EXTRAÇÃO DE SEGMENTOS DE EIXOS DE ESTRADAS VICINAIS EM IMAGENS PANCROMÁTICAS COM A BIBLIOTECA MVTEC HALCON®

Érico Fernando de Oliveira Martins [1,2]
Aluir Porfírio Dal Poz [2]
José Marcato Junior [3]

[1] Universidade do Estado de Mato Grosso – Unemat/FACET
78.550-124 - Sinop - MT, Brasil
profericomartins@unemat.br

[2] Universidade Estadual Paulista – Unesp/FCT
19060-900- São José dos Campos - SP, Brasil
aluir@fct.unesp.br

[3] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/FAENG
79070 - 900 – Campo Grande - MS, Brasil
jose.marcato@ufms.br

Abstract. Brazil has a network of roads exceeding 1.7 million miles. The need for information regarding this network fosters a demand for updated map data, and its extraction in images is a common theme in journals in the field of Geosciences. The predominant methods in the literature have in common the fact that they operate primarily with the radiometric response characteristic of asphalt blanket and the basic geometric aspects related to the design of roads. However, 87% of the roads are unpaved in Brazil and a large part has a typical geometric behavior plotted in natural course, which characteristics are of rural roads. This paper presents a semiautomatic method for extracting segments of axes of rural roads in satellite images, with the particularity the use of optimized algorithms of computer vision MVTec Halcon® library, and the use of panchromatic images of CBERS-2B HRC platform. The method starts with the application of an enhancement in the image in order to highlight the edges, followed by a smoothing with Anisotropic Diffusion. Finally, we applied the detector lines Steger. To evaluate the performance of the method experiments were performed in two images. The results were analyzed visually and the segments extracted axes are sufficient to recover the geometry of rural roads. For future work, we intend to explore further filtering processes.

Palavras-chave:photogrammetry, DIP, road extraction, fotogrametria, PDI, extração de rodovia.

1. Introdução

Estima-se que mais de 60% do transporte de cargas no Brasil faz uso das rodovias, movimentando uma frota de 1,17 milhões de caminhões em uma malha de 1,7 milhões de quilômetros (ANTT, 2009). Assim, devido à sua importância para a rede de transporte nacional, constantemente as iniciativas públicas e privadas necessitam de informações a respeito desta malha, fomentando uma demanda contínua por dados cartográficos atualizados. Como este cenário se repete em muitos outros países, a feição rodovia recebe atenção de pesquisadores a várias décadas, sendo a sua extração em imagens um tema corriqueiro nos periódicos científicos da área de Geociências. Dos trabalhos pioneiros de Bajcsy e Tavakoli (1976) e Quam (1978) até os dias de hoje, surgiram uma grande variedade de métodos que exploram diferentes aspectos das características radiométricas, geométricas, topológicas, funcionais e contextuais das rodovias. Mais recentemente, com a crescente integração de dados tornou-se relevante também o espaço de formulação do problema, que pode ser o espaço-imagem, espaço-objeto ou em ambos os espaços - imagem e objeto - (GALLIS et al.,2005; DAL POZ et al., 2006; DAL POZ et al., 2010a; DAL POZ et al., 2010b, MARTINS et. al. 2012, DAL POZ et al., 2012). De maneira geral, os métodos anteriormente citados têm em comum o fato de operarem prioritariamente com a resposta radiométrica característica da manta asfáltica e o aspecto geométrico básico relacionado com o projeto de rodovias. No

entanto, 87% da malha viária nacional não está pavimentada e uma grande parte apresenta um comportamento geométrico típico de traçado em leito natural, características marcantes das estradas vicinais e que exigem o desenvolvimento de algoritmos adequados para sua extração (Mena e Malpica, 2005; Silva et al., 2010). Assim, há uma reconhecida demanda acadêmica por métodos de atualização de malhas viárias vicinais em bases de dados cartográficos. Considerando ainda, que a atualização de malhas viárias normalmente pressupõe que sejam utilizados dados (pontos ou segmentos), que descrevam (grosseiramente ou não), a geometria das vias em alguma etapa do processo (Song et al., 2009). O presente artigo propõe um método semiautomático de extração de segmentos de eixos de estradas vicinais em imagens orbitais pancromáticas, fazendo uso da biblioteca computacional MVTec Halcon, para fornecer dados (segmentos) a um processo global de atualização de malhas viárias vicinais.

2. Método

O método aqui proposto (subseção 2.2), apresenta-se como uma possível solução para uma das etapas previstas em outro método (subseção 2.1), de caráter mais abrangente, que encontra-se em fase de desenvolvimento. Tais métodos serão detalhados a seguir.

2.1 Contextualização do Método

O método que encontra-se em desenvolvimento e que fará uso dos processos propostos neste artigo, visa fornecer um arquivo vetorial que descreva de forma acurada os eixos de um conjunto de estradas vicinais topologicamente conectadas, formando uma malha. O processo fará uso de uma malha viária preexistente, no formato vetorial, que necessite de correção geométrica para passar a descrever de forma mais acurada as estradas correspondentes. Esta correção será realizada através das seguintes etapas: 1) Extração de segmentos de eixos das estradas na imagem orbital; 2) determinação de pontos correspondentes entre os segmentos extraídos e a malha preexistente; 3) translação e rotação da malha preexistente via transformação ortogonal plana.

Nota-se que a extração dos segmentos de eixos das estradas vicinais na imagem, apesar de não exigir uma descrição completa da via e ser tolerante a falsos positivos, é uma importante etapa no método em desenvolvimento. O presente artigo apresenta uma possível solução para esta etapa.

2.2 Apresentação do Método

A sequência dos processos que compõem o método aqui proposto (Figura 1), é bem estabelecida no processamento digital de imagens, já tendo sido empregue na extração de rodovias em imagens orbitais (ISHIBASHI, 2008). O diferencial deste trabalho está relacionado as técnicas utilizadas em cada etapa, além do fato de ter como fonte de dados somente imagens pancromáticas, o que é crítico em razão da similaridade entre a resposta radiométrica da feição de interesse (estradas vicinais não pavimentadas) e o restante da cena (terra arada, aceiros, solo exposto, etc). Optou-se por realizar os experimentos em imagens pancromáticas de alta resolução do sensor HRC (*High Resolution Camera*), da plataforma orbital CBERS-2B, devido a sua disponibilidade via Catálogo de Imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com cobertura de todo o território nacional. As implementações foram realizadas com base nos recursos da biblioteca MVTec Halcon®.

A biblioteca MVTec Halcon® é comercializada como o principal produto da empresa MVTec (http://www.mvtec.com), e encontra-se na versão 11. Trata-se de uma biblioteca comercial de algoritmos otimizados que conta com mais de 1.800 operadores voltados para aplicações em visão de máquina, imageamento médico e Análise de imagens. Seu uso pode se dar via Ambiente Integrado de Desenvolvimento (Integrated Development Environment-IDE), ou a partir de acesso por linguagens de programação comuns, como C, C++, etc.

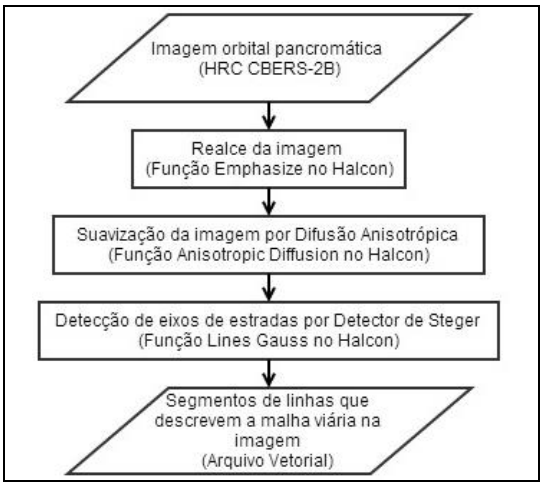
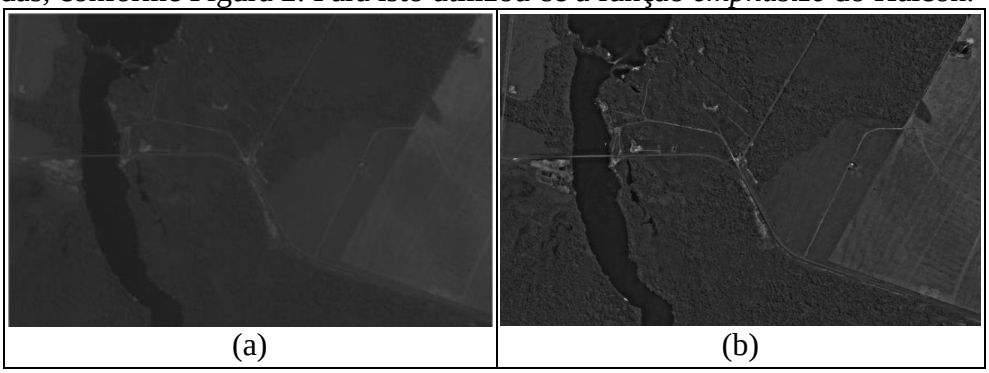


Figura 1. Fluxograma do método proposto.

O método é iniciado com a aplicação de um realce na imagem a fim de destacar as bordas das estradas, conforme Figura 2. Para isto utilizou-se a função *emphasize* do Halcon.



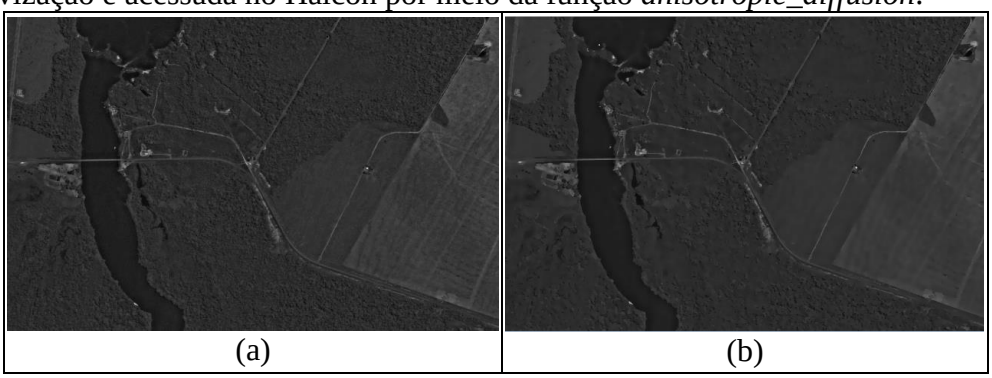
(a) (b)

Figura 2. Recorte da imagem pancromática (a) e correspondente realçado (b).

A função *emphasize* (Equação 1) utiliza o filtro da média para obter uma imagem suavizada (*mean*), e em seguida realiza o realce utilizando os valores da imagem original (*orig*) e um fator de ampliação do contraste (*factor*), aplicando um arredondando (*round*).

$$\text{emphasize} = \text{round}((\text{orig} - \text{mean}) * \text{factor}) + \text{orig} \quad (1)$$

O realce necessário para destacar as estradas sem cobertura asfáltica provoca falsos positivos. Assim, diante da necessidade de suavizar e preservar as informações de bordas, aplica-se o filtro de Difusão Anisotrópico (Figura 3). A Difusão Anisotrópico combina um parâmetro que preserva as bordas com a difusão direcionada (PERONA e MALIK, 1990). Esta suavização é acessada no Halcon por meio da função *anisotropic_diffusion*.



(a) (b)

Figura 3. Recorte da imagem realçada (a) e correspondente suavizado (b).

Por fim, com a imagem realçada e suavizada, aplica-se o detector de linhas de Steger (1998). Este detector considerada as linhas como objetos provenientes de bordas paralelas. Após os processamentos anteriores, as estradas presentes nas imagens serão faixas estreitas de alta intensidade de brilho, e perfis transversais das mesmas podem ser adequadamente representados, tornando o detector de Steger extremamente adequado para este tipo de feição.

Ishibashi (2008), desenvolveu uma estratégia para selecionar os valores de parâmetros de Steger automaticamente, no entanto a estratégia é voltada para a extração de rodovias com resposta radiométrica característica da manta asfáltica, não podendo ser aplicada a feição de interesse do método aqui proposto. Optou-se então por definir tais parâmetros empiricamente.

O detector de Steger no software Halcon é denominado *lines_gauss* e apresenta como resultado linhas cuja a cor indica sua continuidade (Figura 4).

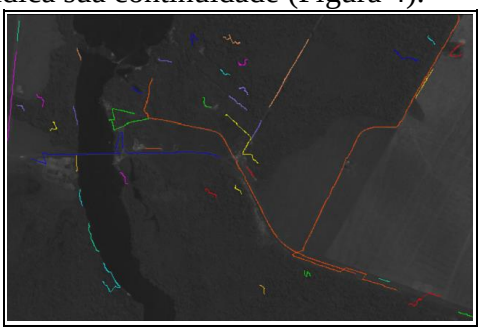


Figura 4. Segmentos obtidos por Steger sobrepostos na imagem.

Extraídos os eixos das estradas vicinais, a avaliação dos resultados se dará de forma qualitativa, ou seja, pela análise visual. A análise visual consiste basicamente no operador humano realizar observações a respeito do resultado das extrações por meio da sobreposição da malha extraída na imagem correspondente. Este critério é suficiente para avaliar o método proposto pois, apesar de desejada, a completeza não precisa alcançar níveis elevados para ser considerada adequada, tendo em vista que se deseja obter segmentos para serem utilizados em uma etapa posterior de processamento.

3. Resultados e Discussão

Para testar o método proposto foram processadas duas imagens pancromáticas HRC, da plataforma orbital CBERS-2B. Cada imagem HRC recobre uma área de 27 x 27 km, sendo fornecida com pixel de dimensão equivalente a 2,5 x 2,5 m. Nos processamentos utilizou-se um único conjunto de parâmetros, configurados empiricamente, para cada imagem e posteriormente foram feitos os seis recortes que ilustram esta seção, sendo quatro recortes da primeira e dois recortes da segunda imagem (Figura 5). As estradas presentes nos recortes são caracterizadas como vicinais, com larguras variando de 2 a 6 pixels, sem cobertura de manta asfáltica e corriqueiramente com uma geometria fora dos padrões da engenharia de rodovias.

Figura 5. Imagens pancromáticas HRC com destaque para as áreas apresentadas nesta seção.

As duas imagens HRC foram selecionadas por conterem diferentes cenas. Na primeira imagem as estradas vicinais estão próximas de áreas de plantio e solo exposto, havendo ainda grandes variações na largura destas estradas. Já na segunda imagem as estradas vicinais interligam centros urbanos em áreas de pouco solo exposto e possuem larguras constantes.

O recorte 1 (Figura 6), destaca uma área da imagem que apresenta baixo contraste e geometria relativamente suave. O realce aplicado garantiu o contraste necessário para a operação de extração de segmentos, enquanto a suavização assegurou que não fossem extraídos segmentos dentro da área de solo exposto. A maioria dos falsos positivos presentes neste recorte não representam um problema para a utilização dos segmentos obtidos, no entanto, falsos positivos como o destacado na Figura 6b (retângulo tracejado), iriam tornar inconsistente a etapa seguinte do método em desenvolvimento (subseção 2.1), pois teríamos dois segmentos candidatos ao eixo da estrada dentro do mesmo espaço de busca, o segmento que corresponde realmente ao eixo e o falso positivo.

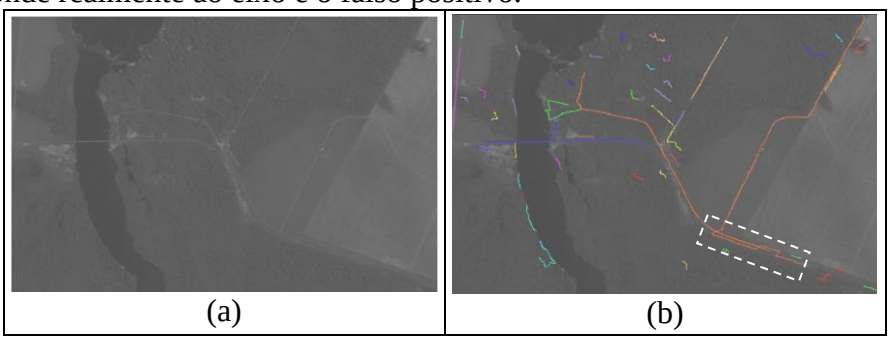


Figura 6. Recorte 1 da imagem original (a) e segmentos extraídos sobrepostos no recorte (b).

O recorte 2 (Figura 7), apresenta com bom contraste nas feições. Neste recorte um grande segmento foi obtido como falso positivo na região de lavoura/solo exposto (retângulo tracejado). No entanto, por ser um segmento isolado e distante daqueles que possuem continuidade (característica predominantes nas estradas), pode ser facilmente filtrado por algoritmos complementares.

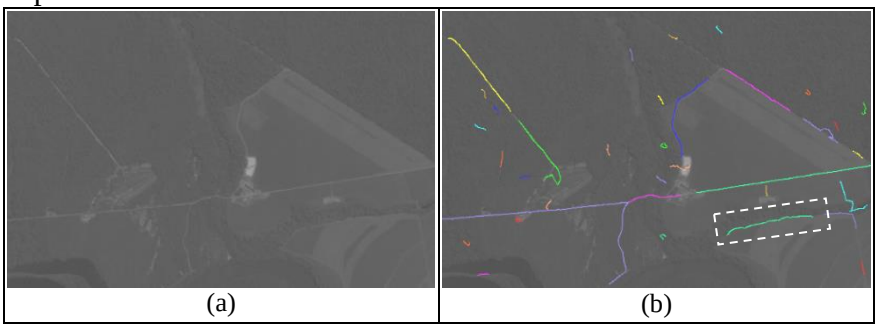


Figura 7. Recorte 2 da imagem original (a) e segmentos extraídos sobrepostos no recorte (b).

Os dois recortes seguintes (Figura 8 e 9) possuem uma área quatro vezes maior que os recortes anteriores, apresentando condições extremas com vias cercadas por plantações e solo exposto, além de aceiros e curvas de nível. O recorte 3 (Figura 8) apresentou comportamento semelhante ao detectado no recorte 1, com linhas paralelas provocadas por falsos positivos (retângulo tracejado na Figura 8b). Devido à dimensão deste recorte, regiões de aceiro entorno das plantações foram detectados erroneamente.

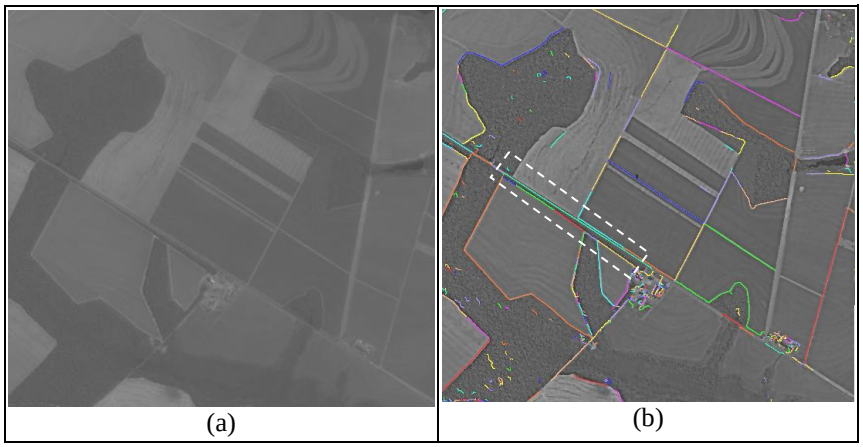


Figura 8. Recorte 3 da imagem original (a) e segmentos extraídos sobrepostos no recorte (b).

O recorte 4 (Figura 9), apresentou resultados semelhantes ao anterior. Trechos de aceiros também foram extraídos, porém em razão da geometria da cena não houve falsos positivos paralelos aos eixos, o que torna seu resultado mais adequado. Este recorte destaca bem a dificuldade em operar com extração de estradas no ambiente rural, pois mesmo para o operador humano é extremamente difícil diferenciar na imagem o que é estrada e o que é aceiro. Informações complementares, advindas de outros sensores, ou ainda de coberturas da mesma região em diferentes intervalos de tempo, podem ajudar nesta tarefa.

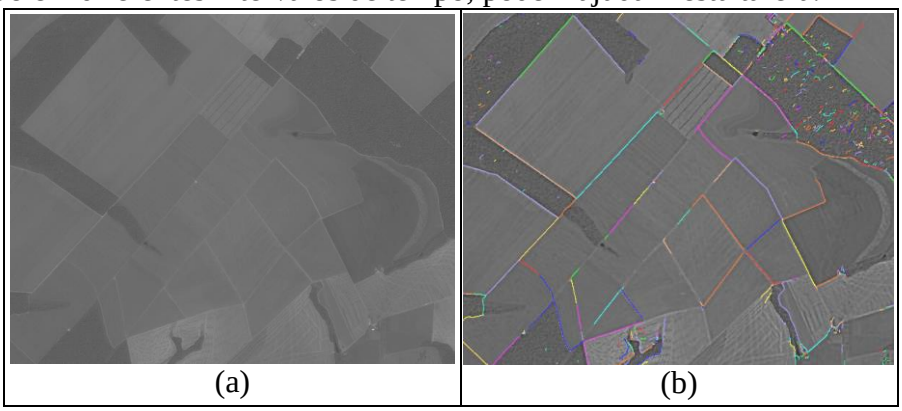


Figura 9. Recorte 4 da imagem original (a) e segmentos extraídos sobrepostos no recorte (b).

Os recortes seguintes foram obtidos na segunda imagem HRC. O recorte 5 (Figura 10), apresenta uma longa estrada com geometria sinuosa que foi perfeitamente extraída pelo método. Este resultado se deve a largura constante da estrada, além do fato de não haver solo exposto e principalmente aceiros circundando a via.

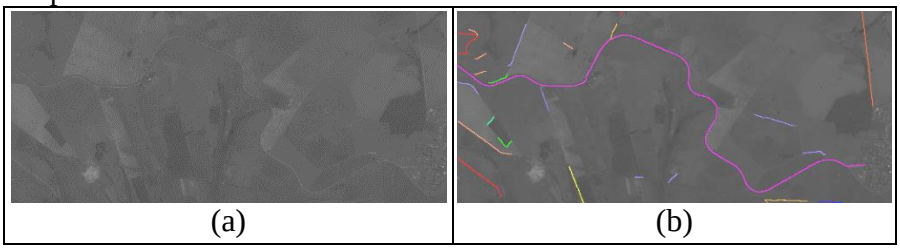


Figura 10. Recorte 5 da imagem original (a) e segmentos extraídos sobrepostos no recorte (b).

O recorte 6 (Figura 11), também apresentou um excelente resultado, com longos segmentos extraídos, inclusive com cruzamentos.

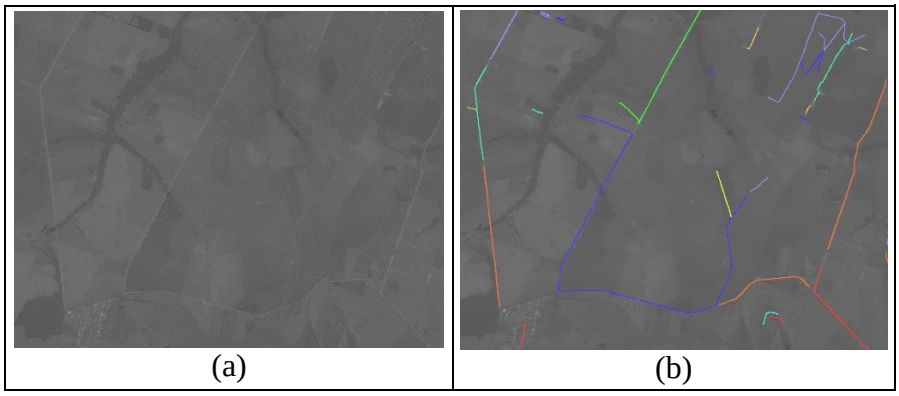


Figura 11. Recorte 6 da imagem original (a) e segmentos extraídos sobrepostos no recorte (b).

Conforme era esperado, em razão do comportamento da estrada e de sua vizinhança na segunda imagem pancromática, os recortes 5 e 6 apresentaram os melhores resultados.

4. Conclusões

Este trabalho apresentou um método semiautomática para extração de segmentos de eixos de estradas vicinais a partir de imagens pancromática, utilizando as funções da biblioteca computacional MVTec Halcon em suas etapas, que preveem um realce (função *emphasize*), seguido de uma suavização por Difusão Anisotrópica (função *anisotropic_diffusion*) e da detecção de linhas por Steger (função *lines_gauss*). Para testar o método foram utilizadas duas imagens do sensor HRC, da plataforma orbital CBERS 2B. Cada imagem foi submetida ao processamento com um conjunto de próprio de parâmetros definidos empiricamente. Para apresentar os resultados utilizou-se recortes das imagens que foram avaliados de maneira qualitativa, ou seja, por meio da análise visual dos eixos extraídos sobrepostos nas imagens.

De forma geral, pode-se notar que os segmentos extraídos encontram-se dispostos em quantidade e organização geométrica suficientes para viabilizar a reconstrução geométrica eixo e a execução da etapa seguinte prevista na subseção 2.1; no entanto foi observada a presença de falsos positivos que provocariam inconsistências. A biblioteca MVTec Halcon mostrou-se suficientemente robusta no processamento das imagens orbitais, viabilizando os testes de algoritmos e parâmetros em um curto espaço de tempo.

Recomenda-se para trabalhos futuros o tratamento dos falsos positivos, em especial a remoção de linhas paralelas. Também devem ser testados outros pré-processamentos que poderão otimizar os resultados alcançados por Steger.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Unesp, Campus Presidente Prudente, pelo ambiente de pesquisa disciplinado sadio e acolhedor. Agradecem ainda a FAPEMAT por financiar a bolsa do primeiro autor do artigo.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. Departamento de Transportes Rodoviários. Anuário Estatístico do Transporte Rodoviário Interestadual e Internacional Coletivo de Passageiros 2009 - Ano base 2008. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2009/principal.asp>. Acesso em 01/11/2014.

BAJCSY, R.; TAVAKOLI, M. Computer recognition of roads from satellite picture. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. 6, p. 76 – 84, 1976.

DAL POZ, A. P.; GALLIS, R. B. A.; SILVA, J. F. C. Semiautomatic road extraction by dynamic programming optimisation in the object space: Single image case. In: ISPRS Commission III Symposium, p. 215-220, 2006.

DAL POZ, A. P.; GALLIS, R. B. A.; SILVA, J. F. C. Three-Dimensional Semiautomatic Road Extraction from a High-Resolution Aerial Image by Dynamic Programming Optimization in the Object-Space. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters (Print), v. 7, p. 796-800, 2010a.

DAL POZ, A. P.; GALLIS, R. B. A.; SILVA, J. F. C. Extração semi-automática de rodovia baseada em um par estéreo de imagens aéreas e em otimização por programação dinâmica no espaço-objeto. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 16, p. 189-209, 2010b.

DAL POZ, A. P.; GALLIS, R. A. B.; SILVA, J. F. C. DA; MARTINS, E. F. O. Object-Space Road Extraction in Rural Areas Using Stereoscopic Aerial Images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 9, n. 4, p. 654–658. 2012.

GALLIS, R. B. A.; DAL POZ, A. P.; BARBOSA, R. L.; SILVA, J. F. C. Extração semi-automática de rodovias através de otimização por programação dinâmica no espaço-objeto: caso mono. In: RBC – Revista Brasileira de Cartografia. n. 57, p 168-179, 2005.

ISHIBASHI, R. Extração de segmentos de rodovia em imagens de resoluções variadas usando o princípio de bordas paralelas. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - FCT/Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008.

MARTINS, E. F. 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, v. 18, nº 3, p. 446–463, jul-set, 2012.

MENA, J. B. State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. Pattern Recognition Letters, v.24, n. 16, p. 3037œ3058, 2003.

MENA , J.B., MALPICA J.A. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery, Pattern Recognition Letters, Volume 26, Issue 9, 1 July 2005.

PERONE, P., MALIK, J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. 12, p 629-639, 1990.

QUAM, A. Road tracking and anomaly detection in aerial imagery. In: DARPA Image Understanding Workshop, p. 51-55, 1978.

SILVA, C. R., CENTENO, J.A.S., HENRIQUES, M.J. Automatic road extraction in rural areas, based on the Radon transform using digital images.. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 36, p 737-749, DOI, 2010

SONG, W., KELLER, J.M., HAITHCOAT, T.L., DAVIS, C.H. Automated Geospatial Conflation of Vector Road Maps to High Resolution Imagery. IEEE Transactions On Image Processing, v. 18, n. 2, p.338-400, 2009.

STEGER, C. An Unbiased Detector of Curvilinear Structures. IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Washington, v. 20, n. 2, p.62-75,1998.