Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Especialização em Geoprocessamento e Análises ambientais

Extração de rodovias pavimentadas em imagens digitais de alta resolução de áreas urbanas baseada em análise orientada a objeto

Lucas Tavares Sobral

Artigo de conclusão do Curso de Especialização

Orientador: Prof. Dr. Henrique Lacer Roig

Brasília, DF
2013

EXTRAÇÃO DE RODOVIAS PAVIMENTADAS EM IMAGENS DIGITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO EM ÁREAS URBANAS BASEADA EM ANÁLISE ORIENTADA A OBJETO

Lucas Tavares Sobral

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Brasil – lucasobral@gmail.com

Orientador: Henrique Lacer Roig

Abstract:

The automated processes of feature extraction in remote sensing images constitutes on analysis tools that provide important informations on land cover management in urban space. Based on simple routines it favor speed and efficiency strategies for decision making and intervention in infrastructure.

It was performed an supervised classification of high resolution image-based object-oriented analysis, combined with a vectoring axle of the extracted roads from the resulting raster to create a shapefile from the road network of the high spatial resolution image.

The metodology did not obtained accurate results, however methods that can refine the process and produce more accurate results in future work were raised during research.

Resumo:

A automação dos processos de extração de feições em imagens de sensoriamento remoto constitui uma das ferramentas de análise das informações sobre a cobertura do solo importante para a gestão do espaço urbano. Baseada em rotinas simples, favorecem a rapidez e a eficiência nas estratégias para tomada de decisão e intervenção na infraestrutura.

Utilizando uma classificação de imagem de alta resolução baseada em análise orientada a objeto, combinada com uma vetorização do eixo das rodovias extraídas a partir do raster resultante, gerou-se um arquivo shapefile das linhas centrais de parte das rodovias da imagem utilizada.

A metodologia utilizada não favoreceu a obtenção de resultados contundentes, no entanto, foram levantados durante o processo de pesquisa, outros métodos que podem refinar o processo e produzir resultados mais acurados em trabalhos futuros.

1. Introdução

Os processos de tomadas de decisão, principalmente no âmbito da gestão pública, devem ser pautados por análises que descrevem a situação atual e possibilitam a integração de diferentes dados para ações de planejamento. No planejamento urbano, há a necessidade da compilação de informações sobre infraestrutura, principalmente relativas à malha viária. Processos que facilitam a aquisição desses tipos de dados devem ser desenvolvidos a fim de automatizar as rotinas de processamento. O presente trabalho se propõe a testar uma metodologia de extração de feições lineares correspondentes às rodovias pavimentadas em um processo de análise orientada a objeto em imagens digitais de alta resolução em um cenário urbano.

1.1. Imagens de alta resolução espacial

Com a evolução dos equipamentos sensores, as imagens orbitais, com resoluções espaciais submétricas, proporcionaram uma nova abordagem nos estudos de sensoriamento remoto e processamento de imagens. Principalmente nos estudos de áreas urbanas, onde a complexidade do cenário precisa ser resolvida com a discretização de objetos de menores dimensões, informações sobre características espectrais dos objetos urbanos podem contribuir para incrementar o processo de classificação. Segundo Freitas (1997) apud Meneses (2012), além de uma resolução de 2 a 3 metros de pixel, necessária para identificar uma construção residencial, uma boa resolução espectral contribui para a diferenciação das diferentes feições no espaço intra-urbano devido à alta diversidade dos materiais que constituem a cobertura do solo.

Alguns sensores de alta resolução espacial funcionam com dois módulos de imageamento, um multiespectral com resolução espacial de até 2 metros e um pancromático com resolução submétrica.

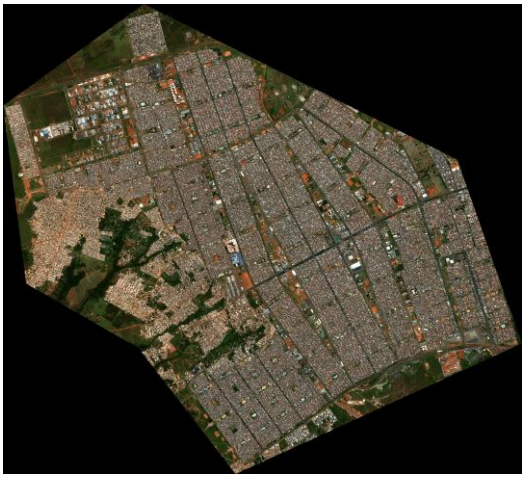

Fig. 1. Composição RGB da cena em alta resolução.

A partir daí, existem inúmeras técnicas para se extrair dados nas mais diferentes análises que, segundo

Leonardi *et all*. (2005), combinam imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem que destaque melhor as feições de interesse.

1.2. Extração de feições

Dal Poz (2007) considera a tarefa de extração de feições, ser composta por duas etapas: delineamento e reconhecimento. Nos métodos de extração de feições automáticos, ambas as etapas são desempenhadas sem a necessidade de um analista e nos processos semi-automáticos seu conhecimento sobre o objeto é relevante para o reconhecimento do alvo. No entanto, nenhuma das técnicas semi ou automáticas provaram ser mais acuradas do que a visão humana. É desejável que os métodos de extração de feições tenham o maior nível de automação possível, já que é grande a quantidade de dados envolvidos em análises de imagens digitais de alta resolução. Para que haja eficiência na atualização dos bancos de dados, têm-se desenvolvido técnicas para que o tempo de processamento dessas informações seja o menor possível, mantendo a qualidade.

A partir da identificação dos alvos é possível agrupá-los em classes de interesse. A classificação é utilizada para o mapeamento temático representando decisões quantitativas sobre padrões de cobertura de solo baseado em suas características espectrais, espaciais e temporais (Nóbrega 2007).

No caso particular de extração de rodovias, surgiram alguns métodos na literatura. Dal Poz (2007) cita estratégias semi-automáticas baseadas em contorno ativo *snakes*, otimização por programação e programação dinâmica; e automáticas, que utilizam informações contextuais e conhecimentos *a priori* sobre as rodovias. Dados de altitude obtidos por sensores ativos como Radares ou Lasers podem ser integrados para incorporar aos algoritmos de extração, modelos digitais de elevação e imagens digitais (Martins et all 2012). Nobrega (2007) descreve uma metodologia baseada em classificação orientada a objeto que considera não apenas a resposta espectral, mas identifica objetos por similaridade na resposta espectral dos pixels que os compõem e os correlaciona com atributos espaciais como forma e vizinhança.

1.3. Análise Orientada a Objeto

Apesar das evoluções na qualidade e precisão na aquisição dados de sensoriamento remoto, a classificação pontual baseada no padrão da

característica espectral do pixel remete a um conceito básico do começo do desenvolvimento das técnicas de processamento de imagem. Os modelos que recorrem a técnicas baseadas em informações pontuais dos pixels favorecem a definição de classes descontínuas produzindo o efeito *Salt and Peper.* Novas análises incorporando dados espaciais incrementam o processo de classificação na identificação de alvos no tecido urbano. Recentes trabalhos apontam a análise de imagens baseada em objetos, em inglês, *Object Based Image Analisys (OBIA),* como uma metodologia para se processar imagens multiespectrais de alta resolução pela sua capacidade de discriminar elementos em cenários complexos como o urbano (G.J. Hay & G. Castilla, 2006).

G.J. Hay & G. Castilla (2006) também definem que a OBIA é uma disciplina que visa particionar imagens de sensores remotos em objetos relevantes e acessar suas características em escalas espacial, temporal e espectral. Seu objetivo é desenvolver uma metodologia apropriada o bastante para replicar a capacidade da visão humana em reconhecer objetos de forma semi ou automática, diminuindo o custo e o tempo de processamento.

A classificação orientada a objeto tem como procedimentos básicos a especificação dos objetos de interesse, a segmentação, a definição de regras de classificação e a classificação em si, fundamentada nas correlações intra e interobjetos (Nóbrega 2007).

2. Materiais e Métodos

2.1. Imagem do WorldView II

Para testar a metodologia, foram utilizadas recortes de duas imagem de alta resolução espacial do sensor orbital WorldView II: uma imagem pancromática (resolução espacial de 0,5 m) e uma imagem multiespectral com quatro bandas espectrais: 450-510 nm (azul) ;510-580 nm (verde); 630-690 nm (vermelho); e 770–895 (infravermelho próximo) (resolução espacial de 2,0 m); de 12 de maio de 2007 na cidade de Ceilândia, DF.

Fig. 2. Recorte da imagem WordView II utilizado no trabalho (Composição RGB: 321).

A área original de imagem era de aproximadamente 52 quilômetros quadrados, mas o recorte utilizado

compreende uma área de 3,5 quilômetros quadrados. A área foi escolhida por representar uma complexa cena urbana, um bom exemplo para verificar a robustez do método.

2.2. ENVI 4.8

O *software* ENVI 4.8 se apresenta como uma solução para extração de informação de imagens digitais georreferencidas. Neste trabalho foi utilizada a ferramenta NDVI do menu *Transforms* para extrair uma máscara da área coberta por vegetação fotossintéticamente ativa. As operações de transformação consistem na mudança dos valores dos dados da imagem para melhorar a apresentação da informação (ITT 2009). O NDVI é um índice normalizado composto por uma operação entre as bandas do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR) a fim de atribuir valores entre -1 e 1, correspondentes à presença, ou não, de vegetação. O algoritmo padrão é representado pela função:

NDVI= (NIR – RED / NIR + RED)

Através de amostragem visual na imagem multiespectral, pôde-se atribuir valores entre 0,2 e 1 como áreas cobertas por vegetação. Foi então exportada a máscara em formato Tiff para ser utilizada no módulo de extrações de feição do *software* ENVI EX para a filtragem de dados sobre áreas que não seriam classificadas, diminuindo a confusão no delineamento automático dos objetos de classes na classificação final.

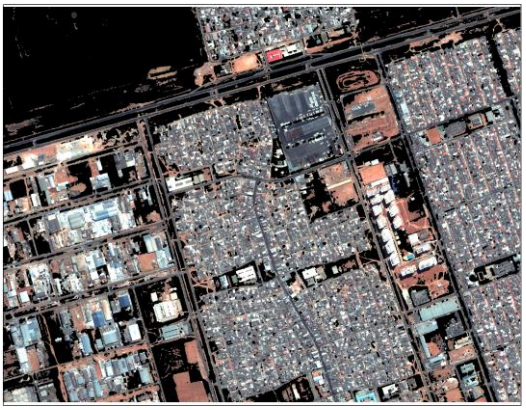

Fig. 3. Máscara aplicada sobre composição RGB: 321.

2.3. ENVI Feature Extraction Module

Apesar de haver metodologias que apresentavam resultados melhores, o conhecimento necessário para aplicação de tais modelos demandava uma pesquisa extensa e consulta a especialistas familiarizados com tais linguagens. Optou-se pelo software Envi EX pela praticidade da interface na inserção de parâmetros para diferenciar as classes de objetos e que não demanda apurados conhecimentos de programação em SIG.

O ENVI Feature Extraction (FX) é um módulo do *software* ENVI EX para extração de informação de imagens de alta resolução pancromáticas ou

multiespectrais baseado em características espectrais, espaciais e texturais. A interface intuitiva permite o emprego de mais esforço interpretando resultados do que entendendo os detalhes de processamento. Na abordagem de análise orientada a objeto para classificar imagens, o software extrai múltiplas feições definindo objetos como regiões de interesse de acordo com suas características espaciais, espectrais e texturais (ITT 2008).

O processo de extração pode ser simplificado pelo fluxograma abaixo:

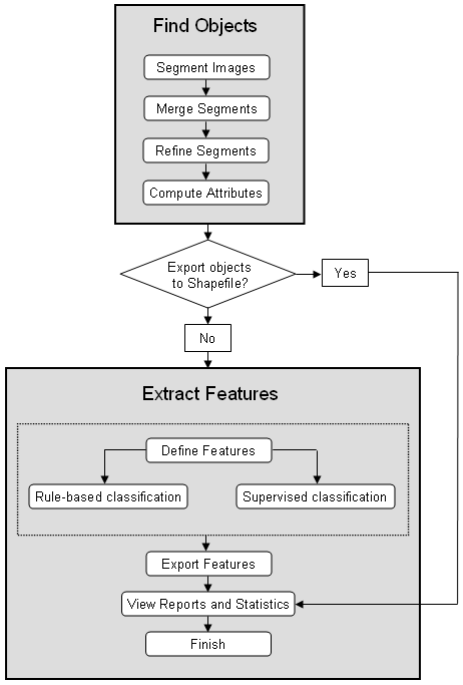

Fig. 4. Workflow do módulo ENVI FX (ITT 2008).

A segmentação da imagem em regiões de pixels com valores similares é realizada por um algoritmo de identificação de bordas que elimina as bordas fracas em função de parâmetro definido pelo operador. (ITT 2008). Quanto maior o valor utilizado na segmentação, menor o número de segmentos gerados nesta etapa. O valor estipulado para a segmentação, neste trabalho, foi de 35.0.

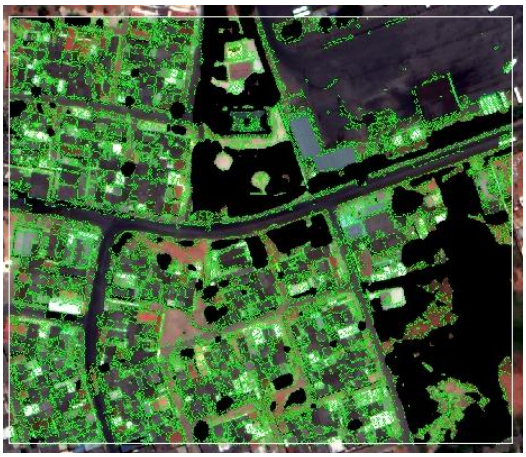

Fig. 5. Janela de pré-visualização do ENVI FX. durante segmentação.

O passo subsequente é a fusão de segmentos menores relacionados, o que resolve problemas onde há maior heterogeneidade de textura, como árvores ou campos (ITT 2008). Nesta etapa, o parâmetro inserido foi um *merge* de 80.0

Na fase de refinamento, a utilização de um *threshold* na banda do infravermelho próximo, filtrando valores digitais acima de 95.0 e abaixo de 20.0, possibilitou a construção de outra máscara, filtrando alguns objetos das classes de telhados brancos, cerâmicos e solo exposto.

A última etapa da fase de delineamento de objetos é a computação de atributos que define, dentre os espaciais, espectrais e de textura, quais serão

utilizados para a classificação; assim como o *color space* que consiste nos atributos de matiz, saturação e intensidade.

Fig. 6. Passo de refinamento: Theshold na banda do infravermelho próximo.

O *band ratio,* é uma razão normalizada entre duas bandas da imagem multiespectral, definida pela equação:

(B2 – B1)/ (B2 + B1 + eps),

onde eps é um valor pequeno para evitar a divisão por zero (ITT 2008). Como a máscara da vegetação já havia sido inserida como dado auxiliar no início do processo, o atributo de *band ratio* não contribuiu significativamente para diferenciar os objetos. No entanto, todos os atributos foram computados.

A partir da computação de atributos e delineamento dos objetos, a próxima fase do *workflow* consiste na classificação dos mesmos. O ENVI FX apresenta dois métodos de classificação: supervisionada e baseada em regras.

O método de conjuntos de regras utiliza operadores baseados em lógica *fuzzy* que definem o grau de pertinência para cada objeto em relação cada classe determinada e os classifica em função da que houver maior valor de confiança (ITT 2008).

A classificação supervisionada, utilizada neste trabalho, consiste no processo da utilização de conjuntos de objetos com identidades conhecidas para servirem referência para a classificação dos outros objetos da imagem e categoriza-los entre as classes pré-definidas (ITT 2008).

Após a filtragem de dados utilizando as máscaras do NDVI e do refinamento por *threshold*, as classes definidas foram: rodovias pavimentadas, rodovias sujas, estacionamentos, solo exposto, sombra, telhado de concreto, telhado cerâmico e telhado metálico ou branco.

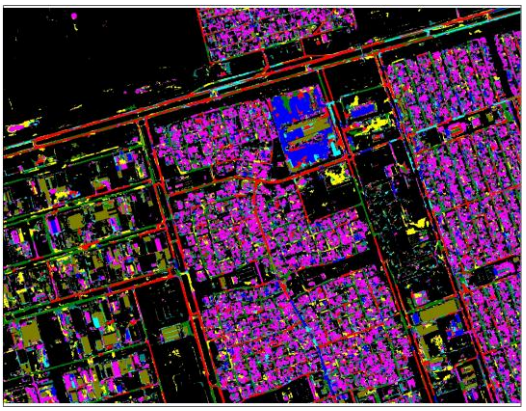

Fig. 7. Classificação supervisionada: rodovias pavimentadas (vermelho); rodovias sujas (verde); solo exposto (amarelo); estacionamentos (azul); telhados de concreto/amianto (rosa); telhados cerâmicos

(azul-escuro); telhados metálicos/brancos (verde-escuro); sombras (ciano).

O algoritmo de classificação foi o *K-Nearest Neigbor,* com parâmetro 3, que se baseia na distância euclidiana dos objetos mais próximos para definir por voto majoritário a que classe o exemplo desconhecido vai pertencer.

2.4. Módulo ArcScan para ArcGis Desktop 10

O raster resultante da classificação foi então reclassificado, utilizando a ferramenta *Reclassify* da extensão *Spatial Analyst* que atribui novos valores para os pixels de uma imagem redefinindo o número digital de saída de acordo com definição do usuário. Nesta etapa, aos pixels das classes com valores de 1 e 2, rodovias pavimentadas e rodovias sujas, respectivamente, foi atribuído valor igual a 1. Às outras classes, solo exposto (3), sombra (5), estacionamentos (4), e os três tipos de telhados (5, 6 e 7) foi atribuído valor 0. O resultado foi uma imagem binária, o formato ideal para a extração das linhas centrais das rodovias extraídas.

O *ArcScan* é uma extensão do *software ArcGis Desktop 10* que traz uma variedade de operadores que editam *raster datasets* e convertem imagens binárias em vetores (ESRI 2011). Pode ser utilizada para vetorizar mapas escaneados ou, neste caso, uma imagem reclassificada.

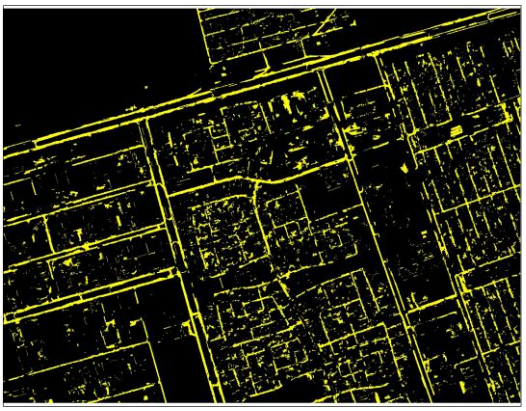

Fig. 8. Imagem reclassificada

O módulo de *Raster Cleanup* consite em operadores morfológicos que processam o raster a fim de refinar os polígonos extraídos, diminuindo ruídos dentro e fora das rodovias identificadas.

Primeiramente, foi utilizado o operador *Erosion* para reduzir a largura das linhas mantendo a orientação original das rodovias na imagem original (ESRI 2011). Com isso, alguns polígonos identificados como ruídos foram eliminados. Em seguida, o operador *Dilation* foi utilizado para aumentar a espessura das feições lineares e fechar buracos na malha, geralmente resultantes da confusão do classificador ou presença de veículos e vegetação que se projetam sobre as vias.

A vetorização automática foi feita a partir desta imagem binária tratada. O módulo de vetorização também requer uma definição de parâmetros para linearizar as feições do raster.

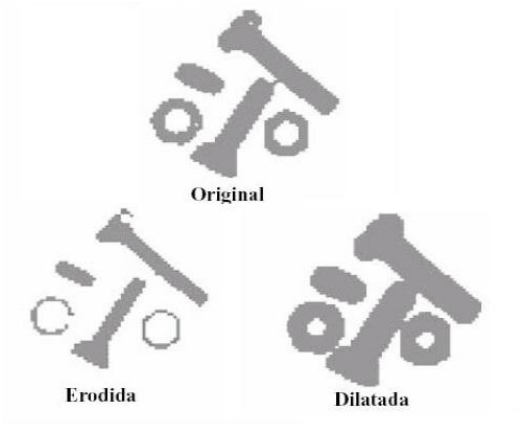

Fig. 9. Operadores morfológicos utilizados (Nóbrega 2007).

A janela de *Vectorization Settings* permite a manipulação dos parâmetros de vetorização fornecendo uma conferência simultânea de cada alteração de valor no resultado por uma pré-visualização, tornando o processo interativo e dinâmico.

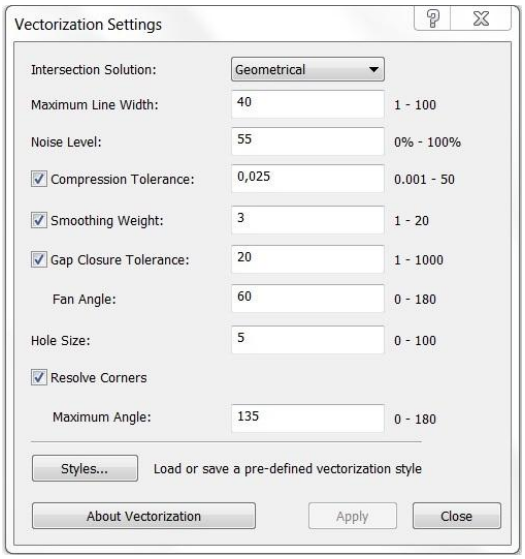

Fig. 10. Aba de ajustes da vetorização do ArcScan.

Nesta janela define-se o modelo de generalização para intersecções; a largura máxima das linhas a serem vetorizadas, onde valores maiores que o definido são classificados como polígonos e excluídos da vetorização; o nível de ruído do raster tratado; a tolerância de compressão, relativa ao número de vértices da linha resultante; a suavização do traçado; a tolerância de espaços entre as linhas; o ângulo de busca para conexão de extremidades; o tamanho de buracos a serem desconsiderados; e o tratamento das esquinas que consistiu em definir o começo e o final dos segmentos concorrentes nos seus pontos de intersecção.

3. Resultados

Durante o processo de extração houve constantes releituras dos resultados parciais e retomada da definição anterior de parâmetros das ferramentas de processamento. No entanto, alguns problemas não puderam ser contornados com os dados utilizados.

Um deles foi o problema de identificação de objetos. A similaridade da resposta espectral de alvos distintos como asfalto e telhados de concreto ou amianto, vias sujas e solo exposto, culminou no agrupamento de pixels de identidades diferentes na fase de delineamento dos objetos, comprometendo a identificação da descontinuidade dos alvos relacionados a classes de objetos do mundo real. Nos aglomerados residenciais ou nas áreas onde a via

estava coberta por sedimentos, a segmentação misturou pixels de objetos vizinhos assim como a fusão dos segmentos uniu objetos distintos, alterando os padrões de formas dos alvos.

Outro fator que limitou o poder de extração do processo foi o grande número de sobreposições nas rodovias. Seja por árvores cujas copas avançam sobre as vias, carros ou sombras projetadas por edificações adjacentes, resultando, inevitavelmente, em descontinuidades e descaracterizações da malha viária em diversas situações.

Fig. 11. Descontinuidade na malha viária causadas por sobreposição de sombra (a) e árvores (b).

A máscara de vegetação, gerada pela subtração dos pixels que foram identificados como algum tipo de vegetação provou ter sido eficiente na filtragem de objetos que poderiam interferir na diferenciação entre classes. Apesar da falta de um dado primário que corrobore com o resultado, a resolução da imagem permite a discretizaçao dos objetos de interesse por análise visual nas diferentes composições do espaço RGB e índice normalizado de vegetação para separar essa classe de cobertura do solo.

O processamento da imagem classificada, dentro da extensão *ArcScan* e extração das feições lineares ficaram comprometidos em virtude da falta de consistência no dado da classificação. Mesmo aumentando os parâmetros de busca de segmentos próximos do programa para sanar problemas de descontinuidade da malha, ainda sim, as falhas na vetorização permaneciam.

Fig. 12. Sobreposição do resultado da vetorização do eixo das rodovias com a composição RGB: 321.

4. Conclusão e estudos futuros

Em função dos resultados obtidos, ficou claro que a metodologia desenvolvida não tem a capacidade de resolver uma cena urbana complexa

isolando um tipo de feição. As informações compiladas não foram suficientes para separar as rodovias num cenário tão complexo. No entanto, a extração de feições baseada a análise orientada a objetos pode ser incrementada com a integração de outros dados auxiliares. Assim como mencionado na fundamentação teórica, modelos digitais de terreno agregam informações de textura e altitude (Dal Poz et all, 2012). A utilização de índices como o Indice normalizado de rodovias (NRI – Normalized Road Index) ou Indicador de sombra , na fase de pré-processamento (Nóbrega 2007). Um dos pontos onde houve confusão por parte do algoritmo de separação de objetos foi a confusão entre sombra e rodovias mais emborrachadas, portanto mais escuras. O realce destes objetos poderia ser utilizado em trabalhos futuros para destacar as feições de interesse. O autor deste trabalho também propõe uma análise de componentes principais da imagem multiespectral na definição de planos de informação a fim de separar os alvos por meio de classificação orientada a objeto baseada em um conjunto de regras a cerca das características espectrais, espaciais e texturais dos objetos. Demandam-se assim, mais conhecimentos do operador.

Outros métodos de análise de resultados podem ser empregados como análise de correlação linear para estimar a precisão da extração da malha viária e quantificação dos erros de omissão e comissão, descritos em Nóbrega (2007). A mera análise visual, neste artigo foi suficiente para desconsiderar a metodologia como uma forma precisa na extração das rodovias porque as áreas classificadas erroneamente foram muito significativas. Após o refinamento do processo, e se esse demonstrar maior robustez em atingir a meta da análise, testes mais acurados podem ser necessários para avaliar o sucesso da nova proposta, fator importante para validar a qualidade do processamento.

A ideia de testar uma rotina simples para aquisição de informações sobre o espaço urbano mostrou-se ser uma questão complexa em que há a necessidade de mais dados para explorar o universo multidimensional dos atributos dos objetos em uma imagem de alta resolução para ser eficiente.

Bibliografia

DAL POZ, A. P. ; ZANIN, R. B. ; VALE, G. M. **Extração automática de feições rodoviárias em imagens digitais**. SBA. Sociedade Brasileira de Automática, v. 18, p. 44-54, 2007.

ESRI. Arcgis 10 help. 2011.

FREITAS, M.A. O uso de imagens de satélite na análise dos padrões de

verticalização em áreas metropolitanas: estudo de caso: São Paulo. 1997. In: Meneses, P. R.; Almeida, T. (Org.). **Introdução ao processasmnto de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: UNB, 2012, 266p.

HAY, G. J.; CASTILLA, G.C. **Object-Based Image Analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT)**. Bridging Remote Sensing and GIS: International Symposium on Object-based Image Analysis. Salzburg Center for Geoinformatics. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 2006. Com VI, WG VI/4, 5p.

ITT: Visual information solution. ENVI Feature Extraction Module User's guide. 2008.

ITT: Visual Information Solution. ENVI EX User's Guide. Dezembro, 2009.

LEONARDI, S. S.; ORTIZ, J. de O.; FONSECA, L. M. G. **Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4111-4113.

MARTINS, E. F. de O; DAL POZ, A. P.; ZANIN, R. B. **Extração semiautomática de rodovias no espaço-objeto: uso integrado de um estereopar de imagens aéreas e um MDT**. Boletim de Ciências Geodésicas (Online), Universidade de São Paulo, USP, Brasil, 2012. v. 18, p. 446-463.

NOBREGA R. A. de A. **Detecção da malha viária na periferia urbana de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.