
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

**GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA FEIÇÕES
LINEARES EM AMBIENTE DIGITAL**

THATIANA LIMA VASCONCELOS

Orientadora: Prof^ª. Dra. Lucilene Antunes C. M. de Sá

Dissertação de Mestrado

**Recife
2012**

Thatiana Lima Vasconcelos

Bacharel em Geografia – Universidade Federal de Pernambuco – 2005

**GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA FEIÇÕES LINEARES
EM AMBIENTE DIGITAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Lucilene Antunes C. M. de Sá

Recife

2012

Catálogo na fonte

Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

V331g Vasconcelos, Thatiana Lima.

Generalização cartográfica para feições lineares em ambiente digital / Thatiana Lima Vasconcelos. - Recife: O Autor, 2012.

xvi, 86 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lucilene Antunes C. M. de Sá.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012.

Inclui Referências.

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA FEIÇÕES LINEARES EM AMBIENTE DIGITAL

POR

THATIANA LIMA VASCONCELOS

Dissertação defendida e aprovada em 28/02/2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dra. LUCILÉNE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. JOSÉ LUIZ PORTUGAL
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. PAULO MÁRCIO LEAL DE MENEZES
Departamento de Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Rosa Maria e José Américo, por terem sempre me apoiado em todas as minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Não é tarefa fácil agradecer a todos que me ajudaram a concluir esta dissertação. Espero não esquecer ninguém e começo agradecendo a Deus e ao meu anjo da guarda por terem me dado forças para continuar seguindo em frente apesar dos obstáculos no caminho.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão por terem me aturado por quase dois anos de mau humor dentro de casa e pelo carinho e cuidados que sempre me foram dados.

Agradeço imensamente à minha orientadora e amiga Lucilene Antunes que sempre me indicou os melhores caminhos a serem percorridos. Obrigada por ser o meu N acadêmico.

Agradeço também ao meu namorado Paulo por ser tão insistente e por não ter desistido de mim.

Aos meus colegas do mestrado, principalmente àqueles que cursaram a disciplina de Geodésia (ministrada pelo grande mestre Silvio Jacks) comigo, gostaria de agradecer o companheirismo e os momentos de aprendizagens que compartilhamos. São eles: Arlindo José Charles, Claudia Vergetti, Henrique Andrade, Wendson Souza, Rafael Rodrigues, Alex Garcia, Jancerlan Rocha, Marcelo Xavier, Ludmilla Calado, João Candido, Betânia Queiroz; e aos amigos do programa: Júnio Pimentel, Erison Barros, Lígia Alcântara, Samuel Pinho e João Alexandre Neto.

Aos amigos (Pré-Durante-Pós mestrado), Edla Siqueira de Farias, Caio Barbosa, Diego Valdevino, Charles, Michelle Adelino, e Jhonathan Gomes, obrigada por fazerem parte desta etapa, sem vocês teria sido tudo muito sem graça, expresso aqui a minha profunda gratidão.

Meus sinceros agradecimentos aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco. Agradeço à professora Ana Lúcia pela competência e trabalho sério na coordenação do programa. Agradeço em especial ao Professor Portugal e à Professora Simone Sato pelas valiosas dicas nas bancas de qualificação e andamento.

Agradeço à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudo nos dois anos de desenvolvimento da pesquisa.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desta dissertação de Mestrado.

“Nenhum homem pode atravessar o mesmo rio duas vezes, porque [já] nem o homem nem o rio são os mesmos.”

(Heráclito)

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xiii
LISTA DE QUADROS.....	xv
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvii
1. Introdução	1
1.1 – Objetivos da Pesquisa	3
1.1.1 – Objetivo Geral.....	3
1.1.2 – Objetivos Específicos.....	3
1.2 – Metodologia da Pesquisa	3
2. Generalização Cartográfica	6
2.1 - Conceitos de Generalização Cartográfica	6
2.2 – Automatização da Generalização Cartográfica.....	8
2.3 - Modelos Conceituais para generalização cartográfica.....	10
2.3.1 - O Modelo de Ratajski (1967)	10
2.3.2 - O Modelo de MCMASTER e SHEA (1992)	12
2.3.3 – O Modelo de BRASSEL e WEIBEL (1988)	15
2.4 - Necessidade da generalização cartográfica em ambiente digital	17
2.5 – Generalização Cartográfica de Feições Lineares.....	20
2.5.1 - Transformações de feições lineares individuais.....	23
2.5.2 - Transformações de conjuntos de feições Lineares.....	26
3. Generalização Cartográfica em ambiente digital	28
3.1 – Simplificação de Linhas.....	29
3.2 – Suavização de Linhas (<i>Smooth</i>)	32

4. Modelo de Generalização Cartográfica para Feições Lineares	35
4.1 – Formulação dos Critérios para tolerância.....	38
5 - Aplicação e Análise dos Algoritmos de Generalização Cartográfica	42
5.1 - Redução de Escala de 1:10.000 para 1:150.000	43
5.1.1 – Etapa da Simplificação	43
5.1.2 – Etapa da Suavização	48
5.1.3 - Avaliação da Qualidade da Representação.....	53
5.2 - Redução de Escala de 1:150.000 para 1:500.000	63
5.2.1 – Etapa da Simplificação	64
5.2.2 – Etapa da Suavização	69
5.2.3 – Avaliação da Qualidade da Representação	71
6. Conclusões e Recomendações	78
Referências Bibliográficas.....	83

RESUMO

VASCONCELOS, Thatiana Lima. **Generalização Cartográfica para o Mapeamento Costeiro em Ambiente Digital**. Recife, 2012, 86p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A generalização cartográfica tem uma longa história na cartografia, na arte de criação de mapas com diferentes escalas e usos. Diante das restrições impostas através da escala de representação, a informação do terreno pode sofrer perdas, omissões ou até mesmo não ser representada. Um documento cartográfico vetorial é composto por feições planares, pontuais e lineares, porém, grande parte dos esforços para automatizar a generalização cartográfica foi concentrado nas feições lineares. Esta pesquisa apresenta aplicações e avaliações de algoritmos de generalização cartográfica em feições lineares, tendo como referência de estudo a base cartográfica sobre a sensibilidade ambiental ao óleo do litoral de Pernambuco. Para tanto foram estudados os algoritmos de *Douglas-Peucker* e de *Wang*, para a simplificação e os algoritmos *PAEK* e *Bézier Curves* para a suavização de feições lineares. Estes algoritmos foram aplicados na linha de costa com o objetivo de avaliar seus resultados em duas mudanças de escalas, a base cartográfica na escala de 1:10.000 foi generalizada para uma escala de 1:150.000 e esta para a escala de 1:500.000. Como resultado, são propostos dois modelos para generalizar feições lineares, além da formulação de critérios para a escolha dos valores de tolerância para a aplicação dos algoritmos de generalização cartográfica, e propõem-se novos métodos de avaliação da qualidade da representação em meio digital.

Palavras-chave: Generalização Cartográfica; Feições Lineares; Sistema de Geoinformação - SIG.

ABSTRACT

The cartographic generalization has a long history in cartography at the art of creating maps with different scales and uses. Given the constraints imposed by the scale of representation, information contained in the map may suffer losses, omissions, or not even be represented. A cartographic document vector is composed of planar, points and linear features, however, most efforts to automate the map generalization has been focused on linear features. This research has applications and evaluations of algorithms for cartographic generalization of linear features, with reference to study the basemap on the environmental sensitivity to oil of the coast of Pernambuco. Therefore, we studied the Douglas-Peucker and Wang algorithm, to simplify, and the algorithms PAEK and Bezier Curves for the linear smoothing. These algorithms were applied to the shoreline in order to assess their results in two changes of scales, the base map scale of 1:10,000 has been generalized to a scale of 1:150,000 and this for the scale of 1:500,000. As a result, we propose two models for generalized linear features and the formulation of criteria for the choice of tolerance values for the application of algorithms for cartographic generalization, and propose new methods to evaluating the quality of representation data in the digital environment.

Keywords: Cartographic Generalization, Coastal Maps; Geographic Information System - GIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema da metodologia da pesquisa	5
Figura 2 – Pirâmide de Ratajski.....	12
Figura 3 – Modelo de MCMASTER e SHEA	13
Figura 4 – Modelo de BRASSEL e WEIBEL	16
Figura 5 – Operadores de transformações de feições lineares individuais.....	23
Figura 6 – Suavização de Feição Linear	26
Figura 7 – Operadores de transformações de conjuntos de feições Lineares.....	27
Figura 8 – Algoritmo de Douglas-Peucker	30
Figura 9 – Bends.....	31
Figura 10 – Simplificação de Feições Lineares	32
Figura 11 – Curva de Bézier	33
Figura 12 – Suavização de Feições Lineares.....	34
Figura 13 – Generalização Sequencial	36
Figura 14 – Área de Aplicação da Generalização	39
Figura 15 – Etapas da Simplificação da Linha de Costa	42
Figura 16 – Arquivo Original (LC).....	44
Figura 17 – Simplificação com o Algoritmo Douglas-Peucker	44
Figura 18 – Simplificação com o Algoritmo de Wang.....	45
Figura 19 – Comparação entre os arquivos LC e LC_DP75.....	46
Figura 20 – Comparação entre os arquivos LC e LC_WA75.....	46
Figura 21 – Comparação entre os arquivos LC_DP75 e LC_WA75.....	47
Figura 22 – Suavização com o Algoritmo PAEK.....	49
Figura 23 – Suavização com o Algoritmo Bézier Curves	50
Figura 24 – Comparação entre os arquivos LC e LC_DP75_BC	51
Figura 25 – Comparação entre os arquivos LC e LC_DP75_PAEK375	52

Figura 26 – Erros topológicos LC_DP75_BC	55
Figura 27 – Erros topológicos LC_DP75_PAEK375	56
Figura 28 – Erros topológicos LC_WA75.....	57
Figura 29 – Avaliação Posicional LC_DP75_BC	59
Figura 30 - Avaliação Posicional LC_DP75_PAEK375	60
Figura 31 – Avaliação Posicional LC_WA75	61
Figura 32 – Fluxograma para mudança de escala de 1:150.000 para 1:500.000	63
Figura 33 – Simplificação com o Algoritmo Douglas-Peucker (250m)	65
Figura 34 – Simplificação com o Algoritmo de Wang (250m).....	65
Figura 35 – Comparação entre os arquivos LC_DP75_PAEK375 e LC_DP250	66
Figura 36 – Comparação entre os arquivos LC_WA75 e LC_ WA250	67
Figura 37 – Comparação entre os arquivos LC_DP250 e LC_ WA250.....	67
Figura 38 - Suavização com o Algoritmo PAEK (125m)	70
Figura 39 – Comparação entre os arquivos LC_ WA250 e LC_DP250_PAEK125.....	70
Figura 40 – Erros topológicos LC_DP250_PAEK125.....	73
Figura 41– Erros topológicos LC_WA250	74
Figura 42 - Avaliação Posicional LC_DP250_PAEK125	75
Figura 43 - Avaliação Posicional LC_WA250	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - A estruturação dos Operadores.....	19
Quadro 2 – Características dos Algoritmos de suavização	25
Quadro 3 – Modelo Proposto	35
Quadro 4 – Planos de Informações.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Controle de qualidade Geométrico (DECRETO N.º 89.817).....	37
Tabela 2 – Valores de Tolerâncias	40
Tabela 3 – Valores para avaliação da qualidade de representação.....	41
Tabela 4 – Número total de pontos - Simplificação	48
Tabela 5 – Número total de pontos - Suavização.....	53
Tabela 6 – Avaliação Posicional (1:10.000 para 1:150.000)	62
Tabela 7 – Avaliação da Qualidade da Representação.....	62
Tabela 8 – Número total de pontos – Simplificação (1:150.000 – 1:500.000).....	68
Tabela 9 – Número total de pontos – Suavização com o Algoritmo PAEK	71
Tabela 10 – Avaliação Posicional (1:150.000 para 1:500.000)	77
Tabela 11 – Avaliação da Qualidade da Representação	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo
Cartas SAO	Cartas de Sensibilidade Ambiental ao derramamento de Óleo
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
ET-ADGV	Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-EDGV	Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais digitais vetoriais
ET-PCDG	Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais
ICA	<i>International Cartographic Association</i>
ICC	<i>International Cartographic Conference</i>
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
PAEK	Polynomial approximation with exponential Kernel
PBA	Projetos básicos ambientais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfico
RNEST	Refinaria do Nordeste – Abreu e Lima
SIG	Sistema de Geoinformação
SQA	Secretaria de Qualidade Ambiental

1. INTRODUÇÃO

Um documento cartográfico representa um fenômeno em escala reduzida, se comparado com sua ocorrência no mundo real. Diante das restrições impostas através da escala de representação, a informação contida no mapa pode sofrer perdas, omissões ou até mesmo não ser representada. Isso implica dizer que todo mapa foi generalizado para coincidir com os critérios de exibição.

A generalização cartográfica pode ser entendida como um processo de transformação que permite, através de uma seleção criteriosa dos elementos, reconstituir um mapa com maior adequabilidade, clareza e objetividade.

No final de 2008 foi firmada parceria entre os departamentos de Engenharia Cartográfica e Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, com o objetivo de elaborar uma base cartográfica sobre a sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo no litoral de Pernambuco. A base cartográfica reuniu e incorporou dados definidos pelas normas do Ministério de Meio Ambiente e após identificação e tratamento as fontes de dados espaciais passaram a fazer parte da base de dados espaciais na escala de 1:10.000.

Cartas SAO são as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (JENSEN, 1998), requisitos obrigatórios nos Projetos Básicos Ambientais – PBA e, no estado de Pernambuco, serviram de base para a implantação da Refinaria do Nordeste (Abreu e Lima) – RNEST.

O mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo está dividido em três níveis, que variam entre as escalas 1:10.000 e 1:500.000. Para o estado de Pernambuco foram geradas cartas na escala de 1:10.000 e 1:50.000, são as chamadas Cartas Operacionais.

A base de dados espaciais utilizadas nesta pesquisa foi a gerada para as Cartas SAO e a generalização cartográfica foi feita sobre feições lineares em ambiente digital. As Cartas SAO podem ser operacionais (1:10.000 e 1:50.000), Táticas (1:150.000) e Estratégicas (1:500.000), o que motivou o estudo de generalização cartográfica sobre a base de dados espaciais.

A abordagem algorítmica para generalização cartográfica precisa ser avaliada com cuidado, pois não foi encontrada em pesquisa bibliográfica uma teoria que explique qual algoritmo é o mais adequado para feições específicas ou para o mapa como um todo. Por isso sugere-se que deve haver uma maior concentração na aplicação dos algoritmos existentes do que na tentativa de criar novos (MÜLLER *et al.*, 1995).

Desta forma, alguns algoritmos de Simplificação e Suavização foram aplicados na linha de costa com o objetivo de avaliar seus resultados nas duas mudanças de escalas. A base de dados espaciais na escala de 1:10.000 foi generalizada para a escala 1:150.000, e esta para a escala 1:500.000.

A pesquisa visa contribuir para a identificação dos objetivos da generalização cartográfica no domínio digital, pois testa alguns algoritmos

existentes para simplificação e suavização de linhas em ambiente SIG, além de estabelecer critérios e regras que satisfazem as mudanças de escalas pretendidas.

1.1 – Objetivos da Pesquisa

1.1.1 – Objetivo Geral

Analisar algoritmos de generalização cartográfica para feições lineares em ambiente digital.

1.1.2 – Objetivos Específicos

- Identificar algoritmos de simplificação e suavização para generalização cartográfica em ambiente SIG;
- Aplicar os algoritmos de simplificação e suavização em feições lineares;
- Avaliar a aplicação dos algoritmos com relação a feições lineares.

1.2 – Metodologia da Pesquisa

O embasamento teórico foi construído em cima dos distintos conceitos de generalização cartográfica, dos seus modelos conceituais, e principalmente na Generalização Cartográfica de feições lineares em ambiente digital.

Após uma explanação sobre Generalização Cartográfica de feições lineares em ambiente digital foi possível realizar uma análise preliminar das experiências com os Algoritmos de generalização cartográfica nos *softwares* de Sistema de

Geoinformação – SIG. A partir daí, foram selecionados os algoritmos de simplificação e suavização de feições lineares, sendo: Algoritmo de Douglas-Peucker e Algoritmo de Wang, na simplificação e Algoritmo PAEK e Algoritmo *Bézier Curves*, na suavização.

A aplicação e análise dos algoritmos na generalização de Feições Lineares deu-se de maneira seqüencial, ou seja, após a correção dos erros topológicos foram aplicados os algoritmos na mudança de escala de 1:10.000 para 1:150.000, depois, sem aplicar correções topológicas generalizou-se a base na escala 1:150.000 para 1:500.000.

As feições lineares generalizadas passaram por três tipos distintos de avaliações da qualidade da representação:

- Avaliação Visual – onde utilizou-se o senso crítico do responsável pela generalização;
- Avaliação Topológica – onde foram avaliadas as regras topológicas; e
- Avaliação Posicional – onde foram empregados os critérios do PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica.

Paralelamente à avaliação da qualidade da representação cartográfica das feições, foi feita uma análise das experiências na aplicação dos algoritmos e o produto permitiu gerar propostas para generalização de feições lineares em mapas ambientais.

Na Figura 1 é possível visualizar o fluxograma dos procedimentos metodológicos desta pesquisa.

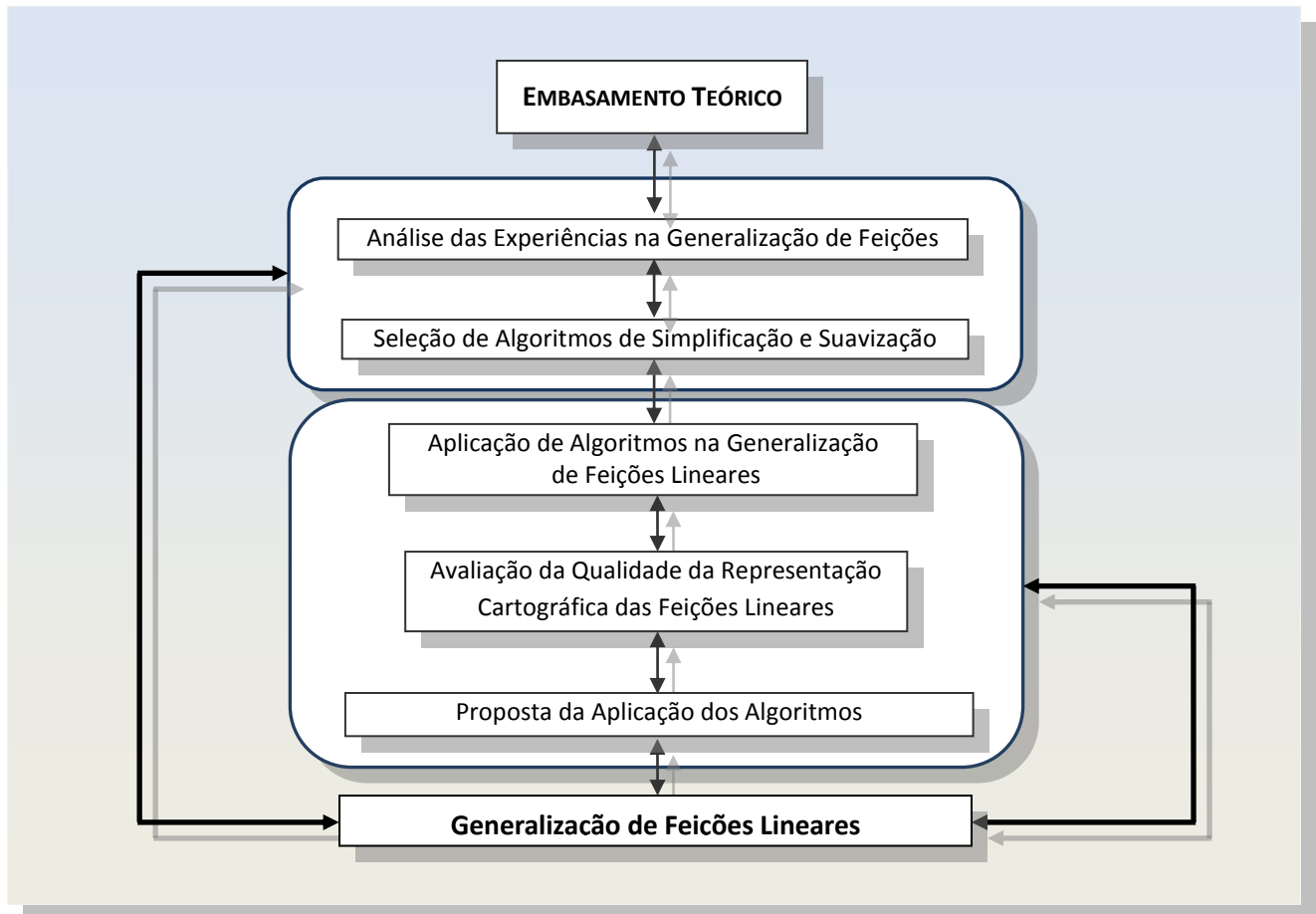


Figura 1 – Esquema da metodologia da pesquisa

2. GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A Associação Internacional de Cartografia – ICA, na décima quinta Conferência Cartográfica Internacional (ICC), em Bournemouth, Reino Unido em 1991, criou um grupo de trabalho sobre generalização cartográfica, que atualmente é uma comissão técnica (*ICA Commission on Map Generalisation and Multiple Representation*) cujo objetivo é a formalização do conhecimento em generalização, fornecendo um fórum para troca de ideias e como suporte a uma rede de comunicação entre pesquisadores e instituições que estudam o tema.

2.1 - Conceitos de Generalização Cartográfica

O termo generalização é utilizado em muitos contextos da ciência e do dia a dia. Na filosofia, generalização significa a operação de abstração que dá ensejo a um termo ou uma proposição geral e algumas vezes também se dá o nome de indução (ABBAGNANO, 1998, p. 487). Em ciência da computação, geralmente refere-se ao processo de modelagem semântica de agrupar tipos de entidades conceitualmente relacionados como parte de um esquema de classificação hierárquica. Em cartografia, a generalização retém a noção de abstração e de extração dos princípios gerais de substituição.

A generalização tem uma longa história na Cartografia, na arte de criação de mapas com diferentes escalas e usos, porém, o seu conceito não é universal. A seguir ver-se-á algumas definições do conceito de generalização cartográfica.

A Associação Internacional de Cartografia – ICA em 1973 definiu a generalização como sendo a seleção e a representação simplificada de detalhes com uma devida adequação à escala ou finalidade do mapa.

Para RUAS (1998) generalização é um processo que visa simplificar o conteúdo dos dados geográficos, conservando o significado essencial inerente às informações iniciais.

Segundo LOPES (2005):

“A generalização cartográfica define-se como um processo de ajustamento de conteúdo e gráfico, com a finalidade de melhorar o uso de dados geográficos a um nível mais elevado da percepção visual de entidades espaciais/temporais tal como as suas relações.”

D'ALGE (2007) afirmou que:

“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.”

A SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY, em 1979, descreve que o objetivo da generalização é obter a maior acurácia possível de acordo com a escala do mapa, bom poder de informação geométrica, boa caracterização dos elementos e das formas, a maior similaridade possível em relação à natureza em formas e cores, boa legibilidade, simplicidade e explicitação da expressão gráfica e coordenação de diferentes elementos.

WEIBEL e JONES (1998) afirmaram que generalização cartográfica (ou simplesmente generalização), é o processo de derivação a partir de uma base de dados espaciais onde a complexidade e o conteúdo são reduzidos, mantendo as

principais características estruturais dos dados de origem apropriadas para a finalidade exigida.

JONES (2003) definiu dois tipos principais de generalização:

- Generalização Conceitual que está baseada na escolha inicial da informação relevante a ser apresentada no mapa; e
- Generalização Geométrica baseada na manipulação de características gráficas de objetos representados no mapa.

De acordo com estes conceitos, conclui-se que a transformação da escala é a operação mais relevante para a imposição da generalização. Pois, quanto menor a escala, maior será a generalização dos dados espaciais, sendo, portanto a generalização inversamente proporcional à escala.

2.2 – Automatização da Generalização Cartográfica

A automatização da generalização cartográfica torna-se complexa pois um mapa é uma mistura de padrões métricos e topológicos que possuem propriedade individuais e interdependentes entre si. Sendo assim, até mesmo o processo manual exige uma avaliação de múltiplos fatores e o mesmo elemento pode ser descrito de distintas formas de acordo com a formação do responsável pela generalização, visto que cada pessoa tem uma percepção diferente da realidade.

Nos anos 60 o problema da generalização automática foi formulado pela primeira vez e o termo Generalização Digital foi muitas vezes usado para enfatizar a transição do processo manual para o automático - podendo ser definida como o

processo de derivação a partir de uma fonte de dados simbólica ou um conjunto de dados cartográficos digitalmente codificados através da aplicação de transformações espaciais e de atributo (MCMASTER e SHEA, 1992).

Os processos de generalização manual e automática diferem em vários aspectos: enquanto o processo manual é holístico em sua percepção e execução, o processo automático funciona através da lógica finita de um computador. (AASERUD e RANANG, 2001)

Uma das características da generalização manual é a subjetividade envolvida no processo, motivada pela ausência de regras. No processo manual o profissional é capaz de perceber o mapa como um todo para só então proceder com mudanças globais utilizando o processamento simultâneo de informações.

Outro problema que se apresenta é que para permitir a generalização manual em ambiente digital, é necessário incorporar os conhecimentos cartográfico e geográfico do profissional responsável pelo trabalho (SHEA, 1991). O processo automático ainda está longe de mapear a percepção como um todo, uma vez que o computador precisa manipular as informações de forma independente e através de sequências de instruções pré-determinadas. Além do que, ZHAN e BUTTENFIELD (1996), consideram que é praticamente impossível captar todos os conhecimentos para desenvolver um sistema que imite o processo de tomada de decisão.

HANGOUËT (1998) fez uma comparação sobre esses processos: O mapa é uma imitação do terreno, a generalização é uma imitação do mapa,

generalização automática é uma imitação da generalização manual, então a generalização automática é uma imitação de uma imitação de uma imitação do terreno.

2.3 - Modelos Conceituais para generalização cartográfica

A fim de apoiar uma maior variedade de tarefas entre usuários e mapas, uma compreensão mais profunda de como formalizar e aplicar o conhecimento cartográfico no processo de generalização ainda é necessário.

Os modelos conceituais são utilizados como instrumentos para descrever e estruturar os fenômenos geográficos, e são pré-requisito para a comunicação dentro e entre as diversas disciplinas (GRÜNREICH, 1995). Assim, um modelo conceitual de generalização é um conjunto de procedimentos e informações genéricas para generalizar uma base de dados espaciais (RUAS, 1999).

Os métodos algorítmicos são muito comuns quando se buscam soluções através do computador. Uma característica marcante nas pesquisas sobre generalização cartográfica é a ligação entre processos observados no mundo real e algoritmos através de modelos conceituais (D'ALGE, 2007).

2.3.1 - O modelo de Ratajski (1967)

O primeiro modelo conceitual de generalização foi proposto pelo cartógrafo polonês LECH RATAJSKI (1967). Este identifica dois tipos de processos na generalização:

- A generalização quantitativa que consiste de uma eliminação progressiva do conteúdo do mapa em relação a uma redução de escala; e
- A generalização qualitativa que resulta em transformações na representação dos objetos, por exemplo, uma área passar a ser um ponto.

O modelo define o **Ponto de Generalização** como o momento que, ao reduzir a escala, a capacidade de comunicação é diminuída sendo necessária uma mudança no método de representação, que ocorrerá dentro dos métodos qualitativos ou quantitativos.

A generalização cartográfica é representada como um triângulo cuja base é a capacidade inicial do mapa e a parte superior representa o seu limite. Quando o nível de generalização se aproxima da parte superior, uma mudança na representação torna-se necessária. Portanto, da base do mapa até a parte superior pode haver uma série de generalizações, porém não se admite mais nenhuma quando a parte superior é alcançada, Figura 2.

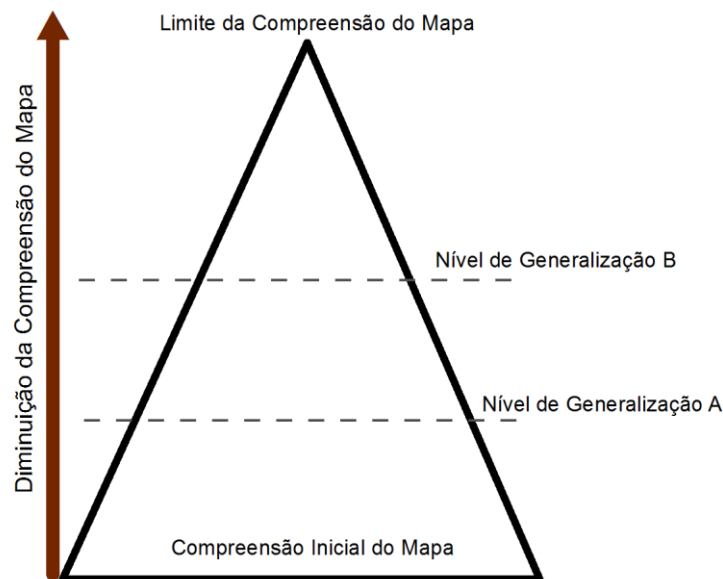


Figura 2 – Pirâmide de Ratajski

2.3.2 - O modelo de MCMASTER e SHEA (1992)

MCMASTER e SHEA (1992) propuseram um modelo para a Generalização Digital (Figura 3). O processo foi dividido em três questões:

- (a) os objetivos filosóficos em resposta a pergunta de **Por Que** generalizar;
- (b) uma avaliação cartométrica das condições presentes responderia a questão de **Quando** generalizar; e
- (c) os métodos de generalização, ou seja, os operadores resultantes em resposta à pergunta de **Como** generalizar.

Este modelo é uma profunda reflexão sobre a generalização e pode ser aplicado em qualquer trabalho, pois o mesmo analisa praticamente todos os aspectos de uma generalização, sua definição serviu para fixar toda a terminologia hoje conhecida (BALBOA, 2006).

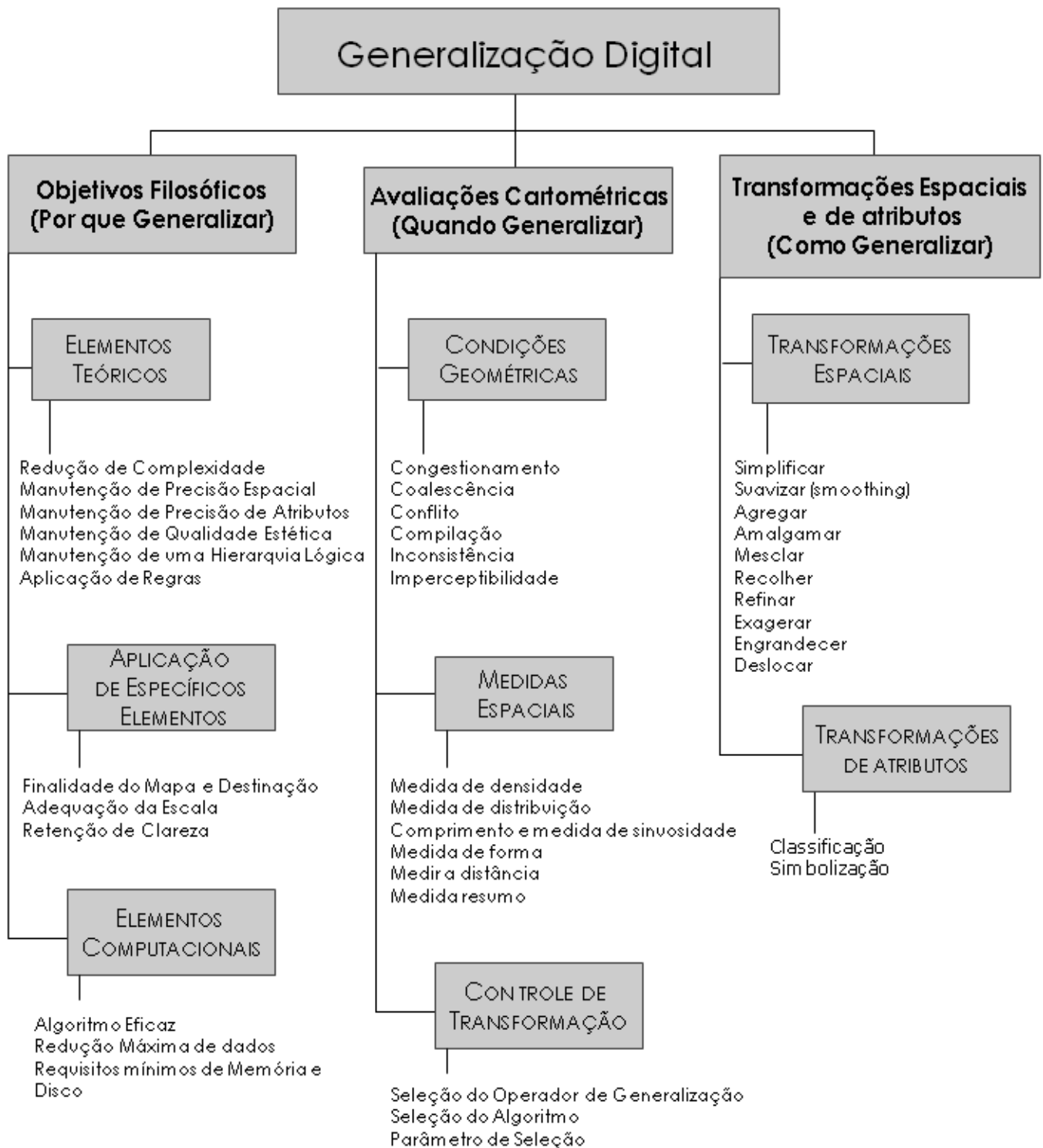


Figura 3 – Modelo de MCMASTER e SHEA
Fonte: MCMASTER e SHEA (1992)

Com os objetivos filosóficos se pretende analisar a necessidade de generalização em ambiente digital através de três tipos distintos:

- Elementos Teóricos definem de forma abstrata os princípios cartográficos na decisão de generalizar os mapas como uma necessidade e não como uma opção;
- Aplicação de Elementos Específicos que identificam as limitações do processo de generalização;
- Elementos Computacionais levam em consideração a capacidade dos computadores, mas que nos dias atuais é questionável.

A avaliação cartométrica identifica situações onde a generalização digital é necessária, por exemplo, caso exista a possibilidade do usuário tirar conclusões erradas devido à má representação causada pela alteração da escala. Três grupos de eventos são descritos:

- Condições Geométricas, que tornam necessário o processo de generalização;
- Medidas Espaciais, que servem para caracterizar as relações entre os elementos da carta e os próprios dados, complementando as condições geométricas;
- Controles de Transformação, que são particulares em cada processo e estão agrupadas em transformações: espaciais e de atributos.

Com as Transformações Espaciais e de Atributos, os diferentes tipos de operadores são executados permitindo a realização da generalização. Estes

operadores foram desenvolvidos a partir de técnicas manuais de generalização, como também através de métodos matemáticos e podem modificar os dados digitais ou seu modo de representação. Um operador de generalização define o tipo de transformação espacial que deve ser alcançado, enquanto que, o algoritmo de generalização implementa a transformação (WEIBEL e DUTTON, 1999).

Os dois tipos, Transformações Espaciais e de Atributos, não são independentes entre si, pois em muitas ocasiões estarão relacionados. Para tanto conclui-se que o aspecto mais crítico no processo de automatização da generalização seria um controle das transformações, uma vez que as decisões devem levar em conta a importância das feições, a complexidade das relações entre elas, a eficiência do mapa e a necessidade de variar o esquema de generalização para diferentes feições.

Apesar do modelo de MCMASTER e SHEA ter influenciado as pesquisas mais recentes sobre o tema, ele apresenta algumas limitações, como por exemplo, a não consideração de correlações existentes entre os parâmetros envolvidos nas várias transformações.

2.3.3 - Modelo de BRASSEL e WEIBEL (1988)

BRASSEL e WEIBEL (1988) propuseram um modelo conceitual em que generalizar significa processar mentalmente a informação, considerando ordem, disposição, distinção, comparação, combinação, reconhecimento de relações, esboço de conclusões e abstração, para assim decompor a realidade

experimentada em entidades individuais; selecionando as que são importantes e representando-as em uma nova forma.

A generalização é composta por cinco etapas: reconhecimento de estrutura, processo de reconhecimento, processo de modelagem, execução de processos e visualização de dados (Figura 4).

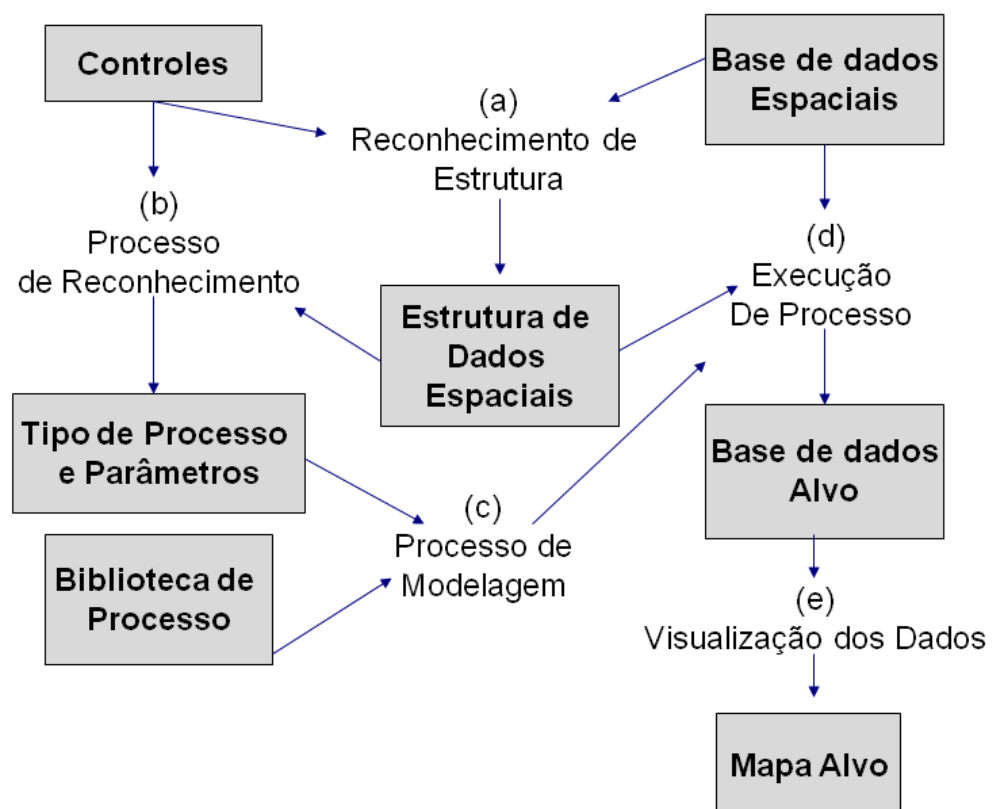


Figura 4 – Modelo de BRASSEL e WEIBEL

Fonte: BRASSEL e WEIBEL (1988)

- (a) Reconhecimento das estruturas: Identificam objetos ou agregações de objetos, suas relações espaciais e as medidas de importância;
- (b) Processo de Reconhecimento: Compreende as tarefas que vão desde a identificação dos tipos de dados, parâmetros das estruturas, determina o que fazer com o banco de dados original, tipos de

resolução de conflitos, categoria de objetos e estruturas a serem refletidas no mapa final;

- (c) Processo de Modelagem: Definição das regras de cada processo previamente identificado e implementação do algoritmo;
- (d) Execução do Processo: Aplicação das regras e procedimentos na base de dados original para obtenção dos dados generalizados;
- (e) Dados de Exibição: Transformação dos dados obtidos a partir da generalização no Mapa Generalizado.

BRASSEL e WEIBEL (1988) propuseram a distinção entre generalização estatística e cartográfica. Generalização estatística foi descrita como um processo analítico que trata das informações de redução de conteúdo em um banco de dados sob controle estatístico. Generalização cartográfica foi considerada como modelagem espacial para comunicação visual que visa modificar a estrutura local.

2.4 - Necessidade da generalização cartográfica em ambiente digital

Para MÜLLER (1991), existem quatro razões básicas para os dados espaciais serem generalizados:

- **Necessidade em economizar:** Os dados são filtrados durante o processo de aquisição, pois depende diretamente da disponibilidade econômica e tecnológica. Portanto, a generalização começa nesta etapa, uma vez que só se pode conhecer a realidade parcialmente;
- **Necessidade de dados robustos:** O erro é um componente intrínseco de todas as bases de dados, introduzidos a partir da coleta de dados e em

cada processo realizado sobre eles. A generalização se apresenta como instrumento para filtrar erros e consolidar tendências;

- **Necessidade de dados multifuncionais:** A generalização permite o mapeamento em menor escala a partir de um único banco de dados;
- **Necessidade de boa exibição e comunicação:** Com o propósito de alcançar maior clareza gráfica, a generalização impede efeitos indesejáveis, como colisões, por exemplo.

Apesar das contribuições geradas a partir da investigação sobre o tema da generalização, o que se tem são apenas alguns algoritmos. Muitas operações de generalização como simplificação, classificação, eliminação e agregação, já existem nos Sistemas de Geoinformação (SIG) comerciais e até mesmo operações mais complexas, como deslocamento de entidades. (LOPES, 2005)

As ações da generalização foram decompostas em diversos operadores básicos agrupados em transformações espaciais e de atributos que podem ser aplicados aos dados vetoriais.

A fim de criar um conjunto único de operadores para a generalização cartográfica CARDONI e SILVA (2003) fizeram um estudo envolvendo mais de 12 autores, que vêm pesquisando e definindo os operadores de generalização. O Quadro 1, apresenta essa estrutura que levou em consideração os tipos de generalização: Generalização Conceitual, Geométrica e Conceito-Geométrica (quando a generalização afeta a simbologia e os atributos).

Quadro 1 - A estruturação dos Operadores

Fonte: ISSMAEL e SILVA (2003)

TIPOS DE GENERALIZAÇÃO	FINALIDADE SEMELHANTE	OPERADORES	TIPO DE TRANSFORMAÇÃO
GENERALIZAÇÃO GEOMÉTRICA	TRATAMENTO DE TOPONÍMIA	ABREVIATURA	TRANSFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS
		ASSOCIAÇÃO GRÁFICA	
	AMPLIAÇÃO DE OBJETOS	EXAGERO	
	MUDANÇA DE POSICIONAMENTO	DESLOCAMENTO	
		ROTAÇÃO	
	EXCLUSÃO/MANUTENÇÃO DE OBJETOS	DISSOLUÇÃO	
		ELIMINAÇÃO/MANUTENÇÃO	
	MANUTENÇÃO DO ASPECTO GERAL	REFINAMENTO	
GENERALIZAÇÃO CONCEITUAL	REUNIÃO EM CLASSES	CLASSIFICAÇÃO	TRANSFORMAÇÕES CONCEITUAIS
		SIMBOLIZAÇÃO	
	ATRIBUIÇÃO DE NOVA SIMBOLOGIA		
GENERALIZAÇÃO CONCEITO-GEOMÉTRICA	MUDANÇAS DIMENSIONAIS OU SUBSTITUIÇÃO PELO MESMO TIPO DE DADO	AGREGAÇÃO	TRANSFORMAÇÕES CONCEITO-GEOMÉTRICAS
		COLAPSO	
		SEGMENTAÇÃO	
		UNIFICAÇÃO	
	ÊNFASE NA SIMBOLOGIA DOS OBJETOS	REALCE	

O processo de generalização tem muitas implicações, destacam-se alguns dos efeitos provocados:

- Alteração no comprimento de linhas (pela simplificação);
- Alteração nas áreas (pela amalgamação, fusão e agregação);
- Alteração da posição relativa dos objetos (por deslocamento);
- Mudança das classes topológicas (Pelo colapso);

- Criação de um novo objeto ou substituição de conjuntos de objetos por outro objeto (por fusão, amalgamação, agregação);
- Existência de atributos para objetos que já não têm representação.

2.5 – Generalização Cartográfica de Feições Lineares

Em ambiente digital, na estrutura vetorial, as feições lineares são representadas por um discreto número de vértices conectados por vetores. A redução no detalhe das linhas equivale à eliminação controlada de pontos que a formam, mantendo as suas características e a sua legibilidade.

A ideia por trás dos algoritmos de simplificação foi a descoberta por ATTNEAVE (1954), que concluiu que em um objeto, alguns pontos possuem mais informações que outros, sendo estes suficientes para caracterizar a forma deste objeto. Portanto, um grande número de pontos, com menos informação, pode ser removido sem causar grandes deformações.

Nas décadas de 1970 e 1980, foi desenvolvida uma série de métodos para remover pontos a partir de feições lineares de um mapa. No entanto, a motivação principal para o seu desenvolvimento foi a falta de espaço lógico para o armazenamento de bases de dados, ou seja, a compactação de dados.

O processo de remoção dos pontos que compõem uma linha para um caminho mais simples com o objetivo de uma redução de escala, costumava ser identificado exclusivamente como o **operador de simplificação**, um exemplo desta afirmação pode ser encontrada em MCMASTER e SHEA (1992). A simplificação

diminuiria a quantidade de informação necessária ao representar uma linha, deixando apenas os pontos que melhor definiam a geometria para o nível de generalização desejado, porém, os benefícios alcançados foram a redução do tempo de mapeamento, no processamento de dados e no espaço de armazenamento (MCMASTER e SHEA, 1992), o que foi um grande avanço já que nessa época o espaço para armazenamento de dados era bastante limitado.

Atualmente o conceito de simplificação de uma linha é mais completo, pois considera-se que simplificar uma linha é manter suas características mais importantes (tais como: sinuosidade, homogeneidade, dentre outros) ou apenas eliminar características desnecessárias, considerando a escala final e uso do mapa (BALBOA, 2006). simplificar elementos exige mais do que apenas remover vértices, DUTTON, (1999).

Para BALBOA (2006) o termo mais correto seria **algoritmos de eliminação de pontos**, em vez de considerá-los como algoritmos de simplificação. Esta redefinição de tais algoritmos envolve uma reflexão sobre a sua utilidade na generalização cartográfica.

Para DUTTON (1999), o advento do mapeamento digital aumenta a perspectiva sobre a geometria de uma linha, pois se considera que pontos adimensionais formando a linha realmente existem e sua importância pode ser quantificados e qualificados.

BALBOA (2006) fez uma compilação de várias pesquisas que têm exposto sobre as características dos algoritmos de simplificação. Algoritmos estes que

servem para corroborar com a necessidade de métodos para serem usados no processo de generalização cartográfica:

- Não é correto utilizar a generalização de linhas como método de aproximação de curvas, ou seja, técnica para representar uma curva por uma poli-linha, LI e SUI, (2000);
- Os algoritmos são projetados para reduzir a informação ao invés de generalizar (LI e OPENSHAW, 1992);
- A seleção das feições escolhidas pela sua importância global pode produzir resultados que não se mostram ideais ao simplificar os elementos do mapa, DUTTON, (1999);
- A qualidade do resultado parece variar dependendo das características da linha, BUTTENFIELD, (1991). Há dificuldade de implementação dos algoritmos para feições lineares, PLAZANET, (1997);
- A linha resultante pode apresentar uma forma bastante angulosa, muito diferente da forma real da linha, LI e OPENSHAW, (1992);

Em resumo, estes algoritmos permanecem plenamente em vigor, o que mudou foi a perspectiva e a sua aplicabilidade na generalização de feições lineares.

2.5.1 - Transformações de feições lineares individuais

A generalização de feições lineares pode ser considerada como um dos procedimentos mais complexos no processo cartográfico, uma série de operadores foram criados para generalizar geometricamente uma feição linear individual, como pode ser visto na Figura 5.


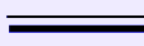

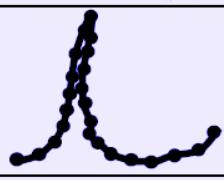



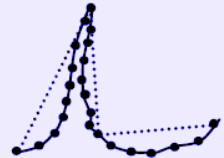

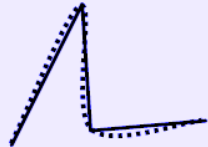

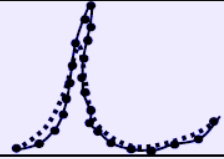



OPERADORES		ESCALA GRANDE	ESCALA PEQUENA
Deslocamento			
Eliminação			
Scale-Driven			
Modificação Parcial			
Redução de Ponto			
Suavização	Ajuste de Curva		
	Filtragem		
Tipificação			

Figura 5 – Operadores de transformações de feições lineares individuais

Fonte: LI (2006)

Os operadores apresentados na Figura 5 são definidos, como:

- Deslocamento: desloca a linha em uma determinada direção;
- Eliminação: elimina uma linha, pois a mesma não possuiria dimensão para ser representada;
- (*Scale-driven*): produz uma nova linha na qual a principal estrutura é mantida, mas pequenos detalhes são removidos;
- Modificação Parcial: modifica a forma de um segmento dentro de uma linha;
- Redução de Ponto (**simplificação**): Reduz o número de pontos e apenas os pontos críticos são mantidos;
- Suavização: Faz a linha parecer mais suave;
- Tipificação: Manter o padrão das curvas, removendo algumas linhas.

As feições lineares em ambiente digital tendem a ser angulares e com estética não muito agradável (especialmente em escala grande). Já quando profissionais desenham estas feições têm uma aparência mais fluída, ao contrário da simplificação, que se esforça para reduzir detalhes a fim de remover pequenas perturbações e capturar apenas as tendências mais significativas da linha.

Os algoritmos de suavização podem ser classificados de várias maneiras, a descrição de algumas de suas características pode ser observada no Quadro 2.

De acordo com LI (2006) existem dois tipos de suavização: filtragem e ajuste de curva. Filtragem significa eliminar os pequenos detalhes da feição tornando-a

mais suave. Já o ajuste de curvas faz uma adequação da linha através de um conjunto de pontos.

Quadro 2 – Características dos Algoritmos de suavização

Rotinas	Características
Ponto Médio	<ul style="list-style-type: none"> - Média calculada com base nas posições dos pares de coordenadas existentes e as dos seus vizinhos; - Apenas os pontos das extremidades permanecem inalterados; - Mantém o mesmo número de pontos da linha original; - Cada algoritmo pode ser facilmente adaptado a diferentes condições de nivelamento pela escolha de parâmetros de tolerância diferentes;
Ajuste de Curvas Matemáticas	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de uma função matemática ou uma série de funções que descrevem a natureza geométrica da feição; - O número de pontos que se mantém é variável e controlado pelo usuário; - A manutenção dos pontos das extremidades e intermediários da linha original dependem das opções de escolhas do algoritmo e suas tolerâncias; - Depois da escolha do algoritmo é permitido um pouco de flexibilidade para alterar a forma final da feição suavizada; - Os parâmetros da função podem ser armazenados e posteriormente utilizados para reger a feição.
Tolerância	<ul style="list-style-type: none"> - Cada algoritmo utiliza algum tipo de relacionamento geométrico e de tolerância entre os pontos definidos pelo usuário para suavizar a feição em um mapa; - Os pontos das extremidades são mantidos, porém o número de pontos gerados para a linha suavizada, como o número de pontos interiores permanecem invariáveis com relação aos dados originais. - A capacidade de alteração do aspecto final da curva depende do algoritmo escolhido.

Fonte: LEWIS (1990)

A suavização é considerada uma operação complementar à simplificação e é usada para melhorar a aparência das linhas, ou simplesmente, realizar uma mudança estética e não é, necessariamente, relacionada com a mudança de escala, LI (2006).

Na figura 6 tem-se um exemplo do algoritmo de suavização de feição linear.



Figura 6 – Suavização de Feição Linear

Fonte: McMASTER e SHEA (1992)

2.5.2 - Transformações de conjuntos de feições Lineares

Para um conjunto de feições lineares, as operações possíveis para as transformações geométricas são ilustradas na Figura 7, sendo suas definições:

- Omissão Seletiva: Seleciona as linhas mais importantes e as mantém;
- Colapso: Modifica a dimensão e dois tipos são identificados: Círculo para ponto e Duplo para Único;
- Realce: Faz as características do conjunto para não perderem sua importância;
- Fusão (Merge): Combina duas ou mais linhas próximas;
- Deslocamento: Move as linhas uma em relação às outras.

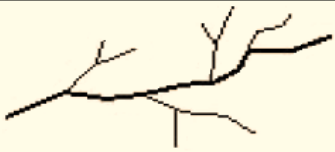
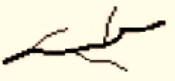
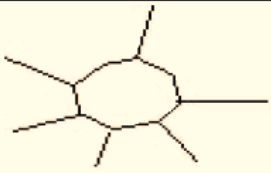



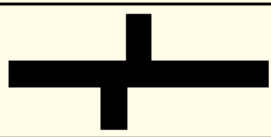
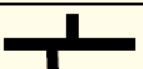
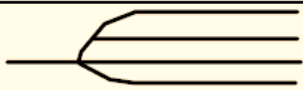
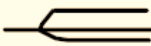


OPERADORES		ESCALA GRANDE	ESCALA PEQUENA
Omissão Seletiva			
Colapso	Círculo para Ponto		
	Duplo para Único		
Realce			
Fusão (Merge)			
Deslocamento			

Figura 7 – Operadores de transformações de conjuntos de feições Lineares

Fonte: LI (2006)

3. GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM AMBIENTE DIGITAL

A maioria das plataformas de Sistemas de Geoinformação - SIG contém operadores para a generalização cartográfica de linhas e polígonos. Estes operadores incluem uma interface gráfica que permite a configuração de parâmetros com arquivos de entrada e de saída. O operador lida com uma entrada de cada vez e tornam os dados menos detalhados e menos complexos para análise e representação em escalas reduzidas ou para outros fins especiais. Ainda é necessário que haja um apoio, sendo necessária a inspeção de qualidade de pós-edição ou pós-processamento. Portanto, mesmo em ambiente digital é necessária a associação dos procedimentos manuais e automáticos.

Os operadores de generalização cartográfica analisados foram:

- Simplificação de Linhas
- Suavização de Linhas (*Smooth*)

A maioria dos operadores de generalização requerem alguns parâmetros e em geral, não é necessário entender todos os detalhes sobre as técnicas ou algoritmos utilizados para definí-los. Muitos dos parâmetros numéricos são diretamente ou intimamente relacionados com restrições espaciais, como distância mínima ou o tamanho mínimo das feições.

3.1 – Simplificação de Linhas

Esta pesquisa concentrou-se em analisar a aplicação de dois algoritmos: o algoritmo de Douglas-Peucker (DOUGLAS e PEUCKER, 1973), e o algoritmo de Wang (WANG e MULLER, 1998).

O algoritmo de Douglas-Peucker é o algoritmo de caráter global mais utilizado para generalizar feições lineares (DUTTON, 1999). Segundo BALBOA (2006), este algoritmo foi estudado, comparado e analisado em profundidade por muitos, se não, todos que trabalham com generalização. Os resultados se aproximam, mais do que qualquer outro, com produtos da generalização manual. Também é largamente utilizado como parâmetro para outros algoritmos que possuem o mesmo fim.

O algoritmo está baseado na busca por **Pontos Críticos**, Figura 8. Os pontos críticos que formam a linha simplificada são aqueles que têm a maior distância perpendicular da linha de base para análise. A linha da primeira base será formada entre o primeiro (âncora) e o último ponto (flutuante) da linha original. Em seguida, as distâncias perpendiculares a linha definida são calculadas para todos os pontos. Se qualquer uma dessas distâncias perpendiculares for menor que a tolerância atribuída, serão mantidos apenas os pontos de âncora e flutuante. Caso algum ponto exceda o valor da tolerância, este será mantido como um novo ponto crítico. A linha original será subdividida em duas seções e o processo se repete como se fossem duas feições distintas e assim sucessivamente até toda a extensão da feição.

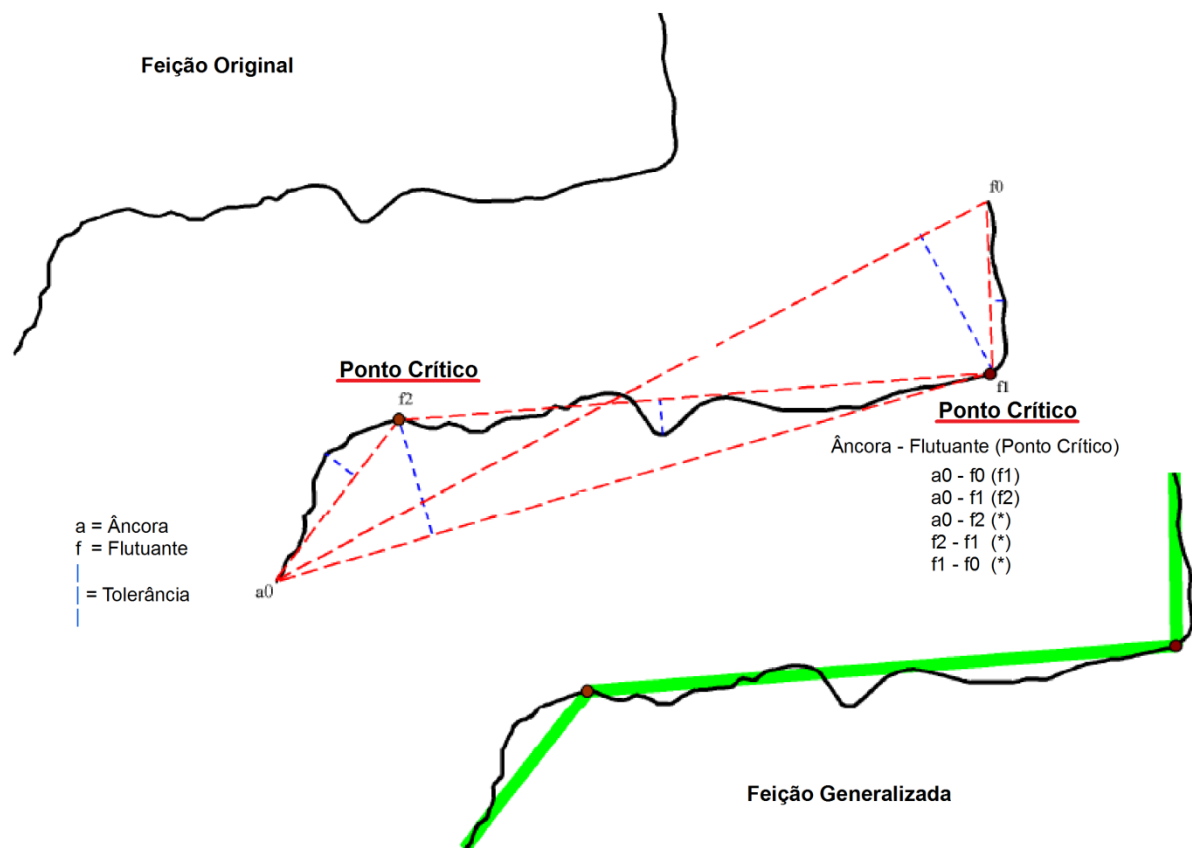


Figura 8 – Algoritmo de Douglas-Peucker

Fonte Adaptada: Balboa (2006)

O algoritmo de WANG é baseado na análise da forma e aplica técnicas para reconhecimento de *bends* (curvas), analisa suas características e elimina as curvas desnecessárias. Para WANG (1996), uma feição linear pode ser composta por uma série de curvas definidas por um sinal positivo ou negativo para os ângulos de inflexão e seus consecutivos vértices. Em feições lineares digitalizadas da esquerda para a direita, os vértices são positivos quando a inflexão da linha segue o sentido anti-horário. A partir desta definição, a Figura 9, a vista humana identifica duas curvas (B1 e B2) na situação (a). Na situação (b) são ilustrados os sinais de inflexão enquanto que na situação (c), três curvas B1, B2 e B3 são identificadas na mesma linha.

PLAZANET (1995) define *bend* como uma fração de inflexão da curva entre dois pontos consecutivos. Pode ser classificada por sua: largura (grandes e pequenos), amplitude, direção da dobra (reto para convexo), simetria e curvatura (sinuosa, retangular e espiral).

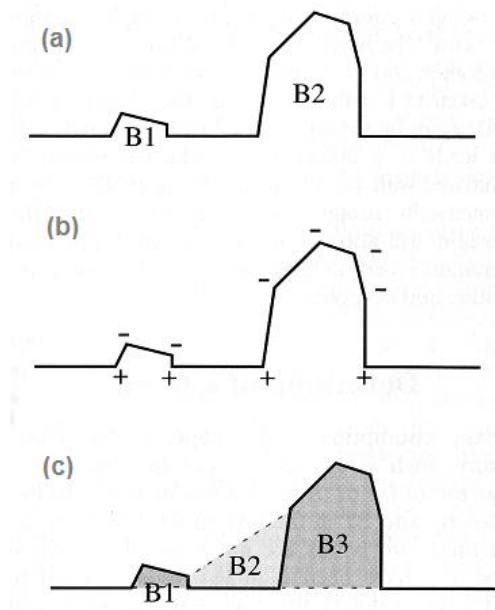


Figura 9 – Bends

Fonte: WANG e MULLER (1998)

A escolha do Algoritmo para implementar a generalização é um dos parâmetros a ser definido, para tanto tem-se que:

- Algoritmo de Douglas-Peucker – mantém os pontos chamados críticos que retratam a forma essencial de uma linha e remove todos os outros pontos;
- Algoritmo de Wang - mantém a forma principal de uma linha e remove curvas desnecessárias.

Depois da escolha do algoritmo especifica-se o valor da tolerância que deve ser maior que zero e que determina o grau de simplificação. Na Figura 10 tem-se um exemplo do uso desses algoritmos e pode-se concluir, através de uma análise visual, que na utilização do algoritmo de Wang a linha resultante segue o formato da linha original e possui melhor representação gráfica do que a gerada pelo algoritmo Douglas-Peucker.



Figura 10 – Simplificação de Feições Lineares

3.2 – Suavização de Linhas (*Smooth*)

Este operador suaviza uma feição linear para melhorar a sua qualidade estética ou cartográfica. Foram analisados dois algoritmos distintos para a implementação da generalização, o PAEK - *Polynomial Approximation with Exponential Kernel* (BODANSKY et al, 2002) e o *Bézier Curves* que foi desenvolvido inicialmente para *design* de automóveis pelo engenheiro francês PIERRE BÉZIER em 1962.

O PAEK suaviza feições lineares a partir de uma técnica que calcula a média da distância entre as coordenadas de todos os pontos da linha original. O resultado

da feição linear generalizada não possui necessariamente todos os vértices da feição original, porém mantém os pontos das extremidades.

O resultado da suavização utilizando o algoritmo PAEK depende da escolha de um parâmetro de distância, que na suavização a tolerância especifica o comprimento do movimento do trajeto dos pontos ao longo da linha original. Quanto maior a distância entre os pontos, mais suavizadas são as linhas resultantes. Cada nova posição é calculada usando a média da distância entre as coordenadas dos pontos.

No algoritmo *Bézier Curves* são geradas curvas de Bézier entre os vértices. Curva de Bézier pode ser definida como uma curva polinomial expressa a partir da interpolação entre alguns pontos representativos chamados de pontos de controle, por essa razão não é necessária a definição de um valor para a tolerância. Na Figura 11 vê-se que a Curva de Bézier tem dois pontos Âncoras um de início e outro de fim e dois pontos de Controle que determinam a sua forma. Os pontos Âncora são pares de vértices da feição e entre eles deve-se formar uma linha reta. Os pontos de Controle são vértices adjacentes aos Âncoras.

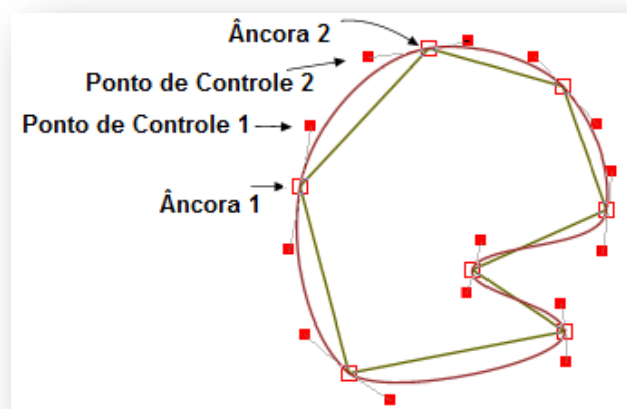


Figura 11 – Curva de Bézier
Fonte: SHEMANAREV (2006)

Na Figura 12 é possível visualizar o uso dos dois algoritmos do operador de Suavização. O arquivo original utilizado foi gerado na simplificação com o uso do algoritmo de Douglas-Peucker. Dos resultados produzidos observa-se que o algoritmo PAEK apresenta um resultado mais próximo do original. Já o resultado do algoritmo *Bézier Curves* descaracterizou a feição original.

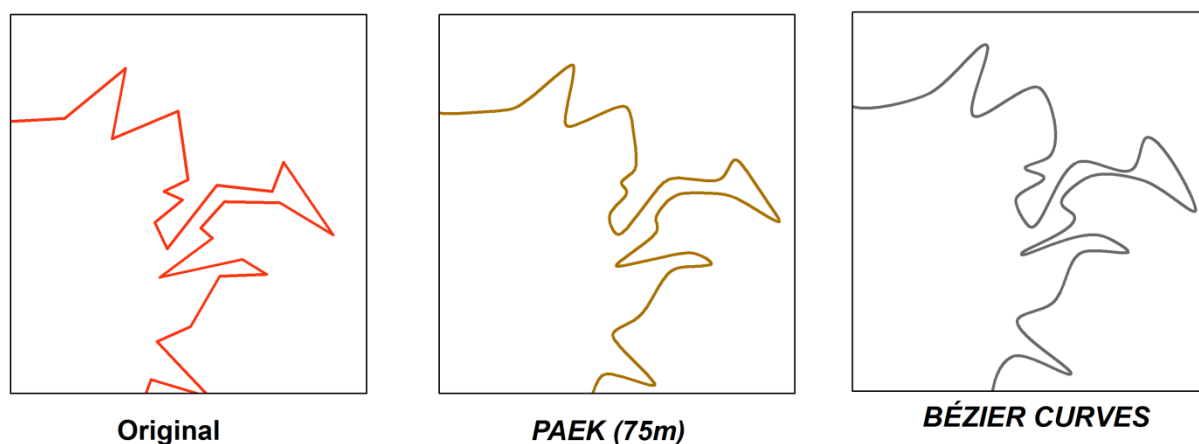


Figura 12 – Suavização de Feições Lineares

4. MODELO DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA FEIÇÕES LINEARES

A base cartográfica do litoral de Pernambuco sobre a sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo que foi gerada na escala de 1:10.000, foi utilizada nos experimentos sobre generalização cartográfica das feições lineares.

O SIRGAS 2000 foi o Sistema Geodésico de Referência adotado na construção da base de dados espaciais sobre a sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo e o sistema de projeção cartográfica utilizado foi o UTM - *Universal Transverse Mercator*.

A pesquisa seguiu o modelo conceitual de Brassel e Weibel (Quadro 3), pois neste modelo a generalização é tratada em um sentido amplo, que envolve ordenação, comparação, combinação, reconhecimento de relações, entre outros. Para tanto, foram definidas as seguintes etapas:

Quadro 3 – Modelo Proposto

MODELO DE BRASSEL E WEILBEL	MODELO DESENVOLVIDO
1 - Reconhecimento de estruturas	Organização e Análise da base de dados
2 – Reconhecimento de processos	Definição das tolerâncias e dos critérios
3 – Processos de modelagem	Especificação dos Algoritmos
4 - Execução do processo	Simplificação e Suavização
5- Visualização dos dados	Avaliação Visual, Topológica e Matemática

Os planos de informações existentes na base de dados e sua forma de representação estão listados no Quadro 4.

Quadro 4 – Planos de Informações

Base Cartográfica das Cartas SÃO			
Plano de Informação	Feição	Plano de Informação	Feição
ISL – Linha de Costa	Linear	Lama	Área
Estradas	Linear	Unidade de conservação	Área
Cabos Sub-Aquáticos	Linear	Manguezal	Área
Isóbatas	Linear	Aquacultura	Área
Ícones Socioeconômicos	Pontual	Estruturas Artificiais	Área
Ícones Biológicos	Pontual	Recife de Arenito	Área
Área Urbana	Área	Recife de Coral	Área
Corpos d'água	Área/Linear	Algas/Prados de Fanerógamas	Área

Nesta pesquisa aplicou-se o modelo de generalização sequencial, ou seja, da escala 1:10.000 para a de 1:150.000, e da escala de 1:150.000 para a de 1:500.000, como mostra a Figura 13.

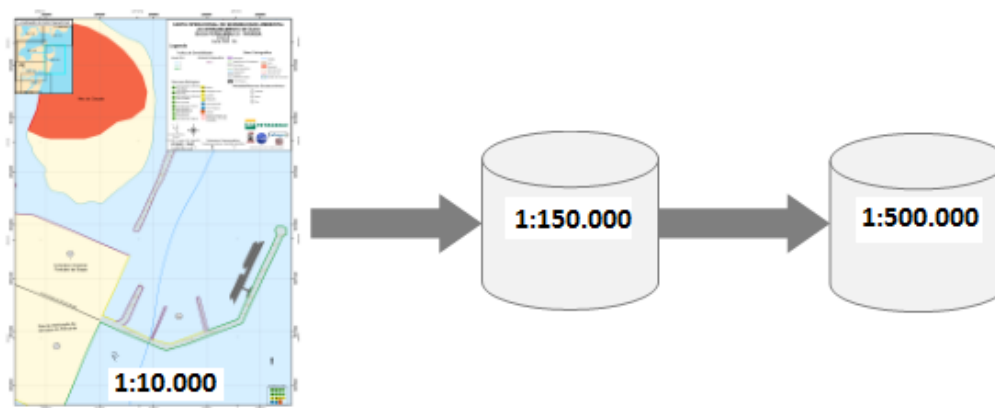


Figura 13 – Generalização Sequencial

Com o objetivo de assegurar a exatidão cartográfica dos documentos cartográficos, observando as peculiaridades de cada escala de representação, foi publicado no ano de 1984, no Brasil, o Decreto de número 89.817. O decreto estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC. Essa classificação divide as cartas em 3 categorias ou classes: A, B e C (CONCAR, 1984).

As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, como indica a Tabela 1.

Tabela 1 – Controle de qualidade Geométrico (DECRETO N.º 89.817)

CLASSE	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	PEC	ERRO PADRÃO - EP	PEC	ERRO PADRÃO – EP
A	0,5 MM	0,3 MM	$\frac{1}{2}$ EQUIDISTÂNCIA	$\frac{1}{3}$ EQUIDISTÂNCIA
B	0,8 MM	0,5 MM	$\frac{3}{5}$ EQUIDISTÂNCIA	$\frac{2}{5}$ EQUIDISTÂNCIA
C	1,0 MM	0,6 MM	$\frac{3}{4}$ EQUIDISTÂNCIA	$\frac{1}{2}$ EQUIDISTÂNCIA

Fonte: Nero (2000)

No Brasil, o PEC é o único método de avaliação de qualidade das informações cartográficas e se restringe apenas ao que se refere à acuracidade posicional dos elementos mapeados e, além disso, possui limitações para as informações em meio digital. (LAZZAROTTO, 2005)

A Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) e a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) estão especificando para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), uma série de padrões de dados e metadados. Em relação aos dados, os principais padrões definidos são: ET-EDGV (Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais), modelo conceitual para dados vetoriais garantindo consistência lógica, e ET-ADGV (Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais), com regras para aquisição da geometria dos dados garantindo consistência lógica e topológica.

4.1 – Formulação dos Critérios para tolerância

Um dos critérios usados na seleção da área de estudo (Figura 14) foi o de privilegiar áreas com feições geográficas representadas por linhas sinuosas, ilhas de tamanhos variados, além de rios de pequeno e grande porte.

Na área selecionada, no litoral Norte de Pernambuco, encontram-se duas grandes ilhas: a de Itapessoca e a de Itamaracá que foram utilizadas como parâmetro visual para avaliação da representação quando da simplificação da linha de costa, já que ambas possuem formas bem características.

A generalização das feições lineares foi iniciada com a linha de costa, por ser uma necessidade técnica, pois grande parte das feições (vegetação, área urbana, entre outros) são tangentes à linha de costa.

Um obstáculo na etapa de simplificação de linhas é a falta de regras no estabelecimento dos valores de tolerância em função da mudança de escala, já que o valor da tolerância determina o grau da generalização devendo ser definidos valores iguais ou superiores ao limiar de separação entre os elementos.

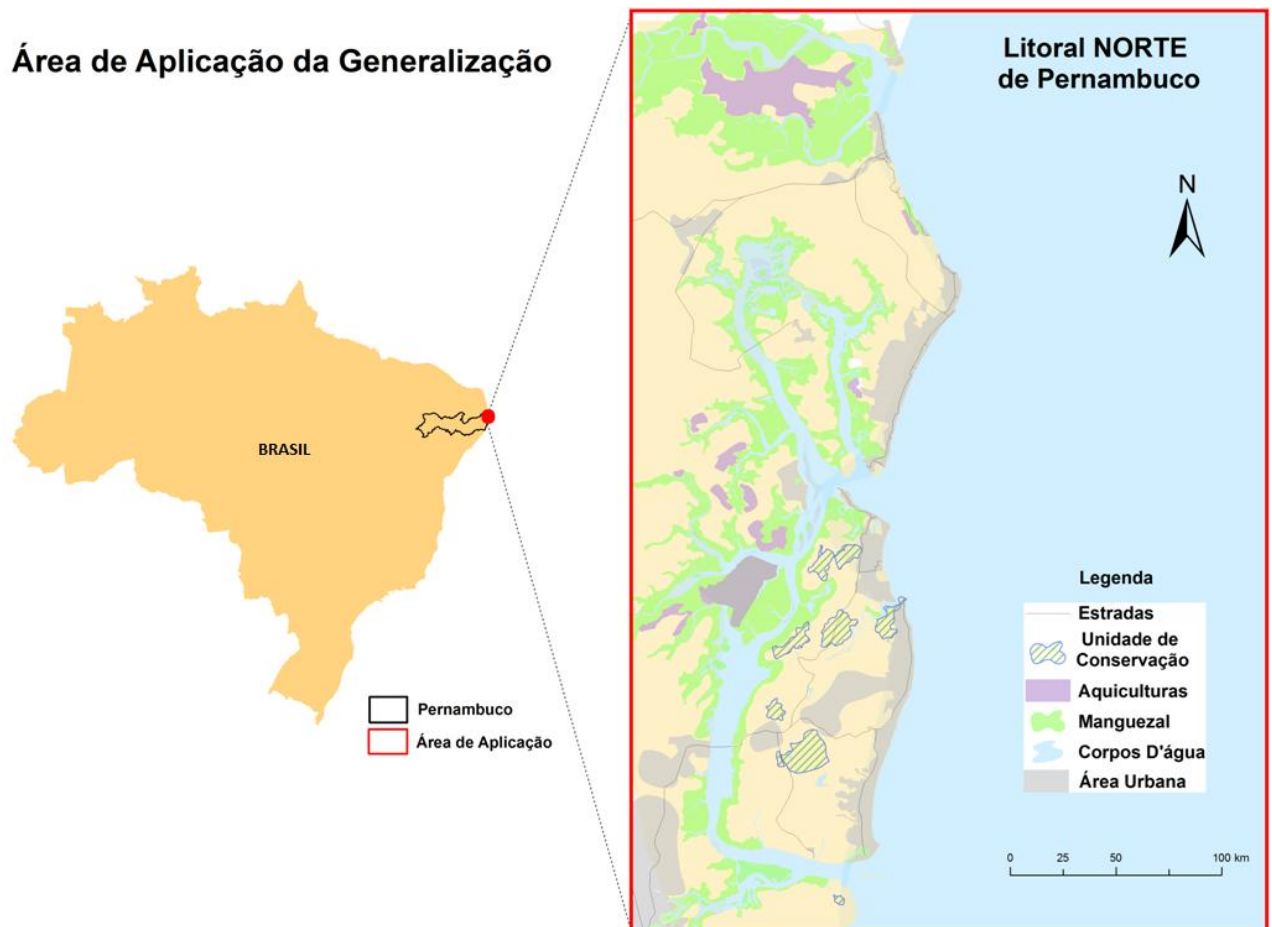


Figura 14 – Área de Aplicação da Generalização

Em algumas pesquisas sobre generalização cartográfica, a escolha dos valores de tolerância é sempre marcada por uma subjetividade por parte dos autores (D'ALGE, 2007; DAL SANTO E LOCK, 2008; e DROPOVÁ, 2011).

Para tanto, criou-se uma regra relacionada com o padrão de exatidão cartográfica – PEC e foi definido o valor de 0,5mm na escala do mapa para ser usado como valor de tolerância nesta pesquisa.

O operador de suavização (*smooth*) foi processado com metade do valor da tolerância da simplificação.

A Tabela 2 ilustra os valores das tolerâncias utilizados na execução dos processos de simplificação e suavização de feições lineares. Os valores foram obtidos a partir da multiplicação dos valores definidos pelo fator de escala do mapa.

Tabela 2 – Valores de Tolerâncias

PROCESSOS	ESCALAS	
	1:150.000	1:500.000
SIMPLIFICAÇÃO (0,0005m x Escala)	75m	250m
SUAVIZAÇÃO (0,00025m x Escala)	37,5m	125m

O PEC também foi aplicado na avaliação posicional da representação cartográfica das feições generalizadas com a criação de **áreas de Influência da feição linear original**. Os valores da Tabela 3 foram obtidos a partir da multiplicação dos valores do PEC pelo fator de escala.

A feição linear generalizada deve conter pelo menos noventa por cento dos pontos (90%) dentro da área de influência gerada, só assim a feição é considerada classificada.

Tabela 3 – Valores para avaliação da qualidade de representação

PEC	CLASSES	ESCALAS	
		1:150.000	1:500.000
0,5 mm	A	75m	250m
0,8 mm	B	120m	400m
1,0 mm	C	150m	500m

Com relação à avaliação topológica, duas regras básicas foram seguidas:

- Sem Sobreposição – Exige que as linhas, (da mesma classe) não se sobreponham umas com as outras, e
- Sem descontinuidades – Exige que uma linha toque outra, da mesma classe, em ambas as extremidades.

5 - APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS ALGORITMOS DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

O fluxograma apresentado na Figura 15 foi criado para as avaliações dos algoritmos usados nesta pesquisa. Para cada mudança de escala dois produtos foram gerados na generalização da linha de costa e todos os produtos foram avaliados para a identificação da melhor representação.

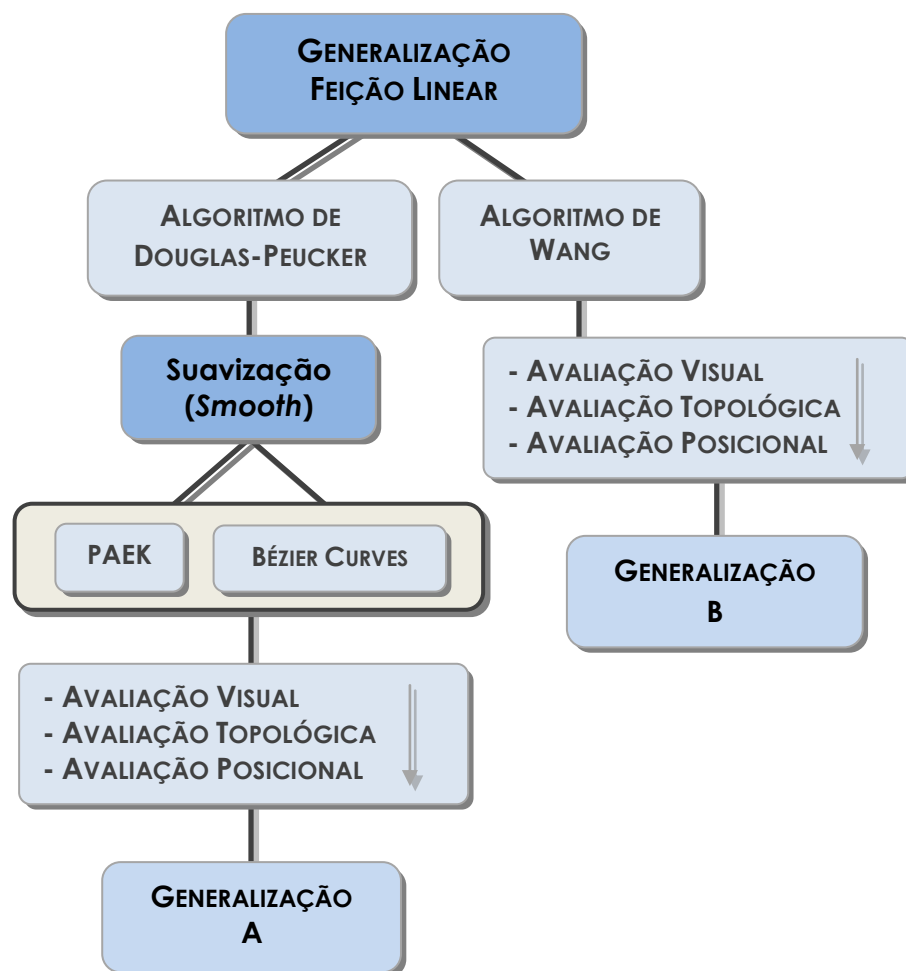


Figura 15 – Etapas da Simplificação da Linha de Costa

KEATES (1973) afirma que uma vez realizada uma generalização, somente pode ser descrita como **boa ou ruim**, e não como certa ou errada, uma vez que as alterações introduzidas na informação têm muitas alternativas possíveis, não havendo forma de definir uma solução absoluta.

Desta forma, apresentam-se primeiro os resultados da aplicação dos algoritmos de generalização cartográfica na mudança de escala de 1:10.000 para 1:150.000 e depois os resultados da mudança de escala de 1:150.000 para 1:500.000. As duas rotinas de simplificação e suavização foram aplicadas para cada faixa de redução de escala de maneira seqüencial.

5.1 - Redução de Escala de 1:10.000 para 1:150.000

5.1.1 – Etapa da Simplificação

Os arquivos na etapa da simplificação foram organizados da seguinte maneira: a feição linear original foi chamada **LC** (abreviação para Linha de Costa), o arquivo simplificado com o algoritmo de Douglas-Peucker foi nomeado com **LC_DP75** e o arquivo simplificado com o algoritmo de Wang nomeado com **LC_WA75**. O número setenta e cinco indica o valor da tolerância usado na simplificação (75m).

A Figura 16 mostra as características da feição linear original (LC) na escala de 1:10.000. Enquanto que, as figuras 17 e 18 mostram o efeito da tolerância na simplificação de linhas com os algoritmos investigados nesta pesquisa. A Figura 17 mostra o resultado da generalização com o algoritmo de Douglas-Peucker. A Figura 18 mostra o resultado da generalização com o algoritmo de Wang.

Na Figura 17, onde foi aplicado o algoritmo de Douglas-Peucker, nota-se, além de um aspecto anguloso, a sobreposição de linhas (erros topológicos), o que não acontece na aplicação do algoritmo de Wang, na Figura 18.

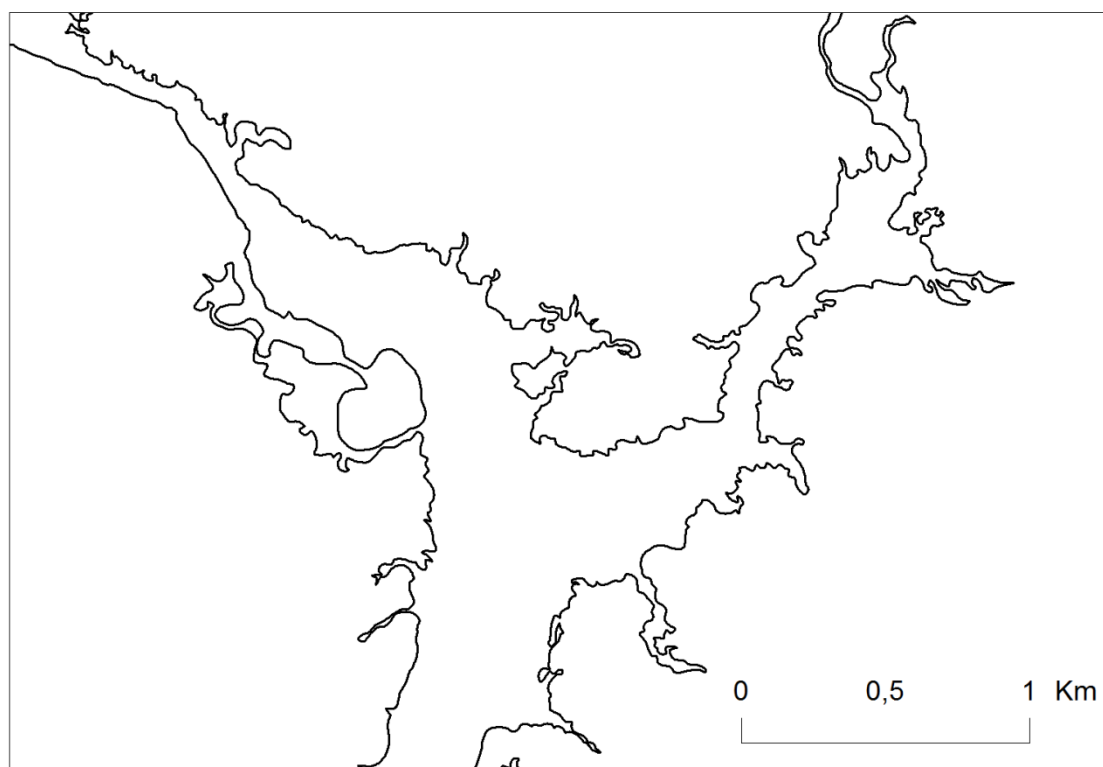


Figura 16 – Arquivo Original (LC)

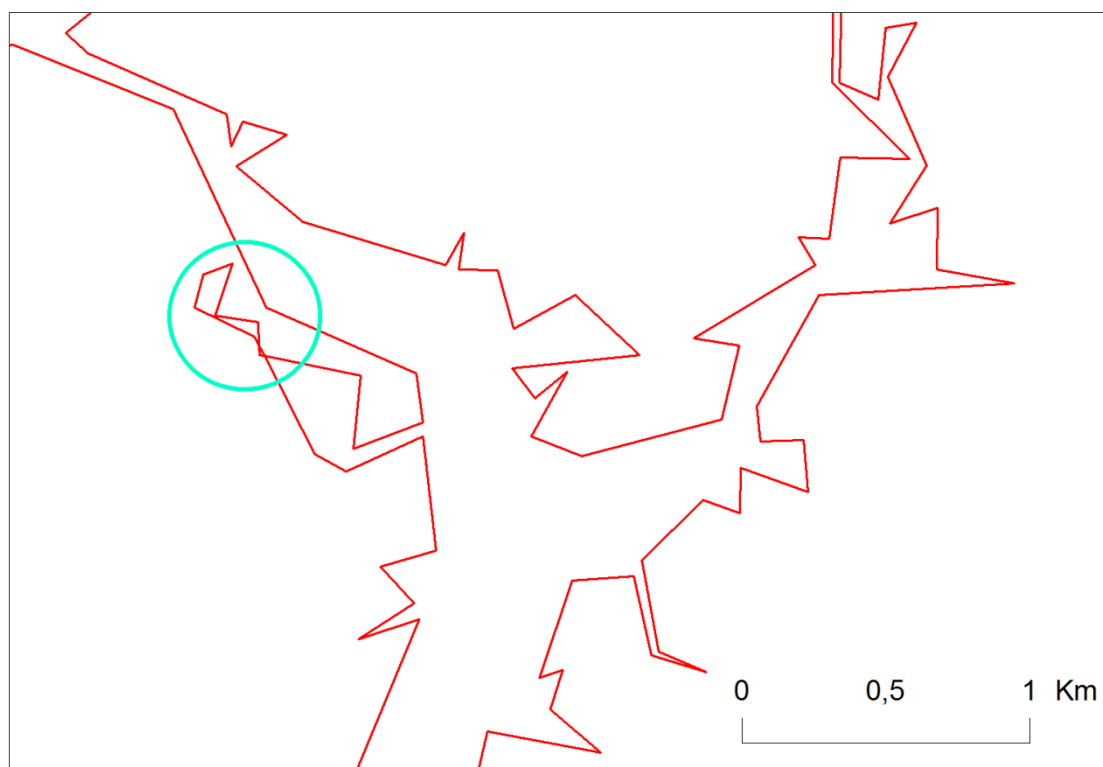


Figura 17 – Simplificação com o Algoritmo Douglas-Peucker

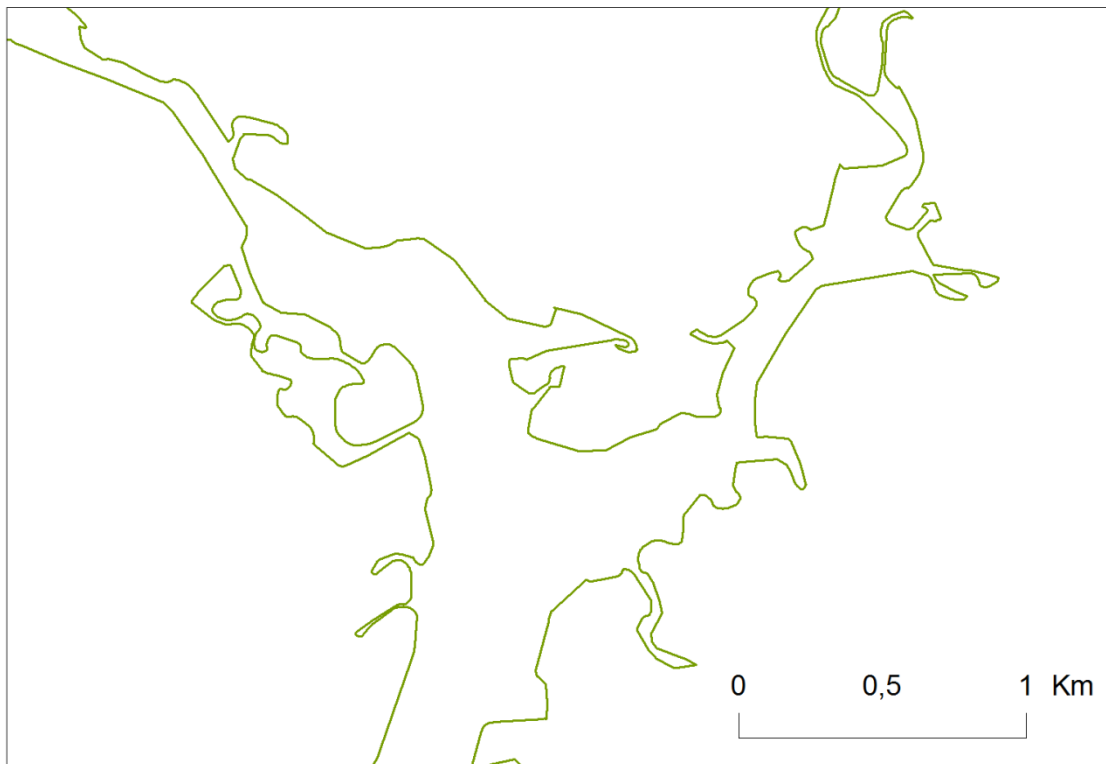


Figura 18 – Simplificação com o Algoritmo de Wang

As figuras 19, 20 e 21 apresentam comparações entre a feição linear original e as feições lineares após a aplicação dos algoritmos. A Figura 19 ilustra a feição linear original em preto e as feições lineares simplificadas com o algoritmo de Douglas-Peucker com tolerância de 75m em vermelho. A Figura 20 mostra a feição linear original em preto e as linhas simplificadas com o algoritmo de Wang com tolerância de 75m em verde. Na Figura 21 as feições lineares simplificadas pelo algoritmo de Douglas-Peucker (vermelho) são exibidas junto com as feições lineares simplificadas pelo algoritmo de Wang (verde), onde é possível perceber a diferença entres os produtos gerados. O arquivo simplificado pelo algoritmo de Wang (LC_WA75) mostra-se mais fluído, sem trechos angulosos, não sendo necessária a aplicação da suavização.

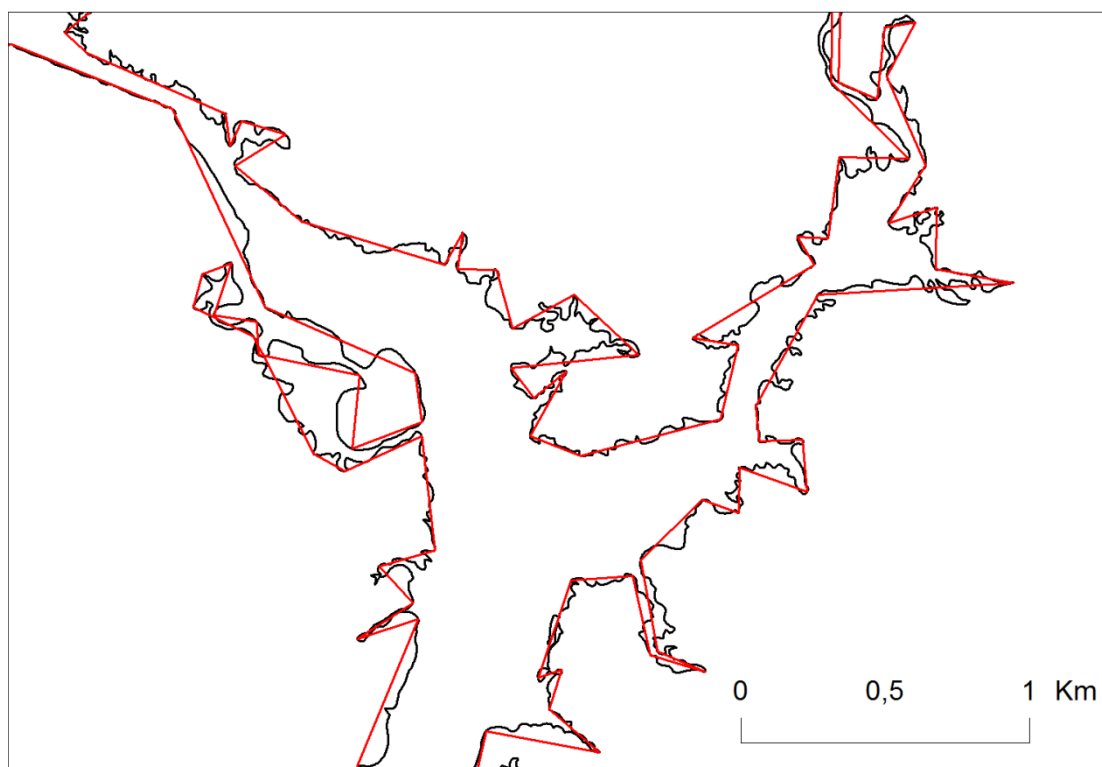


Figura 19 – Comparação entre os arquivos LC e LC_DP75

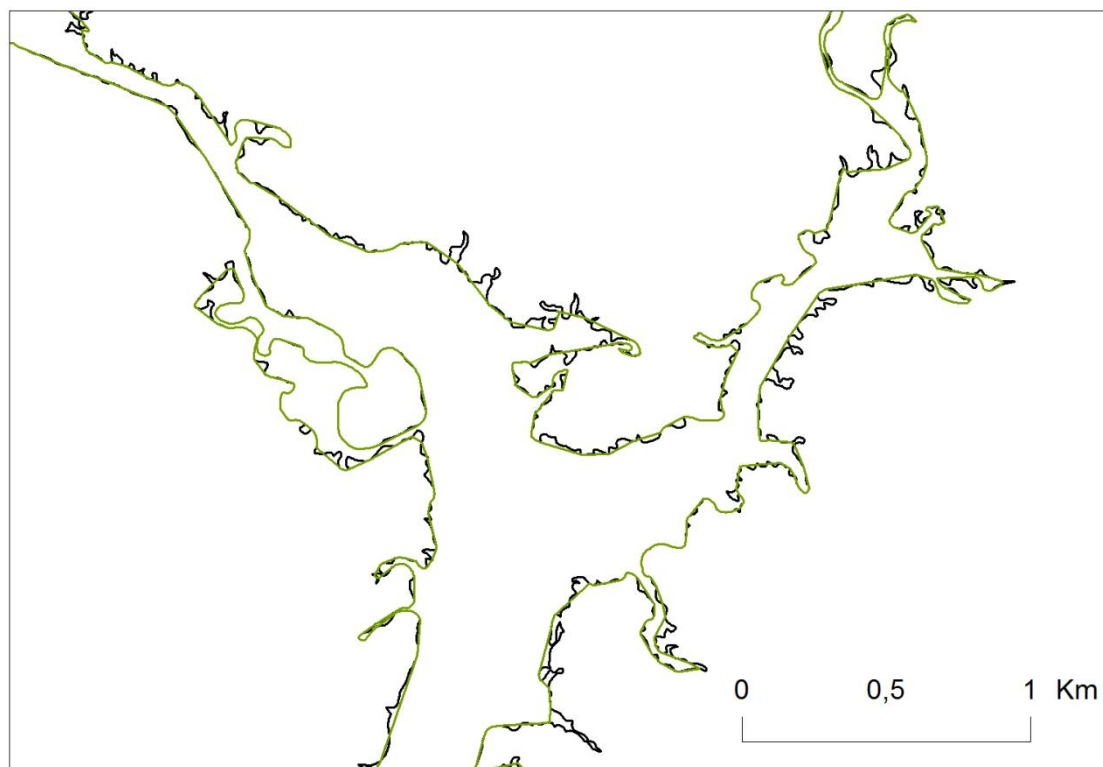


Figura 20 – Comparação entre os arquivos LC e LC_WA75

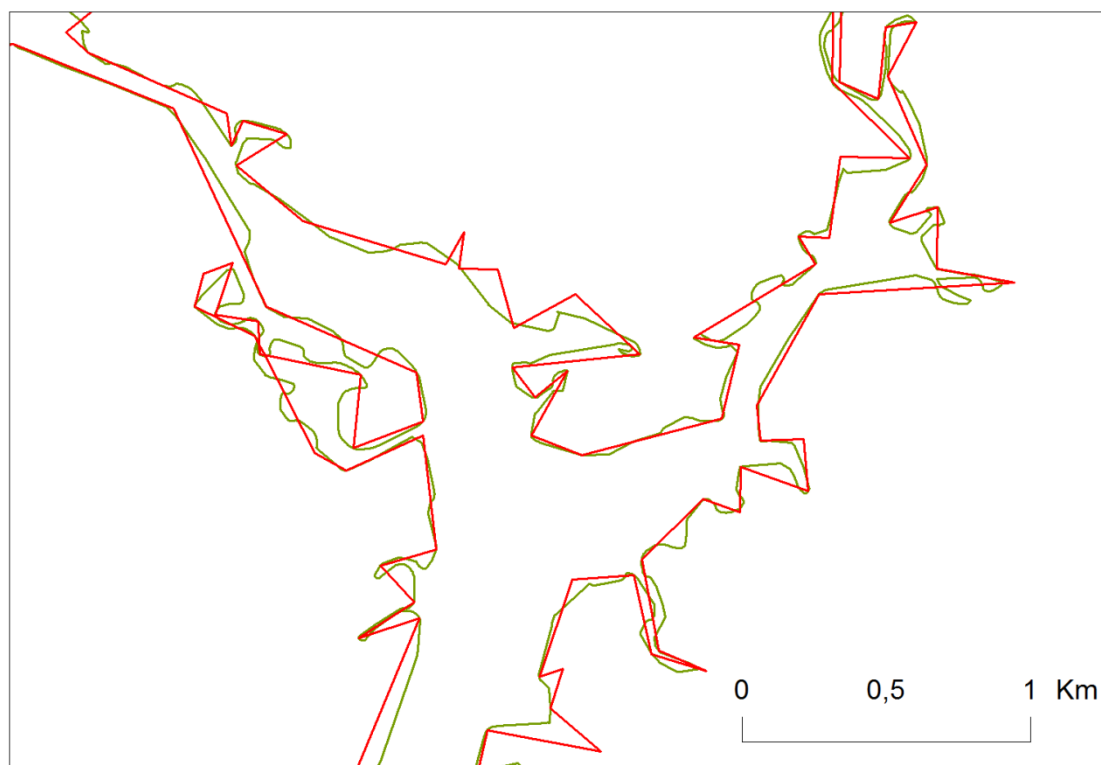


Figura 21 – Comparação entre os arquivos LC_DP75 e LC_WA75

A Tabela 4 apresenta um comparativo, com relação ao número total de pontos, entre o arquivo da feição linear original e os arquivos após a aplicação dos algoritmos de simplificação de linhas. A Tabela 4 também apresenta a extensão dos arquivos, em quilômetros, antes e após a aplicação dos algoritmos de simplificação de linhas, bem como o percentual de redução dos arquivos.

O algoritmo de Wang reteve uma maior quantidade de pontos se comparado com o de Douglas-Peucker. O algoritmo de Douglas-Peucker reduziu em mais de 97% a quantidade de pontos com relação ao arquivo da feição linear original, o arquivo com uma extensão de aproximadamente 415 quilômetros é representado com 1493 pontos. Enquanto que, o algoritmo de Wang obteve uma redução em torno de 62% e representou aproximadamente 427 quilômetros com mais de 26 mil pontos.

Tabela 4 – Número total de pontos - Simplificação

ARQUIVOS	NÚMERO DE PONTOS	EXTENSÃO (Km)	PERCENTUAL DE REDUÇÃO (%)
Original (LC)	69970	≈ 473	--
Algoritmo de Wang (LC_WA75)	26325	≈ 427	62,37
Algoritmo de Douglas-Peucker (LC_DP75)	1493	≈ 415	97,86

5.1.2 – Etapa da Suavização

De acordo com os resultados obtidos na simplificação, apenas o arquivo simplificado pelo algoritmo de Douglas-Peucker (**LC_DP75**) passou pelo processo de suavização.

Portanto, para efeitos de organização dos arquivos, na aplicação da suavização das feições lineares os mesmos foram renomeados de acordo com o algoritmo de suavização aplicado.

O arquivo suavizado com o algoritmo PAEK foi renomeado como **LC_DP75_PAEK375** e o arquivo suavizado com o algoritmo *Bézier Curves* renomeado como **LC_DP75_BC**. Os números três, sete e cinco indicam o valor da tolerância usado na suavização (37,5m).

As figuras 22 e 23 mostram os efeitos da aplicação dos algoritmos de suavização. A Figura 22 mostra o resultado da suavização com o algoritmo PAEK com uma tolerância de 37,5m. A Figura 23 mostra o resultado da suavização com o algoritmo *Bézier Curves*, que não necessita de valores de tolerância.

Na Figura 22 pode-se observar que o erro topológico gerado a partir da simplificação, não foi resolvido após a suavização. Porém, o aspecto anguloso apresentado foi minimizado com a aplicação da suavização.

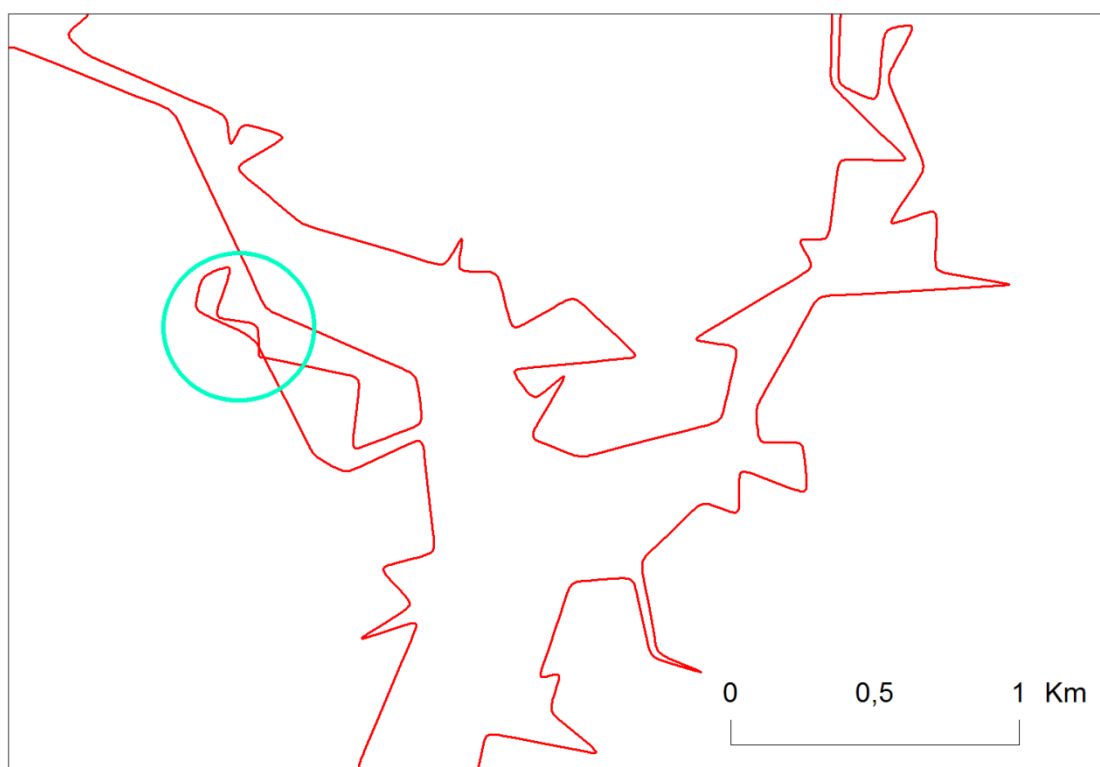


Figura 22 – Suavização com o Algoritmo PAEK

Na Figura 23 percebe-se um aumento de erros topológicos em decorrência da aplicação do algoritmo *Bézier Curves*.

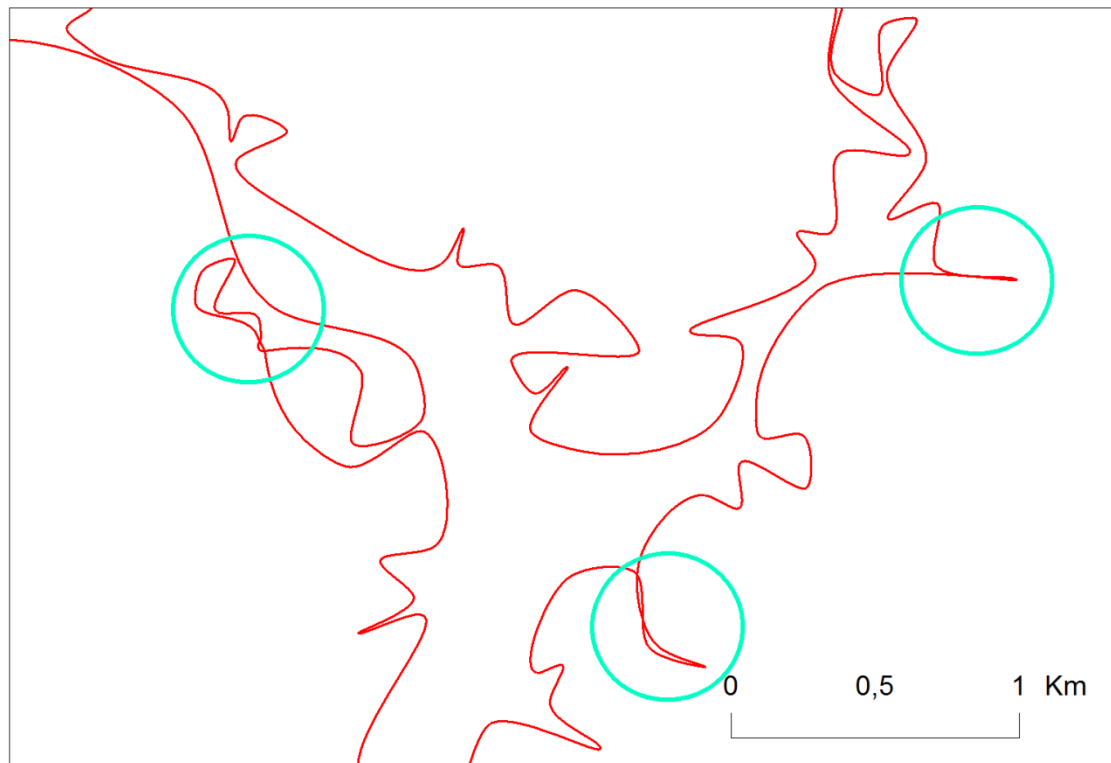


Figura 23 – Suavização com o Algoritmo *Bézier Curves*

Nas figuras 24 e 25 têm-se um comparativo entre a feição linear original (**LC**) e as feições lineares após a aplicação dos algoritmos de Suavização. A Figura 24 apresenta a feição linear original em preto e a feição suavizada com o Algoritmo *Bézier Curves* (**LC_DP75_BC**) em vermelho. A Figura 25 ilustra um comparativo entre a feição linear original em preto e a feição suavizada com o Algoritmo PAEK (**LC_DP75_PAEK375**) em vermelho.

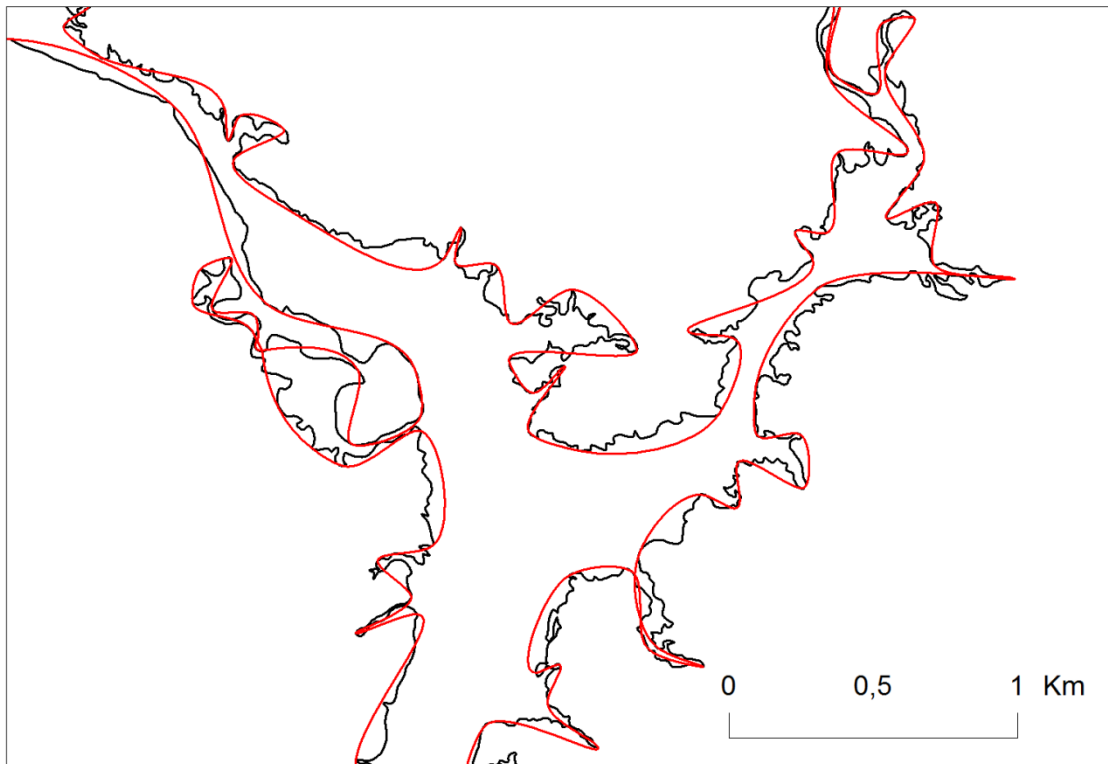


Figura 24 – Comparação entre os arquivos LC e LC_DP75_BC

Na Figura 24, o arquivo **LC_DP75_BC** com relação à feição linear original apresenta-se inadequado, pois o algoritmo utilizado insere curvas de Bézier entre os pontos e faz com que a feição perca suas características originais.

Em contrapartida o arquivo **LC_DP75_PAEK375** da Figura 25 mostra-se adequado com relação à feição linear original. Pois o mesmo segue as características do arquivo original, sem apresentar muitos erros topológicos de sobreposição.

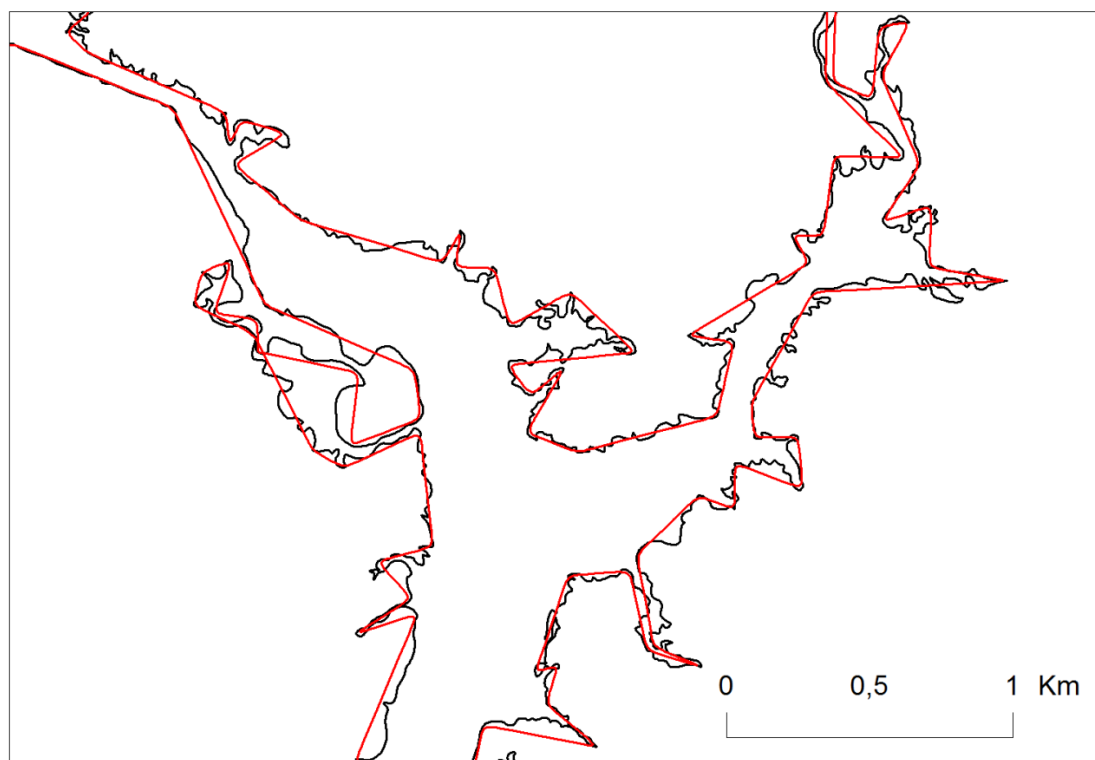


Figura 25 – Comparação entre os arquivos LC e LC_DP75_PAEK375

A Tabela 5 apresenta um comparativo, com relação ao número total de pontos, entre o arquivo da feição linear original e os arquivos após a aplicação dos algoritmos de suavização de linhas, a extensão dos arquivos, em quilômetros, antes e após a aplicação dos algoritmos de suavização e o percentual de redução.

Com a aplicação do algoritmo PAEK o arquivo **CL_DP75_PAEK375** apresentou uma redução de 7 quilômetros na sua extensão e um aumento significativo no número de pontos, aproximadamente 17 mil pontos. Enquanto que, na aplicação do algoritmo *Bézier Curves* a feição **LC_DP75_BC** apresentou um aumento na sua extensão na ordem de mais de 15 quilômetros e conseqüentemente, um aumento no número de pontos (mais de 33 mil).

O Percentual de redução foi calculado com relação à feição linear original (LC) e apresentou números expressivos que podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Número total de pontos - Suavização

ARQUIVOS	NÚMERO DE PONTOS	EXTENSÃO (Km)	PERCENTUAL DE REDUÇÃO (%)
Original (LC)	69970	≈ 473	--
LC_DP75	1493	≈ 415	--
Algoritmo PAEK (LC_DP75_PAEK375)	18572	≈ 408	73,45
Algoritmo Bézier Curves (LC_DP75_BC)	35043	≈ 431	49,91

5.1.3 - Avaliação da Qualidade da Representação

De acordo com o modelo proposto os arquivos generalizados (LC_DP75_BC, LC_DP75_PAEK375 e LC_WA75) passaram por 3 (três) tipos distintos de avaliação:

- Avaliação Visual;
- Avaliação Topológica; e
- Avaliação Posicional

Na Avaliação Visual levou-se em consideração, basicamente, o senso crítico do responsável pela generalização. Desta forma, nesta pesquisa, algumas ilhas da área de estudo serviram como parâmetro visual para esta avaliação.

Dos três arquivos generalizados avaliados, apenas o arquivo **LC_DP75_BC** foi desclassificado nesta avaliação, pois sua representação mostrou-se ruim.

A Avaliação Topológica foi gerida por duas regras topológicas principais, não pode haver sobreposição de linhas da mesma classe e nem descontinuidades entre as linhas da feição.

As figuras 26, 27 e 28 mostram os arquivos generalizados na escala de 1:150.000 com o resultado da validação da topologia, os erros, na sua totalidade, são de sobreposição de linhas. Na Figura 26 visualiza-se o arquivo **LC_DP75_BC** com 163 erros topológicos. A Figura 27 mostra o arquivo **LC_DP75_PAEK375** com 51 erros topológicos e a Figura 28 o arquivo **LC_WA75** com 19 erros topológicos.

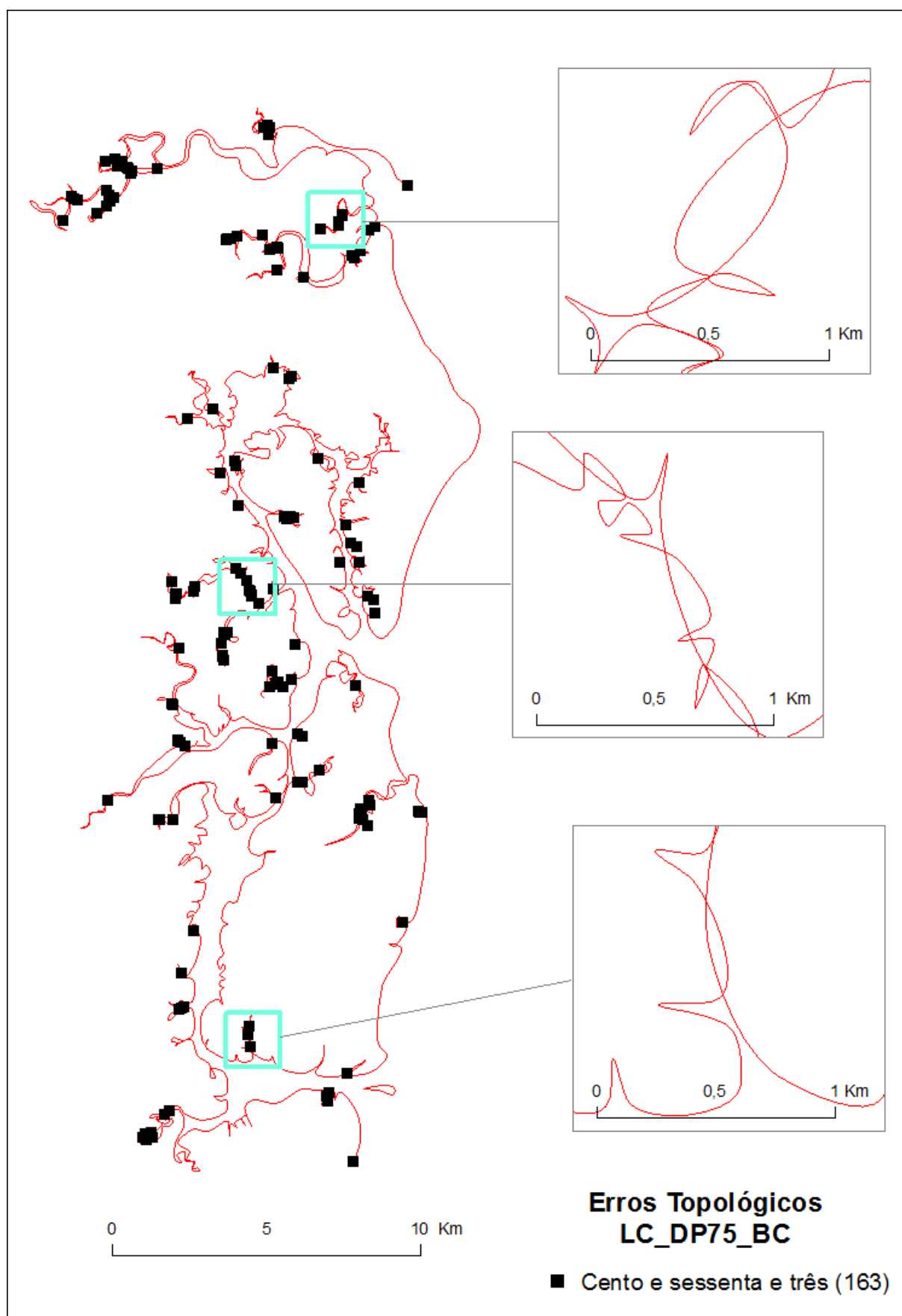


Figura 26 – Erros topológicos LC_DP75_BC

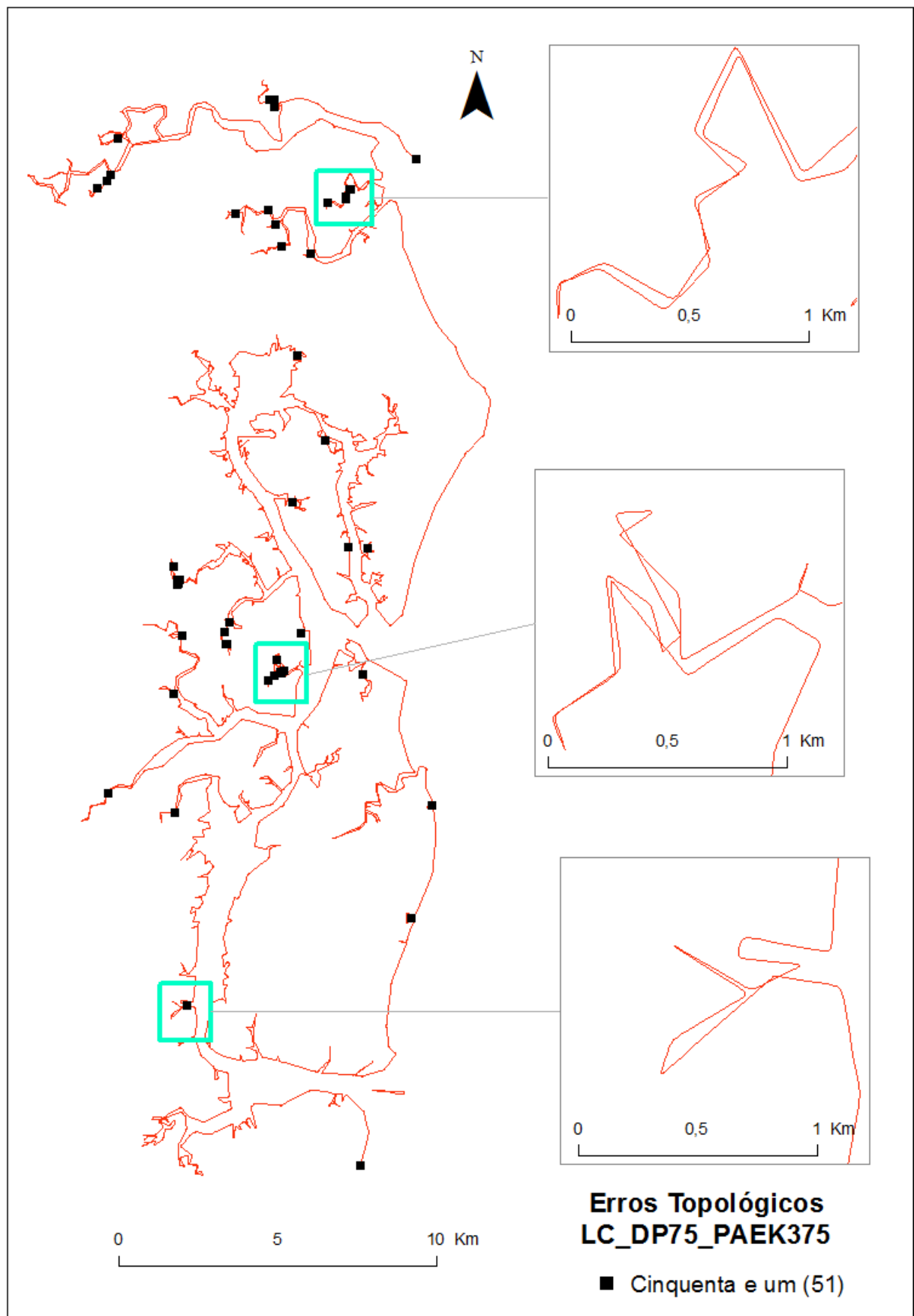


Figura 27 – Erros topológicos LC_DP75_PAEK375

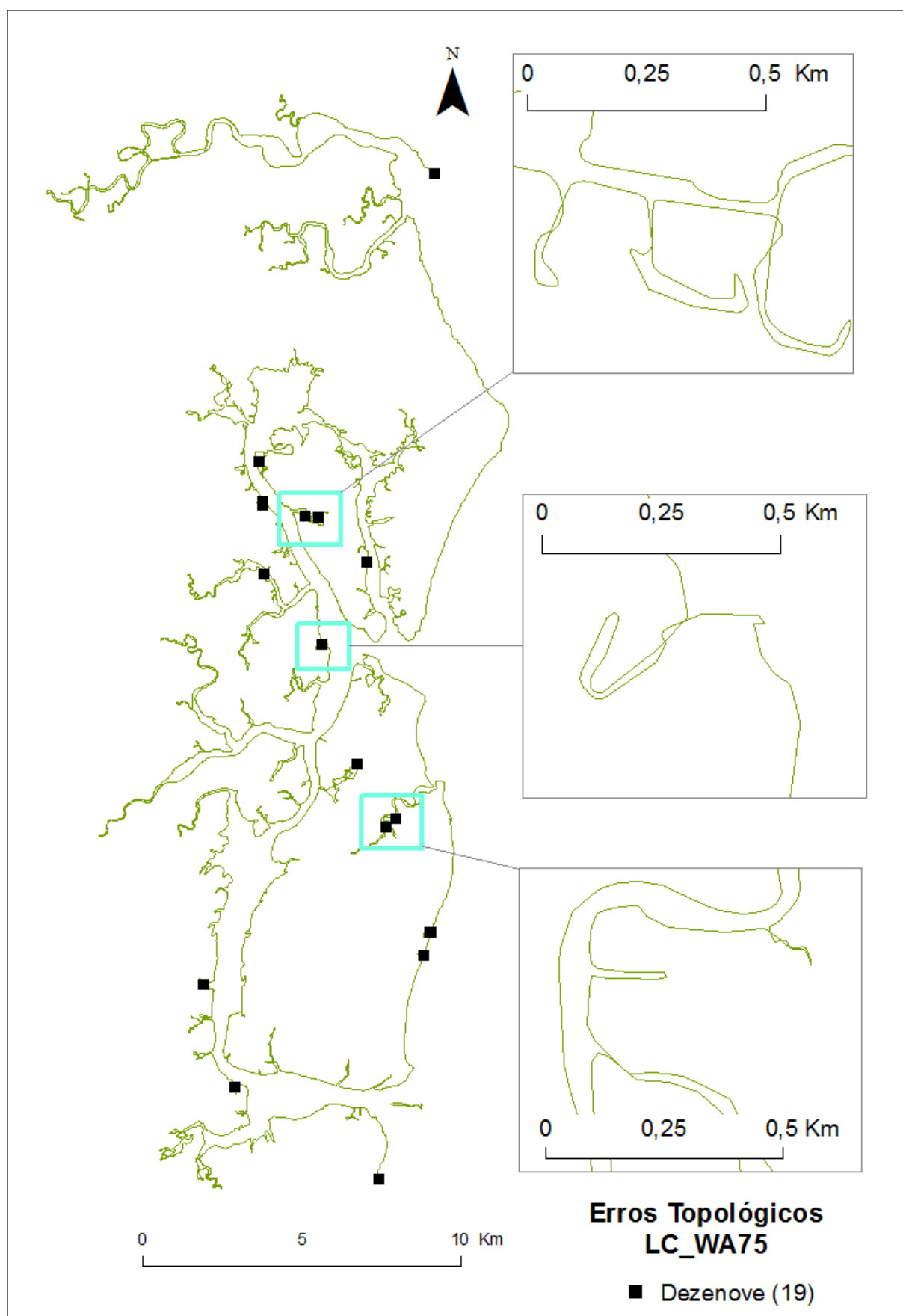


Figura 28 – Erros topológicos LC_WA75

A Avaliação Posicional realizada nesta pesquisa utilizou os critérios do PEC com relação à exatidão cartográfica dos documentos cartográficos. Portanto, a feição linear generalizada deve estar contida com pelo menos 90% dos pontos dentro da área de influência gerada a partir da feição linear original, para ser considerada classificada/boa.

Nas Figuras 29, 30 e 31 ilustram os arquivos generalizados na escala de 1:150.000 sobrepostos com as áreas de influência geradas. Na Figura 29 visualiza-se o arquivo **LC_DP75_BC**. A Figura 30 mostra o arquivo **LC_DP75_PAEK375** e a Figura 31 o arquivo **LC_WA75**.

Na Figura 29 percebe-se que em alguns trechos o arquivo **LC_DP75_BC** extrapola as áreas de influência geradas enquanto que os outros dois arquivos mantêm-se dentro da área de influência com o menor valor.

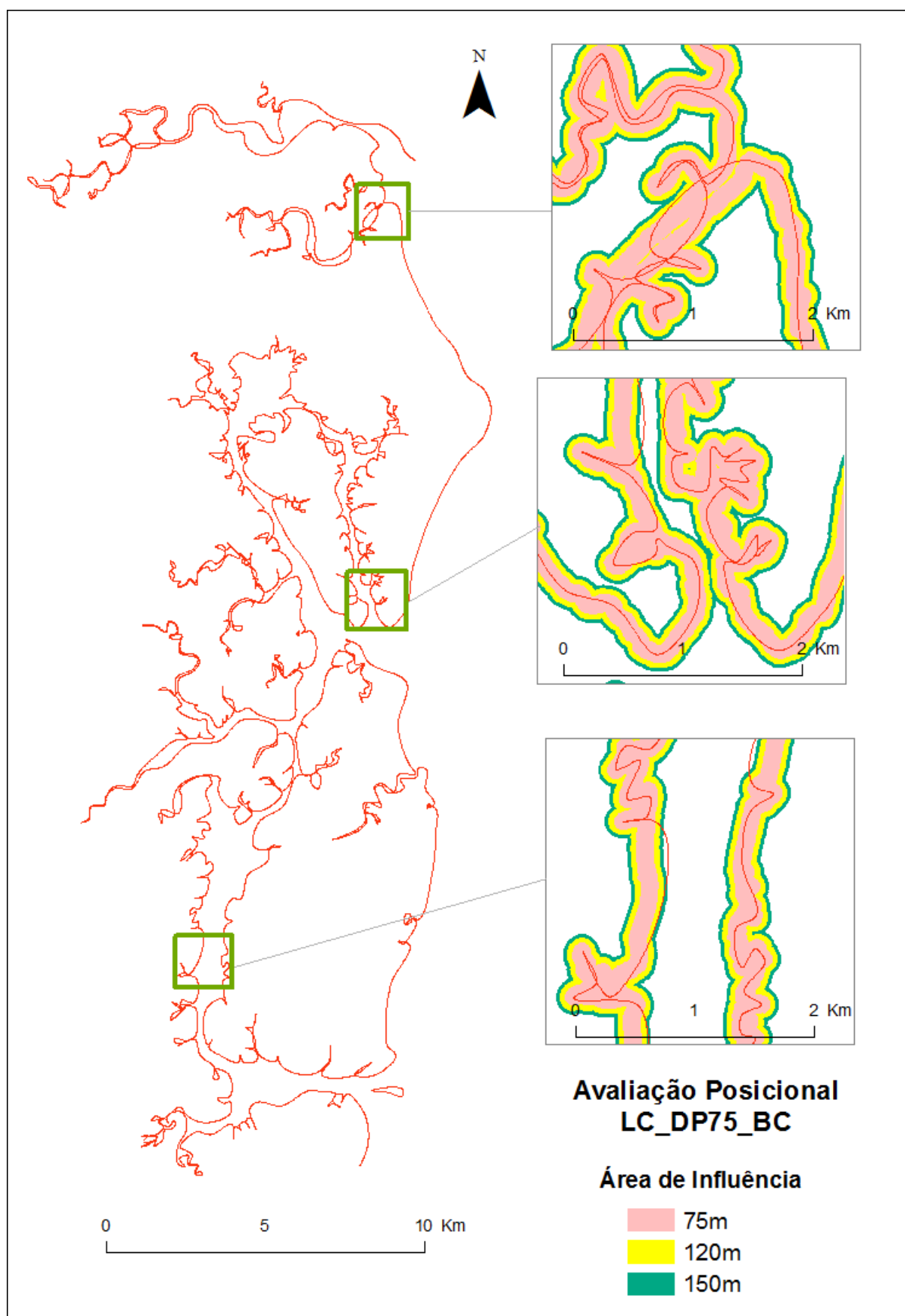


Figura 29 – Avaliação Posicional LC_DP75_BC

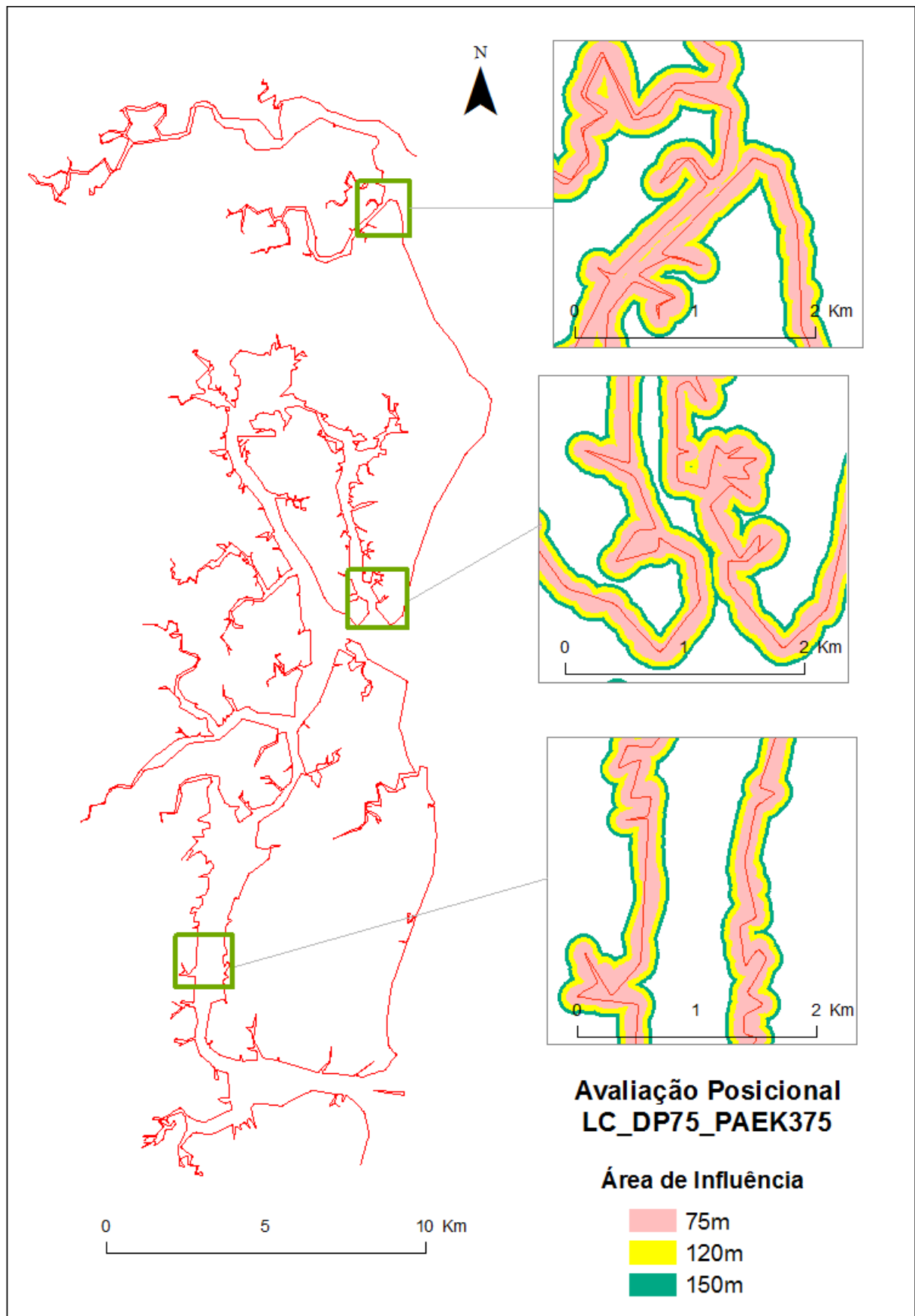


Figura 30 - Avaliação Posicional LC_DP75_PAEK375

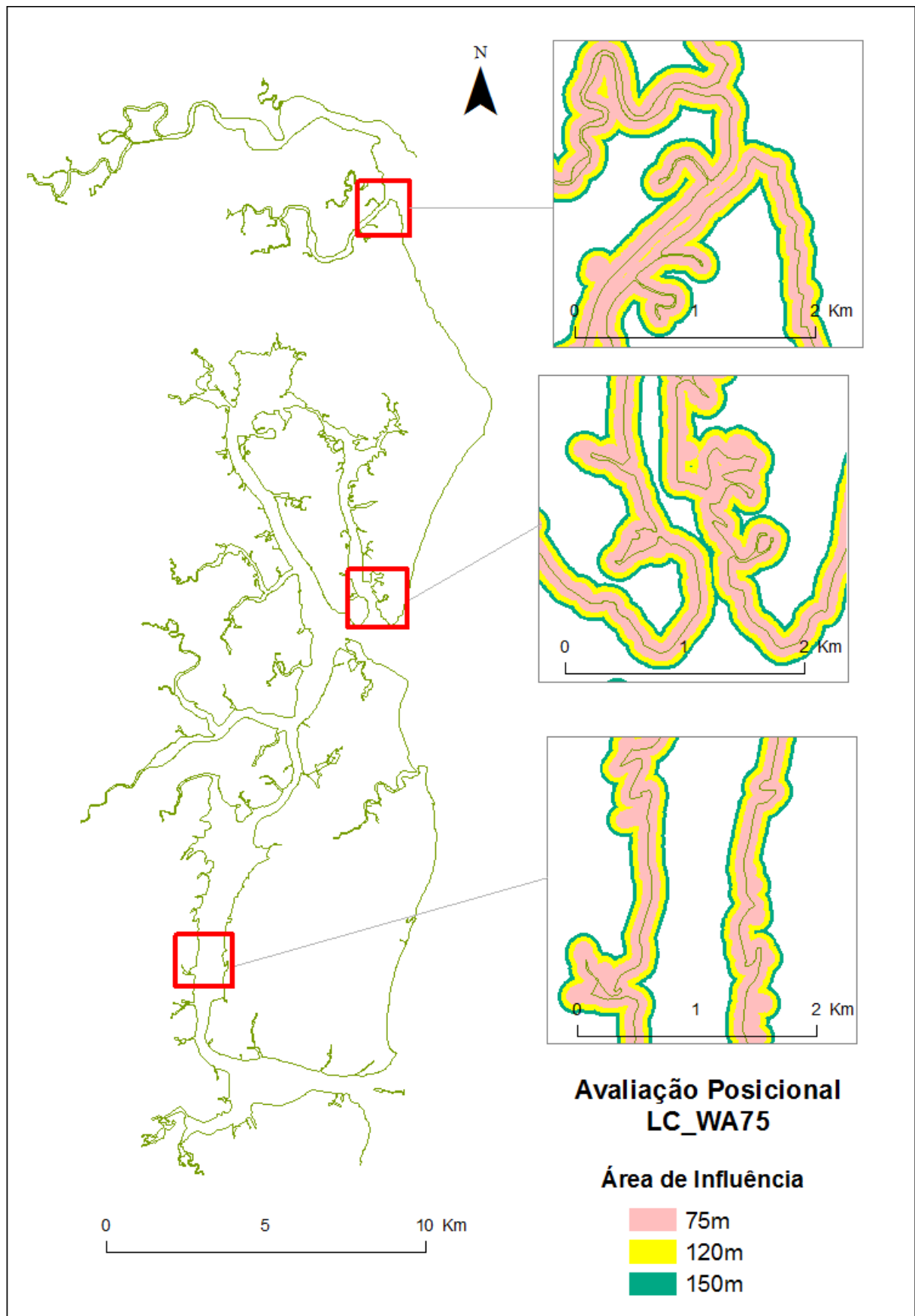


Figura 31 – Avaliação Posicional LC_WA75

A Tabela 6 reúne as porcentagens, separadas por classes, de acordo com os arquivos avaliados. Estas porcentagens foram encontradas através de análises espaciais entre a feição linear generalizada e as áreas de influências geradas. Consta-se que todos os arquivos foram classificados como classe A, já que todos eles estão contidos mais de 90% nas áreas de influência geradas.

Tabela 6 – Avaliação Posicional (1:10.000 para 1:150.000)

ARQUIVOS	PEC		
	Classe A Área de Influência (75m)	Classe B Área de Influência (120m)	Classe C Área de Influência (150m)
LC_DP75_BC	92,5%	97%	98,5%
LC_DP75_PAEK375	100%	100%	100%
LC_WA75	100%	100%	100%

A Tabela 7 traz um resumo de todas as avaliações da qualidade da representação realizadas. Apenas o arquivo em destaque (**LC_DP75_BC**) foi considerado inadequado na mudança de escala de 1:10.000 para 1:150.000. Os outros dois arquivos foram utilizados para a aplicação dos algoritmos para a mudança de escala de 1:150.000 para 1:500.000

Tabela 7 – Avaliação da Qualidade da Representação

ARQUIVOS	Avaliação Visual	Avaliação Topológica	Avaliação Posicional
LC_DP75_BC	Desclassificado	Desclassificado	Classificado
LC_DP75_PAEK375	Classificado	Classificado	Classificado
LC_WA75	Classificado	Classificado	Classificado

Para esta mudança de escala, com relação aos algoritmos de simplificação, ambos foram considerados adequados. Porém, com relação aos algoritmos de suavização, apenas o algoritmo PAEK foi considerado adequado.

5.2 - Redução de Escala de 1:150.000 para 1:500.000

Na generalização da linha de costa de 1:10.000 para 1:500.00 foram gerados dois produtos que serão utilizados para a nova mudança de escala de 1:150.000 para 1:500.000. Um novo fluxograma (Figura 32) para essa mudança de escala foi gerado de acordo as experiências na generalização de 1:10.000 para 1:150.000.

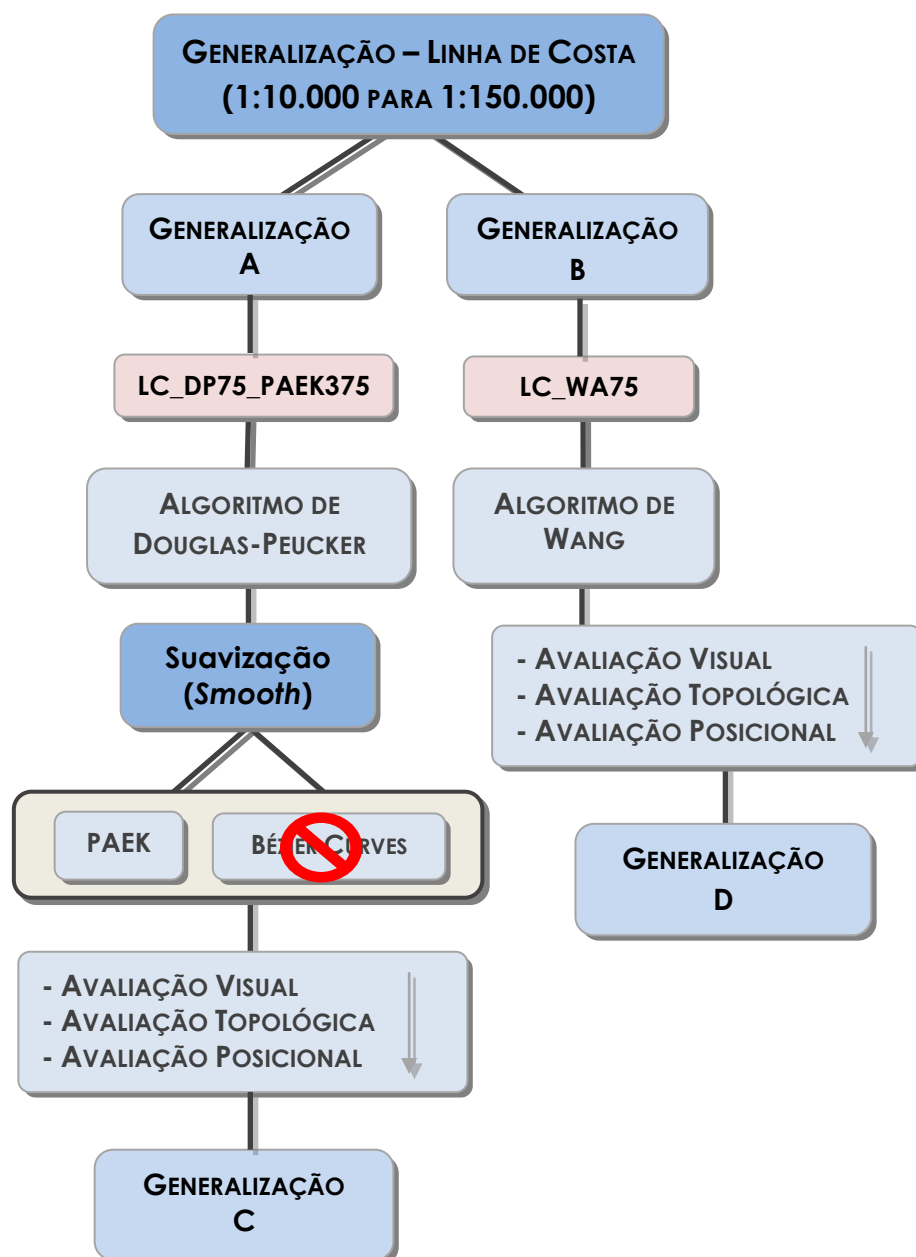


Figura 32 – Fluxograma para mudança de escala de 1:150.000 para 1:500.000

De acordo com os resultados da aplicação do algoritmo *Bézier Curves*, o mesmo foi descartado para essa mudança de escala, ficando apenas o algoritmo PAEK para suavização das feições.

5.2.1 – Etapa da Simplificação

Os arquivos foram organizados da seguinte maneira: o arquivo simplificado com o algoritmo de Douglas-Peucker foi nomeado como **LC_DP250** (Generalização A) e o arquivo simplificado com o algoritmo de Wang nomeado com **LC_WA250** (Generalização B). O número 250 indica o novo valor de tolerância para essa mudança de escala.

As figuras 33 e 34 mostram o efeito da tolerância na simplificação de linhas. A Figura 33 mostra o resultado da generalização com o algoritmo de Douglas-Peucker. A Figura 34 mostra o resultado da generalização com o algoritmo de Wang.

Na aplicação do algoritmo de Douglas-Peucker, na Figura 33, percebe-se uma angulosidade marcante, além de um aumento considerável de sobreposição de linhas (erros topológicos).

A Figura 34, o arquivo simplificado com o algoritmo de Wang, a linha de costa mostra-se sinuosa, porém com poucos detalhes. Neste algoritmo não é necessária a aplicação da suavização.

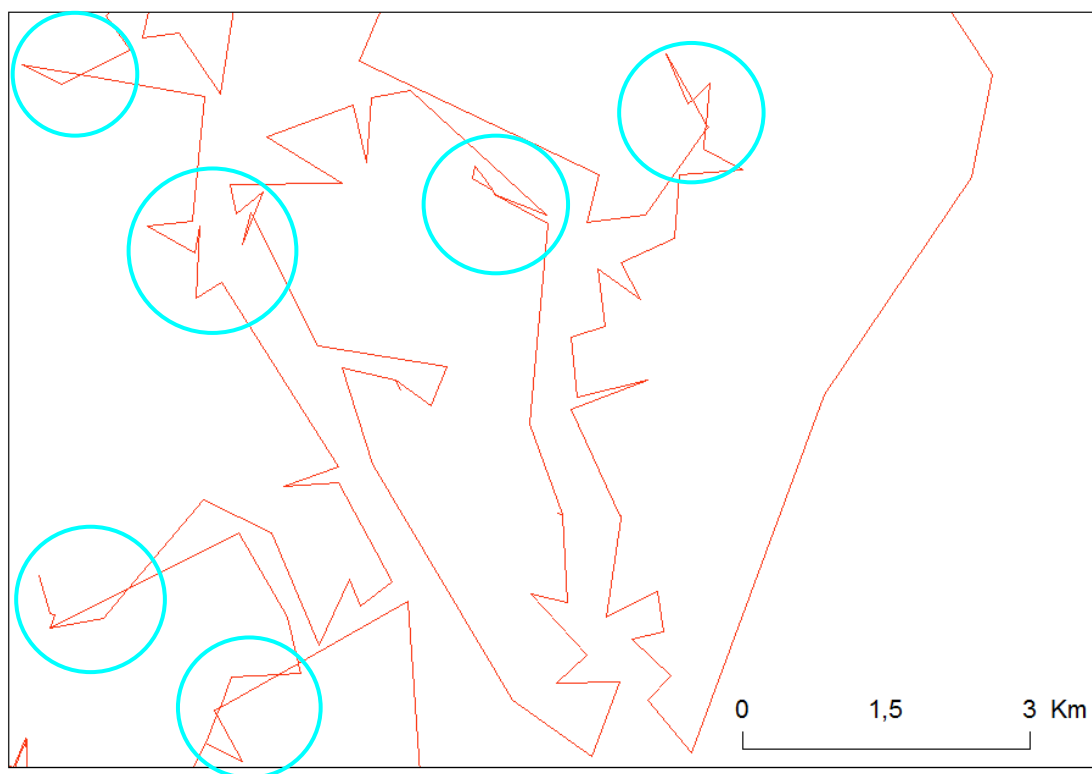


Figura 33 – Simplificação com o Algoritmo Douglas-Peucker (250m)

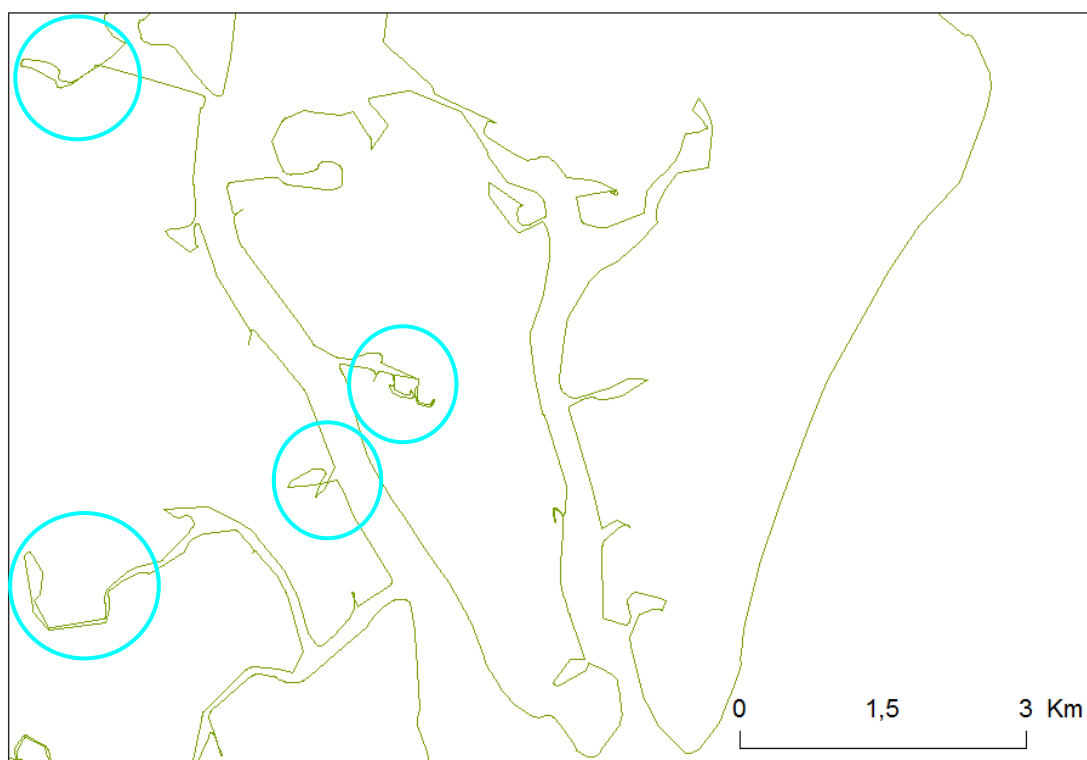


Figura 34 – Simplificação com o Algoritmo de Wang (250m)

As figuras 35, 36 e 37 apresentam comparações entre as feições generalizadas e suas respectivas feições geradoras. A Figura 35 ilustra a feição geradora (**LC_DP75_PAEK375**) em preto e a feição simplificada com o algoritmo de Douglas-Peucker com tolerância de 250m em vermelho. A Figura 36 mostra a feição geradora (**LC_WA75**) em preto e a feição simplificada com o algoritmo de Wang com tolerância de 250m em verde. Na Figura 37 as feições lineares simplificadas pelo algoritmo de Douglas-Peucker (vermelho) são exibidas junto com as feições lineares simplificadas pelo algoritmo de Wang (verde).

Na Figura 35 percebe-se uma diminuição dos detalhes da feição, quando comparada com a sua original. O mesmo acontece com a Figura 36 com o uso do algoritmo de Wang. A perda de detalhes já era esperada uma vez que há uma redução de escala.

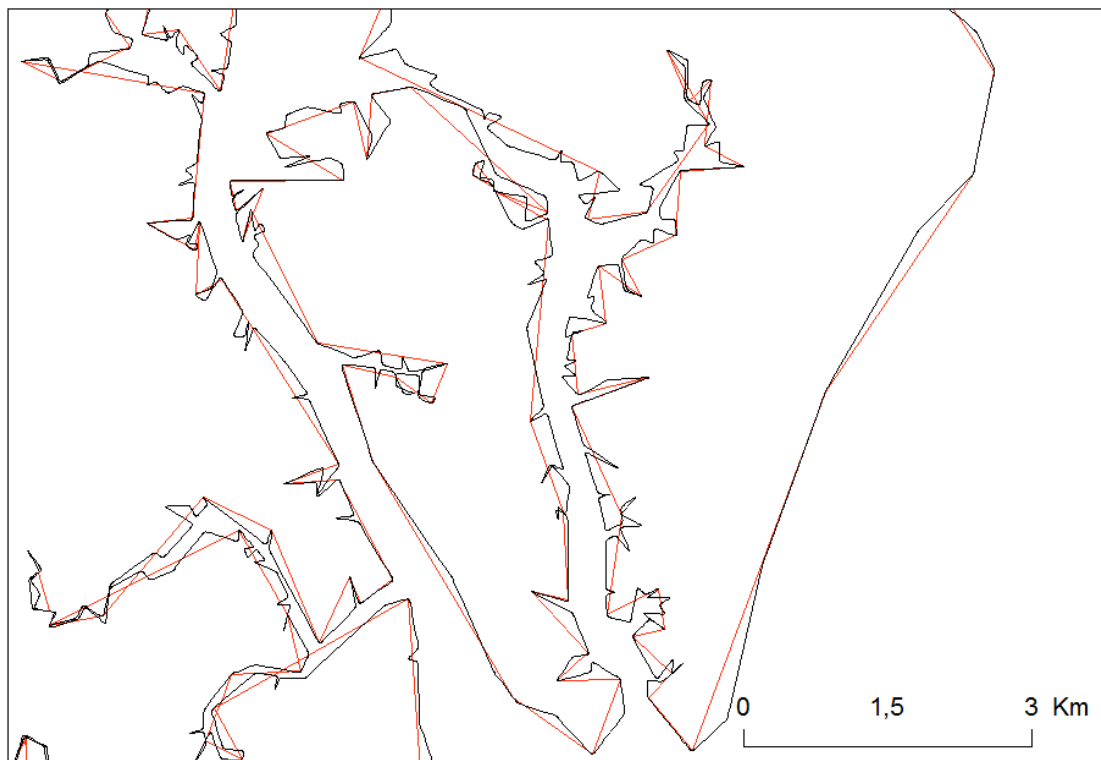


Figura 35 – Comparação entre os arquivos LC_DP75_PAEK375 e LC_DP250

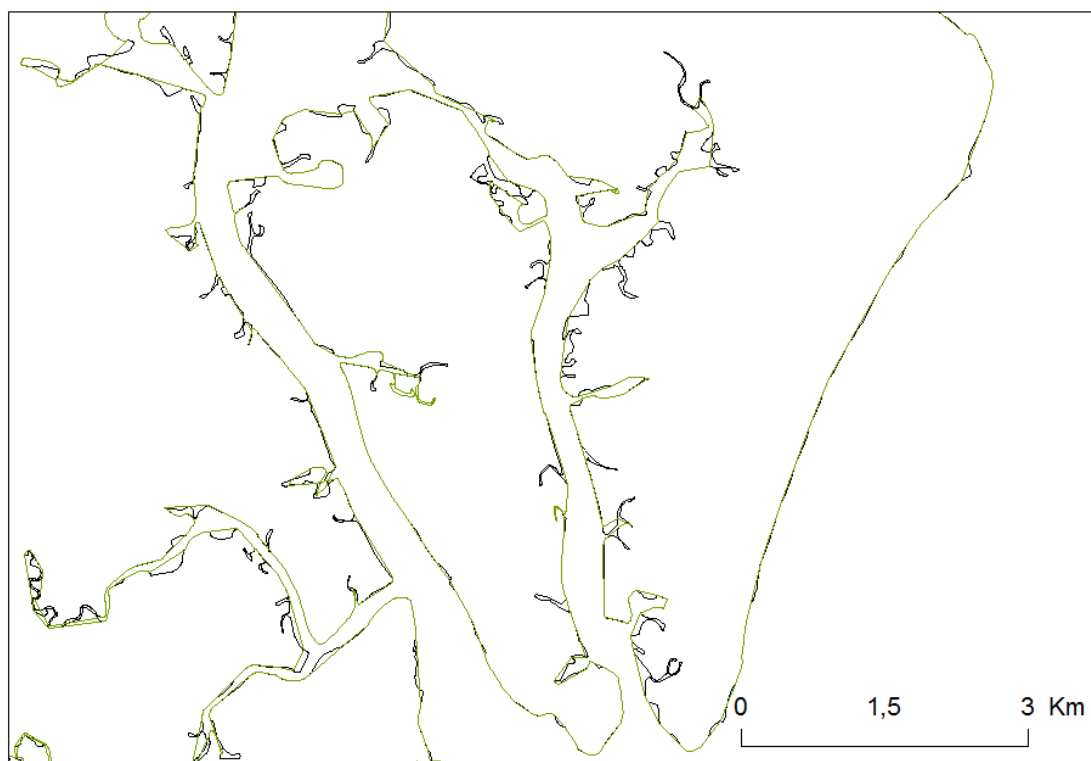


Figura 36 – Comparação entre os arquivos LC_WA75 e LC_WA250

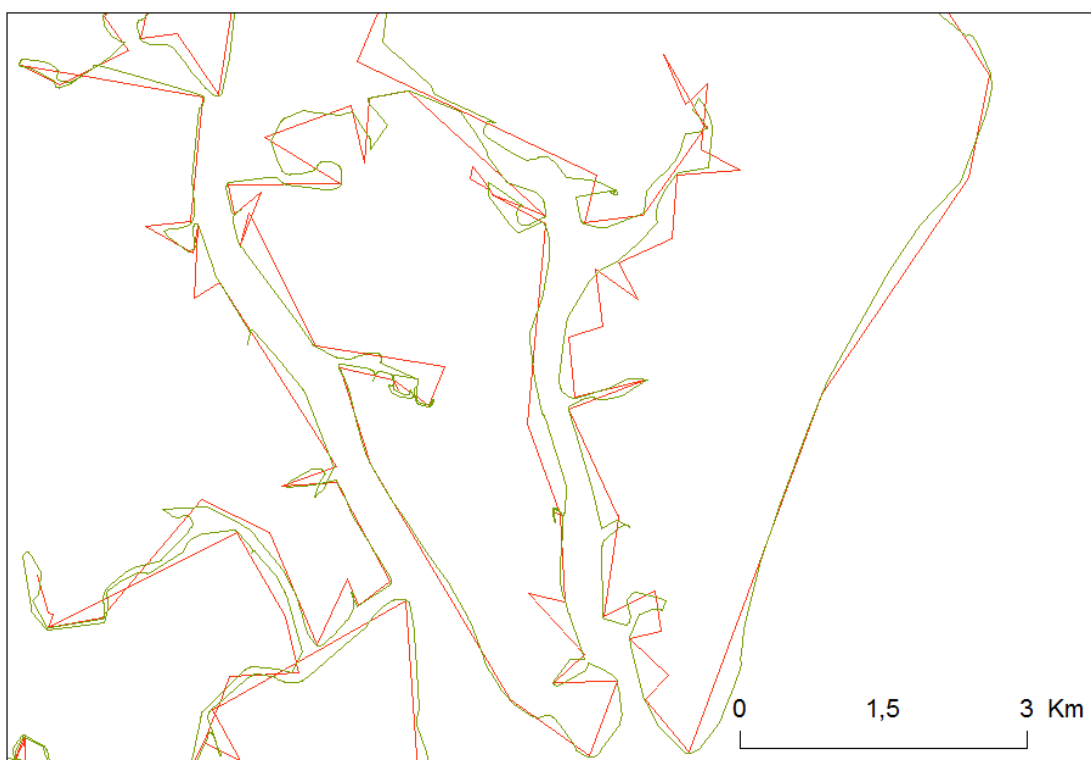


Figura 37 – Comparação entre os arquivos LC_DP250 e LC_WA250

A Figura 37 ilustra claramente as diferenças entre os arquivos e percebe-se a necessidade da aplicação da suavização no arquivo simplificado pelo Algoritmo de Douglas-Peucker, para que o mesmo tenha uma aparência estética mais agradável.

A Tabela 8 demonstra um comparativo do número total de pontos, entre os arquivos usados na mudança de escala e as feições já simplificadas, reúne as extensões dos arquivos, em quilômetros, antes e após a aplicação dos algoritmos de simplificação de linhas com a tolerância especificada, bem como o percentual de redução dos arquivos.

O algoritmo de Wang reteve uma maior quantidade de pontos se comparado com o algoritmo de Douglas-Peucker. O algoritmo de Douglas-Peucker reduziu em mais de 95% a quantidade de pontos do arquivo nessa mudança de escala, representando 327 quilômetros com 635 pontos. Enquanto que, o algoritmo de Wang obteve uma redução em torno de 59% e representou aproximadamente 347 quilômetros com mais de 10 mil pontos.

Tabela 8 – Número total de pontos – Simplificação (1:150.000 – 1:500.000)

ARQUIVOS	NÚMERO DE PONTOS	EXTENSÃO (Km)	PERCENTUAL DE REDUÇÃO (%)
Algoritmo de Douglas-Peucker (LC_DP250)	635	≈ 327	96,58
Algoritmo Douglas-Peucker e PAEK (LC_DP75_PAEK375)	18572	≈ 408	
Algoritmo de Wang (LC_WA250)	10563	≈ 347	59,87
Algoritmo de Wang (LC_WA75)	26325	≈ 427	

5.2.2 – Etapa da Suavização

Nesta mudança de escala, assim como na anterior, apenas o arquivo simplificado com o algoritmo de Douglas-Peucker (**LC_DP250**) passou pelo processo de suavização.

O algoritmo PAEK foi o único utilizado nesta mudança de escala, haja vista que o algoritmo *Bezier Curves* foi desclassificado. Portanto, após a aplicação do algoritmo o arquivo foi renomeado como **LC_DP250_PAEK125**. O número Cento e Vinte e cinco indica o valor da tolerância usado na suavização (125m).

A Figura 38 mostra o efeito da aplicação com o algoritmo PAEK e percebe-se que visualmente a suavização não foi significativa, pois a feição ainda mostra-se com muitos vértices aparentes.

A Figura 39 tem o intuito de realizar uma comparação entre o arquivo suavizado (**LC_DP250_PAEK125**) em vermelho e o arquivo simplificado com o algoritmo de Wang (**LC_WA250**) em verde.

O algoritmo PAEK, com o valor da tolerância de 125m, nesta mudança de escala mostrou-se ineficiente, pois o arquivo **LC_DP250_PAEK125** não se adequou ao arquivo simplificado com o algoritmo de Wang (**LC_WA250**) que foi considerado adequando nesta mudança de escala.



Figura 38 - Suavização com o Algoritmo PAEK (125m)

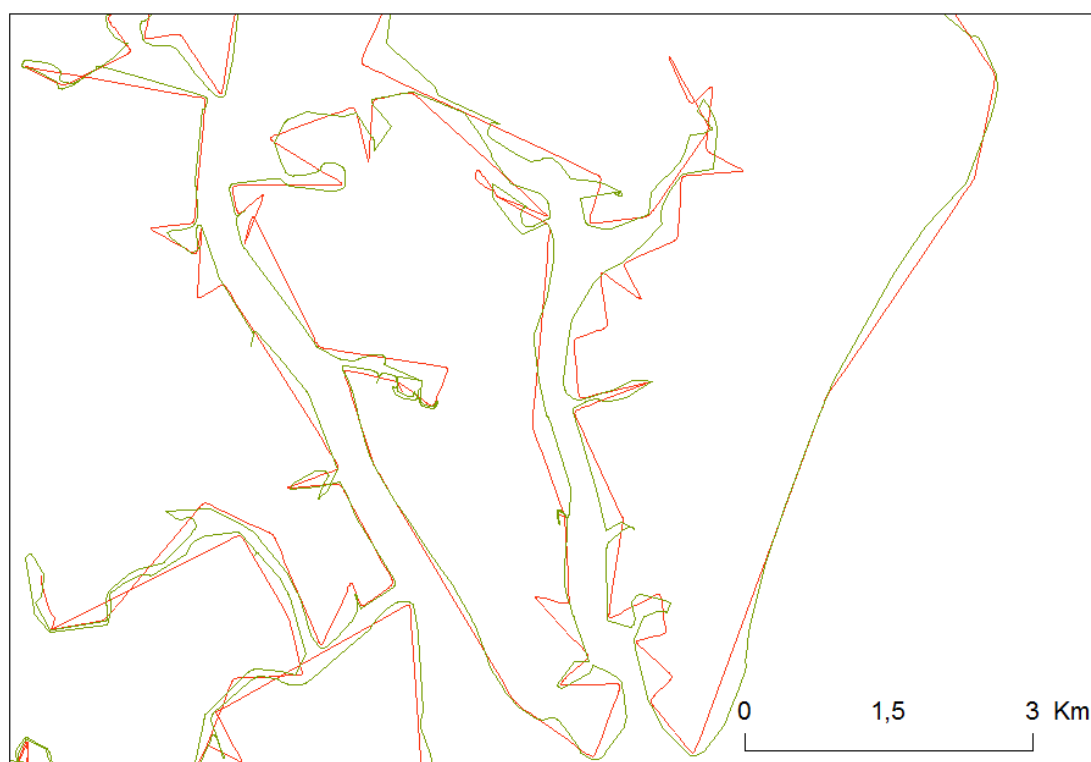


Figura 39 – Comparação entre os arquivos LC_ WA250 e LC_DP250_PAEK125

A Tabela 9 apresenta um comparativo, com relação ao número total de pontos, entre o arquivo da feição linear original e o arquivo após a aplicação do algoritmo de suavização de linhas, a extensão dos arquivos, em quilômetros e o percentual de redução de pontos.

Com a aplicação do algoritmo PAEK o arquivo **LC_DP250_PAEK125** apresentou uma redução de aproximadamente 88 quilômetros na sua extensão e uma diminuição em torno de 12 mil pontos.

O Percentual de redução foi calculado com relação à feição geradora (**LC_DP75_PAEK375**) e apresentou uma redução de 68,71%.

Tabela 9 – Número total de pontos – Suavização com o Algoritmo PAEK

ARQUIVOS	NÚMERO DE PONTOS	EXTENSÃO (Km)	PERCENTUAL DE REDUÇÃO (%)
LC_DP250_PAEK125	5811	≈ 320	68,71
LC_DP75_PAEK375	18572	≈ 408	

5.2.3 – Avaliação da Qualidade da Representação

Nesta mudança de escala, apenas dois arquivos (**LC_DP250_PAEK125** e **LC_WA250**) tiveram sua qualidade de representação avaliada por três tipos distintos:

- Avaliação Visual;
- Avaliação Topológica; e
- Avaliação Posicional

O senso crítico do responsável pela generalização foi utilizado mais uma vez na avaliação visual e dos dois arquivos avaliados. O arquivo **LC_DP250_PAEK125** foi desclassificado nesta avaliação, pois sua representação mostrou-se ruim.

Nesta mudança de escala, a Avaliação Topológica foi gerida pelas mesmas regras topológicas da mudança de escala anterior, ou seja:

- Não pode haver sobreposição de linhas da mesma classe; e
- Nem descontinuidades entre elas.

As figuras 40 e 41 mostram os arquivos generalizados na escala de 1:500.000, com destaques em algumas áreas que apresentam erros de topologia, os erros, na sua totalidade, são de sobreposição de linhas. Na Figura 40 visualiza-se o arquivo **LC_DP250_PAEK125** com 76 erros topológicos e a Figura 41 mostra o arquivo **LC_WA250** com 34 erros topológicos.

Em seguida, na Avaliação Posicional, as figuras 42 e 43 ilustram os arquivos generalizados na escala de 1:500.000 sobrepostos com as áreas de influência geradas. Para tanto, a feição linear generalizada deve estar contida com pelo menos 90% dos pontos dentro da área de influência gerada a partir da feição linear original, para ser considerada classificada/boa.

Na Figura 42 visualiza-se o arquivo **LC_DP250_PAEK125** e a Figura 43 mostra o arquivo **LC_WA250**.

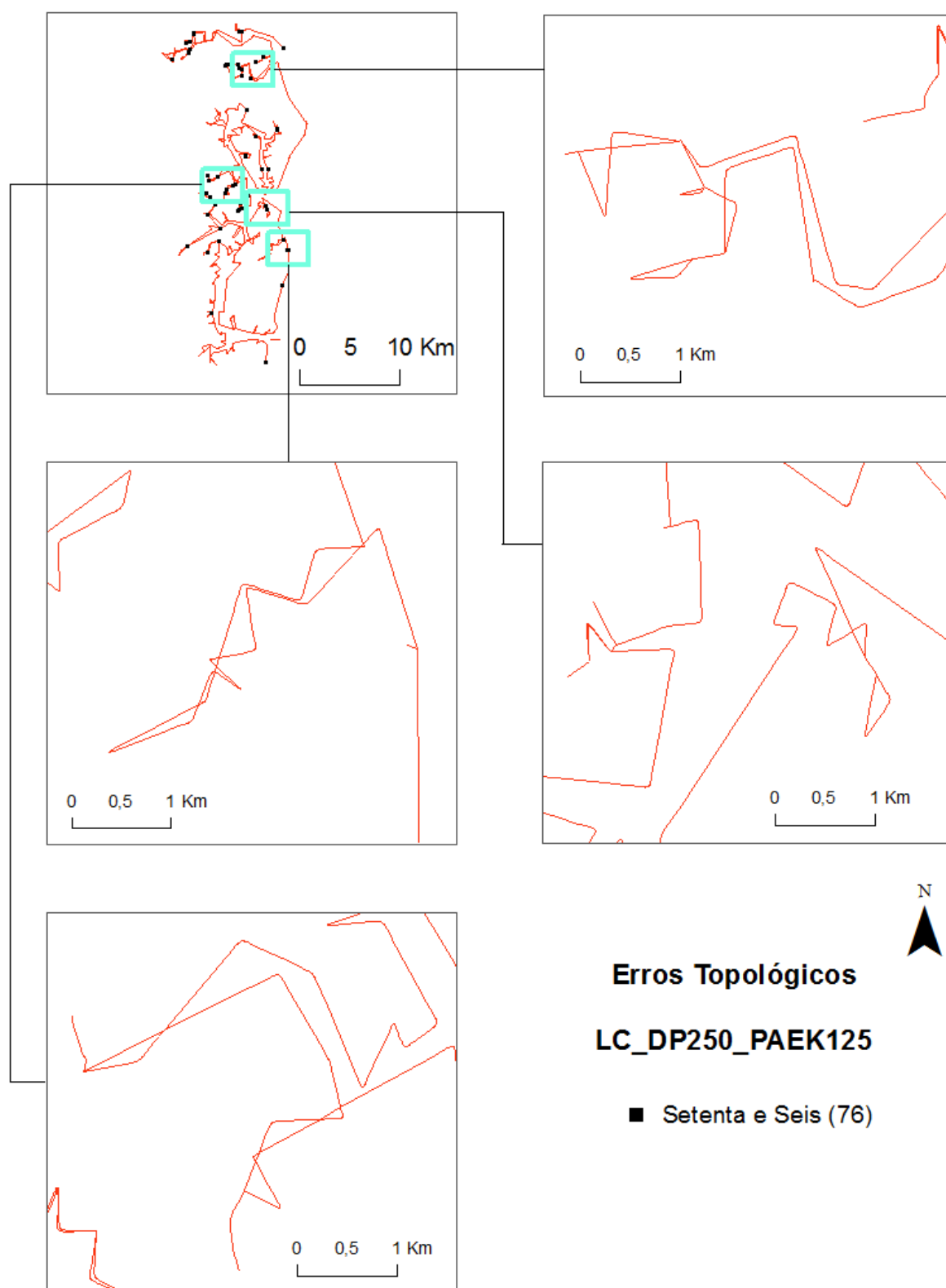


Figura 40 – Erros topológicos LC_DP250_PAEK125

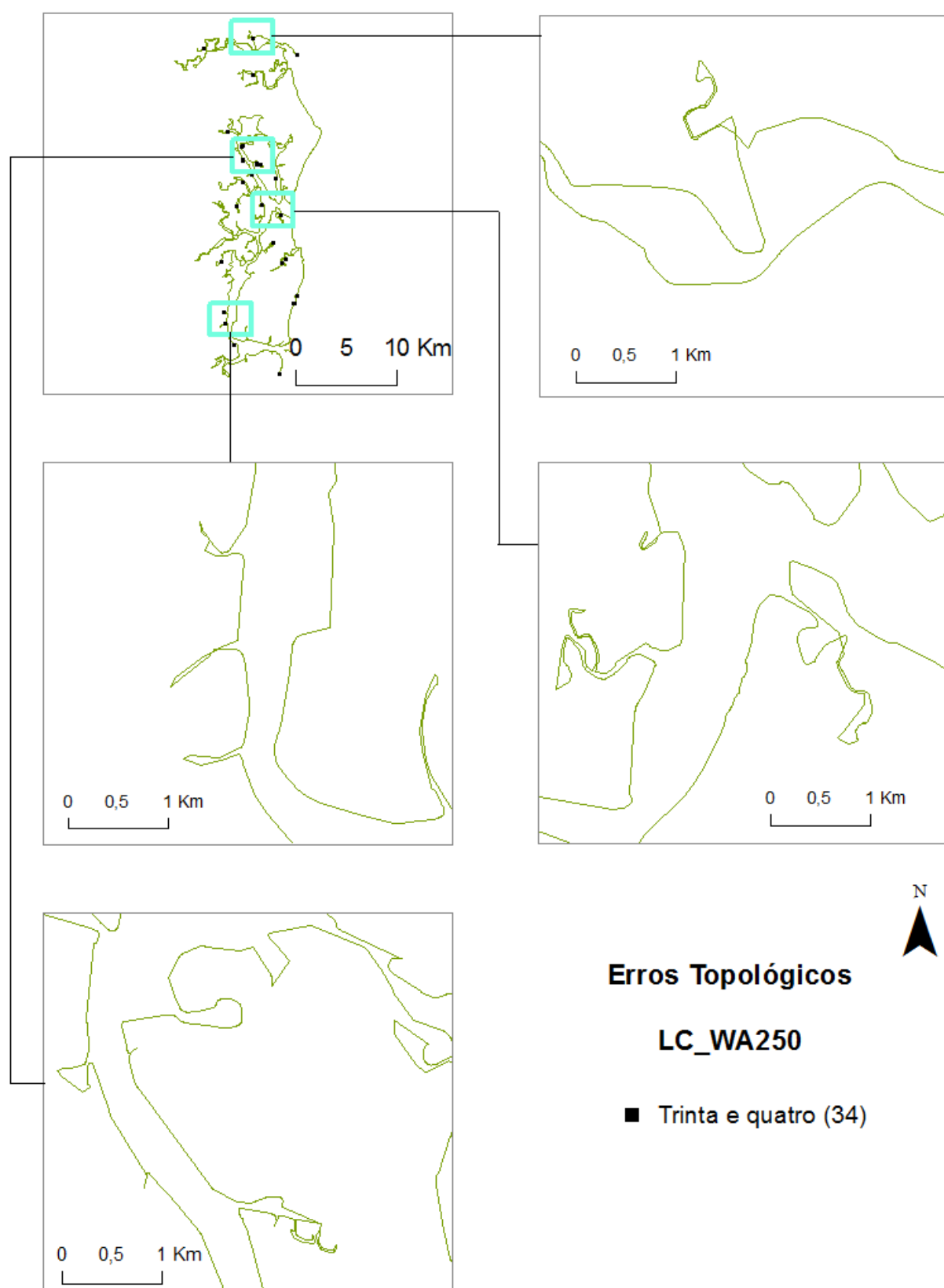


Figura 41– Erros topológicos LC_WA250

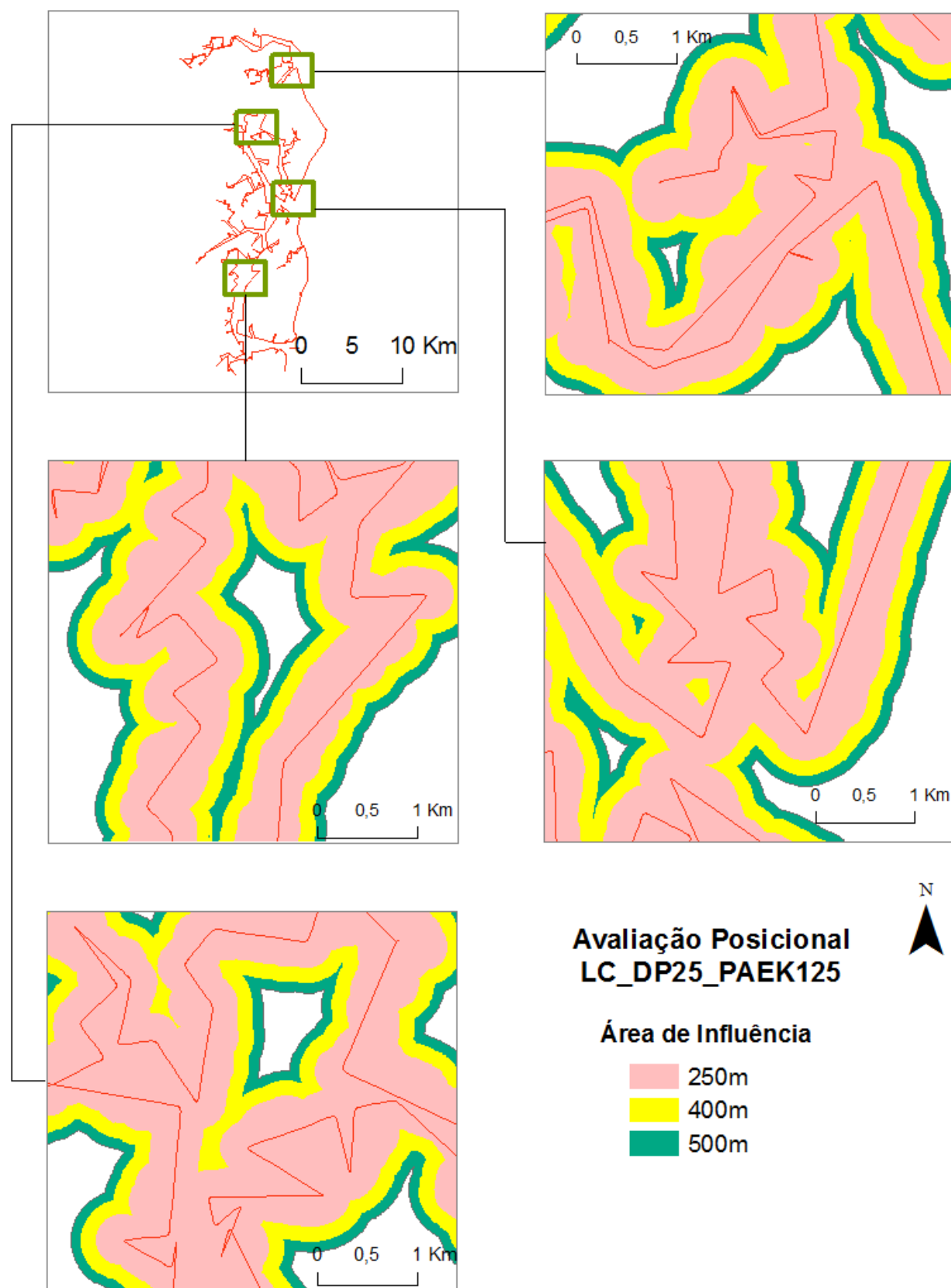


Figura 42 - Avaliação Posicional LC_DP250_PAEK125

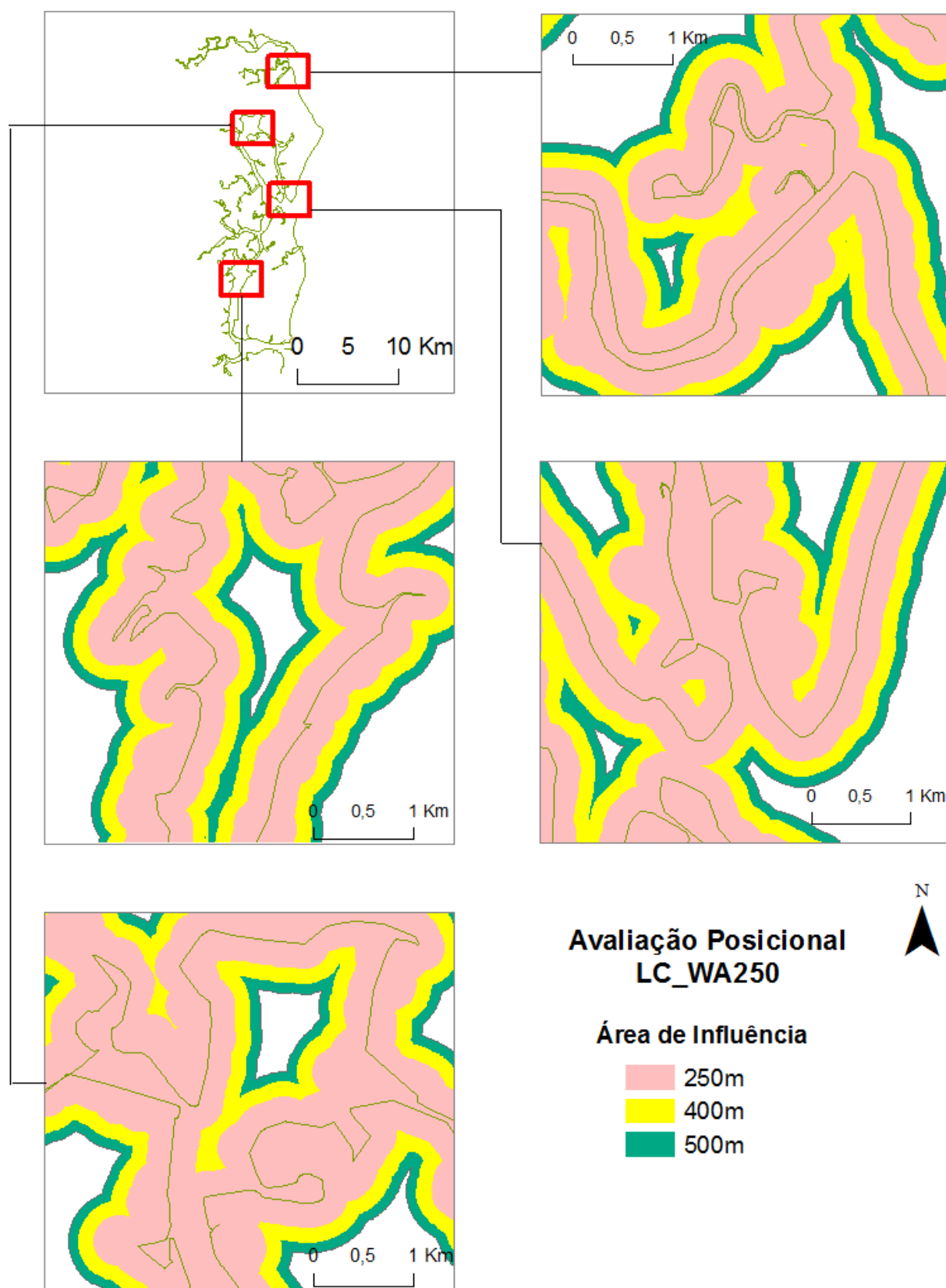


Figura 43 - Avaliação Posicional LC_WA250

A Tabela 10 reúne o resultado da Avaliação Posicional, bem como suas porcentagens, separadas por classes. Constata-se que, os arquivos foram classificados como classe A, de acordo com os critérios do PEC com relação à exatidão cartográfica dos documentos cartográficos, já que todos eles estão contidos com mais de 90% nas áreas de influência geradas.

Tabela 10 – Avaliação Posicional (1:150.000 para 1:500.000)

ARQUIVOS	PEC		
	Classe A Área de Influência (250m)	Classe B Área de Influência (400m)	Classe C Área de Influência (500m)
LC_DP250_PAEK125	100%	100%	100%
LC_WA250	100%	100%	100%

A Tabela 11 traz um resumo de todas as avaliações da qualidade da representação realizadas. Apenas o arquivo em destaque (**LC_DP250_PAEK125**) foi considerado ruim na mudança de escala de 1:150.000 para 1:500.000. Sendo assim, apenas o arquivo generalizado com o algoritmo de Wang foi considerado adequado para esta mudança de escala.

Tabela 11 – Avaliação da Qualidade da Representação

ARQUIVOS	Avaliação Visual	Avaliação Topológica	Avaliação Posicional
LC_DP250_PAEK125	Desclassificado	Desclassificado	Classificado
LC_WA75	Classificado	Classificado	Classificado

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa apresentou dois modelos para generalizar feições lineares em mapas costeiros, mas destaca-se que os modelos são independentes de temática. Ou seja, podem ser aplicados em qualquer feição linear. O processo de generalização é uma fase importante na elaboração de documentos cartográficos, seja para fins topográficos ou temáticos, pois trata diretamente da clareza na comunicação das informações.

A linha de costa foi a feição linear do mapeamento costeiro utilizada para iniciar a generalização, pois a mesma é contígua à grande parte das feições, tais como: vegetação, área urbana, entre outros.

A pesquisa também apresentou a formulação de critérios para a escolha dos valores de tolerância para a aplicação dos algoritmos de generalização cartográfica, pois até então, a escolha dos valores era encarada de forma subjetiva. A solução adotada para eliminar a subjetividade foi relacionar o fator de mudança de escala com o PEC – Classe A. Os resultados obtidos foram satisfatórios.

A generalização seguiu o modelo sequencial, ou seja, a feição linear usada na redução de escala de 1:10.000 gerou as cartas na escala 1:150.000 e as cartas na escala 1:150.000 foram generalizadas gerando a carta na escala 1:500.000. Portanto, isto significa uma redução de escala de cinquenta vezes, razão principal dos resultados para redução de escala não ter se mostrado adequado na aplicação de um dos algoritmos utilizados na pesquisa.

Na etapa de simplificação das feições lineares foram aplicados dois algoritmos: Douglas-Peucker e Wang. No geral, os algoritmos de simplificação, na mudança de escala de 1:10.000 para 1:150.000 comportaram-se adequadamente, porém o arquivo simplificado com o algoritmo de Douglas-Peucker precisou passar pelo método de suavização. Pois este algoritmo tem o objetivo de reduzir o número de pontos usados para representar feições lineares armazenadas numericamente. O algoritmo faz, a cada passo, uma avaliação global da linha, identificando pontos a serem eliminados. Essa estratégia permite que obtenha resultados satisfatórios para a simplificação com pequenas faixas de tolerância. Porém, com o aumento do valor de tolerância o algoritmo tende a eliminar mais detalhes da linha e, assim, gerar uma forma pontiaguda, como argumentado por Visvalingam e Whyatt em 1990. Argumento esse, que foi constatado na pesquisa quando na mudança de escala para 1:500.000, onde o arquivo gerado por esse algoritmo foi considerado inadequado.

A redução de informações não é o mesmo que generalizar, neste contexto é importante destacar os algoritmos com perspectiva local e global. Uma característica comum dos métodos que tratam a feição linear localmente é o método do valor mínimo de LI e OPENSRAW, quando o valor mínimo de tolerância é maior que detalhes importantes da feição linear, o algoritmo não produz resultados satisfatórios. LI e OPENSRAW (1992) consideram um mapa em qualquer escala onde sempre haverá um objeto cartográfico de tamanho mínimo que deixa de ser representado dependendo da nova escala do mapa. Após a definição de um valor mínimo observável, toda a feição linear é percorrida objetivando a eliminação de pontos que se encontram dentro da distância coberta pelo valor mínimo.

Portanto, como conclusão da etapa simplificação tem-se que o algoritmo Douglas-Peucker possui a característica de eliminar mais pontos da feição, de forma a transformá-la em um arquivo de dados bem menor que o original, mas ao mesmo tempo perde suas características topológicas. Já o algoritmo de Wang sistematicamente reteve uma quantidade maior de pontos. Por esta razão, a incidência de problemas topológicos foi menor. Conclui-se, portanto, que a redução de um maior número de pontos, muitas vezes, não representa um resultado aceitável para a generalização de feições lineares.

O erro topológico apresentado após a generalização das feições lineares torna-se um problema para o uso da base de dados espaciais utilizada em SIG, pois é imprescindível que as feições possuam propriedades e relações corretas.

Dos arquivos gerados pelos modelos propostos, apenas os arquivos simplificados pelo algoritmo de Douglas-Peucker precisaram passar pela etapa da suavização, já que o algoritmo de Wang mostrou-se mais adequado, inclusive com relação às avaliações da qualidade da representação.

Na etapa da suavização das feições lineares foram aplicados dois algoritmos: PAEK e Bézier Curves. Estes algoritmos atuaram diretamente na geometria das feições lineares, as tornando visualmente mais agradáveis ao se reduzir os ângulos agudos, causados pela simplificação. O algoritmo PAEK causou a modificação mais expressiva e que se aproximava mais da forma original. Enquanto que o algoritmo Bézier Curves provocou alterações radicais que causaram a descaracterização da feição, além de provocar uma série de erros topológicos.

Com isso, foi o único algoritmo desconsiderado na mudança de escala de 1:150:000 para 1:500.000.

Na pesquisa também foram propostos novos métodos de avaliação da qualidade da representação que devem ser aplicados a outros tipos de mapeamento temático, bem como em outros valores de redução de escala. Observou-se que, há uma escassez em pesquisas que tratem da generalização cartográfica, suas técnicas e maneiras de avaliação da qualidade da representação em meio digital.

Um desses métodos de avaliação da qualidade da representação foi usando a topologia, representada pelo relacionamento espacial entre os objetos. Os algoritmos atuam sobre as feições lineares sem a preocupação com as relações topológicas previamente existentes entre os dados, como por exemplo, proximidade e vizinhança.

Na prática, os dois modelos para generalização cartográfica de feições lineares produziram resultados com incidência de vários problemas topológicos localizados em feições com representação cartográfica mais complexa, como por exemplo, nos rios estreitos, rios menores, trechos sinuosos e pequenas ilhas. Para tanto, recomenda-se que antes da aplicação dos algoritmos haja uma generalização manual para a eliminação de informações menores que a tolerância utilizada.

No processo de qualquer tipo de generalização, seja de feições lineares, planares ou pontuais é imprescindível que a base de dados espaciais esteja livre de

erros topológicos para uma melhor otimização da generalização. Na pesquisa foi feita a detecção e a eliminação de erros topológicos antes da generalização, esta eliminação foi feita de forma manual, uma vez que a mesma não pode ser feita automaticamente. Recomenda-se também que após a passagem de escala seja feita uma nova detecção e eliminação de erros topológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASERUD, L; RANANG, M. T. **Generalization in Geographic Information Systems: How Storage Models Affect the Process and the Results**. Norwegian University of Science and Technology, 2001, Norway. Disponível em: http://www.idi.ntnu.no/~mtr/publications/geo_gen.pdf Acesso em: 25/07/2009.

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de Filosofia**. Martins Fontes, 1999.

ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE CARTOGRAFIA - ICA. **Multilingual dictionary of technical terms in cartography**. Viesbaden: Steiner Verlag. 1973

ATTNEAVE, F., **Some informational aspects of visual perception**, Psychological Review, 61(3),183–193, 1954.

BALBOA, J. L.G. **Automatización de los procesos de segmentación y clasificación de vías de comunicación em generalización cartográfica**. Tese de doutorado, Universidade de Jaén, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Espanha, 2006. 345 p.

BODANSKY, E., GRIBOV, A., and PILOUK, M. **"Smoothing and Compression of Lines Obtained by Raster-to-Vector Conversion"**, LNCS 2390, Springer, 256-265, 2002.

BRASIL, Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia nacional**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n120, 22 de junho de 1984.

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.

BUTTENFIELD, B. P. **A rule for describing line feature geometry**. En: Battenfield B. P.; McMASTER, R. B. (eds.). Map generalization: Making rules for knowledge representation. Harlow (England): Lognman scientific & Technical. pp. 150-171. 1991.

CARDONI, L. S. I. ; FERREIRA DA SILVA, L. F. C. . **Generalização Cartográfica: Determinação de Conjunto Único de Operadores**. In: 21º Congresso Brasileiro de Cartografia, 2003, Belo Horizonte. Anais. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003.

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais** (ET-ADGV, versão 2.0). 10 de junho de 2011.

CONCAR. **Manual de Normas Técnicas da Cartografia Brasileira**. Criado em 20/06/1984. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8>

CPRH, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**, Recife: CPRH, 2003. 214p

D'ALGE, J. C. L. **Generalização cartográfica em sistemas de informação geográfica: aplicação aos mapas de vegetação da Amazônia Brasileira**. 2007.132p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/Tese_JulioDalge.pdf. Acesso: 29/03/2010

D'ALGE, JULIO CÉSAR LIMA. **Generalização cartográfica em sistemas de informação geográfica: aplicação aos mapas de vegetação da Amazônia Brasileira**. Tese - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2007. 132 p.

DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. **Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its character**. The American Cartographer, 1973, 10(2). P. 112-123.

DROPPOVÁ, V. **The tools of automated generalization and building generalization in an ArcGIS environment**. Slovak Journal of Civil Engineering, Volume XIX, issue 1, P.1-7, 2011. Disponível em: http://www.svf.stuba.sk/docs/sjce/2011/2011_1/file3.pdf Acessado em: 17/07/2011.

DUTTON, G. **Scale, Sinuosity, and Point Selection in Digital Line Generalization**. Cartography and Geographic Information Science, 1999. 26(1). P. 33-53.

GRÜNREICH, D. **"Development of Computer-Assisted generalization"**, In: MÜLLER, J.-C., LAGRANGE, J.-P., AND WEIBEL, R., (eds.), GIS and Generalization: Methodology and Practice. London: Taylor & Francis, p. 47-55, 1995.

HANGOUEÏT, JF. **Approche et méthodes pour l'automatisation de la généralisation cartographique; application en bord de ville**, Ph.D. thesis, Sciences de l'Information Géographique, Université Marne La Vallée, 1998.

JENSEN, J.R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. **A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v.64, n.10,p. 1003-1014. 1998.

JONES, C. AND VAN DER POORTEN, P., **Customisable Line Generalization using Delaunay Triangulation**. University of Glamorgan, 2003.

KEATES, J. S. **Cartographic design and production**. London: Longman, 1973. 240p.

LANG, T. **Rules for the robot draughtsmen**. The Geographical Magazine, 1969, 50-51.

LAZZAROTTO, D. R. **Avaliação da Qualidade de base Cartográfica por meio de Indicadores e Sistema de Inferência Fuzzy**. Tese em Ciências Geodésicas, Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. 230f.

LEWIS, R. **Measurement of the geometrical error in cartographic lines induced by smoothing during map generalization**. Departament of Geography, University of California, Los angeles, 1990.

LI, Z. **Algorithmic Foundations of Multi-Scale Spatial Representation**. BocaRaton: CRC Press. 2006.

LI, Z.; OPENSHAW, S. **Algorithms For Automated Line Generalization Based On A Natural Principle Of Objective Generalization**. International Journal Of Geographical Information Systems, 1992. 6(5). P. 373-389.

LI, Z.; SUI, H. **An Integrated Technique For Automated Generalization Of Contour Maps**. The Cartographic Journal, 2000. P. 29-37.

LOPES, JOSÉ. **Generalização Cartográfica**. Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. Faculdade de Ciências-Universidade de Lisboa. Portugal, 2005. 120 p.

MCMMASTER, R.B. & SHEA, K.S. **Generalization in Digital Cartography**. Washington, DC: Association of American Geographers, 1992.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA/ SECRETARIA DE QUALIDADE NOS ASSENTAMENTOS HUMANOS – SQA. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo: cartas SAO**. Brasília, 2002. 107 p.

MITROPOULOS ET AL. **The use of epsilon convex area for attributing bends along a Cartographic line**. In : Proceedings of the International Cartographic Conference, la Corogne, 2005.

MÜLLER, J. C. **Generalization of spatial data bases**. En: MAGUIRE, D.;GOODCHILD, M.; RHIND, D. (eds.). Geographical Information Systems: Principles and Applications, 1: 457-475. London: Longman, Ltd, 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.

NERO, M. A. **Estudo comparativo de metodologias de digitalização de mapas e seu controle de qualidade geométrica**. Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2000. 233p.

PLAZANET, C. **Measurement, characterization and classification for line generalization**. In; Proceedings of AutoCarto 12, Bethesda, Md.,1995. P 59-68.

PLAZANET, C. **Modelling Geometry for linear feature generalisation**. En: Craglia, M.; Coucleis, H. (eds.). Geographic Information Research: Bridging the Atlantic. London: Taylor and Francis. Part 3, Chapter 17, p. 264-279. 1997.

RATAJSKI, L. **Phenomenes des points de generalisation**. International Yearbook of Cartography, 1967, p.143-151.

RUAS, A. **A method for building displacement in automated map generalisation**. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(8) P. 789-803.

RUAS, A. **Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie**. Ph.D. Tese,1999 França: Université de Marne la Vallée.

SANTO, M. A. D.; LOCH, C. **Algoritmos de Generalização Vetorial em SIG**. In: COBRAC 2008, 2008, Florianópolis. 8o. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis : UFSC, 2008. v. 1. p. 1-8.

SHEA, K. S. **Design considerations for an artificially intelligent system**. En: Battenfield B. P.; McMASTER, R. B. (eds.). Map generalization: Making rules for knowledge representation. Harlow (England): Lognman Scientific & Technical, 1991. P. 3-20.

SHEMANAREV, M. **Interpolation with Bezier Curves: A very simple method of smoothing polygons**, 2006. Disponível em: http://www.antigrain.com/research/bezier_interpolation/ Acessado em: 17/12/2001

SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY. Cartographic Generalisation, Cartographic Publication Series n. 2, 1979

VISVALINGAM , M. e WHYATT,J. D. **The Douglas-Peucker Algorithm for Line Simplification: Re-evaluation through Visualization**. Computer Graphics Forum, 1990.

VISVALINGAM, M.; WHYATT, J. D. **Line generalization by repeated elimination of points**. The Cartographic Journal, 1993, p. 46-51.

WANG, Z. **Manual versus Automated Line Generalization**, GIS/LIS '96 Proceedings, 1996. P.94-106.

WANG, Z.; MULLER J.C. **Line gneralization based on high-level characteristics**. Cartography and GIS, 1998. 25 (1).

WEIBEL, R.; JONES, C. B. **COMPUTATIONAL PERSPECTIVES ON MAP GENERALIZATION**, GEOINFORMATICA, VOL. 2, NO. 4, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1998. P. 307–314.

WEIBEL, R.; DUTTON, G. **Generalising spatial data and dealing with multiple representations**, In: LONGLEY, P. A., GOODCHILD,M. F., MAGUIRE, D. J., AND RHIND, D.W., (eds.), Geographical Information Systems, 1: Principles and Technical Issues. 2nd ed., New York: Wiley & Sons, P. 125–155, 1999.

ZHAN, F. B.; BUTTENFIELD, B. P. **Multi-scale representation of a digital line**. Cartography and Geographic Information Systems, 1996, 23(4). P. 206-228.