

Avaliação do uso de diferentes tolerâncias de representação no processo de generalização cartográfica de polígonos

Afonso de Paula dos Santos¹
Darlan Miranda Nunes¹
Rodrigo Nogueira Sígolo¹

¹Universidade Federal de Viçosa - UFV/DEC
Departamento de Engenharia Civil
Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
Av. Peter Henry Rolfs, s/n – Campus universitário
36570-000 - Viçosa, MG, Brasil
{afonso.santos, darlan.nunes, rodrigo.sigolo}@ufv.br

Resumo: Em um momento no qual imagens provenientes do Sensoriamento Remoto orbital são uma das principais fontes de atualização de documentos cartográficos é imprescindível atentar para as questões da generalização cartográfica. Esta objetiva-se transmitir a informação com qualidade e de forma clara e legível ao usuário. Neste trabalho foram avaliados o uso de três tolerâncias para a representação de polígonos (Área Mínima Representável (AMR), Área Mínima Mapeável (AMM) e Menor Área Mapeável (MAM)) no processo da generalização cartográfica do uso e ocupação da terra na região de Corumbá e Ladário - MS. Os resultados mostraram que para as três tolerâncias testadas a porcentagem de área para cada classe do terreno não teve alterações significativas, embora na análise visual a representação pelas tolerâncias AMM e MAM tornaram os mapas mais claros e legíveis.

Palavras-chaves: generalização cartográfica, atualização cartográfica, tolerâncias de representação.

Abstract: In a time when images from the orbital remote sensing are a major source of update of cartographic documents is essential to pay attention to the issues of cartographic generalization. This objective is to convey information with quality of clear and legible form to the user. This study evaluated the use of three tolerances for the representation of polygons (Minimum area representable (AMR), Minimum mappable area (AMM) and Minor mappable area (MAM)) in the process of cartographic generalization of the use and occupation of land in the region of Ladário and Corumbá-MS. The results showed that for the three tested tolerances the area percentage for each class grounds no significant change, although by visual analysis the representation by MAM AMM tolerances become more clear and legible.

Key Words: cartographic generalization, cartographic updating, tolerances representation.

1. Introdução

A atualização cartográfica teve grande impulso nos últimos anos por meio da incorporação, processamento e análise de imagens provenientes do Sensoriamento Remoto orbital em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), tornando-se uma importante ferramenta de suporte a tomada de decisão, obtenção de conhecimentos a respeito do espaço geográfico, planejamento urbano e monitoramento dos recursos naturais, por exemplo.

A atualização de documentos cartográficos utilizando imagens orbitais apresenta-se como uma das formas mais rápidas e econômicas de se realizar tal procedimento. As imagens fornecem uma visão sinóptica da área de estudo, apresentando-se como uma fonte de informação temática interessante para fins cartográficos. Vergara et al. (2003).

Na elaboração de documentos cartográficos para fins de atualização, bem como qualquer outra finalidade, é imprescindível ao produtor atentar para as questões de generalização cartográfica, visando que o objetivo final seja alcançado, transmitir tal informação com qualidade e de forma legível ao usuário.

Como os mapas são abstrações do mundo real, nem tudo pode ser descrito ou representado exatamente da mesma forma que é na realidade. Assim é necessário o emprego de processos que visam aumentar a legibilidade e enfatizar informações importantes ou as mais importantes. Lopes (2005) cita em seu trabalho que segundo Hardy (1999) o processo de editar um mapa para aumentar a legibilidade e enfatizar informação importante é chamado generalização. O processo de reduzir o nível de detalhe de um mapa, como consequência da redução da escala do mapa, é chamado generalização cartográfica.

O autor ainda define generalização cartográfica como um processo de ajustamento de conteúdo (atributo) e gráfico com a finalidade de melhorar o uso de dados geográficos a um nível mais elevado da percepção visual de entidades espaciais/temporais tal como as suas relações.

Basicamente, existem dois tipos de generalização: a generalização semântica e a generalização geométrica.

A generalização semântica, também conhecida na literatura como generalização modelo ou conceitual ou de atributos, segundo Santos (2012) é fundamentada na definição da informação relevante na qual o mapa deve transmitir.

De acordo com Jones (2002) a generalização geométrica é baseada na manipulação de características gráficas de objetos representados no mapa. Este tipo de generalização busca criar mapas que apresentem uma qualidade visual legível, tornando-o uma boa ferramenta de comunicação.

Estes principais tipos de generalização podem ser decompostos em diversos operadores básicos agrupados em transformações espaciais e de atributos.

Na generalização semântica, inclui-se a transformação de atributos que engloba os operadores de Classificação / Simbolização / Categorização, Agregação e Seleção / Omissão / Eliminação. Enquanto que a generalização geométrica envolve operadores que manipulam a estrutura geométrica e topológica dos dados, tais como: simplificação, suavização, realce, fractalização, fusão, amalgamação, colapso, exagero, tipificação, deslocamento, refinamento e anamorfose.

Ao se realizar a generalização cartográfica de polígonos, basicamente faz-se a seleção das áreas abaixo de uma tolerância a ser representada, após utiliza-se o operador eliminação para, posteriormente, fazer uma suavização da sua geometria. Neste processo, um ponto principal é como definir a tolerância para representar uma feição, ou seja, qual o menor tamanho (área) de um polígono para que o mesmo possa ser representado em uma escala tal, de forma clara e legível.

No contexto deste trabalho busca-se comparar diferentes tolerâncias de representação no processo de generalização cartográfica. Santos (2012) cita três tolerâncias:

- Área Mínima Representável (AMR): corresponde à área mínima de um polígono que seja legível para o usuário de um mapa em determinada escala. O valor da área mínima representável é obtido pela seguinte equação:

$$AMR = (\text{Denominador Escala} \times 0,2 \text{ mm} \times 5)^2 \quad \text{Equação 1}$$

onde, 0,2 mm corresponde em cartografia ao parâmetro do erro de graficismo que representa a acuidade visual de um indivíduo em perfeitas condições óticas e o valor 5 se refere a uma constante que corresponde ao menor objeto não identificável. Considerando uma imagem orbital ou aérea, a menor porção representada no terreno corresponde ao pixel. Sabe-se que não há como identificar um objeto a partir de um único pixel, então é necessário ter um conjunto de pixels para que se possa discernir alguma feição no terreno. Segundo Rodrigues (2009) citando Paredes (1987), em fotogrametria existe o conceito do menor tamanho de objeto identificável, que corresponde a cinco vezes o valor da resolução no terreno de uma imagem. Daí o valor 5 na expressão supracitada.

- Área Mínima Mapeável (AMM): Esta tolerância é bastante utilizada no mapeamento de Solos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2007) a AMM é “determinada pelas menores dimensões que podem ser legivelmente delineadas num mapa ou carta, sem prejuízo da informação gerada nos trabalhos de campo, o que corresponde na prática, a uma área de 0,4 cm² (0,6 cm x 0,6 cm). A equivalência desta área no mapa, com a área correspondente no terreno, é função da escala final de apresentação”. Para uma escala de 1:250.000, a Equação 2 fornece o valor da AMM igual a 225 ha.

$$AMM = (\text{Denominador Escala} \times 0,6 \text{ cm})^2 \quad \text{Equação 2}$$

- Menor Área Mapeável (MAM): No mapeamento de uso da Terra, IBGE (2006) define a tolerância de representação para o termo na qual “considera-se adequado representar a menor área mapeável por um quadrado de 5 mm x 5 mm. A relação entre a menor área mapeada e a área real do terreno está vinculada à escala utilizada. Em um mapeamento na escala 1:250.000, por exemplo, a menor área mapeável equivale a 156,25 ha”, (Equação 3).

$$MAM = (\text{Denominador Escala} \times 5 \text{ mm})^2 \quad \text{Equação 3}$$

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar um comparativo entre as tolerâncias de representação AMR, MAM e AMM no processo de generalização cartográfica de polígonos de uso e cobertura do terreno na escala 1:250.000 utilizando-se da classificação não supervisionada de uma imagem orbital.

3. Material e Métodos

3.1 Material

a) Área de estudo

A área de estudo adotada nesta pesquisa corresponde a um trecho dos municípios de Corumbá e Ladário - Mato Grosso do Sul (MS), imageada pelo satélite Resourcesat-1 (IRS P6). A escolha da área de estudo deve-se a diversidade de tipos de uso e cobertura do solo, correspondendo a uma superfície de aproximadamente 1.590 km², compreendida pelas latitudes 18°54'40" – 19°10'20" sul e longitudes 57°09'36" – 57°39'28" oeste (**Figura 1**).

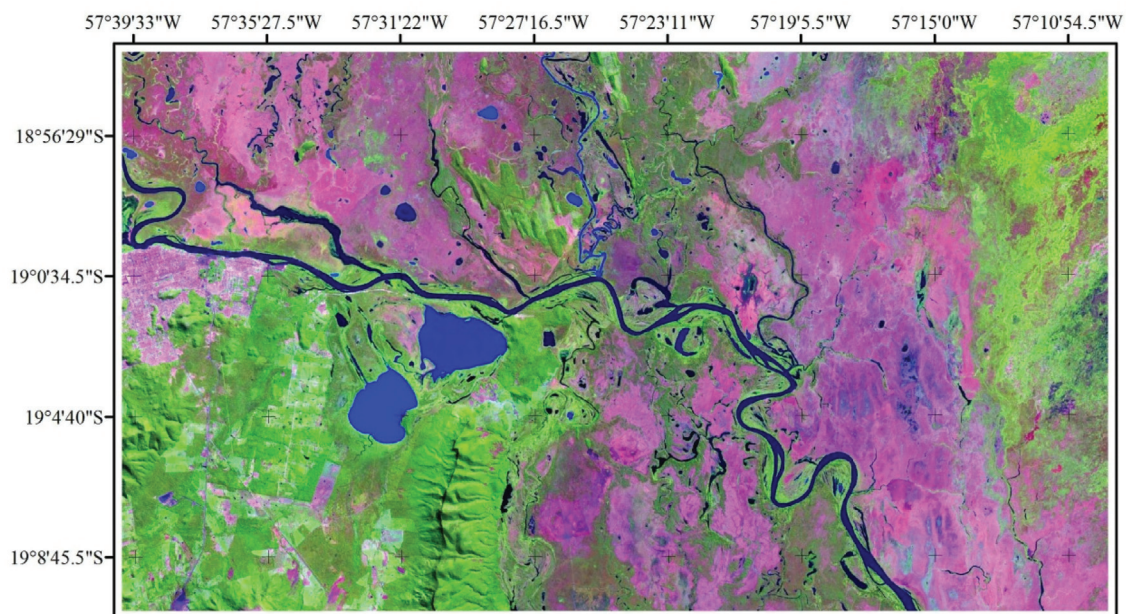


Figura 1. Imagem orbital da área de estudo (composição colorida falsa cor – bandas 5, 4 e 3 associadas as cores vermelho, verde e azul, respectivamente).

b) Imagem orbital

A base de dados utilizada corresponde a imagem orbital do satélite Resourcesat-1 (IRS P6), sensor LISS III, do programa Indiano de Satélites de Observação da Terra - ISRO (Indian Space Research Organisation), com quatro bandas espectrais (verde, vermelho, infravermelho próximo e médio) da região de Corumbá e Ladário - MS, recoberta pela

cena (órbita/ponto) 320/091 de 02/05/2012, ausente de cobertura de nuvens. A imagem foi adquirida gratuitamente por meio da página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

Tal imagem foi georreferenciada mantendo a projeção original UTM e datum WGS 84, tendo como referência pontos de controle distribuídos pela cena.

c) Software utilizado

Todas as etapas realizadas no desenvolvimento deste trabalho foram executadas em ambiente SIG utilizando o software ArcGIS 10.0.

3.2 Métodos

A metodologia adotada para avaliação das tolerâncias de representação esta resumidamente ilustrada no fluxograma da **Figura 2** e descrita nas seguintes etapas:

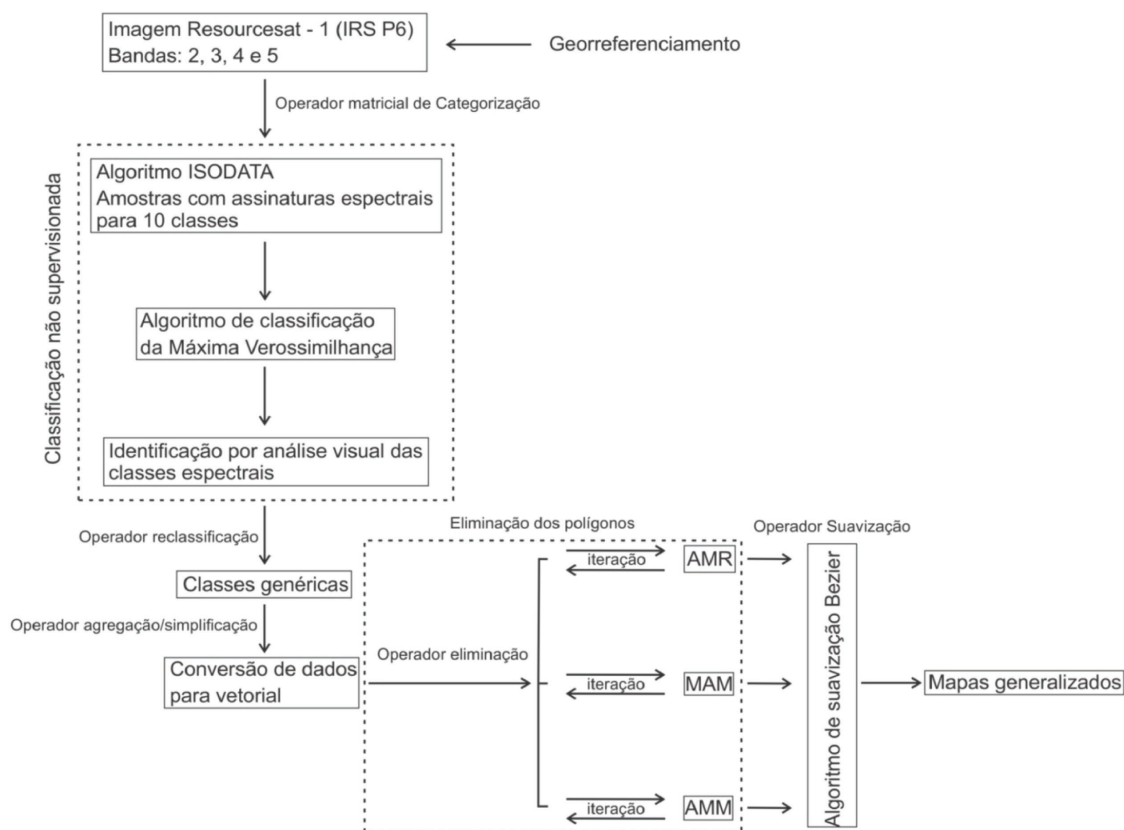


Figura 2. Fluxograma do processo de generalização cartográfica aplicado.

3.2.1 Classificação da imagem e obtenção das classes amostrais

a) Classificação não-supervisionada

Conforme Mather (2004), o processo de classificação de imagens consiste no reconhecimento das classes de feições presente na imagem e no terreno, sendo, assim, realizada uma categorização de cada pixel da imagem. O processo de categorização é numérico, podendo ser utilizado diversos algoritmos para a realização deste processo,

onde cada número gerado corresponde a uma classe de feição presente no terreno (Ex. Água, Pastagem, Mata, Solo Exposto, etc.).

Assim pode-se dizer que a classificação de imagens é a determinação da relação entre valores de cinza da imagem e fenômenos mapeados. Devido à complexidade de estabelecer uma relação válida para diversas imagens de diferentes sensores em diversos ambientes de imageamento, fez com que distintos métodos de classificação tenham sido desenvolvidos, cada um deles com limitações, vantagens e desvantagens. Segundo o grau de participação do usuário, esses métodos de classificação podem ser divididos em duas categorias: classificação supervisionada e não supervisionada.

No contexto deste trabalho será dada ênfase a classificação não supervisionada na qual o analista não contribui a priori com amostras a respeito da área, portanto não participa da seleção das classes, apenas escolhe o número de classes que deverá ser gerada. Esta tarefa é realizada a partir de algoritmos computacionais que analisam o conjunto de dados espectrais da imagem e nele identificam as classes espectrais gerando as assinaturas espectrais para cada classe. Os algoritmos mais conhecidos baseiam-se nos princípios de agrupamento estatístico, sendo um dos mais utilizados o algoritmo ISODATA. Em seguida utiliza-se um algoritmo de classificação.

b) Característica do algoritmo ISODATA

Resumidamente, o ISODATA é um algoritmo de agrupamento, onde o centro das classes espectrais são determinados iterativamente através do ajustamento das médias (média móvel) no decorrer dos processos de iterações. Neste algoritmo esta implementada a função de fusão ou divisão de classes espectrais. Ohata et al. (2005).

Ainda segundo esses autores as classes iniciais são pré-definidas pelo usuário e distribuídas ao longo do eixo diagonal do espaço atributo, que é representado por uma linha que se origina no ponto correspondente ao número máximo do nível de cinza de cada componente espectral. Se duas classes estão muito próximas e abaixo do limite estipulado, ocorrerá uma fusão das classes. Se a distância que a amostra apresenta da média das classes (centróide) for maior que a das classes existentes, esta será dividida em duas classes. A cada iteração será recalculada a média das classes espectrais e os pixels serão reagrupados de acordo com os seguintes critérios, IBGE (2001):

- 1 - As classes com desvio padrão muito grande serão subdivididas para formar classes menores;
- 2 - Classes que estão estatisticamente muito próximas serão fundidas; e
- 3 - Classes, com número pequeno de pixels, são eliminadas.

c) Procedimentos

Conforme demonstra o fluxograma, sobre a imagem orbital georreferenciada em composição colorida falsa cor (atribuição das cores vermelho, verde e azul as bandas 5, 4 e 3, respectivamente) foi empregado o algoritmo ISODATA para gerar uma amostra com assinaturas espectrais para 10 classes, agrupando aqueles pixels com características espectrais similares. Na sequência foi aplicado o algoritmo de classificação da Máxima Verossimilhança (MaxVer).

Segundo Ohata et al. (2005) citando Yang et al. (2002), o número de classes afeta diretamente a capacidade do algoritmo em capturar maior variedade de alvos da superfície do terreno contidos na imagem analisada. Se este número é pequeno, será gerada uma

classe espectral extensa e que não retrata a diversidade das classes espectrais que ocorrem na imagem, caso contrário mais puro é a classe espectral gerada.

Com o resultado desses processos de categorização realizou-se a identificação visual das 10 classes (**Tabela 1**). Cada classe foi sendo nomeada conforme identificada visualmente através da sobreposição da imagem orbital (**Figura 1**).

3.2.2 Generalização das classes amostrais utilizando alguns operadores semânticos e geométricos

A fim de reduzir as 10 classes originais identificadas em cinco classes mais generalistas, foi executada a reclassificação das classes originais semelhantes em tipos de uso e cobertura do solo para as cinco classes genéricas, conforme **Tabela 1**.

Os procedimentos executados até o momento são caracterizados pela utilização dos operadores matricial de categorização e classificação/reclassificação.

O próximo passo foi realizar a conversão da classificação do formato matricial (raster) para o formato vetorial, na forma de polígonos. Nesta etapa implicitamente está sendo utilizado o operador agregação, onde vários pixels de mesma categoria que estão adjacentes são agregados para formar um polígono vetorial. Ainda nesse passo foi utilizado o operador simplificação de forma a simplificar os limites dos polígonos gerados.

A etapa seguinte consistiu no cálculo da área para cada polígono representativo das classes genéricas.

De posse dos polígonos vetoriais com suas respectivas áreas, foi executado o operador eliminação, onde os polígonos com valores de áreas inferiores a tolerância, para determinado critério de representação, na escala de 1:250.000 foram eliminados. O processo de eliminação consiste na incorporação do polígono selecionado junto a polígonos vizinhos, onde a escolha deste a ser incorporado se dá pelo que contenha maior área ou maior comprimento de vizinhança compartilhada. ESRI, 2008. A eliminação de polígonos menores que uma certa tolerância é um processo iterativo, sendo repetido a seleção e eliminação até não houver polígonos com áreas inferiores a tolerância. As tolerâncias adotadas, segundo os critérios de representação, para a escala citada constam na **Tabela 2**.

Tabela 1 - As 10 classes originais identificadas agrupadas em cinco classes genéricas.

Classes originais identificadas	Classes genéricas
Lagoa ou Curso d'água	Lagoas ou cursos d'água
Vegetação de várzea	Vegetação
Vegetação semi-decídua	
Vegetação com influência fluvial	
Vegetação	
Floresta A	Floresta
Floresta B	
Pastagem ou Área agrícola A	Pastagem ou área agrícola
Pastagem ou Área agrícola B	
Área urbana ou solo exposto	Área urbana ou solo exposto

Tabela 2 - Área de tolerância de acordo com o critério de representação para escala 1:250.000

Escala	Critério de representação adotado no processo de generalização cartográfica	Valor da área de tolerância (ha)
1:250.000	Área Mínima Representável (AMR)	6,25
	Área Mínima Mapeável (AMM)	156,25
	Menor Área Mapeável (MAM)	225,00

Após executar o operador eliminação para cada critério de representação, foi utilizado por fim o operador suavização, com a finalidade de suavizar as bordas dos polígonos. Para realizar tal tarefa foi escolhido o algoritmo de suavização Bezier. Neste algoritmo não é necessário definir tolerância e a interpolação é realizada ajustando uma curva de Bezier entre os vértices do polígono, logo o polígono suavizado passará necessariamente nos vértices do polígono original. Santos (2012).

Com os resultados provenientes dos passos anteriores, na etapa final foi realizada a quantificação das áreas resultantes de cada classe para cada critério de representação adotado ao longo do processo de generalização, de maneira a se fazer um comparativo do grau de generalização. Também foram elaborados mapas temáticos representativo dos resultados obtidos.

4. Resultados e Discussão

Como resultados obtiveram-se três mapas temáticos generalizados para cada conceito de representação de acordo com suas tolerâncias. Um primeiro mapa apresenta as classes genéricas antes de serem submetidas ao processo de representação por tolerâncias. A sequência de **Figuras 3 a 6** permitem fazer um comparativo visual dos mapas e a **Figura 7** a análise em termos de porcentagem de área para cada classe versus critério de representação.

No decorrer da identificação das classes verificaram-se alguns erros provenientes do classificador, onde regiões de sombra foram classificadas na classe Lagoa ou cursos d'água.

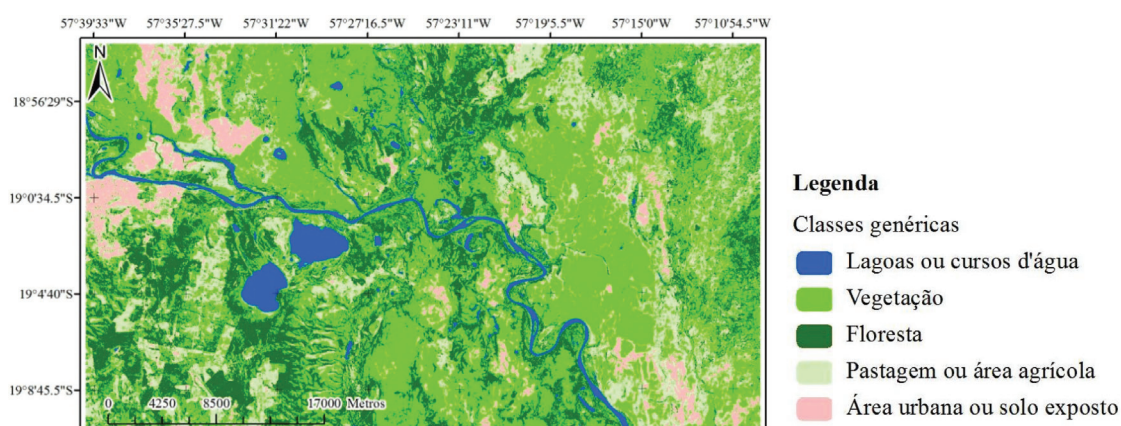


Figura 3. Imagem reclassificada em cinco classes genéricas sem tolerâncias de representação.

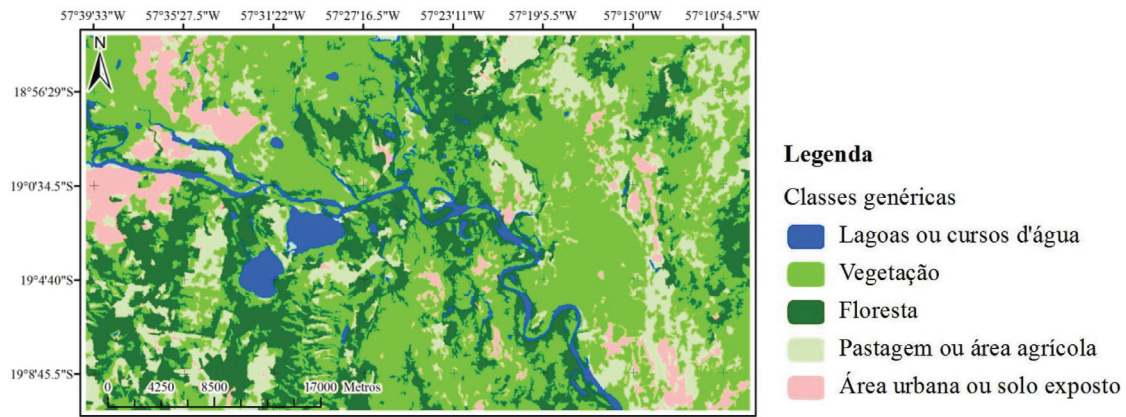


Figura 4 - Mapa generalizado de acordo com o critério AMR.

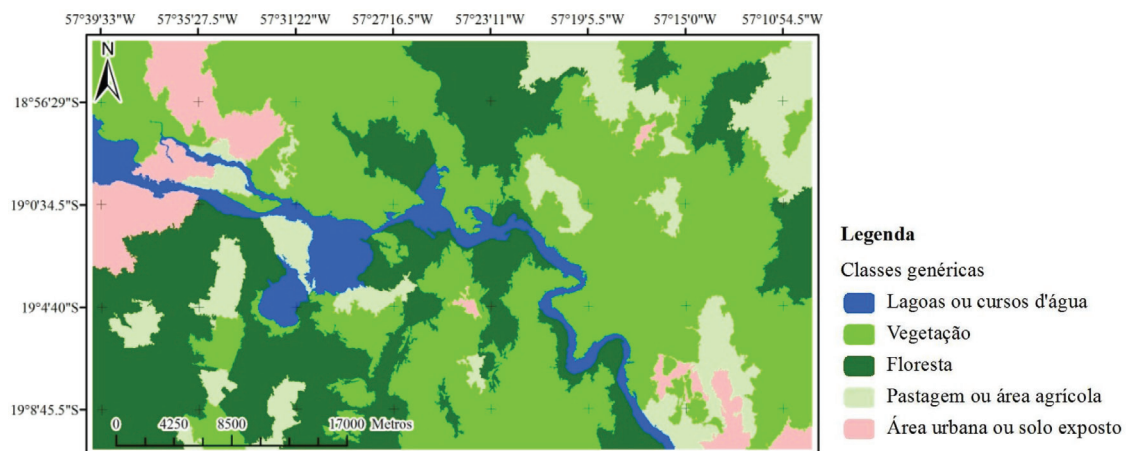


Figura 5 - Mapa generalizado segundo o critério MAM.

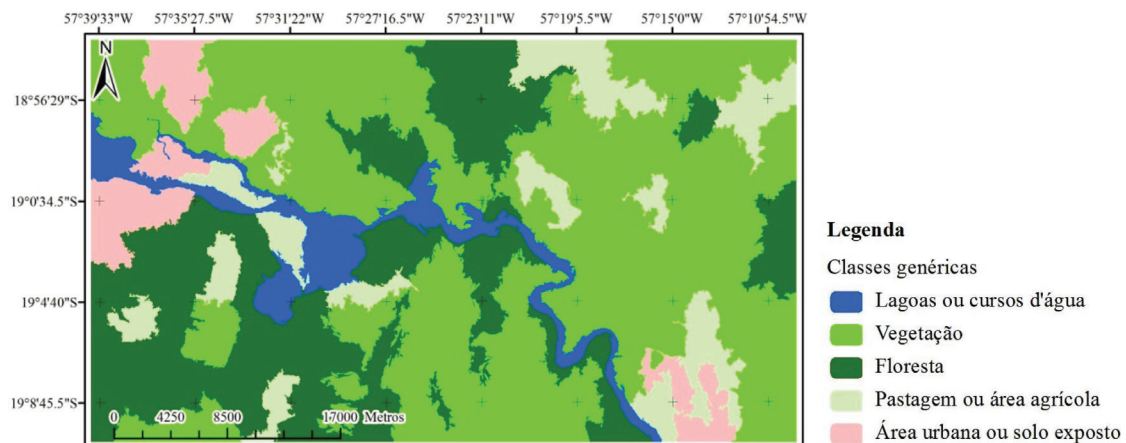


Figura 6 - Mapa generalizado segundo o conceito AMM.

Em aspecto quantitativo, a análise do gráfico acima demonstra que não ocorreram alterações significativas nas áreas dos polígonos representativos de cada classe quando utilizado critérios de generalização diferentes. A maior diferença observada foi na classe “Pastagem ou Área agrícola” onde a área teve uma diminuição utilizando os critérios MAM e AMM, sendo esta diminuição compensada nas outras classes. Percebe-se que nenhuma das classes foi subtraída no processo de generalização.

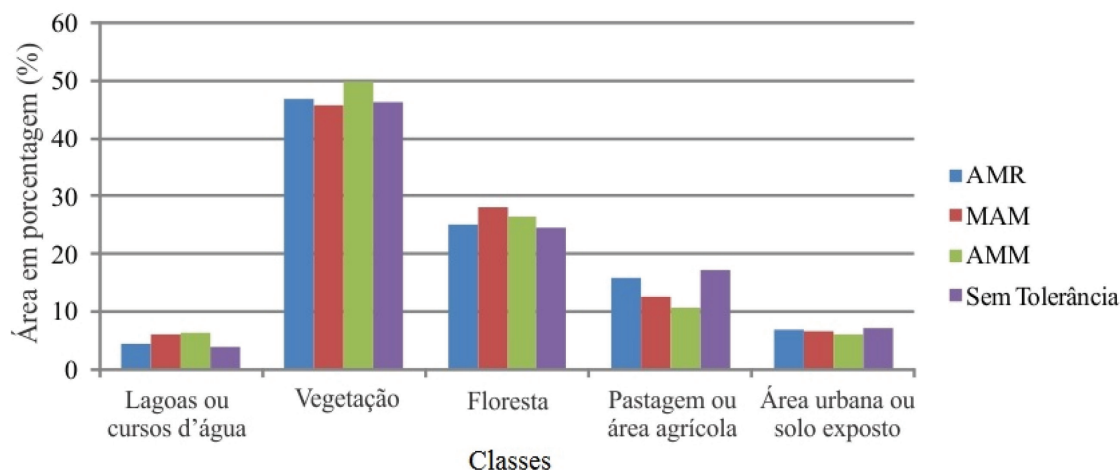


Figura 7. Relação porcentagem de área da classe por critério de representação.

No aspecto qualitativo houve mudanças significativas nos mapas após os procedimentos de generalização, onde os critérios MAM e AMM apresentaram um resultado final mais claro e legível, isto, devido as tolerâncias serem maiores que o critério AMR, causando um maior agrupamento de pequenos polígonos.

5. Conclusões

Para a área de estudo deste trabalho, o processo de generalização cartográfica com a utilização de três diferentes critérios de tolerâncias não causou alterações significativas no valor das áreas totais dos polígonos representativos de cada classe. Porém, são verificadas visualmente modificações expressivas no grau de pureza da representação das mesmas com influência direta sobre a qualidade dos mapas.

Na generalização cartográfica é fundamental que o produtor aplique a tolerância de representação que seja conveniente ao tipo de mapa, área de estudo e a finalidade da generalização para determinada escala.

6. Referências

- ESRI. 2008. ArcGIS 9.3 Desktop Help.
- IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2. ed. Manuais Técnicos em Geociências nº 7. Rio de Janeiro. IBGE, 2006. 91 p.
- IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Manuais Técnicos em Geociências nº 4. Rio de Janeiro. IBGE, 2007. 316 p.
- IBGE. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Manuais Técnicos em Geociências nº 9. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 91p.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <<http://www.inpe.br/index.php>> Acesso em: 11 jun. 2012.
- Jones, C. B.; van der Poorten, P. M. Customisable Line Generalization using Delaunay Triangulation. University of Glamorgan. **International Journal Geographical Information Science**, v. 16, n. 8, p. 773-794, 2002.
- Lopes, J. **Generalização cartográfica**. 2005. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra)- Universidade de Lisboa, Lisboa. 2005.
- Mather, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 3. ed. Nottingham, UK: John Wiley, 2004. 324 p.

McMaster, R. B.; Shea, K. S. **Generalization in Digital Cartography**. 1. ed. Washington, US: Association of American Geographers, 1992. 133 p.

Ohata, A. T.; Quintanilha, J. A. O uso de algoritmos clustering na mensuração da expansão urbana e detecção de alterações na Região Metropolitana de São Paulo (1991 - 2002). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 04., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2005. p. 647-655. Disponível na biblioteca digital URLib: <ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.15.43>. Acesso em: 14 jun. 2012.

Rodrigues, D. D. Notas de Aulas de Fotogrametria Digital I. Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009. 117 p.

Santos, A. P. Notas de Aulas de Cartografia Digital I. Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012. 14 p.

Vergara, O. R.; Cintra, J. P.; D'Alge, J. C. L. Atualização cartográfica integrando técnicas de sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistemas de informações geográficas. In: Simpósio Latino Americano de Percepción Remota, 10., 2002, La Paz. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2002. Disponível na biblioteca digital URLib: <dpi.inpe.br/~julio/arquivos/Selper>. Acesso em: 15 jun. 2012.