

Working Paper n° 27

Generalização Cartográfica

Rodrigo Gonçalves da Silva

Working Paper n° 27

ISSN: 0872-895X

Depósito Legal n°: 88054/95

Série temática: Sistemas de Informação Geográfica
Working Paper 1

Março 1995

Trabalho apresentado no âmbito da preparação da dissertação para obtenção do grau de Mestre em Estatística e Gestão de Informação, orientado pelo Professor Doutor Marco Painho

Generalização Cartográfica:

Objectivos e Principais Problemas

Rodrigo Gonçalves da Silva

ISEGI - Março 1995

RESUMO

É objectivo central deste *Working-Paper*:

- Apresentar uma recensão o mais profunda possível sobre as definições e objectivos da generalização georeferenciada, nas suas duas vertentes; a cartográfica e a orientada para a modelização, caracterizando ambas e;
- Abordar de uma forma pormenorizada as especificidades e problemas da generalização cartográfica - factores que a influenciam, conflitos e operadores para a resolução destes mesmos conflitos -, bem como os sistemas possíveis de automatização da generalização cartográfica.

Palavras-Chave: Generalização de Informação Georeferenciada; Generalização Cartográfica; Generalização Orientada para a Modelização; Cartografia Automática; Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

This Working-Paper is organized in two distinct, but related, parts. The first makes an exhaustive review of the several definitions and targets proposed for map generalization, cartographic generalization and model-oriented generalization. The second part discusses the specific issues concerned with cartographic generalization and focuses on its main problems, solutions and systems for automatization.

Key-Words: Map Generalization; Cartographic Generalization; Model-Oriented Generalization; Cartographic Automatization; Geographic Information Systems.

ÍNDICE

I - Introdução	4
II - Generalização de Informação Georeferenciada: Definições e Objectivos.....	5
1 - Generalização: Definição ou Definições ?.....	5
2 - Generalização: Objectivos.....	8
III - Generalização Orientada para a Modelização Vs. Generalização Cartográfica	11
1 - Modelos de Dados Geográficos e Sistemas de Informação Geográfica.....	11
1.1 - Modelos de Dados Gráficos.....	12
1.2 - Informação Geográfica	13
2 - Modelos de Generalização de Informação Georeferenciada	14
3 - A Generalização Orientada para a Modelização.....	17
4 - A Generalização Cartográfica.....	19
4.1 - Alguns Exemplos Práticos de Generalização Cartográfica.....	21
5 - Os Variados Tipos de Generalização.....	25
IV - Factores que Influenciam a Generalização Cartográfica.....	28
1 - A Qualidade dos Dados	29
2 - Escalas	30
3 - Os Objectivos dos Mapas	31
4 - Simbolização / Representação Cartográfica	31
5 - Outros Factores.....	31
V - Conflitos e Operadores de Generalização Cartográfica.....	33
1 - Identificação de Conflitos e Medidas de Generalização.....	33
1.1 - Condições para a Generalização	34
2 - Operadores de Generalização Cartográfica	37
VI - Sistemas de Generalização Cartográfica	44
1 - Generalização Diferida	44
2 - Generalização Interactiva (Inteligência Amplificada).....	45
3 - Sistemas Periciais	47
VII- Conclusão.....	50
Bibliografia.....	52

I - INTRODUÇÃO

A generalização de informação georeferenciada - e de uma forma mais concreta a generalização cartográfica - tem sido desde à longo tempo uma tarefa manual de cartógrafos experientes, envolvendo muitas horas de análise e trabalho e muito conhecimento empírico, sendo aceite de uma forma geral entre a comunidade cartográfica, a necessidade deste processo ser executado de forma automática, por intermédio de meios informáticos - entre estes os sistemas de informação geográfica, que têm como uma das suas funções a produção de cartografia - por forma a se conseguirem resultados mais rápidos, uniformes e de custos significativamente mais reduzidos.

Os sistemas periciais - ramo da inteligência artificial - parecem ter as características necessárias, tendo em vista a acima referida automatização em ambiente digital. O problema base que emerge para a utilização efectiva destes sistemas é a necessidade do conhecimento empírico detido pelos cartógrafos ter de ser adquirido, de maneira a que este mesmo conhecimento seja formalizado em regras devidamente elaboradas para a utilização nos sistemas atrás referidos.

É objectivo central deste *Working-Paper*:

- Realizar uma recensão o mais profunda possível sobre as definições e objectivos da generalização georeferenciada, nas suas duas vertentes cartográfica e orientada para a modelização, caracterizando ambas e;
- Abordar de uma forma mais pormenorizada as especificidades e problemas da generalização cartográfica - factores que a influenciam, conflitos e operadores para a resolução destes mesmos conflitos -, bem como os sistemas possíveis de automatização da generalização cartográfica. Na conclusão apresentam-se em síntese os resultados deste trabalho.

II - GENERALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADA: DEFINIÇÕES E OBJECTIVOS

1 - Generalização: Definição ou Definições ?

Uma das primeiras conclusões a que se chega quando se pretende desenvolver investigação na área da generalização georeferenciada - neste caso específico da generalização cartográfica -, é a da existência de um número muito variado de definições, bem como de objectivos. Esta falta de consensos em torno dos conceitos e objectivos da generalização, é resultante no meu entender, de duas questões essenciais:

- A generalização é ainda um fenómeno pouco e mal conhecido, debruçando-se maioritariamente a investigação até agora realizada sobre aspectos operacionais muito específicos da mesma, - como por exemplo o estudo da simplificação de linhas - descurando outros aspectos como o conhecimento efectivamente utilizado pelo cartógrafo quando manualmente resolve um conflito entre figuras, tendo em atenção todas as relações topológicas que se estabelecem com outras figuras envolventes, sendo até agora poucas as tentativas de perceber a generalização de forma integrada e abrangente;

- Uma segunda razão emerge de este ser um campo onde existe uma vasta confluência de áreas científicas, o que de certa maneira é positivo dada a pluralidade de abordagens, mas que ao mesmo tempo introduz, ao nível dos conceitos base, alguma incoerência, devido à introdução para os mesmos fenómenos de definições e problemas das áreas científicas do investigador, não se tendo estabelecido ainda um "paradigma" para a generalização, o que resulta pouco produtivo e impeditivo de avanços mais rápidos nesta área.

No contexto deste estudo será assim necessário analisar o seu significado, dado haver, neste momento, uma certa confusão entre não só, os aspectos operacionais de procedimento da generalização e os seus objectivos (J-C. Muller, 1991), mas também na própria definição do conceito.

Numa primeira abordagem e analisando o conceito de uma forma genérica, entende-se por generalização o acto ou processo, que tente estabelecer uma universalidade para determinado conceito (Enciclopédia Luso-Brasileira de Cultura, 1969). No âmbito mais restrito do estudo que agora se desenvolve esta definição não

apresenta a especificidade necessária. Assim será importante neste ponto atendermos às definições propostas por vários autores com vista a percebermos até que ponto podemos identificar um ou vários tipos de generalização, bem como os processos e objectivos que dão origem à realização da generalização.

Começaria por referir o trabalho de J-C. Muller (1991), que critica a definição da *International Cartographic Association* (1973) que diz ser a generalização um processo de: "[...] selecção e simplificação do detalhe de uma representação em função da escala ou objectivo do mapa [...]" afirmando que nesta definição se confundem os objectivos do processo de generalização com as ferramentas de realização de uma generalização, referindo posteriormente que: "[...] Um mapa, e de forma mais abrangente, uma base de dados espacial é uma representação/afirmação sobre determinada realidade geográfica e a generalização é um processo que tenta universalizar o conteúdo dessa mesma representação/afirmação sobre a realidade geográfica.[...]".

Num recente trabalho do *Institute Geographique National* (Lagrange, Ruas, Bender, 1993) - produtor oficial de cartografia em França - O processo de generalização é-nos apresentado da seguinte forma: "[...] generalização é o processo de abstracção realizada quando a escala de uma mapa muda. Envolve a modificação dos dados por forma a que estes mesmos dados possam ser representados num espaço mais pequeno, mas tendo em atenção a preservação das características geométricas e descritivas desses mesmos dados [...]".

Também importante é referir aqui o trabalho feito pela *Gisdata Task Force on Generalization* (Muller, Weibel, Lagrange e Salgé; 1993) onde é dito que: "[...] Temos que distinguir de entre os aspectos levantados pela representação gráfica e aqueles que resultam da modelização dos dados a variados níveis de resolução quer espacial quer semântica. [...]". A generalização pode ser vista como um processo de interpretação que nos leva a uma visão mais abrangente de determinado fenómeno observando-o a uma escala mais pequena. - concluindo que podemos entender a generalização de informação georeferenciada - "[...] como uma série de transformações na representação gráfica da informação geográfica por forma a melhorar a legibilidade da informação, transformações essas orientadas pela interpretação que condicionou/estruturou os dados iniciais".

Para Robinson (1994) "[...] generalização - no contexto cartográfico - pode ser definida como o processo ou processos de redução da quantidade de detalhe por forma

a que o carácter ou essência de determinada figura seja conservado apesar de sucessivas reduções a escalas menores. "[...] generalização no contexto geográfico é um conceito mais amplo dado focar na representação e tratamento dos processos espaciais, sejam eles físicos sociais ou económicos, a diferentes escalas".

Interessante é também a análise de Kainz e Kavouras (1993) não estabelecendo uma definição mas afirmando que: "A generalização em domínio digital difere significativamente da generalização como a entendemos classicamente. Percebemos agora que os objectos espaciais podem necessitar de múltiplas representações espaciais, nas quais as representações geométricas internas (modelos) devem ser distinguidas das representações visuais (cartográficas)".

Finalmente, para McMaster e Shea (1988) "[...] a generalização requer a aplicação de transformações, por meio de operadores de generalização, quer espaciais quer ao nível dos atributos, por forma a manter a clareza da informação, a uma determinada escala para um determinado objectivo cartográfico e determinado público a quem se destina o mapa."

De todas estas definições, emergem variados aspectos que será interessante referir:

1 - A generalização de informação georeferenciada é essencialmente um processo(s) de adaptação e transformação da informação geográfica, tendo em vista uma escolha da mesma, em função de um determinado objectivo que temos para essa mesma informação. Esse objectivo é habitualmente a representação gráfica / cartográfica dessa mesma informação, mas este objectivo é de alguma forma redutor. A adaptação da informação tendo em vista fins analíticos é também um fim para a realização da generalização;

2 - A generalização está sempre associada a uma mudança de escala¹ e no nível de abstracção necessário para passar a informação de uma escala maior para outra mais pequena;

3 - A preocupação actual centra-se na generalização em meio digital - entre eles os sistemas de informação geográfica - e não mais na visão clássica das operações de generalização empregues na produção manual de cartografia;

¹ - Por escala entende-se o rácio entre o tamanho de determinado objecto num mapa e o seu tamanho na realidade. Tem uma relação directa com a unidade mínima cartográfica, dado existir um limite para um objecto ser representado e percebido na sua essência a determinada escala. (ex: Se assumirmos um limite de 0,5 mm, percebemos que à escala 10:000 a sua resolução - ver nota de pé de página ⁴ - é de 5m, isto é $10000 \cdot 0,5 = 5$)

4 - Por último, pode existir efectivamente uma modificação nos dados espaciais inscritos em determinada base de dados geográfica tendo em vista a comunicação desses mesmos dados, modificação essa a nível interno (modelos de dados) com reflexos a nível externo (representação gráfica dos dados), levando-nos a perceber, se bem que ainda de forma muito genérica, existirem dois sub-conceitos de generalização, orientado um para o nível interno e outro para o nível externo (ver concretamente a análise de Kainz e Kavouras 1993).

Pode-se assim referir que, como para muitos outros conceitos, existem variadas definições de generalização, quer quando a entendemos como parte dos processos de organização de uma base de dados geográfica, quer de produção cartográfica. Assim, neste trabalho, a proposta de uma **definição de generalização de informação georeferenciada** não será mais que o reflexo de tudo o que atrás ficou dito: **processo ou processos de abstracção de dados geográficos disponíveis a determinado nível, tendo em vista determinado objectivo, que envolve sempre a necessidade de uma modificação/adaptação dos objectos cartográficos em função de uma redução de escala, para a produção de representações gráficas (mapas) claras ou a adaptação/selecção da informação geográfica disponível para fins analíticos.**

Percebe-se desde já o emergir de dois segmentos distintos na generalização georeferenciada: uma que enfoca nas representações gráficas e outra de nível interno que actua na informação da base de dados. Esta distinção será desenvolvida nas secções 3 e 4 do capítulo III.

2 - Generalização: Objectivos

Na secção anterior tentou-se clarificar o que é, ou como é definida a generalização orientada para a informação georeferenciada. Obviamente que associado à explicação de um conceito estão, de alguma forma, os seus propósitos ou objectivos, algo que foi já referido, se bem que de forma muito sucinta, na secção anterior. Assim proponho-me apresentar quais os factores que levam à necessidade de se generalizar informação georeferenciada em ambiente digital, detendo-me pormenorizadamente nos factores respeitantes à generalização cartográfica, apesar deste tópico ser desenvolvido gradualmente ao longo deste trabalho.

Objectivos primordiais para a necessidade de se generalizar são a **produção de cartografia ou gestão de determinada base de dados geográfica**, removendo ou/e

simplificando detalhes desnecessários nos objectos geográficos quando exista uma modificação de escala e/ou se tenha um diferente objectivo temático (Armstrong 1991), em relação à primeira afirmação, i.e., produção de cartografia, ou reduzir o volume de dados tendo em vista um maior espaço disponível em disco, uma maior velocidade de processamento ou uma homogeneização dos variados conjuntos de dados no processo de integração dos mesmos (Weibel 1993), em relação a gestão de determinada base de dados.

Abordando a generalização cartográfica, percebe-se que a partir do momento em que a produção de cartografia transitou para um ambiente digital, variados problemas surgiram que carecem de uma resolução. Um deles é a generalização automática.

Quando pretendemos produzir um mapa de escala média ou pequena, quase sempre o fazemos generalizando em função de um mapa de escala grande. Num qualquer instituto produtor de cartografia o mapa-base é produzido a partir dos dados adquiridos por fotogrametria, sendo as escalas mais pequenas produzidas por sucessivas generalizações. Quando a informação geográfica estava unicamente disponível em forma gráfica - mapas ou cartas - o cartógrafo, após executar uma redução fotográfica, redesenhava os elementos finais do mapa em função da escala necessária, tema ou legenda do mapa. Assim, percebe-se que um dos problemas cruciais residia em redesenhar os objectos geográficos em função da nova escala, mantendo o seu sentido semântico e a sua precisão geográfica em relação ao mapa-base e em última análise, à realidade geográfica da qual o mapa é um modelo preciso.

O cartógrafo, por forma a resolver os prováveis conflitos que lhe surgem, como por exemplo, os inerentes a uma redução da escala que reduz o espaço entre dois objectos, o que pode levar por vezes a sobreposições entre os mesmos, ou ainda, que uma escolha pouco apropriada dos símbolos a representar, poderá levar a uma sobreocupação do espaço disponível e conseqüente perda de legibilidade do mapa e mesmo a uma distorção da relação entre as distâncias dos objectos geográficos, utiliza o seu conhecimento sobre os objectos geográficos, suas relações, questões técnicas, artísticas e cognitivas inerentes à leitura dos mapas e objectivos dos mesmos. **Este conhecimento que o cartógrafo detém é um conhecimento essencialmente intuitivo e empírico, orientado para a resolução dos problemas consoante as suas especificidades.** É uma actividade que, apesar de poder ter por guia um número pequeno de regras bem definidas, tem muito de criativo e pouco de determinístico. Ao transitarmos para o meio digital, e obviamente para procedimentos automáticos de

generalização, percebemos quão difícil se torna que algo de tão intuitivo se possa automatizar, havendo variados investigadores que não estão convencidos de que alguma vez seja possível atingir a tão desejada automatização da generalização. (Shea 1991)

A aplicação de sistemas periciais, suas vantagens e maiores problemas, bem como a análise a outros sistemas automáticos de generalização - neste caso específico cartográfica - será abordada no capítulo VI.

Seguidamente abordaremos os dois tipos de generalização de informação georeferenciada - orientada para a modelização e cartográfica - distinguidos na secção 1 do capítulo II, analisando-os e clarificando-os de forma mais profunda à até agora realizada.

III - GENERALIZAÇÃO ORIENTADA PARA A MODELIZAÇÃO Vs. GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

1 - Modelos de Dados Geográficos e Sistemas de Informação Geográfica

A concepção organizacional de determinada base de dados tem a designação de modelo de dados, sendo este modelo que define a forma como são apresentados e manipulados os dados na referida base de dados. Classicamente consideram-se quatro tipos de modelos para a organização de uma base de dados: hierárquico, em rede e relacional. A organização dos dados nos referidos modelos pode ser descrita sob a forma de registos, campos e chaves. Quanto ao primeiro - registos - é a informação respeitante a determinado conceito, objecto ou acontecimento, correspondendo a uma ocorrência da entidade descrita. Para cada registo corresponde um conjunto de campos, que contém um item de informação, podendo dividir-se os campos em chaves, que identificam inequivocamente cada registo. Os restantes campos são descritivos do respectivo registo.

No modelo hierárquico, os dados estão organizados em árvore. A organização da árvore, que é codificada nos registos das entidades no campo chave, define as relações entre entidades. A entidade mais elevada da árvore é designada por raiz e todos os elementos abaixo da raiz estão relacionados com um elemento que se localize "acima" destes designado por pai, estando por sua vez relacionados com um ou mais elementos que se localizem num nível inferior e que são designados por filhos. Uma entidade tem apenas um pai, mas pode ter vários filhos. Neste modelo as pesquisas são complexas podendo ser mesmo ineficientes caso seja necessária uma busca entre entidades com muitas entidades intermédias. De facto a árvore pode ser otimizada por forma as pesquisas que pensamos virem a serem necessárias serem efectivas, identificando no início da estruturação da árvore todas as pesquisas, no entanto, ao nível da análise de informação geográfica - com pesquisas exploratórias acentuadas - a fraca flexibilidade deste tipo de modelo é muito restritiva. Este modelo não permite ainda pesquisas tendo por base os campos descritivos, o que se apresenta como outra condicionante a ter em conta.

No modelo em rede, não é necessária a existência de uma raiz, e cada entidade pode ter vários pais e vários filhos, sendo ultrapassados os condicionamentos do modelo hierárquico. Tendo menor redundância estes modelos permitem ainda uma pesquisa mais rápida aos registos. No entanto as informações entre as relações entre entidades, havendo dificuldade nas alterações entre as referidas relações.

Em relação ao modelo relacional, as relações entre os atributos são apresentadas em tabelas, não havendo uma hierarquia definida, ao contrário dos dois modelos acima referidos, podendo as pesquisas necessárias serem feitas através da chave ou dos campos descritores. As pesquisas podem ser feitas a uma única tabela ou a várias por intermédio dos campos comuns, sendo a tabela resultante da pesquisa, composta unicamente pelos campos necessários a essa mesma pesquisa, diminuindo a redundância de informação. O resultado da pesquisa pode ser apresentado numa tabela virtual sem ocupação de espaço suplementar. Este modelo é actualmente o melhor adaptado às necessidades de um sistema de informação geográfico, sendo assim o mais utilizado.

1.1 - Modelos de Dados Gráficos

Existem dois tipos de representação gráfica dos dados geográficos; O modelo de dados *Vector* e o Modelo de dados *Raster*. Conforme as suas características, eles vão tratar da realidade de uma forma diferenciada, sendo utilizados consoante as necessidades de análise da informação geográfica.

O Modelo *Vector* - fundamental na produção de cartografia - apresenta a localização exacta dos elementos no espaço. Constituído por linhas, pontos e áreas, aplicadas num referencial de coordenadas de forma tão precisa quanto necessária, sendo o número de *bits* a única condicionante à precisão com que um elemento é definido.(Fig. III.1)

O modelo *Raster*, de forma sintética, é constituído por um sistema (grelha) de células normalmente quadrangulares, em que a localização de cada célula é definida segundo os seus valores num espaço cartesiano. Cada célula representa unicamente um valor, o que implica que fenómenos diferenciados sejam representados em ficheiros diversos (*layers*), cada um respeitante um determinado tema.

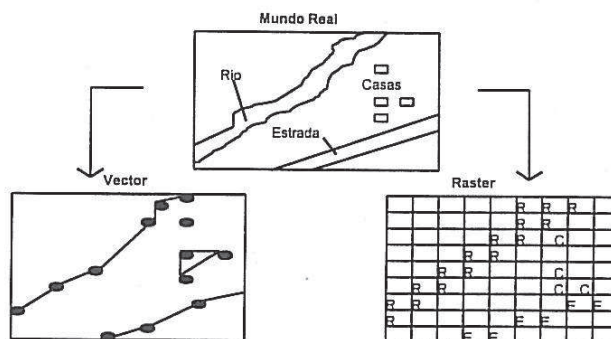


Fig. III.1 - Raster e Vector (Representação)

Em função das suas especificidades gráficas, a generalização será entendida de forma diferenciada, consoante o modelo de dados gráfico com que trabalhemos. Algumas dessas especificidades serão abordadas de forma um pouco mais detalhada na secção 2, capítulo V.

1.2 - Informação Geográfica

De forma genérica utilizam-se três níveis, para a definição da informação georeferenciada:

- Geométrico**: representação da geometria de um objecto geográfico;
- Topológico**: descrição da relação topológica (conectividade) entre objectos geográficos;
- Semântico**: descrição da natureza do objecto geográfico.

Em relação ao primeiro nível - geométrico - podemos dizer que consiste em organizar os dados em pontos, linhas e polígonos (dimensões 0, 1 e 2 respectivamente). Uma linha costuma ser definida como:

- Um conjunto de segmentos (*polyline*), sendo um segmento uma linha recta entre dois pontos;
- Um conjunto de linhas curvas, sendo estas mais complexas que segmentos;
- Combinação de segmentos e curvas.

Um polígono é um conjunto de linhas que formam uma área, podendo um polígono envolver outros polígonos.

Quanto à topologia sabe-se que os dados geográficos podem ser representados tendo por base a teoria dos grafos, consistindo em arcos e nós os seus elementos base. Os arcos iniciam e terminam num nó. Quando determinada informação geográfica é representada num plano, temos um grafo planar. Deste podemos derivar a noção de face como o mínimo círculo de um grafo planar. Cada arco pode ser associado com uma face esquerda e uma face direita. Se um arco não está ligado com um polígono, a suas faces esquerdas e direitas são idênticas. A informação topológica é absolutamente crucial para o processo de generalização, pois um conjunto de pontos e segmentos sem topologia, não fornecem a informação necessária para a operação em causa.

Finalmente entende-se por nível semântico, todas as definições / descrições não geométricas dos dados geográficos que constituem entidades simples (edifícios, segmentos de estradas, etc) ou complexas (quarteirões ou bairros, estradas completas,

etc.). A cada entidade ou objecto pode-se associar informação que defina as suas referências como o nome ou número.

2 - Modelos de Generalização de Informação Georeferenciada

Durante as décadas de setenta e oitenta, numerosos modelos de generalização foram propostos. Enquanto alguns se dedicaram a fases específicas do processo de generalização, outros tentaram ser mais abrangentes. Neste capítulo apresentar-se-ão os modelos considerados mais significativos na explicação do processo de generalização de informação georeferenciada.

O Modelo de Ratajski (1967) - É considerado o primeiro modelo de generalização. Este cartógrafo polaco identificou dois tipos fundamentais de generalização: **quantitativa** e **qualitativa**. A primeira envolve a redução gradual do conteúdo do mapa, que depende da mudança de escala preconizada, enquanto a segunda envolve a transformação dos símbolos dos mapas para formas mais abstractas. (fig. III.2)

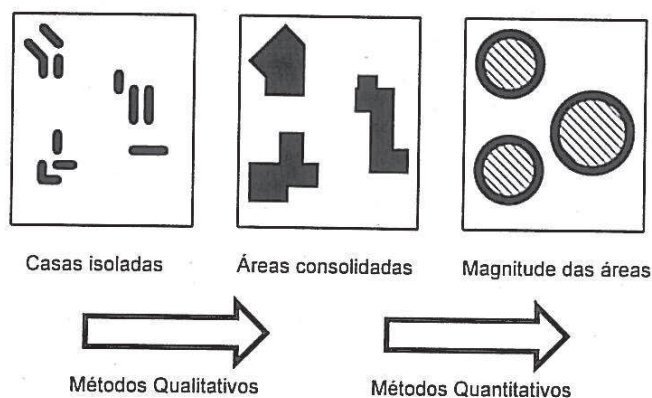


Fig. III.2 - O Modelo de Ratajski (adaptado de McMaster, 1991)

O Modelo de Morrison (1974) - Este modelo foi estabelecido tendo por base a teoria de conjuntos. Neste modelo a generalização consiste na transformação da percepção sensorial da realidade que o cartógrafo tem, nos elementos físicos do mapa. Cada etapa do processo de generalização - a simplificação, classificação, indução e simbolização - é vista por Morrison nas suas duas prováveis modificações: unívoca e de inclusão². O modelo deste autor estabelece depois as variadas características de

² -A unívoca significa que distintos elementos no mapa X têm imagens distintas no mapa Z, isto é matematicamente $F: X \rightarrow Z$ se $f(a) = f(a')$, $a \neq a'$. A função F será de inclusão se $b \in B$ é imagem de $a \in A$.

cada etapa do processo de generalização e as suas características relativas aos processos unívocos e de inclusão.

O Modelo de Nickerson e Freeman (1986) - foi definido tendo por objectivo a elaboração de um sistema pericial. Este modelo está dividido em cinco acções ou etapas:

- 1- As quatro operações de modificação das figuras - apagamento das figuras, simplificação das figuras, combinação, detecção de interferências e deslocação das figuras (*type conversion*)³;
- 2- A escala dos símbolos;
- 3- Recolocação das figuras e colocação de símbolos;
- 4- Redução da escala;
- 5- Associação/colocação dos nomes aos símbolos correspondentes.

Para estes autores o problema central da generalização é a conversão do mapa de base de escala $1 : M$, com símbolos de tamanho A e área $W \cdot H$. Após os operadores de modificação referidos acima terem sido aplicados, os símbolos do mapa base já modificado são aumentados no seu tamanho a uma escala de factor K , sendo este factor maior que a unidade. É assim produzido um mapa intermédio de escala $1 : M$, símbolos de tamanho KA e área $W \cdot H$. Neste mapa intermédio as figuras são recolocadas e os símbolos substituídos. A segunda redução de escala produz o mapa final, de escala $1 : KM$, símbolos de tamanho A e área $W/K \cdot H/K$, seguindo-se a colocação dos nomes. (Fig.III.3).

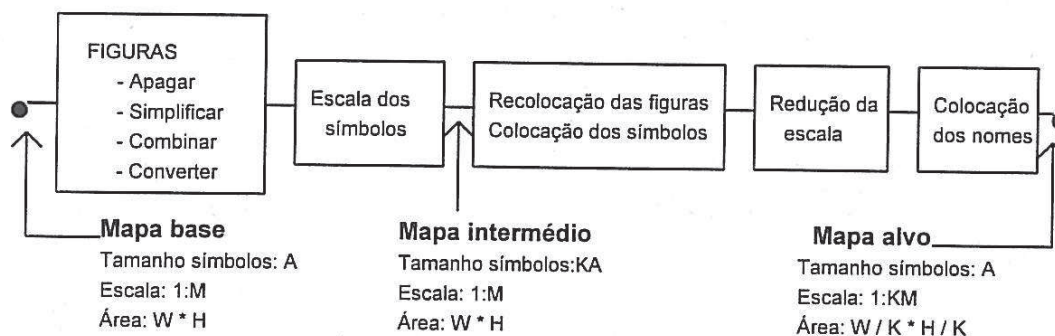


Fig. III.3 - O Modelo de Nickerson e Freeman (adaptado de McMaster, 1991)

³ - Os operadores para a generalização propostos por variados autores consoante as suas funções na generalização, serão analisados no capítulo V, secção 2.

O Modelo de McMaster e Shea (1988) - Este modelo parte de três considerações base para a generalização: Porque generalizamos; quando generalizamos e como generalizamos. No porque generalizamos são identificados três tipos distintos de objectivos: objectivos filosóficos; objectivos de aplicabilidade e objectivos computacionais. Fundamental para o desenvolvimento do modelo são os seis princípios filosóficos inerentes à generalização cartográfica:

- 1- redução da complexidade;
- 2- manutenção da precisão⁴ espacial;
- 3- manutenção da precisão dos atributos;
- 4- manutenção da qualidade estética;
- 5- manutenção da hierarquia lógica; e
- 6- aplicação consistente das regras de generalização.

Neste modelo é ainda avançado que a redução da complexidade gráfica é o mais importante princípio a ser atingido e que identificar analisar e definir níveis apropriados de complexidade é o mais complexo problema da generalização, pois requer que muitas das transformações espaciais e dos atributos sejam executadas simultaneamente (McMaster e Shea 1988).

O Modelo de Brassel e Weibel (1988)

Um modelo adaptado à realização de sistemas periciais foi desenvolvido por Brassel e Weibel. Este modelo identifica cinco processos de generalização em ambiente digital:

- 1- Reconhecimento da estrutura;
- 2- Reconhecimento do processo;
- 3- Modelização do processo;
- 4- Execução do processo;
- 5- Visualização.

O primeiro processo - reconhecimento da estrutura (Fig. III.4) - é caracterizado por ser a fase em que se identificam objectos ou conjuntos de objectos cartográficos, bem como as suas relações espaciais e medidas de significancia para cada objecto ou conjunto dos mesmos. O reconhecimento da estrutura é controlado pela qualidade dos dados da base de dados inicial, escala do mapa final e por regras de comunicação. No

⁴ - por precisão (*precision*) entende-se o grau de detalhe de determinada medida.

reconhecimento de processo identificam-se os operadores a utilizar, envolvendo uma modificação nos dados e selecção dos parâmetros. Este processo determina exactamente a forma como se vai afectar a base de dados inicial, que tipos de conflitos deverão ser detectados e eliminados e que tipos de objectos e estruturas deverão ser transpostos para a base de dados final. No terceiro processo - modelização do processo - são compiladas as regras e os procedimentos aplicados a partir da *process library*. A *process library* contem todas as regras e procedimentos para a generalização, estando aqui registadas todas as decisões envolvendo os operadores de generalização necessários e a sua sequência, as regras a que o sistema está obrigado e que parâmetros e tolerâncias deverão ser observados para a implementação das regras e dos operadores. A generalização propriamente dita tem lugar durante a execução do processo, onde as regras e procedimentos são aplicadas a base de dados original, criando o *output* generalizado. O último processo é o de visualização.

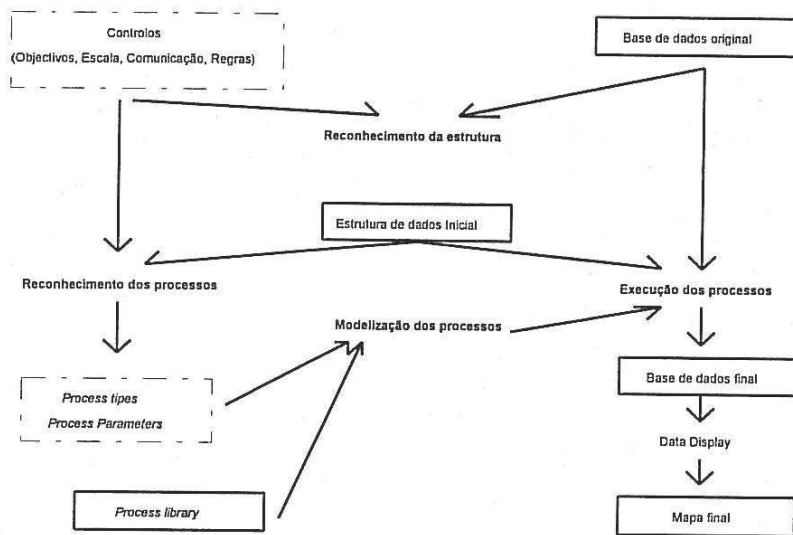


Fig. III.4 - O Modelo de Brassel e Weibel (adaptado de McMaster, 1991)

3 - A Generalização Orientada para a Modelização

Após a apresentação dos esforços mais significativos para desenvolver um modelo global para o processo de generalização, será necessário recuar ao que foi abordado no capítulo 2, mais propriamente na secção 1. Nas variadas definições propostas e também na afirmação de Kainz e Kavouras (1993), percebemos que a generalização de informação georeferenciada parece dividir-se em duas grandes áreas: uma orientada para a representação gráfica e outra para a representação interna - ao nível da base de dados - da informação geográfica.

Esta segunda abordagem, a que chamarei **generalização orientada para a modelização** tem por base a possibilidade de a informação geográfica ser manipulada na base de dados, i.e., dado que os objectos geográficos em meio digital podem ter variadas representações, enfocamos neste caso nos modelos que estes mesmo objectos têm a nível interno. O seu objectivo primordial será o controlo da redução dos dados nos domínios espacial, temático ou temporal, bem como a derivação de bases de dados a variados níveis de precisão e resolução (Weibel, 1993).

Dos variados propósitos a que se destina a generalização orientada para a modelização destacam-se, a redução do volume dos dados com vista a aumentar o espaço em disco e a velocidade de processamento. Uma outra razão para a redução da precisão e resolução de um conjunto de dados será a homogeneização dos variados conjuntos de dados no processo de integração e/ou fusão dos dados. Por exemplo, determinados valores resultantes uma série cronológica mensal podem ser reduzidos para uma mesma série cronológica bimensal, com o objectivo de desenvolver séries mais unificadas e standartizadas. Para além da redução de dados, um objectivo importante da generalização orientada para a modelização é a derivação de bases de dados a variados níveis de precisão e resolução, como por exemplo a derivação de um modelo digital de terreno (M.D.T.) de conteúdo reduzido a partir de um M.D.T. original (Brassel e Weibel 1988).

Finalmente, podemos considerar que a generalização orientada para a modelização, para além de não envolver princípios estéticos e sendo fundamentalmente um processo determinístico ou probabilístico, poderá preceder e influenciar a generalização cartográfica (Weibel 1993; Muller; Weibel, Lagrange e Salgé, 1993), considerando-a uma operação de pré-processamento, dado que a selecção das figuras mais relevantes poderá ser orientada pela modelização, sendo as coordenadas adaptadas à resolução e escala do mapa final.

A investigação direccionada para a generalização orientada para a modelização, tendo sido reduzida, comparativamente àquela que tem sido feita para a generalização cartográfica, isto provavelmente porque as bases e objectivos da generalização orientada para a modelização nunca foram claramente definidos, ao contrário da generalização cartográfica em que os seus propósitos estão virados para a produção automática de cartografia, a investigação nesta sub-área da generalização de informação georeferenciada tem claramente privilegiado a resolução de problemas muito específicos sem uma visão abrangedora dos variados problemas que envolvem este tipo de generalização.

4 - A Generalização Cartográfica

Na **generalização cartográfica** as preocupações estão centradas nos aspectos da visualização gráfica da informação geográfica (legibilidade), tendo um carácter ou um nível externo, - em oposição ao carácter iminente interno do tipo de generalização acima referido - centrando agora os seus problemas ao nível da **comunicação visual dos dados** e não havendo uma alteração aos atributos da base de dados. Como refere Robinson (1994) "... é um processo que leva à **redução de detalhe** de determinado objecto geográfico, por forma a que **a sua essência seja mantida após as variadas reduções**, necessárias para uma representação legível a escalas mais pequenas.", sendo seu objectivo a maior precisão possível em função da escala do mapa, adaptação geométrica dos elementos do mapa por forma a conseguir-se uma boa capacidade informativa, uma boa caracterização (geométrica) dos elementos de um mapa, bem como uma coerência nas cores e formas utilizadas em relação aos elementos geográficos representados, boa legibilidade e clareza e ainda um equilíbrio gráfico entre todos os elementos representados.

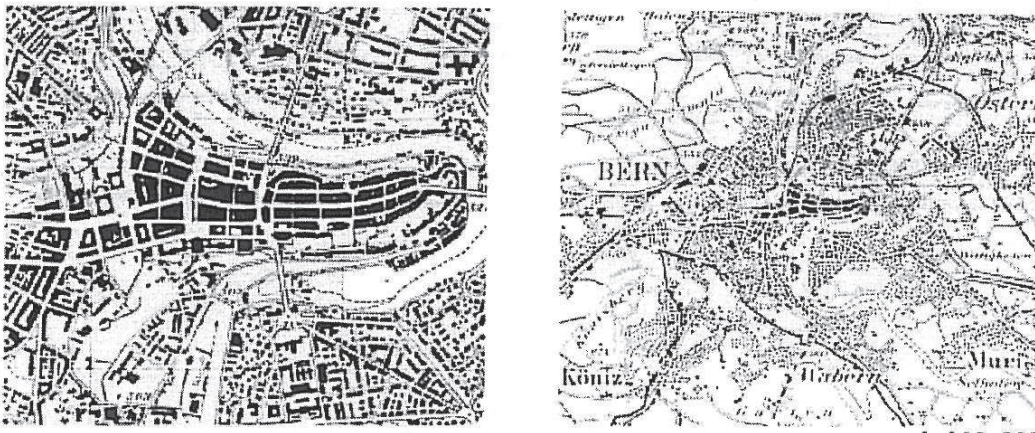


Fig.III.5 - Centro de Berna representado à escala 1:25000 e 1:100000, respectivamente. (Rytz., A. et Al., 1977)

Cada objecto geográfico, num determinado mapa, tem uma simbolização e um determinado grau de redução, isto é, uma determinada representação gráfica, função dos objectivos para que foi elaborado. Só a escalas grandes - com menor redução - é possível que a representação dos objectos seja aproximada à realidade. Como o conteúdo de um mapa não diminui proporcionalmente à redução de papel para produzir um mapa, temos uma grande densidade de elementos geográficos quando produzimos escalas mais pequenas (Fig. III.6)

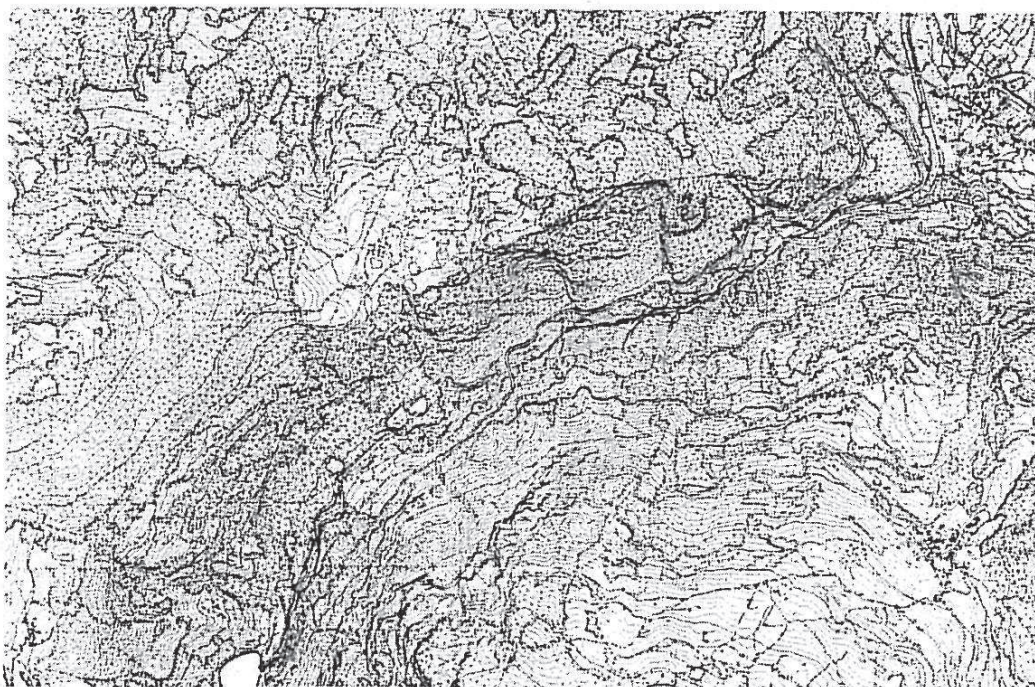


Fig.III.6 - Mapa não generalizado (1:25000). (Rytz., A. *et Al.*, 1977)

A partir do momento em que se tem a necessidade de produzir um novo mapa, os variados produtores de cartografia fazem-no, como já foi referido, na sua maioria generalizando em função de um mapa de escala mais pequena e da informação respeitante (Fig.III.5). Aqui percebem-se duas etapas distintas: **a necessidade de seleccionar os objectos necessários para o novo mapa e a modificação da geometria dos objectos, adaptando-a a nova escala**⁵. Estas acções podem dar origem a conflitos. **Estes conflitos que emergem entre objectos dão origem a um mapa que falha no seu objectivo primordial: a clareza na percepção dos objectos geográficos que se encontram inseridos no mapa.**

Se percebermos que:

- Uma redução da escala ao mesmo tempo que aumenta a quantidade de informação, reduz o espaço entre dois objectos, o que pode levar por vezes a sobreposições entre os mesmos;
- Uma escolha pouco apropriada dos símbolos a representar, poderá igualmente dar origem a uma sobreocupação do espaço disponível e conseqüente à perda de

⁵ - A primeira uma generalização orientada para a modelização e a segunda tipicamente cartográfica. Ver secção 2 e 3, capítulo III.

legibilidade do mapa e mesmo a uma distorção da relação entre as distâncias dos objectos geográficos;

- A redução dos objectos não pode exceder um determinado limite, correndo nós o risco de executarmos reduções que ultrapassam a acuidade da visão humana⁶, se tivermos consciência destas questões, percebemos alguns dos problemas a solucionar no processo de generalização cartográfica.

4.1 - Alguns Exemplos Práticos de Generalização Cartográfica

Das variadas questões que quase sempre emergem na generalização cartográfica, a simplificação de linhas é uma das mais referidas. Na figura III.7, podemos ver o aumento de simplificação de uma linha de costa em função da mudança de escala e percebemos como, à medida que a escala diminui, o nível de pormenor se vai tornando cada vez mais reduzido.

Em relação a generalização cartográfica de linhas refere-se o trabalho de Mark, D., (1989) onde este autor defende que a generalização cartográfica deverá ser renomeada como **generalização gráfica** subdividindo-se em dois ramos:

- Uma **generalização visual**, tendo em conta os procedimentos baseados na visualização computacional sendo os seus princípios aplicados "*... to generalizing a machine part, a cartoon character, a pollen grain outline or a shoreline.*" Mark, D. (1989);

- Uma **generalização geográfica** que teria em conta o conhecimento da estrutura geométrica da figura geográfica ou a classe de figuras geográficas a serem generalizadas, isto é, identificação do tipo de linha ou fenómeno que geográficamente a linha representa, como por exemplo rios, linhas de costa estradas, etc., podendo ser chamada em âmbito geográfico de **generalização fenomenológica** (*phenomenon -based*).

⁶ - A 30 cm a visão humana não percebe um objecto com menos de 0.02 mm. (Rytz, A. *et al.*, 1977).

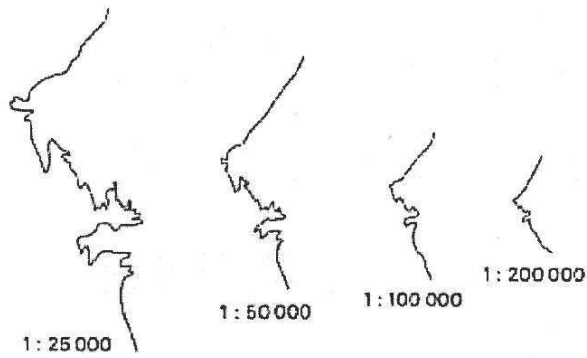


Fig. III.7 - Simplificação de uma linha de costa com a redução da escala.(Rytz., A. *et Al.*, 1977)

Também a simplificação de áreas é uma acção que variadas vezes é necessária a generalização cartográfica. Nesta operação é fundamental que se mantenham aproximadamente as características que o objecto apresenta na realidade.(Ver Fig. V.2, secção 2, capítulo V).

Outros dos problemas inerentes à generalização cartográfica é a necessidade de omitir determinados objectos, dado não fazerem sentido em determinado mapa produzido por generalização. Nestas circunstâncias deve-se mais uma vez manter tanto quanto possível não só a essência da geometria do objecto, como também a sua posição relativa em relação aos outros objectos geográficos representados. (Fig. III.7).

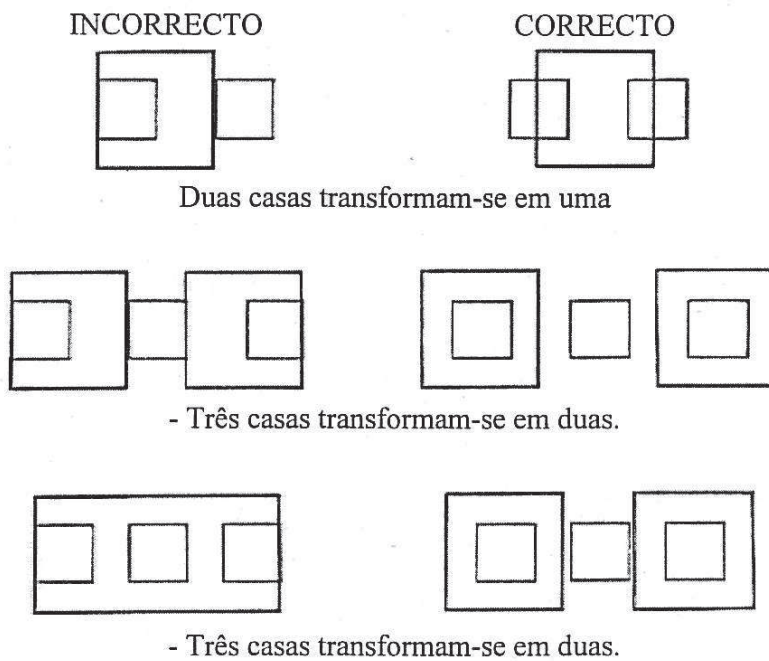


Fig. III.7 - Redução do número de objectos em função da redução de escala.(Rytz., A. *et Al.*, 1977)

Na figura seguinte (Fig. III.8) podemos ver como se resolverá um problema de simplificação / redução do número de objectos (casas) situados numa esquina de uma determinada rua. Observe-se que este problema não é resolvido da mesma forma que os anteriores.

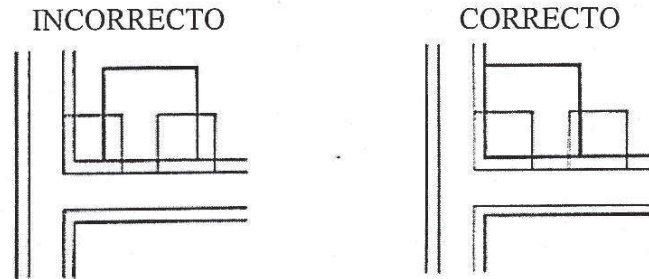
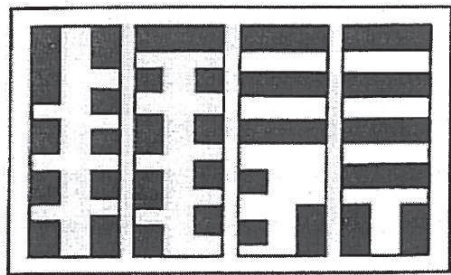


Fig. III.8 - Redução do número de objectos. (Casas numa esquina).
(Rytz, A. et Al., 1977)

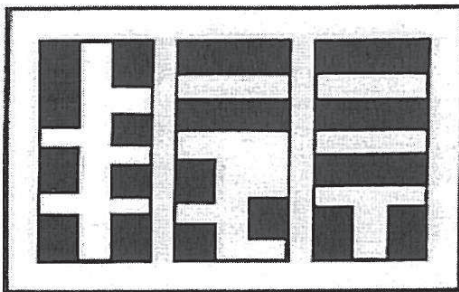
No seguinte exemplo apresenta-se a forma como num determinado bloco residencial se poderá manter a **impressão geral** que se tem quando se observa esse mesmo bloco a determinadas escalas, todas elas representando reduções cada vez mais significativas dos objectos geográficos.

Facilmente se percebe que existe uma coerência geométrica entre as três representações, conseguida por um deslocamento das ruas e omissão de variadas casas e ruas que não fariam sentido às escalas que aqui aparecem representadas. Assim verifica-se que a 1:25000, todas as ruas e casas estão correctamente representadas em relação à realidade. À escala 1:50000, uma rua foi apagada, e aquelas que ainda estão representadas, estão colocadas por forma a que a sua geometria, essência e rácio branco-negro⁷ sejam mantidos. Existe no entanto um deslocamento das duas ruas que foram mantidas. Na representação feita à escala 1:100000, consegue-se manter a impressão geral que tínhamos a 1:25000, no entanto existe uma única rua representada, sendo o ratio branco-negro mantido com uma escolha acertada da disposições das casas. (Fig. III.9 - Todas as escalas estão aumentadas.)

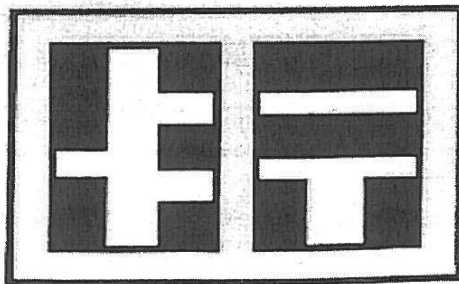
⁷ - relação entre a quantidade de áreas num mapa mais escuras e as mais claras. Fundamental para a sua clara legibilidade (ex: zonas urbanas muito concentradas são representadas com grandes áreas a negro perdendo-se a legibilidade. Deve ser compensada com omissão de objectos para a perda de legibilidade não acontecer).



1:25 000



1:50 000



1:100 000

Fig. III.9 - Redução de casas e ruas. (Rytz, A. *et Al.*, 1977)

Na figura seguinte (Fig. III.10) apresenta-se um problema tipo de mínima distância entre objectos e de como ela deve ser mantida. Na primeira imagem, temos a representação original, na segunda temos uma representação incorrecta, dado a rua que separa os edifícios não ser percebida, na terceira imagem, existe demasiado espaço entre os edifícios e a rua, e na quarta imagem apresenta-se uma boa representação, em que o carácter da área construído é mantido na sua essência.

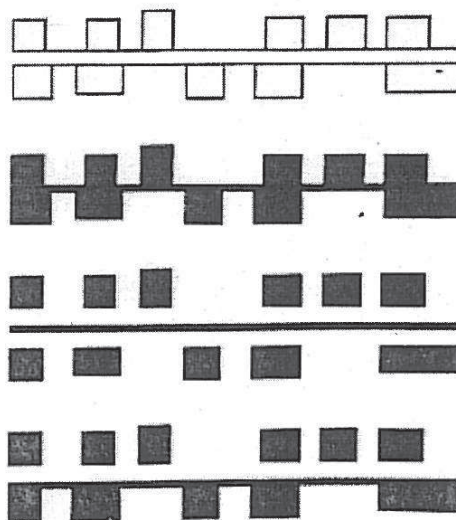


Fig. III.10 - Mínima de distância. (Rytz, A. *et Al.*, 1977)

Apresentaram-se alguns exemplos de problemas tipo com que qualquer cartógrafo é confrontado, aquando da generalização cartográfica e da produção de cartografia. Estes exemplos, como é óbvio, não reduzem toda a miríade de questões, tendo sido só apresentados aqueles que se achou mais significativos para o âmbito desta tese. Na secção 2 do capítulo V, apresentam-se operadores para a resolução de alguns problemas aqui referidos, bem como, de outros de manifesta importância no processo de generalização cartográfica.

5 - Os Variados Tipos de Generalização

Seguidamente apresenta-se um quadro que facilitará a percepção das variadas definições propostas por variados autores - tendo algumas delas já sido apresentadas e analisadas no capítulo II - por forma a definir a generalização de informação georeferenciada e os seus dois segmentos considerados neste trabalho: a generalização tendo em vista a modelização e a generalização cartográfica. Na figura III.11 percebem-se as ramificações referidas e os nomes por que são geralmente apresentados em Inglês.

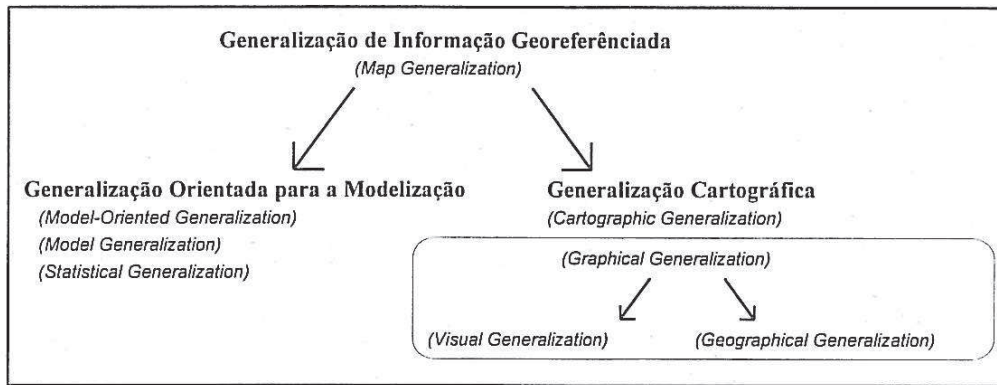


Fig. III.11 - Generalização de Informação Georeferenciada e suas ramificações.

No quadro III.1. - que seguidamente se apresenta, tentou-se sintetizar as contribuições para a definição do conceito em estudo e seus principais objectivos realizadas por variados autores, por forma a obter uma melhor compreensão do processo de generalização de informação georeferenciada. As citações são apresentadas na língua em que foram produzidas e a definição de processo é, não aquela que aqui é proposta - a segmentação da generalização da informação georeferenciada em generalização cartográfica e orientada para a modelização - mas as dos próprios autores.

Quadro III.1. - Definições de Generalização

PROCESSO DE GENERALIZAÇÃO	AUTOR	DEFINIÇÃO
Map generalization	Robinson et Al. (1984), citado por Nyerges (1991)	"...commonly applies to selection, simplification, classification, induction and symbolization."
Map generalization	Goodchild <i>et Al.</i> (1991)	"...is the simplification of observable spatial variation to allow its representation on a map."
Map generalization	Lagrange, Ruas e Bender (1993)	"It involves the modification of data in such a way that data can be represented in a smaller space, while best preserving geometric as well as descriptive characteristics." e "Generalization consists of schematizing or abstracting the representation of geographic data."
Model generalization	Weibel (1993)	"Controlled data reduction on the spatial, thematic and/or temporal domain" e "Derivation of databases at multiple levels of accuracy and resolution"
Model generalization	Robinson (1994)	"representation and treatment of physical, social, economic and other spatially referenced processes at different scales"
Model-oriented generalization	Kainz e Kavouras (1993)	"The need to represent data in varying degrees of resolution ... does not refer to visualization and display but rather to structurally and semantically different levels of detail."
Model-oriented generalization	Muller, Weibel, Lagrange e Salgé (1993)	"Interpretation process which leads to a higher view of some phenomena" "...performed to facilitate data access in GIS."
Statistical generalization	Brassel and Weibel (1988)	"Spatial modelling for the purposes of spatial analyses."
Cartographic generalization	Brassel and Weibel (1988)	"Performed for the purpose of visual communication."
Cartographic generalization	Robinson (1994)	"Process of reducing the amount of detail so the character or essence of the feature is retained at successive smaller scales."
Cartographic generalization	Rytz <i>et Al.</i> (1977)	"...production of an unequivocally legible and definitive map image [...] The map should be in accordance with its purpose and should really serve the demands required by the users. [...] it should be consistent[...] In generalization one primarily attempts to achieve a balanced total image."
Cartographic generalization	Bundy, Jones and Furse (1993)	"... abstraction and simplification of items in a map according to their relative importance and contribution to the intended purpose of the map."
Graphical generalization	Mark (1989)	"... modify geometry so that lines obtained from maps of one scale can be plotted clearly at smaller scales."
Visual generalization	Mark (1989)	"... generalization procedures based on principles of computational vision..."
Geographic generalization	Mark (1989)	"... would take into account knowledge of the geometric structure of the geographic feature..."

IV - FACTORES QUE INFLUENCIAM A GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Como já foi referido anteriormente, a generalização consiste na aplicação de uma modificação a determinada informação georeferenciada. Quando a realizamos estamos sempre condicionados por quatro requerimentos, - quer falemos da generalização tendo em vista a modelização, quer a cartográfica - (J-C. Muller 1991):

- Económicos;
- Robustez dos dados;
- Visualização e comunicação da informação;
- Especificidades dos Objectivos.

Quanto ao primeiro condicionalismo - o económico - podemos dizer que todo o conhecimento que temos é condicionado pela aquisição de dados que fazemos sendo esta aquisição condicionada pelas técnicas, ferramentas de que dispomos para a realizar. Por sua vez são os meios financeiros a condicionar a disponibilidade dessas mesmas técnicas.

Quanto ao segundo, está directamente ligado aos erros que ocorrem numa base de dados espacial. Erros esses resultantes da aquisição de dados, registo dos dados e manipulação dos mesmos. As fontes de erro são humanas e também instrumentais ou metodológicas, não sendo certo que introduzir maior controle na amostragem dos dados ou aumentando a precisão da medição diminua o erro. A generalização permite assim uma dissipação do erro dado actuar de forma a reduzir os detalhes apresentando uma perspectiva "normalizada" ou "centralizada" dos dados.

A terceira - visualização e comunicação da informação - é talvez a mais conhecida. Uma das funções de um S.I.G., passa pela produção de cartografia em papel ou unicamente para a visualização de mapas. Estes mapas representam informação espacial recolhida a grandes escalas proveniente de variadas fontes como a recolha directa, fotogrametria ou imagens de satélite. De uma maneira geral necessitamos de compactar/comprimir as informações recolhidas, dada a quantidade recolhida ser largamente superior àquela que é necessária para os nossos objectivos, e haver limites físicos e de legibilidade para a quantidade de informação que pode ser apresentada num mapa. Assim a generalização cartográfica deverá ser realizada para seleccionar, simplificar, exagerar e simbolizar informação que permita a comunicação da informação num mapa.(Muller 1991)

A quarta diz respeito à necessidade que os produtores de informação georeferenciada tem de a fornecer de determinada forma, consoante os objectivos do seu requerente. Esta informação deve ser fornecida a variadas escalas consoante o objectivo e nível de análise necessário. A generalização, filtrando e simplificando informação em função da escala cumpre o objectivo acima referido.

Estas são condicionantes gerais que afectam a generalização de informação georeferenciada, nas suas duas subdivisões já apresentadas no capítulo precedente. Na secção seguinte dá-se atenção àquelas que mais directamente afectam a generalização cartográfica, não esquecendo as que se relacionam com a generalização orientada para a modelização, abordando aspectos como a qualidade dos dados, os objectivos dos mapas, a simbolização e representação cartográfica e a visualização.

1 - A Qualidade dos Dados

Na área da generalização, a pesquisa sobre a qualidade dos dados não tem sido muito relevante. É óbvio que a qualidade dos dados irá influenciar algumas componentes dos dados geográficos, como:

- 1- A **exactidão⁸ da localização dos dados**, o que pode ser alterado após uma deslocação dos objectos, necessária para manter a legibilidade a uma escala maior;
- 2- A **exactidão da geometria dos elementos geográficos**, com a alteração da verdadeira geometria dos objectos e tendo em vista a legibilidade destes mesmos objectos num mapa, sendo necessário perceber que a primeira terá uma maior influência na base de dados geográfica onde as coordenadas de localização não podem ser alteradas ao contrário de um mapa, enquanto a segunda tem reflexos óbvios na representação gráfica dos objectos geográficos, logo na legibilidade de um mapa;
- 3- A **completteness**, dado a informação ser reduzida a classes abrangentes que diluem anomalias que se perceberiam individualmente;
- 4- E a **consistência**, que poderá ser afectada com aplicações de abstracções espaciais ou temporais irregulares (J-C. Muller, 1991).

O problema central, em relação à qualidade dos dados diz respeito, à utilização de resultados provenientes de uma generalização cartográfica, com determinado tipo de informação, para a modelização e análise em ambiente S.I.G. pois apesar de serem processos interrelacionados, os objectivos de cada um são diferentes, não se podendo utilizar, sem uma análise cuidada, dados resultantes de uma generalização cartográfica

⁸ - Por exactidão (*accuracy*) entende-se a relação (grau de certeza) entre a medida e a realidade que essa medida pretende representar.

na análise estatística possível num S.I.G., com graves repercussões ao nível da exactidão e precisão dos resultados. Será assim importante proceder a uma análise sistemática dos efeitos que poderá ter a utilização de dados provenientes de documentos generalizados graficamente nas operações com sistemas de informação geográfica.

2 - Escalas ⁹

De uma maneira geral quanto menor é a escala mais intensa é a generalização. Quando se trabalha com escalas muito grandes, a generalização consiste em seleccionar e simplificar informação. Com escalas médias e pequenas os problemas são mais relevantes, dado um grande número de objectos continuarem a ser representados sem uma significativa mudança na sua simbolização, enquanto a sua densidade aumenta gradualmente. Como consequência alguns objectos terão de ser substituídos por simbolização, enquanto outros terão de ser significativamente modificados ou terão mesmo desaparecer, emergindo conflitos entre objectos (ex.: sobreposições). Para as escalas pequenas a densidade dos objectos geográficos é o problema central, sendo a selecção de objectos, uma tarefa fundamental para a produção destes produtos.

De notar que a generalização está sempre relacionada com as escalas inicial e final, isto é, a **simplificação** dos dados constitui o aspecto central das operações de generalização a realizar para as escalas grandes, enquanto a **selecção** é a operação fundamental para as escalas pequenas.

Deve-se referir ainda que, a generalização está directamente correlacionada com o factor de redução da escala, que é determinada pela exactidão dos dados e pelo conteúdo da base de dados. Finalmente a implementação de operações de generalização dependem das características das figuras a representar a determinada escala, isto é, um operador de suavização de linhas poderá ser adequado para suavizar uma estrada numa classe de escalas que varie entre o 1:10000 e os 1:25000, sendo no entanto irrelevante utilizar o mesmo operador para um rio, na mesma classe de escalas ou uma estrada a escalas mais pequenas.

⁹ - Consideram-se grandes escalas a classe que varie entre a escala 1:500 e a 1:10000, escalas grandes/médias a classe entre 1:10000 a 1:50000, escalas médias/pequenas 1:100000 a 1:600000 e as escalas pequenas as superiores a 1:1 000000. (I.G.N., 1993)

3 - Os Objectivos dos Mapas

Desde o princípio é necessário estabelecer quais os objectivos do mapa que pretendemos, - pois os objectivos de uma mapa que detenha apenas uma rede hidrográfica serão diferentes dos objectivos estabelecidos para um mapa topográfico - para estabelecer que objectos serão representados, bem como qual a sua importância. Após esta classificação uma nova estrutura de dados será definida, procedendo-se a simbolização adequada dos objectos. Estes serão tratados como essenciais ou secundários, estabelecendo-se parâmetros para a sua manutenção ou modificação de forma e/ou de localização.

4 - Simbolização / Representação Cartográfica

Para interpretar um mapa os objectos geográficos tem de ser associados a símbolos cartográficos. A escolha dos símbolos reverte para a produção da legenda de um determinado mapa: Numa base de dados os objectos são representados geometricamente como pontos, linhas e polígonos, sendo por sua vez simbolizados por uma variada gama de elementos gráficos como:

- Símbolos pontuais: forma, tamanho e cor;
- Símbolos lineares: forma (linhas simples, duplas, triplas, etc.) e cor;
- Símbolos em área (polígonos): cores e tramas.

Em função do resultado dos símbolos seleccionados, assim variam o nível de conflitos entre objectos representados num mapa. (Muller, Weibel, Lagrange e Salgé; 1993), e em função de determinada escala assim têm de ser escolhidos novas classes de símbolos.

5 - Outros Factores

A escolha das cores, seu número e intensidade tem efeitos na generalização cartográfica (Rytz et Al., 1977). Cores pálidas requerem linhas mais espessas e os símbolos em área não podem ser muito pequenos. Algumas especificações são necessárias quando determinado mapa tenha de ser impresso com muitas gamas de cores.

Também as capacidades técnicas de reprodução e impressão são factores a ter em conta, por forma a que informação importante não seja perdida em função da má

qualidade de reprodução, com implicações de perda de qualidade no processo fotográfico, contraste, cópias e tipo de papel a ser utilizado no mapa.

Finalmente salienta-se o processo de revisão. Principalmente nos mapas topográficos, as actualizações são uma necessidade relevante. Tendo em vista salvaguardar as revisões a escalas grandes, certos elementos como pontos trigonométricos ou objectos base para a análise topográfica nunca deverão ser deslocados. Um mapa deverá ser desenhado e generalizado por forma a que os elementos provenientes das revisões sejam inseridos entre os pré existentes sem dificuldades técnicas e operacionais, bem como, o que foi apagado na generalização original não deverá ser inoportunamente reinserido com uma revisão posterior.(Rytz et Al., 1977).

No capítulo seguinte abordam-se os conflitos e medidas de generalização cartográfica - se bem que estas últimas de forma necessariamente sintética - e os variados operadores para a resolução dos conflitos emergentes após a generalização.

V - CONFLITOS E OPERADORES DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Neste capítulo apresentam-se contribuições para a identificação e resolução de conflitos emergentes no processo de generalização. Será feita ênfase nos que directamente influenciam a generalização cartográfica, apesar de serem feitas várias referências ao processo de generalização orientada para a modelização.

1 - Identificação de Conflitos e Medidas de Generalização

Shea e McMaster (1989), identificaram seis condições que dão origem a conflitos, afectando assim a legibilidade de um mapa:

Congestão - um número elevado de figuras foi colocado num espaço limitado dando origem a uma densidade de figuras muito alta e a dificuldades na sua percepção;

Coalescência - existência de figuras que se tocam em função de:

- a distância que separa os objectos é menor que a capacidade de resolução do monitor ou do *output device*;

- as figuras tocam-se devido ao processo de simbolização.

Conflito - É uma situação em que a representação espacial de uma figura entra em conflito directo com a sua envolvente (*background*). Tomemos por exemplo, uma estrada que atravessa um parque urbano, dividindo-o em duas partes. Poderá existir conflito se necessitarmos de conjugar as duas partes do parque sobre a estrada;

Complicação - Resulta de uma notória ambiguidade após termos generalizado, e estando a generalização dependente de vários factores como a complexidade dos dados, selecção das técnicas de interacção ou da selecção dos níveis de tolerância;

Inconsistência - Refere-se as decisões de generalização não serem uniformemente aplicadas num determinado mapa, havendo um enviesamento na generalização feita aos diferentes elementos cartografados;

Imperceptibilidade - Acontece quando após termos aplicado as técnicas de generalização, uma determinada figura apresenta um tamanho inferior ao mínimo de perceptibilidade gráfica necessário.

1.1 - Condições para a Generalização

Beard (1993) numa crítica aos sistemas de produção¹⁰ refere que estes sistemas apresentam uma notória falta de flexibilidade - fundamental para a generalização, dados os variados objectivos desta - dado ligarem de forma unívoca uma determinada condição a uma acção¹¹ consequente.

Tendo em vista a flexibilidade necessária para a automatização a autora propõe uma abordagem alternativa baseada em restrições (*constraints*). As restrições são de alguma forma similares ao predicado de uma regra de produção, no entanto uma restrição não está particularmente ligada a uma acção específica, mas todas as restrições terão que ser satisfeitas ou resolvidas e qualquer número ou tipo de acções poderão ser aplicadas para resolver essas restrições. Estas restrições derivam de objectivos como o objectivo do mapa, escala, qualidade dos dados, etc, sendo especificadas *a priori*. as restantes restrições poderão ser especificadas posteriormente, de forma interactiva consoante as graduais necessidades do utilizador. Um exemplo do que poderá ser uma condição *a priori* é a unidade mínima de legibilidade. Um objecto que a determinada escala viole a definição feita, deverá ser corrigido havendo para isso variadas acções possíveis, como por exemplo remove-lo, aumentá-lo ou aglutiná-lo com outros objectos. A acção a tomar irá depender do objectivo do mapa, envolvente do objecto, importancia deste, etc.

Para Beard as restrições dividem-se em quatro tipos distintos:

- **Restrições Gráficas** - Derivam das limitações inerentes ao *output* - ecrans, ferramentas de reprodução/impressão, etc. - dos limites de perceptibilidade da visão humana. Exemplos são as unidades mínimas de legibilidade/distância;

- **Restrições Estruturais** - Têm como objectivo manter as características essenciais dos objectos geográficos, bem como as relações espaciais e de atributos que mantêm entre eles. Como exemplo temos manutenção das distâncias, direcções, conectividade, adjacência, etc.

- **Restrições Aplicacionais** - São condições particulares respeitantes ao objectivo de um determinado mapa. Exemplos são localização da área geográfica a ser

¹⁰ - Ver capítulo VII.

¹¹ - Veja-se que as acções que aqui se apresentam se relacionam directamente com os operadores de generalização - capítulo V, secção 2 - , que permitem resolver os conflitos emergentes ou os condicionamentos estabelecidos.

apresentada, tamanho dessa mesma área, tamanho e escala do *output*, tipos de símbolos utilizados, etc.

- **Restrições de Procedimento** - Controlam a ordem e interação das acções a serem aplicadas. Podem ser definidas à *priori* ou durante o processo de generalização. Como exemplo temos a utilização de um operador de **selecção** das figuras a serem representadas em determinado mapa a determinada escala (generalização orientada para a modelização), que será sempre o primeiro a ser aplicado.

A autora afirma ainda que podem existir conflitos entre as variadas restrições apresentadas. As restrições aplicacionais e gráficas podem incorrer em conflito, quando os objectos seleccionados por um determinado utilizador não sejam legíveis determinada escala. Neste caso, como em outros, terão que se estabelecer prioridades na aplicação das condições, salientando que as condições de aplicabilidade são muitas vezes suplantadas pelas estruturais, mas que as condições gráficas se sobrepõem às restantes.

Em presença destes tipos de problemas é necessário que um determinado processo (acção/operador) seja aplicado por forma a corrigir estes problemas. No entanto, é preciso frisar, que estes tipos de conflitos são de certa forma subjectivos e difíceis de quantificar. Por exemplo se tomarmos o problema da congestão, podemos perguntar qual o critério para se considerar de uma forma precisa que determinado mapa apresenta uma densidade de figuras excessiva? Ou, por exemplo, como determinar a unidade mínima para o cálculo da densidade num determinado mapa?

Estas questões só podem ser resolvidas se entendermos o mapa como uma entidade gráfica - formada por pontos, linhas e áreas - e julgar as condições baseados numa análise das entidades acima referidas. Isto será conseguido através da elaboração de medidas, que funcionem como indicadores da geometria das figuras quer individualmente quer nas suas inter-relações. Apesar de considerarem a seguinte descrição de medidas incompleta, Shea e McMaster (1989) consideram que elas consistem num princípio para a avaliação das condições que dão origem à necessidade de se resolverem os conflitos gerados pela generalização.

Assim estes autores propõe os seguintes tipos de medidas:

Medidas de densidade - Estas medidas incluem especificações para a definição do número de pontos, linhas e/ou os elementos gráficos geográficos por cada unidade

espacial, bem como a densidade média máxima de pontos, linhas e/ou os elementos gráficos geográficos num mapa;

Medidas de distribuição - Permitem uma definição da distribuição de figuras em determinado mapa. Por exemplo, podemos estabelecer a complexidade de uma figura em forma de linha, calculando a complexidade global de uma rede hidrográfica - calculando a variação por centímetro da média angular dessa mesma rede - por forma a nos ajudar a seleccionar uma representação da rede a uma escala reduzida;

Medidas de comprimento e de sinuosidade - Funcionam como referência para as linhas e para as fronteiras de determinados elementos geográficos. Um exemplo, será o cálculo dos comprimentos dos variados ramos de uma rede hidrográfica. Algumas medidas de comprimento poderam ser: o número total de coordenadas; o comprimento total ou o número médio de coordenadas, bem como o desvio padrão das coordenadas por centímetro. Como medidas de sinuosidade podemos considerar: a medida total da mudança angular; a média da mudança angular por centímetro; o sumatório dos ângulos positivos e negativos, etc;

Medidas de forma - Estas medidas podem ser úteis na determinação da possibilidade ou não da figura ser representada a uma nova escala. Estas medidas podem ser aplicadas a figuras simbolizadas ou não, e incluem a geometria dos objectos em forma de linha ou área, perímetro dos objectos em área, o centróide dos objectos em linha ou área e a variância, covariância e desvio padrão de X e Y para os objectos em área.

Medidas de distância - Podemos também calcular medidas para as três formas básicas de representação geométrica como os pontos, as linhas ou as figuras em área. essas medidas podem ser calculadas a partir da distância perpendicular ou euclidiana mais pequena entre as formas acima referidas. No caso de dois pontos geométricos existem unicamente três tipos de medidas que podem ser calculadas: (1) ponto-para-ponto; (2) ponto *buffer* - para - ponto *buffer* e (3) ponto - para - ponto *buffer*. Neste caso ponto *buffer* significa a região em redor do ponto que conta significativamente em caso de simbolização. Estas medidas podem indicar a existência de problemas, após uma redução de escala, entre as figuras e os respectivos *buffers*;

Medidas Gestalt - A teoria da Gestalt é um contributo importante para a percepção "*...of the structural kinship between the stimulus pattern and the expression it conveys.*" (Arnheim, 1974, citado por Shea e McMaster, 1989)

Medidas abstractas - Avaliações mais conceptuais podem ser conseguidas utilizando estas medidas, que têm como exemplo: homogeneidade; vizinhança; simetria, repetição, etc. Estes dois últimos tipos de medidas são sem dúvida mais difíceis de estabelecer.

Tendo em vista a aplicação destas medidas é necessário, para não haver um enviesamento no processo de generalização, a aplicação de algoritmos através de operadores de generalização, bem como o estabelecimento de parâmetros ou níveis de tolerância para a aplicação de determinado algoritmo. É o que passaremos a analisar na secção seguinte.

2 - Operadores de Generalização Cartográfica

Neste secção são abordados de forma previligiada os operadores que mais directamente estão relacionados com a generalização cartográfica, dado ser esta particularmente relevante para o estudo em causa. No entanto, também serão abordados alguns operadores significativos para a generalização orientada para a modelização.

Os operadores de generalização são funções básicas utilizadas para resolver conflitos, fazer valer condições e reduzir a complexidade dos dados. Tendo em vista a obtenção de um produto final válido, será necessário determinar a sequência de aplicação dos operadores de generalização, que algoritmos serão utilizados por esses operadores e que medidas de tolerância deverão ser estabelecidas por forma a controlar a acção dos algoritmos. Esta desagregação é algo que o cartógrafo dificilmente poderá fazer dado o seu trabalho na produção de cartografia ser sempre realizado de uma forma integrada e holística, dado o seu trabalho ser realizado tendo em vista os objectivos finais e tendo uma visão abrangente dos problemas a resolver

Como já foi referido anteriormente, a generalização de objectos cartográficos, produz uma modificação nesses mesmos objectos, dado que existe uma mudança de escala. A informação que se encontra representada num mapa tem basicamente dois componentes de primordial importância - a localização e o significado - sendo estas duas componentes afectadas pela generalização. Assim uma redução da escala determina também uma redução no espaço necessário para a representação dos objectos geográficos, ao mesmo tempo que menor precisão está associada aos elementos do mapa. Isto será de fundamental importância para se perceber a utilização dos variados operadores e os contextos em que são aplicados.

Seguidamente apresentam-se os **doze operadores identificados por Shea e McMaster (1989)**, consoante os objectivos a atingir, bem como operadores que tenham sido identificados por outros investigadores. No entanto a base de referência será sempre a classificação dos autores acima referidos:

Simplificação (*Simplification*) - Em determinada figura num mapa deve ser eficiente a forma como é representado o número de pontos que a constitui. Deve-se assim aplicar um algoritmo que retenha exclusivamente os pontos base, sem perda de identidade, tendo em vista que o objecto continue a ser identificado. Os operadores de simplificação operam uma redução no número de pontos de, por exemplo, uma linha que represente um rio ou uma estrada, mantendo aqueles que o caracterizam, não alterando as suas coordenadas. Óbvio que o mesmo raciocínio pode ser aplicado a simplificação de um objecto em área (Fig. V.2). Esta acção leva-nos a poupar tempo de impressão, redução no espaço ocupado em disco e mais fácil conversão *vector* para *raster*. Este operador é também proposto por Robison e Sale e por DeLucia e Black (citado por Shea, 1991). (Fig.V.1)

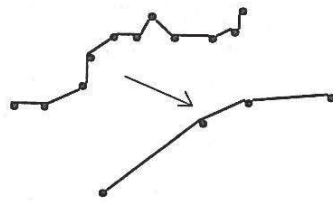


Fig. V.1 - Simplificação de Linha

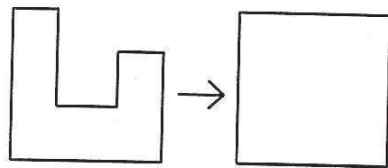


Fig. V.2 - Simplificação de Área

Suavização (*Smoothing*) - Este operador actua recolocando pontos notáveis de uma linha ou anulando pequenas perturbações nessa mesma linha. O resultado é o alisamento dos ângulos, havendo uma alteração na localização dos pontos notáveis que constituem a linha para novas coordenadas. este operador utiliza-se muitas vezes por razões estéticas. (Fig.V.3)

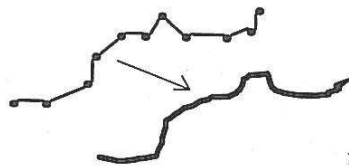


Fig. V.3 - Suavização

Agregação (Aggregation)- Devido a uma redução da escala ou a determinados objectivos para um mapa, certos símbolos ou elementos geográficos perdem sentido em aparecer isolados. No entanto pode haver necessidade que esses elementos sejam representados. Neste caso as figuras deveram ser agrupadas entre si por forma a constituir uma figura de idêntico sentido, mas numa classe mais abrangente. Este operador também é referido como agrupamento - *Group* - (Beard, 1991) e por DeLucia e Blank (citado por Shea, 1991) mas com o nome de aglomeração - *agglomeration* -. Estes dois investigadores atribuem o nome de agregação a junção de três ou mais figuras de implantação pontual, e não em área, que dão origem a uma figura esta sim com representação em área. (citado por Shea, 1991). (Fig.V.4)

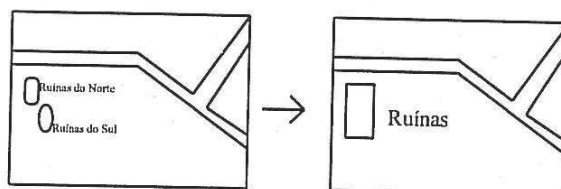


Fig. V.4 - Agregação

Amalgamento (Amalgamation) - O amalgamento de elementos individuais num único elemento possibilita a retenção das características principais de uma determinada zona ou região num determinado mapa. Um dos problemas deste processo é que não há nenhuma regra fixa para o nível de detalhe necessário resultante do amalgamento. (Fig. V.5)

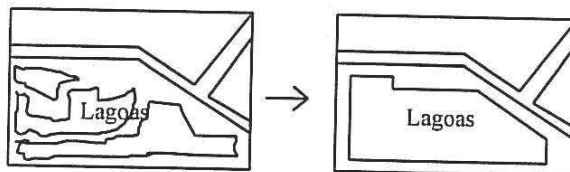
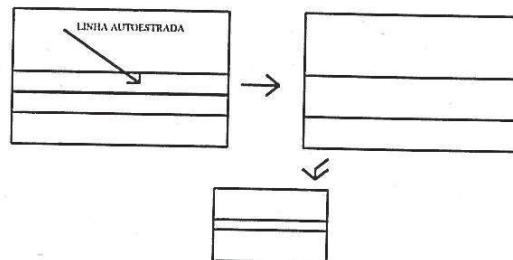


Fig.V.5 - Amalgamento

Fusão (Merge) - Se a mudança (redução) de escala for substancial, pode ser impossível manter o carácter das linhas que se apresentem isoladas. Assim estas linhas terão de ser fundidas, com o objecto que as envolve, pois não seriam percebidas após redução da escala. (Fig. V.6)



Redução 50% da escala com desaparecimento da linha divisória

Fig. V.6 - Fusão

Colapso (*Collapse*) - Com uma redução da escala muitas figuras que originalmente eram representadas por área, são substituídas por pontos e linhas. A decomposição de figuras em área, em linhas, ou figuras em linha, em pontos, é um processo comum de generalização. Rios, aeroportos, urbanizações, lagos, etc, podem-se tornar em pontos ou linhas quando representados a escalas mais pequenas. Este operador é também referido por DeLucia e Black (citado por Shea, 1991). (Fig. V.7)

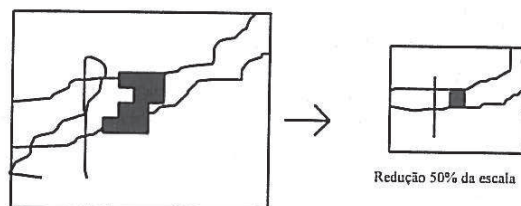


Fig. V.7 - Colapso

Refinamento (*Refinement*) - Quando as figuras representadas a uma escala grande são muito numerosas ou muito pequenas, não se devem representar todas as figuras com o risco da representação gráfica feita a uma escala mais pequena que a original, resultar imperceptível. Neste caso deve-se assegurar que o refinamento elimine figuras ou partes que não impossibilitem a percepção semântica do objecto geográfico representado, sendo mantido o seu correcto posicionamento. Este operador é também referido por DeLucia e Black (citado por Shea, 1991). (Fig. V.8)

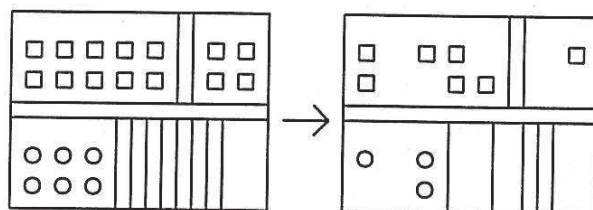


Fig. V.8 - Refinamento

Tipificação (*Tipification*) - É um processo idêntico ao acima referido - Refinamento - só que neste caso a eliminação parcial dos elementos que compõem as figuras é feita unicamente em respeito àquelas que representem objectos geográficos idênticos ou com um certo grau de homogeneidade, mantendo o seu significado semântico, mas alterando minimamente o seu correcto posicionamento. (Fig. V.9)

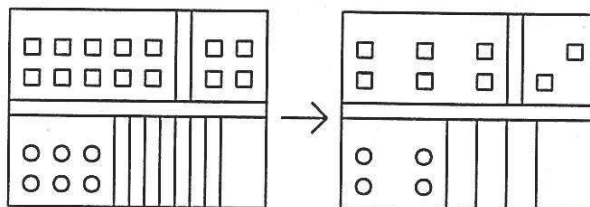


Fig. V.9 - Tipificação

Exagero (*Exaggeration*) - Aquando da representação dos objectos geográficos a uma escala mais pequena, as formas e tamanhos das figuras podem necessitar de ser acentuadas em pormenores que são significativos para a sua percepção. Esta acção pode levar a conflitos de sobreposição sendo necessária a aplicação de um operador de deslocação (abaixo explicitado). (Fig. V.10)

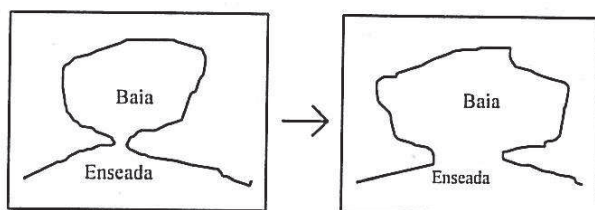


Fig. V.10 - Exagerar

Realce (*Enhancement*) - Em função dos requerimentos de um determinado mapa, a figura poderá ter de ser aumentada/exagerada na sua forma. Sendo similar ao operador exagero, difere deste, dado o objectivo ser especificamente manter a simbolização e percepção semântica do mesmo e não o aumento do tamanho das dimensões espaciais de determinado objecto representado. Manter a proporcionalidade dos símbolos pode ser impossível com a redução de escala, assim actua-se sobre o objecto (na figura aumenta-se o tamanho da ponte) afim de manter a perceptibilidade semântica de um objecto geográfico. Este operador é também proposto por Buttenfield com atributos similares (citado por Shea, 1991). (Fig. V.11)

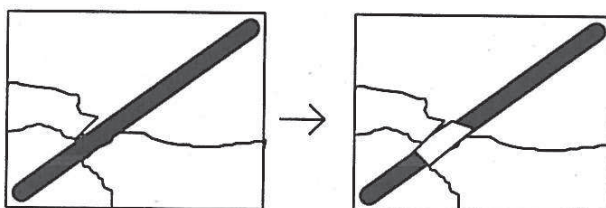


Fig. V.11 - Realce

Deslocação (*Displacement*) - Este tipo de operador aplica-se quando emergem conflitos entre figuras, como os casos de excessiva proximidade, sobreposição ou coincidência de limites. O interesse primordial da deslocação de objectos geográficos centra-se na possibilidade de alterar a localização destes tendo em vista uma correcta simbolização dos mesmos. (Fig. V.12)

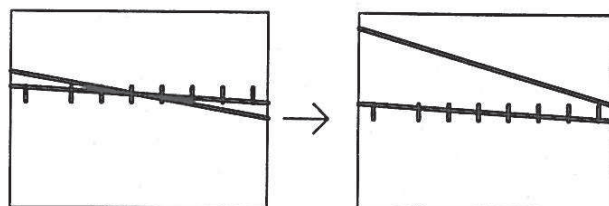


Fig. V.12 - Deslocação

Classificação (*Classification*) - O processo de classificação dos dados é muitas vezes referido como uma componente primordial da generalização. Com este operador estamos concentrados na classificação em grupos homogêneos de objectos com particularidades com os permitem agrupar. Este processo é na maioria das vezes necessário, dado a impossibilidade de cartografar e simbolizar os valores individuais. (Fig. V.13)

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20	1-5 ; 6-10 ; 11-15 ; 16-20
--	----------------------------

Fig. V.13 - Classificação

Finalmente refere-se o trabalho de McMaster e Monmonier (1989), que propuseram uma base de trabalho para a utilização de operadores para a generalização de informação georeferenciada. Inicialmente isolaram em dois os tipos de dados utilizados na cartografia digital:

- Dados que constituem elementos geográficos, como os polígonos, os arcos e os nós;
- E os dados que são atributos desses mesmos elementos como as informações de um censo ou as características de um determinado tipo de solo.

Como facilmente se percebe estes dois tipos de dados terão tratamentos diferenciados no processo de generalização. A generalização ao nível dos atributos inclui-a os processos de classificação e simbolização como pré-processo de selecção do que seria importante reter ou eliminar. Os elementos geograficos, teriam operadores específicos consoante se utiliza o modo *raster* ou *vector*, com uma generalização de base locacional ou uma generalização com base no objecto, respectivamente. Esta ultima - generalização com base no objecto / *Vector* - teria operadores para a generalização de pontos como a omissão, agregação e deslocamento; para a generalização de figuras em linha os operadores de simplificação, suavização, deslocamento; para as figuras em área a omissão, amalgamentação, colapso e deslocamento; para as figuras em volume actuariam os operadores de suavização, aumento e simplificação; e finalmente para a generalização de figuras interpretadas de uma forma holística um único operador de refinamento da distribuição dessas mesmas figuras.

Após termos apresentado os operadores considerados mais significativos para a generalização cartográfica e sua caracterização, passaremos no capítulo seguinte a abordar os sistemas que permitem uma generalização automática, analisando as suas componentes, vantagens e problemas mais significativos.

VI - SISTEMAS DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Na implementação de sistemas que permitam uma generalização automática, podemos facilmente identificar duas abordagens, se bem que no futuro esta dicotomia tenha tendência dissipar-se (Muller, Weibel, Lagrange e Salgé; 1993) : A generalização Diferida (*Batch*) e a Interactiva. Abordaremos também neste capítulo a contribuição dos sistemas periciais para a generalização cartografica.

1 - Generalização Diferida

A generalização diferida (*batch*) reflecte a utilização de algoritmos individualizados para executar tarefas muito específicas como a eliminação ou simplificação de variados objectos cartográficos, sendo inexistente ou muito reduzida a intervenção humana na execução destas tarefas. Esta técnica tem sido fundamentalmente aplicada na generalização de linhas - a área mais estudada dentro da generalização cartográfica, provavelmente porque 80% dos objectos cartográficos são percebidos como linhas, apesar de factualmente serem polígonos (Muller, Weibel, Lagrange e Salgé; 1993) - que permitem um fácil tratamento e estudo, dado serem mais fáceis de isolar do que objectos cartográficos complexos.

Exemplo de um sistema de generalização *batch* é o programa CHANGE, desenvolvido pela Universidade de Hannover, estando integrado no S.I.G. Phocus, produzido pela Zeiss. Este sistema foi desenvolvido com o objectivo de generalizar mapas de cidades entre as escalas 1:5000 e 1: 20 000, permitindo os algoritmos a ele associados definir em que objectos se vão tornar os objectos da base de dados inicial após a generalização desta base de dados, generalizar edifícios, simplificando a sua forma ou agregar edifícios contíguos, generalizar estradas e localizar sobreposições entre edifícios e estradas, sendo estes problemas resolvidos não por meio de algoritmos mas por intervenção humana. É ainda possibilitado ao operador mudar os paramentos de generalização, tendo em vista aumentar ou diminuir o nível de generalização.

O problema associado aos sistemas *batch* diz respeito à dificuldade de se conseguir uma solução 100% eficaz de generalização com este sistema. As especificidades e objectivos inerentes ao processo de generalização podem variar quase infinitamente, sendo impossível perceber um sistema que possa reconhecer e resolver todos os problemas inerentes a este processo. Emerge assim um outro tipo de sistema mais adequado às necessidades actuais da generalização cartográfica, a que

damos o nome de generalização interactiva (também designado por inteligência amplificada e ligado ao trabalho desenvolvido por Weibel em 1991).

2 - Generalização Interactiva (Inteligência Amplificada)

As dificuldades inerentes a uma solução do tipo *batch*, bem como algum desapontamento na dificuldade em formalizar o conhecimento associado a generalização e dando origem a que as soluções que os sistemas periciais têm apresentado até agora sejam pouco consistentes, levou a que os investigadores explorassem soluções em que o *software* executasse tarefas simples e objectivas, enquanto a acção humana seria responsável pelo controlo das operações e resolução dos problemas mais específicos inerentes aos objectivos da generalização. Uma das mais consistentes foi proposta por Robert Weibel (1991) a qual se atribui o nome de inteligência amplificada (*amplified intelligence*).

Estes sistemas interactivos estão baseados na possibilidade dos sistemas oferecerem *interfaces* amigáveis, que permitem ao utilizador navegar e visualizar facilmente as variadas opções da aplicação, apresentando multiplas opções no écran do mapa base e as soluções intermédias propostas pelo sistema, seleccionando os objectos a serem generalizados e escolhendo as ferramentas para a generalização, sendo também importante o sistema apresentar indicadores estatísticos e funções de análise da informação representada tendo em vista a possibilidade do utilizador poder de forma efectiva, tomar decisões para a generalização, sendo requeridas também funções que possam registar e gravar as variadas opções de resolução de problemas inerentes à generalização e aplicá-las em posteriores situações idênticas e permitindo assim a aquisição de conhecimentos. Para que este sistema seja realmente eficaz é necessário ainda que permita ao utilizador a realização de decisões de nível elevado, isto é, que acções de inteligência amplificada sejam efectivamente executadas.

A inteligência amplificada coloca-se numa posição intermédia entre as soluções unicamente algorítmicas e as estratégias dos sistemas periciais. Eles podem inicialmente serem baseados nas técnicas algorítmicas ou nas bases de conhecimentos dos sistemas periciais que resolveram problemas parciais do processo de generalização. O conhecimento necessário à resolução dos problemas mais complexos e específicos de uma generalização orientada para um mapa específico, função de determinado objectivo, será providenciado por um cartógrafo que actuará sempre que necessário na resolução dos problemas. É esperado que, pela análise e aquisição de conhecimentos proveniente da forma como o operador resolveu determinadas

questões com um alto índice intuitivo, possam vir a ser registadas e guardadas pelo sistema por forma a que no futuro seja possível uma solução 100% baseada num sistema pericial. Estes sistemas também são equivalentes aos sistemas decisionais utilizados na gestão e no planeamento, e como se percebe, estão largamente dependentes das capacidades do operador do sistema, isto é do cartógrafo.

Um exemplo deste sistemas é o MGE - *Map Generalizer* - produzido pela *Intergraph*. Este módulo do MGE/SX não cria uma nova base de dados a partir da inicial por generalização, antes realiza/apresenta *outputs* cartográficos a escalas mais reduzidas. Os seus objectivos são permitir :

- O maior número possível de algoritmos de generalização cartográfica que permitam a realização de todas as operações básicas de generalização;
- Uma *interface* que permita ao utilizador escolher os objectos para generalizar, os algoritmos e parâmetros para uma situação particular;
- Ferramentas de correcção geométrica interactiva que permitam melhorar formas e resolver conflitos.

Lagrange, Ruas e Bender (1993) apresentam algumas limitações a este programa que consistem em :

- Esta aplicação ainda se encontra numa fase de desenvolvimento, sendo difícil de discernir quais são as suas efectivas capacidades;
- O sistema foi desenhado e desenvolvido tendo por objectivo a representação gráfica, não se encontrando adaptado ao problema de generalização de bases de dados (generalização orientada para a modelização);
- Apesar de ser um processo interactivo, o utilizador pode codificar algumas hipóteses e sequências em *files batch*, havendo assim problemas com a identificação e resolução de conflitos que poderão não ser efectuados.

Sinteticamente podemos dizer que este sistema, apesar de apresentar aspectos bastante positivos, se encontra numa fase de desenvolvimento, tendo que aguardar futuros desenvolvimentos a fim de se compreender os seus principais defeitos, se são resolúveis ou não, bem como as suas potencialidades.

3 - Sistemas Periciais

Os sistemas periciais têm, nos últimos tempos, recebido particular atenção na literatura dedicada a cartografia, fundamentalmente nas áreas da colocação automática de nomes e detecção de conflitos, cartografia automática e generalização (Shea 1991).

Um sistema pericial pode ser definido, de uma maneira geral, como um modelo com uma série de procedimentos associados com a capacidade de, em determinado domínio específico, conseguir a identificação e resolução de problemas de forma comparável a que seria feita por um ser humano (Ignizio, J.P.; 1991). Associada a esta definição podemos dizer que de uma forma geral o "modelo" referido na definição proposta é um programa de computador, elemento quase sempre presente no desenvolvimento e implementação de um sistema pericial. No entanto esta afirmação não deve ser entendida de forma exclusiva, dado que a essência de um sistema pericial não é a sua componente computadorizada, visto que existem sistemas periciais onde se poderão fazer inferências através de processos meramente manuais - mas sim a sua fonte de conhecimento, isto é, a formulação do modelo de conhecimentos, componente do sistema pericial, a partir do qual o sistema executa as funções para as quais foi determinado.

No processo acima referido o *Knowledge Engineer* assume um papel crucial. Ele não é meramente um programador informático - quando o é - mas sim um indivíduo que vai adquirir o conhecimento e formular as regras, para que o sistema possa funcionar.

Podemos considerar de forma sucinta quatro elementos base como componentes de um sistema pericial (sendo os dois primeiros fundamentais): (Fig. VI.1)

- Uma base de conhecimentos composta por conhecimento factual (conceitos e informações descritivas) e por conhecimento dedutivo (regras);
- O mecanismo de inferência (*inference engine*), que controla o "raciocínio" através da pesquisa, selecção e manipulação do conhecimento a fim de produzir um resultado ou uma solução;
- Uma base de dados, que possua a informação necessária para a resolução de problemas específicos;
- Uma *interface* que permita ao utilizador a comunicação com o sistema pericial.

A base de conhecimentos acima referida, é elaborada a partir de procedimentos operativos, factos, conceitos e conhecimentos específicos de um determinado domínio, podendo ser o conhecimento inscrito nessa base de dois tipos: dedutivo / declarativo e de procedimentos. O conhecimento do tipo declarativo inclui factos, conceitos e informação descritiva sobre um domínio particular sobre o qual incidimos a nossa atenção, enquanto o conhecimento de procedimentos aborda acções, estratégias e heurística utilizada para resolver certos problemas ou para atingir determinados fins.

Como facilmente se percebe, a capacidade de um determinado sistema usar nas situações adequadas o conhecimento que se encontra inscrito na sua base é fundamental. O mecanismo de inferência assume o lugar de mecanismo de controle da pesquisa e orientação dos dados da base de conhecimentos para o provimento de uma solução para determinada questão ou problema.

Quanto à base de dados, que possui a informação necessária para a resolução de problemas específicos, podemos dizer que para além de conter os factos que representam o problema em causa, ela contém ainda as condições para o alcance de determinado objectivo.

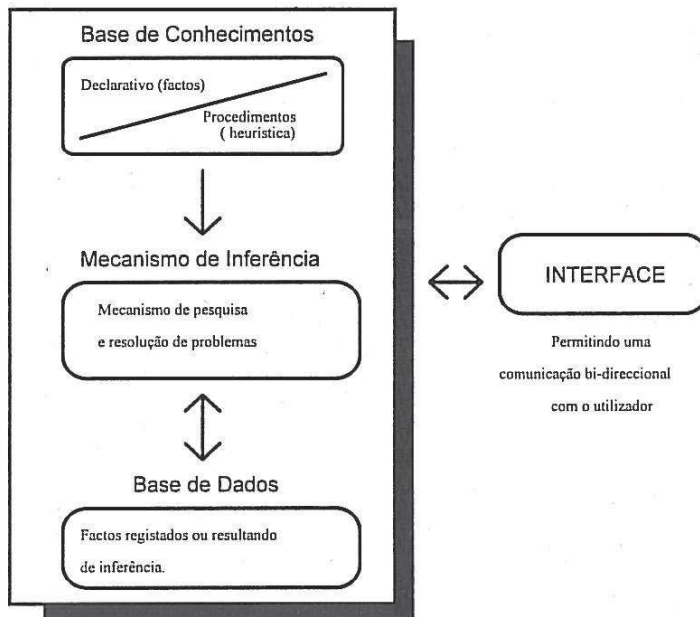


Fig. VI.1 -Componentes de um Sistema Pericial

Sucintamente podemos traçar algumas limitações à utilização dos sistemas periciais na generalização cartográfica:

- Os sistemas periciais são uma tecnologia relativamente nova na investigação na área dos S.I.G. / cartografia, tendo sido ainda pouco estudados e testados na área que aqui se aborda;

- A generalização cartográfica é um processo complexo e que envolve uma forte componente intuitiva e artística, sendo praticamente impossível uma solução sequencial automatizada, sem componente humana;

- É impossível determinar "o que é uma boa generalização" de forma absoluta o que torna muito complexo a elaboração de aproximações orientadas para um determinado objectivo final;

- os cartógrafos, como já foi variadas vezes referido, trabalham de uma forma muito intuitiva, tendo dificuldades em decompor de forma sequencial os seus processos de trabalho, o que leva a que seja extraordinariamente complexo estabelecer propostas analíticas completas, como é possível nas áreas onde os sistemas periciais têm tido mais sucesso (medicina, química, etc.);

- Finalmente, os cartógrafos são relutantes em contribuir com os seus conhecimentos para sistemas que produzem resultados abaixo das suas próprias capacidades, bem como se detecta um fosso entre a maneira de pensar a cartografia por um *Knowledge Engineer*, e o cartógrafo que tem grandes dificuldades em formalizar o seu conhecimento de uma forma segmentada e parcial.

Desta forma poderemos dizer que as abordagens feitas com sistemas periciais na generalização cartográfica não têm sido plenamente satisfatórias, tendo que ser substituídas, por soluções com uma maior componente humana - como a proposta de inteligência amplificada de Weibel - e onde as técnicas de aquisição de conhecimentos sejam pensadas e realizadas de uma forma mais adaptada as especificidades da generalização cartográfica.

VII- CONCLUSÃO

Entende-se por generalização de informação georeferenciada o processo ou processos de abstracção de dados geográficos disponíveis a determinado nível, tendo em vista determinado objectivo, que envolve sempre a necessidade de uma modificação/adaptação dos objectos cartográficos em função de uma redução de escala, para a produção de representações gráficas (mapas) claras - generalização cartográfica - ou a adaptação/selecção da informação geográfica disponível para fins analíticos - generalização orientada para a modelização -.

A generalização cartográfica - especificação da generalização de informação georeferenciada - é entendida como um processo de redução de detalhe de determinado objecto geográfico, por forma a que a sua essência seja mantida após reduções, necessárias para uma representação legível a escalas mais pequenas, sendo seu objectivo a maior precisão possível em função da escala do mapa, adaptação geométrica dos elementos do mapa por forma a conseguir-se uma boa capacidade informativa, uma boa caracterização (geométrica) dos elementos de um mapa, bem como uma coerência nas cores e formas utilizadas em relação aos elementos geográficos representados, boa legibilidade e clareza e ainda um equilíbrio gráfico entre todos os elementos representados.

Destacam-se como factores predominantes de influência para generalização cartográfica a qualidade dos dados, as escalas, os objectivos de determinado mapa e a simbolização/ Representação cartográfica. O problema central, em relação à qualidade dos dados diz respeito, à utilização de resultados provenientes de uma generalização cartográfica, com determinado tipo de informação, para a modelização e análise em ambiente S.I.G. pois apesar de serem processos interrelacionados, os objectivos de cada um são diferentes, não se podendo utilizar, sem uma análise cuidada, dados resultantes de uma generalização cartográfica na análise estatística possível num S.I.G., com graves repercussões ao nível da exactidão e precisão dos resultados.

A necessidade de se proceder a uma correção dos conflitos existentes num mapa após a generalização é efectuada por intermédio de operadores. Os operadores de generalização são funções básicas utilizadas para resolver conflitos, fazer valer condições e reduzir a complexidade dos dados. Tendo em vista a obtenção de um produto final válido, será necessário determinar a sequência de aplicação dos operadores de generalização, que algoritmos serão utilizados por esses operadores e que medidas de tolerância deverão ser estabelecidas por forma a controlar a acção dos

algoritmos. Esta desagregação é algo que o cartógrafo dificilmente poderá fazer dado o seu trabalho na produção de cartografia ser sempre realizado de uma forma integrada e holística, dado o seu trabalho ser realizado tendo em vista os objectivos finais e tendo uma visão abrangente dos problemas a resolver.

Na implementação de sistemas que permitam uma generalização automática, podemos facilmente identificar a generalização diferida e a interactiva, destacando-se ainda os sistemas periciais. A generalização diferida (*batch*) reflecte a utilização de algoritmos individualizados para executar tarefas muito específicas como a eliminação ou simplificação de variados objectos cartográficos, sendo inexistente ou muito reduzida a intervenção humana na execução destas tarefas. O problema associado aos sistemas *batch* diz respeito à dificuldade de se conseguir uma solução 100% eficaz de generalização com este sistema. Na generalização interactiva existe uma solução em que o *software* executa tarefas simples e objectivas, enquanto a acção humana seria responsável pelo controlo das operações e resolução dos problemas mais específicos inerentes aos objectivos da generalização.

Um sistema pericial pode ser definido, de uma maneira geral, como um modelo com uma série de procedimentos associados com a capacidade de, em determinado domínio específico, conseguir a identificação e resolução de problemas de forma comparável a que seria feita por um ser humano. Associada a esta definição podemos dizer que de uma forma geral o "modelo" referido na definição proposta é um programa de computador, elemento quase sempre presente no desenvolvimento e implementação de um sistema pericial. No entanto esta afirmação não deve ser entendida de forma exclusiva, dado que a essência de um sistema pericial não é a sua componente computadorizada, visto que existem sistemas periciais onde se poderão fazer inferências através de processos meramente manuais - mas sim a sua fonte de conhecimento, isto é, a formulação do modelo de conhecimentos, componente do sistema pericial, a partir do qual o sistema executa as funções para as quais foi determinado.

BIBLIOGRAFIA

- Armstrong, M.P.**, 1991, "Knowledge classification and organization" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 86-102.
- Aronoff, S.** 1989, Geographic Information Systems: A Management Perspective, Ottawa, WDL Publications, 294 pp.
- Beard, M.K.** 1991, "Constraints on rule formulation" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 121-135.
- Burrough, P.A.**;1986, Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assesment, 1º st ed., N.Y., Oxford University Press, 193 pp.
- Buttenfield, B.P.** 1991, "A rule for describing line feature geometry" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 150-171.
- Buttenfield, B.P.** 1993, "Object-Oriented Map Generalization: Modelling and Carthographic Considerations" paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiegne, France, December.
- Buttenfield, B.P.; Mackaness, W.A.**, 1991 "Visualization", in Maguire D.J.; Goodchild M.F.; Rhind, D.W., (Edt.), Geographical Information Systems, Principles and Practice, London, Longman, Vol 1,pp 427-442.
- Enciclopédia Luso-Brasileira de Cultura**, 1969, "Generalização", Vol. 9, Lisboa, Verbo.
- Grunreich, D.** 1993A, " Development of Computer-Assisted Generalisation on the Basis of Carthographic Model Theory" paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiegne, France, December.
- Grunreich, D.** 1993B, "Generalization in GIS Environment" in Proceedings 16 th. International Carthographic Conference, Colonia, vol. 1, pp 203-210.

Institut Geographic National (I.G.N.), 1993, "generalisation needs and advantages of an automation of generalisation", paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiègne, France, December.

Kainz, W.; Kavouras, M. 1993, "A Framework for Data Representation in Model-Oriented Generalization" in draft paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiègne, France, December.

Keller, S.; 1993, "Potentials and Limitations of Artificial Intelligence Techniques Applied to Generalization" paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiègne, France, December.

Lagrange, J.P.; Ruas, A.; Bender, L., 1993, Survey on Generalization, Paris, IGN/COGIT, Internal Report DT093-0538, 48 p.

Lee, D., 1993, "From Master Databases to Multiple Cartographic Representations" in Proceedings 16 th. International Cartographic Conference, Colonia, vol. 2, pp 1075-1085.

Mackness, W.A., Beard, K., 1990, "Development of an Interface for User Interaction in Rule Based Map Generalization" in Proceedings GIS/LIS '90, Vol. 1, Anaheim, 7-10 November, pp 107-116.

Mackness, W.A., 1991, "Integration and Evaluation of Map Generalization" in Battenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 217-226.

Mark, D.M., 1989, "Conceptual Basis for Geographic Line Generalization" in Proceedings AUTO-CARTO 9, Ninth International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, March, pp 68-77.

Mark, D.M., 1991, "Object Modelling and Phenomenon-Based Generalization" in Battenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 103-118.

McMaster, R.B., 1991, "Conceptual Frameworks for Geographical Knowledge" in Battenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 21-39.

- McMaster, R.B., Shea, K.S.**, 1989, "Cartographic Generalization in a digital Environment: A Framework for Implementation in a Geographic Information Systems" Proceedings GIS/LIS 1989, Orlando, Vol.2, pp.390-403.
- Muehrcke, P.C.**; 1990, "Cartography and Geographic Information Systems" in Cartography and Geographic Information Systems, Vol. 17, N° 1, January, pp 7-15.
- Muller, J-C.**, 1991, "Generalization of Spatial Databases", in Maguire D.J.; Goodchild M.F.; Rhind, D.W., (Edt.), Geographical Information Systems. Principles and Practice, London, Longman, Vol 1, pp 457-475.
- Muller, J-C.; Weibel, R., LaGrange, J.P. and Salgé, F.**,1993, Generalization: State of the Art and Issues, GISDATA Task Force on Generalization, Position Paper. Sheffield, U.K, European Science Foundation Scientific Programme on GIS Data Integration and Data Base Design, 22 p.
- Nickerson, B.G.**, 1991, "Knowledge Engineering for Generalization" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 40-55.
- Nyerges, T.L.**, 1991, "Representing Geographical Meaning" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 59-85.
- Painho, M**, 1994, "The effect of generalization on attribute accuracy in natural resource maps" in G.I.S. and Generalization, Taylor & Francis (in press).
- Robinson, G.J.**; 1993, "Generalization: State of the Art and Issues - A Response", paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiègne, France, December.
- Robinson, G.J. and Lee, F.**; 1994, "An Automated Generalization System for Large Scale Topographic Maps" in Workboys, M.F., (Edt.), Innovations in G.I.S. - selected papers from the first national conference on G.I.S. research, U.K., Taylor & Francis Ltd.
- Ruas, A; Lagrange J.P.**; 1994, "Modélisation pour l'automatisation de la generalisation cartographique", Proceedings EGIS/MARI 94, Fifth European

Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Paris, March-April, pp 37-47.

Rytz, A. et Al., 1977, Cartographic Generalisation, Cartographic Publications Series, n° 2, Published by the Swiss Society of Cartography (S.S.C.), Zurich.

Shea, K.S., 1991, "Design Considerations for an Artificially Intelligent System" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 3-20.

Shea, K.S.; McMaster R.B., 1989, "Cartographic Generalization in a Digital Environment: When and How to Generalize" in Proceedings AUTO-CARTO 9, Ninth International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, March, pp 56-67

Spiess, E., 1993, "The Need for Generalization in GIS Environment", paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiègne, France, December.

Weibel, R., 1991, "Amplified Intelligence and Rule Base Systems" in Buttenfield B.P.; McMaster R.B., (Edt.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London, Longman, pp 172-186.

Weibel, R., 1993, "Three Essential Building Blocks for Automated Generalization" paper for E.S.F. Meeting on Generalization, Compiègne, France, December.