



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO
LAÍZY DE SANTANA AZEVEDO

**GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE ESTRUTURAS VETORIAIS E
MATRICIAIS EM AMBIENTE ARCGIS**

Recife
2019

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO
LAÍZY DE SANTANA AZEVEDO

**GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE ESTRUTURAS VETORIAIS E
MATRICIAIS EM AMBIENTE ARCGIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Recife
2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

N244g Nascimento, Evely Ferreira do.

Generalização cartográfica de estruturas vetoriais e matriciais em ambiente ArcGIS /
Evely Ferreira do Nascimento, Laízy de Santana Azevedo. – Recife, 2019.
71 f.: il., fig. tab. e sigl.

Orientadora: Ana Lúcia Bezerra Candeias.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de
Engenharia Cartográfica, 2019.

Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Generalização cartográfica. 3. Estrutura
vetorial e matricial. 4. ArcGIS. I. Azevedo, Laízy de Santana. II. Candeias, Ana
Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Título.

526.1 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2019/ 206

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO
LAÍZY DE SANTANA AZEVEDO

**GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE ESTRUTURAS VETORIAIS E
MATRICIAIS EM AMBIENTE ARCGIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura em 23 de maio de 2019.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a Dr^a. Karoline Paes Jamur (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Aos nossos pais e maiores incentivadores,
Luciano e Elíude,
Ezequias e Marinalva.

AGRADECIMENTOS

Nossa gratidão primeiramente a Deus por ter nos sustentado e ajudado, sem Ele não chegaríamos até aqui.

Aos nossos pais, Luciano e Elíude, Ezequias e Marinalva, nossa base. Seremos eternamente gratas por todo apoio, incentivo e dedicação.

Aos nossos irmãos, Thallys e Elida, e aos demais familiares pelos incentivos e apoios de sempre.

Aos amigos e irmãos que a graduação nos deu em especial Leonardo, Eduardo, Gabriel e Charlene.

À nossa querida orientadora Ana Lúcia, pelo incentivo e dedicação nesta jornada acadêmica.

A todos os professores que, de forma direta ou indireta participaram da nossa formação, especialmente aos professores do departamento de Engenharia Cartográfica que foram essenciais para nortear nossa vida profissional.

A banca desse trabalho formada pelos professores João Rodrigues Tavares Junior e Karoline Paes Jamur, ambos do Departamento de Engenharia Cartográfica, que contribuíram com a versão final desse trabalho.

RESUMO

O processo de generalização cartográfica consiste em reduzir o nível de detalhe do mapa em decorrência da redução de escala. Há diversas restrições relacionadas à escala de representação que geram omissões, perdas e, até mesmo, leva a não representação dos dados contidos nos mapas. Em ambiente SIG, existem ferramentas com a finalidade de dar suporte à produção automatizada de mapas em diversas escalas. Muitos operadores foram implantados visando automatizar e agilizar o processo de generalização cartográfica que antes era manual e intuitivo. Neste contexto, o assunto abordado no trabalho é o estudo da generalização cartográfica de estruturas vetoriais e matriciais em ambiente SIG mediante algoritmos existentes. O trabalho consiste em identificar operadores de generalização cartográfica do software ArcGIS, aplicar tais operadores para dados vetoriais e matriciais e por fim quantificar e avaliar os resultados. A primeira parte trata da generalização do ponto de vista vetorial em que foram aplicados algoritmos de simplificação e suavização, disponibilizados no software ArcGIS, considerando apenas a feição que representa o reservatório Engenheiro Francisco Saboia, o qual está situado no município de Ibimirim – Pernambuco. Na segunda parte, uma série de algoritmos disponíveis também no ArcGIS foram aplicados a imagem classificada pelo método de quebras naturais da mesma área de estudo em que foi feita a análise vetorial, porém considerando todo o seu entorno e todas as classes geradas automaticamente pelo software. Os arquivos generalizados foram avaliados segundo vários critérios. Na análise vetorial foram considerados quatro critérios distintos, sendo eles: área e número total de pontos da feição, análise visual, topológica e posicional. Na análise matricial os dados foram transformados em polígonos e foram feitas análises referentes a variação de área dos polígonos de cada classe, simplificação estrutural e medição de redução de polígonos para cada classe. Os resultados mostraram que é mais adequado o uso da simplificação de Douglas-Peucker seguido da suavização PAEK ou o uso direto da simplificação de Wang para a generalização vetorial. Já para a matricial, os resultados foram promissores, diminuindo a quantidade de informações na imagem que não poderiam ser visualizadas pelo observador em escala menor.

Palavras-chave: Generalização cartográfica. Estrutura vetorial e matricial. ArcGIS.

ABSTRACT

The process of cartographic generalization consists of reducing the level of detail of the map due to the reduction of scale. There are several restrictions associated to the scale of representation that generate omissions, losses and even leads to non-representation of the data contained in the maps. In GIS environment, there are tools to support the automated production of maps at various scales. Many operators were deployed to automate and streamline the process of cartographic generalization that was previously manual and intuitive. In this context, the subject studied in the paper is the cartographic generalization of vector and matrix structures in GIS environment using existing algorithms. The work consists of identifying cartographic generalization operators of ArcGIS software, applying such operators to vector and matrix data, and finally quantifying and evaluating the results. The first part study the generalization of the vector point of view, in which simplification and smoothing algorithms were made available in ArcGIS software, considering only the feature that represents the reservoir Engenheiro Francisco Saboia, which is located in the municipality of Ibimirim - Pernambuco. In the second part, a series of algorithms also available in ArcGIS were applied to the image classified by the method of natural breaks of the same study area in which the vector analysis was done, however considering all its surroundings and all classes automatically generated by software. The generalized files were evaluated according to several criteria. In the vector analysis, four distinct criteria were considered: area and total number of feature points, visual, topological and positional analysis. In the matrix analysis the data were transformed into polygons and analyzes were made regarding the variation of area of the polygons of each class, structural simplification and measurement of reduction of polygons for each class. The results showed that the use of Douglas-Peucker simplification followed by PAEK smoothing or the direct use of Wang's simplification for vector generalization is more appropriate. As for the matrix, the results were promising, reducing the amount of information in the image that could not be visualized by the observer on a smaller scale.

Keywords: Cartographic generalization. Vector and matrix structure. ArcGIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Representação da estrutura de dados vetoriais.....	20
Figura 2 –	Representação da estrutura de dados matriciais. (a) imagem, (b) área de zoom com grupo de pixel, (c) valores digitais.....	21
Figura 3 –	Representação da simplificação Douglas-Peucker (point remove)	23
Figura 4 –	Curvas	23
Figura 5 –	Representação dos algoritmos de suavização PAEK e Bezier Interpolation.....	24
Figura 6 –	Representação da curva de Bezier.....	25
Figura 7 –	Representação do Filtro da moda com vizinhança de oito pixels	26
Figura 8 –	Representação da limpeza de vizinhança com rotina descend	27
Figura 9 –	Representação do agrupamento de regiões.....	27
Figura 10 –	Representação da extração por atributos utilizando como consulta lógica valores maiores que dois.....	28
Figura 11 –	Representação do preenchimento.....	28
Figura 12 –	Exemplo esquemático da generalização sequencial.....	31
Figura 13 –	Mapa de localização da área de estudo.....	32
Figura 14 –	Etapas realizadas na generalização do contorno do reservatório.....	34
Figura 15 –	Etapas realizadas na generalização vetorial 1:25.000 para 1:50.000.....	36
Figura 16 –	Ferramenta Simplify Polygon.....	37
Figura 17 –	Ferramenta Smooth Polygon.....	38
Figura 18 –	Etapas realizadas na generalização matricial 1:25.000 para 1:50.000.....	39
Figura 19 –	Ferramenta Reclassify.....	40

Figura 20 –	Ferramenta Majority Filter.....	40
Figura 21 –	Ferramenta Boundary Clean.....	41
Figura 22 –	Ferramenta Region Group.....	41
Figura 23 –	Ferramenta Extract by Attributes.....	42
Figura 24 –	Ferramenta Nibble.....	43
Figura 25 –	Feição Original 5m.....	44
Figura 26 –	Feições simplificadas por Douglas-Peucker.....	45
Figura 27 –	Feições simplificadas por Wang.....	46
Figura 28 –	Comparação entre a feição original e as simplificações com tolerância padrão de 1mm para Douglas-Peucker e Wang.....	47
Figura 29 –	Feições suavizadas por PAEK.....	48
Figura 30 –	Feições suavizadas por Bézier Interpolation.....	49
Figura 31 –	Comparação entre a feição original e a feição suavizada por PAEK com a tolerância padrão.....	50
Figura 32 –	Comparação entre a feição original e a feição suavizada por Bezier Interpolation.....	50
Figura 33 –	Erros topológicos gerados por Bézier Interpolation.....	52
Figura 34 –	Erros posicionais gerados por Bézier Interpolation.....	53
Figura 35 –	Resultado da reclassificação.....	54
Figura 36 –	Resultado da aplicação do filtro moda. a) Antes da aplicação do filtro (imagem temática resultante da etapa anterior – reclassificação). b) Após a aplicação do filtro moda.	55
Figura 37 –	Resultado da aplicação do Boundary Clean. a) Antes da aplicação do Boundary Clean (imagem resultante da etapa anterior- filtro moda). b) Após a aplicação da ferramenta Boundary Clean.....	56
Figura 38 –	Resultado da aplicação da ferramenta Region Group.....	57
Figura 39 –	Resultado da aplicação da ferramenta Extract by Attributes.....	57
Figura 40 –	Resultado da aplicação da ferramenta Nibble.....	58

Figura 41 –	Comparação imagem original, imagem reclassificada e imagem generalizada.....	59
Figura 42 –	Polígonos gerados a partir da imagem reclassificada e generalizada. a) sobreposição dos polígonos na imagem reclassificada. b) sobreposição dos polígonos na imagem generalizada original, imagem reclassificada e imagem generalizada.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores de tolerância estabelecidos para a simplificação.....	35
Tabela 2 –	Valores de tolerância estabelecidos para a suavização.....	35
Tabela 3 –	Número total de pontos e percentual de redução para a simplificação e suavização.....	51
Tabela 4 –	Resultado das avaliações dos vetores generalizados.....	54
Tabela 5 –	Comparação dos resultados do dado matricial inicial e final (generalizado).....	61

LISTA DE SIGLAS

ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
AMM	ÁREA MÍNIMA MAPEÁVEL
CBERS	CHINA-BRAZIL EARTH- RESOURCES SATELLITE (SATÉLITE SINO-BRASILEIRO DE RECURSOS TERRESTRES)
IHS	INTENSITY, HUE AND SATURATION (INTENSIDADE, MATIZ E SATURAÇÃO)
HSV	HUE, SATURATION AND VALUE (MATIZ, SATURAÇÃO E BRILHO)
MUX	CÂMERA MULTIESPECTRAL REGULAR
PAEK	POLYNOMIAL APPROXIMATION WITH EXPONENTIAL KERNEL (APROXIMAÇÃO POLINOMIAL COM KERNEL EXPONENCIAL)
PC	PRINCIPAIS COMPONENTES
SIG	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	CONCEITOS E OBJETIVOS DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	17
2.1.1	Tipos de generalização	18
2.1.1.1	Generalização Semântica.....	18
2.1.1.2	Generalização Geométrica.....	19
2.1.2	Outros modelos propostos	19
2.2	ESTRUTURA DE DADO VETORIAL E MATRICIAL.....	20
2.2.1	Operadores de generalização vetorial	22
2.2.1.1	Simplificação de Polígonos (Simplify Polygon)	22
2.2.1.2	Suavização de Polígonos (Smooth Polygon).....	24
2.2.2	Operadores de generalização matricial	25
2.2.2.1	Reclassificação (<i>Reclassify</i>).....	25
2.2.2.2	Filtro da moda (<i>Majority Filter</i>).....	26
2.2.2.3	Limpeza de Vizinhança (<i>Boundary Clean</i>).....	26
2.2.2.4	Agrupamento de Regiões (<i>Region Group</i>).....	27
2.2.2.5	Extração por atributos (<i>Extract by attributes</i>)	28
2.2.2.6	Preenchimento (<i>Nibble</i>).....	28
2.3	TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	29
2.3.1	Fusão de imagens	29
2.3.1.1	Componentes Principais	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.2	MATERIAIS	32
3.3	MÉTODOS	32
3.3.1	Operadores aplicados na estrutura vetorial	33
3.3.1.1	Critérios estabelecidos para as tolerâncias e avaliação dos resultados.....	34
3.3.1.2	Simplificação e Suavização	36

3.3.2	Operadores aplicados na estrutura matricial	38
3.3.2.1	Critérios para avaliação dos resultados	43
4	RESULTADOS	44
4.1	DADOS VETORIAIS	44
4.1.1	Simplificação	44
4.1.2	Suavização	47
4.1.3	Análise das representações vetoriais	50
4.2	DADOS MATRICIAIS	54
4.2.1	Análise das representações matriciais.....	60
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	62
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE A – ÁREA DE ESTUDO	67
	APÊNDICE B – MAPA DA RECLASSIFICAÇÃO	68
	APÊNDICE C – MAPA DA GENERALIZAÇÃO	69
	APÊNDICE D – MAPA DOS POLÍGONOS DA RECLASSIFICAÇÃO	70
	APÊNDICE E – MAPA DOS POLÍGONOS DA GENERALIZAÇÃO	71

1 INTRODUÇÃO

As imagens de Sensoriamento Remoto têm sido cada vez mais utilizadas para o mapeamento da superfície terrestre. A classificação automática é uma simplificação da imagem original e, gera como resultado, uma representação temática dos alvos de interesse. Seus contornos podem ser definidos de forma vetorial e a representação dos temas de forma matricial.

A geração de mapas em diferentes escalas é uma das tarefas mais significativas na Cartografia. Estando longe do trivial, a generalização se torna mais específica no ambiente SIG (FILIPPOVSKA et al. 2008).

Os conceitos de generalização cartográfica estão intimamente conectados com a representação desejada da classificação e da escala de representação. A generalização é um componente essencial na cartografia. O processo de generalização extrai e reduz a informação da realidade ou dos mapas de origem e a apresenta para representar um tema específico e / ou em menor escala, atendendo às especificações cartográficas e mantendo a integridade representativa da área mapeada. A generalização manual, como os meios tradicionais, é extremamente subjetiva e demorada (ESRI, 1996).

Estuda-se aqui generalização cartográfica obtida a partir das imagens de Sensoriamento Remoto do ponto de vista vetorial e também do ponto de vista matricial. São utilizadas para isso as imagens originais e fusionadas do satélite CBERS-4 (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), sensores MUX e a banda pancromática, com resoluções espaciais de 20 m e 5 m, respectivamente.

Para facilitar o estudo divide-se a análise inicialmente sob o ponto de vista vetorial e depois sob o ponto de vista matricial. Foram usados os softwares ENVI e ArcGIS para se obter os resultados.

A área escolhida para a etapa vetorial é a feição que representa o reservatório Engenheiro Francisco Saboia por ter suas características conhecidas, sendo possível identificar que este apresenta trechos sinuosos em seu perímetro que permitiram visualizar os resultados da generalização quanto a modificação na feição. Este reservatório está situado no município de Ibimirim – Pernambuco, é considerado o maior reservatório de água do Estado, com capacidade superior a 500 milhões de metros cúbicos.

Na etapa matricial, a generalização é feita na região que compreende o reservatório e toda a área no seu entorno por apresentar heterogeneidade de classes que representam variedade de cobertura do solo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a generalização cartográfica de estruturas vetoriais e matriciais em ambiente SIG utilizando imagens CBERS-4.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e aplicar alguns dos operadores de generalização cartográfica para dados vetoriais e matriciais disponíveis no ArcGIS;
- Quantificar e avaliar os resultados da generalização cartográfica na estrutura vetorial e matricial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordadas as definições que fornecem a fundamentação teórica deste trabalho, como os conceitos básicos de generalização cartográfica, operadores de generalização e técnicas de processamento de imagens, especificamente a fusão por componentes principais.

2.1 CONCEITOS E OBJETIVOS DA GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A palavra generalização possui aplicações e significados distintos para diversas áreas de estudo. Segundo Vasconcelos (2012), 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. Já na Cartografia está relacionada a questão de abstração de informações para criação de mapas com diferentes escalas e usos.

Documentos cartográficos são modelos de representação de fenômenos e objetos do mundo real, no entanto, não é possível representá-los exatamente da mesma maneira que são. Existem inúmeras restrições provenientes da escala de representação, que geram omissões, perdas e até mesmo a não representação dos dados contidos nos mapas.

O conceito de generalização cartográfica não é recente. Diversos conceitos relativos a este processo podem ser citados, porém nota-se que eles são convergentes, conforme pode ser visto em algumas definições a seguir.

Conforme Weibel e Jones (1998), generalização cartográfica é o processo em que um banco de dados espaciais de origem detalhada tem seu conteúdo e complexidade reduzidos, mantendo-se as principais características estruturais da fonte de dados originais apropriados para uma finalidade exigida.

Para Lopes (2005) é o processo de reduzir o nível de detalhe de um mapa, como consequência da redução da escala do mapa, chamando-se de generalização cartográfica.

Segundo D'Alge (2007) a generalização cartográfica permite descrever a realidade através de níveis de abstração diferentes e representar graficamente a informação considerada relevante em uma certa escala. É um processo que depende fundamentalmente da escala e do objetivo do mapa.

Diante dessas definições, é possível notar que a generalização cartográfica se baseia principalmente na mudança de escala, sendo elas inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor a escala maior a generalização. Apesar disso, o processo de generalização ainda representa um desafio no que diz respeito a criação de regras consistentes que indiquem o que deve ser feito em cada caso.

O Engenheiro Cartógrafo precisa, então, definir o que é importante para ser representado; assim, sempre haverá um certo nível de subjetividade envolvida em sua escolha (D'ALGE, 2007).

Com o desenvolvimento de tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a generalização expandiu suas características tradicionalmente cartográficas. Além de gerar mapas em diferentes escalas, também transforma dados espaciais para dar suporte à análise espacial.

O conceito de generalização cartográfica digital e sua consequente automatização são relativamente recentes em relação à Cartografia em geral (SPINOLA, 2010). Nas últimas três décadas essas questões estão sendo abordadas por diversos estudiosos da área (MCMASTER & SHEA, 1992), (MENG, 1997).

2.1.1 Tipos de generalização

Segundo Jones (2005), as atividades de generalização de mapas podem ser amplamente distinguidas entre aquelas envolvidas com a escolha das categorias apropriadas de informação que devem ser representadas, que é a generalização semântica, e aquelas relacionadas à simplificação da forma e estrutura dos símbolos gráficos que representam características individuais, que é generalização geométrica.

2.1.1.1 Generalização semântica

Segundo Lopes (2005) pode-se incluir na generalização semântica, a transformação de atributos, que engloba os operadores classificação, agregação, também os operadores fusão, amalgamação e ainda o operador seleção, visto que este seleciona os objetos que serão representados no mapa final; este operador pode ser utilizado também na generalização geométrica. Ormeling (1996) chama de generalização conceitual e diz que ela se refere àquelas conversões nas quais a maneira de renderizar, ou seja, a simbolização, muda ou onde a relação entre os objetos se modifica, e que são os relacionamentos entre o tópico do mapa e o símbolo

que o representa, que mudam, chamado de relacionamento semântico, e é por isso que também se pode referir a esse tipo de generalização semântica. Ormeling ainda diz que do ponto de vista da Cartografia Digital, isso também gera uma mudança nos relacionamentos definidos no banco de dados.

2.1.1.2 Generalização geométrica

Lopes (2005) também afirma que a generalização geométrica tem por objetivo criar um mapa que apresente boas características visuais que possibilitem uma comunicação eficiente. Ele ainda diz que os tipos de símbolos e o nível da generalização geométrica, devem preservar partes importantes dos dados e eliminar ou simplificar, os dados ou objetos de menor importância. Os principais tipos de transformação geométrica são: redução no número de características discretas que são retratadas (seleção geométrica); redução no detalhe da linha individual, área e características da superfície (tipicamente redução na sinuosidade); amalgamação de recursos vizinhos, seja ponto, linha ou área referenciada; redução na dimensionalidade, ou colapso, de recursos referenciados por área para recursos referenciados por linhas ou pontos (JONES, 2005).

O que diferencia a generalização do modelo e a generalização gráfica é a possibilidade de manipulação da base de dados, independente da representação cartográfica (LOPES, 2005).

2.1.2 Outros modelos Propostos

Alguns modelos são citados por D'Alge (2007), são eles:

- McMaster e Shea (1992) os quais descreveram um modelo conceitual abrangente baseado na filosofia da generalização no domínio digital. O modelo apresenta objetivos filosóficos que justificam “porque” generalizar, de condições que indicam “quando” generalizar e de transformações espaciais e de atributos que definem “como” generalizar.
- Brassel e Weibel (1988) propuseram um modelo conceitual em que generalizar significa processar mentalmente a informação e, portanto, envolve ordenação, distinção, comparação, combinação, reconhecimento de relações, estabelecimento de conclusões e abstração. De acordo com este modelo, generalização é considerada um processo intelectual que constitui a realidade

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

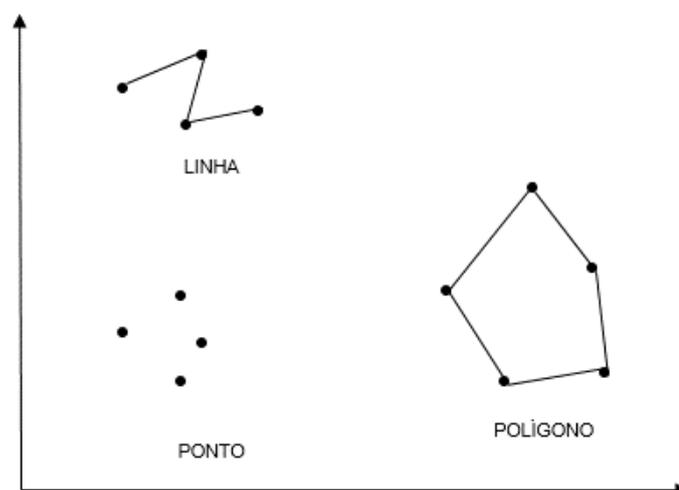
2.2 ESTRUTURA DE DADOS VETORIAIS E MATRICIAIS

Existem diversos algoritmos/operadores para a realização de generalização cartográfica em ambiente digital. Em outras palavras, esses operadores referem-se a sequência de etapas necessárias para se alcançar a generalização. Muitos deles, encontram-se disponíveis em SIG's comerciais em forma de algoritmos, com o pressuposto de tornarem automáticas as tarefas executadas manualmente (SPINOLA, 2010).

Antes de discutir sobre os operadores de generalização, vale salientar que os dados espaciais em SIG apresentam-se em dois formatos: dados vetoriais e matriciais/raster.

O modelo vetorial é baseado em objetos que se representam por intermédio de entidades geométricas. A entidade principal é o Ponto, porém, são também utilizados a linha e o polígono (Figura 1). O ponto é representado por coordenadas x, y e z que determinam sua localização, em um sistema de coordenadas específico. A linha é formada por uma cadeia de pontos, ou seja, uma lista de coordenadas de pontos para representar as entidades da realidade que possuem extensão linear. O polígono é formado por uma cadeia fechada de segmentos de linha e utilizado para representar as entidades que possuem área, definindo o contorno da área da entidade (LISBOA FILHO, 1995).

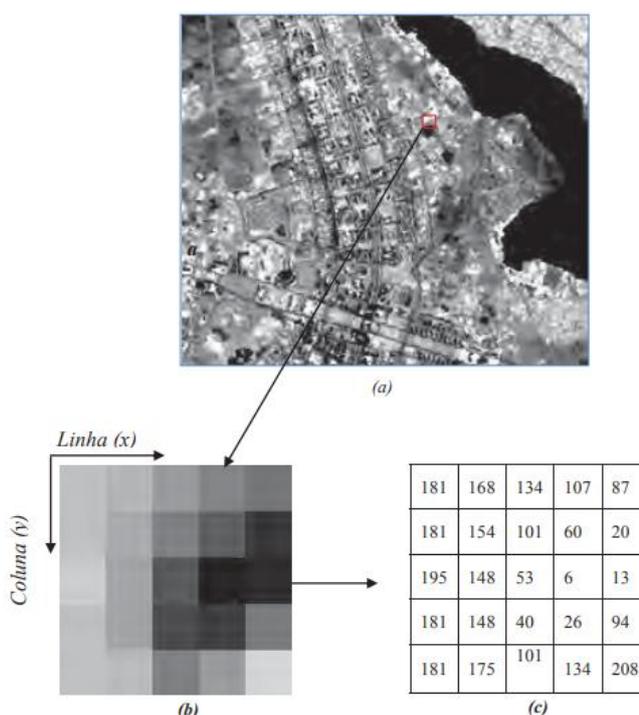
Figura 1 – Representação da estrutura de dados vetoriais.



Fonte: adaptado de Câmara e Monteiro, 2005.

O modelo matricial é baseado numa matriz de pixels, células da mesma dimensão, que representam toda área de interesse, como: lagos, rios, estradas e outras entidades do mundo real. Neste modelo, as entidades estão associadas a grupos de células de mesmo valor (LISBOA FILHO, 1995). O valor armazenado em uma célula representa a característica mais marcante da variável em toda a área relativa à célula. Dependendo do tipo de atributo observado e da potencialidade do sistema, as células podem conter diferentes tipos de valores (ex.: inteiro, decimal, caractere, etc). O espaço é representado por uma matriz $P(y,x)$, y colunas e x linhas, e cada célula possui uma localização nessa coluna e linha que recebe um valor correspondente ao atributo específico, além de conter um par de coordenadas (Figura 2).

Figura 2 – Representação da estrutura de dados matriciais. (a) imagem, (b) área de zoom com grupo de pixel, (c) valores digitais.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

A generalização cartográfica em ambiente digital pode ser realizada tanto para os dados em formato vetorial como matricial, variando apenas os operadores/algoritmos utilizados.

Segundo Spinola (2010), entende-se por operadores, as técnicas empregadas com uma finalidade específica que, reunidas alcançam a generalização. Como o objetivo desta pesquisa não é estudar todos os operadores de generalização, só iremos abordar nos próximos tópicos os algoritmos vetoriais, simplificação e

suavização, e os algoritmos matriciais, filtro da moda, limpeza de vizinhança, agrupamento de regiões, extração por atributos e preenchimento.

Conforme o que foi apresentado em seção anterior, existe a generalização do modelo e a geométrica. Os operadores são separados segundo esses dois tipos, uns atuando sobre os atributos dos objetos e os outros sobre a geometria dos objetos, e alguns deles alterando simultaneamente os atributos e a geometria.

2.2.1 Operadores de generalização Vetorial

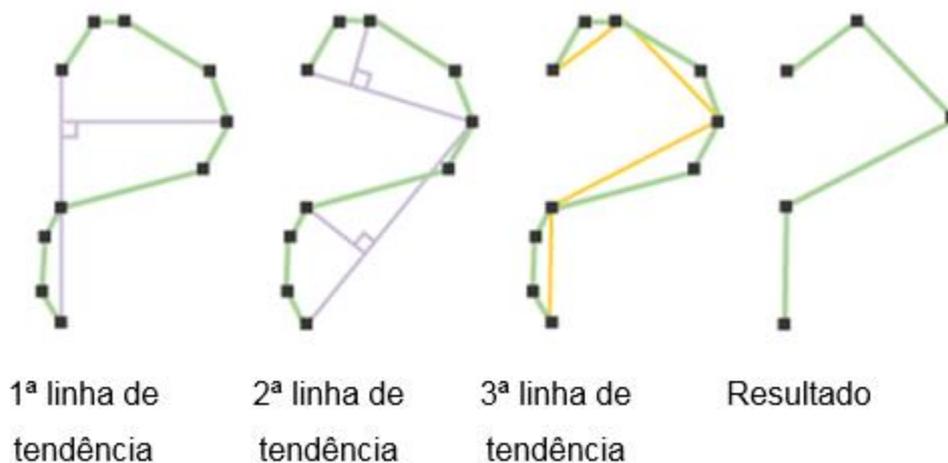
Nesta pesquisa, para a estrutura vetorial, utilizou-se dois dos operadores geométricos, simplificação e suavização.

2.2.1.1 Simplificação de polígonos (*Simplify Polygon*)

Neste operador ocorre a eliminação de vértices considerados desnecessários e preservação de vértices essenciais (ESRI, 2016). Dentro deste operador, é possível escolher dois algoritmos de simplificação: *Douglas-Peucker*, no ArcGIS denominado *Point remove*, e *Wang*, denominado no ArcGIS de *Bend Simplify*.

Point Remove aplica um algoritmo de simplificação simples e rápido publicado por Douglas e Peucker (1973). Pontos críticos que representam a forma essencial de uma linha são mantidos e os demais pontos removidos. Inicialmente, conecta-se os pontos iniciais e finais com uma linha de tendência, mede-se, perpendicularmente, a distância de cada vértice para esta linha de tendência e elimina-se os vértices mais próximos da linha do que uma tolerância pré-estabelecida. Em seguida, divide-se a linha pelo vértice mais distante da linha de tendência, criando-se duas novas linhas de tendência. Os vértices restantes são medidos em relação a essas linhas, e o processo continua até que todos os vértices dentro da tolerância sejam eliminados (Figura 3). Este processo, elimina detalhes redundantes, porém, a linha resultante pode conter ângulos agudos e picos que reduzem a qualidade cartográfica da linha (ESRI, 2016).

Figura 3 – Representação da simplificação Douglas-Peucker (point remove).

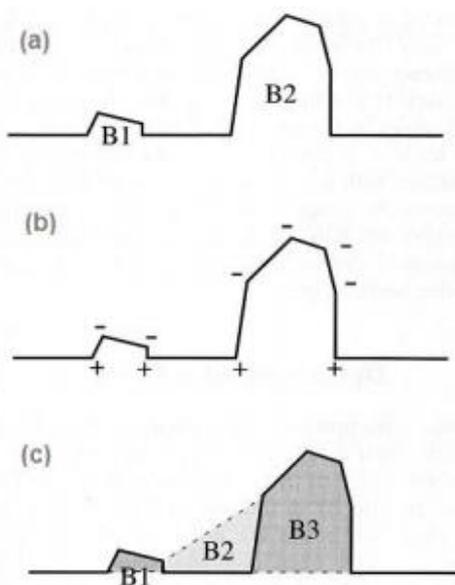


Fonte: ESRI, 2016.

Bend Simplify utiliza técnicas de reconhecimento de formas que detectam curvas, analisam suas características e eliminam as insignificantes. Segundo Wang, (1996), uma feição linear pode ser composta por uma série de curvas, cada uma definida com sinal (positivo ou negativo) para os ângulos de inflexão em seus vértices consecutivos.

Em feições digitalizadas da esquerda para a direita, os vértices são positivos quando a inflexão da linha segue o sentido anti-horário. Na Figura 4, são identificadas 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 (Vasconcelos, 2012).

Figura 4 – Curvas.



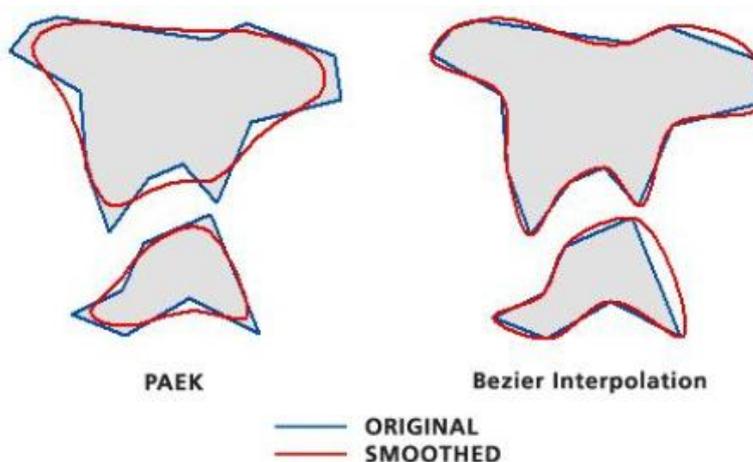
Fonte: Wang e Muller ,1998.

Várias propriedades geométricas de cada curva são comparadas com as de um semicírculo de referência, cujo diâmetro é igual à tolerância de simplificação especificada. Essas medidas determinam se uma dobra é mantida ou eliminada, o que significa substituir a dobra por sua linha de base (a linha que conecta os pontos finais da dobra). A simplificação ocorre iterativamente, de tal forma que as curvas menores podem "desaparecer" nas primeiras rodadas e, portanto, formar curvas maiores, ou seja, a forma principal da linha é mantida e as curvas desnecessárias removidas (ESRI, 2016).

2.2.1.2 Suavização de Polígonos (*Smooth Polygon*)

Suaviza ângulos agudos em contornos de polígonos para melhorar a qualidade estética ou cartográfica (ESRI, 2016). Podem ser escolhidos dois métodos: PAEK e Bezier-Interpolation (Figura 5).

Figura 5 – Representação dos algoritmos de suavização PAEK e Bezier Interpolation



Fonte: ESRI, 2016.

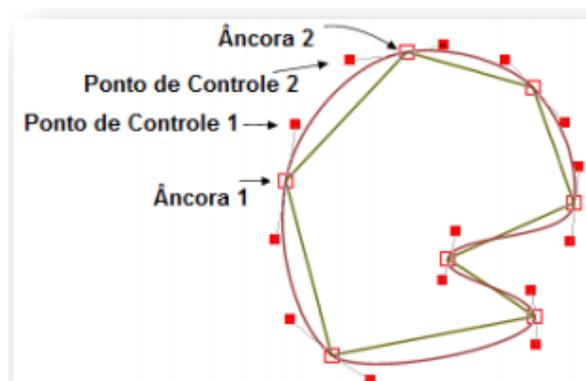
O método PAEK (Aproximação Polinomial com Kernel Exponencial) suaviza os polígonos com base em uma tolerância de suavização. A feição generalizada não possui necessariamente todos os vértices da feição original, porém mantém os vértices das extremidades.

As feições são suavizadas a partir de uma técnica que calcula a média da distância entre as coordenadas de todos os pontos da linha original. O resultado da suavização depende da escolha de um parâmetro de distância, que 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 método *Bezier Interpolation* são criadas curvas de Bezier entre os vértices. Entende-se por Curva de Bézier uma curva polinomial expressa a partir da interpolação entre alguns pontos representativos chamados de pontos de controle, por isso, não é necessário estabelecer uma tolerância. Na Figura 6 uma Curva de Bézier tem um ponto âncora inicial e outro final 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 6 – Representação da curva de Bezier.



Fonte: Vasconcelos, 2012 (apud Shemanarev ,2006).

2.2.2 Operadores de generalização Matricial

Para a generalização em formato matricial, foram aplicados os seguintes operadores de forma sequencial: reclassificação (*reclassify*), filtro da moda (*majority filter*), limpeza de vizinhança (*boundary clean*), agrupamento de regiões (*region group*), extração por atributos (*extract by attributes*) e preenchimento (*nibble*).

2.2.2.1 Reclassificação (*Reclassify*)

Realiza a classificação de classes semelhantes em classes mais genéricas, reclassificando ou alterando os valores em uma imagem (ESRI, 2016). Podem ser escolhidos os seguintes métodos de classificação: manual, intervalo igual, intervalo definido, quantil, quebras naturais (*jenks*), intervalo geométrico e desvio padrão. Nesta pesquisa foi utilizado o método quebras naturais (*jenks*) em que as classes são baseadas em agrupamentos naturais inerentes aos dados. O ArcMap identifica pontos

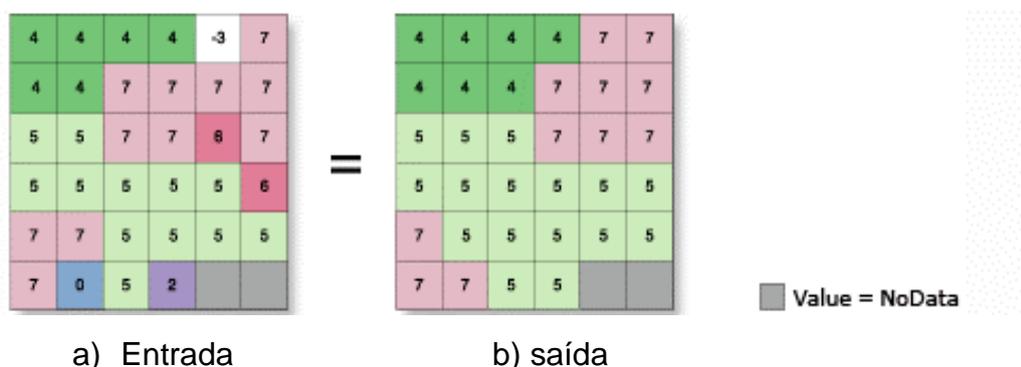
de quebra escolhendo as quebras de classe que melhor agrupam valores similares e maximizam as diferenças entre as classes. As feições são divididas em classes cujas vizinhanças são definidas onde há saltos relativamente grandes nos valores de dados (ESRI, 2016).

2.2.2.2 Filtro da moda (*Majority Filter*)

Substitui as células em um raster com base na maioria de suas células vizinhas, ou seja, atribui pixels isolados à classe vizinhas (ESRI, 2016). Neste operador deve ser escolhido o número de células vizinhas a serem usadas pelo filtro podendo ser quatro ou oito.

Se a escolha for quatro, são utilizadas as quatro células vizinhas ortogonais em que apenas as células envolvidas por três ou mais células (ortogonais) com o mesmo valor são alteradas. Nesta pesquisa, escolheu-se oito células mais próximas (Figura 7). Neste caso, pelo menos metade dos valores (quatro de oito células) tem que ter o mesmo valor antes de alterar o valor da célula (ESRI, 2016).

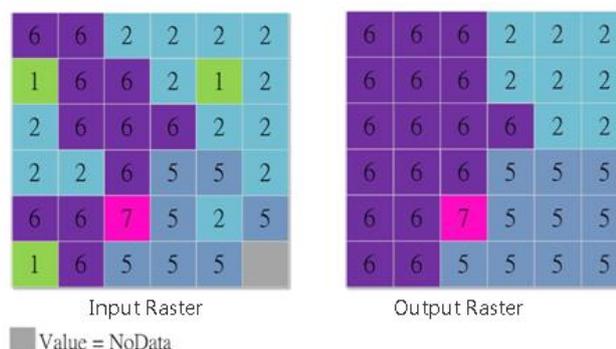
Figura 7 – Representação do Filtro da moda com vizinhança de oito pixels.



Fonte: ESRI, 2016.

2.2.2.3 Limpeza de vizinhança (*Boundary Clean*)

Usada para limpar bordas irregulares entre zonas, para isso, utiliza-se métodos de expansão e redução dos limites. Permite a escolha entre três diferentes tipos de rotina: no *sort*, *ascend* e *descend* (ESRI, 2016). Já no *sort*, o usuário define a prioridade de uma classe dilatar ou erodir sobre outra, na *ascend*, as classes menores tem prioridade sobre as maiores, e na *descend*, as classes maiores tem prioridade sobre as menores sendo esta última utilizada neste trabalho (Figura 8).

Figura 8 – Representação da limpeza de vizinhança com rotina *descend*.

Fonte: Supergeo, 2016.

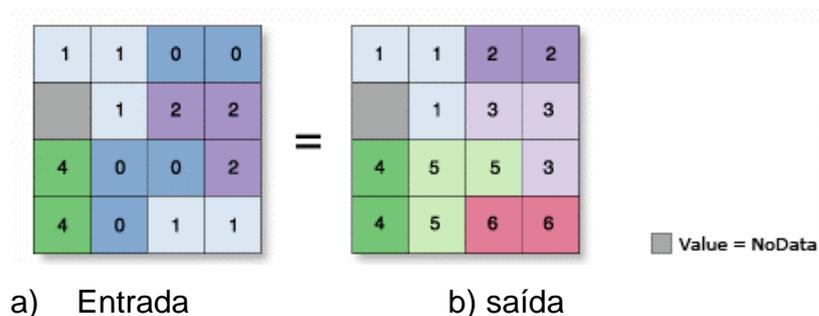
2.2.2.4 Agrupamento de regiões (*Region Group*)

Para cada célula de saída, a identidade da região conectada à qual essa célula pertence é registrada. Um número único é atribuído a cada região, ou seja, pixels vizinhos da mesma classe são agrupados (ESRI, 2016).

Podem ser escolhidas quatro ou oito células vizinhas. Se a escolha for quatro, é definida a conectividade entre as células do mesmo valor apenas se as células estiverem diretamente à esquerda, à direita, acima ou abaixo de cada um dos quatro vizinhos mais próximos. Se duas células com o mesmo valor forem diagonais uma da outra, elas não serão consideradas conectadas. Utilizou-se nesta pesquisa uma vizinhança com quatro pixels. Para oito vizinhos, é definida a conectividade entre as células do mesmo valor se elas estiverem dentro da vizinhança imediata de oito células (oito vizinhos mais próximos) uma da outra. Isso inclui à direita, à esquerda, acima, abaixo ou diagonal.

A primeira região processada recebe o valor um, a segunda dois e assim por diante, até que todas as regiões recebam um valor. A varredura se move da esquerda para a direita, de cima para baixo (Figura 9).

Figura 9 – Representação do agrupamento de regiões.

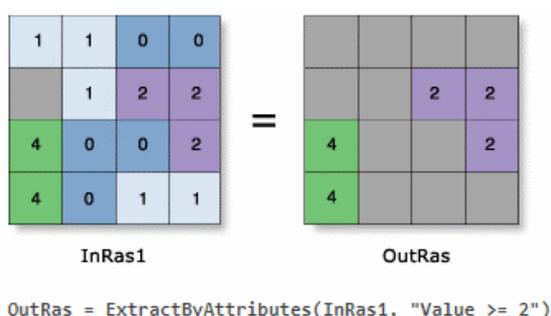


Fonte: ESRI, 2016.

2.2.2.5 Extração por atributos (*Extract by attributes*)

Extrai as células de um raster baseado numa consulta lógica (ESRI, 2016). Seleciona agrupamentos de pixels maiores que um determinado limiar, criando um novo dado sem os agrupamentos de pixels menores que o limiar especificado (Figura 10).

Figura 10 – Representação da extração por atributos utilizando como consulta lógica valores maiores que dois.



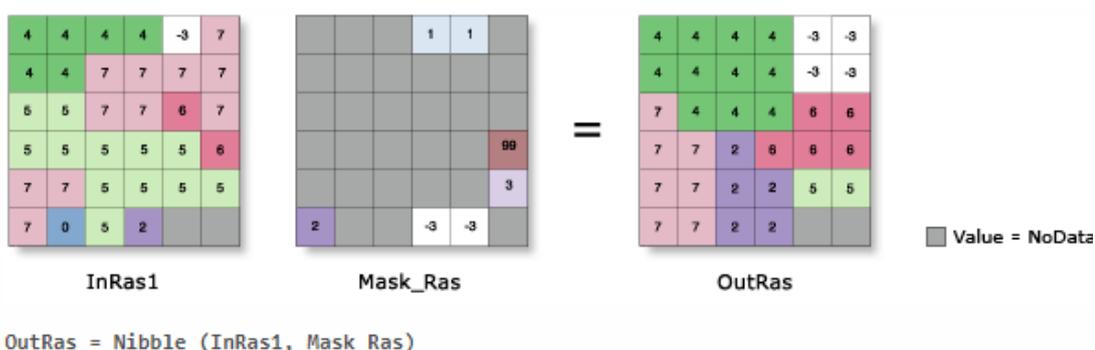
Fonte: ESRI, 2016.

2.2.2.6 Preenchimento (Nibble)

Substitui as células de um raster correspondente a uma máscara pelos valores dos vizinhos mais próximos (ESRI, 2016). Os dados com vazios (“no data”) gerados na extração por atributos, é aplicado como máscara sobre o dado gerado pelo agrupamento de regiões. As regiões correspondentes aos vazios da máscara são preenchidas por pixels de classes vizinhas.

O valor das células do raster de entrada que correspondem às células sem dados da máscara raster é substituído pelo valor do vizinho mais próximo de acordo com a distância euclidiana (Figura 11).

Figura 11 – Representação do preenchimento.



Fonte: ESRI, 2016.

2.3 TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Um segmento importante do processamento digital de imagens consiste na execução de operações matemáticas dos dados, visando as suas transformações em imagens de melhores qualidades espectrais e espaciais e que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação (Meneses e Almeida, 2012). Existem diversas técnicas de processamento, dentre elas as de realce envolvendo transformações espectrais como, operações aritméticas, transformação de cores, fusão de imagens dentre outras, outras envolvendo transformações espaciais como operações de filtragem e as técnicas de classificação. Como o objetivo desta pesquisa não é estudar as técnicas de processamento de imagens, só iremos abordar nos próximos tópicos a fusão de imagens pelo método de componentes principais.

2.3.1 Fusão de imagens

As fusões de imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais objetivam obter uma imagem melhorada, com melhor definição dos detalhes espaciais, o que possibilita melhor interpretação visual. Idealmente, a imagem resultante deve manter as informações espectrais, permitindo a posterior segmentação e classificação com maior precisão (SCHNEIDER, 2003). Isso implica em melhor resolução espacial.

Existem muitas técnicas de fusão de imagens, dentre elas Substituição, Transformação IHS, Transformação HSV, Substituição da Componente Principal e Filtragem Passa-Alta.

Diversos trabalhos avaliaram o desempenho de tais técnicas, como Silva *et al.* (2017), que apresenta resultados da fusão pelo método IHS de uma imagem do satélite CBERS 4 com uma ortofoto e obtiveram resultados satisfatórios. Schneider *et al.* (2003) comparam os resultados de métodos tradicionais (Substituição, Transformação HSV, Substituição da Componente Principal e Filtragem Passa-Alta) quando usados na fusão das imagens multiespectral e pancromática do satélite IKONOS, avaliando a aplicabilidade desses métodos em imagens de alta resolução.

2.3.1.1 Componentes Principais

Segundo Schowengerdt (2007) as bandas de imagem multiespectral são frequentemente altamente correlacionadas, isto é, são visualmente e numericamente semelhantes. A correlação entre as bandas espectrais decorre de uma combinação

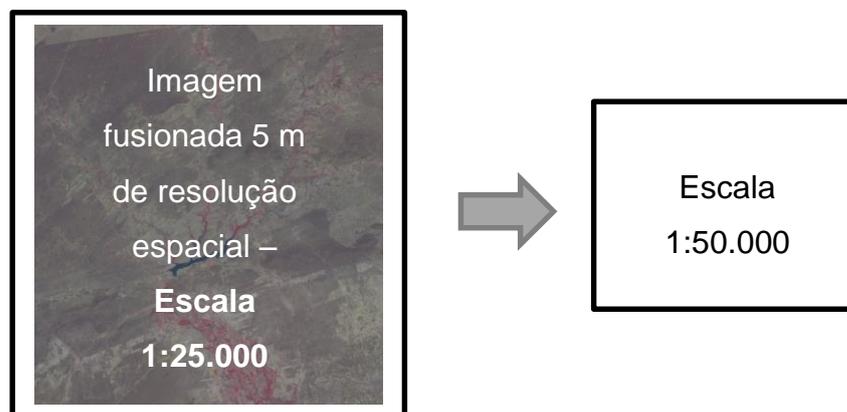
de fatores, um deles é a Correlação espectral de material. Este componente correlacionado é causado, por exemplo, pela reflectância relativamente baixa do alvo através do espectro visível, produzindo uma assinatura semelhante em todas as bandas visíveis. A faixa de comprimento de onda de alta correlação é determinada pela reflectância espectral do material.

Crosta (1992) diz que a principal tarefa executada pela Análise por Principais Componentes pode ser resumida: dadas N imagens, são analisadas as correlações entre elas e produzido um novo conjunto de N novas imagens, com nenhuma correlação entre si. No geral, o novo conjunto de imagens com as seguintes características: a primeira delas, chamada de 1ª Principal Componente, ou PC1, irá conter a informação que é comum a todas as N bandas originais; a 2ª PC irá conter a feição espectral mais significativa do conjunto e assim sucessivamente as PCs de ordem mais alta irão conter feições espectrais cada vez menos significantes, até a última PC, que concentrará então a informação que sobrar.

3 METODOLOGIA

Nesta pesquisa foi aplicado o modelo de generalização sequencial, ou seja, da escala 1:25.000 para a de 1: 50.000, conforme pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Exemplo esquemático da generalização sequencial.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

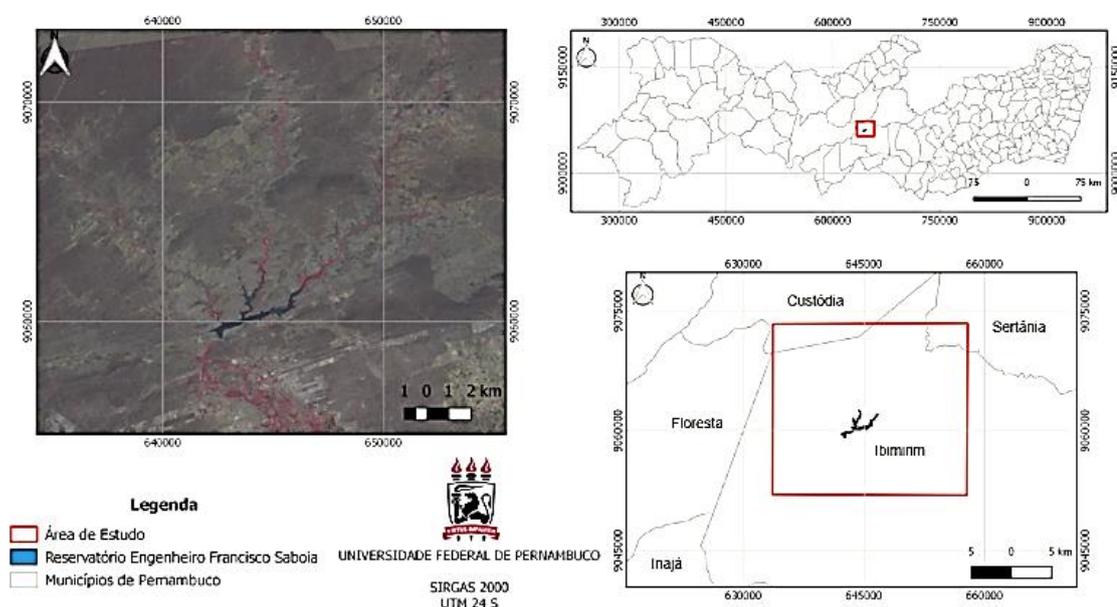
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para execução deste trabalho, foram adquiridas imagens, de um trecho do Município de Ibimirim, Pernambuco-Brasil, referente ao Reservatório Engenheiro Francisco Saboia e seu entorno.

As imagens foram obtidas gratuitamente através do site do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE), com data de 27 de dezembro de 2017, órbita 149 e ponto 109. As imagens pertencem ao satélite CBERS-4 (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), sensores MUX e a banda pancromática, com resoluções espaciais de 20 m e 5 m, respectivamente.

A data das imagens foi escolhida segundo o critério de menor número de nuvens sobre o Reservatório Engenheiro Francisco Saboia e seu entorno, visto que, a borda deste reservatório, assim como os demais planos de informação presentes na imagem, foram escolhidos para aplicação dos algoritmos de generalização. Este reservatório é considerado o maior do Estado de Pernambuco, com capacidade de armazenamento de 504×10^6 m³ de água (ANA, 2019). Também é conhecido como açude Poço da Cruz e seu principal uso é para a irrigação (Figura 13).

Figura 13 – Mapa de localização da área de estudo
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

3.2 MATERIAIS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais para aplicação dos operadores de generalização cartográfica:

- Software ArcGIS versão 10.2.2;
- Software Envi versão 5.3
- Software Excel
- Desktop hp, memória 8GB, processador Intel Core i7, sistema operacional *Windows 10 Pro*
- Bandas 8 (infravermelho próximo -NIR), 7 (vermelho - R) e 6 (verde - G) do satélite CBERS-4 sensor MUX resolução espacial 20 metros
- Banda Pancromática do satélite CBERS-4, resolução espacial 5 metros

3.3 MÉTODOS

O processamento dos dados vetoriais e matriciais foi executado através do software ArcGIS 10.2.2, pois, este SIG disponibiliza uma grande quantidade de operadores de generalização cartográfica. Também foi utilizado o software Envi 5.3

para melhorar a resolução espacial da imagem original através da execução da fusão de imagens.

O início dos procedimentos metodológicos consistiu em realizar a fusão de imagens por Componentes Principais entre a composição colorida 8 (infravermelho próximo), 7 (vermelho), 6 (verde) das bandas do sensor MUX (resolução espacial de 20 metros) com a banda pancromática (resolução espacial de 5 metros), obtendo-se como resultado final uma imagem com resolução espacial de 5 metros em escala de 1:25.000.

A fusão foi feita por componentes principais pois este método apresenta melhores resultados quando comparado estatisticamente a outras técnicas de fusão de imagens como pode ser visto em Aguiar e Batistella (2013) e Pinho *et al.* (2005).

Após a fusão de imagens, o primeiro operador de generalização utilizado foi o de reclassificação, utilizando-se a ferramenta *Reclassify*, para se obter uma imagem na categoria temática. O número de classes inicial identificado pelo ArcGIS (9 classes) foi mantido e utilizou-se o método Natural Breaks (Jenks).

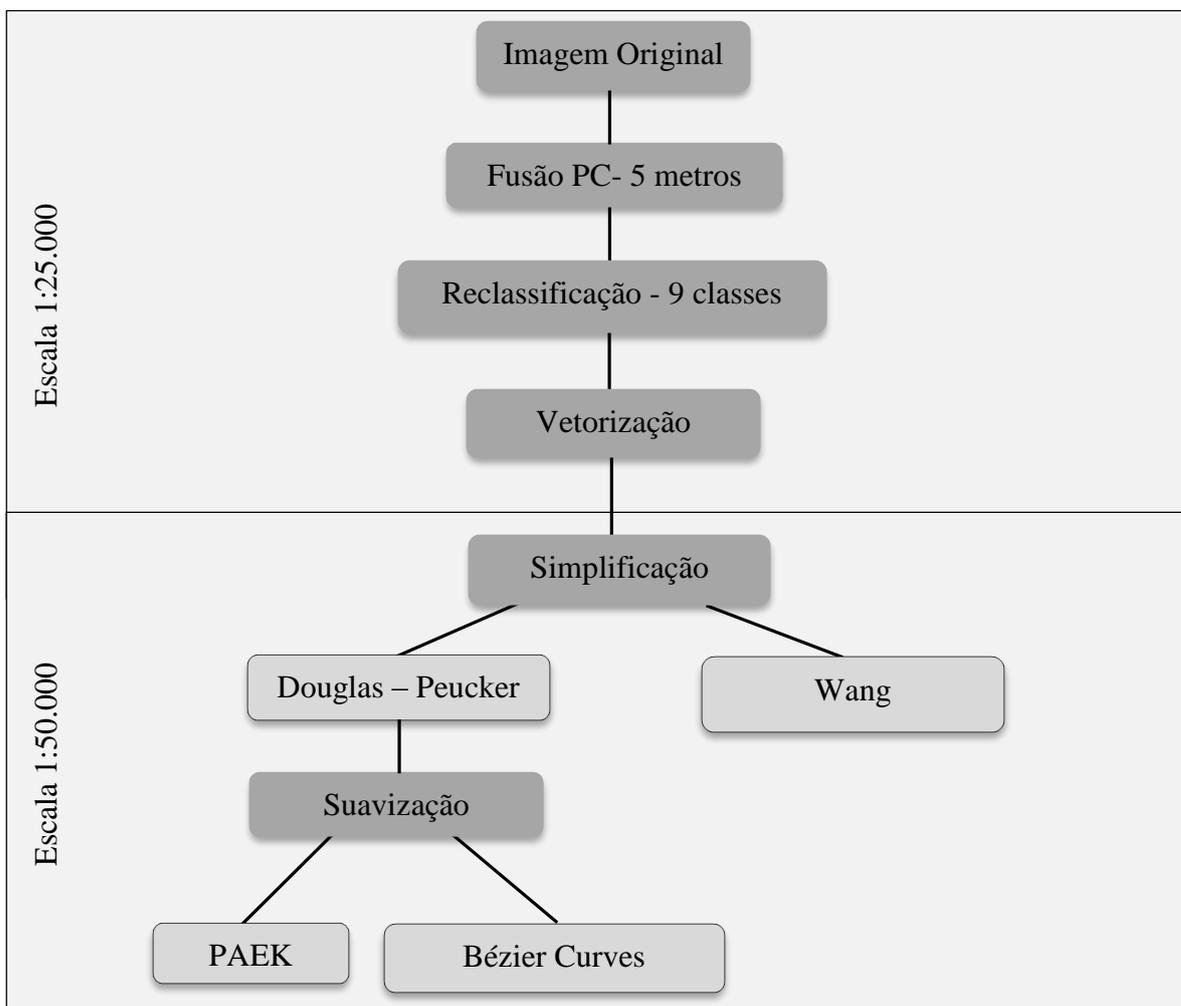
Os demais procedimentos metodológicos foram divididos em duas partes, em que na primeira foram abordados algoritmos utilizados na estrutura vetorial e na segunda parte na estrutura matricial.

3.3.1 Operadores aplicados na estrutura vetorial

Foram aplicados dois operadores para a generalização da estrutura vetorial, simplificação e suavização, ambos disponibilizados no software ArcGIS. Primeiramente, a base de dados na escala 1:25.000 em formato matricial foi convertida para vetorial (*ferramenta Raster to Polygon*). Selecionou-se apenas o polígono referente ao contorno do reservatório e a continuação das demais etapas foi realizada apenas com esta feição.

O fluxograma da Figura 14 representa os algoritmos aplicados na estrutura vetorial e as etapas seguidas até a obtenção dos arquivos generalizados. Foram gerados três produtos para a generalização do contorno do reservatório, em que cada um deles contém subprodutos derivados da aplicação de diferentes tolerâncias. Todos eles foram submetidos as seguintes avaliações: número total de pontos, análise visual, topológica e posicional a fim de que as melhores representações fossem identificadas.

Figura 14 – Etapas realizadas na generalização do contorno do reservatório



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

3.3.1.1 Critérios estabelecidos para as tolerâncias e avaliação dos resultados

Um grande problema na etapa de simplificação e suavização de linhas é a falta de critérios para estabelecer valores de tolerância em função da mudança de escala. Esses valores são importantes pois determinam o grau da generalização. Em grande parte da literatura sobre generalização cartográfica, a escolha dos valores de tolerância é sempre marcada por uma subjetividade por parte dos autores (D'ALGE, 2007; DROPOVÁ, 2011).

Sendo assim, foi criada uma regra simples, justificável para o mapa simplificado em que as rotinas foram aplicadas. Foi estabelecida uma tolerância padrão de 1mm na escala do mapa. Complementarmente, também testou-se outros dois valores de tolerância, definidos pela soma e pela subtração de 0,1mm à tolerância padrão (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de tolerância estabelecidos para a simplificação

Simplificação		Escala 1:50.000
Tolerâncias	0,0009 m x escala	45 m
	0,001 m x escala	50 m
	0,0011 m x escala	55 m

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Para a etapa da suavização, a tolerância adotada foi metade do valor da tolerância da simplificação (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de tolerância estabelecidos para a suavização

Suavização		Escala 1:50.000
Tolerâncias	0,00045 m x escala	22,5 m
	0,0005 m x escala	25 m
	0,00055 m x escala	27,5 m

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Os arquivos generalizados foram avaliados segundo quatro critérios distintos, sendo eles: área e número total de pontos, visual, topologia e posição.

Para a análise da área e do número total de pontos, foi feita uma comparação da área e do número total de pontos da feição inicial na escala de 1:25.000 com as demais feições obtidas após a aplicação dos operadores de generalização. De acordo com D'Alge (2007), o uso de área não é o critério ideal para se definir a importância da representação cartográfica de uma certa feição do terreno numa certa escala. No entanto, podemos verificar o efeito dos algoritmos no que se refere a mudança na área por consequência da variação posicional dos seguimentos.

Na avaliação visual apenas o senso crítico do responsável pela generalização foi considerado.

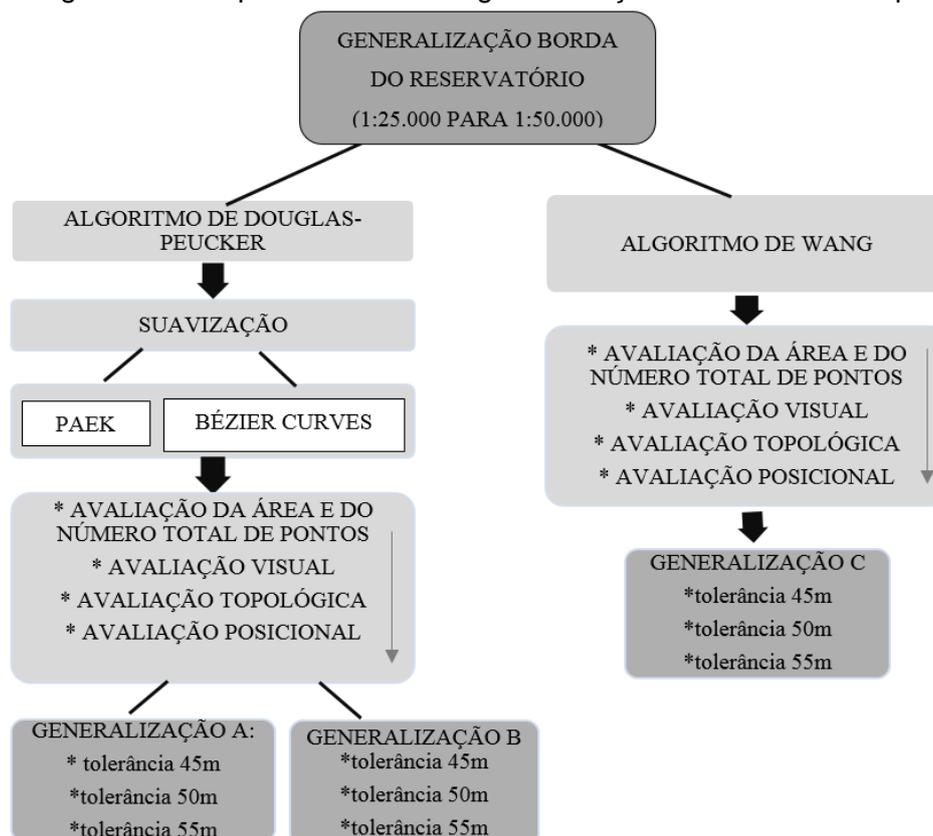
A Avaliação Topológica foi baseada em duas regras: ausência de sobreposição de linhas e ausência de descontinuidades entre as linhas da feição.

Para a avaliação posicional das feições generalizadas, foram criados buffers a partir da feição original com os mesmos valores estabelecidos para a tolerância da simplificação. A regra utilizada foi ausência de pontos fora das áreas de influência geradas.

3.3.1.2 Simplificação e Suavização

Nesta fase foram gerados três produtos finais, cada um deles com subprodutos de diferentes tolerâncias, que passaram por avaliações para identificação dos melhores resultados. As rotinas de simplificação e suavização foram aplicadas de maneira sequencial (Figura 15).

Figura 15 – Etapas realizadas na generalização vetorial 1:25.000 para 1:50.000

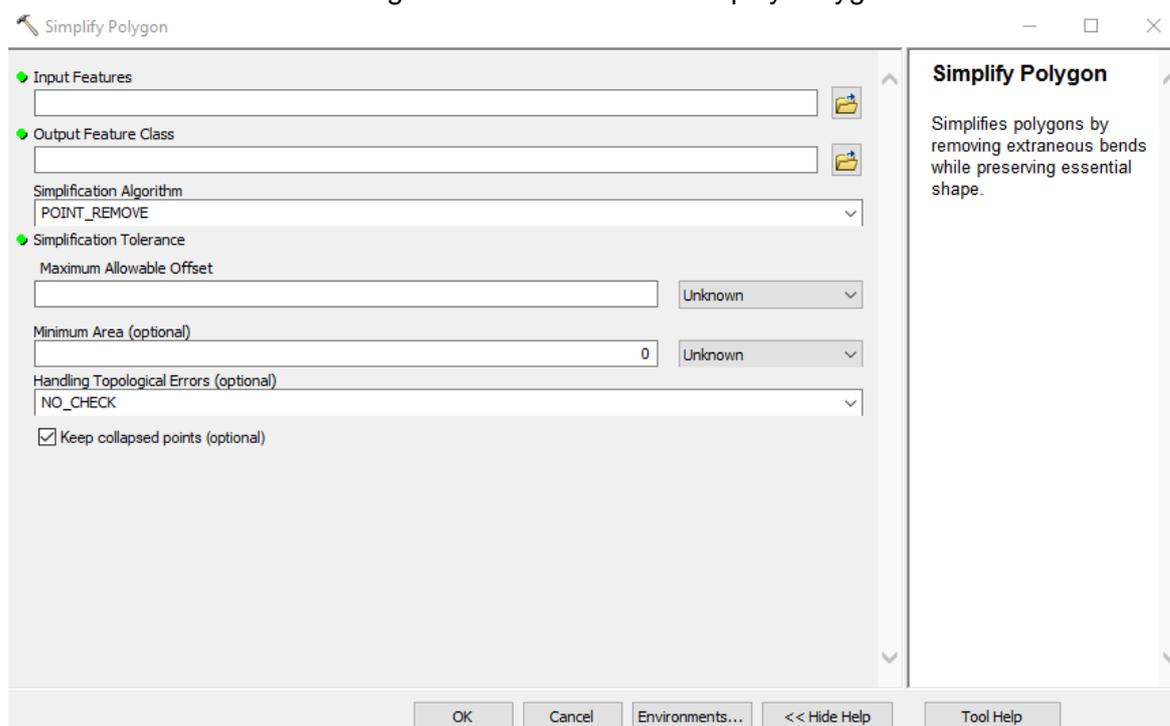


Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Os arquivos na etapa da simplificação foram organizados da seguinte maneira: a feição original foi chamada Original 5m (o número 5 representa a resolução espacial da imagem com escala 1:25.000), o arquivo simplificado com o algoritmo de Douglas-Peucker foi nomeado com Douglas seguido do valor da tolerância aplicada e o arquivo simplificado com o algoritmo de Wang nomeado com Wang também seguido da tolerância.

No software ArcGIS, foram aplicados os dois operadores de simplificação disponíveis na caixa de ferramentas *ArcToolbox>Cartography Tools>Generalization>Simplify Polygon* (Figura 16).

Figura 16 – Ferramenta Simplify Polygon



Fonte: ArcGIS

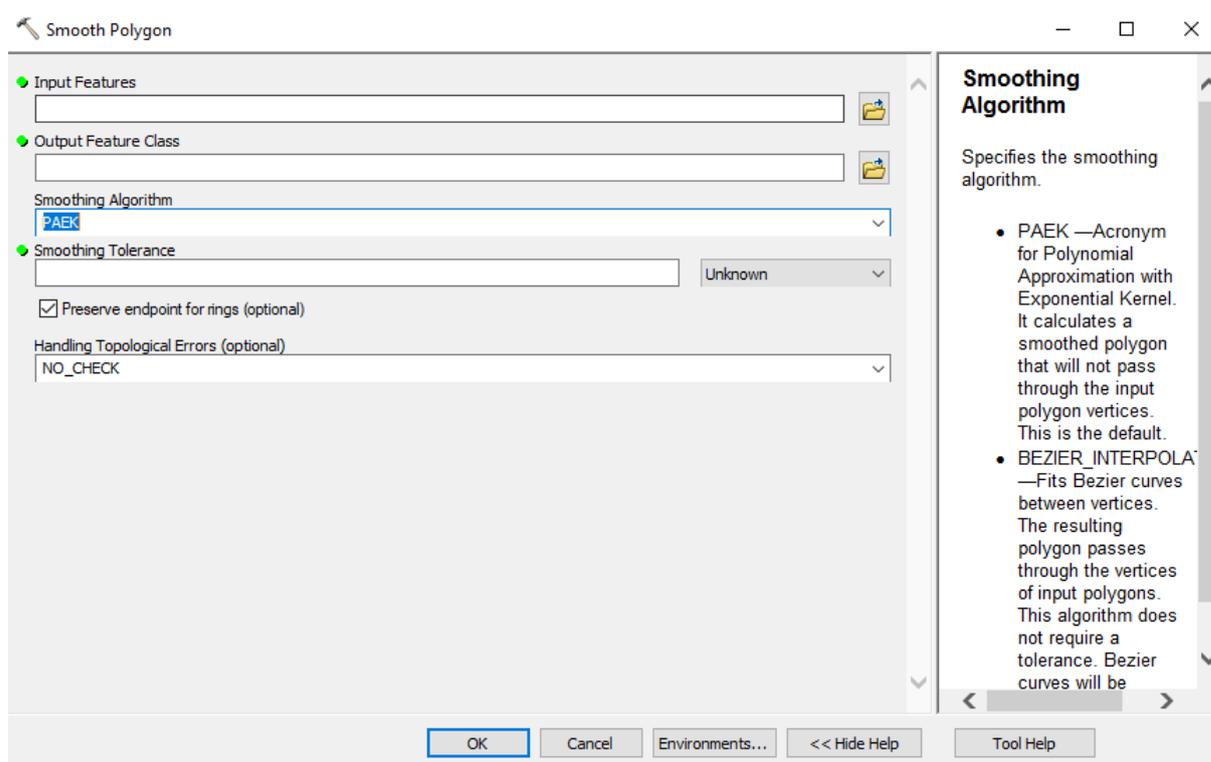
Nesta ferramenta são encontrados os algoritmos de *Douglas Peucker* (denominado de *Point Remove* no ArcGIS) e *Wang* (denominado de *Bend Simplify* no ArcGIS). Em ambos os operadores é necessário estabelecer a tolerância para a simplificação.

Sendo assim, foram aplicadas três diferentes tolerâncias para cada operador, obtendo-se, seis diferentes contornos para o reservatório ao final desta etapa.

Em seguida, para aplicação da suavização, nomeou-se os arquivos da seguinte forma: o arquivo suavizado com o algoritmo de PAEK foi nomeado com PAEK seguido do valor da tolerância aplicada e o arquivo simplificado com o algoritmo de *Bézier interpolation* nomeado com Bézier seguido também da tolerância. Apesar de Bézier não necessitar de valores de tolerância, ele foi nomeado seguindo a mesma lógica para facilitar a identificação do arquivo a partir do qual ele foi gerado.

Em seguida, ainda no software ArcGIS, foram aplicados os dois operadores de suavização disponíveis na caixa de ferramentas *ArcToolbox>Cartography Tools>Generalization>Smooth Polygon* (Figura 17).

Figura 17 – Ferramenta Smooth Polygon.



Fonte: ArcGIS

Nesta ferramenta são encontrados os algoritmos de PAEK e Bézier Curves (denominado de Bézier *Interpolation* no ArcGIS). Apenas para o operador PAEK é necessário estabelecer a tolerância para a suavização do polígono.

De acordo com os resultados obtidos na etapa de simplificação, apenas os arquivos simplificados pelo algoritmo de Douglas-Peucker passaram pelo processo de suavização, pois os vetores derivados de Wang geram uma feição que não necessita ser suavizada.

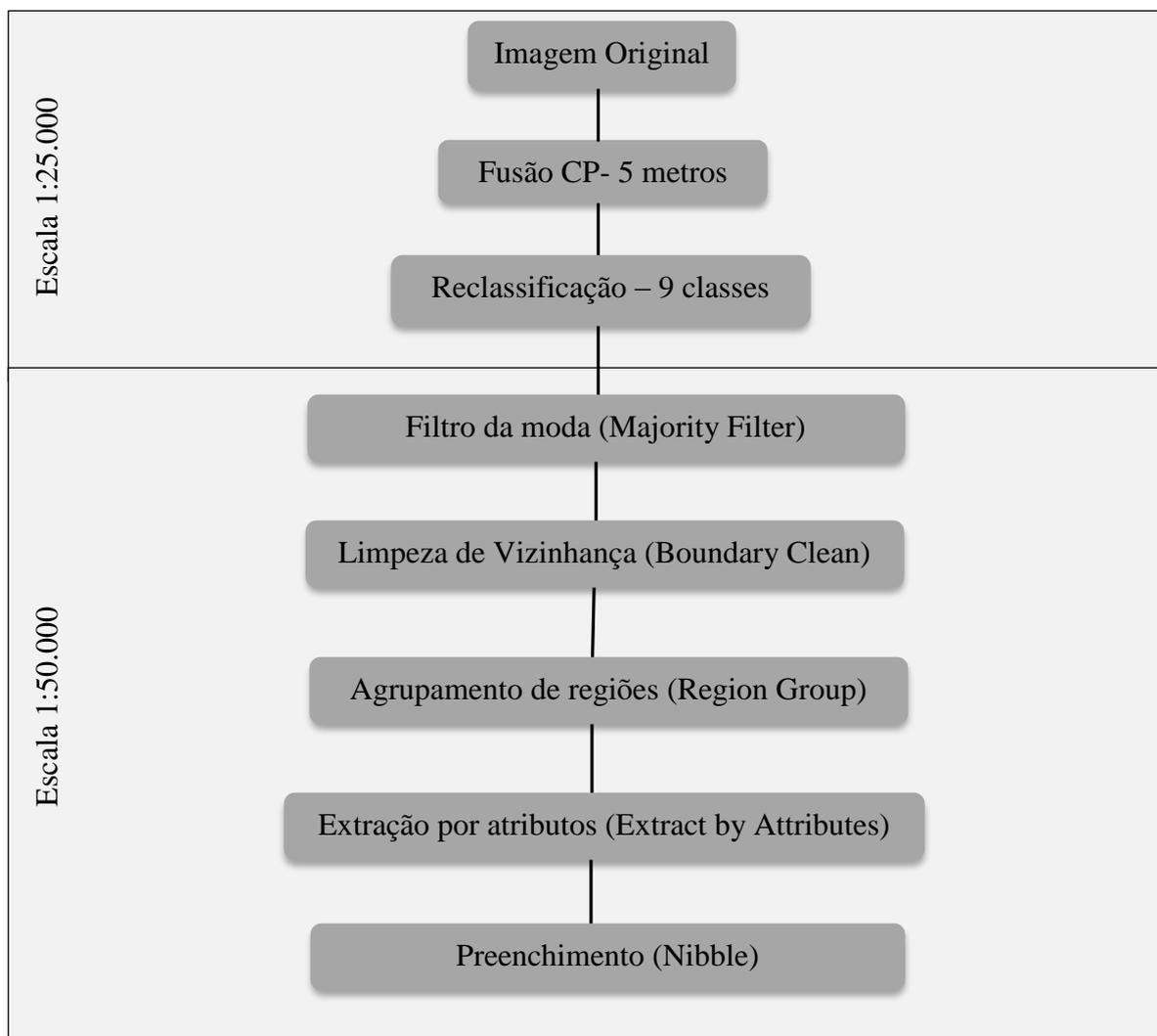
Sendo assim, cada um dos três vetores do contorno do reservatório gerados por Douglas, foi submetido a suavização por PAEK e *Bézier Interpolation*, obtendo-se assim, seis vetores ao final desta etapa.

3.3.2 Operadores aplicados na estrutura matricial

Para a generalização do dado matricial foi aplicada uma sequência de algoritmos, disponibilizados no ArcGIS, sendo eles: reclassificação (*Reclassify*), filtro da moda (*majority filter*), limpeza de vizinhança (*boundary clean*), agrupamento de regiões (*region group*), extração por atributos (*Extract by attributes*) e preenchimento (*nibble*).

O fluxograma da Figura 18 representa os algoritmos aplicados na estrutura matricial e as etapas seguidas até a obtenção do arquivo generalizado. Foi gerado um produto final generalizado que foi submetido as seguintes avaliações: área e número total de polígonos e análise visual.

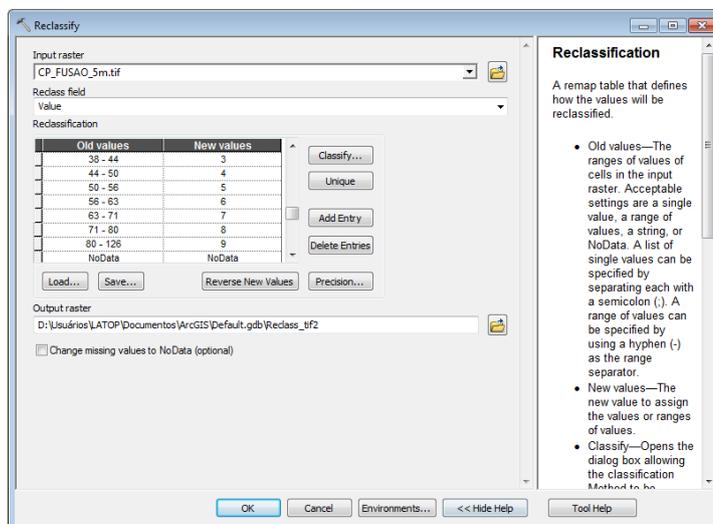
Figura 18 – Etapas realizadas na generalização matricial 1:25.000 para 1:50.000.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

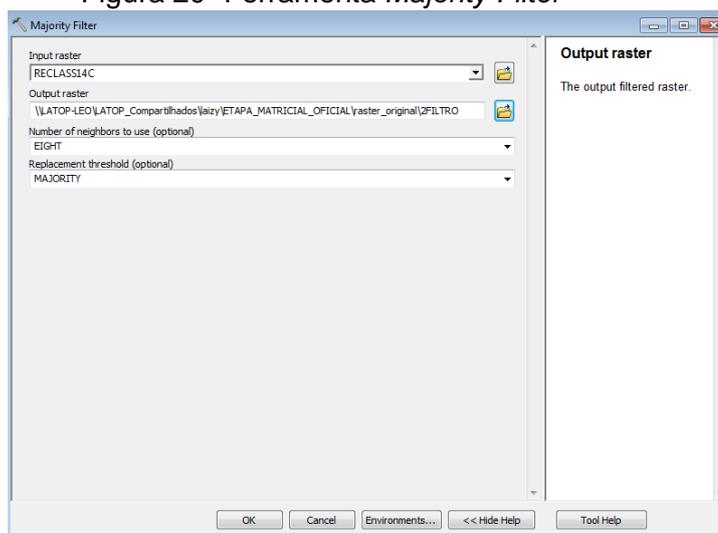
Nesta etapa, também foi aplicado o modelo de generalização sequencial, ou seja, da escala 1:25000 para a escala alvo deste estudo, 1: 50000 no software ArcGIS 10.2.2. Para isso, utilizou-se os seguintes procedimentos:

Reclassificação (*Reclassify*): Primeiramente, a base de dados na escala 1:25.000 em formato matricial foi transformada da categoria imagem para a categoria temática. Para isso, utilizou-se o operador reclassificação (ferramenta *Reclassify*) sem alterar as 9 classes identificadas na imagem original pelo ArcGIS (Figura 19). O método utilizado para classificação foi o Natural Breaks (*Jenks*).

Figura 19- Ferramenta *Reclassify*.

Fonte: ArcGIS.

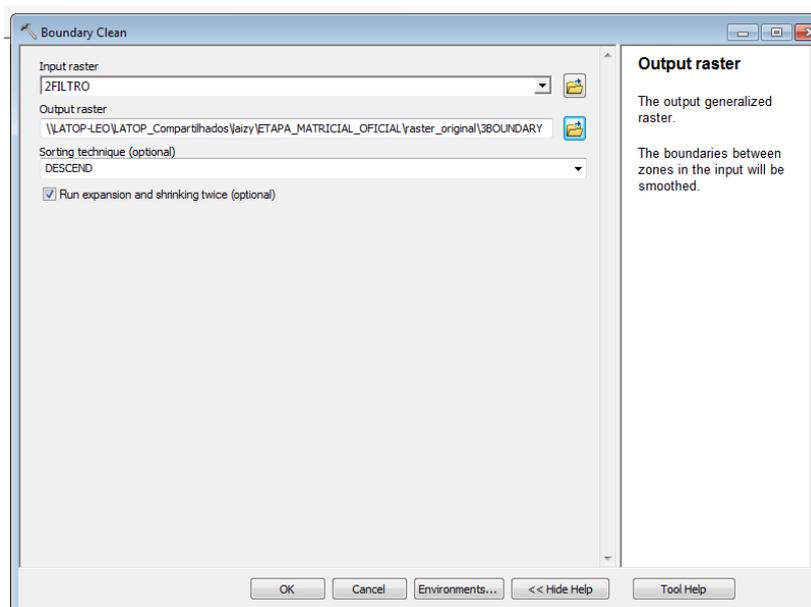
Filtro Moda (*Majority Filter*): este filtro foi aplicado na imagem resultante da reclassificação, utilizando-se uma máscara de oito pixels vizinhos (Figura 20).

Figura 20- Ferramenta *Majority Filter*

Fonte: ArcGIS.

Limpeza da vizinhança (*Boundary Clean*): foi realizada uma dilatação e erosão, consecutivamente, suavizando os limites entre as classes. Utilizou-se a rotina *descend* que prioriza áreas maiores, ou seja, regiões menores são absorvidas pelas maiores (Figura 21).

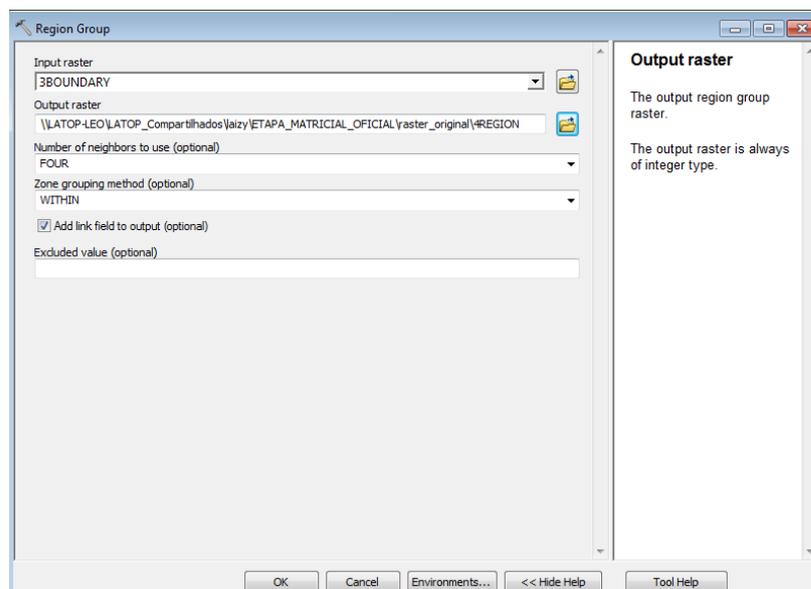
Figura 21- Ferramenta Boundary Clean



Fonte: ArcGIS

Agrupamento de regiões (*Region Group*): essa ferramenta permite a escolha de uma vizinhança com oito ou quatro pixels. Neste trabalho foi utilizada uma vizinhança com os quatro pixels ortogonais, afim de diminuir o número de regiões resultantes (Figura 22).

Figura 22- Ferramenta Region Group



Fonte: ArcGIS

Extração por atributos (*Extract by Attributes*): foram selecionados grupos de pixels com valores acima de um determinado limiar, criando um novo dado sem os pixels menores que o limiar especificado. O limiar foi determinado com base no conceito de Área Mínima Mapeável (AMM) e Número Mínimo de Pixel por Região a

fim de se evitar um grande número de pequenas regiões que poluem visualmente o mapa. As equações abaixo foram utilizadas para o cálculo do limiar.

$$Lado = \text{escala alvo} \times 0,2 \text{ cm (valor segundo Streck et al., 2002)} \quad (1)$$

$$Lado = 50.000 \times 0,2 \text{ cm (valor segundo Streck et al., 2002)} = 10000 \text{ cm} = 100 \text{ m}$$

$$\text{Área Mínima Mapeável} = Lado \times Lado \quad (2)$$

$$\text{Área Mínima Mapeável} = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10000 \text{ m}^2 = 1 \text{ ha}$$

$$\text{Área do pixel} = \text{resolução espacial}^2 \quad (3)$$

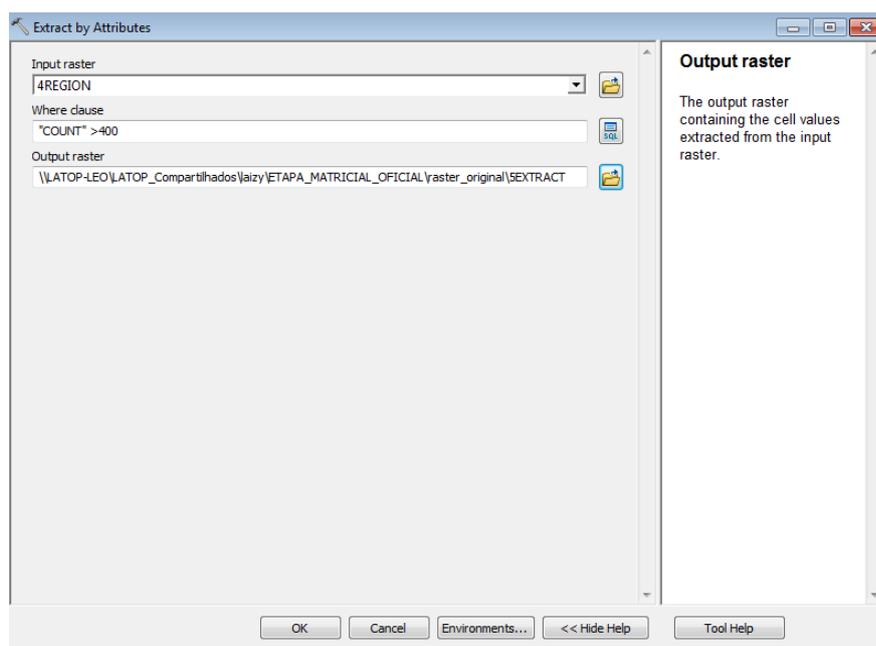
$$\text{Área do pixel} = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$$

$$\text{Número mínimo de pixel por região} = \frac{\text{Área Mínima Mapeável}}{\text{Área do pixel}} \quad (4)$$

$$\text{Número mínimo de pixel por região} = \frac{10000}{25} = 400 \text{ pixels}$$

Sendo assim, nesta pesquisa foram selecionadas apenas as regiões com 400 pixels ou mais (Figura 23).

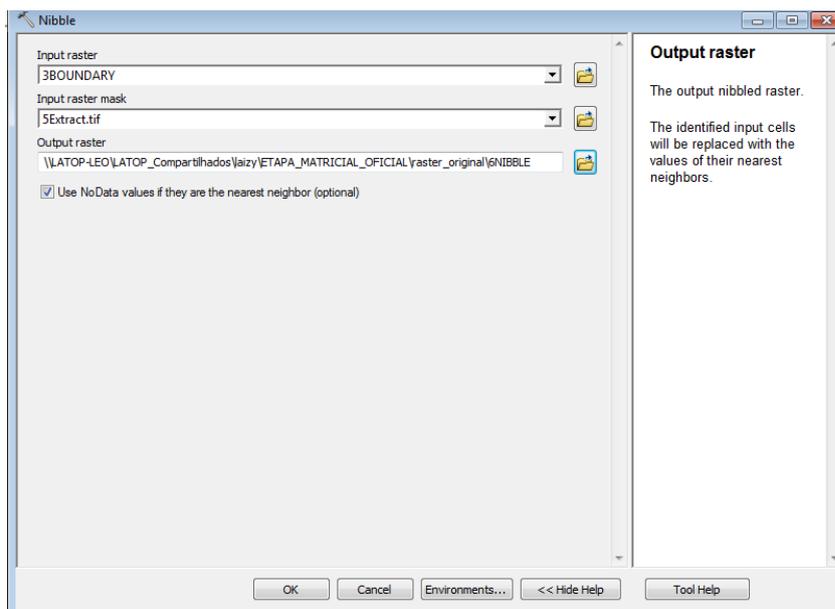
Figura 23- Ferramenta Extract by Attributes.



Fonte: ArcGIS.

Preenchimento (Nibble): as informações removidas na etapa anterior por serem menores que o Número Mínimo de Pixel por Região (400 pixels) foram preenchidas de maneira contígua por pixels de classes vizinhas de fora para dentro, podendo o local vazio ser preenchido por uma, duas ou mais classes vizinhas (Figura 24).

Figura 24- Ferramenta Nibble.



Fonte: ArcGIS.

3.3.2.1 Critérios para avaliação dos resultados

Para a avaliação dos resultados obtidos os dados matriciais foram transformados em polígonos e foram feitas análises referentes a variação de área dos polígonos de cada classe e simplificação estrutural. A simplificação estrutural foi medida através da redução do número de regiões (polígonos) do dado generalizado com relação ao dado original. Para a análise da redução do número de regiões, a imagem reclassificada inicial e a imagem resultante da generalização (nibble) foi transformada para polígono e através da tabela de atributos, foi verificado os percentuais de redução.

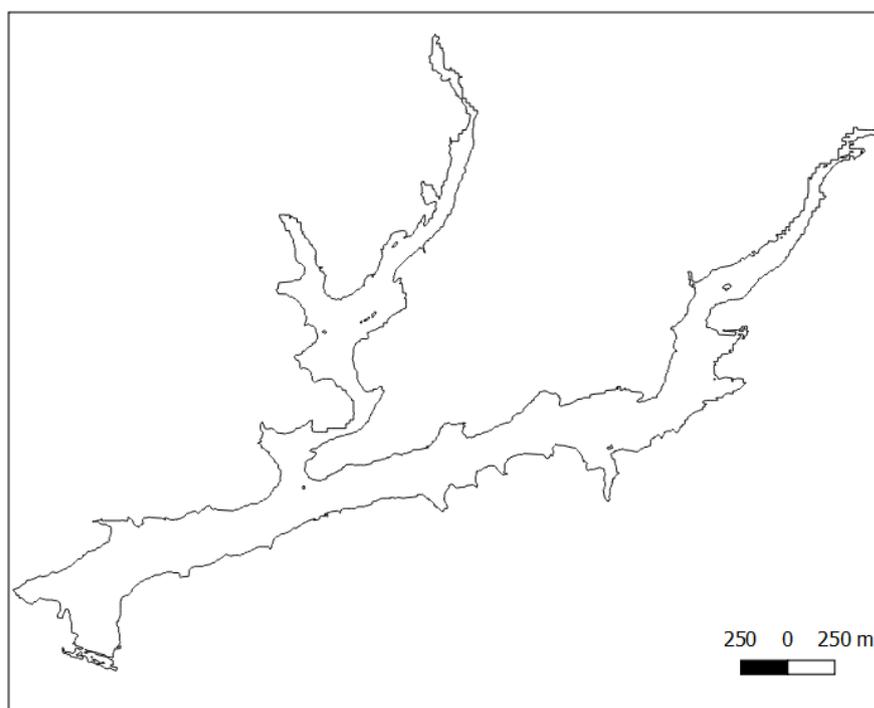
4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a generalização dos dados vetoriais simplificados e suavizados, seguido dos critérios de avaliação, como também, os resultados obtidos para a generalização matricial seguido dos dados obtidos na sua avaliação

4.1 DADOS VETORIAIS

A figura 25 representa a feição original na escala 1:25.000. A partir dela obteve-se os resultados da simplificação que são mostrados a seguir.

Figura 25 – Feição Original 5m.

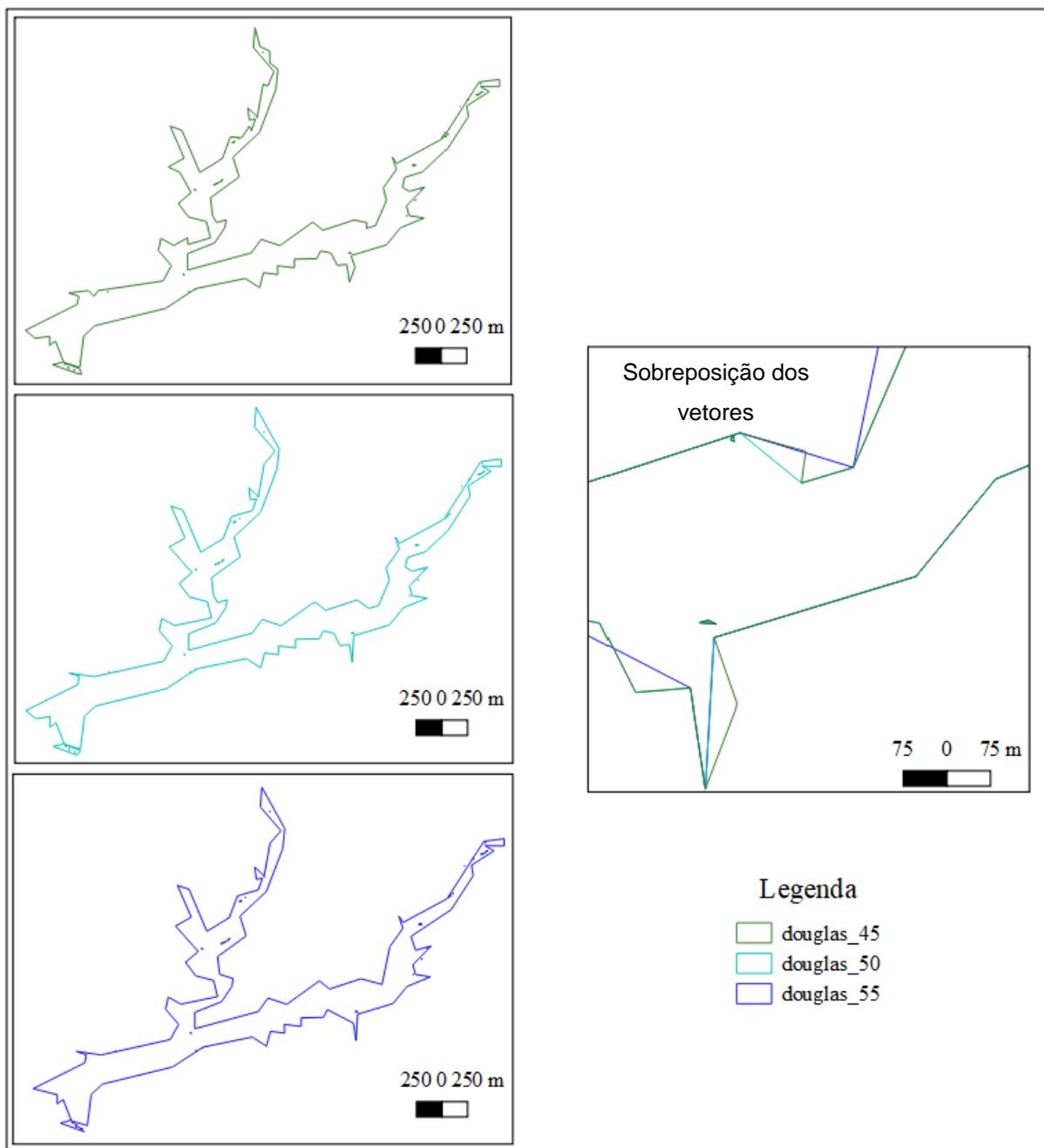


Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

4.1.1 Simplificação

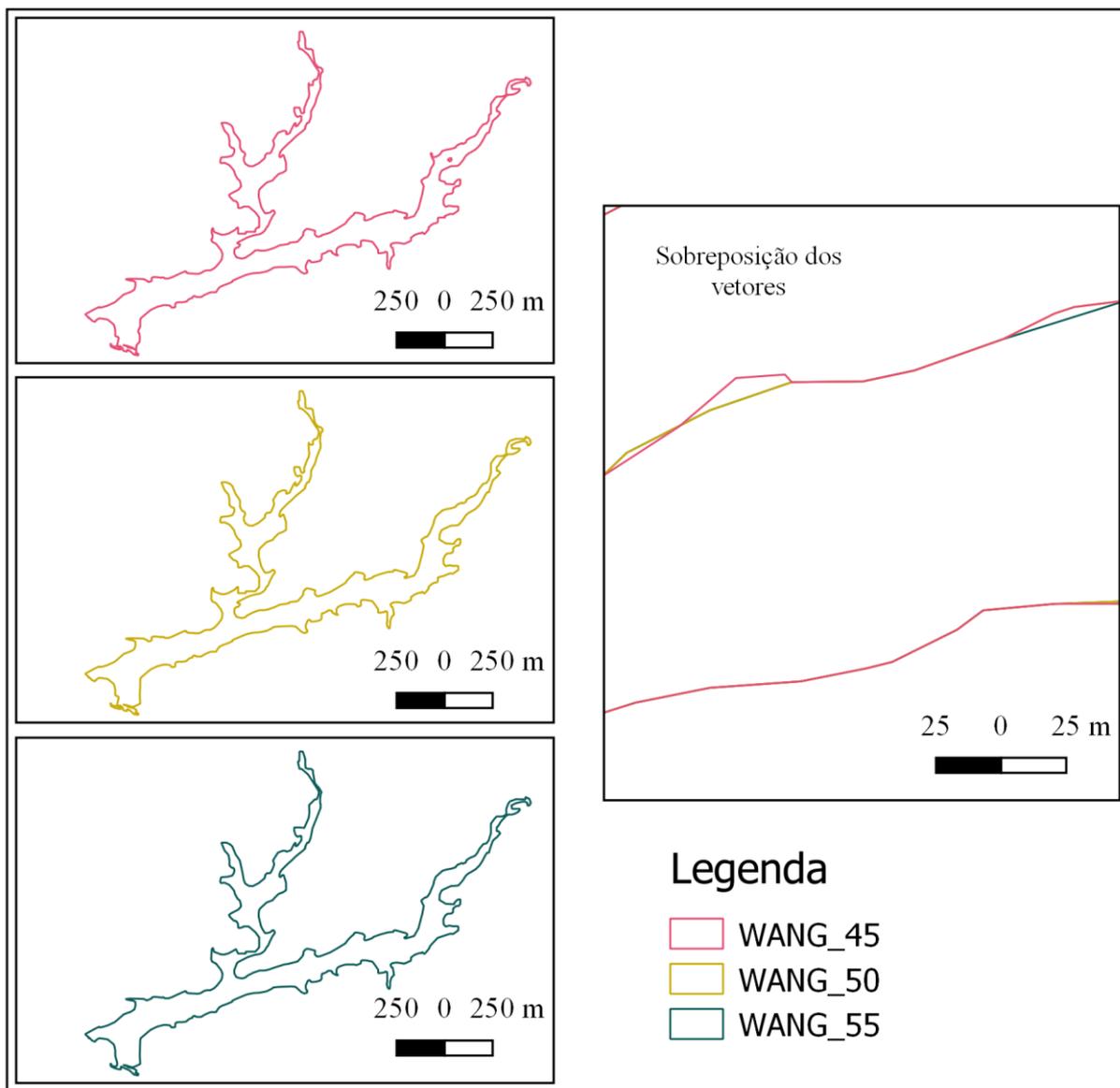
Nas figuras 26 e 27 estão representados os vetores gerados por Douglas-Peucker e Wang, respectivamente, com as diferentes tolerâncias bem como um trecho com a sobreposição deles.

Figura 26 – Feições simplificadas por Douglas-Peucker



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Figura 27 – Feições simplificadas por Wang.



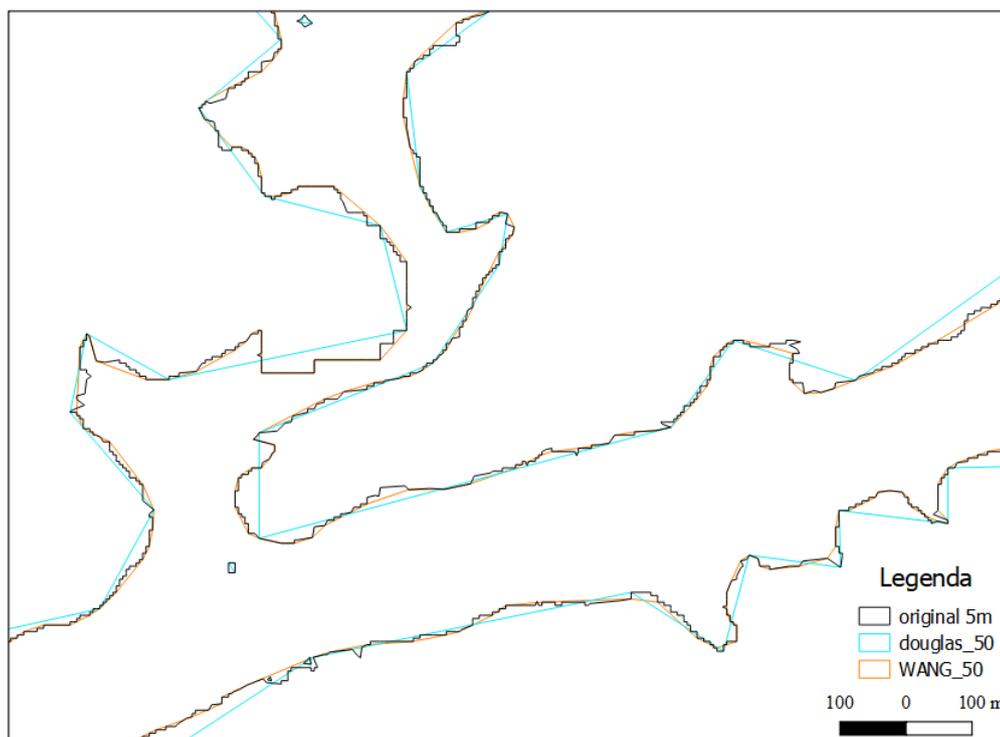
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Nas figuras 26 e 27, nota-se a influência da tolerância aplicada na simplificação de linhas com os algoritmos investigados nesta pesquisa. Percebe-se na figura 26, a feição resultante por Douglas-Peucker apresenta um aspecto anguloso, o que não acontece na aplicação do algoritmo de Wang (figura 27). Nos trechos de sobreposição, é possível perceber que as feições simplificadas por Wang se apresentam mais coerentes, próximas e uniformes do que as de Douglas-Peucker.

A figura 28 mostra uma comparação entre o vetor original e as feições geradas após a aplicação dos algoritmos com tolerância padrão de 1mm. A feição original está em preto e as feições simplificadas por Douglas-Peucker e Wang em azul e laranja, respectivamente. É possível notar a diferença entre os produtos gerados, sendo o

vetor gerado por Wang mais parecido com o original em comparação ao resultado de Douglas-Peucker.

Figura 28 – Comparação entre a feição original e as simplificações com tolerância padrão de 1mm para Douglas-Peucker e Wang.



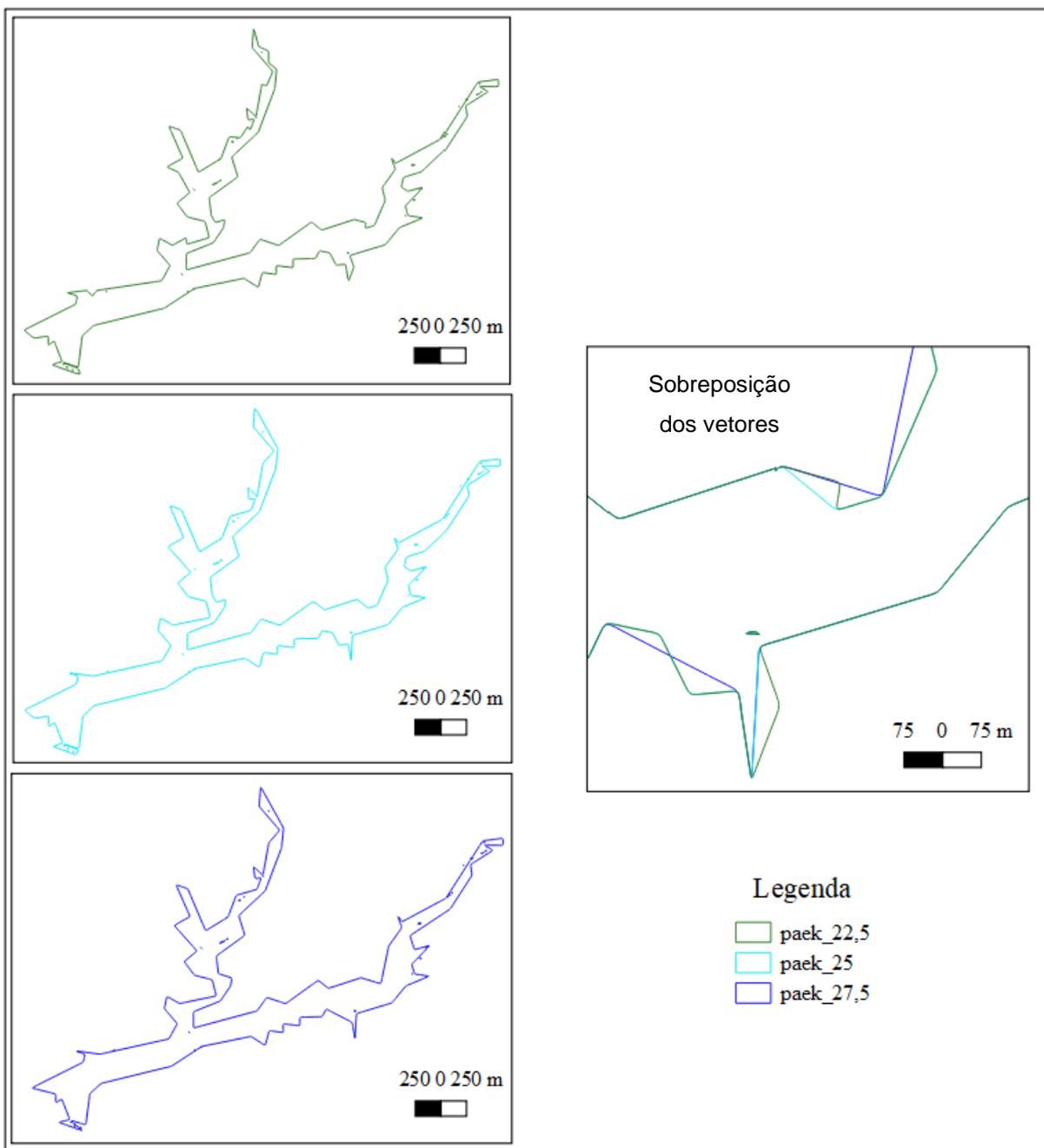
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

4.1.2 Suavização

A partir dos resultados obtidos na etapa da simplificação, apenas os vetores gerados por Douglas-Peucker passaram pela etapa da suavização, visto que, os resultados de Wang não apresentaram trechos com muitas “quinas”, ou seja, pontiagudos.

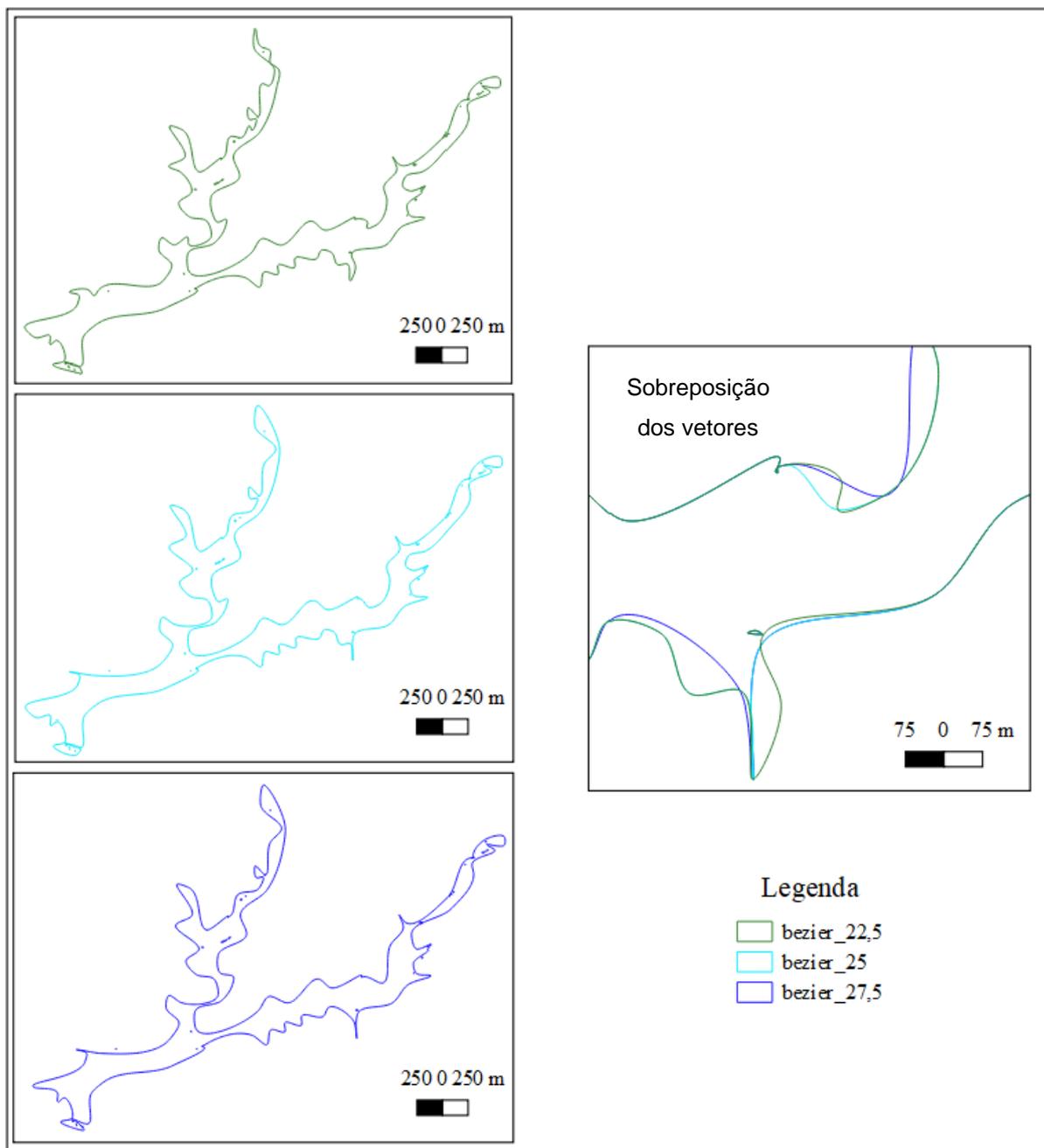
A figura 29 representa os efeitos das diferentes tolerâncias aplicadas na suavização por PAEK. Já na figura 30 tem-se os resultados obtidos por Bezier Interpolation que não exige uso de tolerância, mas que foi nomeado como se exigisse para melhor identificação da sua origem. Ambas as figuras também mostram um trecho de sobreposição entre os vetores gerados.

Figura 29 – Feições suavizadas por PAEK



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

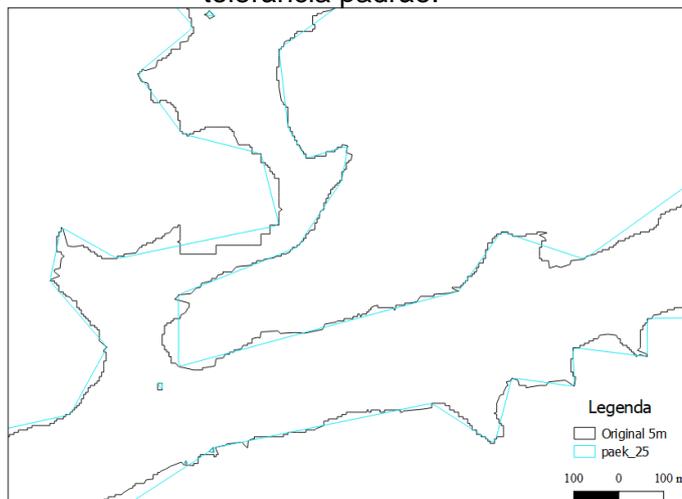
Figura 30 – Feições suavizadas por Bézier Interpolation.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

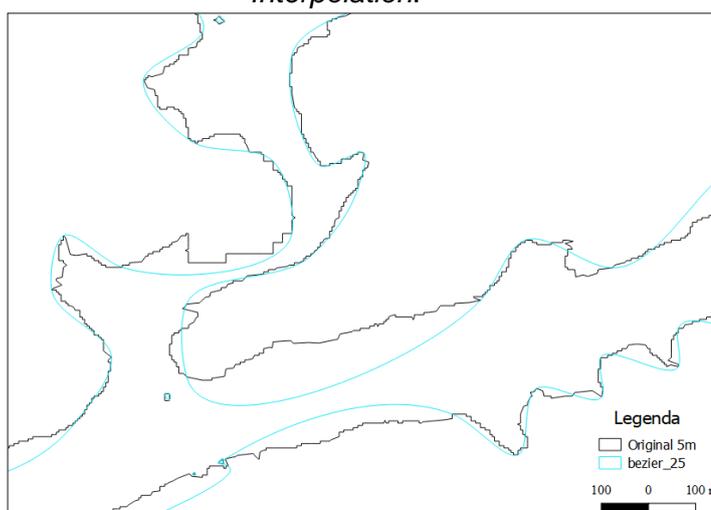
Nas figuras 31 e 32, mostra-se uma comparação entre a feição original (original 5m) e a feição após a aplicação dos algoritmos de suavização com tolerância padrão de 0,5 mm (ver tabela 2). Nestas figuras, a feição original está representada na cor preta e as feições suavizadas com PAEK e *Bézier Interpolation* em azul. É possível notar por meio que a feição gerada por PAEK apresenta-se mais similar a feição original do que o resultado gerado por *Bézier Interpolation*.

Figura 31 – Comparação entre a feição original e a feição suavizada por PAEK com a tolerância padrão.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Figura 32 – Comparação entre a feição original e a feição suavizada por Bezier *Interpolation*.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

4.1.3 Análise das representações Vetoriais

Nesta seção são apresentados os resultados das análises realizadas nos vetores generalizados, sendo estas a análise de área e número total e pontos, visual, topológica e posicional.

A Tabela 3 apresenta uma comparação da área e do número total de pontos, entre o arquivo da feição original e os arquivos após a aplicação dos algoritmos de simplificação e suavização, bem como o percentual de redução da quantidade de pontos.

Através dos resultados do percentual de redução da área observa-se que o uso do algoritmo de simplificação de Wang gerou feições com áreas inferiores a área da original, enquanto que o de Douglas gerou feições que apresentam áreas maiores que a feição original. Entre os algoritmos de simplificação, o que apresentou maior variação na área, em relação a feição original, foi o de Douglas.

Comparando-se Wang e Douglas-Peucker, percebe-se que Douglas reduziu em mais de 90 % a quantidade de pontos em relação a feição original. Já com Wang essa redução ficou em torno de 70%. Na comparação entre a suavização de PAEK e Bézier *interpolation*, PAEK apresentou maior potencial de redução ficando os valores entre 16 e 29 %. Já para o caso Bézier apresentou redução menores que 13%.

Tabela 3 – Número total de pontos e percentual de redução para a simplificação e suavização

Arquivos		Área (m ²)	Percentual de redução de área (%)	Número de pontos	Percentual de redução número de pontos (%)
Simplificação	Original 5 m	1764833	--	3657	--
	Wang 45 m	1752184	0,717	920	74,842
	Wang 50 m	1750763	0,797	865	76,346
	Wang 55 m	1747844	0,963	775	78,807
	Douglas 45 m	1847505	-4,684	301	91,769
	Douglas 50 m	1836342	-4,052	287	92,152
	Douglas 55 m	1834561	-3,951	282	92,288
Suavização	PAEK 22,5 m	1847476	-4,683	3058	16,379
	PAEK 25 m	1836297	-4,049	2751	24,774
	PAEK 27,5 m	1834488	-3,947	2566	29,833
	Bézier 22,5 m	1766937	-0,119	3460	5,3869
	Bézier 25 m	1728255	2,073	3257	10,937
	Bézier 27,5 m	1695137	3,949	3185	12,906

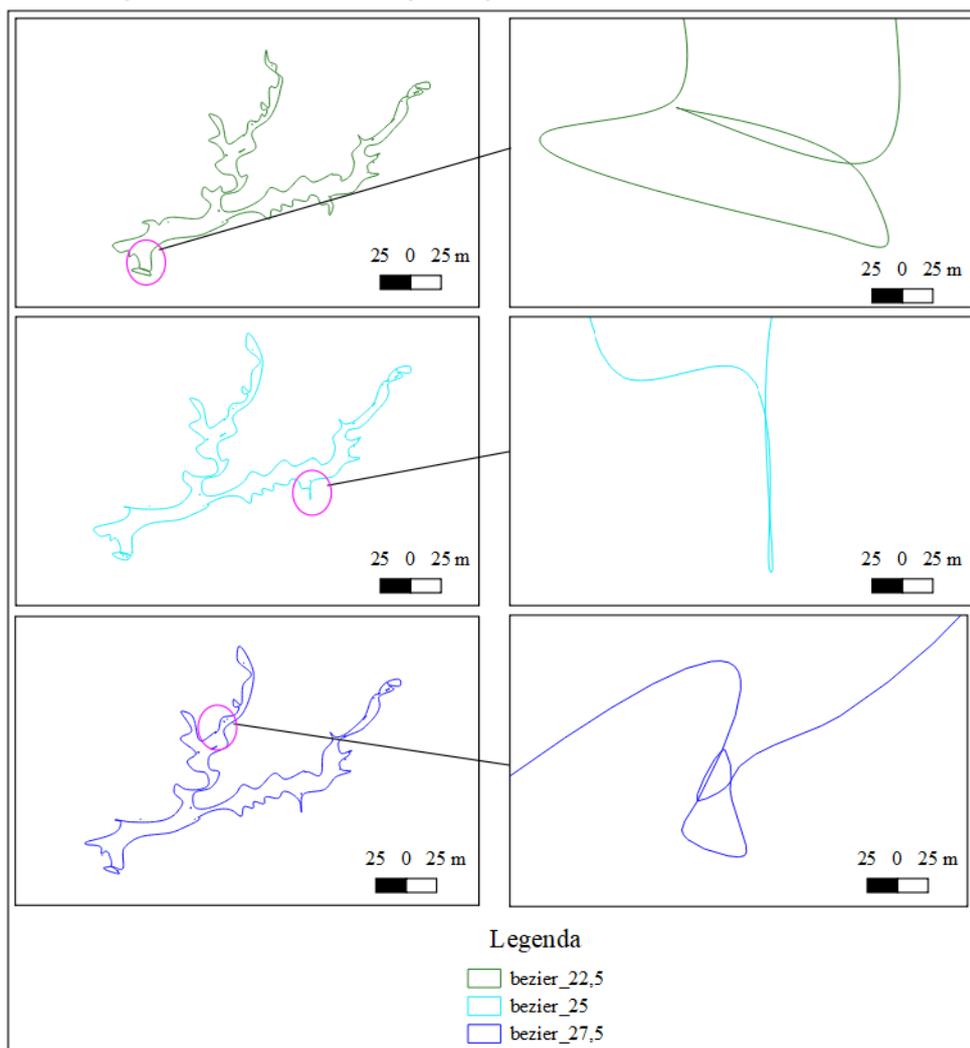
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Para as demais avaliações, os vetores generalizados por Douglas-Peucker não foram avaliados, visto que, ele gerou dados intermediários que tiveram que passar pela etapa da suavização por PAEK e Bézier-Interpolation, sendo estes os resultados finais avaliados.

Na Avaliação Visual a maior semelhança com a feição original foi utilizada como parâmetro, sendo assim, apenas as feições geradas por Bézier-Interpolation foram consideradas desclassificadas tendo em vista sua grande diferença em relação a feição original.

Na Avaliação Topológica todos os arquivos generalizados para a escala de 1:50.000 foram analisados quanto a presença de sobreposição de linhas e de descontinuidades entre as linhas do vetor. A figura 33 mostra os resultados sendo os erros encontrados todos relativos a sobreposição de linhas, apenas nos resultados da suavização de Bézier Interpolation.

Figura 33– Erros topológicos gerados por Bézier Interpolation

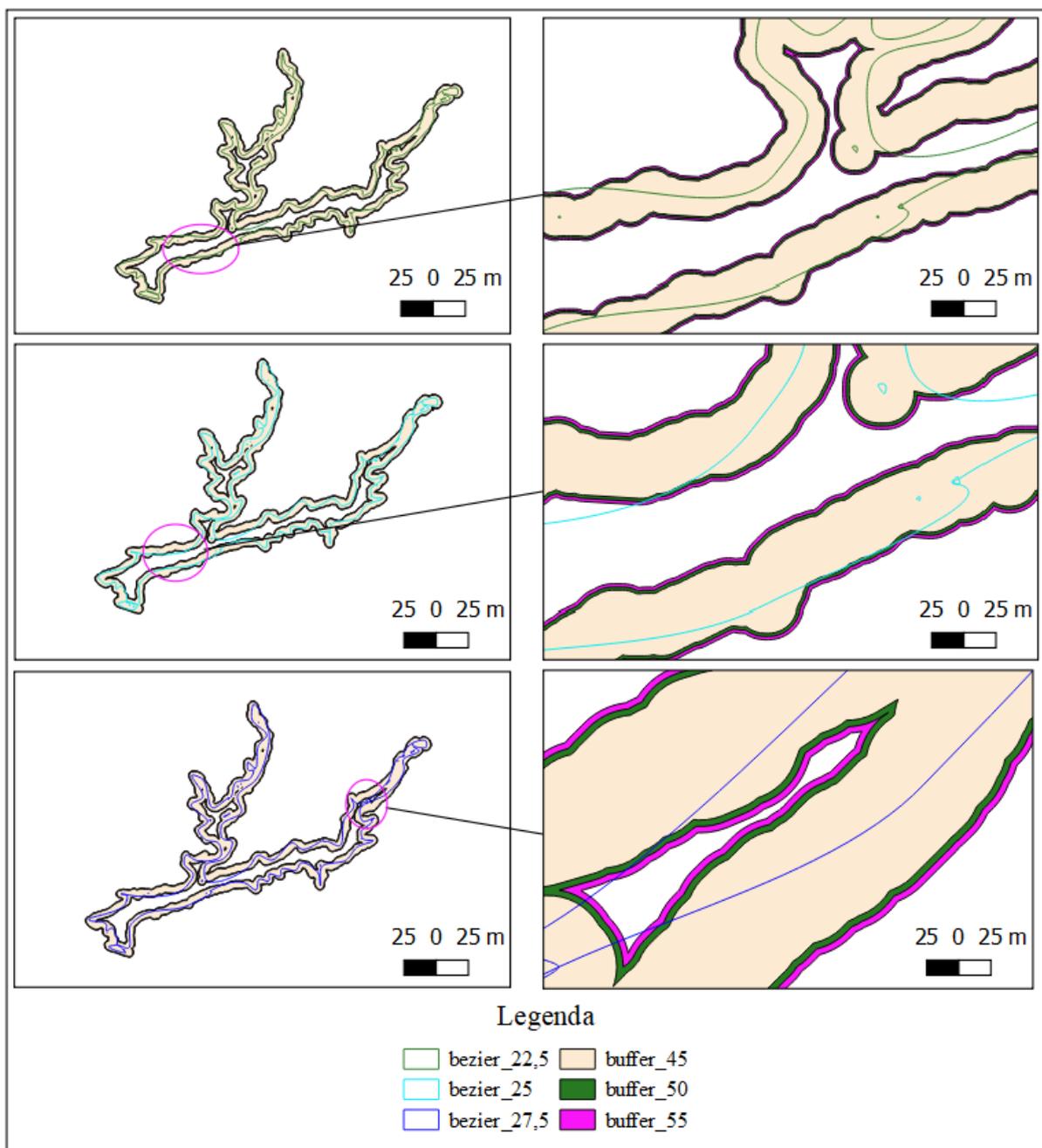


Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Na Avaliação Posicional foi analisado se as feições generalizadas estavam completamente contidas nas áreas de influência geradas a partir da feição original. Apenas os resultados obtidos por Bézier Interpolation apresentaram erros posicionais.

Analisando a figura 34, é possível perceber que em alguns trechos os vetores extrapolam as três áreas de influência geradas pelos buffers.

Figura 34– Erros posicionais gerados por Bézier Interpolation.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

A Tabela 4 resume as avaliações dos vetores generalizados. Apenas os resultados gerados por Bézier *Interpolation* foram considerados inadequados, em relação as avaliações visual, topológica e posicional, na mudança de escala de 1:25.000 para 1:50.000.

Tabela 4 – Resultado das avaliações dos vetores generalizados

Arquivo		Avaliação visual	Avaliação topológica	Avaliação posicional
Simplificação	Wang 45 m	Classificado	Classificado	Classificado
	Wang 50 m	Classificado	Classificado	Classificado
	Wang 55 m	Classificado	Classificado	Classificado
Suavização	PAEK 22,5 m	Classificado	Classificado	Classificado
	PAEK 25 m	Classificado	Classificado	Classificado
	PAEK 27,5 m	Classificado	Classificado	Classificado
	Bézier 22,5 m	Desclassificado	Desclassificado	Desclassificado
	Bézier 25,0 m	Desclassificado	Desclassificado	Desclassificado
	Bézier 27,5 m	Desclassificado	Desclassificado	Desclassificado

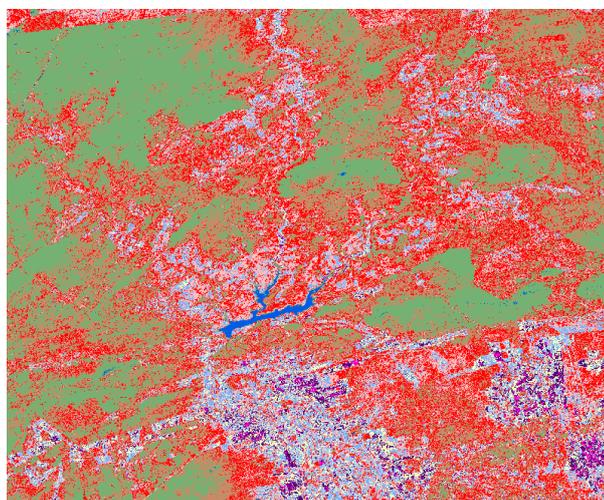
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Resultados semelhantes a esses foram obtidos com o software QGIS e estão descritos em (Azevedo *et al.* 2019).

4.2 DADOS MATRICIAIS

A figura 35 apresenta o resultado do primeiro operador de generalização matricial, a reclassificação. Neste processo houve apenas a transformação da categoria imagem para categoria temática. Foram geradas 9 (nove) classes temáticas, nomeadas pela sequência de números de 1 a 9, segundo o *default* identificado pelo ArcGIS (Apêndice B).

Figura 35– Resultado da reclassificação.

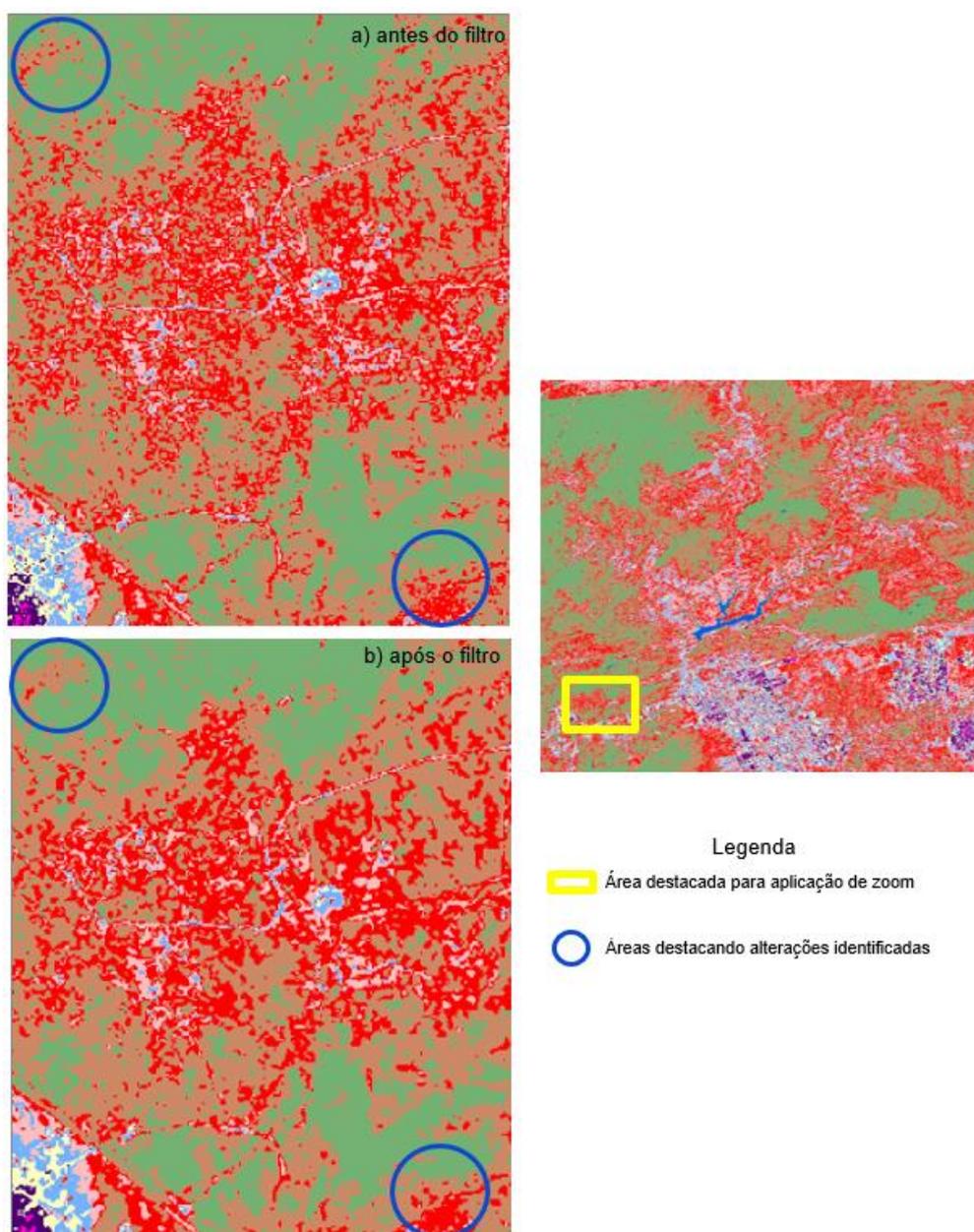


Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

As classes temáticas geradas foram nomeadas por números devido à dificuldade de se afirmar com propriedade as características peculiares de cada uma delas.

De posse da imagem classificada, foi utilizado o operador Filtro Moda com vizinhança de 8 pixels, obtendo-se como resultado o que se segue na figura 36. Através da imagem abaixo, é possível notar que alguns pixels isolados foram atribuídos à classes vizinhas.

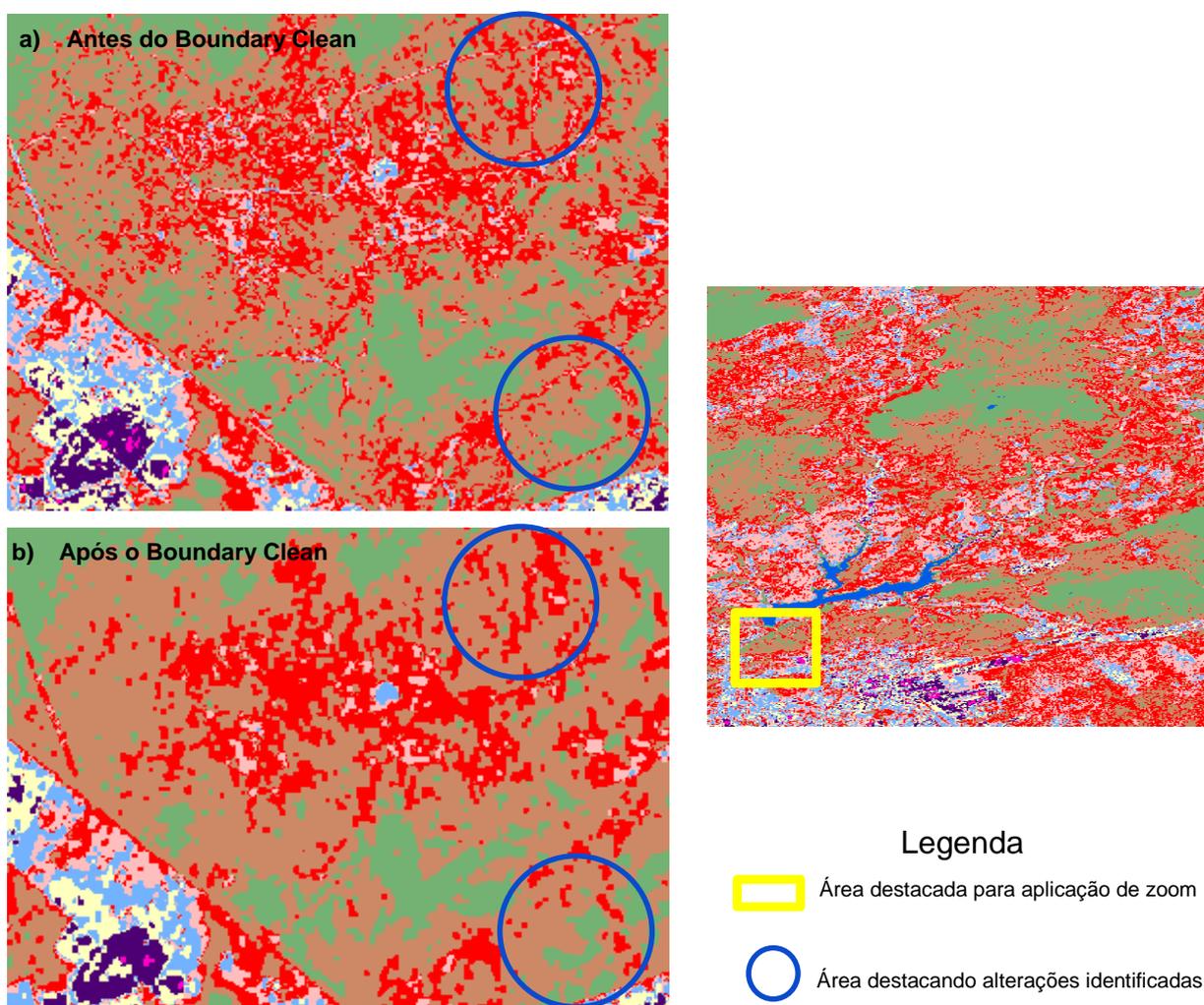
Figura 36– Resultado da aplicação do filtro moda. a) Antes da aplicação do filtro (imagem temática resultante da etapa anterior – reclassificação). b) Após a aplicação do filtro moda.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

A partir da imagem resultante do filtro da moda, foi utilizado a ferramenta de limpeza da vizinhança (*Boundary Clean*) com a rotina *descend* priorizando regiões maiores sobre menores. Na Figura 37, é possível perceber algumas alterações sofridas em determinadas classes. Neste procedimento houve uma dilatação e erosão dos limites fazendo com que as zonas maiores absorvessem zonas menores, como podemos destacar as feições lineares que desaparecem da imagem resultante, pois são aglutinadas com outras regiões maiores.

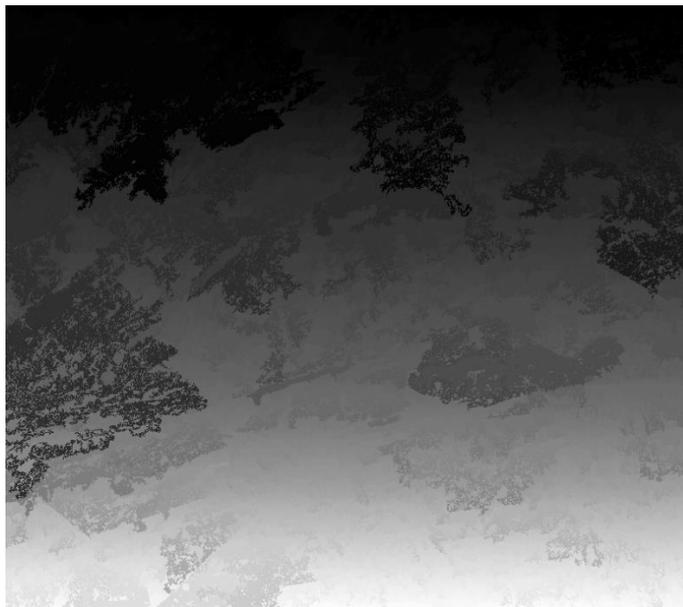
Figura 37– Resultado da aplicação do *Boundary Clean*. a) Antes da aplicação do *Boundary Clean* (imagem resultante da etapa anterior- filtro moda). b) Após a aplicação da ferramenta *Boundary Clean*.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Feita a limpeza da vizinhança, aplicou-se a ferramenta *Region Group* (agrupamento de regiões), obtendo-se como resultado o que se apresenta na Figura 38, em que são formados agrupamentos de pixels vizinhos de mesma classe.

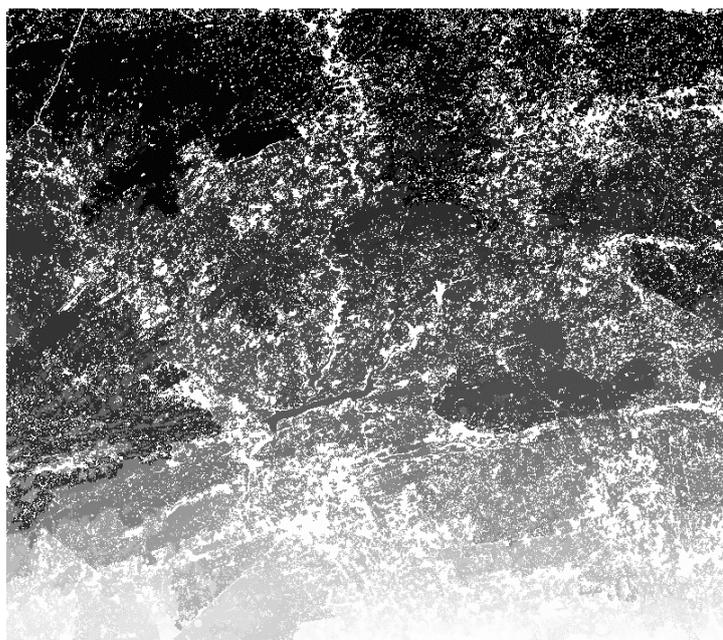
Figura 38– Resultado da aplicação da ferramenta Region Group.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Após o Region Group, foi feita a extração por atributos. Nesta fase, foram selecionados os agrupamentos de pixels formados na etapa anterior e que estavam acima do limiar determinado através do cálculo da Área Mínima Mapeável e número mínimo de pixels por região, que foi de 400 pixels. A partir daí, criou-se um novo dado sem os agrupamentos de pixels menores que o limiar especificado (Figura 39).

Figura 39– Resultado da aplicação da ferramenta *Extract by Attributes*.

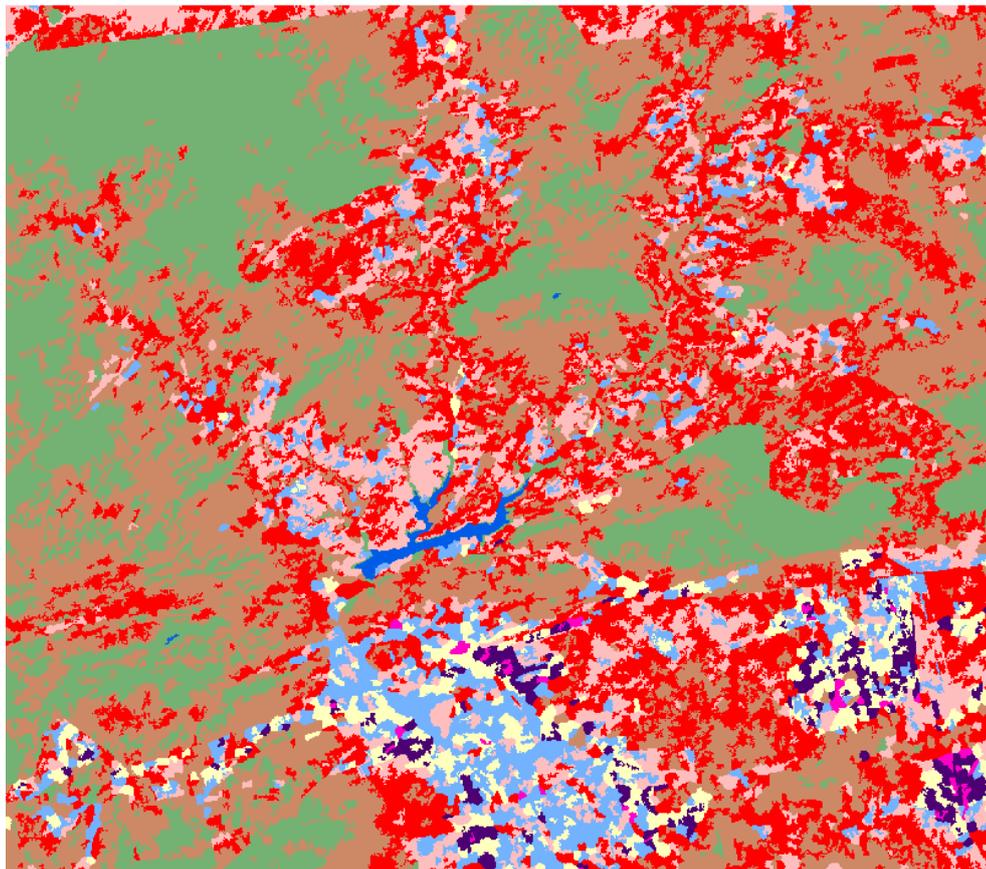


Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

Por fim, as informações removidas na etapa anterior referentes aos agrupamentos menores que o limiar, são utilizadas como uma máscara que será

colocada sobre o resultado do agrupamento de regiões. Os espaços vazios da máscara são preenchidos pela ferramenta nibble por pixels de classes vizinhas de forma contígua de fora para dentro (Figura 40).

Figura 40– Resultado da aplicação da ferramenta Nibble.

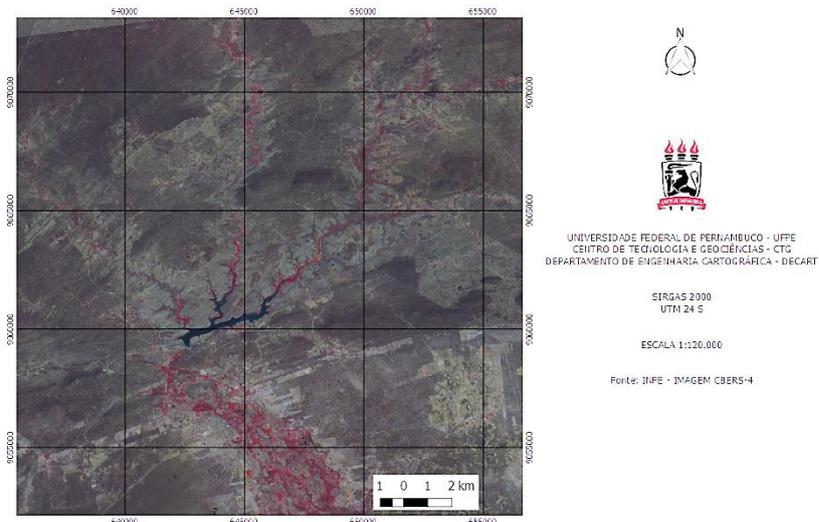


Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

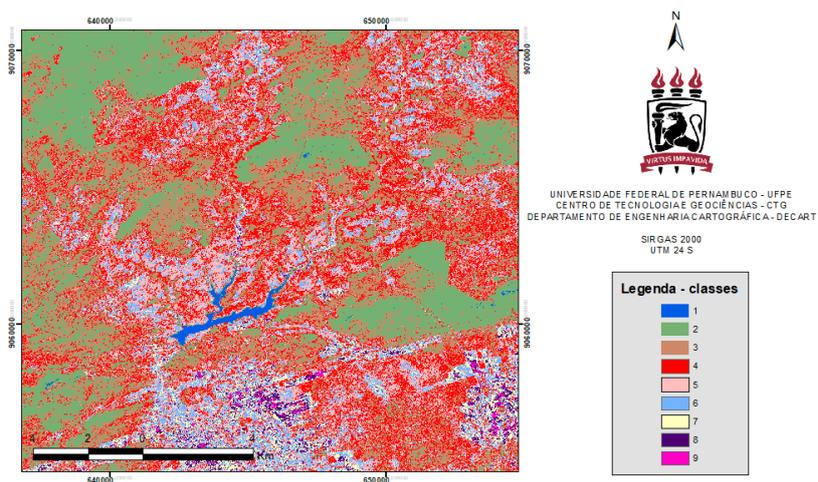
A Figura 40 representa a última etapa do processo de generalização matricial, sendo, portanto, o resultado final obtido. Para facilitar a visualização e possibilitar uma comparação entre os dados, a Figura 41 reúne a imagem original em escala 1:25.000, a imagem inicial reclassificada, e a imagem resultante do processo de generalização (escala 1:50.000) no mesmo nível de zoom.

Figura 41– Comparação imagem original, imagem reclassificada e imagem generalizada.

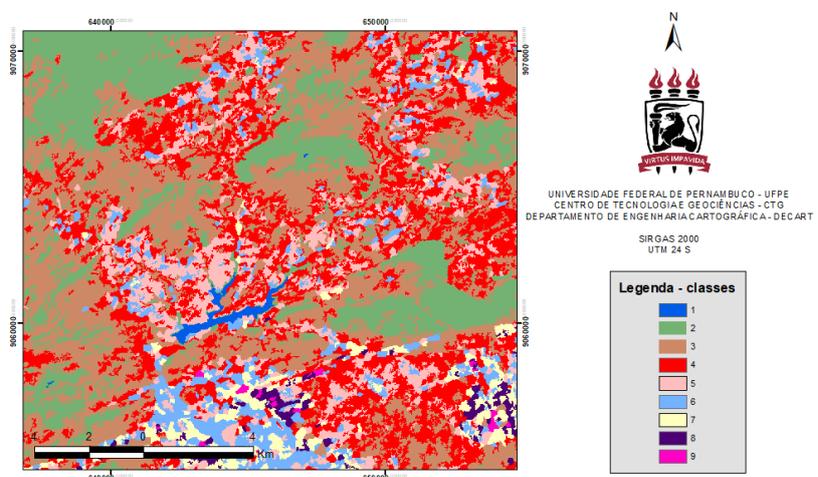
CARTA IMAGEM - ÁREA DE ESTUDO - IBIMIRIM, PE-BRASIL



MAPA RECLASSIFICAÇÃO



MAPA GENERALIZAÇÃO



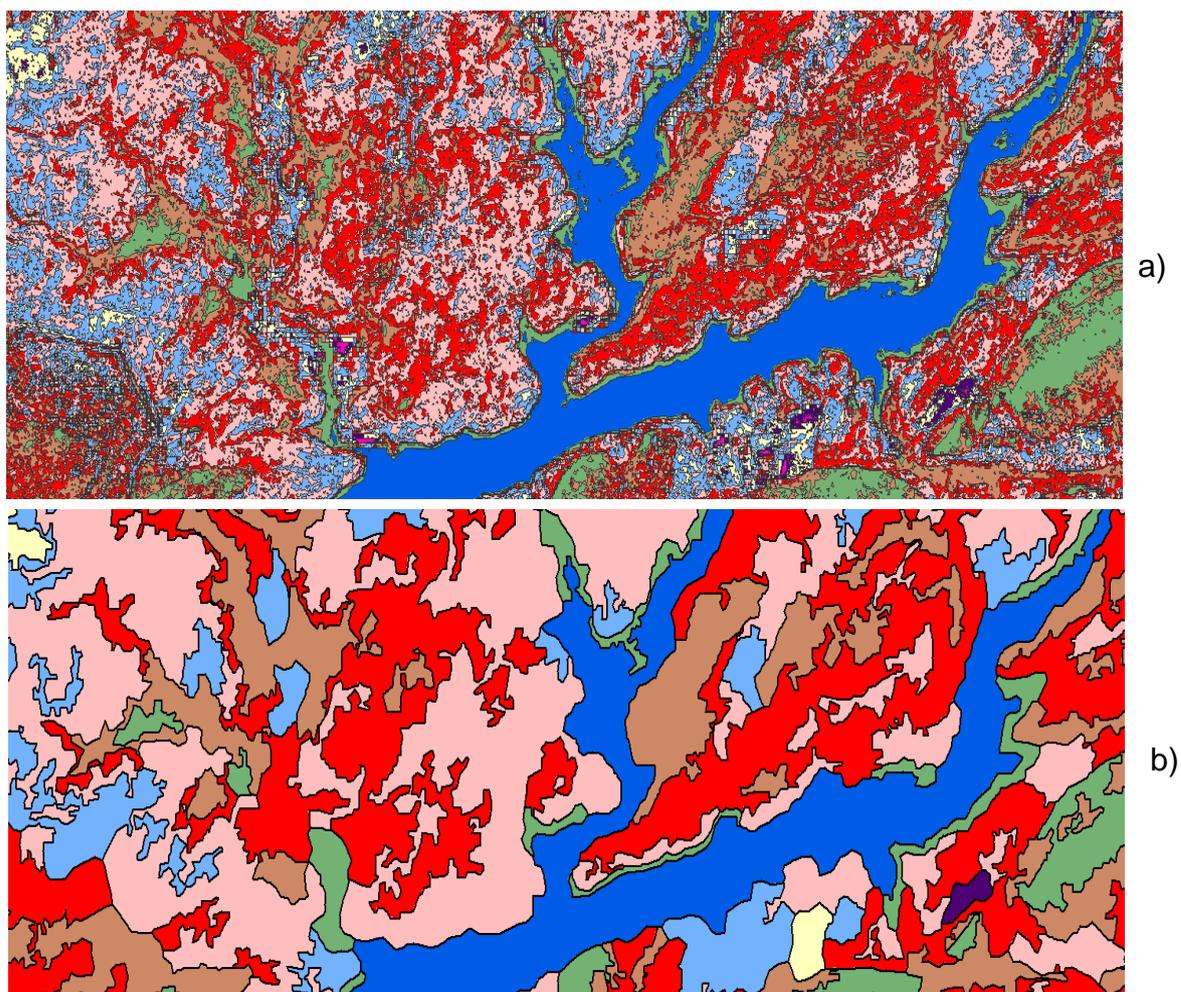
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

É possível notar através da Figura 41 acima que apesar do número de classes ter se mantido o mesmo, ou seja, 9 (nove) classes, as regiões referentes a cada classe diminuíram significativamente tornando a imagem menos poluída visualmente, compatível com a escala final de 1:50.000.

4.2.1 Análise das representações matriciais

O dado matricial resultante da reclassificação e o dado final da generalização, proveniente da ferramenta Nibble, foram convertidos para polígonos a fim de se calcular e comparar as áreas e a quantidade de polígonos referentes a cada classe (Figura 42).

Figura 42– Polígonos gerados a partir da imagem reclassificada e generalizada. a) sobreposição dos polígonos na imagem reclassificada. b) sobreposição dos polígonos na imagem generalizada.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

A partir dos polígonos gerados, através da tabela de atributos e do software Excel, foram calculadas as áreas de cada classe para os polígonos provenientes do dado matricial inicial e do dado generalizado, denominados respectivamente de área inicial e área final, e a quantidade de polígonos de cada classe para o dado inicial e generalizado, denominados respectivamente de número de polígonos inicial e número de polígonos final (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação dos resultados do dado matricial inicial e final (generalizado)

CLASSE	ÁREA INICIAL (Km ²)	ÁREA FINAL (Km ²)	REDUÇÃO ÁREA (%)	NÚMERO DE POLÍGONOS INICIAL	NÚMERO DE POLÍGONOS FINAL	REDUÇÃO POLIGONO (%)
1	1,6	1,7	-4,8	1073	3	99,72
2	116,0	102,5	11,6	133011	503	99,62
3	144,1	180,9	-25,5	218835	507	99,77
4	107,8	114,4	-6,2	297046	652	99,78
5	67,5	52,7	22,0	272837	595	99,78
6	38,4	29,3	23,8	172320	322	99,81
7	20,6	17,2	16,3	83400	167	99,80
8	9,5	8,0	15,6	33427	94	99,72
9	2,7	1,4	46,1	9191	33	99,64
TOTAL	508,2	508,2	-----	1221140,0	2876,0	99,76

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2019.

A partir da tabela acima, percebe-se que em quase todas as classes houve uma redução de área, com exceção as classes 1,3 e 4. Isso se justifica devido ao fato de que essas classes citadas incorporaram elementos de classes vizinhas durante o processo de generalização. Apesar disso, a soma das áreas de todas as classes antes e depois da generalização é a mesma, ou seja, o que houve foi a apenas uma redistribuição das áreas entre as classes de forma a gerar como resultado final uma imagem menos poluída. É importante destacar que estas áreas calculadas apresentam restrições devido ao tamanho do pixel da imagem.

Também foi calculada a quantidade de polígonos de cada classe antes e depois da generalização. Nota-se que inicialmente, a quantidade de polígonos era muito grande, sendo um total de 1221140 e, após o processo de generalização passou a ser 2876, o que corresponde a uma redução de 99,76 %

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação dos algoritmos de generalização em estrutura vetorial, mostrou que tais metodologias apresentam certa facilidade em relação ao método manual, onde uma das vantagens é a velocidade em que se realiza a generalização, porém, numa análise qualitativa algumas aplicações não apresentaram bons resultados para a cartografia. O algoritmo de Douglas-Peucker, utilizando a tolerância definida no trabalho, apresentou a característica de eliminar mais pontos da feição em relação ao de Wang, tornando os dados mais leves, porém perdendo, em algumas situações, as características topológicas da feição original, formando algumas regiões pontiagudas e tornando necessário o uso de algoritmos de suavização. Já o algoritmo de Wang, elimina menor quantidade de pontos, mas conserva uma topologia mais próxima da linha original apresentando melhor ajuste.

O algoritmo de Bézier, aplicado na suavização das feições geradas pela simplificação de Douglas-Peucker, apresentou piores resultados que PAEK, pois, houve uma divergência considerável da feição original, sendo desclassificado pelos quatro critérios de avaliação adotados.

O desempenho dos algoritmos do ponto de vista cartográfico obtidos neste trabalho mostra que é mais adequado o uso do algoritmo de simplificação de Douglas-Peucker seguido do algoritmo de suavização PAEK ou o uso direto do algoritmo simplificação de Wang para a representação da feição do corpo hídrico na mudança de escala de 1:25.000 para 1:50.000.

A classificação em estrutura matricial pode ser feita em imagens previamente classificadas onde se tem conhecimento da cobertura do solo e conseqüentemente da composição de cada classe. A imagem aqui utilizada foi classificada visando demonstrar a metodologia aplicada. Porém, a capacidade de identificar classes de cobertura de solo com o uso de um classificador que gere bons resultados condizentes com a realidade (que sejam verificados pelos operadores) oferece a possibilidade de monitoramento mais frequente em áreas maiores do que é possível com métodos que utilizam muito a mão de obra.

Os resultados iniciais da generalização matricial são particularmente promissores para imagens classificadas usando o classificador, causando modificações na visualização e tornando-a mais clara em escala menor que a original,

diminuindo a quantidade de informações na imagem que não poderiam ser visualizadas pelo observador, eliminadas pelo critério de área mínima mapeável.

Isto pode ser comprovado através da contagem de polígonos gerados das classes na imagem original classificada e na imagem generalizada, onde há considerável redução da quantidade de polígonos, que implica redução de grupos de pixels, ou seja, regiões muito pequenas de determinadas classes foram agregadas a outra melhorando a visualização para a interpretação do mapa.

O percentual de variação da área variou bastante entre as classes porque esse resultado depende também da distribuição das classes no mapa. Áreas como a classe um, onde a maior parte se encontra aglomerada em uma região, apresentam menor variação na área.

A redução de polígonos representantes das classes mostrou resultados significativos, todas apresentando redução de mais de 99%.

Pode-se constatar que a metodologia utilizada para generalização de vetor e de raster gerou mapas digitais do solo para serem melhor representados em escala diferente da imagem original.

Esta metodologia pode facilitar o processo de generalização, em que se deseja obter banco de dados de cartas representadas em diferentes escalas, porém requer conhecimento de especialista para analisar o desempenho quanto as representações pois podem comprometer o mapa (como foi visto, alguns algoritmos não apresentaram bons resultados). Também é importante enfatizar que a generalização depende do tipo de mapa e do seu objetivo, além da mudança de escala que se pretende fazer.

De acordo com os critérios definidos neste trabalho para estabelecer os parâmetros a serem utilizados nos algoritmos, é possível fazer a mudança para diferentes escalas além da que foi feita. Fica como sugestão de trabalhos de pesquisa a análise do desempenho dos algoritmos utilizando esses mesmos critérios para escalas diferentes da que foi utilizada.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). **Boletim de Acompanhamento dos Reservatórios Contemplados pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco – PISF**. Brasília, 2019. Disponível em: < http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/reservatorios-do-sistema-hidrico-do-pisf/boletins/diario/diario-pisf-15_4_2019.pdf>. Acesso em 26 de abr. de 2019.
- AGUIAR, C. R. BATISTELLA, D. Análise das técnicas de fusão de imagens aplicadas ao satélite CBERS-2B (CCD-HRC). In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, INPE. p. 2188-2192, 20 de abr. de 2013.
- AZEVEDO, L. S.; NASCIMENTO, E. F.; CANDEIAS, A. L. B. Generalização cartográfica de corpos d'água utilizando o algoritmo de Douglas-Peucker em ambiente QGIS. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos. p. 1-4, 20 abr. de 2019.
- BRASSEL, K. E.; WEIBEL, R. A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. **International Journal of Geographical Information Systems**, Vol. 2, No. 3, p. 229 – 244, 1988.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. Representação computacional de dados geográficos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**. São José dos Campos, p. 1–38, 2005. Disponível em: <mtc-m12.sid.inpe.br/archive.cgi/sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.15.49>. Acesso em 19 de fev. de 2019.
- CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. **ed. rev. Campinas: UNICAMP/Instituto de Geociências**, 170 p.,1992. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1901009/mod_folder/content/0/1_Capa_Indice_Introducao.pdf?forcedownload=1>. Acesso em 19 de abr. de 2019.
- D'ALGE, J. C. L. **Generalização Cartográfica em Sistemas de Informação Geográfica: Aplicação aos Mapas de Vegetação da Amazônia Brasileira**. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- 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 AmericanCartographer**, 10(2). p. 112-123, 1973.
- 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 Acesso em 18 de abr. de 2019.
- ESRI**, Environmental Systems Research Institute, Inc. Automation of Map Generalization – The Cutting-Edge Technology. California, 1996. Disponível em: < http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/mapgen.pdf>. Acesso em 18 abr. de 2019.
- ESRI: Simplify Polygon**, 2016. Disponível em: < <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/how-simplify-line-works.htm>>. Acesso em 26 de abr. de 2019.

ESRI: Smooth Polygon, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/smooth-polygon.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Reclassify, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/reclassify.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Natural Breaks (Jenks), 2016. Disponível em: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?topicname=natural_breaks_%28jenks%29>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Majority Filter, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/smoothing-zone-edges-with-boundary-clean-and-majority-filter.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Boundary Clean, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/smoothing-zone-edges-with-boundary-clean-and-majority-filter.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Region Group, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/region-group.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Extract by Attributes, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/extract-by-attributes.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

ESRI: Nibble, 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/generalizing-zones-with-nibble-shrink-and-expand.htm>>. Acesso em 26 abr. de 2019.

FILIPPOVSKA, Y.; WALTER, V.; FRITSCH, D. "Quality evaluation of generalization algorithms". *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, Vol. XXXVII. Part B2.* Beijing, 2008. **Anais.** p. 799-804.

JONES, C. B.; MARK WARE, J. Map Generalization In The Web Age. **International Journal of Geographical Information Science**, Reino Unido, 19(8-9), 859-870, 2005. DOI: 10.1080/13658810500161104. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/13658810500161104>>. Acesso em 20 abr. 2019.

LISBOA FILHO, J. **Introdução a SIG – Sistemas de Informações Geográficas.** 1995. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.

LOPES, J. **Generalização Cartográfica.** Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra)- Universidade de Lisboa. Portugal, 2005.

MCMMASTER, R.B.; SHEA, K.S. Generalization in Digital Cartography. **Association of American Geographers.** Washington, 1992. 133p.

MENG, L. Automatic generalization of geographic data. **Departamento de Cartografia da Universidade Técnica de Munique.** Estocolmo,

Suécia, 1997. Disponível em: <
<https://pdfs.semanticscholar.org/5148/c4a87a67445ed3d57d2dd2adea8c88c8f1ea.pdf>>. Acesso em 20 de fev. de 2019.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. **Universidade de Brasília**, Brasília, 2012. 266p.

ORMELING, F.J. Methods for the Generalization of Geo-Databases. **Netherlands geodetic commission**, publications on geodesy new series 43, PP. 1-11. Holanda, 1996.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas À imagem Quickbird. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, p. 4225-4232. Goiânia, INPE, 2005.

SCHNEIDER, M. J.; BELLON, O. R. P.; ARAK, H. Experimentos em Fusão de Imagens de Alta Resolução. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 9, no 1, p.75-88. Curitiba ,2003.

SCHOWENGERDT, R.A. (2007) REMOTE sensing: Models and methods for image processing. 3rd Edition, Academic Press, Waltham, 2. Disponível em: <
http://www.doganaydal.com/nesneler/kutuphanekitaplar/REMOTE_SENSING,3_ED_MODELS_AND_METHODS_FOR_IMAGE_PROCESSING.PDF> . Acesso em 20 de abr. de 2019.

SILVA, D. H. S.; LOPES, M. B. L.; SCHULER, C. A. B. Fusão de Imagem pelo Método IHS Utilizando Imagem do Satélite CBERS 4 Sensor MUX e Ortofoto. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva**, Rio de Janeiro, p. 1555-1560. 2017.

SPINOLA, D. N. **Generalização Cartográfica em SIG Aplicada a um Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Formato Vetorial e Matricial**. Monografia (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS – UFRGS, 126p., 2002.

SUPERGEO: Spatial Analyst Extension Help. Disponível em: <
http://www.supergeotek.com/SpatialAnalyst_ENG_HTML/12_3_boundary_clean.htm>. Acesso em 19 abr. de 2019.

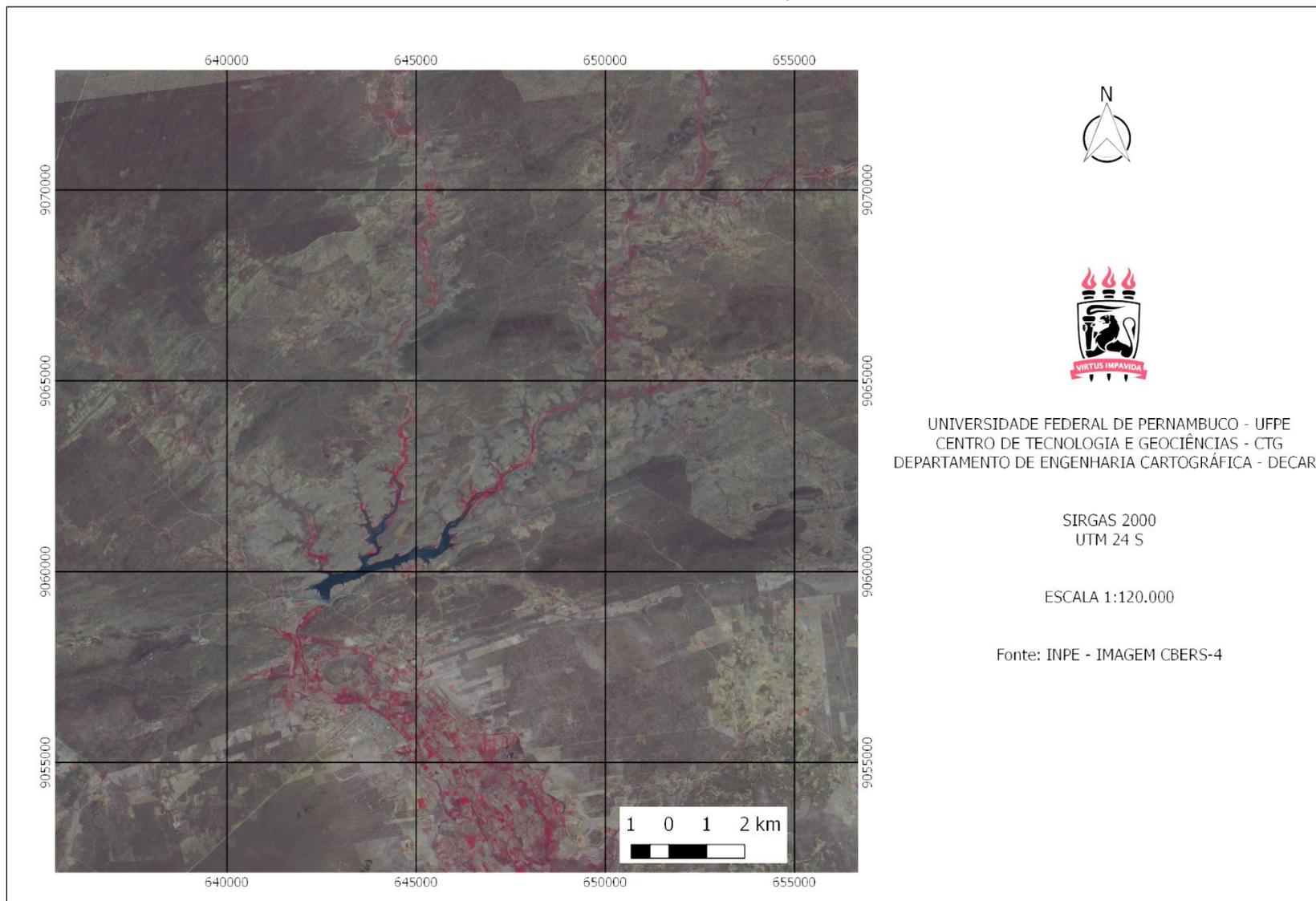
VASCONCELOS, T. L. **Generalização Cartográfica para feições lineares em ambiente digital**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, 2012.

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

WANG, Z.; MULLER J.C. Line generalization 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.

APÊNDICE A – ÁREA DE ESTUDO – IBIMIRIM, PE-BRASIL



APÊNDICE C – MAPA DA GENERALIZAÇÃO

