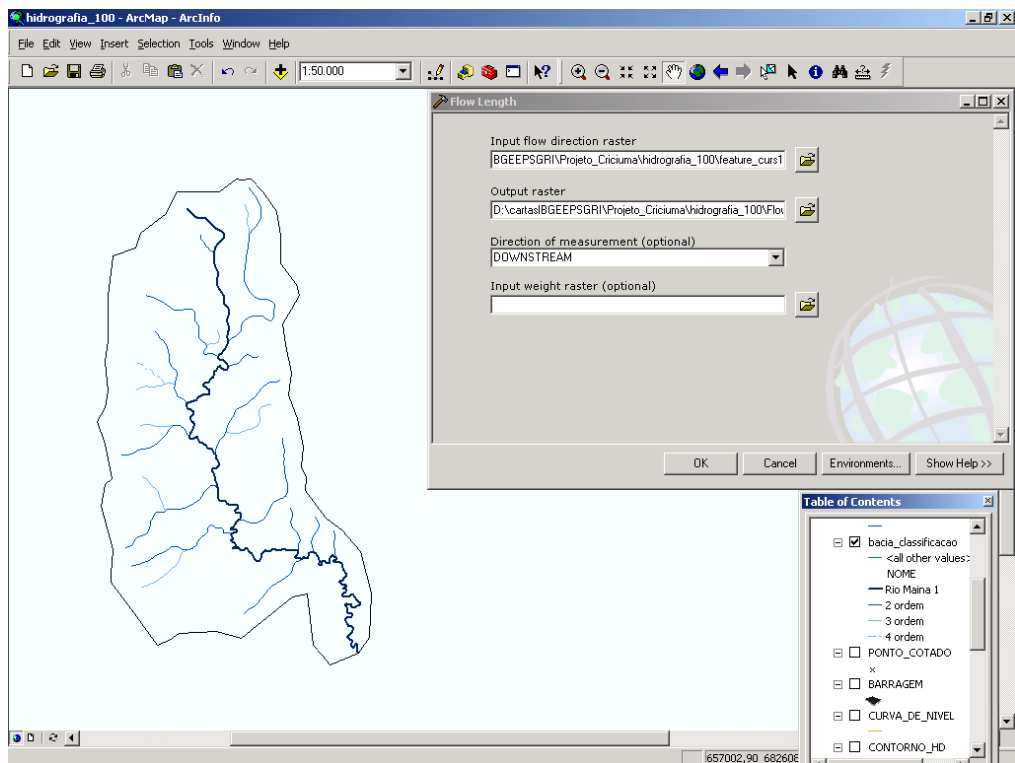


Figura 4 - Classificação hierárquica do comprimento dos canais (Flow Length)

2.5 Seleção, Eliminação e Simplificação (Suavização)

2.5.1 Seleção

Depois que a rede foi classificada, os objetos foram selecionados e eliminados (Figura 5) utilizando-se os parâmetros de ordem e comprimento dos arcos. Foram eliminados aqueles que não cumpriram o estabelecido nos critérios de seleção conforme apresentado no Quadro 1.

O Instituto Nacional de Estatística, Geografia e Informática (INEGI) fornece dimensões da representação para os arcos e áreas de acordo com a escala para representar o menor objeto visível (SVO) (Quadro 2). Algumas características foram usadas para elaborar os critérios de seleção e eliminação dos arcos, procurando manter as interseções e as relações entre as camadas de objetos.

Quadro 1 - Parâmetros de seleção

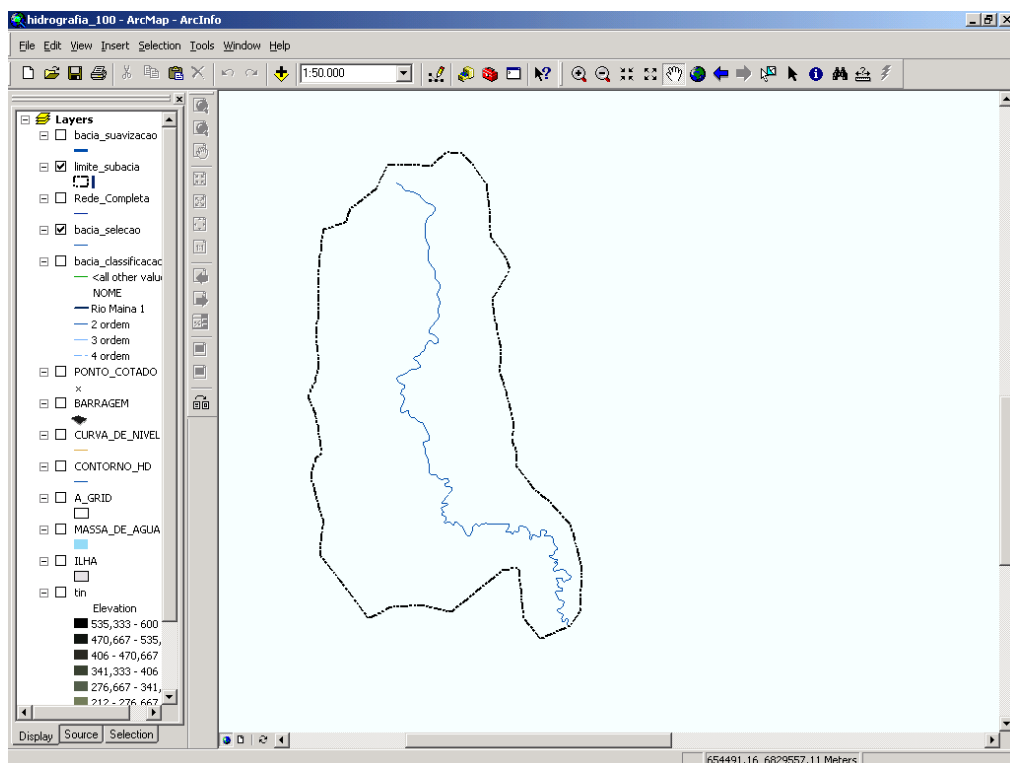
Modificação	Critério
1:50.000 – 1:100.000	L= Comprimento do canal principal l = comprimento dos canais tributários
	Se $l \leq L/2$ – elimina Se $l \geq L/2$ - permanece

Quadro 2 – Dimensões da representação para os arcos segundo a escala

Modificação	Critério
1:50.000 – 1:100.000	Ordem 4 - com comprimento maior ou igual a 1500 m. Ordem 3 - com comprimento maior ou igual a 1800 m. Ordem 2 - com comprimento maior ou igual a 2000 m. Ordem 1 - todos os demais.

Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Estatística, de Geografia e de Informática (INEGI)* que fornece os comprimentos para os arcos de acordo com a escala para representar o menor objeto visível.

* National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), “Diccionario de Datos Topográficos (vectorial) escala 1:50,000/1:250.000”, México, 1998.

**Figura 5** - Seleção do canal principal (Select line)

2.5.2 Simplificação

Após o processo de seleção e eliminação, o arco resultante passou por um processo de simplificação. A simplificação de linhas é usada para remover pequenas flutuações ou curvas estranhas enquanto procura-se preservar a forma essencial da linha. A simplificação também é aplicada para diminuir o número de pontos da linha vetorizada e por consequência o tamanho do arquivo.

O programa possui dois algoritmos de simplificação:

POINT_REMOVE – algoritmo de redução de linhas pela remoção de pontos redundantes. A angularidade da linha resultante aumenta significativamente com o aumento da tolerância. Este algoritmo é usado quando se pretende comprimir os dados ou quando se efetua um baixo grau de simplificação.

BEND_SIMPLIFY possui técnicas avançadas para detectar curvas ao longo da linha, analisa suas características, e elimina as insignificantes. A aplicação deste algoritmo resulta em linhas mais parecidas com a original e com melhor qualidade estética.

Nesta metodologia por tratar-se de rede hidrográfica, optou-se pelo algoritmo bend-simplify, o parâmetro de simplificação utilizado foi estipulado através do cálculo da precisão gráfica para a escala 1:100.000.

Parâmetros de Simplificação:**Tabela 1 - Cálculo da Precisão Gráfica:**

ESCALA	N x 0,2mm* (*Erro Gráfico)	PRECISÃO GRÁFICA*
1:50.000	50.000 x 0,2mm = 10.000mm	10m
1.100.000	100.000 x 0,2mm = 20.000mm	20m

Fonte: Adaptado de IBGE <http://www.ibge.com.br>

***Precisão Gráfica**

É a menor grandeza medida no terreno, capaz de ser representada em desenho na mencionada Escala. A experiência demonstrou que o menor comprimento gráfico que se pode representar em um desenho é de 1/5 de milímetro ou 0,2 mm, sendo este o erro admissível. Fixado esse limite prático, pode-se determinar o erro tolerável nas medições cujo desenho deve ser feito em determinada escala. O erro de medição permitido será calculado da seguinte forma:

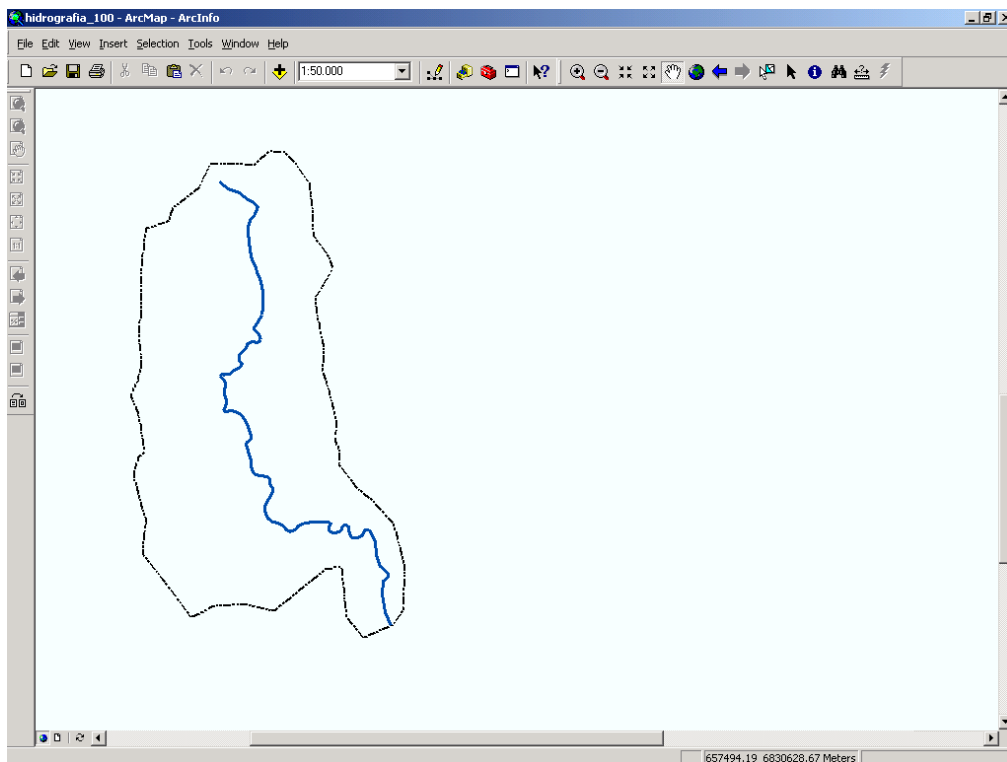
Seja:
$$E = \frac{1}{M}$$

$$e_m = 0,0002 \text{ metro} \times M$$

Sendo e_m = erro tolerável em metros

O erro tolerável, portanto, varia na razão direta do denominador da escala e inversa da escala, ou seja, quanto menor for a escala, maior será o erro admissível.

Os acidentes cujas dimensões forem menores que os valores dos erros de tolerância, não serão representados graficamente. Em muitos casos é necessário utilizar-se convenções cartográficas, cujos símbolos irão ocupar no desenho, dimensões independentes da escala.

**Figura 6:** Simplificação do canal principal (Simplify line)

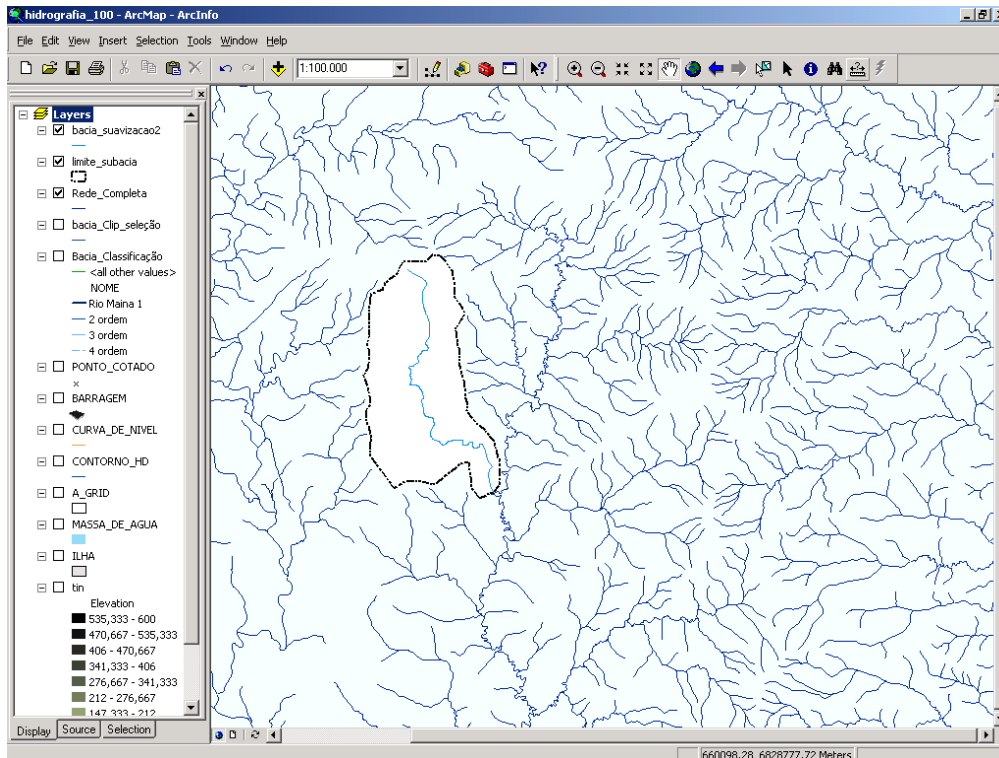


Figura 7 - Visualização da generalização na escala 1:100.000

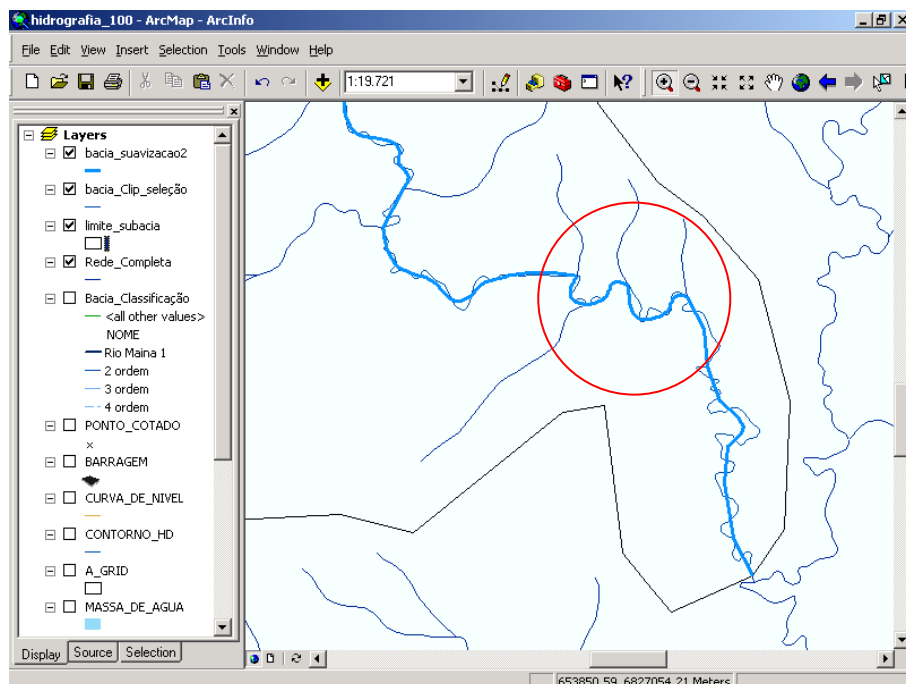


Figura 8 - Detalhe para comparação da aplicação do modelo. Observa-se que a topologia arco-nó foi mantida (no detalhe)

3 Geração do Modelo de Generalização no sistema (Toolbox-Model)

A partir do desenvolvimento da metodologia o sistema gera automaticamente um modelo de generalização (Figura 9) que determina passo a passo a aplicação do processo. Posteriormente este modelo pode ser aplicado e testado em outras áreas, ficando implícita apenas a necessidade da aplicação de novos valores

dentro das variáveis analisadas.

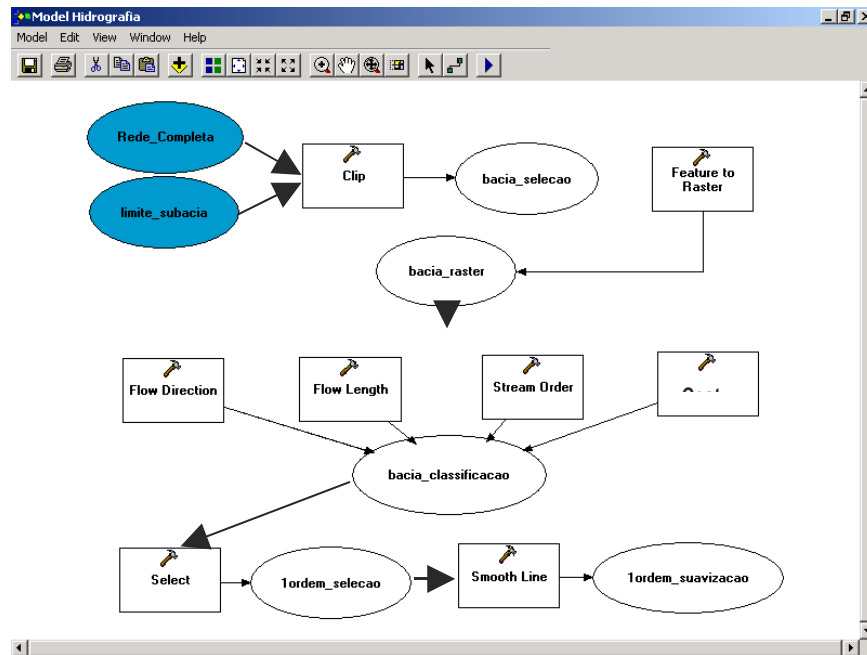


Figura 9 – Modelo de generalização no ArcToolbox

Este modelo de generalização automatizado é de suma importância para determinar a automatização dos processos, a seqüência lógica dos passos, a repetição de processos similares, o ajuste de parâmetros e opções, o entendimento do processo, a troca de informações e a facilidade de aplicação pelo usuário final.

4 Conclusões e recomendações

A generalização é um processo cartográfico que se encontra em estudo e devido a sua complexidade acarreta um grande numero de problemas. O uso de um esquema adequado permite estabelecer as características básicas para se obter resultados satisfatórios, quando se quer representar fenômenos espaciais.

A generalização de informação espacializada tem sido há muito tempo uma tarefa manual de cartógrafos experientes, envolvendo muitas horas de análise, trabalho e muito conhecimento empírico, sendo aceita, de uma forma geral entre a comunidade cartográfica, a necessidade deste processo ser executado de forma automática, por intermédio de meios informatizados, de forma que se consiga resultados mais rápidos, uniformes e de custos significativamente mais reduzidos.

Os Sistemas de Informação Geográfica – SIG parecem ter as características necessárias, tendo em vista a acima referida automatização em ambiente digital. O problema base que emerge para a utilização efetiva destes sistemas é, por um lado, a necessidade do conhecimento empírico detido pelos cartógrafos e por outro, a formação do próprio cartógrafo nas modernas tecnologias. Então, procurando unir estes conhecimentos, de maneira que sejam formalizados em regras devidamente elaboradas, procurou-se avaliar a eficácia da metodologia diante da necessidade de produtos cartográficos compatíveis ao planejamento e a gestão territorial.

A realização deste modelo metodológico não só produziu o rendimento esperado como também permitiu a criação, análise e estudo de procedimentos e aplicação de algoritmos relativos a solução do problema, abrindo claramente o caminho para aplicações do processo em qualquer outra região geográfica.

5 Bibliografia

AZEVEDO, J. B.; FERNANDES, W.S.; GUIMARÃES, I.C.O.; PEREIRA, C.J.A.; LOPES, R.S., FONTES, M. **Proposta para automação da editoração cartográfica**. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001,

ESRI, **Map Generalization in GIS: Practical Solutions with Workstation ArcInfo**. Software , technical paper. ArcOnline at <http://arconline.esri.com>. 2000. Acessado em 15/03/2005.

JOÃO, Elsa Maria. **Causes and Consequences of Map Generalization**, Ed.Taylor & Francis Ltd, London,1998.

MACMASTER, R. B. e SHEA, K. S. **Generalization in Digital Cartography**, Resource Publication in Geography. Washington, Association of American Geographers, 1992.

MORENO M., **La Generalización Automática de la Información Geográfica Multiescala**, Centre for Computing Research, National Polytechnic Institute, Mexico, D.F., 2001, (M.S. Thesis in Spanish).

NATIONAL INSTITUTE OF STATISTICS, GEOGRAPHY AND INFORMATICS (INEGI), “**Diccionario de Datos Topográficos (vectorial) escala 1:50,000/1:250.000**”, México, 1998.

RUAS, Anne. **Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie**. 1999. 309 p. Tese de Doutorado em Ciências da Informação Geográfica - Univercidade de Marne La Vallée,, Abril de 1999.

TANG, A.Y., ADAMS T.M. and E.L. Usery, **A spatial data model design for feature- based geographical information sustems**, INT.J.Geographical Information Systems, 1996, Vol.10, No.5, pages 643-659.