

JULIO CESAR LIMA D'ALGE

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: APLICAÇÃO AOS MAPAS DE
VEGETAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

SÃO PAULO

2007

JULIO CESAR LIMA D'ALGE

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: APLICAÇÃO AOS MAPAS DE
VEGETAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor em
Engenharia.

SÃO PAULO

2007

JULIO CESAR LIMA D'ALGE

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: APLICAÇÃO AOS MAPAS DE
VEGETAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor em
Engenharia.

Área de Concentração:
Informações Espaciais

Orientador: Prof. Livre-Docente
José Alberto Quintanilha

SÃO PAULO

2007

FICHA CATALOGRÁFICA

D'Alge, Julio César Lima

Generalização cartográfica em sistemas de informação geográfica: aplicação aos mapas de vegetação da Amazônia Brasileira / J.C.L. D'Alge. -- São Paulo, 2007.

132 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Cartografia 2.Sistema de informação geográfica 3.Vegetação 4.Mapas temáticos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

“Cartography employs the scientific method in the form of reason and logic in constructing its products. Its principles are derived through the analysis of scientific data. It has its foundations in the sciences of geodesy, geography, and psychology. In the sense that it is based on sound principles and seeks to accomplish its ends by way of intellectual and visual logic it is scientific in nature”.

ARTHUR H. ROBINSON

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a,
SANDRA, JULIANA e, especialmente,
THIAGO, que ainda não havia nascido quando
escrevi a dedicatória de minha dissertação de mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas pessoas que, com respeito, carinho e paciência, me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP, por ter permitido minha participação em seu programa de doutorado.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por ter dado apoio institucional irrestrito a minha formação profissional.

Ao meu orientador, José Alberto Quintanilha, pela confiança, pelo incentivo, pela amizade e por seu apoio acadêmico.

A Antonio Miguel Vieira Monteiro, chefe da Divisão de Processamento de Imagens do INPE durante quase todo o desenvolvimento deste trabalho, por ter acreditado que um dia ele seria concluído.

A Luiz Paulo Souto Fortes e Celso José Monteiro Filho, da Diretoria de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – DGC/IBGE, por terem cedido os arquivos digitais dos mapas de vegetação necessários à realização da pesquisa.

A Lúbia Vinhas, por ter dado a sugestão certa no momento certo e por toda a ajuda incansável na preparação do documento final da tese.

A Dalton Valeriano, pela paciência de biólogo em várias conversas com o amigo cartógrafo sobre mapas de vegetação da Amazônia.

A Gilberto Ribeiro de Queiróz, Rosa Maria Kato e Luis Eduardo Maurano, pelo suporte técnico perfeito no uso do TERRAVIEW e do SPRING, e Hilcéa Ferreira, pela preparação do abstract deste trabalho.

Aos meus amigos da DPI, pelo incentivo, solidariedade e confiança.

RESUMO

Esta tese propõe um modelo de generalização cartográfica para os mapas de vegetação da Amazônia Brasileira. O modelo compreende três processos principais: limpeza de dados, simplificação da base de dados e simplificação cartográfica. A etapa de limpeza de dados é executada através de uma simplificação de linhas com tolerância mínima para a eliminação de redundâncias presentes nas linhas digitais. A simplificação da base de dados corresponde a uma generalização categórica dos mapas de vegetação de modo a torná-los compatíveis com níveis de menor detalhamento. A simplificação cartográfica elimina polígonos considerados pequenos e faz a simplificação de linhas com base nas mudanças de escala pretendidas. Este trabalho contribui para a identificação dos objetivos da generalização cartográfica no domínio digital porque testa com profundidade ferramentas existentes para simplificação de linhas, estabelece critérios que satisfazem um certo objetivo, e discute se mapas produzidos automaticamente em um SIG devem ser semelhantes àqueles preparados convencionalmente pelos cartógrafos. Os mapas de vegetação da Amazônia brasileira foram relevantes neste contexto porque compõem um cenário adequado para a realização do experimento de generalização. Este trabalho também contribui para o aprimoramento do estado da arte em software livre para Geoprocessamento no Brasil. Os três algoritmos usados para simplificação de linhas foram todos implementados no SPRING, SIG desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do INPE. A etapa de simplificação da base de dados foi realizada integralmente no TERRAVIEW, SIG de código aberto também desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do INPE. Dois algoritmos usados para simplificação de linhas foram criados especificamente para o experimento de generalização descrito neste trabalho.

ABSTRACT

CARTOGRAPHIC GENERALIZATION IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: AN APPLICATION TO VEGETATION MAPS IN THE BRAZILIAN AMAZONIA

This thesis proposes a cartographic generalization model for vegetation maps in the Brazilian Amazonia. The model comprises three main processes: data cleaning, database simplification, and cartographic simplification. The first step of data cleaning is performed through line simplification with minimum tolerance for redundancy elimination in the digital lines. The database simplification corresponds to a categorical generalization aiming at less detailed vegetation maps. The cartographic simplification eliminates small polygons and simplifies lines according to intended scale changes. This work contributes to the identification of the cartographic generalization goals in the digital domain while it deeply tests existing methods for line simplification. It also sets criteria that satisfy a certain objective and discusses whether maps that are automatically generated in a GIS should be considered similar to the ones produced manually. In this context, vegetation maps in the Brazilian Amazonia were relevant because they represent a suitable scenario for performing the generalization experiment. This work also contributes to improve the state of the art for GIS free software in Brazil. The three algorithms used for line simplification have been implemented in SPRING, a free object-oriented GIS developed by the Image Processing Division at INPE. The database simplification was entirely performed using the open-source GIS TERRAVIEW, developed by the Image Processing Division at INPE. The two algorithms used for line simplification have been specifically created for the generalization experiment described in this work.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalização cartográfica em Sistemas de Informação Geográfica	1
1.2 Mapas de vegetação da Amazônia Brasileira	5
1.3 Discussão e objetivos da pesquisa	8
CAPÍTULO 2 MODELOS CONCEITUAIS	14
2.1 Introdução	14
2.2 Trabalhos notáveis	15
2.3 Contribuições teóricas	17
CAPÍTULO 3 PRÁTICA E CONHECIMENTO	27
3.1 Introdução	27
3.2 Métodos para estruturas de dados vetoriais.....	27
3.3 Métodos para estruturas de dados matriciais	34
3.4 Representação do conhecimento e generalização cartográfica	37
CAPÍTULO 4 O EXPERIMENTO DE GENERALIZAÇÃO	43
4.1 Introdução	43
4.2 Mapas de vegetação	43
4.3 Sumário das principais regiões fitoecológicas.....	44
4.4 Área de estudo.....	47
4.5 Metodologia.....	49
4.5.1 Criação do banco de dados de vegetação	51
4.5.2 Criação dos projetos para os mapas de vegetação.....	52
4.5.3 Importação dos mapas originais de vegetação	53
4.5.4 Aplicação do modelo de generalização	54
4.5.4.1 Limpeza de dados	54

4.5.4.2	Simplificação da base de dados	55
4.5.4.3	Simplificação cartográfica	57
CAPÍTULO 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....		61
5.1	Introdução	61
5.2	Etapa de limpeza de dados	61
5.3	Etapa de simplificação da base de dados.....	67
5.4	Etapa de simplificação cartográfica	69
5.4.1	Eliminação de polígonos	69
5.4.2	Simplificação de linhas	75
5.4.2.1	Redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.....	76
5.4.2.2	Redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000	84
5.4.2.3	Redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000 ..	91
5.5	Síntese da análise de resultados	99
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES		103
REFERÊNCIAS.....		107
APÊNDICE A		114
APÊNDICE B		128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Reprodução parcial de um mapa chinês gravado em pedra no século XI. Fonte: Tufte (1983).....	2
Figura 1.2 – Efeito típico da simplificação de linhas. Fonte: McMaster e Shea (1992).	10
Figura 2.1 – Gato adormecido. Fonte: Attneave (1954).	14
Figura 3.1 – Simplificação pelo método de Douglas e Peucker. Fonte: McMaster e Shea (1992).....	28
Figura 3.2 – Conversão vetor-matriz seguida de generalização e conversão matriz-vetor. Fonte: McMaster e Shea (1992).....	35
Figura 4.1 – Área de estudo.....	49
Figura 4.2 – Folha SA-22-X-A.	49
Figura 4.3 – Folha SA-22-X-B.	49
Figura 4.4 – Folha SA-22-X-C.	49
Figura 4.5 – Folha SA-22-X-D.	49
Figura 4.6 – Exemplos de generalização categórica. Fonte: McMaster e Shea (1992).	57
Figura 5.1 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XA: (a) original com 22979 pontos e (b) simplificado com 16560 pontos.	63
Figura 5.2 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XB: (a) original com 20301 pontos e (b) simplificado com 13229 pontos.	64
Figura 5.3 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XC: (a) original com 30123 pontos e (b) simplificado com 17899 pontos.	65
Figura 5.4 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XD: (a) original com 55777 pontos e (b) simplificado com 42566 pontos.	66
Figura 5.5 – Simplificação da base de dados sobre SA22XB: (a) escala 1:1.000.000, (b) escala 1:5.000.000 e (c) escala 1:15.000.000.....	68

Figura 5.6 – Eliminação de polígonos na escala 1:1.000.000: (a) dado original, (b) remoção de polígonos com áreas inferiores a 0,25km ² e (c) remoção de polígonos com áreas inferiores a 1km ²	70
Figura 5.7 – Eliminação de polígonos na escala 1:5.000.000: (a) dado original, (b) remoção de polígonos com áreas inferiores a 6,25km ² e (c) remoção de polígonos com áreas inferiores a 25km ²	72
Figura 5.8 – Eliminação de polígonos na escala 1:15.000.000: (a) dado original, (b) remoção de polígonos com áreas inferiores a 56,25km ² e (c) remoção de polígonos com áreas inferiores a 225km ²	74
Figura 5.9 – Visualização da área de estudo nas escalas (a) 1:5.000.000 e (b) 1:15.000.000.....	75
Figura 5.10 – Efeito da tolerância na rotina Douglas_Peucker.	79
Figura 5.11 – Efeito da tolerância na rotina Razão Área-Perímetro.....	79
Figura 5.12 – Efeito da tolerância na rotina Distância Acumulada.	80
Figura 5.13 – Linhas originais e linhas simplificadas por Douglas-Peucker.	81
Figura 5.14 – Linhas originais e linhas simplificadas por Razão Área-Perímetro.	81
Figura 5.15 – Linhas originais e linhas simplificadas por Distância Acumulada.	82
Figura 5.16 – Comparação entre Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro.	82
Figura 5.17 – Comparação entre Douglas-Peucker e Distância Acumulada.	83
Figura 5.18 – Comparação entre Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada.	83
Figura 5.19 – Superposição entre linhas simplificadas por Douglas-Peucker e mapa de vegetação na escala 1:1.000.000.	84

Figura 5.20 – Linhas originais e linhas simplificadas por Douglas-Peucker.	88
Figura 5.21 – Linhas originais e linhas simplificadas por Razão Área- Perímetro.	88
Figura 5.22 – Linhas originais e linhas simplificadas por Distância Acumulada.	89
Figura 5.23 – Comparação entre Douglas-Peucker e Razãp Área- Perímetro.	89
Figura 5.24 – Comparação entre Douglas-Peucker e Distância Acumulada.	90
Figura 5.25 – Comparação entre Razãp Área-Perímetro e Distância Acumulada.	90
Figura 5.26 – Superposição entre linhas simplificadas por Douglas-Peucker e mapa de vegetação na escala 1:5.000.000.	91
Figura 5.27 – Linhas originais e linhas simplificadas por Douglas-Peucker.	95
Figura 5.28 – Linhas originais e linhas simplificadas por Razão Área- Perímetro.	95
Figura 5.29 – Linhas originais e linhas simplificadas por Distância Acumulada.	96
Figura 5.30 – Comparação entre Douglas-Peucker e Razão Área- Perímetro.	96
Figura 5.31 – Comparação entre Douglas-Peucker e Distância Acumulada.	97
Figura 5.32 – Comparação entre Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada.	97
Figura 5.33 - Superposição entre linhas simplificadas por Douglas-Peucker e mapa de vegetação na escala 1:15.000.000	98

Figura 5.34 – Resultado adequado na mudança de 1:250.000 para 1:1.000.000.	101
Figura 5.35 – Problemas topológicos na mudança de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.	101
Figura 5.36 – Problemas topológicos na mudança de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.....	102

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 – Resultados da etapa de limpeza de dados.....	62
TABELA 5.2 – Eliminação de polígonos na escala 1:1000.000.	69
TABELA 5.3 – Eliminação de polígonos na escala 1:5.000.000.....	71
TABELA 5.4 – Eliminação de polígonos na escala 1:15.000.000.....	73
TABELA 5.5 – Simplificação de linhas por Douglas-Peucker para redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.....	76
TABELA 5.6 – Simplificação de linhas por Razão Área-Perímetro para redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.....	76
TABELA 5.7 – Simplificação de linhas por Distância Acumulada para redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.....	77
TABELA 5.8 – Percentual de redução do número total de pontos na mudança de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.....	78
TABELA 5.9 – Simplificação de linhas por Douglas-Peucker para redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.....	85
TABELA 5.10 – Simplificação de linhas por Razão Área-Perímetro para redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.....	85
TABELA 5.11 – Simplificação de linhas por Distância Acumulada para redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.....	86
TABELA 5.12 – Percentual de redução do número total de pontos na mudança de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.....	87
TABELA 5.13 – Simplificação de linhas por Douglas-Peucker para redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.	92
TABELA 5.14 – Simplificação de linhas por Razão Área-Perímetro para redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.	92
TABELA 5.15 – Simplificação de linhas por Distância Acumulada para redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.	93

TABELA 5.16 – Percentual de redução do número total de pontos na mudança de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000..... 94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CBERS – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- DPI – Divisão de Processamento de Imagens
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- NASA – National Aeronautics and Space Administration
- SIG – Sistemas de Informação Geográfica

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Generalização cartográfica em Sistemas de Informação Geográfica

A construção de um mapa requer que as feições da superfície da Terra sejam representadas de forma reduzida para que um observador tenha uma boa percepção da realidade que o mapa busca transmitir. Para que isto seja possível, é necessário selecionar os objetos que compõem o mapa, simplificar formas e estruturas e respeitar critérios de importância relativa (ROBINSON, 1960). Este processo é denominado generalização cartográfica. Generalização permite descrever a realidade através de níveis de abstração diferentes e representar graficamente a informação considerada relevante em uma certa escala. É um processo que depende fundamentalmente da escala e do objetivo do mapa.

Apesar dos esforços dos cartógrafos no que se refere à análise e à formalização do processo de generalização, o estabelecimento de regras consistentes, que indiquem o que deve ser feito em cada caso, ainda permanece um desafio. Não obstante, parece razoável assumir que generalização tem sido, explicitamente ou não, parte integrante da produção cartográfica de todos os tempos. Tufte (1983) chamou atenção para um mapa chinês esculpido em pedra no século XI. Esse trabalho cartográfico exemplar, exibido na Figura 2.1, contém uma grade de coordenadas e uma rede de drenagem detalhada. Pode-se imaginar que as células da grade, além de prover a necessária referência geográfica, podem ter sido usadas para auxiliar na seleção e simplificação das feições exibidas.

Raisz (1948) mencionou o trabalho de Henry Tanner, que publicou o “Novo Atlas Americano” em 1823. Tanner coletou os mapas estaduais e federais disponíveis, reduziu-os a uma escala comum e selecionou as feições para gerar um conteúdo uniforme. Embora Raisz não tenha usado o termo “generalização”, é evidente que Tanner, com o intuito de gerar um bom resultado, associou alguns aspectos de generalização ao seu conhecimento.

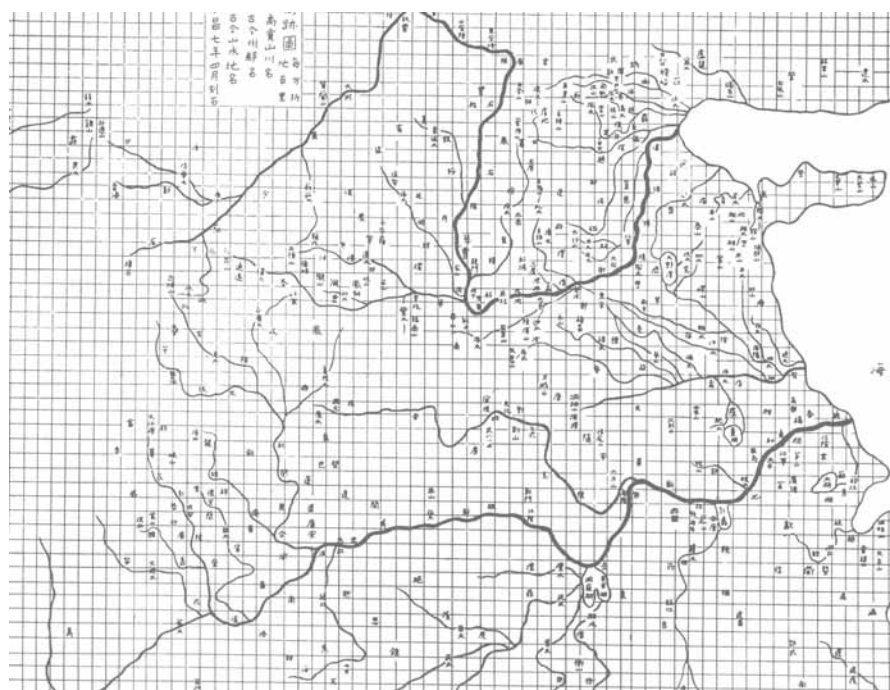


Figura 2.1 – Reprodução parcial de um mapa chinês gravado em pedra no século XI.
Fonte: Tufte (1983).

Robinson (1960) sugeriu que generalização cartográfica é um processo essencialmente criativo e, portanto, fadado a desafiar qualquer avanço meramente tecnológico. Exige do cartógrafo honestidade intelectual, conhecimento completo do assunto e entendimento claro dos objetivos do mapa. Deve-se ter em mente, também, que a compilação de um mapa é um processo que integra conceitos, aquisição e manipulação de dados, e habilidade para criar representações gráficas (JENKS, 1989). O cartógrafo precisa, então, definir o que é importante para ser representado; assim, sempre haverá um certo nível de subjetividade envolvida em sua escolha.

A disciplina de Cartografia tem um papel importante no desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) porque o mapa, em meio analógico ou digital, é um modelo de dados espaciais bastante abrangente para comunicação visual (GRÜNREICH, 1995). Embora haja limitações na capacidade dos mapas representarem coerentemente dados espaciais (GOODCHILD, 1988, 1992), eles ainda são a principal fonte de informação geográfica que povoa as bases de dados em SIG. Isto explica porque a tecnologia de SIG herdou, de forma natural, alguns dos procedimentos que compõem sistemas dedicados à cartografia digital. Generalização, que tem sido considerada um processo eminentemente cartográfico, é um destes procedimentos.

Com o advento da tecnologia de SIG, no entanto, generalização passou a ter um novo contexto que expandiu sua característica tradicionalmente cartográfica. Generalização pode transformar dados espaciais para dar suporte à análise espacial ou para gerar mapas em diferentes escalas. Generalização pode ser entendida como um processo orientado à informação cujo objetivo é alterar o conteúdo de uma base de dados espaciais com uma certa finalidade (MÜLLER, 1991). O produto final do processo de generalização deve ser uma base de dados menos complexa e com propriedades mais interessantes, para um certo propósito, que as da base de dados original (JOÃO, 1998).

A integração de bases de dados de diferentes origens normalmente requer a generalização de algumas partes das bases de dados. Generalização é necessária para a visualização de dados porque a ampliação e a redução gráfica de uma base de dados deve respeitar regras de representação cartográfica. Análise espacial conduzida sobre dados com resoluções espaciais diferentes também envolve conceitos de generalização porque depende de métodos que possibilitem a abstração e o entendimento das relações entre os dados espaciais (SESTER, 2005). Generalização pode auxiliar a derivação de bases de dados através da manutenção das

conexões entre a base original e suas versões simplificadas (LAGRANGE e RUAS, 1994; RUAS e LAGRANGE, 1995). Todas estas possibilidades de transformações entre bases de dados espaciais representam, na verdade, um grande desafio. Deve-se lembrar que o sucesso de um SIG no emprego dessas transformações depende fundamentalmente de sua capacidade de filtrar os efeitos indesejáveis das transformações (JOÃO, 1998).

Estes cenários distintos – integração de dados, visualização de dados, análise de dados e derivação de bases de dados – levam alguns pesquisadores a propor que é necessário distinguir os aspectos de representação gráfica daqueles que se referem à modelagem em diferentes níveis de abstração. Generalização orientada à modelagem se preocuparia com a observação de fenômenos em escalas menores, enquanto generalização cartográfica trataria exclusivamente da representação gráfica dos objetos (MÜLLER *et al.*, 1995).

É justificável que o conceito de generalização orientada à modelagem esteja presente em procedimentos de análise espacial e derivação de bases de dados. Também é clara a associação entre generalização cartográfica e visualização de dados. Contudo, não há vantagem alguma em considerá-las abordagens completamente disjuntas. Generalização cartográfica invoca alguns aspectos de modelagem, pois um mapa generalizado é, conceitualmente, uma representação gráfica associada a uma tentativa de observação de fenômenos em uma escala menor. Além disso, reafirma-se que os objetos que compõem uma base de dados espaciais necessitam de alguma espécie de representação gráfica.

Com a finalidade de discutir estas questões sob a perspectiva de uso de um SIG, mapas de vegetação da Amazônia brasileira em escala intermediária são usados em um experimento sobre generalização. A diversidade fisionômica da vegetação da Amazônia forma um cenário adequado para entender as relações espaciais entre os tipos de vegetação

e para investigar a variação de conteúdo dos mapas de acordo com a escala e com o objetivo.

1.2 Mapas de vegetação da Amazônia Brasileira

A maior floresta tropical do planeta ocupa mais de três milhões de km² no território brasileiro (RIZZINI, 1976). Embora pareça ter uma fisionomia uniforme quando observada em imagens de satélite em escala pequena, a floresta amazônica tem uma composição e uma estrutura muito variadas.

A floresta amazônica compreende cinco tipos básicos de vegetação úmida. A floresta de terra firme está situada em terrenos mais altos, que não sofrem influência direta dos rios. A floresta inundável acompanha as planícies de inundação dos grandes rios, que são inundadas anualmente durante o período chuvoso. A floresta inundada é composta por uma vegetação mais baixa que ocorre em áreas permanentemente inundadas. A campinarana é um tipo peculiar de floresta que somente existe nos solos pobres em nutrientes que acompanham o Rio Negro. Há ainda diferentes tipos de savana que aparecem por toda a Amazônia (RIZZINI, 1976).

Os primeiros esforços para a produção de mapas de vegetação no Brasil ocorreram no início do século XX. Preocupado em estabelecer reservas florestais que possibilitassem o início de uma política de conservação, o antigo Serviço Geológico e Mineralógico preparou, em 1911, um mapa de vegetação na escala 1:5.000.000. Este mapa separava o que era ou havia sido floresta daquilo que parecia nunca ter sido floresta. Embora o mapa tivesse uma exatidão de posicionamento questionável, devido à ausência de uma série confiável de cartas topográficas, seu conteúdo temático era reflexo de um expressivo trabalho de compilação e generalização das informações levantadas por botânicos nos séculos XVIII e XIX (CAMPOS, 1987).

Em 1970, como resultado de uma cooperação técnico-científica entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a agência americana "National Aeronautics and Space Administration" (NASA), um radar aerotransportado de visada lateral foi usado para fazer um levantamento dos recursos naturais da Amazônia. Posteriormente, o levantamento acabou sendo estendido a todo o território brasileiro. Após um trabalho bastante intensivo, mapas temáticos de geologia, solos e vegetação foram confeccionados na escala 1:1.000.000 (IBGE, 1990). Apesar de não terem sido submetidos a um processo sistemático de atualização, estes mapas são uma fonte fundamental de informação e têm sido usados nos mais variados projetos ambientais.

Küchler (1988) sugeriu que o conteúdo de um mapa de vegetação representa, para a época em que foi feito o mapa, um inventário das comunidades de plantas que inclui localização, extensão e distribuição espacial. Os mapas de vegetação servem para analisar cientificamente os relacionamentos entre a vegetação e o meio ambiente, o que permite fazer inferências sobre a natureza do meio ambiente. Mapas de vegetação de épocas diferentes são referências importantes na observação e medição de mudanças na vegetação. Isto é importante porque a vegetação tem uma natureza dinâmica que é bastante afetada pela ação do homem. Mapas de vegetação são úteis para o planejamento adequado do uso da terra e para todas as formas de agricultura. Além desta perspectiva essencialmente ecológica, aplicações em biogeografia também se beneficiam da existência de mapas de vegetação, que auxiliam os estudos de preservação de biodiversidade na área de ecologia da paisagem.

Ellenberg e Mueller-Dombois (1974) discutiram as relações entre conteúdo e escala nos mapas de vegetação. Mapas em escalas pequenas devem mostrar apenas as principais unidades de vegetação de forma generalizada. Mapas em escalas intermediárias (até 1:1.000.000) podem

apresentar unidades de vegetação floristicamente bem definidas e as comunidades que predominam. Por outro lado, o mosaico de vegetação que existe em uma região só pode ser representado em escalas grandes (acima de 1:100.000). Na verdade, qualquer mapa de vegetação requer uma generalização dos padrões realmente existentes. Uma possibilidade é representar os principais tipos e omitir os demais. Em vez de tentar mapear a vegetação real, é preferível projetar uma imagem da vegetação natural potencial, aquela que existiria se o ser humano e seus animais domesticados fossem removidos da cena.

Embora seja definitivamente complicado estabelecer uma relação abrangente de classes de vegetação com a escala e o objetivo de um mapa, é possível montar um conjunto razoável de regras a partir da literatura e dos mapas existentes. Mapas de vegetação da Amazônia brasileira em escalas menores que 1:15.000.000 devem mostrar apenas as principais unidades fitoecológicas ou classes de formação. A escala 1:5.000.000 parece adequada para representar grupos de formação de vegetação e mapas na escala 1:1.000.000 podem apresentar o nível de formação da vegetação.

É interessante notar que, muito embora a produção de um mapa temático seja precedida por tentativas de identificação das necessidades e interesses dos potenciais usuários, no que se refere à escala e ao conteúdo, é bastante improvável que se consiga obter sugestões plausíveis de usuários que ainda não tiveram a chance de observar o mapa (KEATES, 1996). De um ponto de vista meramente cartográfico este problema pode ser atenuado pela imposição de um conhecimento mínimo do intervalo de escalas no qual ocorrem os processos de interesse (MÜLLER, 1991). Infelizmente, sempre há um certo nível de confusão entre escala e generalização.

Em 1989 o INPE começou a executar uma iniciativa do governo federal com o objetivo de fazer um inventário e uma avaliação da extensão do

desflorestamento na Amazônia brasileira. Desde então uma grande base de dados digitais em um SIG tem sido mantida e atualizada anualmente. Há um interesse específico em determinar o impacto do desflorestamento sobre diferentes ecossistemas (ALVES *et al.*, 1992). Esta determinação depende da possibilidade de se poder acessar e combinar dados com diferentes níveis de detalhamento, o que certamente envolve questões de generalização.

1.3 Discussão e objetivos da pesquisa

A pesquisa tem o objetivo maior de discutir o papel da generalização no âmbito de sistemas de informação geográfica (SIG), notadamente no que diz respeito a campos temáticos. Generalização é considerada um processo cartográfico que responde pela apresentação dos dados em escalas diferentes, mas também uma transformação capaz de gerar bases de dados menos detalhadas.

Um modelo abrangente para generalização deve consistir de objetivos filosóficos que definam o porquê da generalização; deve considerar as condições que indiquem quando generalizar; e deve incluir as transformações espaciais e de atributos que estabeleçam como generalizar. No domínio digital, generalização deve se basear na redução da complexidade da base de dados, na preservação da exatidão espacial e no uso de algoritmos eficientes. Deve, também, manter seus objetivos tradicionais, vinculados à finalidade do mapa, ao respeito às necessidades dos usuários potenciais e à clareza na representação gráfica. Assim, as transformações precisam levar em conta a importância das feições, a complexidade das relações entre feições e a robustez dos próprios algoritmos. Devem, também, considerar a eficiência do mapa como meio de comunicação e a possibilidade de se variar o esquema de generalização para feições diferentes (MCMASTER e SHEA, 1992).

Não se questiona neste trabalho a possibilidade de manipulação de uma base de dados independentemente de sua representação cartográfica. O que se pretende é dar ênfase ao fato de que, a menos que o que se quer se reduza a consultas analíticas que não requerem comunicação visual, há que se definir algum tipo de apresentação externa para os dados quando se chega ao nível de abstração pretendido. Com esta perspectiva, reitera-se que a generalização cartográfica, ao atuar diretamente sobre as representações gráficas, pode conduzir a apresentações externas adequadas a cada nível de abstração.

Este trabalho considera que apenas algumas transformações espaciais propostas para resolver a questão da generalização no domínio digital são aplicáveis a mapas temáticos em escalas intermediárias. Por isso, a revisão crítica da literatura inclui uma análise sobre a adequação de cada transformação ao tipo de mapa e à escala.

A abordagem algorítmica para generalização merece ser avaliada com cuidado já que não existe teoria que explique qual algoritmo é o mais conveniente para o mapa como um todo e para feições específicas do mapa. Por isso alguns autores têm sugerido que deve haver uma maior concentração na aplicação dos algoritmos existentes do que na tentativa de criar novos algoritmos (MÜLLER *et al.*, 1995). Por outro lado, quase todos os algoritmos disponíveis generalizam feições individuais através da simplificação de linhas, buscando reter os pontos considerados importantes para a caracterização das linhas de modo independente do contexto geográfico, conforme mostra a Figura 1.2. Na verdade, o desenvolvimento de algoritmos baseados em semântica, guiados pelo significado geográfico das feições, faz-se necessário, mas ainda permanece como um grande desafio (JOÃO, 1998).

Medidas matemáticas ou geométricas têm sido propostas para avaliar a eficiência de algoritmos para simplificação de linhas. Embora tais medidas não reflitam, necessariamente, critérios de decisão aplicados por

especialistas, elas permitem que objetos generalizados possam ser comparados com suas versões digitais originais (MCMASTER, 1987a, b; WHITE, 1985). Este trabalho usa, no experimento de generalização, o percentual de mudança no número de pontos para avaliar as alterações introduzidas pela simplificação das linhas. Mudanças de angularidade e deslocamentos de área, bem como a quantidade de pontos comuns retidos após sucessivas simplificações, são outras medidas examinadas através de inspeções visuais de superposições gráficas.

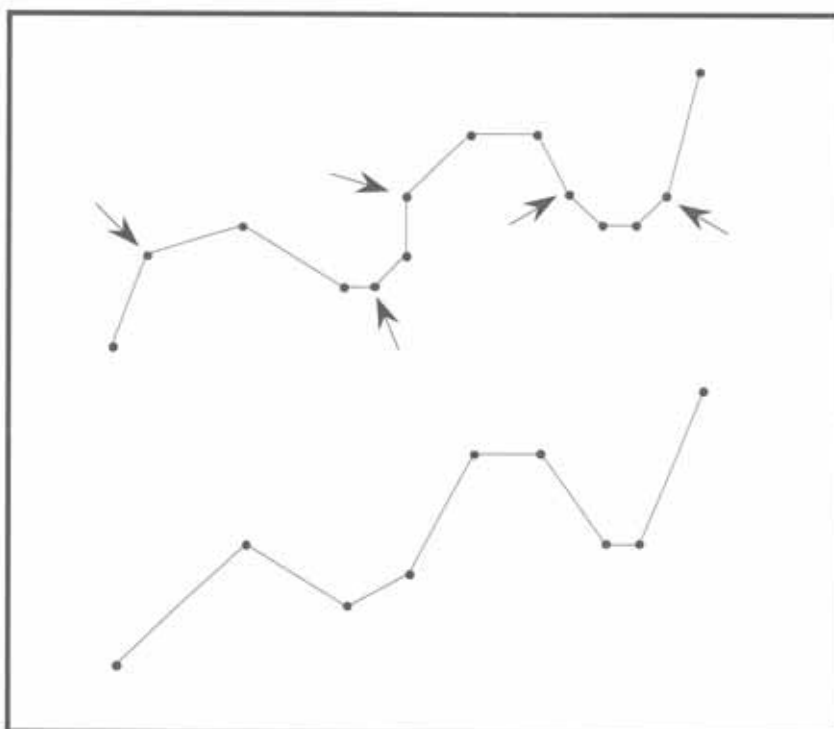


Figura 2.2 – Efeito típico da simplificação de linhas. Fonte: McMaster e Shea (1992).

Em síntese, sugere-se a aplicação de uma adaptação do modelo proposto por (MCMASTER, 1989), no sentido de capturar as características geográficas fundamentais dos dados de vegetação da Amazônia brasileira no experimento de generalização. A idéia é manter a base de dados de vegetação coerentemente armazenada em diferentes resoluções espaciais. O modelo compreende três processos principais: limpeza de dados, simplificação da base de dados e simplificação cartográfica.

A etapa de limpeza de dados é executada através de uma simplificação de linhas com tolerância mínima para que sejam eliminadas redundâncias presentes nas linhas digitais (D'ALGE e GOODCHILD, 1993). A simplificação da base de dados compreende uma generalização categórica ou uma reclassificação da vegetação de modo compatível com os níveis de menor detalhamento. Nesta fase apresenta-se uma proposta de reclassificação fisionômica dos dados originais de vegetação para torná-los compatíveis com diferentes níveis de abstração ou diferentes escalas. A simplificação cartográfica, por sua vez, elimina polígonos considerados pequenos e faz a simplificação de linhas com base nas mudanças de escala pretendidas, quer seja para a visualização de dados na tela do computador, quer seja para a impressão de produtos finais.

A base de dados digitais é composta por mapas de vegetação em formato vetorial, escala original 1:250.000, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum planimétrico SAD-69. Os mapas apresentam uma classificação fisionômica abrangente que combina as principais unidades geomorfológicas da Amazônia Brasileira com os seguintes tipos de regiões fitoecológicas: floresta tropical ombrófila densa, floresta aberta, floresta semidecídua, floresta decídua, savana, savana estépica, campinarana, formações pioneiras, zonas de transição ou contatos, refúgio ecológico e áreas de ação antrópica (IBGE, 1990).

Mapas de vegetação em escalas menores complementam a base de dados para que possam ser usados em comparações com versões generalizadas da base de dados original. Os mapas na escala 1:1.000.000 estão na projeção Cônica Conforme de Lambert e os mapas nas escalas 1:5.000.000 e 1:15.000.000 estão na projeção Policônica. Todos se vinculam ao datum planimétrico SAD-69 e contêm, de forma obviamente menos detalhada, as mesmas regiões fitoecológicas dos dados originais.

Um esquema de reclassificação também é proposto para escalas que variam de 1:1.000.000 a 1:15.000.000. Ele procura respeitar a

classificação fisionômico-ecológica proposta pelo grupo de trabalho da UNESCO para o mapeamento da vegetação (ELLENBERG e MUELLER-DOMBOIS, 1974) e se ajusta aos mapas de vegetação existentes em escalas pequenas.

Por último, como a análise tem sido comumente preterida em favor da arte e da intuição na área de Cartografia, faz-se uma revisão crítica da generalização sob a perspectiva de representação do conhecimento. Não há nada de errado com intuição, mas ela impõe uma limitação na formalização do conhecimento cartográfico, pois as técnicas disponíveis para aquisição do conhecimento não lidam apropriadamente com intuição.

Este trabalho contribui para a identificação dos objetivos da generalização cartográfica no domínio digital porque testa com profundidade ferramentas existentes para simplificação de linhas, estabelece critérios que satisfazem um certo objetivo, e discute se mapas produzidos automaticamente em um SIG devem ser semelhantes àqueles preparados convencionalmente pelos cartógrafos. Os dados de vegetação da Amazônia brasileira são relevantes neste contexto porque compõem um cenário adequado para a realização do experimento de generalização.

Este trabalho também contribui para o aprimoramento do estado da arte em software livre para Geoprocessamento no Brasil. Os algoritmos usados para simplificação de linhas foram todos implementados no SPRING, SIG desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE (CAMARA *et al.*, 1996). A etapa de simplificação da base de dados foi realizada integralmente no TERRAVIEW, SIG de código aberto também desenvolvido pela DPI (INPE, 2007). Salienta-se, ainda, que dois dos algoritmos usados para simplificação de linhas foram criados especificamente para o experimento de generalização descrito neste trabalho.

Uma revisão crítica abrangente da literatura, usada como fundamentação teórica para o experimento sobre generalização, encontra-se dividida entre os Capítulos 2 e 3. Uma discussão sobre os modelos conceituais para generalização é apresentada no Capítulo 2. O Capítulo 3 revê desenvolvimentos importantes na busca por soluções computacionais e debate tentativas de formalização do conhecimento cartográfico. O Capítulo 4 descreve o experimento de generalização e especifica os dados usados, os algoritmos selecionados e os procedimentos que contribuíram para se alcançar o objetivo proposto. A análise de resultados é apresentada no Capítulo 5, enquanto o Capítulo 6 expõe as conclusões e sugestões da pesquisa.

CAPÍTULO 2

MODELOS CONCEITUAIS

2.1 Introdução

Generalização tem sido discutida e analisada de diferentes pontos de vista, que refletem a maneira com que o assunto tem sido tratado em algumas áreas do conhecimento. Attneave (1954), por exemplo, ao estudar a natureza da redundância da informação em suas pesquisas sobre percepção visual, definiu os fundamentos dos algoritmos de simplificação de linhas quando buscou definir, a partir do desenho de um gato adormecido, aquilo que seria uma representação do desenho original que ainda o identificasse como um gato adormecido. A Figura 2.1 mostra o resultado do experimento.



Figura 2.1 – Gato adormecido. Fonte: Attneave (1954).

Generalização requer que se faça um uso coerente do que se entende dos fenômenos geográficos com o objetivo de se criar uma representação consistente, mas há limitações claras no uso e na aplicação do conhecimento geográfico (SHEA, 1991). A insuficiência de ferramentas computacionais, tanto em sistemas para cartografia digital como em SIG, mostra como essas limitações acabam restringindo o processo de automação da generalização. Apesar disso, generalização é um requisito para o gerenciamento da informação geográfica em diferentes níveis de detalhamento. Com esta perspectiva, o uso pleno de um SIG depende da

existência de ferramentas para generalização, que possam dar suporte ao uso da informação geográfica em múltiplas escalas e resoluções para os mais diversos fins.

2.2 Trabalhos notáveis

Alguns especialistas têm sido céticos quanto às possibilidades de automação da generalização cartográfica. Robinson (1960), por exemplo, sugeriu que a característica intrinsecamente criativa do processo de generalização jamais permitirá que ele seja suficientemente padronizado de modo a poder ser resolvido computacionalmente. Imhof (1982) foi ainda mais enfático ao afirmar que o conteúdo e a estrutura gráfica de um mapa complexo nunca poderão ser completamente representados em computadores porque eles não possuem sensibilidade gráfica e estética nem tampouco conseguem julgar fatos geográficos.

Apesar do ceticismo, alguns estudos extremamente originais sobre automação merecem destaque porque estabeleceram o embasamento necessário aos esforços que se seguiram em generalização no domínio digital; contribuíram, também, com o que hoje existe implementado em SIG.

Ao estudar a medição do comprimento de curvas empíricas, Perkal (1966) percebeu que havia restrições na aplicação das medidas convencionais de comprimento, dadas pela geometria euclidiana. Com a hipótese de que a observação de uma lâmina afiada, em ampliações progressivas através de um microscópio, gerava curvas cada vez mais complexas, de comprimentos progressivamente maiores, propôs o conceito de comprimento aproximado de ordem ε , onde ε é um número real. Como o conceito de distância de ordem ε envolve a noção de um corredor de dimensão ε em torno da curva observada, as observações de Perkal não apenas estavam de acordo com o conceito dos fractais, como também

antecipavam uma operação comum nos SIG que define mapas com corredores de distâncias com respeito a um conjunto de objetos.

Perkal adaptou este conceito para criar o que ele chamou de generalização cartográfica objetiva. Nela, o conjunto de todos os pontos que pertencem a círculos de diâmetro ε que estão totalmente contidos em uma certa região é uma generalização de ordem ε da região. Há semelhanças entre o operador de Perkal e as operações básicas da teoria da morfologia matemática, desenvolvidas depois por Serra (1983). Beard (1991) afirma que o operador de Perkal poder produzir resultados imprevisíveis, devido ao uso de critérios geométricos simples, mas pode ser útil na identificação de áreas que requeiram generalização.

Tobler (1959) estudou a questão da generalização cartográfica na época em que o uso inovador do computador para processamento de dados começava a causar impactos na área de cartografia. Como a heurística da generalização era complexa e difícil de definir, fruto de uma tradição cartográfica artística e imaginativa, o processo de generalização tornava-se complicado (TOBLER, 1965).

Mesmo assim, Tobler (1966) mostrava-se otimista quanto às possibilidades de poder usar o computador para tratar alguns aspectos da generalização e chegou a propor vários métodos computacionais para generalização. Seu trabalho sobre generalização numérica enfatizou a necessidade de se generalizar mapas não apenas devido a mudanças de escala, mas também por causa de objetivos diferentes. Em sua opinião o importante era conhecer a escala a que eram sensíveis os processos de interesse.

Töpfer (1966) em seus estudos sobre generalização cartográfica, apresentou o seu "princípio da seleção", que estabelecia que a quantidade de informação que se pode mostrar por unidade de área decresce de acordo com uma progressão geométrica. A redução linear em escala

implicava em uma redução de área progressivamente geométrica. Em sua forma mais simples, o princípio de Töpfer indicava a quantidade de objetos que o cartógrafo devia mostrar em um mapa.

Töpfer também estendeu seu princípio à generalização de feições lineares através do cálculo da quantidade de desvios angulares, cantos e irregularidades que deviam ser eliminados para a confecção de um mapa generalizado. O princípio de Töpfer, entretanto, é limitado no sentido de não informar quais feições devem compor o mapa e quais podem ser desprezadas pelo cartógrafo. De qualquer modo, o princípio facilita o trabalho automático de compilação, pois fornece uma idéia preliminar do número de objetos que podem ser acomodados em um novo mapa. Além disso, permite uniformizar a generalização produzida por diferentes cartógrafos que trabalham em folhas adjacentes da mesma série de mapas (TÖPFER e PILLEWIZER, 1966).

2.3 Contribuições teóricas

A busca por soluções computacionais para a generalização cartográfica tem gerado uma grande variedade de proposições especulativas, que consideram que decompor a generalização cartográfica em elementos acaba sendo uma generalização sobre a generalização (ROBINSON *et al.*, 1995). McMaster e Shea (1992), por exemplo, mencionam que diversos trabalhos propõem modelos e operadores distintos para a generalização de dados vetoriais e matriciais, com a perspectiva de explorar as diferentes estruturas de dados disponíveis em SIG. Alguns modelos conceituais abrangentes têm sido desenvolvidos com o objetivo de definir e identificar os elementos da generalização (BRASSEL e WEIBEL, 1988; MCMASTER e SHEA, 1992; WEIBEL e BUTTENFIELD, 1988); e vários algoritmos têm sido propostos na tentativa de replicar tarefas executadas manualmente pelos cartógrafos (MCMASTER, 1987a).

As pesquisas em generalização cartográfica têm sido guiadas pela busca por modelos conceituais abrangentes, que sirvam de base para o entendimento de processos, e, adicionalmente, pelo desenvolvimento de algoritmos que produzam soluções úteis. As exceções são os modelos conceituais baseados em conhecimento, que abordam o assunto em termos de estratégias que se fundamentam no entendimento dos processos e não em uma seqüência de processamentos operacionais (BRASSEL e WEIBEL, 1988; WEIBEL e BUTTENFIELD, 1988). Esses modelos, entretanto, padecem das dificuldades inerentes à aquisição do conhecimento.

Müller (1989) propôs que generalização geométrica e generalização conceitual deveriam ser consideradas separadamente. Generalização geométrica usaria simplificação e deslocamento como elementos básicos, enquanto generalização conceitual fundamentar-se-ia em seleção e classificação. Além disso, a separação entre estes dois tipos de generalização não se daria na mesma escala para qualquer feição cartográfica em qualquer universo temático. Ele sugeriu que seria interessante analisar os processos de transformação que afetam diferentes feições ao longo de uma variação contínua de escala, indo de uma escala muito grande até uma escala pequena. Desta maneira seria possível determinar escalas críticas e garantir um melhor entendimento sobre a aplicabilidade dos procedimentos de generalização para qualquer intervalo de escalas.

Esta abordagem proposta por Müller permite que se investigue o estabelecimento de intervalos discretos de escala aos quais procedimentos específicos podem ser aplicados. Contudo, é improvável que um único conjunto de operações possa ser suficientemente abrangente para ser utilizado de modo tão amplo. Neste contexto, pelo menos de um ponto de vista eminentemente cartográfico, não faz sentido se pensar em mudanças de escala muito abruptas. Nestes casos, é mais adequado

projetar um mapa desde o início que compilá-lo a partir de mapas existentes em escalas muito maiores.

McMaster e Shea (1992) descreveram um modelo conceitual abrangente com o propósito de discutir a filosofia da generalização no domínio digital. O modelo consiste de objetivos filosóficos que justificam "porque" generalizar, de condições que indicam "quando" generalizar e de transformações espaciais e de atributos que definem "como" generalizar. Trata-se de um modelo que impõe uma abordagem tipicamente algorítmica, pois se baseia no uso de transformações espaciais e de atributos para materializar as ações da generalização. O problema é que a aplicação de uma seqüência de transformações envolve parâmetros que se relacionam mutuamente e não são completamente independentes. Na verdade, é muito difícil controlar uma transformação sem interferir nas outras.

Alternativamente, modelos conceituais menos abrangentes têm sido propostos com o objetivo de discutir questões mais específicas. Bundy (1995) e Bundy *et al.* (1995), por exemplo, destacaram que as estruturas topológicas típicas de um SIG não incluem, de forma explícita, os relacionamentos topológicos. Estes relacionamentos acabam sendo deduzidos por procedimentos de geometria analítica e podem, portanto, comprometer a eficiência do SIG. Isto ocorre tanto em sistemas que usam uma estrutura com arcos e nós, que definem polígonos, como faz o SPRING, como em sistemas que tratam seus polígonos individualmente, como se cada um fosse uma ilha, conforme opera o TERRAVIEW.

Grünreich (1995) sugeriu que generalização no domínio digital deveria basear-se em um modelo cartográfico que descrevesse completamente o processo de comunicação da geoinformação através de modelos específicos das disciplinas envolvidas, de modelos projetados para comunicação visual e de modelos resultantes de estudos cognitivos. Postulou, ainda, que o conhecimento sobre generalização precisa ser

formalizado e adquirido para que seja possível desenvolver soluções computacionais eficientes.

Ruas e Lagrange (1995) investigaram o que é informação e como ela pode ser medida. Definem generalização como um processo que possibilita alterações no nível de percepção dos dados geográficos. Como as bases de dados tradicionais de um SIG não possuem informação suficiente para realmente permitir a generalização de seu conteúdo, o modelo proposto considera que as propriedades geométricas dos objetos e seus relacionamentos semânticos e espaciais são requisitos fundamentais para o estabelecimento de qualquer operação de generalização. Informação precisa ser formalizada e suas propriedades devem ser adicionadas ao conteúdo geral do modelo de dados.

Brassel e Weibel (1988) propuseram um modelo conceitual em que generalizar significa processar mentalmente a informação. Generalização, portanto, envolve ordenação, distinção, comparação, combinação, reconhecimento de relações, estabelecimento de conclusões e abstração. Generalização é considerada um processo intelectual que decompõe a realidade experimentada em um certo número de entidades individuais, selecionando as que são importantes e representando-as em uma nova forma.

Brassel e Weibel (1988) identificaram cinco processos distintos de generalização no domínio digital: reconhecimento de estruturas, reconhecimento de processos, modelagem de processos, execução de processos e visualização de dados. Reconhecimento de estruturas identifica os objetos e seus relacionamentos espaciais e estabelece medidas de importância relativa entre os objetos. A fase de reconhecimento de processos tem o objetivo de definir o processo de generalização. Modelagem de processos compila regras e procedimentos, que são usados na etapa seguinte de execução de processos para

generalizar a base de dados original. Por último, a visualização de dados responde pela conversão da base de dados generalizada em um mapa.

Os elementos essenciais do modelo de Brassel e Weibel são as estruturas da informação espacial e os processos que podem modificar essas estruturas. O modelo enfatiza generalização como parte integrante de modelagem espacial e aponta para a necessidade de novos modelos de dados como um requisito para o sucesso na automação da generalização.

A integração de conceitos e algoritmos com a pretensão de gerar sistemas abrangentes para generalização ainda se encontra em via de formação. A falta de um aprofundamento teórico em generalização limita conceitos e torna arbitrários o reconhecimento de processos e a modelagem. Algoritmos complexos para generalização são relativamente obscuros e requerem que muitos dos conceitos sejam transformados em protótipos, testados e avaliados frente a requisitos reais (MCMASTER e SHEA, 1992).

Como a seleção de operadores e algoritmos é crítica para o processo de automação da generalização, vários trabalhos têm utilizado uma abordagem algorítmica em vez de buscar modelos conceituais efetivos. Além disso, não é por obra do acaso que existem inúmeras investigações, tanto teóricas quanto práticas, sobre algoritmos para generalização de linhas. Muitos objetos cartográficos são representados por linhas, principalmente em mapas temáticos em escalas intermediárias e pequenas.

McMaster (1987a)^b fez uma revisão crítica dos desenvolvimentos em generalização de linhas digitais ocorridos durante mais de uma década, a partir de 1970. Ao discutir a natureza da linha digital, ele analisou os diferentes tipos de erros que podem ocorrer no processo de captura de dados lineares. Como resultado, McMaster acabou propondo quatro componentes básicos para a generalização de linhas digitais: simplificação, suavização, deslocamento e realce. Ele também

desenvolveu algoritmos para a simplificação de linhas e métodos para avaliar o processo de simplificação.

Embora McMaster tenha reconhecido que os cartógrafos costumam trabalhar de forma holística, tomando várias decisões ao mesmo tempo, ele ponderou que uma solução computacional requer algoritmos separados para dar consecução a cada um dos componentes básicos, o que parece restringir à típica abordagem algorítmica o universo de possíveis soluções computacionais para generalização.

Müller (1986) investigou a influência da generalização cartográfica sobre a dimensão fractal de linhas que representam feições geográficas. Como os cartógrafos tentam preservar o grau relativo de complexidade entre os vários segmentos de linha de um mapa como uma medida para a generalização, Müller propôs o uso da geometria fractal para relacionar a complexidade de uma linha ao seu comprimento. Seus experimentos indicaram que a dimensão fractal foi normalmente afetada pela mudança de escala em quase todas as linhas testadas.

Muito embora a medição de comprimentos de linhas através de amostras finitas seja sempre uma aproximação da realidade, Müller especulou sobre a possibilidade de se implementar um algoritmo para generalização que reconhecesse os padrões básicos de uma linha e os reproduzisse em escalas menores. A idéia, contudo, requer que os mapas possam ser considerados fontes apropriadas para medições fractais. Castersen Jr. (1989) investigou essa questão e identificou dois problemas potenciais no uso dos mapas para medições fractais. Em primeiro lugar, feições lineares não são interpretadas e percebidas de acordo com um conjunto de regras precisas, mas sim sob restrições e propósitos subjetivos. Além disso, algumas feições lineares têm sua representação gráfica exagerada no mapa para garantir legibilidade. Os resultados de seus experimentos também indicaram que generalização cartográfica não produz linhas que

se mantenham similares entre si ao longo de um intervalo abrangente de escalas.

Cromley (1991) discutiu o uso de abordagens hierárquicas genéricas para simplificação de linhas. Ele propôs um método semelhante aos processos de classificação hierárquica usados para agrupar objetos de acordo com seus atributos temáticos. Um conjunto de linhas simplificadas - caricaturas de linhas correspondentes a todos os níveis de tolerância de interesse - é calculado e armazenado em uma estrutura de árvore. A vantagem dessa abordagem é que a linha simplificada correspondente a uma certa tolerância é facilmente recuperada percorrendo-se adequadamente a árvore. O método hierárquico de Cromley restringe-se a algoritmos que aplicam uma tolerância predefinida ao conjunto original de pontos da linha digital, mas provê a habilidade de se recompilar continuamente a base de dados original para diferentes escalas sem ter que recomeçar todo o processo.

O conceito de estruturas de dados reativas foi introduzido por van Oosterom (1995) para tornar viável o que eles chamaram de generalização cartográfica instantânea. Trata-se de uma estrutura que tem o objetivo de evitar a redundância de dados e de permitir respostas rápidas com fins de visualização. A estrutura reativa é composta por uma estrutura de árvore que responde pela simplificação, pela estrutura de dados reativa, que cuida da seleção de pontos, e por mais uma estrutura de árvore que gerencia e resolve problemas de lacunas e falta de ajustes. Como a estrutura de dados reativa baseia-se em algoritmos que usam tolerâncias predefinidas, o método também é afetado pela relação subjetiva entre tolerância e mudança de escala pretendida.

Frank e Timpf (1994) propuseram um modelo hierárquico multi-escala em que representações mais detalhadas de objetos são armazenadas em níveis e podem ser usadas para compor um mapa em uma certa escala. A mudança na visualização dos dados é vista como uma ampliação ou

redução inteligente que usa uma estrutura de árvore que contém todas as representações da mesma área geográfica em escalas variadas. É uma abordagem que tenta balancear cálculo computacional e espaço para armazenamento, mas como os objetos devem ter representações em níveis de detalhe diferentes, eles precisam ser conectados para se possa manter a semântica das relações (DAVIS e LAENDER, 1999). Além disso, como a definição de níveis de detalhe diferentes tem sido estudada com mais profundidade em estruturas matriciais, é necessário que se busque aprofundamento semelhante em estruturas vetoriais (BALLEY ;PARENT e SPACCAPIETRA, 2004).

Mackness (1991) desenvolveu um mecanismo interativo com o propósito de estimar o grau de generalização através da apreciação dos mapas resultantes. Como os operadores de generalização são interdependentes e normalmente aplicados individualmente em um ambiente computacional, a mistura das técnicas de generalização adequada a um certo caso somente pode ser determinada intuitivamente. Por isso, a visualização do mapa em vários graus de generalização é uma ferramenta interativa muito interessante para os usuários de um SIG. Essa abordagem também contribui para a otimização de projetos de mapas, pois ajuda no entendimento de relacionamentos espaciais complexos.

Generalização pode ser considerada um processo de interpretação que conduz a um nível menos detalhado de observação de um certo fenômeno. Pode, também, ser entendida como uma série de transformações na representação gráfica da informação espacial. Müller et al. (1995) estudaram a dicotomia que envolve abstração de dados e representação cartográfica. Um aspecto fundamental é a possibilidade de se manipular uma base de dados espaciais independentemente de sua representação cartográfica. Contudo, quando se atinge o nível desejado de abstração de dados, tal nível de abstração não deveria ter alguma espécie de apresentação externa com fins de visualização? É certo que

sim, a não ser que o interesse se reduza a consultas analíticas cujas respostas não requerem comunicação visual.

Por conseguinte, mesmo levando em conta que o modelo cartográfico para representação da realidade é às vezes inadequado e acaba interferindo em um relacionamento ideal entre a realidade e a base de dados de um SIG, não há benefício algum em colocar abstração de dados e representação cartográfica em contextos completamente separados. Os mapas, em papel ou em meio digital, continuam sendo as entidades mais usadas para a entrada de informação geográfica em um SIG.

Bases de dados espaciais representam uma aproximação da realidade geográfica porque são comumente criadas através de abstração e de generalização. Goodchild (1980) sugeriu que a chave para o sucesso de um SIG é sua capacidade de poder representar o mundo de forma exata, o que requer acesso eficiente às bases de dados e uso de modelos de dados exatos. Por isso, a informação sobre a qualidade dos dados é importante, pois é ela que responde pela exatidão da base de dados espaciais.

É claro que generalização, não importando com que perspectiva seja considerada, afeta alguns dos componentes que definem a qualidade dos dados espaciais, que pode ser decomposta em diferentes itens referentes aos domínios espacial, temático e temporal (BEARD e MACKANESS, 1993). Exatidão de localização, exatidão de atributos, consistência lógica, completeza e metadados são alguns desses componentes (NIST, 1992). Esses componentes também estão fortemente relacionados com certos tipos de expressão cartográfica (BUTTENFIELD, 1993). Exatidão de localização e de atributos, consistência lógica e completeza são indubitavelmente afetados pela generalização, mas o modo como esses componentes são individualmente afetados requer uma análise mais aprofundada. Por isso, faz-se necessário identificar as conseqüências da

aplicação de critérios de qualidade de dados no contexto de bases de dados generalizadas (MÜLLER *et al.*, 1995).

CAPÍTULO 3

PRÁTICA E CONHECIMENTO

3.1 Introdução

Acredita-se que cerca de 80% da informação presente em qualquer mapa digital consiste de linhas (MCMASTER e SHEA, 1992). Por isso, a generalização de linhas tem sido o aspecto mais discutido e estudado no desenvolvimento de ferramentas de generalização em SIG. Há uma ênfase grande em simplificação de linhas, ao passo que outros operadores possíveis acabam sendo negligenciados. Apesar das linhas serem as entidades gráficas mais comuns para a representação de objetos cartográficos, é importante que se analise simplificação de linhas num contexto mais amplo, que inclua, por exemplo, operações de agregação e de omissão de polígonos.

3.2 Métodos para estruturas de dados vetoriais

Douglas e Peucker (1973) estudaram, no início da década de 70, diversos métodos de conversão de dados gráficos para formas numéricas que pudessem ser entendidas por computadores. Eles perceberam que o número resultante de pontos armazenados era muito maior que o que seria necessário para reproduzir as linhas nos dispositivos gráficos existentes na época. Com o objetivo de reduzir o número de pontos usados para representar linhas armazenadas numericamente, Douglas e Peucker sugeriram uma modificação do conceito vigente que preconizava a exclusão de pontos que se encontravam dentro de uma certa tolerância com respeito a um segmento de reta candidato a representar uma parte da linha. Eles propuseram um método que se baseava na seleção de pontos e não na sua eliminação e usaram distâncias perpendiculares entre pontos e linhas como medida arbitrária de importância. Se nenhum ponto

ao longo da linha estivesse mais afastado da linha que uma distância pré-definida em relação ao segmento de linha reta que conecta os pontos extremos da linha, então o segmento de linha reta seria suficiente para representar a linha original. A Figura 3.1 ilustra o princípio do método de simplificação de Douglas e Peucker.

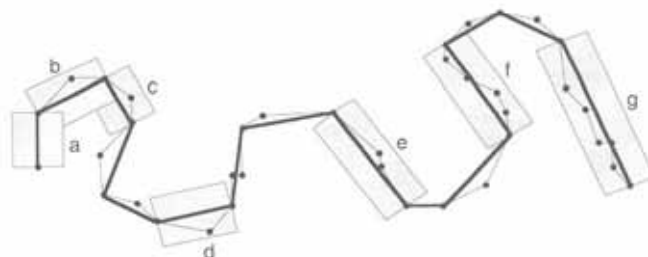


Figura 3.1 – Simplificação pelo método de Douglas e Peucker. Fonte: McMaster e Shea (1992).

O método de simplificação de linhas proposto por Douglas e Peucker é considerado uma técnica global de generalização porque processa a linha como um todo, não se atendo a análises individuais de partes da linha (MCMASTER, 1987a). Trata-se de um método básico disponível em quase todos os SIG, apesar de também pecar pela falta de uma relação direta entre tolerância e mudança de escala pretendida (BEARD, 1991; D'ALGE e GOODCHILD, 1993).

Cromley e Campbell (1991) apresentaram um algoritmo de simplificação que produz, para uma linha, uma caricatura otimizada obtida ao se aplicar o critério de que todos os pontos candidatos à exclusão respeitem uma distância pré-definida em relação à linha simplificada. Para eles, o problema da simplificação passou a ser modelado como um processo matemático que minimiza o número de segmentos de linha retidos de modo que todos os segmentos da linha original respeitem uma distância perpendicular especificada em relação a um segmento de linha retido. A otimização dessa condição matemática, contudo, não assegura resultados otimizados em termos de deslocamento de linhas ou comprimento de linhas.

Campbell e Cromley (CAMPBELL e CROMLEY, 1991) também associaram à simplificação de linhas a estrutura encontrada na formulação matemática de caminhos mínimos acíclicos e propuseram diferentes abordagens que buscavam minimizar o número de segmentos que formavam a linha. Alternativamente, eles usaram variações angulares e deslocamentos de áreas. A tentativa de minimizar as variações angulares mostrou-se computacionalmente custosa, o que os levou a aceitar que técnicas eficientes para simplificação de linhas com critérios de minimização de variações ou deslocamentos ainda necessitavam de aprofundamento nas pesquisas.

Cromley (1992) comentou que quase todos os algoritmos que usam distância como tolerância forçam os segmentos de reta que compõem a linha simplificada a passar sobre os pontos da linha original. Ele propôs que o método de Douglas e Peucker fosse modificado de modo tal que cada segmento de reta passasse a corresponder à linha central de um certo conjunto de pontos. Cada linha central é definida pelo semi-eixo maior resultante de uma análise de componentes principais feita sobre um conjunto bidimensional de pontos. Os resultados indicaram que o método é computacionalmente mais rápido e retém menos pontos, para uma certa tolerância, quando comparado ao algoritmo de Douglas e Peucker. Entretanto, não se pode afirmar que a redução maior no número de pontos represente um benefício real para a generalização de linhas. Além disso, faz sentido preservar os pontos extremos de cada linha original, o que ajuda a evitar problemas topológicos potenciais.

Li e Openshaw (1992) descreveram um conjunto de algoritmos para o que eles chamaram de generalização de linhas localmente adaptativa. O processo de generalização, conforme observado na natureza, mostra que os objetos tornam-se progressivamente menores à medida que se distanciam de um observador. Para Li e Openshaw, considerando-se um mapa em qualquer escala, sempre haverá um tamanho mínimo de objeto

cartográfico além do qual qualquer informação detalhada se perde, deixa de fazer sentido. Uma vez definido o tamanho mínimo visível ou observável, percorre-se a linha com o objetivo de eliminar pontos que caem dentro da distância coberta pelo tamanho mínimo. Eles desenvolveram um algoritmo para estruturas de dados vetoriais, outro para estruturas de dados matriciais e um terceiro algoritmo que leva em conta uma combinação das duas estruturas de dados.

O método do tamanho mínimo de Li e Openshaw não produz resultados adequados quando tamanho mínimo fixado é maior que detalhes importantes ao longo das linhas, o que é uma característica comum aos métodos que tratam as linhas localmente. O algoritmo híbrido vetor-matriz, contudo, combina conveniência de implementação com velocidade de cálculo e representa uma abordagem singular que privilegia a coexistência de diferentes estruturas de dados em um SIG.

Visvalingam e Whyatt (1993) propuseram o conceito de área efetiva para realizar a simplificação progressiva de linhas através da eliminação de pontos. Para eles, o tamanho das feições, expresso por medidas de área, é a métrica mais confiável para a eliminação de pontos, já que as distâncias entre pontos e as medidas angulares são consideradas simultaneamente quando se usa o conceito de área. Assim, a área efetiva associada a um ponto é o deslocamento de área que ocorreria se somente aquele ponto fosse omitido da linha. O método iterativamente elimina o ponto que produz o deslocamento de área mínimo com respeito à linha parcialmente simplificada, ocasionando a eliminação progressiva das feições geométricas, começando pelas feições menores.

Visvalingam e Whyatt (1993) concluíram que o algoritmo baseado no conceito de área efetiva produz bons resultados quando comparado com generalizações manuais das mesmas linhas, sendo capaz de gerar tanto caricaturas quanto generalizações mínimas, quase imperceptíveis. Eles enfatizaram, também, que o algoritmo de Douglas e Peucker não

seleciona sempre os mesmos pontos que seriam escolhidos por cartógrafos a partir de linhas complexas. Como os cartógrafos usam critérios subjetivos e, portanto, nem sempre estão de acordo quanto a este assunto, pode-se perfeitamente chegar à mesma conclusão sobre o algoritmo de Visvalingam e Whyatt. Além disso, todos os métodos de generalização de linhas são capazes de gerar caricaturas e modificações imperceptíveis.

White (1985) criou uma linha com pontos críticos escolhidos de acordo com o estudo de Marino sobre a identificação de pontos característicos ao longo de linhas que representam feições geográficas (MARINO, 1979). A correspondência entre a linha básica de White e diferentes versões generalizadas em computador foi medida através de superposições gráficas, do deslocamento de áreas, dos pontos comumente retidos e das respostas de observadores sobre o caráter crítico de certos pontos. Comparações entre as linhas originais e as linhas generalizadas também foram realizadas. Seus resultados indicaram a superioridade do método de Douglas e Peucker independentemente do critério utilizado. As principais mudanças angulares foram consideradas fundamentais na determinação da percepção das formas, em concordância com a idéia de Attneave de que a informação concentra-se, ao longo de uma linha, nos pontos em que há mudanças abruptas de direção (ATTNEAVE, 1954).

McMaster (1986), ao analisar algoritmos para simplificação de linhas, propôs um conjunto de medidas geométricas com o objetivo de avaliar as mudanças causadas pela simplificação. Ele usou métodos considerados independentes da tolerância aplicada na simplificação: variação percentual na quantidade de pontos, variação percentual no desvio padrão da quantidade de pontos por comprimento, variação percentual em angularidade, deslocamento de vetores por comprimento, deslocamento de áreas por comprimento e variação percentual na quantidade de segmentos curvilíneos. O trabalho demonstrou que o método de Douglas e

Peucker produziu menos deslocamentos em quase todos os níveis de simplificação. McMaster também sugeriu que o algoritmo de Lang (LANG, 1969) poderia ser mais útil para a cartografia temática que o algoritmo de Douglas e Peucker, já que era computacionalmente mais simples (MCMASTER, 1987b).

Cromley e Morse (1988) argumentaram que o procedimento de avaliação de McMaster não estabeleceu critério absoluto algum e que as medidas geométricas precisavam estar mais formalmente vinculadas à questão da percepção humana quanto à seleção de pontos característicos. McMaster (1988) explicou que minimizar as alterações geométricas das linhas foi o critério de referência usado em seu estudo, o que fazia das linhas originais a referência absoluta. Segundo ele, a discussão sobre o papel da linha digital original como verdade absoluta tende a ser infundável. Além disso, ele acrescentou que a retenção de pontos críticos não foi requerida em todas as simplificações, pois parte do processo de generalização ocorre num universo imperceptível.

Beard (1991) confrontou o método de Douglas e Peucker com uma técnica de generalização inspirada no operador ϵ de Perkal (PERKAL, 1966). Ela enfatizou a importância de se manter a característica essencial de cada feição geográfica e a legibilidade da informação em escalas menores. Esses foram os parâmetros básicos usados para comparar os dois métodos com dados generalizados manualmente. Além disso, para obter resultados realmente comparáveis, Beard estabeleceu uma separação mínima entre objetos como tolerância para ambos os métodos. O método de Douglas e Peucker reteve características geográficas importantes, mas mostrou-se inadequado para reduções grandes de escala. A técnica baseada no operador ϵ de Perkal também reteve feições importantes e até identificou regiões que necessitavam de generalização, mas comportou-se de modo imprevisível muitas vezes.

McMaster (1989) sugeriu que a pesquisa sobre generalização digital deveria se concentrar na determinação dos efeitos geométricos oriundos da interação entre diferentes algoritmos. Como exemplo, ele próprio discutiu esta questão ao investigar a interação entre simplificação e suavização. Com o objetivo de analisar os efeitos da suavização sobre a simplificação, ele aplicou ambos os operadores sobre uma linha digital e usou medidas geométricas em sua análise. De acordo com McMaster, a aplicação criteriosa de uma rotina de suavização antes da simplificação de linhas digitais melhorou a eficiência. Esse resultado fez com que ele propusesse um modelo composto por cinco processos: limpeza de dados, suavização preliminar, simplificação da base de dados, simplificação cartográfica e suavização estética.

Müller (1990) ponderou que a generalização automática de linhas pode produzir uma visão topologicamente distorcida da morfologia de uma linha, gerando cruzamentos que não existiam, criando estreitamentos de partes da linha e introduzindo picos. Com o propósito de eliminar essas inconsistências topológicas, ele descreveu alguns procedimentos geométricos simples, independentes do método usado para generalização e aplicáveis após a redução de escala. Os procedimentos baseiam-se em deslocamentos dos elementos de uma linha, de modo que pontos ou linhas nunca estejam mais próximos uns dos outros que uma certa tolerância.

Van der Poorten e Jones (2002) argumentaram que a manutenção da consistência topológica após a generalização de linhas digitais pode ser conseguida através do uso criterioso de uma triangulação de Delaunay. A estrutura da triangulação é construída no espaço entre as linhas e é usada para criar uma árvore hierárquica que contém feições lineares com níveis de detalhamento diferentes. A investigação de Van der Poorten e Jones mostrou que é possível realizar uma generalização seletiva para feições lineares diferentes e controlar o estilo da generalização.

Ganter e Cashwell (1994) desenvolveram o conceito de uma interface gráfica, baseada no algoritmo de Douglas e Peucker, que permitisse aos usuários de um SIG selecionar um conjunto de dados, extrair amostras e aplicar o processo de simplificação com diferentes valores de tolerância. Os resultados para cada tolerância são exibidos, permitindo que se selecione o conjunto de amostras cuja simplificação se julga mais adequada. O conjunto de dados pode então ser simplificado com a tolerância escolhida. Trata-se de um assistente gráfico interessante que propicia um melhor entendimento dos efeitos causados pela escolha da tolerância na rotina de Douglas e Peucker, quer seja com propósitos de visualização, quer seja para a derivação de bases de dados.

3.3 Métodos para estruturas de dados matriciais

Antes de discutir algumas alternativas desenvolvidas para estruturas de dados matriciais, chama-se à atenção para algumas diferenças conceituais entre generalização de dados vetoriais e generalização de dados matriciais. A estrutura vetorial requer que operadores específicos sejam projetados para cada tipo de objeto. Nos dados vetoriais, a informação geográfica que pode ser generalizada está separada dos atributos, que apenas podem ser reclassificados ou simbolizados. Nos dados matriciais, entretanto, os atributos é que são normalmente generalizados (MCMASTER e SHEA, 1992). Adicionalmente, é importante que se entenda que uma estratégia eficiente para a generalização de mapas temáticos – fontes freqüentes de criação de bases de dados espaciais em SIG – pode resultar da apropriação das ferramentas de conversão entre estruturas vetoriais e matriciais (PETER e WEIBEL, 1999). A Figura 3.2 mostra um exemplo de generalização que usa transformações entre uma estrutura vetorial e uma estrutura matricial.

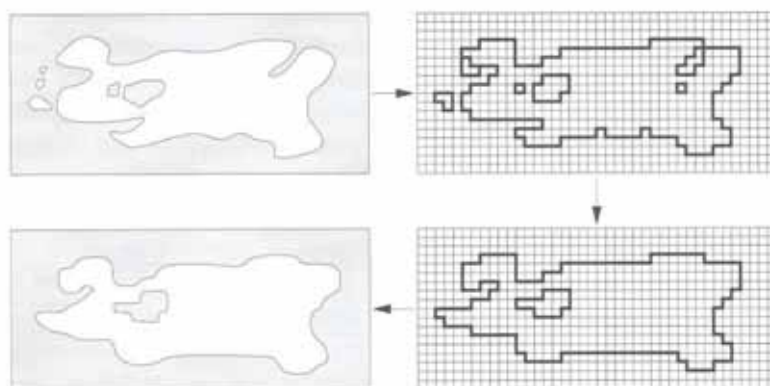


Figura 3.2 – Conversão vetor-matriz seguida de generalização e conversão matriz-vetor.
Fonte: McMaster e Shea (1992).

Thapa (1988), ao estudar técnicas de compressão de imagens, apresentou um algoritmo considerado capaz de generalizar linhas automaticamente, de qualquer escala grande para qualquer escala pequena. O algoritmo usa técnicas de reconhecimento de padrões, comuns em processamento digital de imagens, para selecionar pontos críticos, que definem mudanças abruptas de curvatura em linhas digitais. A primeira etapa do método, obviamente, é a transformação das linhas originais para uma estrutura matricial. Thapa demonstrou que seu algoritmo consegue produzir diferentes níveis de suavização e preservar a forma da linha. Outra conclusão de seu trabalho indica que em casos em que é realmente necessário fazer de mudanças drásticas de escala deve-se preservar a forma básica de cada linha e não todos os pontos inicialmente julgados críticos, o que vem de encontro às idéias de McMaster sobre a retenção de pontos críticos (MCMASTER, 1988).

Serra (1983) desenvolveu a teoria da morfologia matemática com base no que ele chamou de quatro princípios da quantificação: compatibilidade após uma translação, compatibilidade após uma mudança de escala, conhecimento local e semicontinuidade. Morfologia matemática se sustenta nas teorias matemáticas que respeitam os quatro princípios da quantificação. Seu objetivo principal é revelar as estruturas dos objetos existentes no espaço Euclidiano através de transformações sobre os

conjuntos que modelam os objetos. Por dualidade com os quatro princípios, existe um universo de objetos ou corpos morfológicos para os quais os princípios podem ser úteis. Imagens do espaço geográfico e mapas, de uma maneira geral, pertencem a esse universo. As principais operações ou transformações morfológicas são a erosão, a dilatação, a abertura e o fechamento.

O que faz com que a morfologia matemática se aproxime mais da generalização cartográfica do que as técnicas convencionais de processamento de imagens é o fato de que ela lida diretamente com a forma dos objetos. Vieira-Dias *et al.* (1989) testaram a possibilidade de implementar operações morfológicas como ferramentas para generalização de dados matriciais. Alguns experimentos baseados na aplicação seqüencial de aberturas e fechamentos foram realizados com elementos estruturantes de formas regulares e tamanhos diferentes. As aberturas funcionaram como filtros não lineares de suavização e os fechamentos procuraram reter partes estreitas dos objetos. Embora os experimentos tenham mostrado que a técnica possa ser útil, há limitações claras como a falta de regras que indiquem o tamanho dos elementos estruturantes em função da mudança de escala pretendida ou a ausência de medidas geométricas que sirvam para avaliar os resultados.

Schylberg (1993) analisou a questão da generalização de áreas em cartas topográficas com o objetivo de criar uma estrutura matricial de dados cartográficos. Sua estratégia concentrou-se no uso de três operadores de generalização: amálgama, simplificação e supressão. O amálgama usou uma seqüência de expansões e compressões, enquanto a simplificação usou um método oposto, com uma seqüência de compressões e expansões. O operador de supressão foi implementado através de um método de reclassificação. Schylberg propôs que o amálgama fosse aplicado em primeiro lugar, por conta da habilidade de reconectar partes

estreitas de objetos. Simplificação foi aplicada antes da supressão para que mudanças de tamanho pudessem ser levadas em conta.

3.4 Representação do conhecimento e generalização cartográfica

Muito do que acontece no universo dos processos cartográficos, especialmente em generalização cartográfica, se dá intuitivamente. Conseqüentemente, a automação da generalização cartográfica padece da falta de formalismo, fazendo com que avanços concretos sobre generalização dependam de discussões sobre a representação do conhecimento cartográfico e sobre as possibilidades de implementação de sistemas especialistas voltados à generalização. Portanto, uma alternativa ao desenvolvimento e aplicação de algoritmos, é a tentativa de formalização e representação do conhecimento cartográfico através modelos abrangentes e de técnicas de aquisição de conhecimento.

Como a formalização do conhecimento cartográfico envolve o conceito mais amplo de representação do conhecimento, é oportuno rediscuti-lo sob uma perspectiva de inteligência artificial (IA). Representação do conhecimento é uma sub-área da IA que se preocupa com a busca de formalismos que possam ser usados para representar informações sobre o mundo. A chamada hipótese da representação do conhecimento serve de base aos trabalhos em IA. De acordo com essa hipótese, qualquer sistema, seja ele humano ou artificial, que demonstre um comportamento inteligente contém uma subestrutura básica de conhecimento. Essa subestrutura básica de conhecimento é manipulada por uma segunda subestrutura conhecida como motor de inferência, que processa os símbolos da subestrutura básica de conhecimento com o propósito de gerar comportamento inteligente (REICHGELT, 1991).

Para Reichgelt, os formalismos de representação do conhecimento podem ser discutidos em patamares distintos que oscilam entre um nível conceitual e um nível de implementação. A formalização do conhecimento cartográfico demanda atenção especial aos tipos de primitivas que são necessários para representar aspectos específicos do conhecimento cartográfico. Portanto, é importante investigar os possíveis métodos para aquisição de conhecimento envolvendo especialistas em computação e cartógrafos.

Cooperação entre órgãos responsáveis por mapeamento, universidades e institutos de pesquisa poderia ser intensificada com o objetivo de aumentar as possibilidades de aquisição de conhecimento cartográfico para generalização. Exceção feita ao posicionamento de textos e toponímia em mapas, não há sistema algum baseado em regras abrangentes disponível para uso. Na verdade, como os cartógrafos têm freqüentemente admitido que é muito difícil racionalizar suas decisões na forma de um conjunto de regras formalizadas, não há sequer uma prova de que um sistema baseado em regras possa um dia ser construído (MÜLLER *et al.*, 1995).

Weibel (1991; 1995) afirmou que os elementos essenciais para a generalização em ambiente computacional incluem a possibilidade de manuseio da informação em níveis de abstração diferentes, a possibilidade de aquisição de conhecimento e a constante avaliação de alternativas para a generalização. Ele identificou diferentes métodos que são potencialmente úteis para a aquisição de conhecimento em generalização cartográfica: técnicas convencionais de engenharia do conhecimento, análise de documentos, comparação de séries de mapas, redes neurais artificiais e o que ele próprio denominou inteligência ampliada.

De acordo com Weibel, técnicas de entrevista são normalmente ineficientes devido à natureza holística do processo cartográfico, que

muitas vezes impede os cartógrafos de decompor um fluxo de trabalho em ações distintas. A análise de documentos esbarra em regras de produção de mapas que são incompletas e, muitas vezes, vagas. A comparação de mapas de diferentes séries nem sempre é eficaz, mas permanece como um vínculo de comunicação entre o especialista em aquisição de conhecimento e o cartógrafo. Redes neurais podem ser usadas apenas como técnicas auxiliares, já que precisam ser alimentadas por um grande número de fatos confiáveis para gerar bons resultados. Inteligência ampliada depende da possibilidade de se ter sistemas interativos capazes de armazenar relatórios com as interações entre os especialistas e o sistema. A análise dos relatórios pode servir de base para a formulação de regras. Assim, inteligência ampliada parece ser a técnica mais promissora para aquisição de conhecimento (LEE, 1994; WEIBEL, 1991, 1995).

Com a finalidade de entender questões como explicitação de conhecimento, controle de processos e solução de problemas, Keller (1995) propôs a análise conjunta dos resultados de pesquisas em disciplinas como IA, cognição, psicologia do trabalho e ciências sociais. A idéia é caminhar na direção de sistemas de conhecimento cooperativos, que possam examinar o problema da generalização de forma holística, como uma tarefa compartilhada entre especialista e máquina. Keller sugeriu que as técnicas de inteligência ampliada deveriam ser estendidas para abranger, também, controle de processos e solução de problemas.

McMaster (1991) reconheceu que o problema da explicitação do conhecimento cartográfico precisa ser resolvido para permitir o desenvolvimento de soluções computacionais para generalização. Com base no modelo conceitual proposto por Brassel e Weibel, McMaster apresentou o conceito de uma biblioteca de processos, que contém regras e procedimentos para generalização (BRASSEL e WEIBEL, 1988; WEIBEL e BUTTENFIELD, 1988). De acordo com ele, é possível organizar a biblioteca de processos vinculando os operadores utilizados para pontos, linhas e

áreas ao mesmo tipo de regras, permitindo então que a estrutura da biblioteca seja determinada.

De acordo com Shea (1991), a chave para o sucesso de um sistema especialista operacional para generalização reside no escopo sofisticado do conhecimento geográfico envolvido. Shea discutiu a utilidade e as limitações de regras de produção, lógica e redes semânticas, e concluiu que um ambiente de inteligência artificial para generalização digital deveria ser implementado através do uso de um sistema baseado em regras.

Mark (1991) propôs que uma abordagem orientada a objetos, tanto para representação como para o desenvolvimento de programas de computador, contribuiria para a implementação de sistemas especialistas para generalização. Ele identificou a necessidade de quatro classes de objetos no nível mais alto: entidades, que existem no mundo real; símbolos, que existem no mundo cartográfico; objetos, que existem no mundo digital; e feições, que são compostas de entidades, símbolos e objetos. Mark estudou uma coleção de regras usadas para generalizar feições sobre cartas topográficas e constatou a existência de uma variação muito grande de tolerâncias baseadas em distâncias e áreas, bem como muitas regras que requereram um critério externo de estabelecimento de importância. Trata-se de mais uma evidência de que a implementação de um sistema especialista baseado em regras não é trivial.

Com o objetivo de prover alternativas para a explicitação do conhecimento em generalização, Ormsby e Mackaness (1999) propuseram que nunca existe uma única solução correta na generalização de um objeto ou de um grupo de objetos, mas sim um número de alternativas possíveis. As possibilidades de solução dependem do fenômeno envolvido, ou seja, do tipo de objeto, e do tipo, do propósito e da escala do mapa. Eles concluíram que adoção desta abordagem assegura uma descrição mais

rigorosa das propriedades dos objetos e fornece uma estrutura para compartilhamento de informações para tomada de decisões

Rieger e Coulson (1993) concentraram-se na investigação da explicitação do conhecimento cartográfico voltado para generalização. Eles usaram um programa interativo de explicitação de conhecimento e entrevistaram vinte e três cartógrafos com boa experiência acadêmica e profissional. Os cartógrafos puderam usar qualquer procedimento de generalização, todos os tipos de mapas e qualquer mudança de escala. Os mapas puderam ser tratados manualmente ou com o auxílio do computador. Os resultados indicaram falta de padrão no conhecimento declarado tanto no que se refere às definições de procedimentos para generalização quanto no que se refere aos aspectos conceituais. Se os sistemas especialistas devem se basear no conhecimento consensual dos cartógrafos, este estudo indica que a área de generalização cartográfica não parece ser muito propícia à tecnologia de sistemas especialistas.

Um estudo mais recente ratifica, de certo modo, as conclusões de Rieger e Coulson. (MUSTIERE, 2005), ao trabalhar com a generalização cartográfica de mapas de estradas, ponderou que o uso de algoritmos diferentes para estradas diferentes ou para trechos diferentes da mesma estrada precisaria ser dirigido por regras claras, que definissem o uso dos algoritmos durante o processo. O ponto crítico da abordagem é que o conjunto de regras depende da aquisição e da formalização do conhecimento cartográfico.

Sistemas especialistas são adequados em áreas onde a competência é suficiente, mas perdem-se por completo nos domínios em que uma pessoa só funciona se aplicar totalmente o seu entendimento de uma linguagem natural, o seu senso comum, o seu conhecimento adquirido e a sua habilidade de se ajustar a mudanças imprevistas (DREYFUS e DREYFUS, 1986). Sempre que se necessitar de uma grande quantidade de memória ou capacidade de processamento, um computador se comportará melhor

que um ser humano. Contudo, qualquer tarefa que exija um mínimo de reconhecimento é extremamente complicada para um computador. A construção de máquinas que enxerguem, por exemplo, requer que se descubra uma maneira de codificar a expectativa da ocorrência de certos padrões, pois não há reconhecimento sem a capacidade de ter expectativa (ROTA e SHARP, 1985).

A discussão sobre representação do conhecimento, generalização cartográfica e sistemas especialistas ilustra a importância da interdisciplinaridade de várias áreas na construção do estado da arte. Pesquisas futuras em SIG e generalização devem incluir tentativas de entendimento do conhecimento cartográfico. Contudo, a chave para o progresso em generalização parece permanecer na melhoria do conhecimento geográfico e do treinamento gráfico dos cartógrafos. Além do conhecimento geográfico, talento artístico e estético, senso de proporção, de harmonia, de formas e de cores são elementos indispensáveis para a criação de um mapa bonito, claro e expressivo (IMHOF, 1982).

CAPÍTULO 4

O EXPERIMENTO DE GENERALIZAÇÃO

4.1 Introdução

Um experimento sobre generalização com mapas de vegetação da Amazônia brasileira é realizado em um ambiente de SIG. A investigação considera que o papel principal da generalização é o de um processo cartográfico que gerencia a representação de dados em escalas diferentes. No entanto, como o mapa enquanto modelo de dados ainda é um dos principais componentes para a criação de bases de dados espaciais, generalização também é vista como uma transformação capaz de gerar bases de dados menos detalhadas.

Uma adaptação de um modelo proposto por McMaster (1989) é usada no experimento no sobre generalização dos dados de vegetação da Amazônia brasileira. Com o propósito de manter a base de dados de vegetação armazenada coerentemente, o modelo compreende três processos principais, conforme já havia sido mencionado no Capítulo 1: limpeza de dados, simplificação da base de dados e simplificação cartográfica. Limpeza de dados corresponde a uma simplificação mínima para eliminar redundâncias. Simplificação da base de dados é uma agregação ou amálgama que reclassifica a vegetação de modo compatível com níveis de menor detalhamento. Simplificação cartográfica faz a simplificação de linhas e a eliminação de polígonos com base na mudança de escala pretendida.

4.2 Mapas de vegetação

O conjunto básico de dados compreende arquivos digitais fornecidos pelo IBGE com mapas de vegetação na escala 1:250.000, na projeção UTM

(datum planimétrico SAD-69), em formato "shapefile" (ESRI, 1998). Os mapas representam uma classificação fisionômica abrangente que usa as seguintes regiões fitoecológicas: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecídua, floresta estacional decídua, savana, savana estépica (campos de Roraima), campinarana, formações pioneiras, refúgios ecológicos e zonas de transição ecológica ou contatos. Áreas de ação antrópica também estão representadas (IBGE, 1990).

Mapas de vegetação em escalas menores complementam o conjunto básico de dados para que possam ser usados em comparações com versões generalizadas dos dados originais. Esses mapas mostram as mesmas regiões fitoecológicas já descritas, mas o conteúdo é, obviamente, menos detalhado. O IBGE forneceu os mapas na escala 1:1.000.000 em formato "tiff - *tagged image file format*" (RITTER e RUTH, 1997) e os mapas nas escalas 1:5.000.000 e 1:15.000.000 em formato "shapefile".

Já se discutiu no Capítulo 1 que é necessário realizar um pré-processamento sobre os dados originais devido à sua classificação excessivamente detalhada. Uma reclassificação fisionômica dos dados originais de vegetação e outras classificações associadas às diferentes escalas são mostradas no Apêndice A.

4.3 Sumário das principais regiões fitoecológicas

A floresta ombrófila densa é o tipo de vegetação predominante na Amazônia brasileira. Ela se estende pela depressão norte da Amazônia, pelas planícies do Amazonas-Orinoco no norte de Roraima e por quase toda a depressão central da Amazônia. Essas regiões são caracterizadas por temperaturas elevadas e precipitação alta e bem distribuída ao longo do ano (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). É composta por diferentes

formações de floresta montana, floresta submontana, floresta de terras baixas e floresta aluvial.

A floresta ombrófila aberta compartilha a parte sul do grande vale da Amazônia com a floresta ombrófila densa e com florestas semidecíduas. Também há ocorrências de floresta ombrófila aberta na área de floresta ombrófila densa no norte da Amazônia. É formada por árvores de ecótipo semelhante ao da floresta ombrófila densa e há ocorrências de claros, pois suas copas normalmente não se (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). É composta por formações montanas, submontanas, de terras baixas e aluviais, com predominância de cipós, palmeiras e bambus.

A floresta estacional semidecídua ocupa uma faixa estreita no estado de Rondônia e penetra em território boliviano. Ocorre em áreas com chuvas de verão intensas seguidas de estiagens acentuadas e temperaturas abaixo de 15°C no inverno. Algumas de suas árvores, entre 20% e 50%, perdem folhas na época seca (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). A floresta semidecídua é composta por formações montanas, submontanas, de terras baixas e aluviais.

A floresta decídua situa-se em uma pequena área na região da Serra do Cachimbo, no sudoeste do Pará. Ocorre em áreas com duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa e outra seca. Ela se distingue da floresta semidecídua no sentido de que muitas de suas árvores, mais de 50%, perdem folhas simultaneamente em consequência da época seca (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). Ela também apresenta formações montanas, submontanas, de terras baixas e aluviais.

A savana é dominada por formações graminóides, normalmente cobertas por plantas lenhosas, com árvores e arbustos regularmente presentes. É encontrada em solos arenosos nos estados do Amapá, Amazonas e Roraima, no sul do Pará, no norte de Mato Grosso e também em Rondônia. O termo cerrado é usado como sinônimo de savana em

algumas regiões. As subdivisões da savana são baseadas na densidade de árvores ou de grupos de árvores sobre a formação graminóide, variando de savana arborizada ou campo cerrado à savana gramíneo-lenhosa ou simplesmente campo (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). O que se conhece no Brasil como cerrado é incluído na classe savana porque pode ser visto como uma savana florestada ou savana arborizada densa. Alguns estudiosos, entretanto, sustentam que o cerrado é uma floresta no domínio da savana (RIZZINI, 1976).

A savana estépica é um tipo peculiar de savana composta de vegetação xeromórfica, com predominância de árvores decíduas. É encontrada na depressão do Rio Tacutu, na chapada de Surumu, no norte do estado de Roraima (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). Subdivisões são semelhantes às usadas para a savana e incluem diferentes tipos de vegetação xeromórfica com densidades variadas de árvores decíduas.

A campinarana é um tipo especial de floresta que somente ocorre no vale do Rio Negro, em solos hidromórficos e areias quartzosas. Essa é a região na qual mais chove no Brasil, com cerca de 4.000 mm anuais bem distribuídos mensalmente, mas com chuvas torrenciais no verão (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). A campinarana é dividida em quatro subgrupos de formação: florestada, arborizada, arbustiva e gramíneo-lenhosa.

Formações pioneiras compreendem diferentes comunidades vegetais em solos que ainda estão em formação. Elas indicam vegetação em estágio inicial de sucessão. Formações pioneiras incluem as restingas, os manguezais, vegetação esporádica em dunas e comunidades aluviais (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991).

Áreas de transição ecológica ocorrem sempre que diferentes tipos de vegetação se encontram, de modo que há uma mudança gradual de um tipo para o outro. Também conhecidas como ecótonos, as áreas de

transição ecológica se desenvolvem principalmente no norte de Mato Grosso, no sul do Pará e no noroeste da Amazônia. Convém enfatizar que os ecótonos envolvem uma questão de escala, pois nas escalas maiores eles são perfeitamente detectados e devem, portanto, ser separados e mapeado (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991).

Refúgios ecológicos compreendem toda e qualquer vegetação floristicamente e fisionomicamente diferente do contexto geral da vegetação dominante (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). Embora os refúgios se restrinjam a áreas pequenas situadas em terrenos muito altos, eles costumam apresentar uma fisionomia variada e complexa. Os refúgios são encontrados no noroeste de Roraima, onde as altitudes variam de 400m a 3.000m.

4.4 Área de estudo

A área de estudo usada no experimento sobre generalização cartográfica dos mapas de vegetação da Amazônia brasileira foi definida a partir de três critérios básicos:

- Extensão e complexidade geográfica;
- Disponibilidade dos mapas de vegetação na escala 1:250.000;
- Representatividade quanto às regiões fitoecológicas da Amazônia.

Como o objetivo principal do experimento sobre generalização cartográfica é testar com profundidade as ferramentas de simplificação de linhas, a área de estudo tem que conter feições geográficas suficientemente complexas. Por isso, um dos critérios usados foi o de privilegiar áreas com ocorrência simultânea de rios de grande porte, com existência de ilhas de tamanhos variados, e rios de pequeno porte que ainda são representados por suas duas margens na escala 1:250.000. Buscou-se, também, usar

feições geográficas representadas por linhas sinuosas como, por exemplo, linhas de costa entrecortadas por pequenas ilhas.

A Diretoria de Geociências do IBGE colocou à disposição deste trabalho mapas de vegetação digitais, oriundos da escala 1:250.000, em duas regiões geográficas contíguas. Uma região fica compreendida entre os meridianos 48º e 54º Oeste e entre a linha do equador e o paralelo 4º Sul, o que corresponde à carta ao milionésimo SA-22. A outra região estende-se entre os meridianos 43º30' e 48º Oeste e situa-se na mesma faixa latitudinal da região anterior, o que corresponde aos três quartos mais à oeste da área coberta pela carta ao milionésimo SA-23.

Após análise visual criteriosa feita sobre os 28 mapas digitais fornecidos pelo IBGE, o que incluiu a verificação das classes de vegetação de cada mapa, chegou-se à definição da área de estudo levando-se em conta sua representatividade quanto às principais regiões fitoecológicas da Amazônia. Optou-se pelo uso da região compreendida entre os meridianos 48º e 51º Oeste e entre a linha do equador e o paralelo 2º Sul. Os mapas que cobrem esta região contêm metade das 34 classes de vegetação descritas no Apêndice A deste trabalho para a escala 1:1.000.000, incluindo formações de floresta, savana e campinarana, e satisfazem o critério anterior de extensão e complexidade geográfica. A Figura 4.1 mostra a área de estudo, que cobre inteiramente a Ilha de Marajó.



Figura 4.1 – Área de estudo.

As Figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 mostram, respectivamente, os quatro mapas de vegetação que cobrem a área de estudo. Eles correspondem às folhas SA-22-X-A, SA-22-X-B, SA-22-X-C e SA-22-X-D, do mapeamento na escala 1:250.000.



Figura 4.2 – Folha SA-22-X-A.



Figura 4.3 – Folha SA-22-X-B.



Figura 4.4 – Folha SA-22-X-C.



Figura 4.5 – Folha SA-22-X-D.

4.5 Metodologia

O experimento sobre generalização foi feito, principalmente, no sistema SPRING, versão 4.3, mas o sistema TERRAVIEW, versão 3.1.4, também foi usado. O esquema conceitual do SPRING favorece a modelagem de dados necessária para atender à reclassificação fisionômica descrita no Apêndice A para os mapas de vegetação nas escalas 1:1.000.000, 1:5.000.000 e 1:15.000.000. Pode-se criar uma categoria, com suas

respectivas classes temáticas, para cada nível de detalhamento e fazer a associação dos projetos criados para compor a base de dados com a categoria pertinente independentemente de questões como a partição do espaço geográfico e a projeção cartográfica utilizadas.

As três rotinas de simplificação de linhas testadas no modelo proposto para o experimento sobre generalização dos mapas de vegetação foram implementadas no SPRING. Além do método de Douglas e Peucker, tipicamente disponível nos principais SIG do mercado, implementou-se no SPRING uma rotina de distância acumulada, que nada mais é que uma adaptação do método do tamanho mínimo, de Li e Openshaw, e uma outra rotina, construída sobre o método de Douglas e Peucker, que usa a razão entre área e perímetro como heurística adicional ao critério de seleção de pontos característicos (DOUGLAS e PEUCKER, 1973; LI e OPENSHAW, 1992). O Apêndice B apresenta o código fonte, escrito na linguagem C++, correspondente às implementações das rotinas de simplificação de linhas no SPRING.

O TERRAVIEW foi usado na etapa de simplificação da base de dados, descrita em detalhe na seção 4.5.4.2, mais à frente. O TERRAVIEW foi escolhido para esta tarefa porque suas operações de agregação ou amálgama, usadas para reclassificar fisionalmente os dados de vegetação, são realizadas sobre estruturas vetoriais. O SPRING, por sua vez, opera sobre estruturas matriciais para fazer reclassificações. Portanto, a opção pelo uso do TERRAVIEW na etapa de simplificação da base de dados garantiu a preservação das linhas digitais originais para os testes com as rotinas de simplificação de linhas. Isto não teria sido possível se tivesse sido necessário fazer conversões entre as estruturas vetorial e matricial.

4.5.1 Criação do banco de dados de vegetação

A primeira etapa no processo de criação de uma base de dados espaciais no ambiente SPRING é a criação de um banco de dados, materializada pela definição do esquema conceitual. As categorias mencionadas a seguir foram criadas com o objetivo de modelar os níveis de detalhamento dos mapas de vegetação usados na pesquisa.

- Vegetação_1M: categoria temática criada com as classes descritas na reclassificação fisionômica apresentada no Apêndice A para a escala 1:1.000.000;
- Vegetação_5M: categoria temática criada com as classes descritas na reclassificação fisionômica apresentada no Apêndice A para a escala 1:5.000.000;
- Vegetação_15M: categoria temática criada com as classes descritas na reclassificação fisionômica apresentada no Apêndice A para a escala 1:15.000.000;
- Vegetação_IBGE_1M: categoria imagem criada para acomodar a importação do mapa fornecido pelo IBGE na escala 1:1.000.000;
- Vegetação_IBGE_5M: categoria temática criada para acomodar a importação do mapa fornecido pelo IBGE na escala 1:5.000.000;
- Vegetação_IBGE_15M: categoria temática criada para acomodar a importação do mapa fornecido pelo IBGE na escala 1:15.000.000.

Nesta etapa definem-se também os visuais de apresentação das classes de cada categoria temática, que representam as cores e os padrões usados nas legendas temáticas e que passam a valer para qualquer projeto que contenha dados vinculados às categorias criadas.

4.5.2 Criação dos projetos para os mapas de vegetação

Após a criação do banco de dados, definem-se os projetos que irão efetivamente abrigar os mapas de vegetação, ou seja, definem-se todos os projetos necessários ao desenvolvimento do experimento sobre generalização. Inicialmente criou-se um projeto, chamado IBGE, na projeção Policônica, vinculado ao datum planimétrico SAD-69. Este projeto foi criado de modo a abranger toda a área coberta pelas folhas SA-22 e SA-23 e foi usado para analisar os 28 mapas de vegetação fornecidos pelo IBGE na escala 1:250.000. A opção pela projeção Policônica teve o objetivo de simplificar o procedimento de análise ao prover um único arcabouço geográfico para os mapas de vegetação na escala 1:250.000. Ressalta-se que este projeto inicial teve o único objetivo de possibilitar a definição da área de estudo, conforme explicado na seção 4.4.

Quatro projetos foram criados para atender aos mapas de vegetação efetivamente usados na pesquisa, isto é, os mapas de vegetação que cobrem a área de estudo. Assim, os projetos SA22XA, SA22XB, SA22XC e SA22XD foram criados na projeção UTM, com datum planimétrico SAD-69, e cada um deles teve seu retângulo envolvente definido de acordo com o enquadramento geográfico das respectivas folhas. Os procedimentos de limpeza de dados do experimento sobre generalização, descritos na seção 4.5.4.1, foram aplicados sobre os dados importados para cada um desses projetos.

Um último projeto, o mais importante de todos, chamado SA22X, foi criado para receber um mosaico dos quatro mapas de vegetação (SA22XA, SA22XB, SA22XC e SA22XD). A simplificação cartográfica, descrita na seção 4.5.4.3, foi aplicada sobre os dados deste projeto para tornar possível a obtenção de dados generalizados a partir da eliminação de polígonos e da simplificação de linhas. O projeto SA22X também foi criado na projeção UTM, com datum planimétrico SAD-69.

4.5.3 Importação dos mapas originais de vegetação

Os quatro mapas de vegetação na escala 1:250.000, SA-22-X-A, SA-22-X-B, SA-22-X-C e SA-22-X-D, foram importados para seus respectivos projetos através da conversão de cada um dos arquivos "shapefile" originais para arquivos no formato ASCII do SPRING. Esta conversão, que também pode ser feita a partir das funções de importação disponíveis no menu do SPRING, foi realizada através de um utilitário do SPRING chamado SHP2SPR, que permite que um arquivo "shapefile", tipicamente cadastral, possa ser convertido em um arquivo ASCII SPRING do modelo temático. Isto é feito pela indicação dos atributos da tabela do arquivo "shapefile" que devem ser usados como classes temáticas. Após a conversão, cada arquivo ASCII foi importado para seu projeto, gerando então os planos de informação com os mapas de vegetação.

Logo após a importação dos mapas de vegetação na escala 1:250.000 fez-se a transformação da estrutura topológica usada em arquivos "shapefile", em que cada polígono é tratado isoladamente como uma ilha, para a estrutura arco-nó-polígono típica do SPRING. Isto é feito, para cada plano de informação, através da função ELIMINAR FRAGMENTOS DUPLICADOS, disponível no menu FERRAMENTAS → LIMPAR VETOR do SPRING. Com o objetivo de garantir a coerência topológica de cada projeto, realizaram-se, a seguir, as operações básicas de AJUSTE DE LINHAS e POLIGONALIZAÇÃO.

Um aspecto de fundamental importância no final desta etapa de importação é analisar os limites geográficos dos planos de informação de cada projeto com o objetivo de eliminar incongruências referentes à digitalização ou mesmo à classificação dos dados originais. Desta forma foi possível garantir que feições que se estendem ao longo das faixas de transição entre os quatro mapas estejam corretamente representadas e coerentemente classificadas.

4.5.4 Aplicação do modelo de generalização

O modelo utilizado no experimento sobre generalização dos mapas de vegetação é composto de três etapas: limpeza de dados, simplificação da base de dados e simplificação cartográfica. Conforme já explicado no Capítulo 1, trata-se de uma adaptação de um modelo proposto por McMaster (1989) que tem o propósito de levar em conta a especificidade dos dados de vegetação e a escala original de apresentação dos dados.

4.5.4.1 Limpeza de dados

Sabe-se perfeitamente que dados vetoriais resultantes de procedimentos manuais de digitalização, através de uma mesa digitalizadora ou na tela do computador, contêm redundância, ou seja, a quantidade de pontos armazenados para cada linha é muito maior do que poderia ser sem que houvesse prejuízo na representação digital da linha. Portanto, esta etapa de limpeza de dados corresponde à aplicação de uma rotina de simplificação de linhas com tolerância mínima.

O método de Douglas e Peucker foi usado com uma tolerância de 0,1mm sobre os planos de informação com os mapas originais de vegetação em cada um dos quatro projetos referentes à escala 1:250.000. Como resultado, novos planos de informação foram criados para armazenar os mapas de vegetação sem redundância de pontos nas linhas que definem os polígonos. Este procedimento foi feito através da função MOSAICO, disponível através do menu EDITAR → MOSAICO do SPRING. Esta função permite que um plano de informação escolhido seja transformado por uma das rotinas de simplificação de linhas e depois copiado integralmente para um plano de informação de saída. É importante ressaltar que esta operação de simplificação com tolerância mínima foi feita sem alteração de escala, ou seja, os planos de informação resultantes foram gerados na escala 1:250.000. A escolha da tolerância de 0,1mm considerou trabalhos

de simulação sobre dados vetoriais típicos de SIG, digitalizados manualmente por profissionais experientes (D'ALGE e GOODCHILD, 1993).

4.5.4.2 Simplificação da base de dados

A etapa de simplificação da base de dados compreende uma generalização categórica, isto é, uma reclassificação dos mapas originais de vegetação cuja finalidade é adequar o detalhamento da classificação aos diferentes níveis de abstração usados na pesquisa. É oportuno deixar claro que as reclassificações fisionômicas descritas no Apêndice A para as escalas 1:1.000.000, 1:5.000.000 e 1:15.000.000 não tiveram, neste trabalho, pretensão alguma de estabelecer regras definitivas de como se deve classificar vegetação em função da escala, tarefa que só pode ser realizada pelos especialistas no assunto. A classificação usada neste trabalho para a escala 1:1.000.000, por exemplo, é menos detalhada que a classificação que aparece nos mapas de vegetação publicados pelo IBGE na escala 1:1.000.000, que contém alguns detalhes geomorfológicos presentes nos mapas originais na escala 1:250.000.

Tudo isto se explica, sobretudo, pelo cuidado que a equipe do projeto RADAM teve com o estabelecimento de uma classificação fisionômica bastante detalhada para os mapas originais na escala 1:250.000, que incluiu, por exemplo, a associação de padrões geomorfológicos distintos ao mesmo tipo de vegetação. Adicionalmente, as regiões de tensão ecológica (contatos) foram tão cuidadosamente classificadas que certas classes, apesar da indicação da vegetação predominante, contêm até quatro formações distintas de vegetação. Além disso, o fato do IBGE nunca ter publicado os mapas originais na escala 1:250.000 é uma evidência forte de que não ocorreu um trabalho de generalização cartográfica nesta escala.

As reclassificações foram realizadas no sistema TERRAVIEW sobre os planos de informação resultantes da etapa anterior de limpeza de dados. Como o SPRING somente faz operações de reclassificação sobre estruturas matriciais e a etapa principal de simplificação cartográfica requer que se trabalhe sobre as linhas digitais resultantes do processo de limpeza de dados, optou-se por fazer este processamento no TERRAVIEW, que tem a capacidade de fazer as operações necessárias sobre estruturas vetoriais.

A migração dos planos de informação resultantes da etapa de limpeza de dados do SPRING para o TERRAVIEW foi feita através da exportação de arquivos no formato "shapefile", que foram então importados para bancos de dados criados no TERRAVIEW. Nas tabelas dos bancos de dados no TERRAVIEW os atributos que continham as classes de vegetação originais foram combinados de acordo com as regras de reclassificação descritas no Apêndice A e salvos em novas colunas de atributos. Após a operação de reclassificação feita sobre os atributos das tabelas, aplicou-se uma agregação de polígonos em cada plano de informação para que as representações gráficas refletissem a reclassificações feitas sobre os atributos. Esta operação foi feita através do menu OPERAÇÕES GEOGRÁFICAS → AGREGAÇÃO. Os planos de informação resultantes foram exportados em formato "shapefile" e importados novamente para seus respectivos projetos no sistema SPRING. As funções ELIMINAR FRAGMENTOS DUPLICADOS, AJUSTE DE LINHAS e POLIGONALIZAÇÃO foram usadas para recriar a estrutura topológica arco-nó-polígono típica do SPRING. A Figura 4.6 exemplifica o cuidado que se deve ter quando se realiza uma generalização categórica, como a que foi feita nesta etapa de simplificação da base de dados.

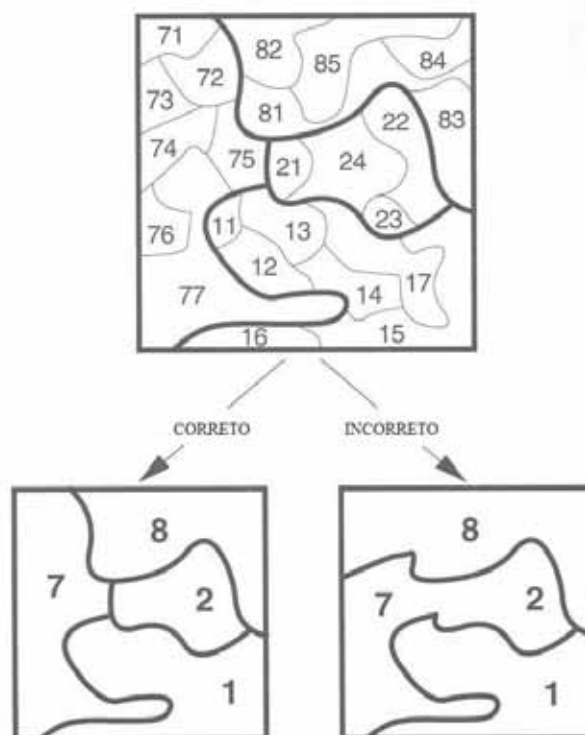


Figura 4.6 – Exemplos de generalização categórica. Fonte: McMaster e Shea (1992).

4.5.4.3 Simplificação cartográfica

A simplificação cartográfica, etapa final do modelo de generalização, promove a eliminação de polígonos e aplica rotinas de simplificação de linhas de acordo com a mudança de escala pretendida. Os três algoritmos implementados no SPRING para simplificação de linhas – Douglas-Peucker, Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada – foram usados com valores diferentes de tolerância para gerar versões simplificadas dos mapas de vegetação. A função de eliminação de polígonos trabalha com um limiar de área definido pelo usuário.

Entende-se perfeitamente que o uso de área não é o critério ideal para se definir a importância da representação cartográfica de uma certa feição do terreno numa certa escala. No entanto, como a idéia era testar o comportamento de uma função já existente no SPRING, dois limiares de área foram definidos neste trabalho para a eliminação de polígonos. Um

dos limiares relaciona-se com o padrão de exatidão cartográfica usado no controle da exatidão planimétrica de cartas topográficas e foi definido como sendo $0,25\text{mm}^2$ ($0,5\text{mm} \times 0,5\text{mm}$) na escala do mapa (BRASIL, 1975). O outro limiar foi definido a partir de um critério mais subjetivo e mais relaxado, que preconiza que polígonos cuja área é menor que 1mm^2 ($1\text{mm} \times 1\text{mm}$) na escala do mapa não precisam ser representados.

É oportuno salientar que este procedimento foi aplicado antes da simplificação de linhas porque, além de ajudar a diminuir a complexidade dos mapas, tem um propósito bastante específico que é o de reduzir potenciais inconsistências topológicas geradas pela simplificação de linhas sobre polígonos muito pequenos. O procedimento de eliminação de polígonos foi feito pela função `ELIMINAR POLÍGONOS MENORES QUE`, disponível no menu `FERRAMENTAS` → `LIMPAR VETOR`.

Um problema sério na etapa de simplificação de linhas é a falta de regras que permitam estabelecer valores de tolerância em função da variação de escala. Por isso, optou-se pelo uso de duas heurísticas que pudessem servir de referência, ou seja, criaram-se duas regras originais, ainda que simples, uma para as rotinas de Douglas-Peucker e Razão Área-perímetro, e outra para a rotina de Distância acumulada.

O raciocínio para as duas primeiras rotinas, Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro, vincula-se ao que foi proposto na etapa de limpeza de dados. Como esta etapa inicial se baseou no uso de uma tolerância mínima de $0,1\text{mm}$ para eliminar redundâncias nas linhas digitais, estipulou-se que $0,1\text{mm}$ seria a tolerância desejável se uma dessas rotinas viesse a ser aplicada sobre o mapa simplificado, de tal modo que ele pudesse vir a ser gerado sem redundâncias (D'ALGE e GOODCHILD, 1993). Assim, definiu-se que a regra básica para a definição da tolerância para essas duas rotinas é dada pela multiplicação de $0,1\text{mm}$ pelo fator de redução de escala pretendido. De forma completamente oposta ao que normalmente se tenta fazer, a heurística usada neste trabalho é raciocinar

com a escolha de uma tolerância justificável para o mapa simplificado e não para o mapa original, aquele sobre o qual as rotinas serão aplicadas. Para a geração dos planos de informação com os mapas simplificados na escala 1:1.000.000 a partir dos mapas originais na escala 1:250.000, por exemplo, as duas rotinas em questão são aplicadas com uma tolerância de 0,4mm sobre os mapas originais. Adicionalmente, as duas rotinas também foram testadas outros dois valores de tolerância, definidos, subjetivamente, pela soma e pela subtração de 0,1mm à tolerância básica usada para a mudança de escala que se pretende fazer.

O raciocínio para a rotina de Distância Acumulada é semelhante ao anterior, mas baseia-se na idéia de acuidade visual, que é mais apropriada ao funcionamento da rotina. No algoritmo de Distância Acumulada percorre-se a linha digital original e usa-se uma distância pré-fixada, contada a partir do ponto anterior, para definir se os pontos seguintes devem ou não permanecer na linha simplificada. O procedimento continua até que se percorra toda a linha. Para esta rotina estabeleceu-se que a linha simplificada não deveria ter mais que um ponto dentro de um intervalo de 0,2mm na escala do mapa. A tolerância aplicada sobre o mapa original foi então estabelecida pela multiplicação do fator de redução de escala por 0,2mm. Para a geração dos planos de informação com os mapas simplificados na escala 1:1.000.000 a partir dos mapas originais na escala 1:250.000, por exemplo, a rotina de Distância Acumulada é aplicada com uma tolerância de 0,8mm sobre os mapas originais. De modo análogo ao que foi feito para as outras rotinas, o algoritmo de Distância Acumulada também foi testado com outros dois valores de tolerância, definidos, subjetivamente, pela soma e pela subtração de 0,1mm à tolerância básica usada para a mudança de escala que se pretende fazer.

Nesta etapa de simplificação cartográfica foram registradas algumas estatísticas importantes, que são analisadas no próximo capítulo e servem

de base para a comparação entre os diversos resultados gerados pelos algoritmos de simplificação de linhas e eliminação de polígonos:

- Número de polígonos por plano de informação;
- Número de linhas por plano de informação;
- Número de pontos no total de linhas de um plano de informação.

A comparação entre os resultados gerados pelo modelo de generalização proposto neste trabalho e os mapas existentes em escalas menores foi realizada apenas qualitativamente, através de inspeções visuais de superposições entre os mapas generalizados no computador e os mapas em escalas menores. O mapa de vegetação na escala 1:1.000.000, fornecido pelo IBGE no formato "tiff", foi georreferenciado pelo módulo de REGISTRO do SPRING e, a seguir, foi importado para o projeto que cobre a área de estudo por meio da função IMPORTAR TIFF/GEOTIFF. Os mapas de vegetação nas escalas 1:5.000.000 e 1:15.000.000, fornecidos pelo IBGE no formato "shapefile", foram convertidos para o formato ASCII do SPRING por meio do utilitário SHP2SPR e importados para o projeto que cobre a área de estudo.

Uma consideração final importante refere-se às mudanças de escala testadas neste trabalho. Como existe uma diferença grande de escala entre os mapas de vegetação originais, que estão na escala 1:250.000, e o mapa de vegetação na escala 1:15.000.000, aplicou-se o modelo de generalização de forma seqüencial, ou seja, da escala 1:250.000 para a escala 1:1.000.000, da escala 1:1.000.000 para a escala 1:5.000.000, e da escala 1:5.000.000 para a escala 1:15.000.000. Este trabalho sustenta que não se devem fazer mudanças grandes de escala. A cartografia convencional não opera desta forma e os algoritmos de simplificação de linhas, que buscam fazer uma mímica do que faz o cartógrafo, também não devem ter a pretensão de realizar mudanças grandes de escala.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Introdução

Os resultados do experimento sobre generalização foram comparados e analisados quantitativamente e visualmente. Aqui são apresentados três grupos principais de análise de resultados, que refletem a estrutura do modelo de generalização proposto para este trabalho. No primeiro grupo são descritos e analisados os resultados da etapa de limpeza de dados, que corresponde a uma simplificação com tolerância mínima. O segundo grupo apresenta os resultados da etapa de simplificação da base de dados, que corresponde a uma generalização categórica feita através de uma função de agregação que reclassifica os mapas de vegetação com base em um conjunto de regras. O último grupo de resultados refere-se à etapa de simplificação cartográfica, em que dois critérios distintos de eliminação de polígonos e três algoritmos de simplificação de linhas foram testados.

5.2 Etapa de limpeza de dados

Conforme foi explicado no Capítulo 4, os procedimentos de limpeza de dados do experimento sobre generalização foram aplicados sobre os planos de informação que contêm os mapas de vegetação originais na escala 1:250.000. Nesta etapa usou-se o SPRING e o algoritmo de Douglas-Peucker com uma tolerância igual a 0,1mm com o objetivo de eliminar redundâncias nas linhas digitais (D'ALGE e GOODCHILD, 1993). A Tabela 5.1 mostra os resultados da limpeza de dados executada sobre cada um dos planos de informação dos projetos que cobrem a área de estudo. Faz-se a indicação do número de pontos por plano de informação

antes e depois de se realizar a limpeza de dados, bem como do percentual de redução atingido.

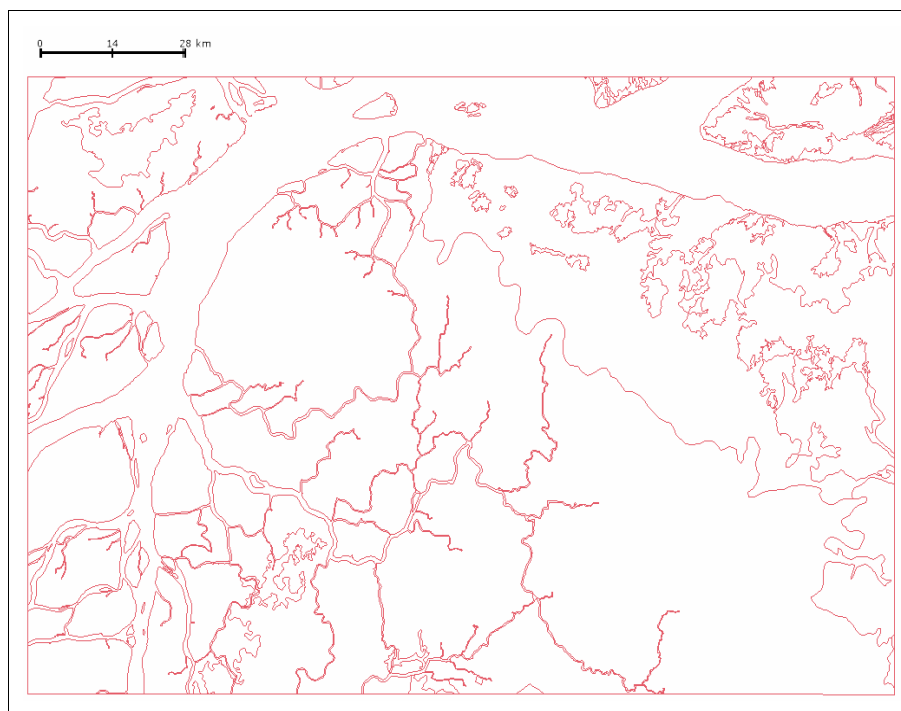
TABELA 5.1 – Resultados da etapa de limpeza de dados.

PROJETO	N_PONTOS_ANTES	N_PONTOS_DEPOIS	% DE REDUÇÃO
SA22XA	22979	16560	27,9
SA22XB	20301	13229	34,8
SA22XC	30123	17899	40,6
SA22XD	55777	42566	23,7

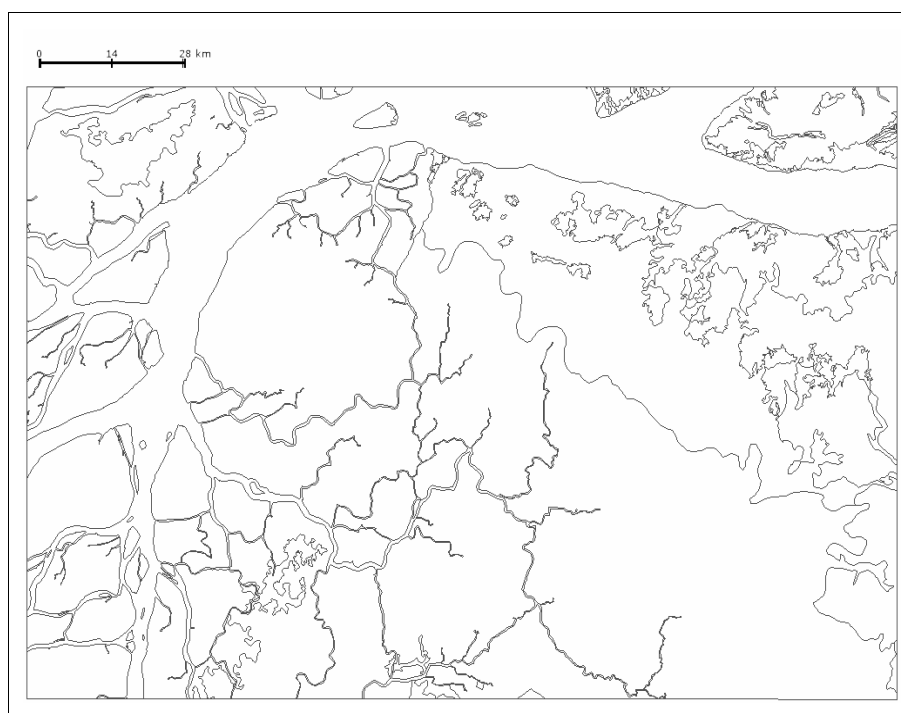
Nota-se que a redundância existente em cada mapa varia e é natural que isto ocorra, pois cada mapa tem suas próprias especificidades, como a quantidade de feições complexas, representadas por linhas sinuosas, o número de polígonos esparsos, enfim, tudo depende do conteúdo de cada mapa. O importante nesta avaliação é perceber que se consegue reduzir a quantidade de pontos sem prejuízo perceptível na representação das linhas digitais que compõem cada mapa. É isto que se chama de eliminação de redundância. Digitalizações de mapas feitas em modo contínuo em antigas mesas digitalizadoras costumavam gerar arquivos com redundâncias até maiores que as que aparecem na Tabela 5.1. Ao trabalhar em modo contínuo, os operadores definiam o ponto inicial para a digitalização e simplesmente percorriam a linha. Os pontos eram gravados com base em uma taxa fixa de aquisição, que era definida em função de um intervalo de tempo bastante curto. Como resultado, as linhas digitais continham mais pontos do que era necessário, principalmente em setores curvos mais sinuosos.

A Figura 5.1(a) mostra o mapa original do projeto SA22XA, desenhado em vermelho, e a Figura 5.1(b) mostra o mapa resultante da limpeza de

dados, desenhado em preto. As Figuras 5.2(a), 5.2(b), 5.3(a), 5.3(b), 5.4(a) e 5.4(b) mostram, respectivamente, resultados equivalentes para os mapas dos projetos SA22XB, SA22XC e SA22XD.

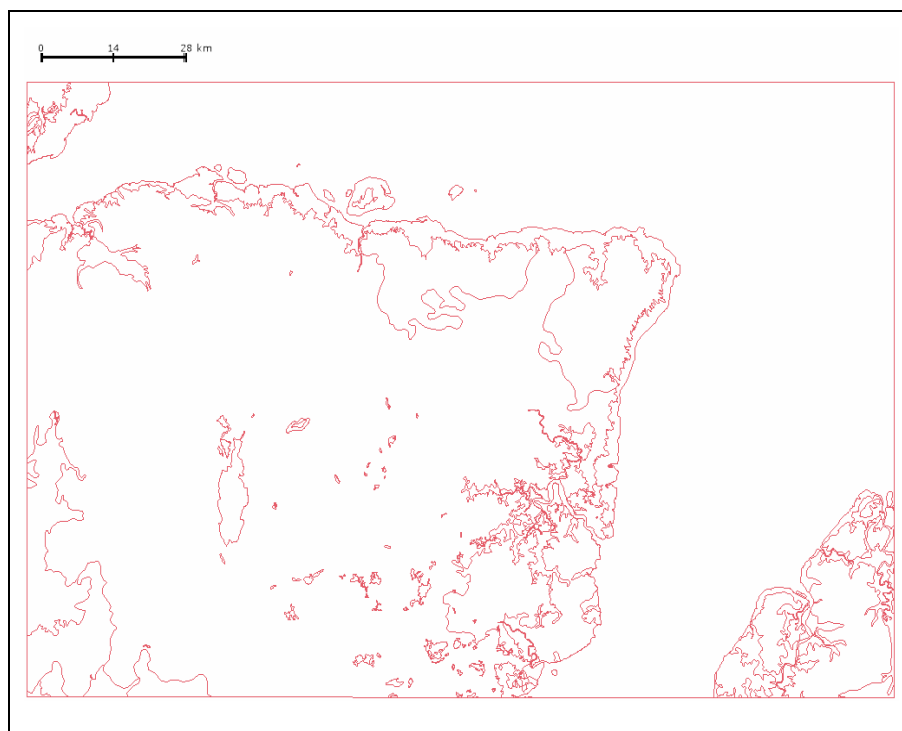


(a)



(b)

Figura 5.1 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XA: (a) original com 22979 pontos e (b) simplificado com 16560 pontos.

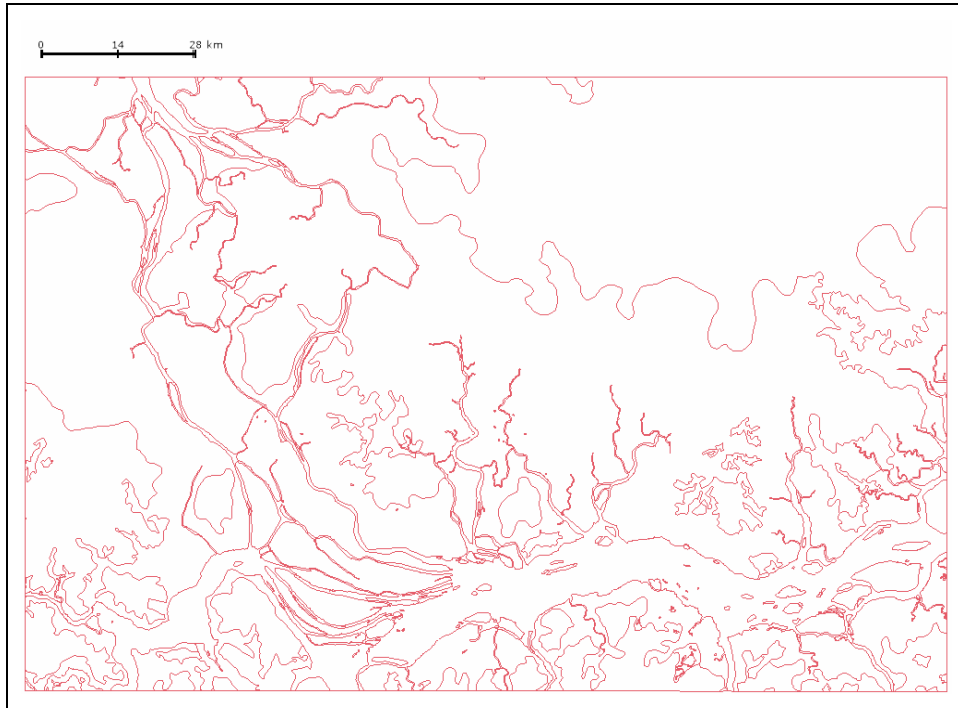


(a)

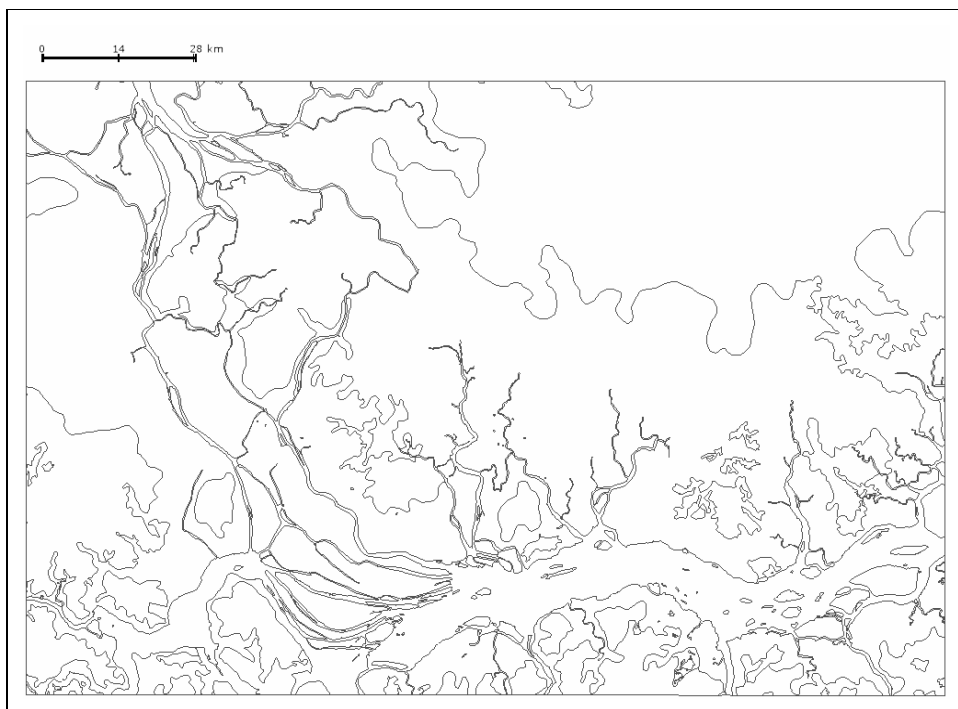


(b)

Figura 5.2 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XB: (a) original com 20301 pontos e (b) simplificado com 13229 pontos.

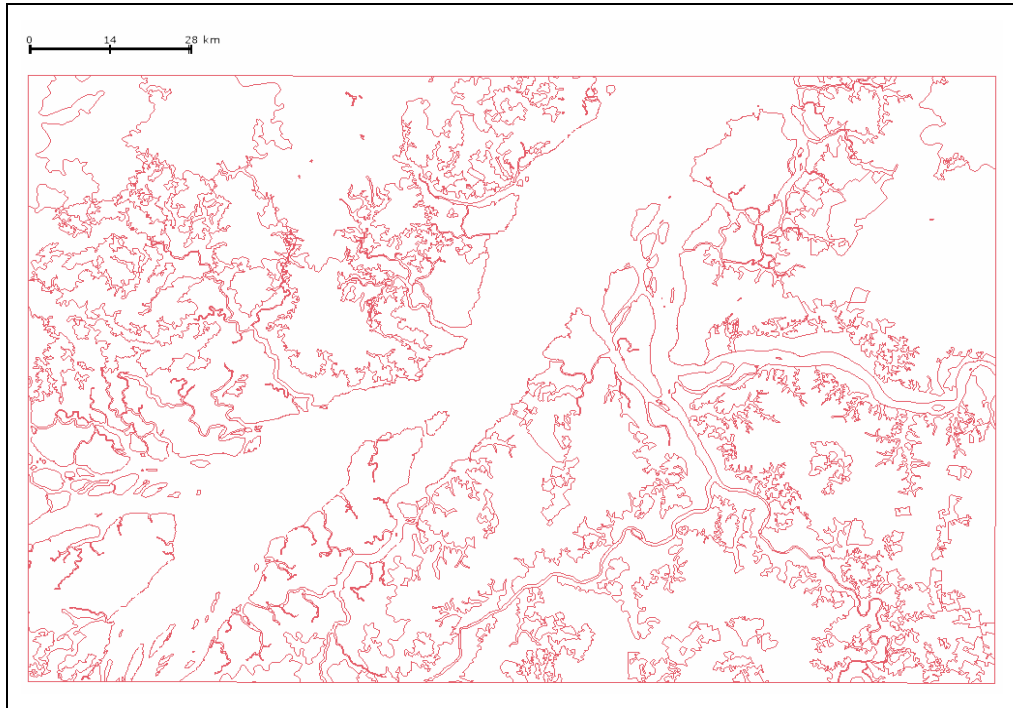


(a)

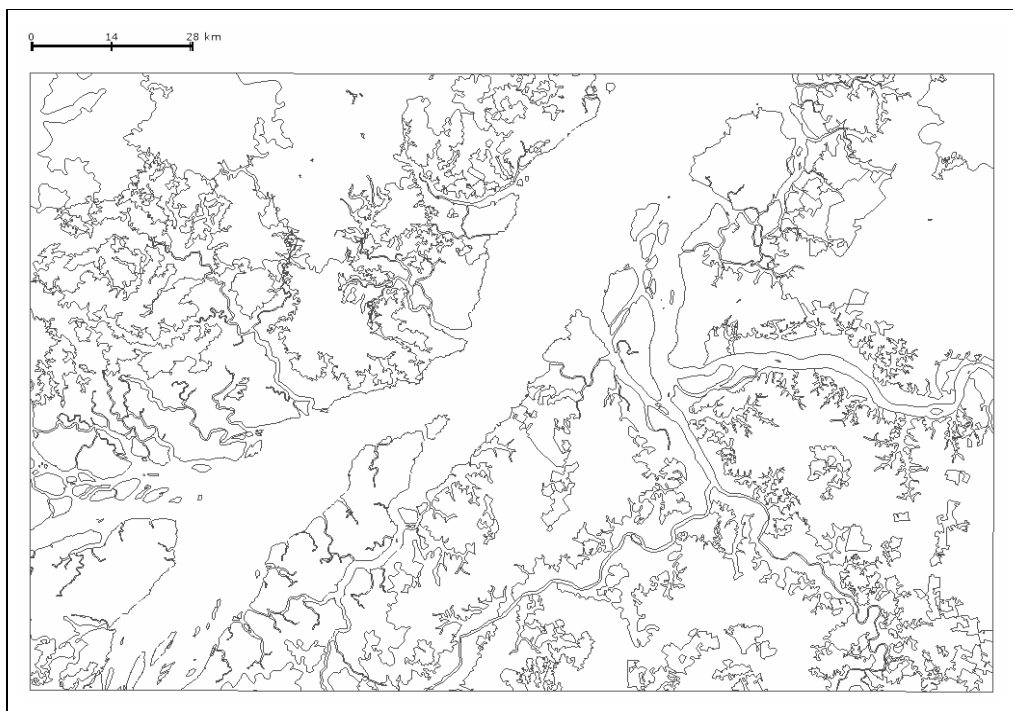


(b)

Figura 5.3 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XC: (a) original com 30123 pontos e (b) simplificado com 17899 pontos.



(a)



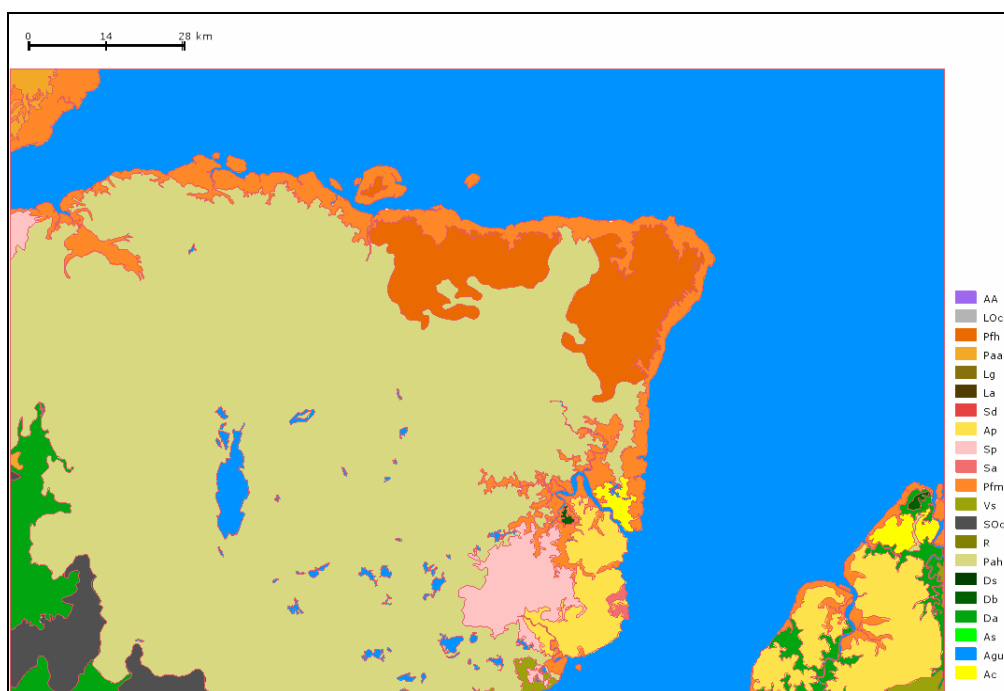
(b)

Figura 5.4 – Limpeza de dados sobre o projeto SA22XD: (a) original com 55777 pontos e (b) simplificado com 42566 pontos.

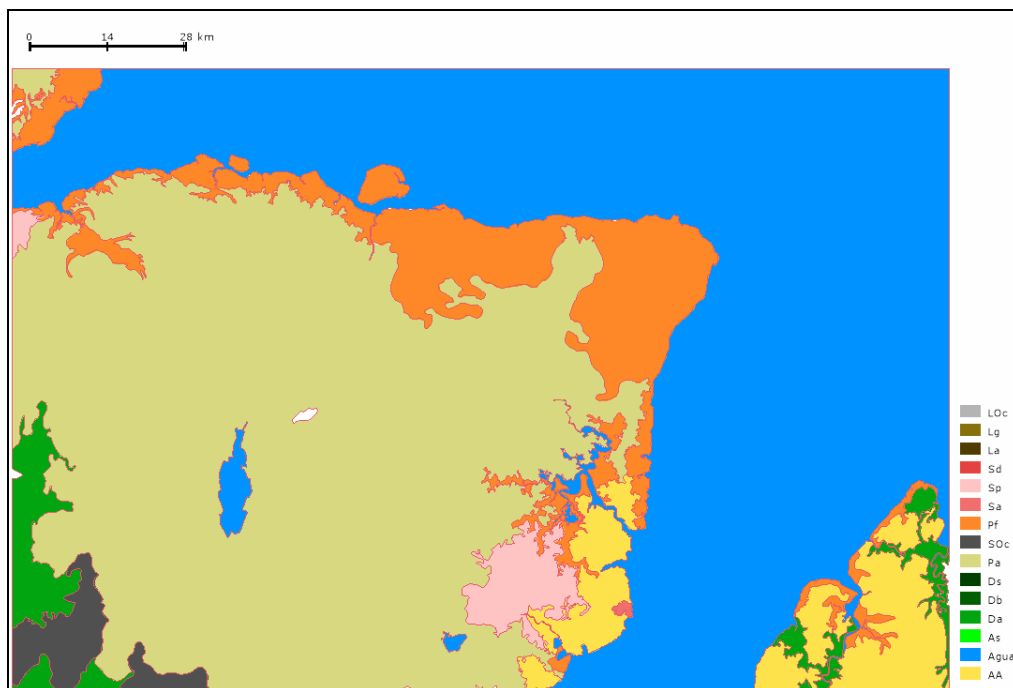
5.3 Etapa de simplificação da base de dados

A simplificação da base de dados foi feita no sistema TERRAVIEW através de uma operação de agregação sobre a coluna de atributos que contém as classes temáticas para cada escala de trabalho. Esta generalização categórica, descrita no Capítulo 4, deu como resultado as reclassificações fisionômicas apresentadas no Apêndice A, que foram obtidas com o uso dos conjuntos de regras lá expostos. Lembra-se que os resultados desta etapa foram reincorporados aos seus respectivos projetos no SPRING.

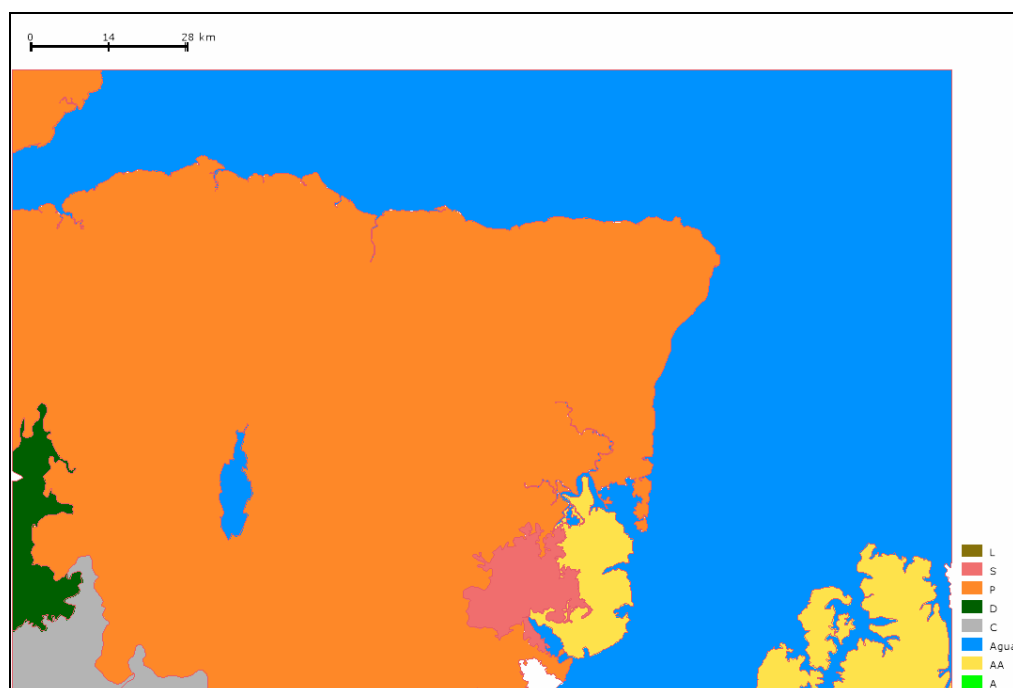
As Figuras 5.5(a), 5.5(b) e 5.5(c) ilustram, através dos mapas do projeto SA22XB, os resultados da simplificação da base de dados para as escalas 1:1.000.000, 1:5.000.000 e 1:15.000.000, respectivamente. Nota-se que as linhas digitais têm o mesmo nível de detalhe nos três mapas, já que a etapa final de simplificação cartográfica ainda não havia sido executada.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.5 – Simplificação da base de dados sobre SA22XB: (a) escala 1:1.000.000, (b) escala 1:5.000.000 e (c) escala 1:15.000.000.

5.4 Etapa de simplificação cartográfica

A etapa final de simplificação cartográfica foi toda feita no SPRING e consistiu da eliminação de polígonos considerados pequenos em cada uma das escalas de trabalho e da simplificação de linhas com base em tolerâncias pré-definidas. Os procedimentos foram aplicados sobre o projeto SA22X, que cobre a área de estudo por inteiro.

5.4.1 Eliminação de polígonos

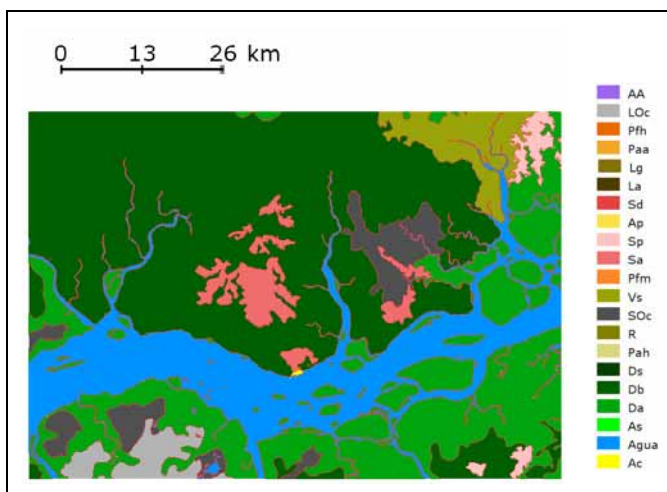
A Tabela 5.2 mostra, para a escala 1:1.000.000, os resultados da eliminação de polígonos. O mapa original, que resultou da etapa de simplificação da base de dados para a escala 1:1.000.000, é denominado SA22X_AGREG. Os outros mapas, denominados SA22X_A05x05 e SA22X_A10x10, foram gerados através da eliminação de polígonos com áreas menores que $0,25\text{mm}^2$ e 1mm^2 nesta escala, respectivamente.

TABELA 5.2 – Eliminação de polígonos na escala 1:1000.000.

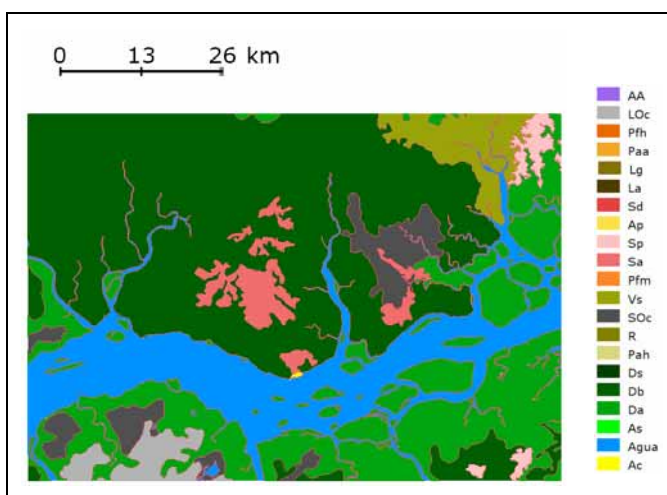
MAPA	N_POLÍGONOS	N_LINHAS
SA22X_AGREG	930	1636
SA22X_A05x05	730	1333
SA22X_A10x10	579	1179

Os resultados indicam que 200 polígonos com área inferior a $0,25\text{km}^2$ foram eliminados durante a geração do mapa SA22X_A05x05 e 351 polígonos com área inferior a 1km^2 foram eliminados durante a geração do mapa SA22X_A10x10.

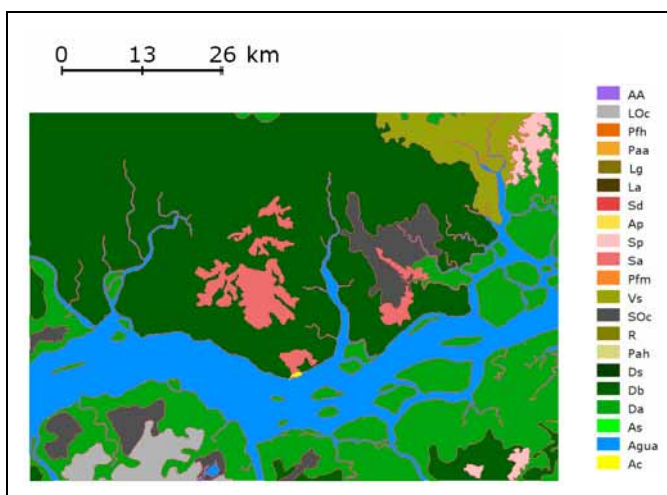
As Figuras 5.6(a), 5.6(b) e 5.6(c) ilustram a questão da eliminação de polígonos para uma pequena região situada na parte sul da área de estudo. Percebe-se que a eliminação de pequenas ilhas dentro do rio é obviamente maior no mapa SA22X_A10x10.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.6 – Eliminação de polígonos na escala 1:1.000.000: (a) dado original, (b) remoção de polígonos com áreas inferiores a $0,25\text{km}^2$ e (c) remoção de polígonos com áreas inferiores a 1km^2 .

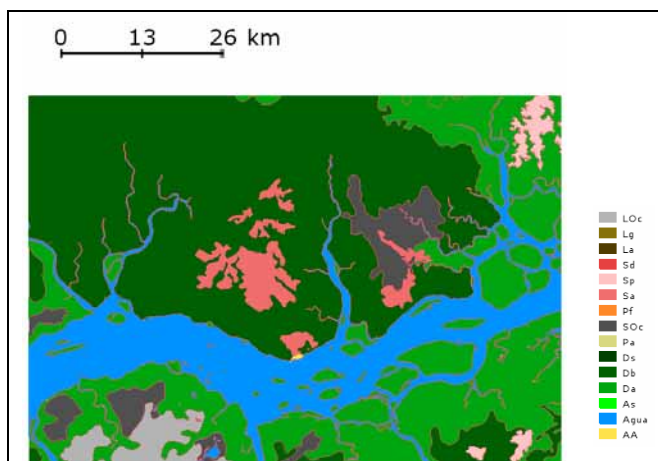
A Tabela 5.3 mostra, para a escala 1:5.000.000, resultados equivalentes aos exibidos na Tabela 5.2 para a escala 1:1.000.000. Os mapas mantêm as denominações anteriores porque estão vinculados a categorias diferentes no SPRING, ou seja, são planos de informação distintos. Os limiares de área permaneceram os mesmos, $0,25\text{mm}^2$ e 1mm^2 , e desta vez foram aplicados à escala 1:5.000.000.

TABELA 5.3 – Eliminação de polígonos na escala 1:5.000.000.

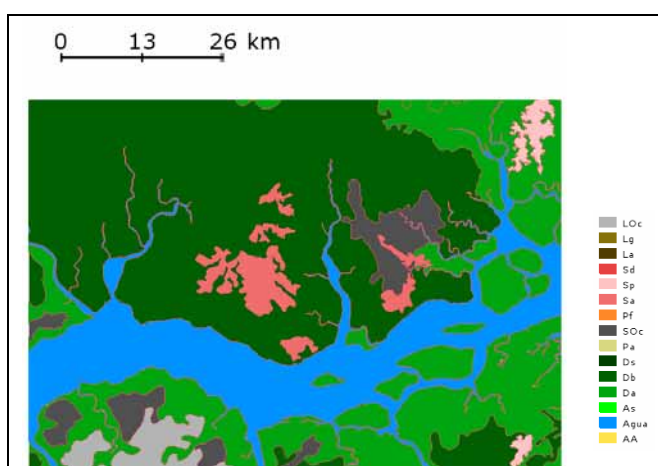
MAPA	N_POLÍGONOS	N_LINHAS
SA22X_AGREG	906	1568
SA22X_A05x05	329	877
SA22X_A10x10	174	695

Note-se que o mapa original nesta escala tem 906 polígonos, ao passo que o mapa original na escala 1:1.000.000 tem 930 polígonos, conforme mostra a Tabela 5.2. Isto se explica pela simplificação da base de dados aplicada anteriormente, que agregou na mesma classe uma quantidade maior de polígonos na escala 1:5.000.000. Os resultados indicam que 577 polígonos com área inferior a $6,25\text{km}^2$ foram eliminados durante a geração do mapa SA22X_A05x05 e 732 polígonos com área inferior a 25km^2 foram eliminados durante a geração do mapa SA22X_A10x10.

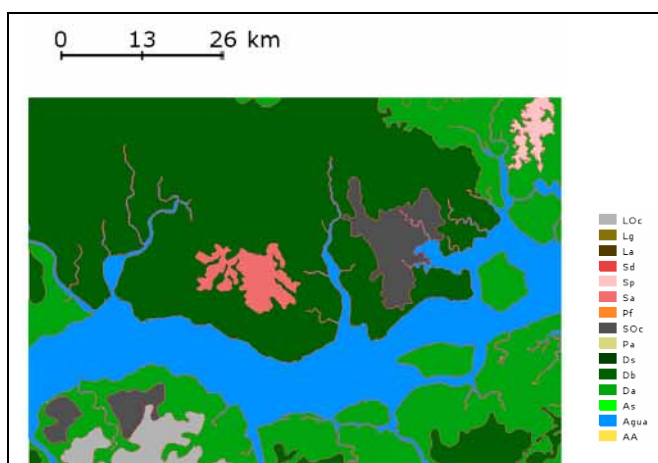
As Figuras 5.7(a), 5.7(b) e 5.7(c) ilustram a questão da eliminação de polígonos para a mesma região situada na parte sul da área de estudo. Percebe-se, desta vez, que além da eliminação de pequenas ilhas dentro do rio ser obviamente maior no mapa SA22X_A10x10, a eliminação de polígonos com área menor que 25km^2 faz com que a classe do polígono dominante, aquele que circunscreve polígonos menores, comece a ser atribuída de forma indesejável à área anteriormente ocupada pelo polígono que foi eliminado. Este efeito pode ser facilmente notado na porção nordeste do mapa SA22X_A10x10.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.7 – Eliminação de polígonos na escala 1:5.000.000: (a) dado original, (b) remoção de polígonos com áreas inferiores a $6,25\text{km}^2$ e (c) remoção de polígonos com áreas inferiores a 25km^2 .

Resultados equivalentes aos exibidos na Tabela 5.3 para a escala 1:5.000.000 são mostrados na Tabela 5.4 para a escala 1:15.000.000. Os limiares de área continuam os mesmos, $0,25\text{mm}^2$ e 1mm^2 , e desta vez foram aplicados à escala 1:15.000.000.

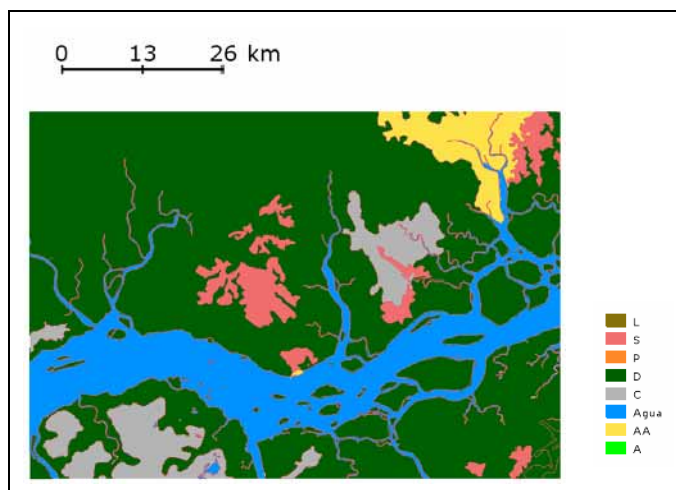
TABELA 5.4 – Eliminação de polígonos na escala 1:15.000.000.

MAPA	N_POLÍGONOS	N_LINHAS
SA22X_AGREG	850	1397
SA22X_A05x05	101	494
SA22X_A10x10	35	386

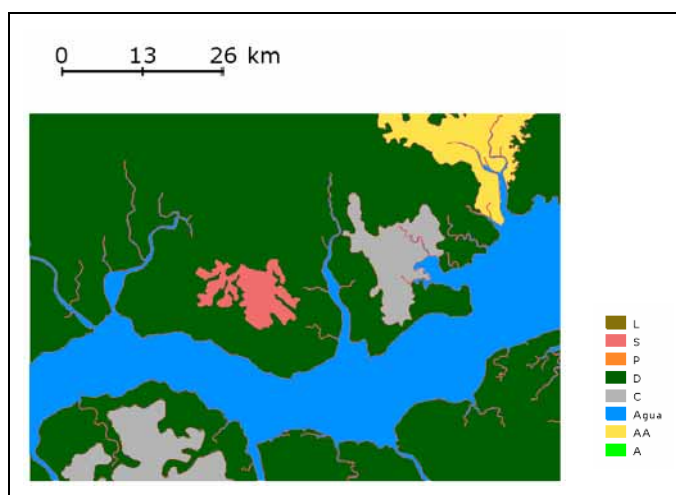
Como a simplificação da base de dados aplicada anteriormente agregou uma quantidade maior de polígonos nesta escala, nota-se que o mapa original agora tem 850 polígonos, contra 906 na escala 1:5.000.000 e 930 na escala 1:1.000.000. Os resultados indicam que muitos polígonos tinham área inferior a $56,25\text{km}^2$ e foram eliminados durante a geração do mapa SA22X_A05x05. Quase todos os polígonos tinham área inferior a 225km^2 e foram eliminados durante a geração do mapa SA22X_A10x10.

As Figuras 5.8(a), 5.8(b) e 5.8(c) ilustram a questão da eliminação de polígonos para esta escala. Além da eliminação de pequenas ilhas dentro do rio continuar sendo maior no mapa SA22X_A10x10, a eliminação de polígonos com área menor que 225km^2 torna ainda mais perceptível a atribuição, de forma indesejável, da classe do polígono dominante à área anteriormente ocupada pelos polígonos que foram eliminados.

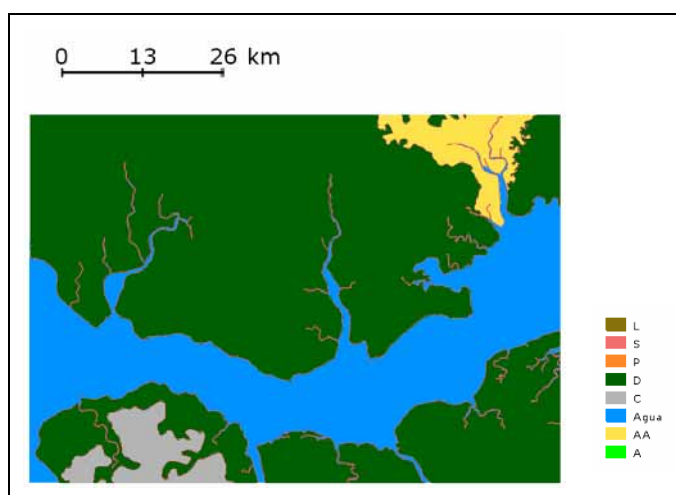
Na verdade, é importante ter em mente que a observação dos mapas em suas escalas originais torna quase imperceptíveis estes aspectos aqui discutidos sobre atribuição indesejável de uma classe a outra por conta da eliminação progressiva de polígonos considerados pequenos, conforme mostram as Figuras 5.9(a) e 5.9(b).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.8 – Eliminação de polígonos na escala 1:15.000.000: (a) dado original, (b) remoção de polígonos com áreas inferiores a 56,25km² e (c) remoção de polígonos com áreas inferiores a 225km².

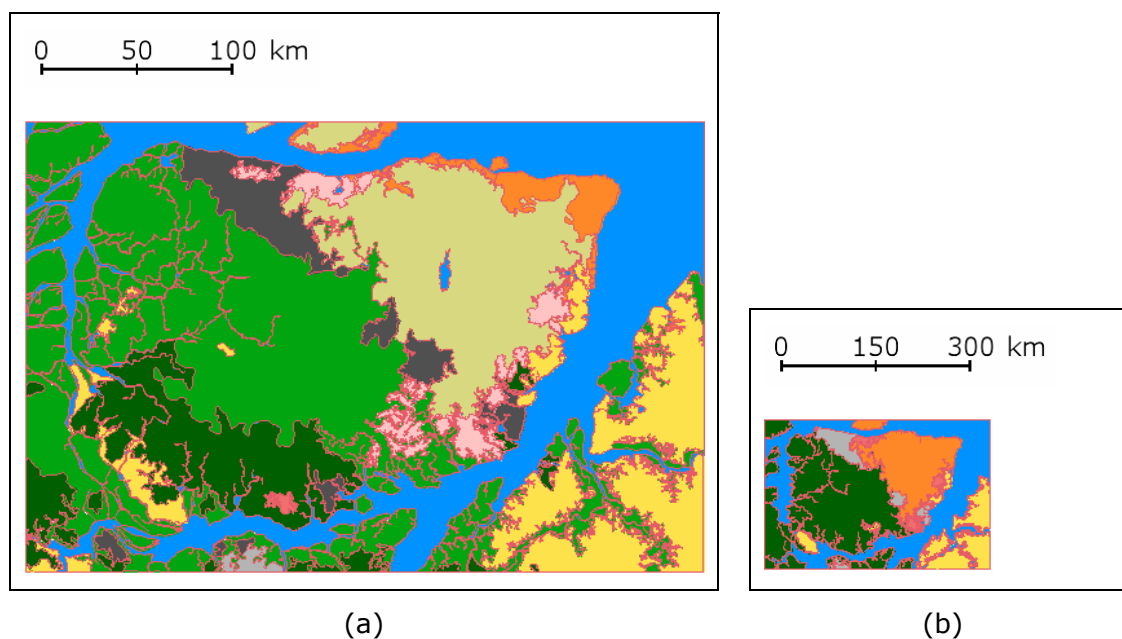


Figura 5.9 – Visualização da área de estudo nas escalas (a) 1:5.000.000 e (b) 1:15.000.000.

5.4.2 Simplificação de linhas

Como um dos objetivos da pesquisa é comparar as três rotinas implementadas no SPRING para simplificação de linhas, os resultados estão agrupados por faixa de redução de escala. Desta forma, apresentam-se primeiro os resultados do uso dos algoritmos de simplificação de linhas na mudança de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000. Depois são apresentados os resultados da mudança de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000 e, por último, os resultados da mudança de 1:5.000.000 para 1:15.000.000. As três rotinas foram aplicadas, para cada faixa de redução de escala, sobre os mapas originais. SA22X_AGREG é o mapa que contém todos os polígonos. Os mapas que tiveram polígonos eliminados são SA22X_A05x05 e SA22X_A10x10.

Em todas as tabelas apresentadas nesta seção, N_PT_<METODO><TOL> designa o número total de pontos resultante após uma simplificação de linhas. METODO significa uma das rotinas usadas, Douglas-Peucker (DP), Razão Área-Perímetro (AP) ou Distância Acumulada (DA). TOL representa o valor da tolerância usada em milímetros.

5.4.2.1 Redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000

A Tabela 5.5 mostra os resultados da aplicação da rotina Douglas-Peucker para esta faixa de redução de escala. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Douglas-Peucker com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.5 – Simplificação de linhas por Douglas-Peucker para redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_DP04	N_PT_DP03	N_PT_DP05
SA22X_AGREG	81419	35023	42035	30406
SA22X_A05X05	79392	34037	40867	29601
SA22X_A10X10	77092	32972	39643	28650

Estes resultados são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada.

A Tabela 5.6 mostra os resultados da aplicação da rotina Razão Área-Perímetro para a redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Razão Área-Perímetro com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.6 – Simplificação de linhas por Razão Área-Perímetro para redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_AP04	N_PT_AP03	N_PT_AP05
SA22X_AGREG	81419	46964	52466	41508
SA22X_A05X05	79392	45381	50779	40028
SA22X_A10X10	77092	43338	48696	38165

Estes resultados também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada. A rotina Razão Área-Perímetro reteve uma

quantidade maior de pontos que a rotina Douglas-Peucker. Ela usa o mesmo procedimento da rotina Douglas-Peucker para selecionar os pontos que devem ser retidos e os que podem ser eliminados, mas aplica uma heurística adicional que usa a razão área-perímetro sobre os triângulos formados por cada ponto que pode ser eliminado e seus vizinhos. Desta forma, ela acaba retendo pontos que seriam eliminados pela rotina Douglas-Peucker.

A Tabela 5.7 mostra os resultados da aplicação da rotina Distância Acumulada para a redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Distância Acumulada com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.7 – Simplificação de linhas por Distância Acumulada para redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_DA08	N_PT_DA07	N_PT_DA09
SA22X_AGREG	81419	58859	62181	55870
SA22X_A05X05	79392	57681	60927	54768
SA22X_A10X10	77092	56138	59299	53296

À semelhança das outras rotinas, estes resultados também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada. A rotina Distância Acumulada reteve uma quantidade consideravelmente maior de pontos que as rotinas Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro. Neste caso, a comparação efetiva com as rotinas anteriores torna-se difícil porque não há como comparar diretamente as tolerâncias das rotinas Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro, que representam a largura de um corredor em torno das linhas, com a tolerância da rotina Distância Acumulada, que representa um comprimento contado ao longo das linhas.

Pelo mesmo motivo, as heurísticas usadas para definir os valores padrão das tolerâncias não podem ser comparadas diretamente.

A Tabela 5.8 apresenta de forma resumida, para os valores de tolerância definidos como padrão na metodologia exposta no Capítulo 4, os percentuais de redução calculados sobre o número total de pontos para cada uma das rotinas de simplificação de linhas na redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.

TABELA 5.8 – Percentual de redução do número total de pontos na mudança de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.

MAPA	DP04 (%)	AP04 (%)	DA08 (%)
SA22X_AGREG	59,9	42,3	27,7
SA22X_A05X05	57,1	42,8	27,3
SA22X_A10X10	57,2	43,8	27,2

Estes resultados mostram estabilidade e indicam que o percentual de redução parece não depender da quantidade de polígonos eliminados antes da aplicação das rotinas de simplificação de linhas.

As Figuras 5.10, 5.11 e 5.12 mostram a influência das tolerâncias escolhidas sobre os resultados da simplificação de linhas executada pelas três rotinas investigadas neste trabalho. A Figura 5.10 mostra os resultados da rotina Douglas-Peucker com uma tolerância de 0,3mm (azul claro), 0,4mm (preto) e 0,5mm (magenta). A Figura 5.11 mostra os resultados da rotina Razão Área-Perímetro com uma tolerância de 0,3mm (azul claro), 0,4mm (preto) e 0,5mm (magenta). A Figura 5.12 mostra os resultados da rotina Distância Acumulada com uma tolerância de 0,7mm (azul claro), 0,8mm (preto) e 0,9mm (magenta).

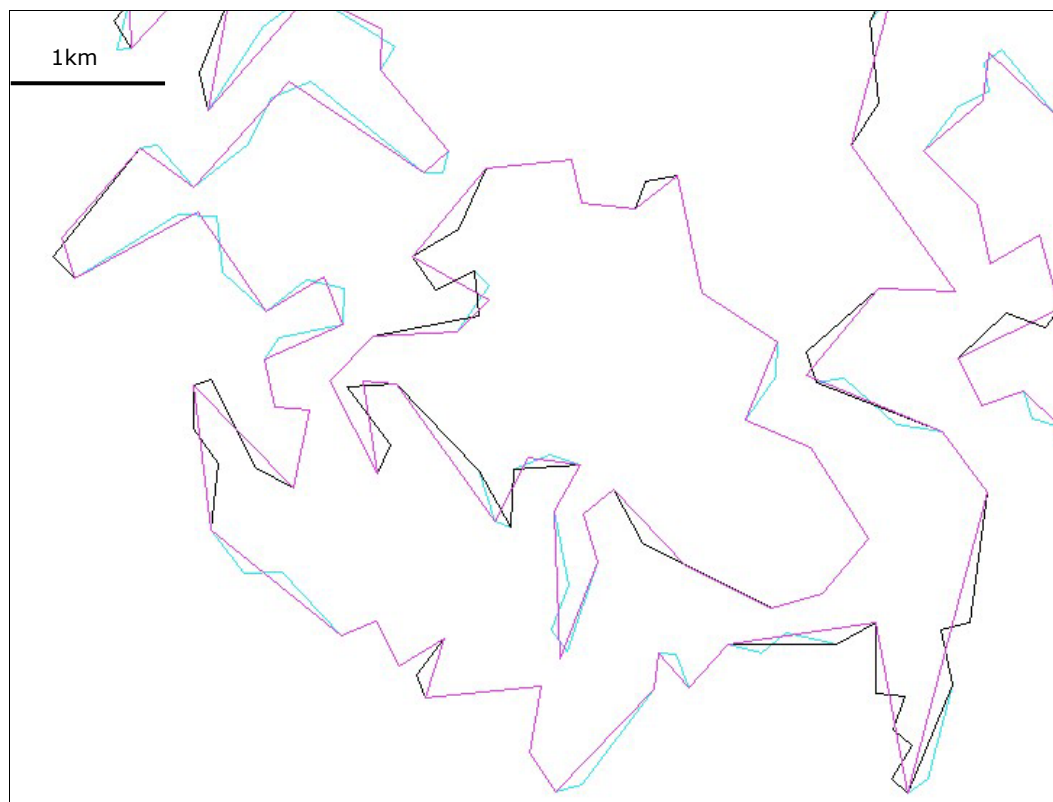


Figura 5.10 – Efeito da tolerância na rotina Douglas_Peucker.

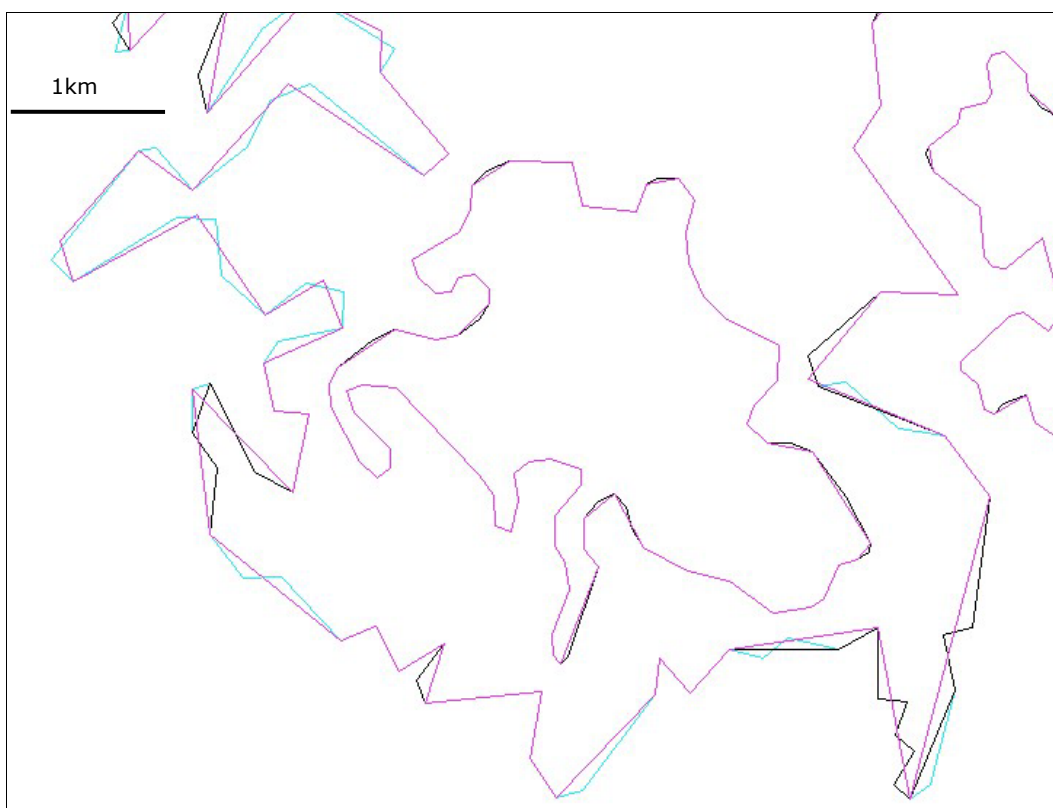


Figura 5.11 – Efeito da tolerância na rotina Razão Área-Perímetro.

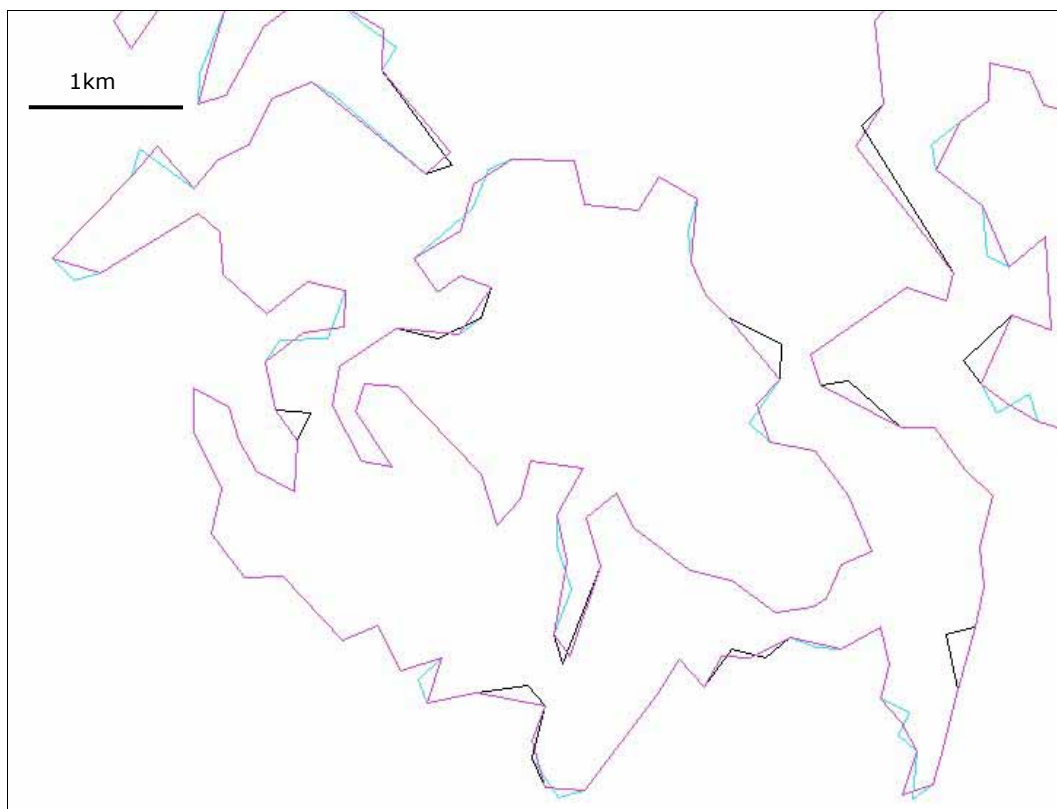


Figura 5.12 – Efeito da tolerância na rotina Distância Acumulada.

As Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 apresentam comparações entre as linhas digitais originais e as linhas processadas por cada uma das três rotinas de simplificação com as tolerâncias padrão. A Figura 5.13 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Douglas-Peucker com tolerância de 0,4mm em preto. A Figura 5.14 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Razão Área-Perímetro com tolerância de 0,4mm em verde. A Figura 5.15 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Distância Acumulada com tolerância de 0,8mm em azul. As Figuras 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam comparações entre as linhas processadas pelas rotinas de simplificação com tolerâncias padrão. Na Figura 5.16 as linhas simplificadas pela rotina Douglas-Peucker são exibidas junto com as linhas simplificadas pela rotina Razão Área-Perímetro. A Figura 5.17 compara Douglas-Peucker com Distância Acumulada e a Figura 5.18 compara Razão Área-Perímetro com Distância Acumulada.

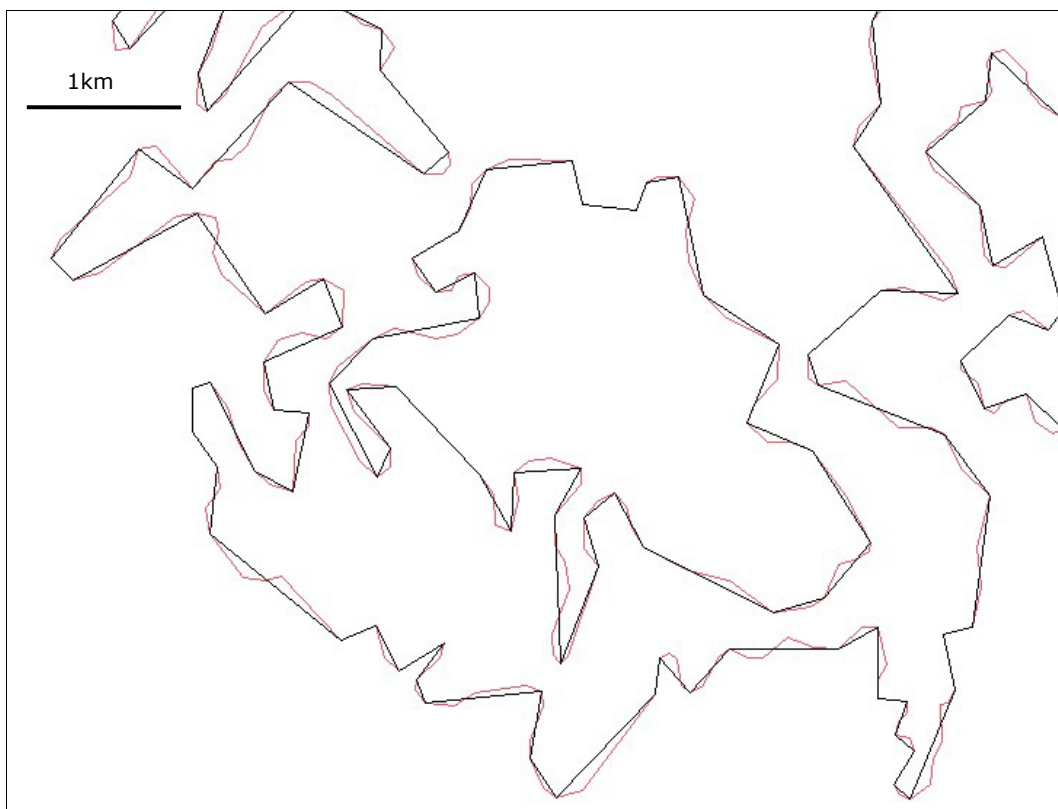


Figura 5.13 – Linhas originais e linhas simplificadas por Douglas-Peucker.

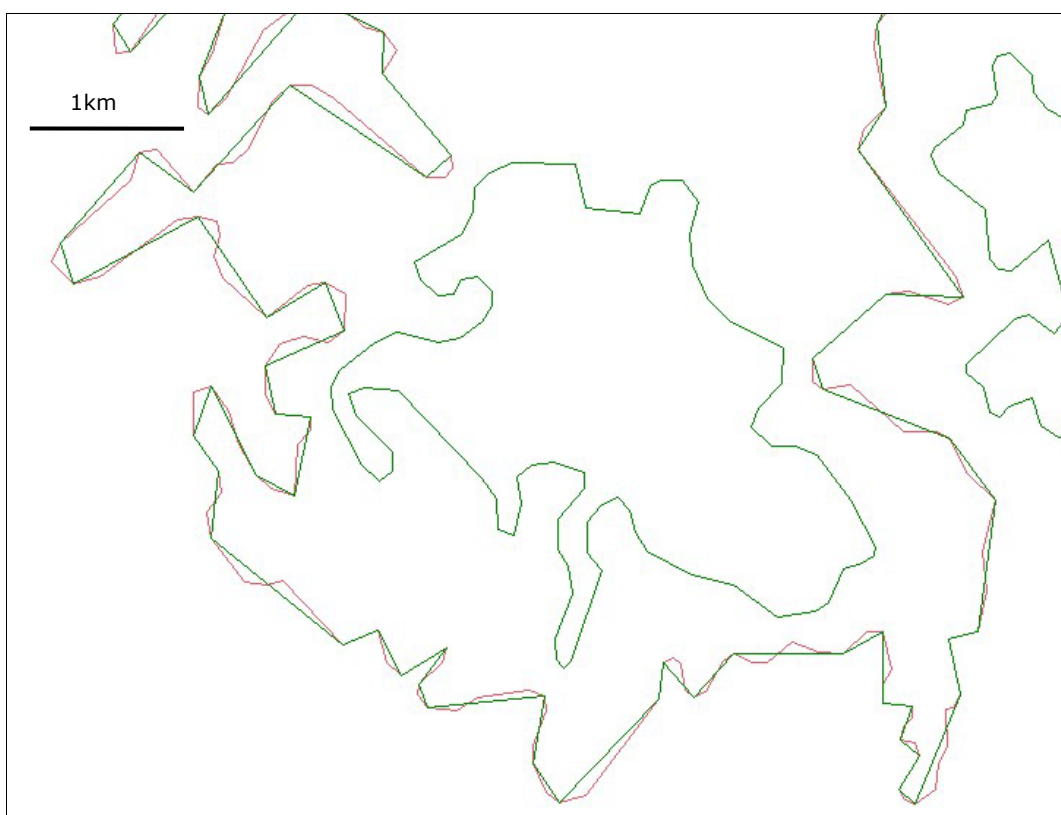


Figura 5.14 – Linhas originais e linhas simplificadas por Razão Área-Perímetro.

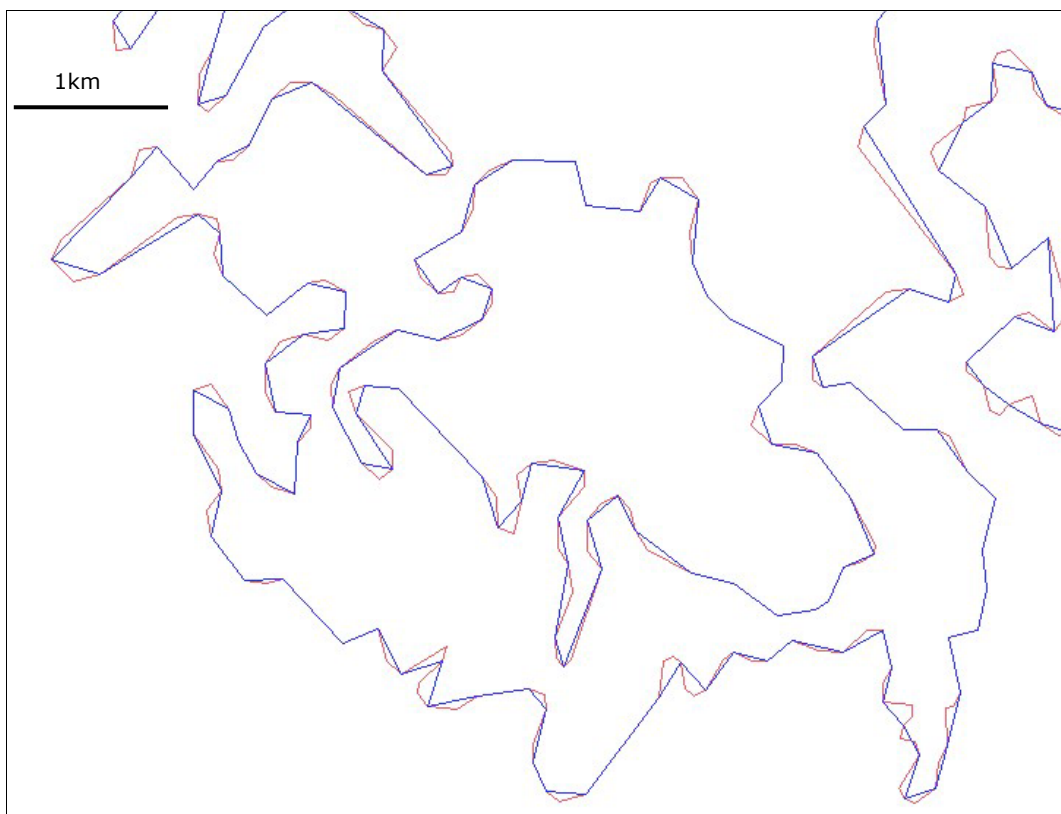


Figura 5.15 - Linhas originais e linhas simplificadas por Distância Acumulada.

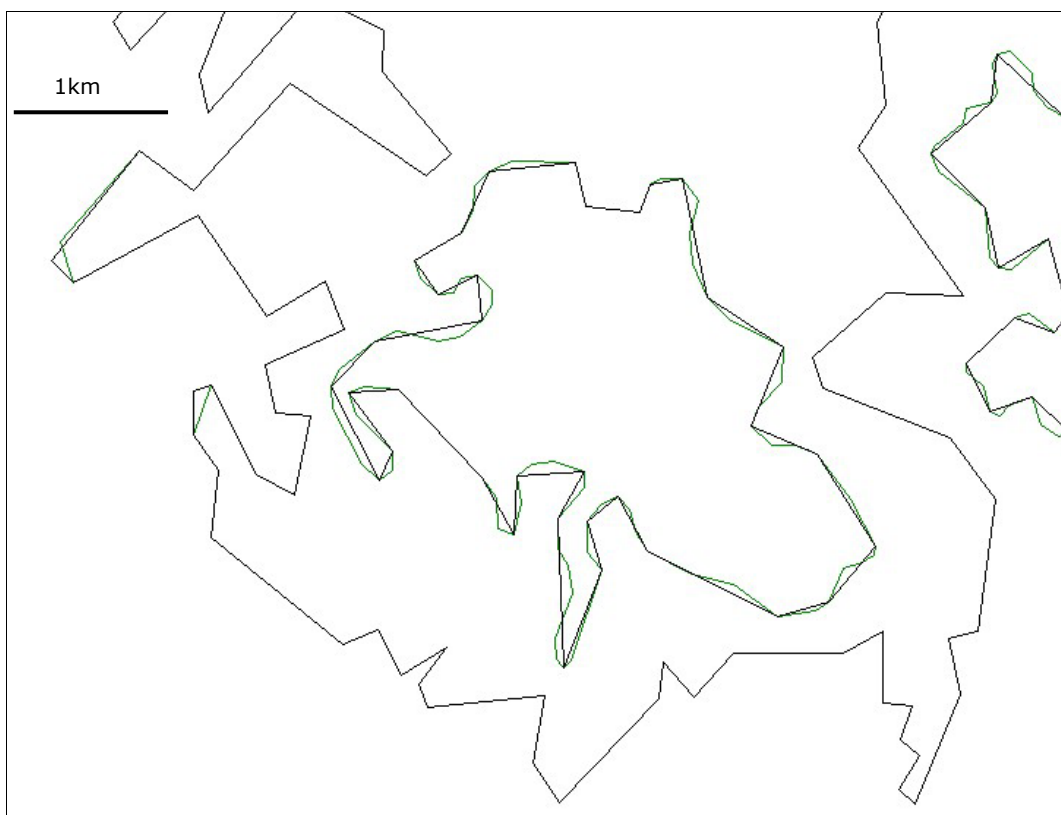


Figura 5.16 - Comparação entre Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro.

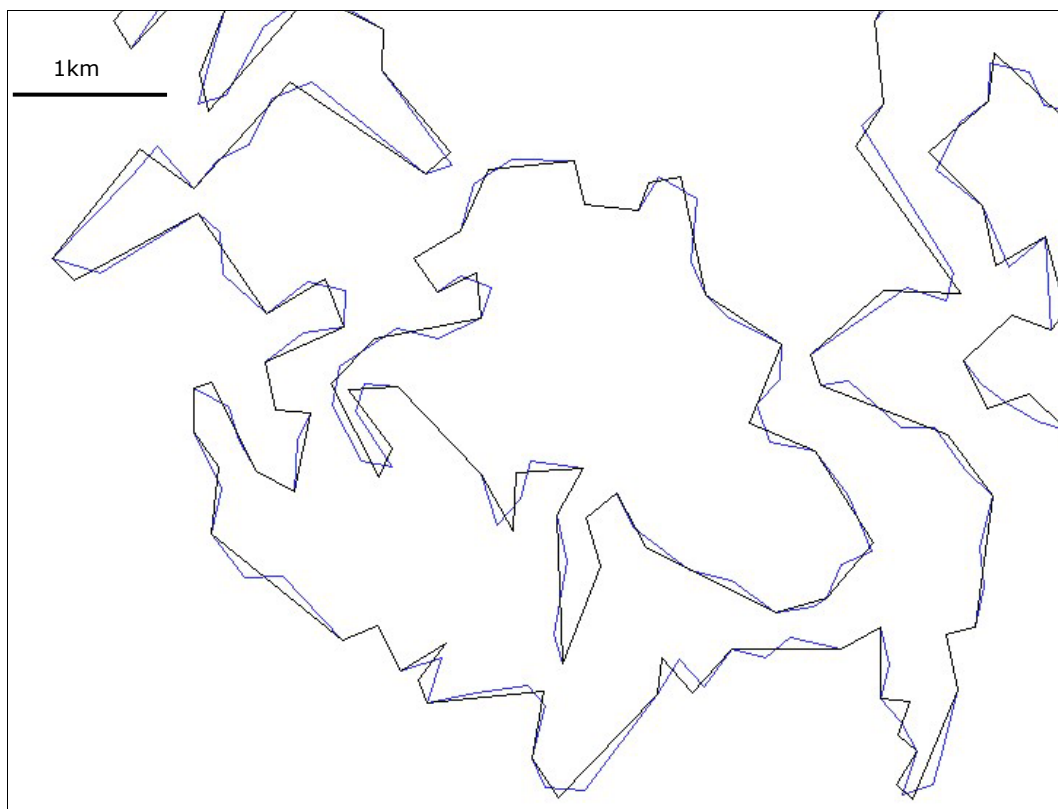


Figura 5.17 – Comparação entre Douglas-Peucker e Distância Acumulada.

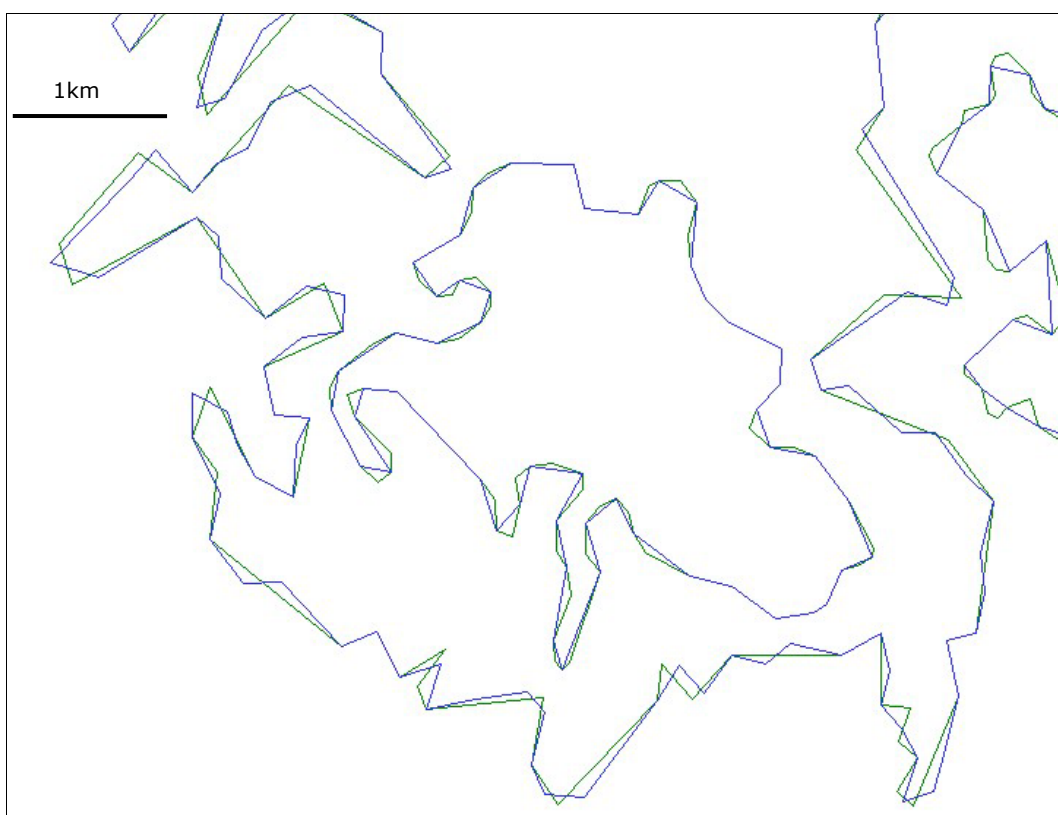


Figura 5.18 – Comparação entre Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada.

A Figura 5.19 mostra a superposição do resultado da simplificação de linhas feito pela rotina Douglas-Peucker com tolerância de 0,4mm (linhas pretas mais espessas) com o mapa de vegetação fornecido pelo IBGE na escala 1:1.000.000 em formato matricial. Nota-se que há uma adequação razoável entre o mapa do IBGE e aquilo que foi produzido pelo modelo de generalização neste trabalho para a redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000.

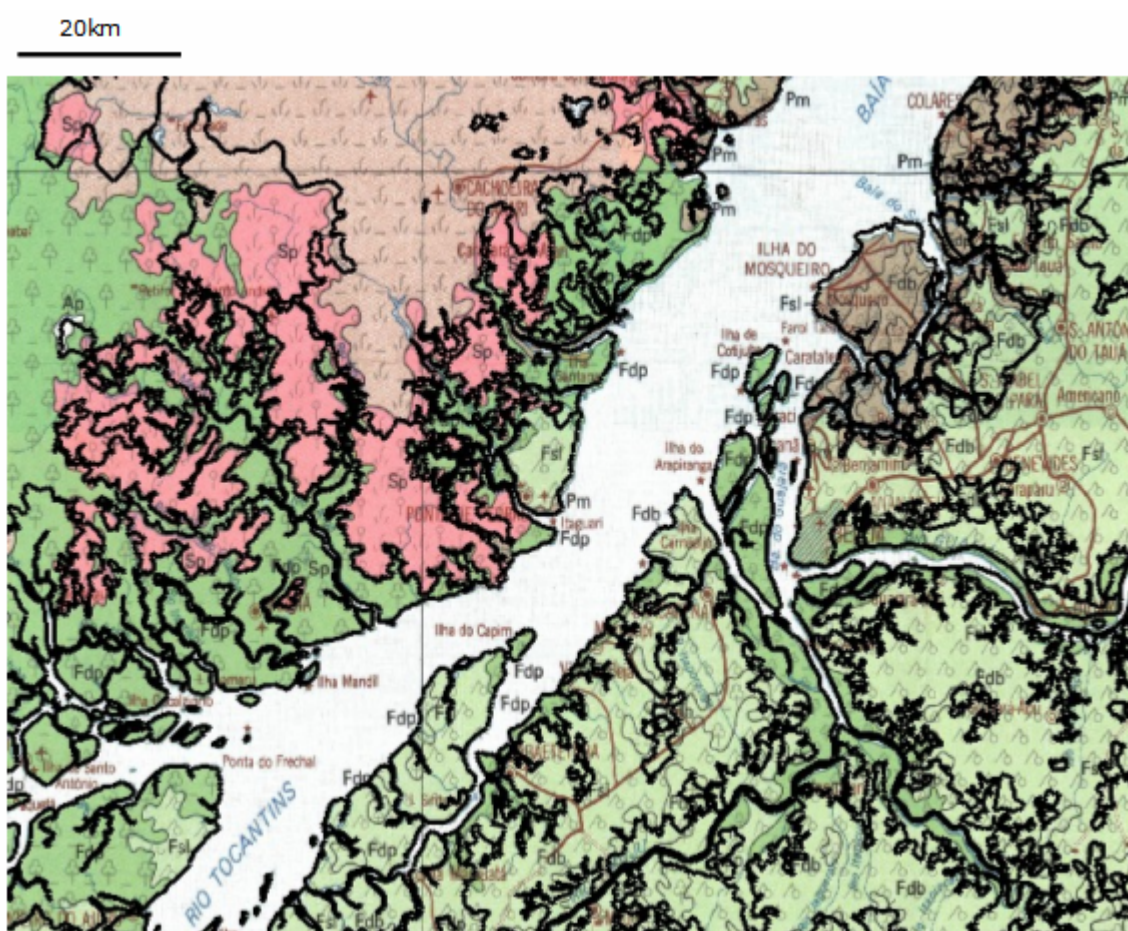


Figura 5.19 – Superposição entre linhas simplificadas por Douglas-Peucker e mapa de vegetação na escala 1:1.000.000.

5.4.2.2 Redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000

A Tabela 5.9 mostra os resultados da aplicação da rotina Douglas-Peucker para esta faixa de redução de escala. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número

total de pontos que resulta do uso da rotina Douglas-Peucker com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.9 – Simplificação de linhas por Douglas-Peucker para redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_DP05	N_PT_DP04	N_PT_DP06
SA22X_AGREG	33913	11276	13357	9880
SA22X_A05X05	28733	9726	11476	8543
SA22X_A10X10	24347	8257	9754	7256

De forma semelhante ao que foi mostrado na Tabela 5.5, os resultados para esta faixa de redução de escala também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada.

A Tabela 5.10 mostra os resultados da aplicação da rotina Razão Área-Perímetro para a redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Razão Área-Perímetro com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.10 – Simplificação de linhas por Razão Área-Perímetro para redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_AP05	N_PT_AP04	N_PT_AP06
SA22X_AGREG	33913	16486	19075	14586
SA22X_A05X05	28733	12562	14611	11061
SA22X_A10X10	24347	9981	11622	8765

Estes resultados também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada. Já se explicou que a rotina Razão Área-Perímetro retém uma quantidade maior de pontos que a rotina Douglas-Peucker. Esta característica também pode ser observada para esta faixa de redução de escala.

A Tabela 5.11 mostra os resultados da aplicação da rotina Distância Acumulada para a redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Distância Acumulada com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.11 – Simplificação de linhas por Distância Acumulada para redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_DA10	N_PT_DA09	N_PT_DA15
SA22X_AGREG	33913	17184	18359	13381
SA22X_A05X05	28733	14945	15936	11693
SA22X_A10X10	24347	12790	13627	9998

À semelhança das outras rotinas, estes resultados também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada. Desta vez, os resultados mostram que a rotina Distância Acumulada ainda reteve uma quantidade maior de pontos que a rotina Douglas-Peucker, mas já não há muita diferença entre a quantidade de pontos retidos pelas rotinas Distância Acumulada e Razão Área-Perímetro. É oportuno lembrar que a quantidade de linhas e polígonos que compõem os arquivos originais nesta faixa de redução de escala é bem menor que na faixa de redução de escala entre 1:250.000 e 1:1.000.000. É natural, portanto, que comecem a diminuir as diferenças entre a quantidade de pontos retidos por cada rotina.

A Tabela 5.12 apresenta de forma resumida, para os valores de tolerância definidos como padrão na metodologia exposta no Capítulo 4, os percentuais de redução calculados sobre o número total de pontos para cada uma das rotinas de simplificação de linhas na redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.

TABELA 5.12 – Percentual de redução do número total de pontos na mudança de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.

MAPA	DP05 (%)	AP05 (%)	DA10 (%)
SA22X_AGREG	66,7	51,3	49,3
SA22X_A05X05	66,1	56,2	47,9
SA22X_A10X10	66,1	59,0	47,4

Pode-se dizer que estes resultados continuam mostrando estabilidade, apesar de ter havido uma variação pequena para a rotina Razão Área-Perímetro. Permanece a indicação de que o percentual de redução parece não depender da quantidade de polígonos eliminados antes da aplicação das rotinas de simplificação de linhas.

As Figuras 5.20, 5.21 e 5.22 apresentam comparações entre as linhas digitais originais e as linhas processadas por cada uma das três rotinas de simplificação com as tolerâncias padrão. A Figura 5.20 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Douglas-Peucker com tolerância de 0,5mm em preto. A Figura 5.21 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Razão Área-Perímetro com tolerância de 0,5mm em verde. A Figura 5.22 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Distância Acumulada com tolerância de 1mm em azul. As Figuras 5.23, 5.24 e 5.25 apresentam comparações entre as linhas processadas pelas rotinas de simplificação com tolerâncias padrão. Na Figura 5.23 as linhas simplificadas pela rotina Douglas-Peucker são exibidas junto com as linhas simplificadas pela rotina Razão Área-Perímetro. A Figura 5.24 compara Douglas-Peucker com Distância Acumulada e a Figura 5.25 compara Razão Área-Perímetro com Distância Acumulada.

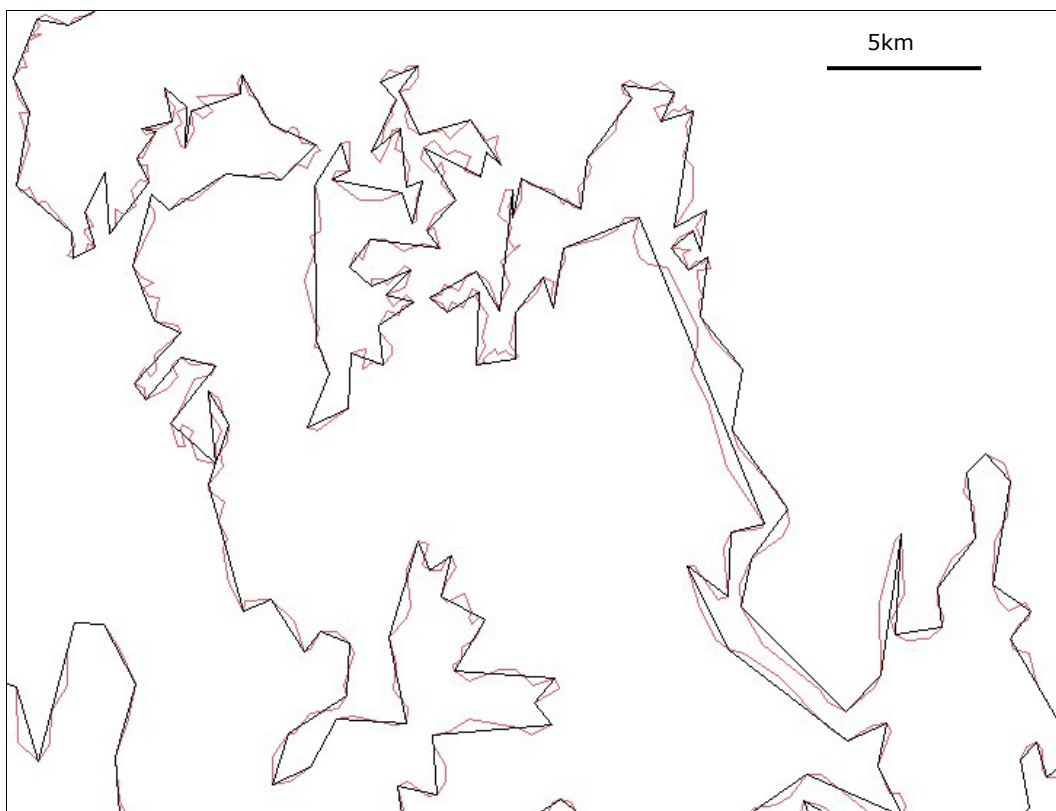


Figura 5.20 – Linhas originais e linhas simplificadas por Douglas-Peucker.

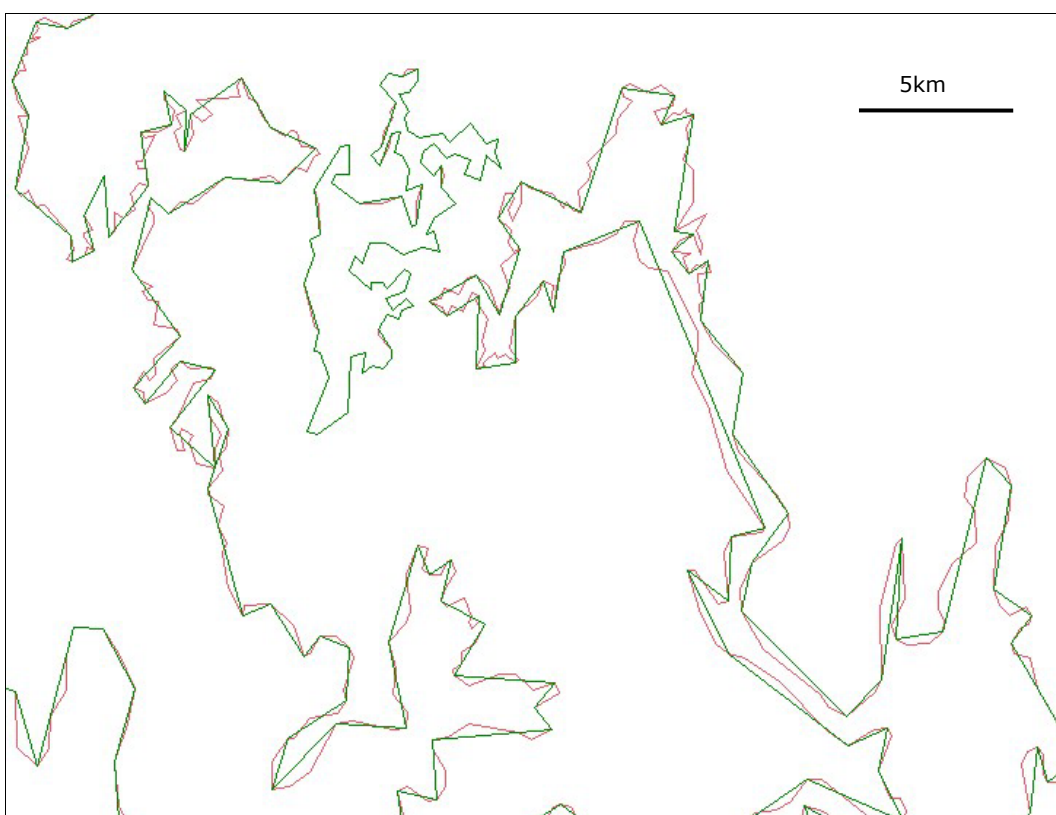


Figura 5.21 – Linhas originais e linhas simplificadas por Razão Área-Perímetro.

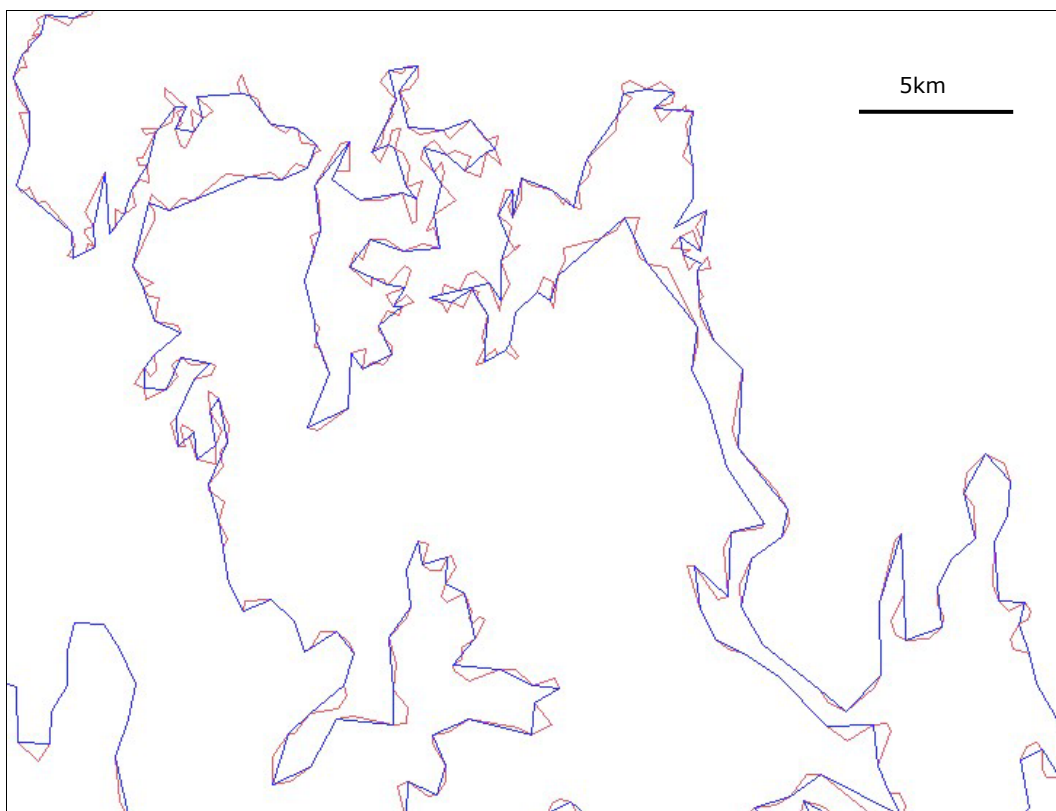


Figura 5.22 – Linhas originais e linhas simplificadas por Distância Acumulada.



Figura 5.23 – Comparação entre Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro.

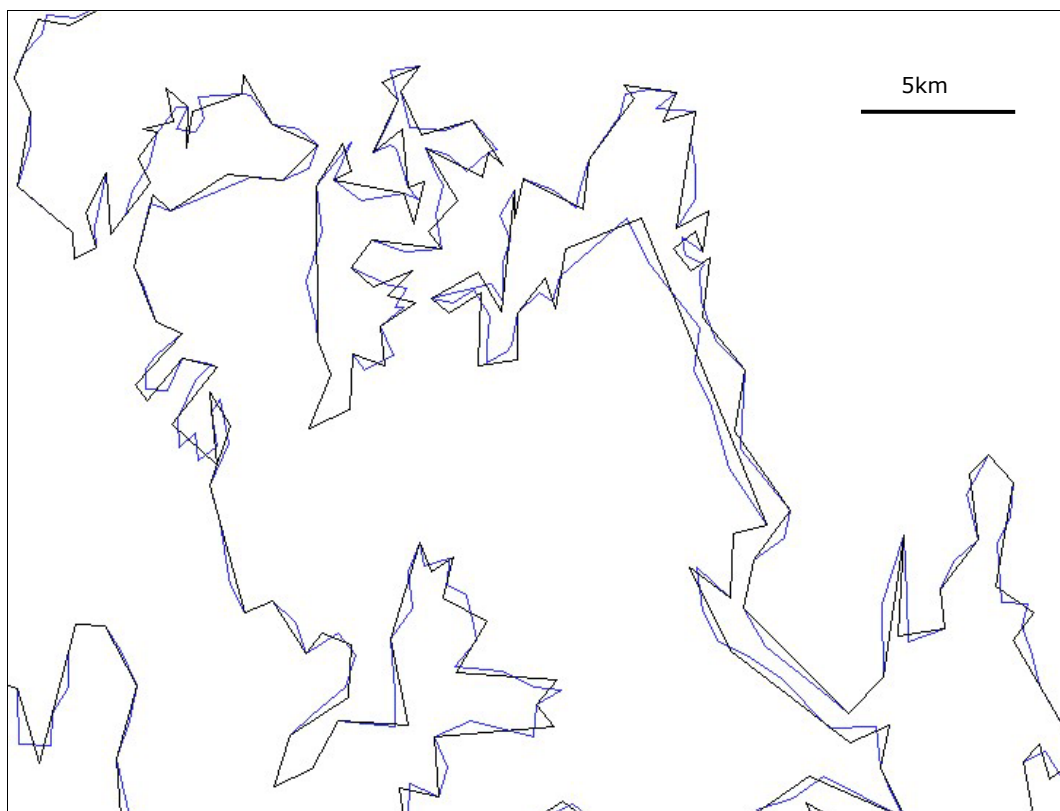


Figura 5.24 – Comparação entre Douglas-Peucker e Distância Acumulada.

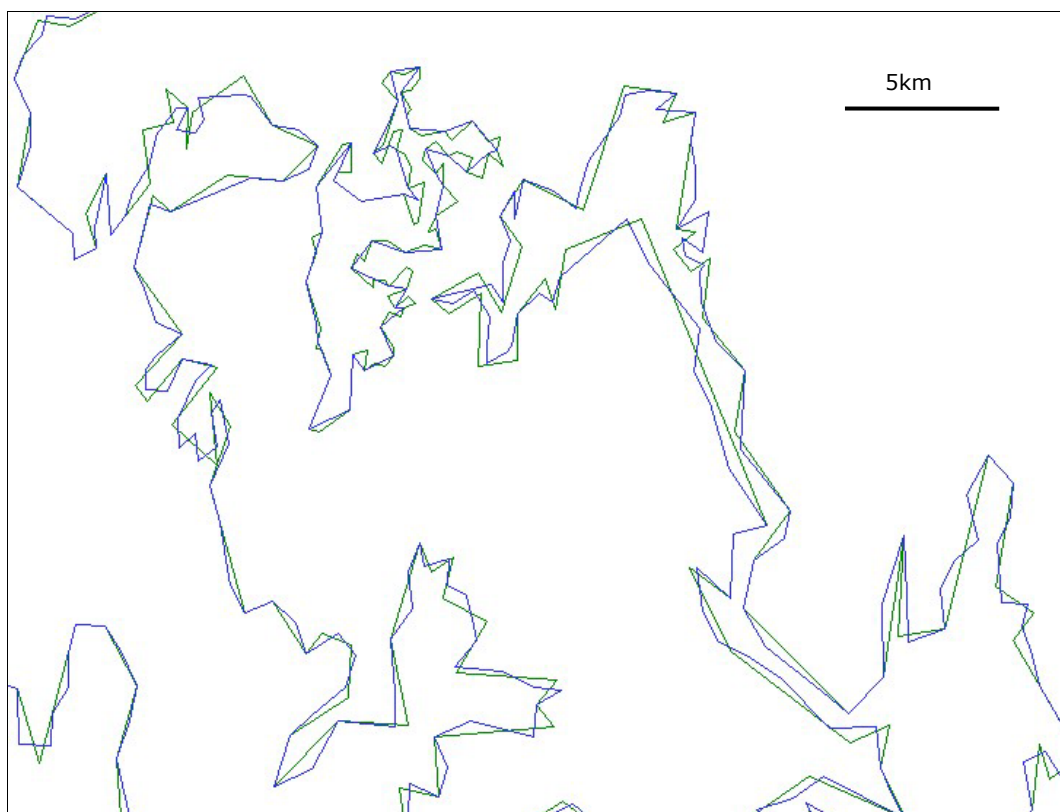


Figura 5.25 – Comparação entre Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada.

A Figura 5.26 mostra a superposição do resultado da simplificação de linhas feito pela rotina Douglas-Peucker com tolerância de 0,5mm (linhas pretas) com o mapa de vegetação fornecido pelo IBGE na escala 1:5.000.000 em formato "shapefile" (linhas vermelhas). A área geográfica é a mesma que aparece na Figura 5.19. Nota-se que já não há uma adequação razoável entre o mapa do IBGE e aquilo que foi produzido pelo modelo de generalização neste trabalho para a redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.

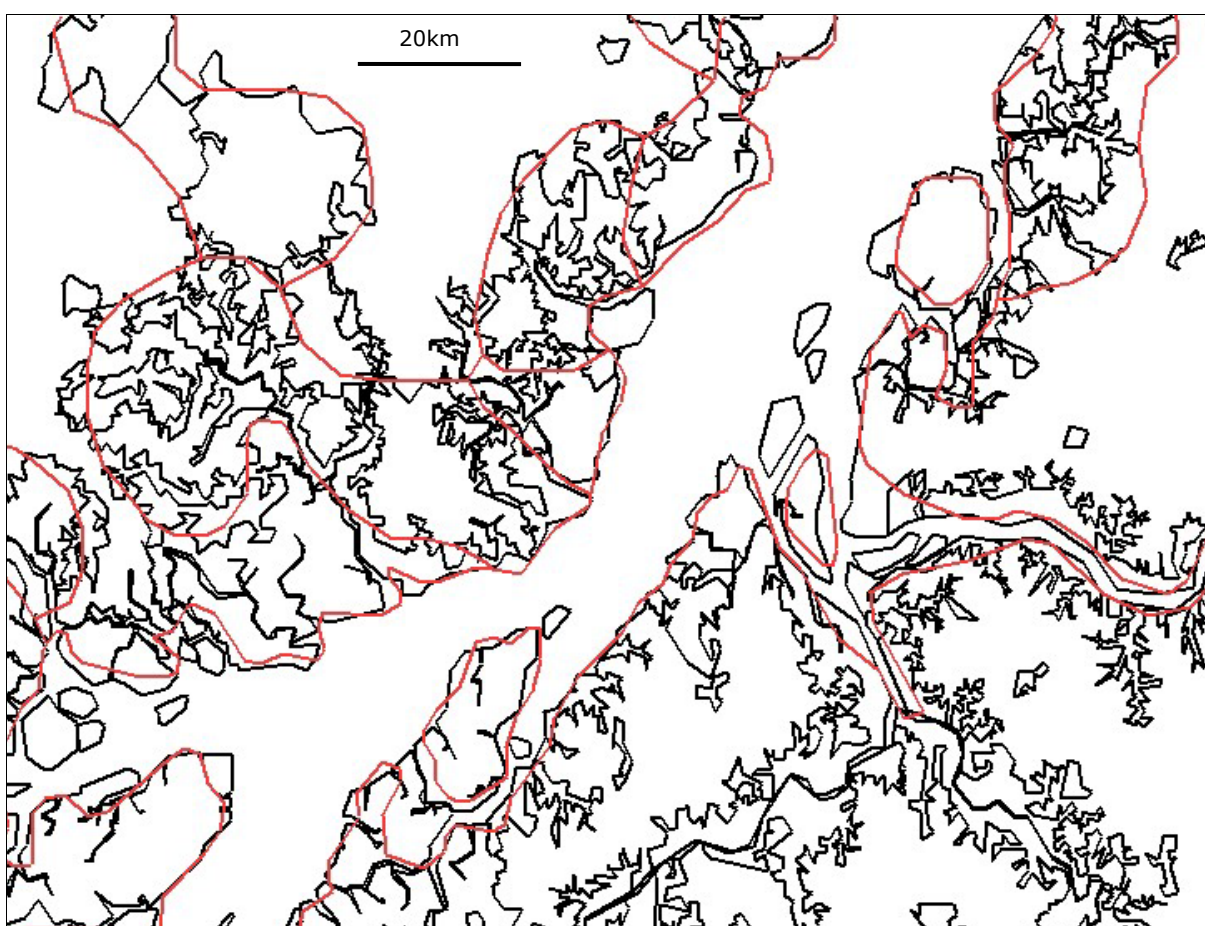


Figura 5.26 – Superposição entre linhas simplificadas por Douglas-Peucker e mapa de vegetação na escala 1:5.000.000.

5.4.2.3 Redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000

A Tabela 5.13 mostra os resultados da aplicação da rotina Douglas-Peucker para esta faixa de redução de escala. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o

número total de pontos que resulta do uso da rotina Douglas-Peucker com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.13 – Simplificação de linhas por Douglas-Peucker para redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_DP03	N_PT_DP02	N_PT_DP04
SA22X_AGREG	10373	4526	6176	3662
SA22X_A05X05	6580	2924	3953	2409
SA22X_A10X10	4648	2117	2804	1775

De forma semelhante ao que foi mostrado na Tabela 5.9, os resultados para esta faixa de redução de escala também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada.

A Tabela 5.14 mostra os resultados da aplicação da rotina Razão Área-Perímetro para a redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Razão Área-Perímetro com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.14 – Simplificação de linhas por Razão Área-Perímetro para redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_AP03	N_PT_AP02	N_PT_AP04
SA22X_AGREG	10373	6174	7198	5645
SA22X_A05X05	6580	3234	4064	2801
SA22X_A10X10	4648	2054	2688	1718

Estes resultados também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada. A maior retenção de pontos da rotina Razão Área-Perímetro quando comparada à rotina Douglas-Peucker pode ser novamente observada para esta faixa de redução de escala.

A Tabela 5.15 mostra os resultados da aplicação da rotina Distância Acumulada para a redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000. O número total de pontos de cada mapa antes da simplificação de linhas é apresentado junto com o número total de pontos que resulta do uso da rotina Distância Acumulada com as tolerâncias descritas no Capítulo 4.

TABELA 5.15 – Simplificação de linhas por Distância Acumulada para redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

MAPA	N_PT_ANTES	N_PT_DA06	N_PT_DA05	N_PT_DA07
SA22X_AGREG	10373	5759	6309	5311
SA22X_A05X05	6580	3839	4195	3533
SA22X_A10X10	4648	2733	2981	2527

À semelhança das outras rotinas, estes resultados também são coerentes entre si porque preservam a característica de diminuição do número de pontos das linhas em função do aumento da tolerância usada. Outra vez, os resultados mostram que a rotina Distância Acumulada ainda reteve uma quantidade maior de pontos que a rotina Douglas-Peucker, mas já não há muita diferença entre a quantidade de pontos retidos pelas rotinas Distância Acumulada e Razão Área-Perímetro. É oportuno lembrar que a quantidade de linhas e polígonos que compõem os arquivos originais nesta faixa de redução de escala é bem menor que na faixa de redução de escala entre 1:1.000.000 e 1:5.000.000. É natural, portanto, que continuem a cair as diferenças entre a quantidade de pontos retidos por cada rotina.

A Tabela 5.16 apresenta de forma resumida, para os valores de tolerância definidos como padrão na metodologia exposta no Capítulo 4, os percentuais de redução calculados sobre o número total de pontos para cada uma das rotinas de simplificação de linhas na redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

TABELA 5.16 – Percentual de redução do número total de pontos na mudança de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

MAPA	DP03 (%)	AP03 (%)	DA06 (%)
SA22X_AGREG	56,3	40,4	44,4
SA22X_A05X05	55,5	50,8	41,6
SA22X_A10X10	54,4	55,8	41,2

Com exceção da rotina Razão Área-Perímetro, pode-se dizer que estes resultados continuam mostrando estabilidade e indicam que o percentual de redução parece não depender da quantidade de polígonos eliminados antes da aplicação das rotinas de simplificação de linhas.

As Figuras 5.27, 5.28 e 5.29 apresentam comparações entre as linhas digitais originais e as linhas processadas por cada uma das três rotinas de simplificação com as tolerâncias padrão. A Figura 5.27 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Douglas-Peucker com tolerância de 0,3mm em preto. A Figura 5.28 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Razão Área-Perímetro com tolerância de 0,3mm em verde. A Figura 5.29 mostra as linhas digitais originais em vermelho e as linhas simplificadas pela rotina Distância Acumulada com tolerância de 0,6mm em azul. As Figuras 5.30, 5.31 e 5.32 apresentam comparações entre as linhas processadas pelas rotinas de simplificação com tolerâncias padrão. Na Figura 5.30 as linhas simplificadas pela rotina Douglas-Peucker são exibidas junto com as linhas simplificadas pela rotina Razão Área-Perímetro. A Figura 5.31 compara Douglas-Peucker com Distância Acumulada e a Figura 5.32 compara Razão Área-Perímetro com Distância Acumulada.

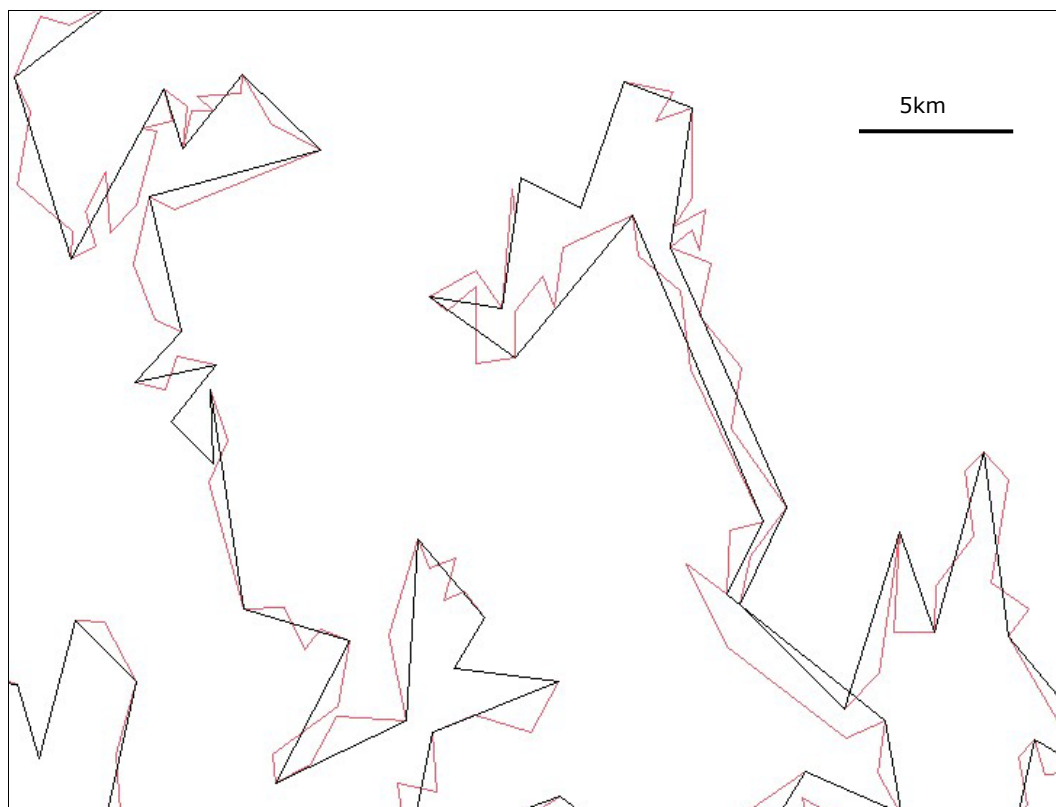


Figura 5.27 – Linhas originais e linhas simplificadas por Douglas-Peucker.

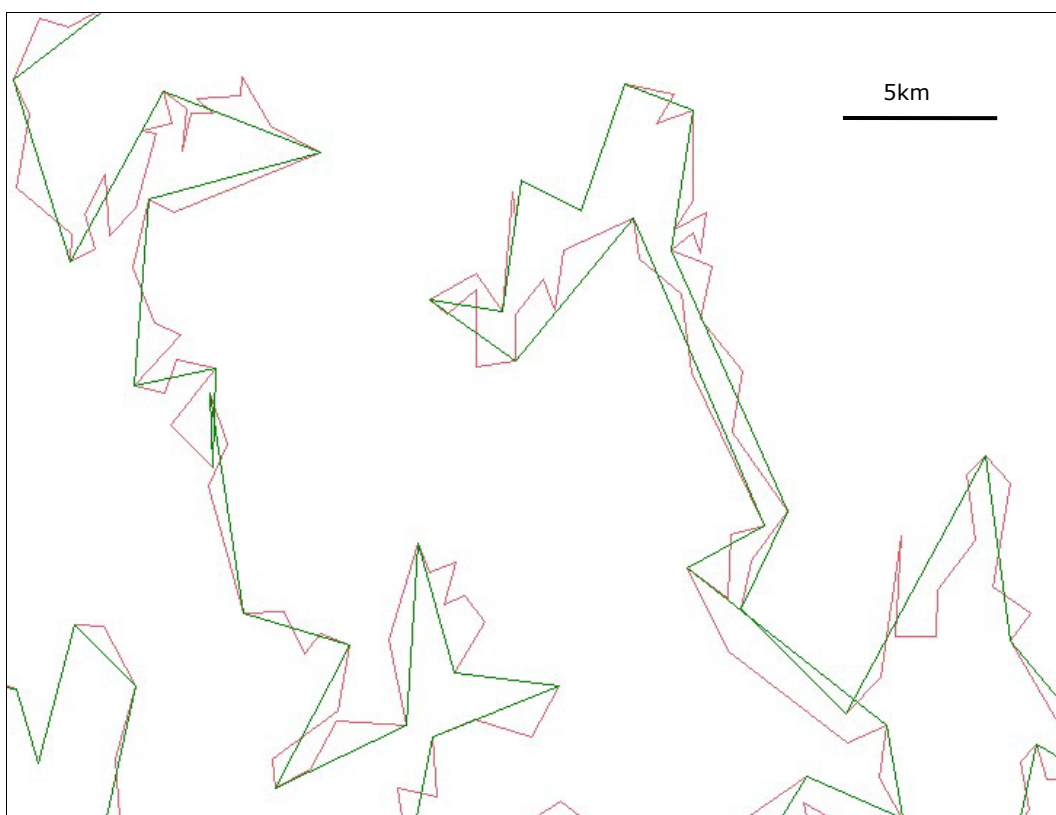


Figura 5.28 – Linhas originais e linhas simplificadas por Razão Área-Perímetro.

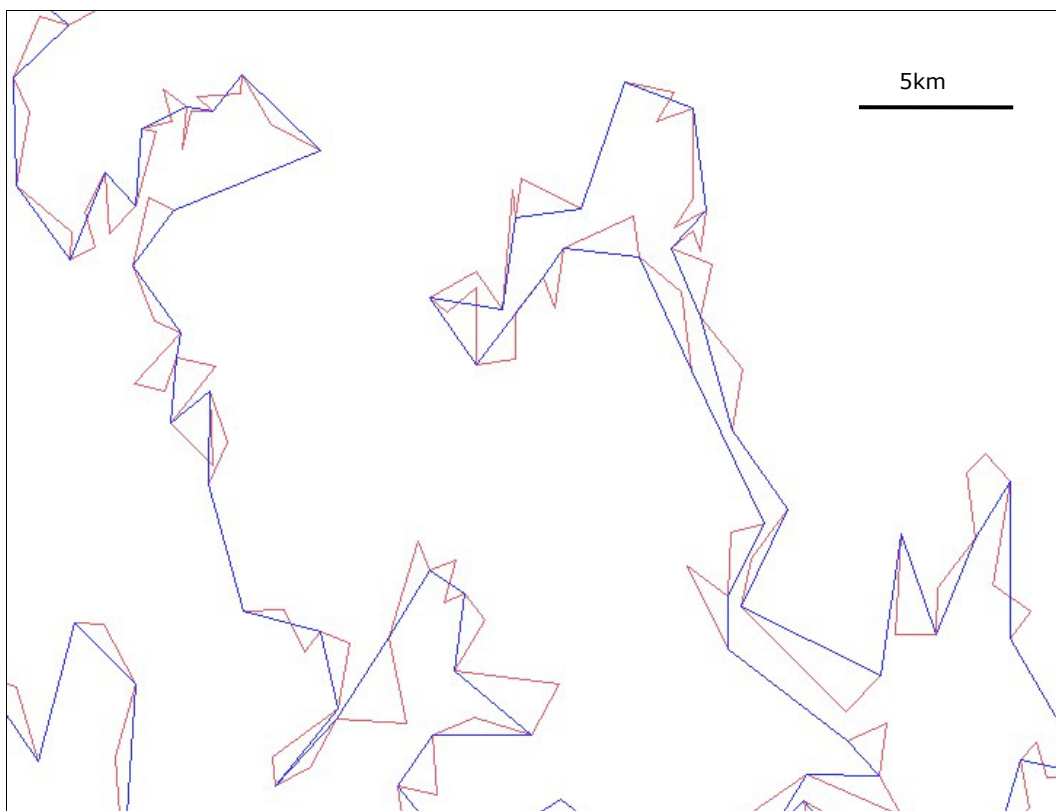


Figura 5.29 – Linhas originais e linhas simplificadas por Distância Acumulada.

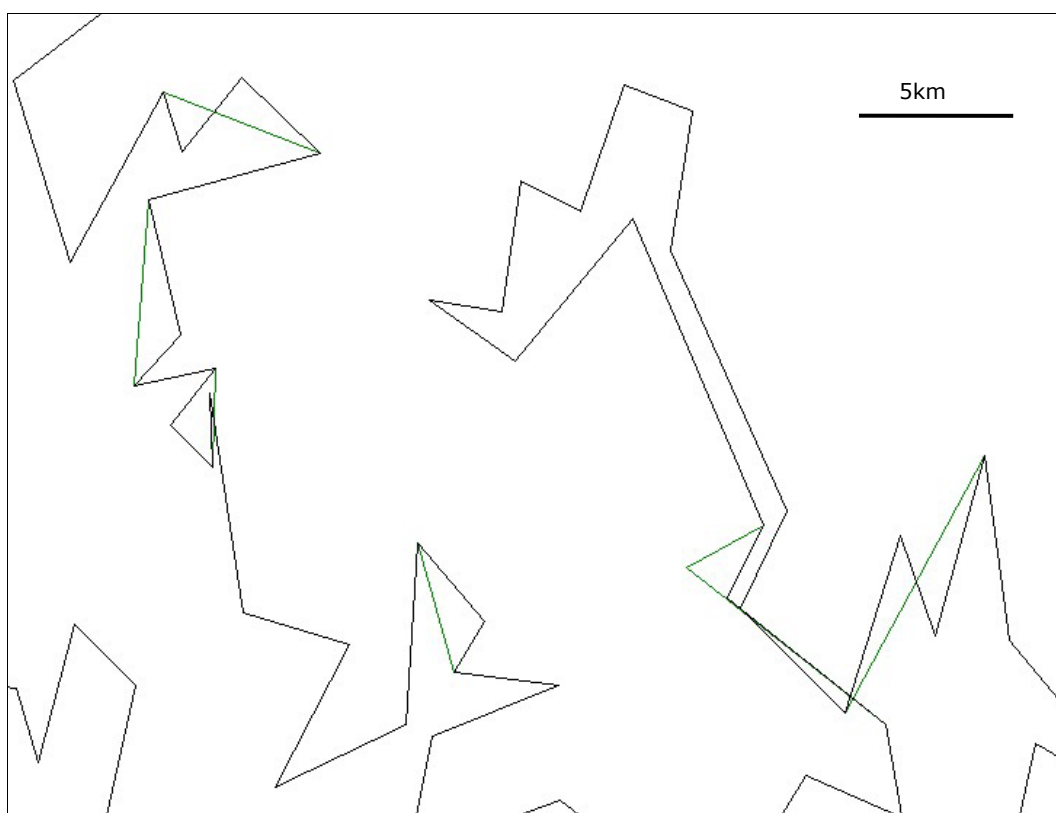


Figura 5.30 – Comparação entre Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro.

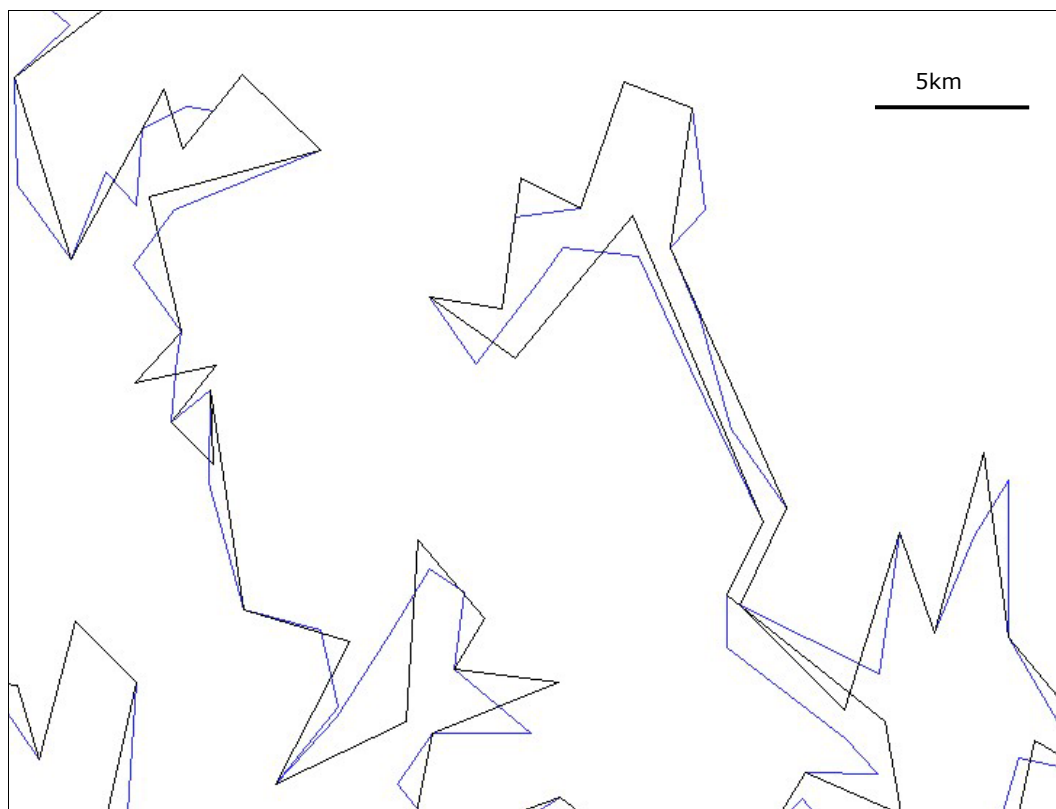


Figura 5.31 – Comparação entre Douglas-Peucker e Distância Acumulada.



Figura 5.32 – Comparação entre Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada.

A Figura 5.33 mostra a superposição do resultado da simplificação de linhas feito pela rotina Douglas-Peucker com tolerância de 0,3mm (linhas pretas) com o mapa de vegetação fornecido pelo IBGE na escala 1:15.000.000 em formato "shapefile" (linhas vermelhas). A área geográfica é a mesma que aparece na Figura 5.26. Nota-se que não há adequação alguma entre o mapa do IBGE e aquilo que foi produzido pelo modelo de generalização neste trabalho para a redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

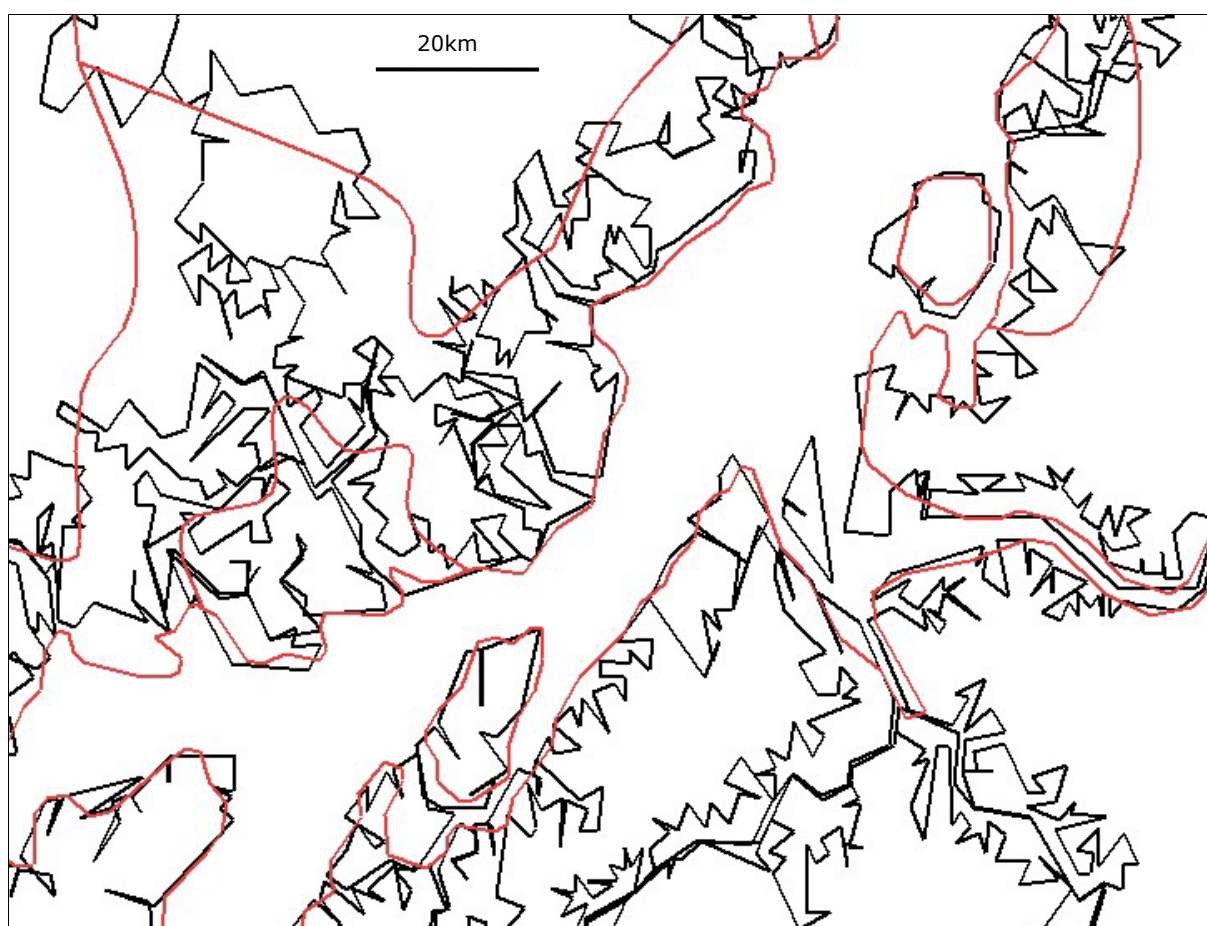


Figura 5.33 - Superposição entre linhas simplificadas por Douglas-Peucker e mapa de vegetação na escala 1:15.000.000

5.5 Síntese da análise de resultados

Ao contrário do que é mais comum de se fazer em trabalhos científicos, separando-se os resultados da análise propriamente dita, a estratégia adotada neste trabalho foi a de intercalar resultados com comentários e análises neste capítulo. Desta forma, privilegiou-se o entendimento imediato dos resultados de cada uma das três etapas que compõem o modelo de generalização usado na pesquisa.

Na etapa de limpeza de dados os resultados mostram que a eliminação de redundância variou de 23% a 41% nos quatro mapas originais na escala 1:250.000. É importante que se considere a limpeza de dados como parte integrante do conjunto de procedimentos usados para a inserção de quaisquer dados vetoriais na base de dados de um SIG. Como se trata de uma simplificação de linhas com tolerância mínima, a limpeza de dados não deve ser feita automaticamente. É melhor que ela seja realizada de forma supervisionada, de modo que se consiga avaliar o nível de redundância que efetivamente existe nos dados.

A etapa de simplificação da base de dados, executada no TERRAVIEW, teve o objetivo de reclassificar os mapas de vegetação de acordo com as regras e classes descritas no Apêndice A. Com o uso da operação de agregação foi possível reclassificar todos os polígonos que pertenciam a uma mesma classe após o uso de um dos conjuntos de regras. Como resultado, o conteúdo temático de cada mapa adequou-se às três escalas usadas neste trabalho.

A etapa de simplificação cartográfica incluiu um procedimento inicial de eliminação de polígonos seguido da simplificação de linhas. A eliminação de polígonos foi feita com base num critério de área mínima representável em cada uma das escalas e buscou, adicionalmente, contribuir com a minimização de problemas topológicos criados pela simplificação de linhas sobre pequenos polígonos isolados.

A etapa de simplificação de linhas foi testada por meio das três rotinas implementadas no SPRING: Douglas-Peucker, Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada. Optou-se pela apresentação dos resultados e das respectivas análises de forma separada em função das três faixas de redução de escala usadas na pesquisa. De um modo geral, as rotinas de simplificação comportaram-se adequadamente quando a mudança de escala não foi grande, como no caso da redução de 1:250.000 para 1:1.000.000. Nos outros casos, entenda-se que a redução de escala foi pequena em tese, mas na prática não o foi. Os mapas usados na redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000 foram aqueles que resultaram do procedimento de generalização para a escala 1:1.000.000. De modo análogo, os mapas usados na redução de escala de 1:5.000.000 para 1:15.000.000 foram aqueles gerados pelo procedimento de generalização para a escala 1:5.000.000. Assim, para as faixas de redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000 e de 1:5.000.000 para 1:15.000.000, as simplificações foram, na verdade, aplicadas sobre resultados de simplificações anteriores. Portanto, tudo se passou como se os mapas na escala 1:5.000.000 tivessem sido gerados a partir dos mapas na escala 1:250.000. Isto envolve uma redução de escala de vinte vezes e uma tolerância padrão de 2mm para a rotina Douglas-Peucker. No caso dos mapas na escala 1:15.000.000, a redução de escala é de sessenta vezes e a tolerância padrão para a rotina Douglas-Peucker é de 6mm. Esta é a razão principal dos resultados para estas duas faixas de redução de escala não terem se mostrado adequados quando comparados com os mapas produzidos manualmente nas escalas 1:5.000.000 e 1:15.000.000. No entanto, isto vem de encontro aos objetivos da pesquisa e os resultados que mostram casos de inadequação são tão importantes quanto os que indicam o caminho da adequação.

As Figuras 5.34, 5.35 e 5.36 mostram como os resultados foram adequados no caso de redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000

e começaram a ter problemas topológicos nos casos de redução de escala de 1:1.000.000 para 1:5.000.000 e de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.



Figura 5.34 – Resultado adequado na mudança de 1:250.000 para 1:1.000.000.

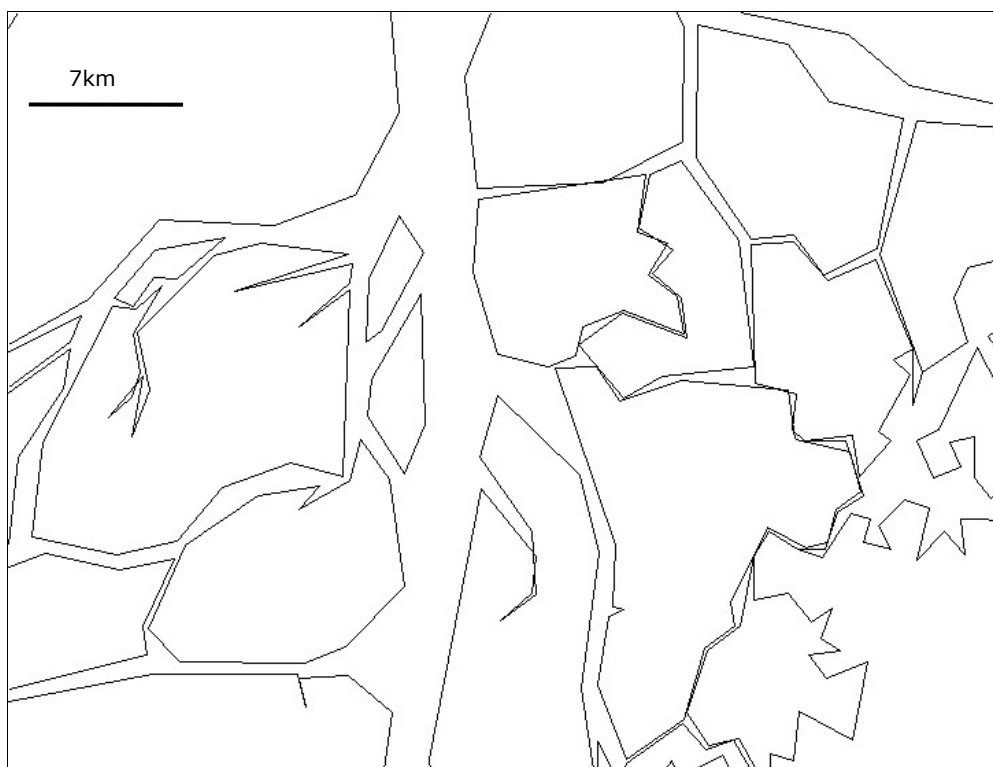


Figura 5.35 – Problemas topológicos na mudança de 1:1.000.000 para 1:5.000.000.



Figura 5.36 – Problemas topológicos na mudança de 1:5.000.000 para 1:15.000.000.

É exatamente por razões como estas, que acabaram de ser expostas neste trabalho, que se buscou uma área de estudo com as características apropriadas às finalidades da pesquisa. Estes últimos exemplos, que mostram rios mais largos junto com rios mais finos, cheios de sinuosidade e com a existência de pequenas ilhas, serviram para ilustrar como as rotinas de simplificação se comportam na presença de uma representação cartográfica mais complexa.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Este trabalho propôs um modelo de generalização cartográfica para os mapas de vegetação da Amazônia Brasileira. Três processos principais foram aplicados: limpeza de dados, simplificação da base de dados e simplificação cartográfica. A etapa de limpeza de dados foi executada através de uma simplificação de linhas com tolerância mínima para a eliminação de redundâncias presentes nas linhas digitais. A simplificação da base de dados compreendeu uma generalização categórica dos mapas de vegetação de modo a torná-los compatíveis com níveis de menor detalhamento. A simplificação cartográfica usou uma ferramenta para a eliminação de polígonos considerados pequenos e aplicou três rotinas diferentes para simplificação de linhas com base nas mudanças de escala pretendidas.

Os resultados observados após a etapa de limpeza de dados realizada no SPRING foram coerentes com o que já se havia testado anteriormente com o uso de simplificação de linhas com tolerância mínima para eliminação de redundâncias (D'ALGE e GOODCHILD, 1993). Os percentuais de redução, que variaram entre 28% e 41%, respondem pela quantidade de pontos que foram eliminados sem prejuízo perceptível na representação das linhas que compõem os mapas. Isto significa que se os mapas resultantes desta etapa forem comparados visualmente aos mapas originais, na escala original, não se percebem diferenças. Sugere-se que a limpeza de dados por simplificação de linhas com tolerância mínima seja usada como ferramenta complementar, de forma supervisionada, às rotinas de importação de dados vetoriais em SIG. Desta forma sempre será possível armazenar arquivos vetoriais com o menor número de pontos que não interfira nas representações gráficas.

A simplificação da base de dados foi feita no TERRAVIEW através de uma operação de agregação sobre a coluna de atributos que contém as classes temáticas de vegetação para cada escala de trabalho. A simplificação da base de dados, que corresponde a uma generalização categórica, resultou das reclassificações fisionômicas apresentadas no Apêndice A, a partir do uso dos conjuntos de regras lá expostos. Embora a definição correta de como a classificação fisionômica deva variar com a escala não tenha sido um dos objetivos deste trabalho, a simplificação da base de dados procurou ser coerente com as classificações apresentadas nos mapas disponíveis em escalas menores.

A etapa de simplificação cartográfica foi toda feita no SPRING e consistiu da eliminação de polígonos considerados pequenos em cada uma das escalas de trabalho e da simplificação de linhas com base em tolerâncias pré-definidas. A eliminação de polígonos foi testada com dois limiares de área diferentes em cada escala de interesse: $0,25\text{mm}^2$ e 1mm^2 . Esta fase de eliminação de polígonos não representáveis numa certa escala também buscou minimizar a ocorrência de problemas posteriores na etapa de simplificação de linhas, evitando que polígonos muito pequenos se degenerassem em segmentos de reta. Os resultados alcançados com o limiar de área de $0,25\text{mm}^2$ foram considerados melhores que os conseguidos com o limiar de 1mm^2 porque houve a eliminação dos polígonos pequenos sem que ocorresse, de forma sistemática, a atribuição indesejável da classe de um polígono dominante, aquele que circunscreve polígonos menores, às áreas anteriormente ocupadas pelos polígonos eliminados.

Na etapa de simplificação de linhas as rotinas Douglas-Peucker, Razão Área-Perímetro e Distância Acumulada foram testadas para as faixas de redução de escala pretendidas com tolerâncias diferentes. De um modo geral, as três rotinas produzem resultados adequados para a redução de escala de 1:250.000 para 1:1.000.000. Para as outras faixas de redução

de escala, em que as rotinas operaram sobre resultados anteriores de simplificação, fazendo com que a mudança de escala fosse grande na prática, as três rotinas produziram resultados com incidência de vários problemas topológicos localizados, como os que ocorreram com os rios mais finos, que tiveram suas margens tratadas de forma independente pelas rotinas de simplificação.

A rotina Razão Área-Perímetro reteve uma quantidade maior de pontos que a rotina Douglas-Peucker. Isto ocorreu porque ela usa o mesmo procedimento da rotina Douglas-Peucker para selecionar os pontos que devem ser retidos e os que podem ser eliminados, mas aplica uma heurística adicional que usa a razão área-perímetro sobre os triângulos formados por cada ponto que pode ser eliminado e seus vizinhos. Apesar da rotina Distância Acumulada não ser facilmente comparável às outras rotinas, posto que usa uma tolerância que representa um comprimento contado ao longo das linhas, observou-se que ela sistematicamente reteve uma quantidade maior de pontos. Por esta razão, a incidência de problemas topológicos foi menor nos mapas simplificados pela rotina Distância Acumulada. Por outro lado, como se trata de uma rotina que não analisa globalmente as linhas para definir critérios de retenção, ela deixou de selecionar vários pontos considerados críticos pelas rotinas Douglas-Peucker e Razão Área-Perímetro.

Os resultados deste trabalho permitem que se pondere que os mapas produzidos automaticamente em SIG, por procedimentos similares aos que aqui foram usados, não podem ser semelhantes aos mapas produzidos manualmente. Em primeiro lugar, os procedimentos usados não lidam com semântica e o conteúdo típico da base de dados de um SIG não inclui a explicitação dos significados individuais e das relações entre os vários objetos representados. Adicionalmente, mapas produzidos manualmente carregam um certo grau de subjetividade porque dependem do conhecimento e da experiência de quem os fez. A dificuldade não é o

conhecimento propriamente dito, mas sim a sua operacionalização. Agregar conhecimento a rotinas computacionais é extremamente difícil. Além disso, pelo menos no caso específico deste trabalho, não parece ter havido trabalho algum de generalização, feito manualmente, sobre os mapas em escala menor usados na pesquisa.

Este trabalho também serviu para reforçar o argumento de que é muito importante trabalhar qualitativamente em Cartografia. As comparações visuais usadas revelaram detalhes que dificilmente seriam traduzidos por números. Isto foi fundamental para a etapa de limpeza de dados, em que a percepção de redundância dependeu de critérios de visualização. Foi fundamental, também, para que se percebessem as diferenças entre as rotinas de simplificação. As mudanças de angularidade, por exemplo, foram avaliadas visualmente. Por isso, sugere-se fortemente que a leitura deste trabalho seja complementada pela exploração dos dados disponíveis no CD que acompanha o trabalho.

Sugere-se que a continuidade deste trabalho ocorra em dois planos distintos. O primeiro plano, mais teórico, diz respeito à introdução de semântica como atributo indispensável para dados espaciais em SIG. Há que se procurar meios de explicitar o significado dos objetos que compõem uma base de dados espaciais, bem como o relacionamento entre eles. Uma rotina de simplificação, por exemplo, poderia se beneficiar do conhecimento de que uma certa linha representa a margem de um rio ou uma curva de nível. O outro plano, mais ligado à implementação de ferramentas em SIG, refere-se ao aumento da robustez de funções já existentes e à inserção de novas funções. A função de eliminação de polígonos usada neste trabalho, por exemplo, pode ser bastante melhorada com a caracterização prévia de polígonos situados nas regiões limítrofes da base de dados. Deve-se implementar funções para suavização de linhas, que complementam o desempenho das rotinas de simplificação porque ajudam a resolver problemas topológicos potenciais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. S.; MEIRA-FILHO, L. G.; D'ALGE, J. C. L.; MELLO, E. K.; MOREIRA, J. C.; MEDEIROS, J. S. The Amazonia information system. In: XVII ISPRS Congress, **ISPRS Archives**. Washington D. C., 1992. p. 259–266.
- ATTNEAVE, F. Some informational aspects of visual perception. **Psychological Review**, v. 61, n. 3, p. 183–193, 1954.
- BALLEY, S.; PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S. Modelling geographic data with multiple representations. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 18, n. 4, p. 327–352
- BEARD, K. Theory of the cartographic line revisited / implications for automated generalization. **Cartographica**, v. 28, n. 4, p. 32–58, 1991.
- BEARD, K.; MACKANESS, W. Visual access to data quality in geographic information systems. **Cartographica**, v. 30, n. 2&3, p. 37–45, 1993.
- BRASSEL, K. E.; WEIBEL, R. A review and conceptual framework of automated map generalization. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 2, n. 3, p. 229–244, 1988.
- BUNDY, G. L.; JONES, C. B.; FURSE, E. A topological structure for the generalisation of large scale cartographic data. In: FISHER, P. (Ed.). **Innovations in GIS 2**. London: Taylor & Francis, 1995, p. 19–31.
- BUTTENFIELD, B. P. Representing data quality. **Cartographica**, v. 30, n. 2, p. 1–7, 1993.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395–403, 1996.
- CAMPBELL, G. M.; CROMLEY, R. G. Optimal simplification of cartographic lines using shortest-path formulations. **Journal of the Operational Research Society**, v. 42, n. 9, p. 793–802, 1991.
- CAMPOS, G. 1987, **Mapa florestal**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. Edição publicada pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 1987.
- CASTERSEN JR., L. W. A fractal analysis of cartographic generalization. **The American Cartographer**, v. 16, n. 3, p. 56–65, 1989.
- CROMLEY, R. G. Principal axis line simplification. **Computers & Geosciences**, v. 18, n. 8, p. 1003–1011, 1992.

CROMLEY, R. G.; CAMPBELL, G. M. Noninferior bandwidth line simplification: algorithm and structural analysis. **Geographical Analysis**, v. 23, n. 1, p. 25–38, 1991.

CROMLEY, R. G.; MORSE, S. J. Some comments on numerical line generalization. **Geographical Analysis, Research Notes and Comments**, [S.l.] v. 20, n. 2, 1988.

D'ALGE, J. C. L.; GOODCHILD, M. F. Simplificação de linhas. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, **Proceedings**. São Paulo, SP, 1993.

DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. Multiple representations in GIS: materialization through map generalization, geometric, and spatial analysis operations. In: ACM GIS '99, **Proceedings**. Kansas City, 1999.

DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **The Canadian Cartographer**, v. 10, n. 2, p. 112–122, 1973.

DREYFUS, H. L.; DREYFUS, S. E. **Mind over machine - the power of human intuition and expertise in the era of the computer**. New York: The Free Press, 1986. 231 p.

ELLENBERG, H.; MUELLER-DOMBOIS, D. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1974. 547 p.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ESRI Shapefile Technical Description** 1998. 43 p. Disponível em: www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf. Acesso em: 10 Janeiro de 2007.

FRANK, A. U.; TIMPF, S. Multiple representations for cartographic objects in a multi-scale tree - An intelligent graphical zoom. . **Computers & Graphics**, v. 18, n. 6, p. 823–829., 1994.

GANTER, J. H.; CASHWELL, J. W. MAGENCO: a map generalization controller for ARC/INFO. In: ESRI User Conference, **Proceedings**. Palm Springs, 1994. Não paginado.

GOODCHILD, M. F. The effects of generalization in geographical data encoding. In: FREEMAN, H.; PERONI, G. (Ed.). **Map Data Processing**. New York: Academic Press, 1980, p. 191–205.

_____. Stepping over the line: technological constraints and the new cartography. **The American Cartographer**, v. 15, n. 3, p. 311–319, 1988.

_____. Geographical data modeling. **Computers & Geosciences**, v. 18, n. 4, p. 401–408, 1992.

GRÜNREICH, D. Development of computer-assisted generalization on the basis of cartographic model theory. In: MÜLLER, J. C.; LAGRANGE, J. P.; WEIBEL, R. (Ed.). **GIS and Generalization: Methodology and Practice**. London: Taylor & Francis, 1995, p. 47–56.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal**, Rio de Janeiro:IBGE-SUDAM, 1990. 211 p.

IMHOF, E. **Cartographic relief presentation**. Berlin: ESRI Press, 1982. 400 p.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. TerraView software. São José dos Campos: INPE, 2007. Disponível em: www.dpi.inpe.br/terraview. Acesso em: 15 de janeiro de 2007.

JENKS, G. F. Geographic logic in line generalization. **Cartographica**, v. 26, n. 1, p. 27–41, 1989.

JOÃO, E. M. **Causes and consequences of map generalization**. London: CRC, 1998. 266 p.

KEATES, J. S. **Understanding maps**. Essex: Addison Wesley Publishing Company, 1996. 334 p.

KELLER, S. F. Potentials and limitations of artificial intelligence techniques applied to generalization In: MÜLLER, J. C.; LAGRANGE, J. P.; WEIBEL, R. (Ed.). **GIS and Generalization: Methodology and Practice**. London: Taylor & Francis, 1995, p. 135–147.

KÜCHLER, A. W. Aspects of maps. In: KÜCHLER, A. W.; ZONNEVELD, I. S. (Ed.). **Vegetation Mapping**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 632 p.

LAGRANGE, J. P.; RUAS, A. Geographic information modeling: GIS and generalization. In: WAUGH, T. C.; HEALEY, R. G. (Ed.). **Advances in GIS Research**. v. 2. London: Taylor & Francis, 1994, p. 1099–1117.

LANG, T. Rules for robot draughtsmen. **Geographical Magazine**, v. 42, n. 1, p. 50–51, 1969.

LEE, D. Knowledge acquisition of digital cartographic generalization. In: Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS `94, **Proceedings**. Utrecht, 1994. EGIS Foundation, p. 1634–1647.

LI, Z.; OPENSHAW, S. Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 6, n. 5, p. 373–389, 1992.

MACKANESS, W. A. Integration and evaluation of map generalization. In: BUTTENFIELD, B. P.; MCMASTER, R. B. (Ed.). **Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1991, p. 217–226.

MARINO, J. S. Identification of characteristic points along naturally occurring lines: an empirical study. **The Canadian Cartographer**, v. 16, n. 1, p. 70–80, 1979.

MARK, D. M. Object modeling and phenomenon-based generalization. In: BUTTENFIELD, B. P.; MCMASTER, R. B. (Ed.). **Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1991, p. 103–118.

MCMASTER, R. B. A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification. **The American Cartographer**, v. 13, n. 2, p. 103–116, 1986.

_____. Automated line generalization. **Cartographica**, v. 24, n. 2, p. 74–111, 1987.

_____. The geometric properties of numerical generalization. **Geographical Analysis**, v. 19, n. 4, p. 103–117, 1987.

_____. A reply to R. G. Cromley and S. J. Morse's "Some comments on numerical line generalization". **Geographical Analysis, Research Notes and Comments**, v. 20, n. 4, 1988.

_____. The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization. **Cartographica**, v. 26, n. 1, p. 101–121, 1989.

_____ Conceptual frameworks for geographical knowledge. In: BUTTENFIELD, B. P.; MCMASTER, R. B. (Ed.). **Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1991, p. 21–39.

MCMASTER, R. B.; SHEA, K. S. Generalization in digital cartography. In: Association of American Geographers, **Proceedings**. Washington D. C., 1992.

MÜLLER, J. C. Fractal dimensions and inconsistencies in cartographic line representations. **The Cartographic Journal**, v. 23, n. 22, p. 123–130, 1986.

_____. Theoretical considerations for automated map generalization. **ITC Journal**, v. 3, n. 4, p. 200–204, 1989.

_____. The removal of spatial conflicts in line generalization. **Cartography and Geographic Information Systems**, v. 17, n. 2, p. 141–149, 1990.

_____. Generalization of spatial databases. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (Ed.). **Geographical Information Systems**. v. 1. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991.

MÜLLER, J. C.; WEIBEL, R.; LAGRANGE, J. P.; SALGÉ, F. Generalization: state of the art and issues. In: MÜLLER, J. C.; LAGRANGE, J. P.; WEIBEL, R. (Ed.). **GIS and Generalization: Methodology and Practice**. London: Taylor & Francis, 1995, p. 3–17.

MUSTIERE, S. Cartographic generalization of roads in a local and adaptive approach: A knowledge acquisition problem. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 8, p. 937–955, 2005.

NIST - NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Federal information processing standard, Publication 173**. Washington D.C: U.S. Department of Commerce, 1992.

ORMSBY, D.; MACKANESS, W. A. The development of phenomenological generalization within an object-oriented paradigm. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 26, p. 70–82, 1999.

PERKAL, J. **An attempt at objective generalization**. Michigan: University of Michigan, 1966.

PETER, B.; WEIBEL, R. Using vector and raster-based techniques in categorical map generalization. In: Third ICA workshop on progress in automatic map generalization, **Proceedings**. Ottawa, Canada, 1999.

RAISZ, E. **General cartography**. New York: McGraw-Hill, 1948. 354 p.

REICHGELT, H. **Knowledge representation: an AI perspective**. Norwood: Ablex Publishing Cooperation, 1991. 126 p.

RIEGER, M. K.; COULSON, M. R. Consensus or confusion: cartographers' knowledge of generalization. **Cartographica**, v. 30, n. 2&3, p. 69–80, 1993.

RITTER, N.; RUTH, M. The GeoTiff data interchange standard for raster geographic images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 7, p. 1637–1647, Jun. 1997.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo: Editora de Humanismo, Ciência e Tecnologia, 1976. 374 p.

ROBINSON, A. H. **Elements of cartography**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1960. 688 p.

ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, A. J.; GUPTILL, S. C. **Elements of Cartography**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 674 p.

ROTA, G. C.; SHARP, D. H. **Mathematics, philosophy, and artificial intelligence**. Los Alamos: Los Alamos Science, Spring/Summer, 1985.

RUAS, A.; LAGRANGE, J. P. Data and knowledge modelling for generalization. In: MÜLLER, J. C.; LAGRANGE, J. P.; WEIBEL, R. (Ed.). **GIS and Generalization: Methodology and Practice**. London: Taylor & Francis, 1995, p. 73–90.

SCHYLBERG, L. **Computational methods for generalization of cartographic data in a raster environment**. Ph.D. Thesis - Department of Geodesy and Photogrammetry, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1993.

SERRA, J. **Image analysis and mathematical morphology**. Vol. 1. London: Academic Press, 1983. 610 p.

SESTER, M. Optimization approaches for generalization and data abstraction. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 19, n. 8–9, p. 871–897, 2005.

SHEA, K. S. Design considerations for an artificially intelligent system In: BUTTENFIELD, B. P.; MCMASTER, R. B. (Ed.). **Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1991, p. 3–20.

THAPA, K. Automatic line generalization using zero-crossings. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 4, p. 511–517, 1988.

TOBLER, W. R. Automation and cartography. **Geographical Review**, v. 49, n. 4, p. 526–534, 1959.

_____. Automation in the preparation of thematic maps. **The Cartographic Journal**, v. 2, n. 1, 1965.

_____. **An experiment in the computer generalization of maps**. Washington, D.C: Office of Naval Research, Geography Branch, 1966. 389-137 p. (Technical Report No. 1, Office of Naval Research Task No., Contract No. 1224 (48)).

TÖPFER, F.; PILLEWIZER, W. The principles of selection - a means of cartographic generalization. **The Cartographic Journal**, v. 3, n. 1, p. 10–16, 1966.

TUFTE, E. R. **The visual display of quantitative information**. New York: Graphics Press, 1983. 197 p.

VAN DER POORTEN, P. M.; JONES, C. B. Characterisation and generalisation of cartographic lines using Delaunay triangulation. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 16, n. 8, p. 773–794, 2002.

VAN OOSTEROM, P.; SCHENKELAARS, V. The Development of an interactive multiscale GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 9, n. 5, p. 489–507

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123 p.

VIEIRA-DIAS, L. A.; D'ALGE, J. C. L.; II, F. A. M.; II, S. S. Map automatic scale reduction by means of mathematical morphology. In: ASPRS Annual Convention, **Proceedings**. Baltimore, 1989.

VISVALINGAM, M.; WHYATT, J. D. Line generalization by repeated elimination of the smallest area. **The Cartographic Journal**, v. 30, n. 1, p. 46–51

WEIBEL, R. Amplified intelligence and rule-based systems. In: BUTTENFIELD, B. P.; MCMMASTER, R. B. (Ed.). **Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1991, p. 172–186.

_____ Three essential building blocks for automated generalization. In: MÜLLER, J. C.; LAGRANGE, J. P.; WEIBEL, R. (Ed.). **GIS and Generalization: Methodology and Practice**. London: Taylor & Francis, 1995, p. 56–69.

WEIBEL, R.; BUTTENFIELD, B. P. Map design for geographic information systems. In: GIS/LIS'88, **Proceedings**. San Antonio, Texas, 1988. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, p. 350-359.

WHITE, E. R. Assessment of line-generalization algorithms using characteristic points. **The American Cartographer**, v. 12, n. 1, p. 17–27, 1985.

APÊNDICE A

Reclassificação fisionômica da vegetação para as escalas usadas no trabalho

Classes de vegetação dos mapas originais na escala 1:250.000

FLORESTA OMBRÓFILA DENSA	
Dau	Floresta ombrófila densa aluvial com dossel uniforme
Ds	Floresta ombrófila densa submontana
Db	Floresta ombrófila densa em terras baixas
Db+Vss	Db com vegetação secundária
Da	Floresta ombrófila densa aluvial
Db+Pahs	Db com vegetação fluvial herbácea
Dau+Paas	Dau com vegetação fluvial arbustiva
Dsu+Asc	Floresta ombrófila densa submontana com dossel uniforme e cipós
Dae+Paas	Dae com vegetação fluvial arbustiva
Dae	Floresta ombrófila densa aluvial com dossel emergente
Dbe	Floresta ombrófila densa em terras baixas com dossel emergente
Da+Vss	Da com vegetação secundária
Dau+Pahs	Dau com vegetação fluvial herbácea
Da+Vss+Acc	Da com vegetação secundária e cultura cíclica
Da+Pahs	Da com vegetação fluvial herbácea
Ds+Acc+Vsp	Ds com palmeiras e cultura cíclica
Db+Vss+Acc	Db com vegetação secundária e cultura cíclica
Db+Paas	Db com vegetação fluvial arbustiva
Dau+Dbe+Vss	Dau com presença de Dbe e vegetação secundária
Dau+Vss	Dau com vegetação secundária
Dbe+Dau	Dbe com presença de Dau
Db+Acc+Vss	Db com cultura cíclica e vegetação secundária
Dse+Dbe	Dse com presença de Dbe
Dsu	Floresta ombrófila densa submontana com dossel uniforme
Dse+Asc	Dse com cipós
Dse	Floresta ombrófila densa submontana com dossel emergente
Dbe+Abc	Dbe com cipós
Dbe+Dbu+Abc	Dbe com presença de Dbu e cipós
Ds+Acc	Ds com cultura cíclica
Dse+Dsu+Asc	Dse com presença de Dsu e cipós
Ds+As+Acc	Ds com presença de As e cultura cíclica
Db+Ap+Acc+Vss	Db com pecuária, cultura cíclica e vegetação secundária
Dbe+Vss+Ap+Acc	Dbe com vegetação secundária, pecuária e cultura cíclica
Db+Ap	Db com pecuária
Db+Vss+Ap	Db com vegetação secundária e pecuária

Dse+Asp	Dse com palmeiras
Dse+Asp+Asc	Dse com palmeiras e cipós
Ds+Vsp	Ds com palmeiras
Dsu+Asc+Acc	Dsu com cipós e cultura cíclica
Ds+Asp	Ds com palmeiras esparsas
Ds+Vss	Ds com vegetação secundária
Da+Paas	Da com vegetação fluvial arbustiva
Dae+Vss	Dae com vegetação secundária
Da+Acc	Da com cultura cíclica
Da+Vsp	Da com palmeiras
Dbe+Vss	Dbe com vegetação secundária
Dse+Dsu	Dse com presença de Dsu
Dbe+Abp	Dbe com palmeiras
Dau+Aap+Ap	Dau com palmeiras e pecuária
Da+Vss+Pahs	Da com vegetação secundária e vegetação fluvial herbácea
Da+Vsp+Pahs	Da com palmeiras esparsas e vegetação fluvial herbácea
Db+Vsp	Db com palmeiras esparsas
Db+Vsp+Ap	Db com palmeiras esparsas e pecuária
Db+Pahs+Ap	Db com vegetação fluvial herbácea e pecuária
Db+Ap+Vss	Db com pecuária e vegetação secundária
Ds+Vss+Ap	Ds com vegetação secundária e pecuária
Ds+Asc	Ds com cipós
Ds+Asc+Vss	Ds com cipós e vegetação secundária

FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA

Asc	Floresta ombrófila aberta submontana com cipós
Asc+Dse	Asc com presença de Dse
Asc+Dsu+Asp	Asc com presença de Dsu e palmeiras
Asp+Asc	Floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras e presença de Asc
Asp+Asc+Dsu	Asp com presença de Asc e Dsu
Asc+Asp+Dsu	Asc com presença de Asp e Dsu
Asc+Dsu	Asc com presença de Dsu
Asc+Dsu+Acc	Asc com presença de Dsu e cultura cíclica
Abp+Vsp	Floresta ombrófila aberta em terras baixas com palmeiras
Abc+Vss+Db	Floresta ombrófila aberta em terras baixas com cipós, vegetação secundária e presença de Db
Asc+Vss	Asc com vegetação secundária
Abc+Vss	Abc com vegetação secundária
Asc+Vss+Ds	Asc com vegetação secundária e presença de Ds

CAMPINARANA

La	Campinarana arborizada
Lg	Campinarana gramíneo-lenhosa
Lgs+Las	Campinarana gramíneo-lenhosa sem palmeiras com presença de Las
Las	Campinarana arborizada sem palmeiras
Las+Lgs	Las com presença de Lgs

SAVANA

Sas	Savana arborizada sem floresta de galeria
Sas+Sps	Sas com presença de Sps
Spf+Sas	Savana parque com floresta de galeria e presença de Sas
Sps	Savana parque sem floresta de galeria
Sps+Sas	Sps com presença de Sas
Sd+Sas	Savana florestada (cerradão) com presença de Sas
Spf+Ap	Spf com pecuária

FORMAÇÕES PIONEIRAS

Pahs	Vegetação herbácea com influência fluvial sem palmeiras
Pfm	Vegetação arbórea com influência fluviomarinha (manguezal)
Paas	Vegetação arbustiva com influência fluvial sem palmeiras
Pfm+Pahs	Pfm com presença de Pahs
Pfh+Pfm	Pfh com presença de Pfm
Pfh	Vegetação herbácea com influência fluviomarinha (planície marinha)
Pfm+Pfh	Pfm com presença de Pfh
Pahs+Paas	Pahs com presença de Paas
Paap+Pahs	Paap com presença de Pahs
Paas+Dau	Paas com presença de Dau
Paap	Vegetação arbustiva com influência fluvial com palmeiras
Pahs+Da	Pahs com presença de Da
Pahs+Dau	Pahs com presença de Dau
Pmb	Vegetação arbustiva com influência marinha (restinga)
Pfh+Vss	Pfh com vegetação secundária
Pmb+Pfm	Pmb com presença de Pfm
Pahs+Da+Vsp	Pahs com presença de Da e palmeiras
Pmb+Pfh	Pmb com presença de Pfh
Pahs+Paap	Pahs com presença de Paap
Pahs+Vsp	Pahs com palmeiras
Pahs+Ap+Da	Pahs com pecuária e presença de Da
Paap+Vsp	Paap com palmeiras
Pahs+Vsp+Da	Pahs com palmeiras e presença de Da
Pahs+Paap+Vsp	Pahs com presença de Paap e palmeiras
Paap+Vsp+Da	Paap com palmeiras e presença de Da

Pfh+Pfm+Vsp	Pfh com presença de Pfm e palmeiras
Pahs+Ap	Pahs com pecuária
Pfm+Pmb	Pfm com presença de Pmb
Pahs+Paap+Da	Pahs com presença de Paap e de Da
Pahs+Vsp+Ap	Pahs com palmeiras e pecuária

CONTATOS – TENSÃO ECOLÓGICA

SOc/Sps+Dau	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Db+Vss+Sps+Acc	Contato savana/floresta ombrófila densa com vegetação secundária e cultura cíclica
SOc/Dau+Sps	Contato savana/floresta ombrófila densa
LOc/Db+Lgs	Contato campinarana/floresta ombrófila densa
SOc/Dbe+Sas	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Sas+Db	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Dae+Sas+Vss	Contato savana/floresta ombrófila densa com vegetação secundária
SOc/Dse+Sas	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Sas+Dse	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Sas+Dsu	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Db+Sas+Vss	Contato savana/floresta ombrófila densa com vegetação secundária
SOc/Ds+Sas+Ap	Contato savana/floresta ombrófila densa com pecuária
SOc/Db+Sas	Contato savana/floresta ombrófila densa
SOc/Db+Sas+Ap	Contato savana/floresta ombrófila densa com pecuária
SOc/Asc+Sd	Contato savana/floresta ombrófila aberta
SOc/Sd+Dsu+Ap	Contato savana/floresta ombrófila densa com pecuária
SOc/Ap+Saf+Vss	Contato savana/floresta ombrófila densa com pecuária e vegetação secundária
SOc/Sas+Dsu+Ap	Contato savana/floresta ombrófila densa com pecuária
LOc/Dbe+Las	Contato campinarana/floresta ombrófila densa
LOc/Dbe+Lbs	Contato campinarana/floresta ombrófila densa
LOc/Dbe+Lgs	Contato campinarana/floresta ombrófila densa
SOc/Asc+Sd+Sps	Contato savana/floresta ombrófila aberta
SOc/Ap+Sps+Vsp	Contato savana/floresta ombrófila densa com pecuária e palmeiras
Spt	Contato savana/formações pioneiras – ecótono específico para restinga
SNc/Ap+Vsp+Sas	Contato savana/floresta estacional com palmeiras
SNc/Sas+Vsp+Ap	Contato savana/floresta estacional com palmeiras e pecuária
SNc/Vsp+Sas+Fb	Contato savana/floresta estacional com palmeiras
SNc/Vsp+Ap+Sas	Contato savana/floresta estacional com palmeiras e pecuária
SNc/Vsp+Sas+Ap	Contato savana/floresta estacional com palmeiras e pecuária
SNc/Vsp+Sas	Contato savana/floresta estacional com palmeiras
SOc/Dae+Sps+Vss	Contato savana/floresta ombrófila densa com vegetação secundária

ÁREAS ANTRÓPICAS	
Ap+Vss.D	Pecuária com vegetação secundária sem palmeiras
Ap.D	Pecuária
Vss+Ap.D	Vegetação secundária sem palmeiras com pecuária
Acc+Ap+Vss.D	Cultura cíclica com pecuária e vegetação secundária sem palmeiras
Vss+Acc+Db	Vegetação secundária sem palmeiras com cultura cíclica e presença de Db
Vss+Db+Acc	Vegetação secundária sem palmeiras com presença de Db e cultura cíclica
Acc+Vss.D	Cultura cíclica com vegetação secundária sem palmeiras
Acc+Vss.SO	Cultura cíclica com vegetação secundária sem palmeiras
Ap+Vsp+Ac.D	Pecuária com vegetação secundária com palmeiras e agricultura
Ap+Acc+Vss+Db	Pecuária com cultura cíclica, vegetação secundária sem palmeiras e presença de Db
Vss+Acc.D	Vegetação secundária sem palmeiras com cultura cíclica
Vss+Acc+Da	Vegetação secundária sem palmeiras com cultura cíclica e presença de Da
Vss.D	Vegetação secundária sem palmeiras
Acp.D	Cultura permanente
Vss+Ap+Db	Vegetação secundária sem palmeiras com pecuária e presença de Db
Vss+Db	Vegetação secundária sem palmeiras com presença de Db
Re+Rp.D	Reflorestamento de eucalipto com pinus
Re.D	Reflorestamento de eucalipto
Ap+Ac+Ds	Pecuária com agricultura e presença de Ds
Ap+Acc.D	Pecuária com cultura cíclica
Acc.D	Cultura cíclica
Ap+Acc+Vsp.D	Pecuária com cultura cíclica e vegetação secundária com palmeiras
Vss+Acc+Ap.D	Vegetação secundária sem palmeiras com cultura cíclica e pecuária
Acc.P	Cultura cíclica
Re+R.D	Reflorestamento de eucalipto
Ap.S	Pecuária
Acc+Db	Cultura cíclica com presença de Db
Vsp+Ds	Vegetação secundária com palmeiras e presença de Ds
Vsp+Ap.D	Vegetação secundária com palmeiras e pecuária
Acc+Ap.D	Cultura cíclica e pecuária
Vsp.D	Vegetação secundária com palmeiras
Vsp+Ap+Acc.D	Vegetação secundária com palmeiras, pecuária e cultura cíclica
Acc+Vss+Db	Cultura cíclica com vegetação secundária sem palmeiras e presença de Db
Acc+Vss+Da	Cultura cíclica com vegetação secundária sem palmeiras e presença de Da
Acc+Pahs	Cultura cíclica com presença de Pahs
Acc+Vsp.D	Cultura cíclica com vegetação secundária com palmeiras

AA.D	Área urbana
Ap+Vsp.D	Pecuária com vegetação secundária com palmeiras
AA.A	Área urbana
Vss+Pfh	Vegetação secundária sem palmeiras com presença de Pfh
Vss.P	Vegetação secundária sem palmeiras
Ap+Vsp+Db	Pecuária com vegetação secundária com palmeiras e presença de Db
Vsp+Db+Ap	Vegetação secundária com palmeiras com presença de Db e pecuária
Vsp+Ap+Db	Vegetação secundária com palmeiras, pecuária e presença de Db
Vsp+Ap.A	Vegetação secundária com palmeiras e pecuária
Vsp+Abp	Vegetação secundária com palmeiras e presença de Abp
Vsp+Ap+Abp	Vegetação secundária com palmeiras, pecuária e presença de Abp
Vsp+Ac+Ap.D	Vegetação secundária com palmeiras, agricultura e pecuária
Ap+Ac+Vsp.D	Pecuária com agricultura e vegetação secundária com palmeiras
Vsp+Db	Vegetação secundária com palmeiras e presença de Db
Ap+Vss+Ac.D	Pecuária com vegetação secundária sem palmeiras e agricultura
Ap+Vsp+Ds	Pecuária com vegetação secundária com palmeiras e presença de Ds
Vsp+Ap+Ds	Vegetação secundária com palmeiras, agricultura e presença de Ds
Vss+Db+Ap	Vegetação secundária sem palmeiras com presença de Db e pecuária
Ap+Vss+Db	Pecuária com vegetação secundária sem palmeiras e presença de Db
Vss+Ap+Ac.D	Vegetação secundária sem palmeiras com pecuária e agricultura
Vss+Ds	Vegetação secundária sem palmeiras com presença de Ds
Ap+Vsp.A	Pecuária com vegetação secundária com palmeiras
Ap+Ac+Vsp.A	Pecuária com agricultura e vegetação secundária com palmeiras
AA.SO	Área urbana
Vss.A	Vegetação secundária sem palmeiras
Vsp.A	Vegetação secundária com palmeiras
Ap+Vss+Abc	Pecuária com vegetação secundária sem palmeiras e presença de Abc
Ap+Vss+Asc	Pecuária com vegetação secundária sem palmeiras e presença de Asc
Ap+Vss+Ds	Pecuária com vegetação secundária sem palmeiras e presença de Ds
Vss+Ap.A	Vegetação secundária sem palmeiras com pecuária
Vss+Ds+Ap	Vegetação secundária sem palmeiras com presença de Ds e pecuária
Vsp+Ds+Ap	Vegetação secundária com palmeiras com presença de Ds e pecuária
Vsp+Da	Vegetação secundária com palmeiras com presença de Da

Vsp+Ap+Pahs	Vegetação secundária com palmeiras, pecuária e presença de Pahs
Vsp+Ap+Cs	Vegetação secundária com palmeiras, pecuária e presença de Cs
AA.SN	Área urbana
Ap.A	pecuária
Vsp+Da+Pahs	Vegetação secundária com palmeiras com presença de Da e Pahs
Vsp+Pahs	Vegetação secundária com palmeiras com presença de Pahs
Vsp+Pahs+Da	Vegetação secundária com palmeiras com presença de Pahs e Da
Vss+Ac+Db	Vegetação secundária sem palmeiras, pecuária e presença de Db
Ap+Vsp+Pahs	Pecuária com vegetação secundária com palmeiras e presença de Pahs
AA.SP	Área urbana

Regras usadas para a reclassificação na escala 1:1.000.000

Classe Original	Nova Classe	Classe Original	Nova Classe
AA.D	AA	LOc/Dbe+Las	LOc
AA.A	AA	LOc/Dbe+Lbs	LOc
AA.SO	AA	LOc/Dbe+Lgs	LOc
AA.SN	AA	Paas	Paa
AA.SP	AA	Paap+Pahs	Paa
Abp+Vsp	Ab	Paas+Dau	Paa
Abc+Vss+Db	Ab	Paap	Paa
Abc+Vss	Ab	Paap+Vsp	Paa
Acc+Ap+Vss.D	Ac	Paap+Vsp+Da	Paa
Acc+Vss.D	Ac	Pahs	Pah
Acc+Vss.SO	Ac	Pahs+Paas	Pah
Acp.D	Ac	Pahs+Da	Pah
Acc.D	Ac	Pahs+Dau	Pah
Acc.P	Ac	Pahs+Da+Vsp	Pah
Acc+Db	Ac	Pahs+Paap	Pah
Acc+Ap.D	Ac	Pahs+Vsp	Pah
Acc+Vss+Db	Ac	Pahs+Ap+Da	Pah
Acc+Vss+Da	Ac	Pahs+Vsp+Da	Pah
Acc+Pahs	Ac	Pahs+Paap+Vsp	Pah
Acc+Vsp.D	Ac	Pahs+Ap	Pah
000Magua	Agua	Pahs+Paap+Da	Pah
Ap+Vss.D	Ap	Pahs+Vsp+Ap	Pah
Ap.D	Ap	Pfh+Pfm	Pfh
Ap+Vsp+Ac.D	Ap	Pfh	Pfh
Ap+Acc+Vss+Db	Ap	Pfh+Vss	Pfh
Ap+Ac+Ds	Ap	Pfh+Pfm+Vsp	Pfh

Ap+Acc.D	Ap	Pfm	Pfm
Ap+Acc+Vsp.D	Ap	Pfm+Pahs	Pfm
Ap.S	Ap	Pfm+Pfh	Pfm
Ap+Vsp.D	Ap	Pfm+Pmb	Pfm
Ap+Vsp+Db	Ap	Pmb	Pmb
Ap+Ac+Vsp.D	Ap	Pmb+Pfm	Pmb
Ap+Vss+Ac.D	Ap	Pmb+Pfh	Pmb
Ap+Vsp+Ds	Ap	Re+Rp.D	R
Ap+Vss+Db	Ap	Re.D	R
Ap+Vsp.A	Ap	Re+R.D	R
Ap+Ac+Vsp.A	Ap	Sas	Sa
Ap+Vss+Abc	Ap	Sas+Sps	Sa
Ap+Vss+Asc	Ap	Sd+Sas	Sd
Ap+Vss+Ds	Ap	SNc/Ap+Vsp+Sas	SNc
Ap.A	Ap	SNc/Sas+Vsp+Ap	SNc
Ap+Vsp+Pahs	Ap	SNc/Vsp+Sas+Fb	SNc
Asc	As	SNc/Vsp+Ap+Sas	SNc
Asc+Dse	As	SNc/Vsp+Sas+Ap	SNc
Asc+Dsu+Asp	As	SNc/Vsp+Sas	SNc
Asp+Asc	As	SOc/Sps+Dau	SOc
Asp+Asc+Dsu	As	SOc/Db+Vss+Sps+Acc	SOc
Asc+Asp+Dsu	As	SOc/Dau+Sps	SOc
Asc+Dsu	As	SOc/Dbe+Sas	SOc
Asc+Dsu+Acc	As	SOc/Sas+Db	SOc
Asc+Vss	As	SOc/Dae+Sas+Vss	SOc
Asc+Vss+Ds	As	SOc/Dse+Sas	SOc
Dau	Da	SOc/Sas+Dse	SOc
Da	Da	SOc/Sas+Dsu	SOc
Dau+Paas	Da	SOc/Db+Sas+Vss	SOc
Dae+Paas	Da	SOc/Ds+Sas+Ap	SOc
Dae	Da	SOc/Db+Sas	SOc
Da+Vss	Da	SOc/Db+Sas+Ap	SOc
Dau+Pahs	Da	SOc/Asc+Sd	SOc
Da+Vss+Acc	Da	SOc/Sd+Dsu+Ap	SOc
Da+Pahs	Da	SOc/Ap+Saf+Vss	SOc
Dau+Dbe+Vss	Da	SOc/Sas+Dsu+Ap	SOc
Dau+Vss	Da	SOc/Asc+Sd+Sps	SOc
Da+Paas	Da	SOc/Ap+Sps+Vsp	SOc
Dae+Vss	Da	SOc/Dae+Sps+Vss	SOc
Da+Acc	Da	Spf+Sas	Sp
Da+Vsp	Da	Sps	Sp
Dau+Aap+Ap	Da	Sps+Sas	Sp
Da+Vss+Pahs	Da	Spf+Ap	Sp
Da+Vsp+Pahs	Da	SPT	SPT
Db	Db	Vss+Ap.D	Vs
Db+Vss	Db	Vss+Acc+Db	Vs
Db+Pahs	Db	Vss+Db+Acc	Vs

Dbe	Db	Vss+Acc.D	Vs
Db+Vss+Acc	Db	Vss+Acc+Da	Vs
Db+Paas	Db	Vss.D	Vs
Dbe+Dau	Db	Vss+Ap+Db	Vs
Db+Acc+Vss	Db	Vss+Db	Vs
Dbe+Abc	Db	Vss+Acc+Ap.D	Vs
Dbe+Dbu+Abc	Db	Vsp+Ds	Vs
Db+Ap+Acc+Vss	Db	Vsp+Ap.D	Vs
Dbe+Vss+Ap+Acc	Db	Vsp.D	Vs
Db+Ap	Db	Vsp+Ap+Acc.D	Vs
Db+Vss+Ap	Db	Vss+Pfh	Vs
Dbe+Vss	Db	Vss.P	Vs
Dbe+Abp	Db	Vsp+Db+Ap	Vs
Db+Vsp	Db	Vsp+Ap+Db	Vs
Db+Vsp+Ap	Db	Vsp+Ap.A	Vs
Db+Pahs+Ap	Db	Vsp+Abp	Vs
Db+Ap+Vss	Db	Vsp+Ap+Abp	Vs
Ds	Ds	Vsp+Ac+Ap.D	Vs
Dsu+Asc	Ds	Vsp+Db	Vs
Ds+Acc+Vsp	Ds	Vsp+Ap+Ds	Vs
Dse+Dbe	Ds	Vss+Db+Ap	Vs
Dsu	Ds	Vss+Ap+Ac.D	Vs
Dse+Asc	Ds	Vss+Ds	Vs
Dse	Ds	Vss.A	Vs
Ds+Acc	Ds	Vsp.A	Vs
Dse+Dsu+Asc	Ds	Vss+Ap.A	Vs
Ds+As+Acc	Ds	Vss+Ds+Ap	Vs
Dse+Asp	Ds	Vsp+Ds+Ap	Vs
Dse+Asp+Asc	Ds	Vsp+Da	Vs
Ds+Vsp	Ds	Vsp+Ap+Pahs	Vs
Dsu+Asc+Acc	Ds	Vsp+Ap+Cs	Vs
Ds+Asp	Ds	Vsp+Da+Pahs	Vs
Ds+Vss	Ds	Vsp+Pahs	Vs
Dse+Dsu	Ds	Vsp+Pahs+Da	Vs
Ds+Vss+Ap	Ds	Vss+Ac+Db	Vs
Ds+Asc	Ds		
Ds+Asc+Vss	Ds		
La	La		
Las	La		
Las+Lgs	La		
Lg	Lg		
Lgs+Las	Lg		

Classes de vegetação usadas para os mapas na escala 1:1.000.000

FLORESTA OMBRÓFILA DENSA	
Da	Floresta ombrófila densa aluvial
Db	Floresta ombrófila densa em terras baixas
Ds	Floresta ombrófila densa submontana
Dm	Floresta ombrófila densa montana

FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA	
Aa	Floresta ombrófila aberta aluvial
Ab	Floresta ombrófila aberta em terras baixas
As	Floresta ombrófila aberta submontana
Am	Floresta ombrófila aberta montana

CAMPINARANA	
Ld	Campinarana florestada
La	Campinarana arborizada
Lb	Campinarana arbustiva
Lg	Campinarana gramíneo-lenhosa

SAVANA	
Sd	Savana florestada (cerradão)
Sa	Savana arborizada
Sp	Savana parque
Sg	Savana gramíneo-lenhosa

FORMAÇÕES PIONEIRAS	
Pma	Vegetação arbórea com influência marinha (restinga)
Pmb	Vegetação arbustiva com influência marinha (restinga)
Pmh	Vegetação herbácea com influência marinha (restinga)
Pfm	Vegetação arbórea com influência fluviomarinha (manguezal)
Pfh	Vegetação herbácea com influência fluviomarinha (planície marinha)
Pab	Vegetação arbórea com influência fluvial (buritizal)
Paa	Vegetação arbustiva com influência fluvial
Pah	Vegetação herbácea com influência fluvial

CONTATOS - TENSÃO ECOLÓGICA	
SOc	Encrave savana/floresta ombrófila
LOc	Encrave campinarana/floresta ombrófila
SPt	Ecótono savana/formações pioneiras (restinga)
SNC	Encrave savana/floresta estacional

ÁREAS ANTRÓPICAS	
Ap	Pecuária
Ac	Agricultura
Vs	Vegetação secundária
R	Reflorestamento
AA	Área urbana

Regras usadas para a reclassificação na escala 1:5.000.000

Classe Original	Nova Classe
Aa	Aa
Ap	AA
Ac	AA
Vs	AA
R	AA
AA	AA
Ab	Ab
Agua	Agua
Am	Am
As	As
Da	Da
Db	Db
Dm	Dm
Ds	Ds
La	La
Lb	La
Ld	Ld
Lg	Lg
LOc	LOc
Pab	Pa
Paa	Pa
Pah	Pa
Pma	Pf
Pmb	Pf
Pmh	Pf
Pfm	Pf
Pfh	Pf
Sa	Sa
Sd	Sd
Sg	Sg
SNC	SNC
SOc	SOc
Sp	Sp
SPT	SPT

Classes de vegetação usadas para os mapas na escala 1:5.000.000

FLORESTA OMBRÓFILA DENSA

Da	Floresta ombrófila densa aluvial
Db	Floresta ombrófila densa em terras baixas
Ds	Floresta ombrófila densa submontana
Dm	Floresta ombrófila densa montana

FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA

Aa	Floresta ombrófila aberta aluvial
Ab	Floresta ombrófila aberta em terras baixas
As	Floresta ombrófila aberta submontana
Am	Floresta ombrófila aberta montana

CAMPINARANA

Ld	Campinarana florestada
La	Campinarana arborizada
Lg	Campinarana gramíneo-lenhosa

SAVANA

Sd	Savana florestada (cerradão)
Sa	Savana arborizada
Sp	Savana parque
Sg	Savana gramíneo-lenhosa

FORMAÇÕES PIONEIRAS

Pf	Formação pioneira com influência fluviomarinha
Pa	Formação pioneira com influência fluvial

CONTATOS - TENSÃO ECOLÓGICA

SOc	Encrave savana/floresta ombrófila
LOc	Encrave campinarana/floresta ombrófila
Spt	Ecótono savana/formações pioneiras (restinga)
SNc	Encrave savana/floresta estacional

ÁREAS ANTRÓPICAS

AA	Áreas antrópicas
----	------------------

Regras usadas para a reclassificação na escala 1:15.000.000

Classe Original	Nova Classe
Aa	A
Ab	A
As	A
Am	A
Ap	AA
Ac	AA
Vs	AA
R	AA
AA	AA
Agua	Agua
SOc	C
LOc	C
SPT	C
SNC	C
Da	D
Db	D
Ds	D
Dm	D
Ld	L
La	L
Lg	L
Pf	P
Pf	P
Pf	P
Pf	P
Pf	P
Pa	P
Pa	P
Pa	P
Sd	S
Sa	S
Sp	S
Sg	S

**Classes de vegetação usadas para os mapas na escala
1:15.000.000**

FLORESTA OMBRÓFILA DENSA

D | Floresta ombrófila densa

FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA

A | Floresta ombrófila aberta

CAMPINARANA

L | Campinarana

SAVANA

S | Savana

FORMAÇÕES PIONEIRAS

P | Formação pioneira

CONTATOS - TENSÃO ECOLÓGICA

C | Contato

ÁREAS ANTRÓPICAS

AA | Áreas antrópicas

APÊNDICE B

Código (C++) das rotinas de simplificação de linhas implementadas no SPRING.

```

short
Line::Simplify (float snap, int mtype)
{
    Point ppo, *pp = NULL;
    Sint4 npte, npts,
        numa, numpf,
        npt, k, numdmax,
        j, i, retv;

    double *vx = NULL, *vy = NULL,
        dmax, d,
        a, b,
        aa1,
        ay, ax,
        pfy, pfx;

    int methtype;

    double dist, deltax, deltay;
    double div, daux, base, daux2, base2;

    if (snap == 0.0) // If snap is zero, don't worry
        return TRUE;

    npte = Size();
    if (npte <= 3)
        return TRUE; // If line is too short do nothing

    vx = new double[npte];
    vy = new double[npte];
    if ((vx == NULL) || (vy == NULL))
        return FALSE; // Not enough memory

    for (i = 0; i < npte; i++)
    {
        if (i == 0)
            pp = First();
        else
            pp = Next();
    }
}

```

```

        if (pp == NULL)
        {
            delete [] vx; vx = NULL;
            delete [] vy; vy = NULL;
        }
        vx[i] = pp->X();
        vy[i] = pp->Y();
    }

//Check for islands before defining number of points to be used
    if (vx[0] == vx[npte-1] && vy[0] == vy[npte-1] && mtype == 2)
        methtype = 1;
    else methtype = mtype;

// initialize variables
    npt = npte;
    i = 0;
    numa = 0;
    numpf = npt - 1;

// define anchor
    ax = vx[numa];
    ay = vy[numa];

// define floating point
    pfx = vx[numpf];
    pfy = vy[numpf];

// Douglas & Peucker or Douglas & Peucker + S/P ratio methods
    if(methtype == 1 || methtype == 2)
    {
        while (numa != (npt - 1))
        {
            // Compute coefficients of straight line y=ax+b
            if (pfx == ax)
                retv = 1;
            else
            {
                retv = 0;
                a = (pfy - ay)/(pfx - ax);
                b = pfy - a * pfx;
                aa1 = sqrt(a * a + 1.);
            }

            dmax = 0;
            numdmax = numpf;
        }
    }

```

```

    for (k = numa + 1; k < numpf; k++)
    {
//      Distance between point and line
        if (retv == 1)
            d = fabs(ax - vx[k]);
        else
            d = fabs(vy[k] - a*vx[k] - b)/aa1;

        if (d > dmax)
        {
            dmax = d;
            numdmax = k;
        }
    }

    if (methtype == 2) // Douglas & Peucker+S/P ratio
    {

        base2 = (double)((ax-pfx)*(ax-pfx) +
            (ay-pfy)*(ay-pfy));
        base = sqrt(base2);
        if (dmax != 0.)
        {
            daux = (double)dmax;
            daux2 = daux*daux;
            div = -4.*base2 + 4.*base*
                sqrt(base2 + 4.*daux2);
            dmax = div/(32.*daux);
        }
    }

    if (dmax <= snap)
    {
//      Store selected point
        vx[i] = ax;
        vy[i] = ay;
        i++;

//      Shift anchor
        numa = numpf;
        ax = vx[numpf];
        ay = vy[numpf];
        numpf = npt - 1;
    }
    else
//      Shift floating point
        numpf = numdmax;

```

```

        pfx = vx[numpf];
        pfy = vy[numpf];
    }

// Store results
vx[i] = vx[numa];
vy[i] = vy[numa];
npts = i+1;
}

// Julio's method (accumulated distance)
else
{
    j=0;
    while (numa != numpf)
    {
/* computing accumulated distance from first anchor */
        dist = 0.;
        for (i = numa; dist < snap && i != numpf; i++)
        {
            deltax = (vx[i] - vx[i+1])*(vx[i] - vx[i+1]);
            deltay = (vy[i] - vy[i+1])*(vy[i] - vy[i+1]);
            dist = dist + sqrt(deltax + deltay);
        }
        j++;

        /* storing selected point */
        vx[j] = vx[i];
        vy[j] = vy[i];

        /* shifting first anchor */
        numa = i;
    }

    /* defining size of resulting vectors */
    npts = j+1;

    /* rechecking for islands */
    if (npt != npte)
    {
        vx[npts] = vx[0];
        vy[npts] = vy[0];
        npts++;
    }
}
}

```

```

// Replace old points by new ones
Box box;
Lbox. Init (MAXFLOAT, MAXFLOAT, -MAXFLOAT, -MAXFLOAT);
Lsize = 0;
Lcurblock = BlockList :: First ();
Lcurblock->New ();
for (i = 0; i < npts; i++)
{
    k = i%MAXPOINTS;
    if (i && k==0)
    {
        box = Lcurblock->BoundingBox ();
        Lbox. ExtendArea (&box);
        Lcurblock = BlockList :: Next ();
        Lcurblock->New ();
    }
    ppo. Init(vx[i], vy[i]);
    Lcurblock->Append (ppo);
}
box = Lcurblock->BoundingBox ();
Lbox. ExtendArea (&box);
k = (i - 1) / MAXPOINTS + 1;
while (count > k)
    BlockList :: Kill (k);
Lcurblock = BlockList :: First ();
Lcurblock->First ();
Lsize = npts;
Lfirst = *First();
Llast = *Last();
delete [] vx; vx = NULL;
delete [] vy; vy = NULL;
return TRUE;
}

```