

DETECÇÃO DE VIAS COMO LINHAS A PARTIR DE DADOS DE VARREDURA A LASER

TATIANA SUSSEL GONÇALVES MENDES¹

ALUIR PORFÍRIO DAL POZ²

Universidade Estadual Paulista - UNESP

¹ Instituto de Ciência e Tecnologia - ICT

Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP

² Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT

Departamento de Engenharia Cartográfica, Presidente Prudente, SP

tatiana.mendes@ict.unesp.br, aluir@fct.unesp.br

RESUMO - Este trabalho apresenta um método para detectar as vias como linhas a partir de dados oriundos do sistema de Varredura a LASER Aerotransportado (VLA), o qual consiste de três etapas: pré-processamento dos dados; isolamento das regiões de via; e representação de vias como linhas. O método proposto considera a característica radiométrica das vias na imagem de intensidade, juntamente com o fato de que as vias, no Modelo Digital de Superfície normalizado (MDSn), estão no nível do terreno. A partir destas características, regiões que possuem potencial de representar as vias são isoladas e são representadas como linhas num processo que utiliza a imagem de distância seguida da aplicação do detector de linhas de Steger. As linhas obtidas são conectadas usando critérios de colinearidade e proximidade. Os resultados experimentais mostram que o método proposto permite reduzir consideravelmente o número de falsos positivos detectados na etapa de isolamento das regiões de via, além de conectar linhas que representam as vias obstruídas nos dados de VLA.

ABSTRACT – This work presents a method for road detection as lines from Airborne LASER Scanning (ALS) data, which consists of three steps: data pre-processing; road regions isolation; and representation of road as lines. The proposed method considers the radiometric characteristics of the roads in the intensity image, with the fact that the roads are on the ground level in normalized Digital Surface Model (nDSM). Based on characteristics, regions which have potential to be a road are isolated, and then they are represented as lines in a process that uses the distance image followed by application of the Steger lines detector. The lines are connected using criteria proximity and collinearity. Experimental results shows that the proposed method allows to reduce considerably the false positives detected on the road region isolation step, and to connect lines that representing the occluded road in the ALS data.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, a extração automática da malha viária tornou-se um importante tópico em Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Visão Computacional (MATKAN et al., 2014), justamente pela importância da informação referente à malha viária no sentido de atualização mais eficiente de bancos de dados de Sistemas de Informação Geográfica existentes, os quais são amplamente utilizados em gerenciamento de transporte e de tráfego.

Com a evolução tecnológica dos sistemas de Varredura a LASER Aerotransportado (VLA), pesquisas que incorporam dados de VLA no processo de extração de informações a partir de imagens tem se intensificado nos últimos anos. As vias nesses dados apresentam características peculiares que podem favorecer o processo de extração da malha viária. Num MDSn (Modelo Digital de Superfície normalizado), por exemplo, as vias aparecem em tonalidade escura, pois representam objetos que estão no nível do terreno, enquanto que objetos elevados são representados em tons mais claros, de acordo com sua altura. Na imagem de intensidade do pulso LASER, as vias com superfície asfáltica são facilmente identificadas, uma vez que apresentam tonalidade escura, fato decorrente da baixa reflectividade do asfalto em relação ao pulso LASER (WEHR e LOHR, 1999). Outra característica importante é que as vias aparecem sem perturbações provocadas por sombras dos objetos ao seu redor. Por outro lado, vários outros elementos, como árvores, podem apresentar respostas similares. Consequentemente, a aplicação de técnicas de processamento de imagens nesses dados geralmente produzem resultados ruidosos. Por isso a sua utilização é normalmente combinada com dados de

altura de VLA, permitindo reduzir os ruídos associados com objetos situados acima do terreno, tais como árvores e telhados.

Neste sentido, Alharthy e Bethel (2003) usam a intensidade do pulso laser para detectar pixels candidatos às vias e dados de altura para remover ruídos não relacionados às vias. Clode et al. (2004) usam uma técnica de classificação hierárquica para classificar os pontos laser em pontos de rodovia e não rodovia. As vias são classificadas baseando-se num intervalo de altura onde supostamente devem ser encontradas e num intervalo de intensidade do pulso laser de acordo com o tipo de material das vias. A detecção e a vetorização da malha viária é então completada em Clode et al. (2007), cujo resultado da classificação apresentada é uma imagem binária que é vetorizada através da convolução com um disco PCD (*Phase Coded Disk*), que fornece três informações sobre a malha viária: o eixo central, a direção e a largura. Choi et al. (2008) integram informação de altura, de intensidade do pulso LASER e características geométricas das vias num método de extração da malha viária que utiliza os dados brutos do sistema de VLA, sem utilizar o recurso da interpolação para transformar os dados em formato raster. No método proposto por Zhao e You (2012) os dados de altura são usados para separar a malha viária que se encontra no nível do terreno das elevadas (viadutos). Os autores desenvolveram um sistema baseado em máscaras para detectar a malha viária na imagem de intensidade, cujas larguras e orientações foram determinadas por um algoritmo baseado em voto.

A forma irregular dos pontos de VLA exige maior esforço para extrair de forma acurada as bordas ou o eixo da malha viária. Por este motivo, pesquisadores normalmente combinam os dados de VLA com imagens de alta resolução (HU et al., 2014). Em contrapartida, quando se utiliza somente informação oriunda do sistema de VLA, elimina-se a tarefa de registrar dados de diferentes fontes em um único sistema de referência.

O presente trabalho apresenta um método para detectar as vias como linhas a partir de dados oriundos do sistema de VLA. O método consiste em usar a característica radiométrica das vias na imagem de intensidade, juntamente com o fato de que as vias, no MDSn, estão no nível do terreno. A partir destas características, regiões que possuem potencial de representar as vias são isoladas, previamente, por meio da limiarização. Essas regiões são representadas como linhas num processo que utiliza a imagem de distância, a partir do resultado da limiarização, seguida da aplicação do detector de linhas de Steger. Em seguida, as linhas são conectadas usando critérios de colinearidade e proximidade.

2 MÉTODO

A Figura 1 mostra o fluxograma do método proposto para a extração de vias como linhas a partir de dados de VLA, o qual consiste de três etapas: pré-processamento dos dados; isolamento de regiões de via; e representação das vias como linhas.

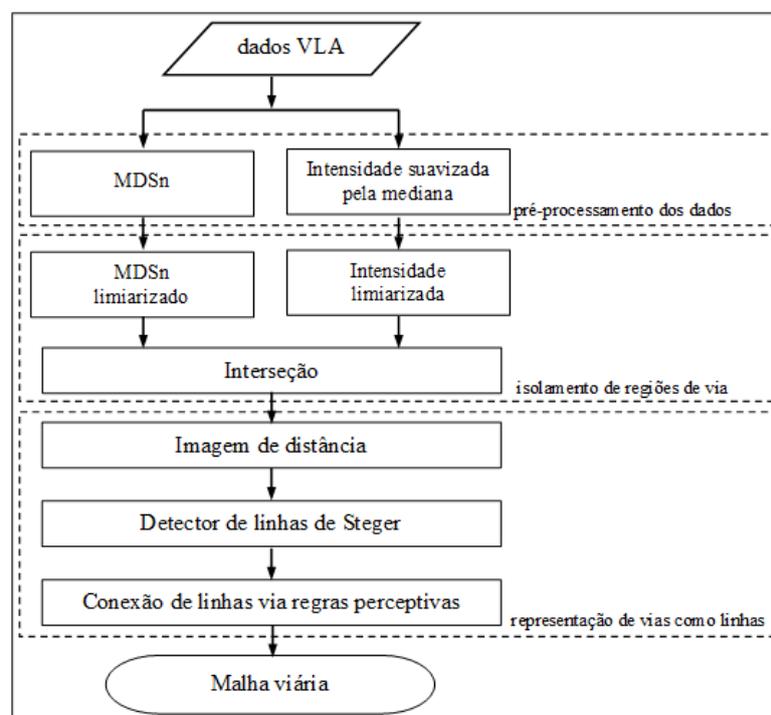


Figura 1 – Fluxograma do método proposto.

2.1 Pré-processamento dos dados de VLA

Os dados de VLA consistem de uma malha irregular de pontos de elevação com coordenadas (E, N, H, I) no sistema de referência WGS 84 (*World Geodetic System of 84*). O atributo I corresponde ao valor da intensidade registrada pelo sensor de VLA.

A partir dos pontos de elevação (3D) é gerado o MDSn, o qual é uma representação dos objetos elevados presentes na cena em uma superfície plana, ou seja, desconsiderando o relevo. O MDSn é obtido a partir da diferença entre o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT). A Figura 2(a) mostra um exemplo de um MDSn, onde observa-se que os objetos mais elevados (árvores e edificações) possuem tonalidade mais clara, enquanto que os objetos próximos do nível do terreno (vias, calçadas, estacionamentos, praças e áreas gramadas) apresentam tonalidade escura.

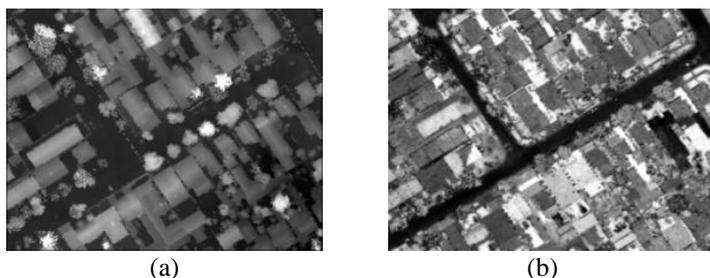


Figura 2 – Dados de VLA: (a) MDSn; (b) Imagem de intensidade do retorno do pulso LASER.

A imagem de intensidade, apresentada na Figura 2(b), é gerada a partir de uma interpolação da malha irregular de pontos com coordenadas (E, N, I), com resolução desejada. Nesta imagem, as vias asfaltadas aparecem escuras devido à baixa refletividade do asfalto (em torno de 17%, segundo Wehr e Lohr (1999)) em relação ao pulso LASER. Outra importante característica da imagem de intensidade, segundo Baltsavias (1999), é em relação ao efeito de sombra provocado pelos objetos da cena. Como o sistema de VLA é um sistema ativo a imagem de intensidade não é sensível a sombras provocadas por iluminação.

No entanto, a imagem de intensidade apresenta alguns pontos fracos. O primeiro deles é em relação à característica ruidosa, cujo problema pode ser minimizado através da aplicação do filtro mediana. Outro problema é a presença de objetos que apresentam resposta radiométrica similar à das vias, como alguns tipos de telhados de edificações e, em alguns casos, vegetação.

2.2 Isolamento de regiões de vias

Considerando as características das vias nos dados de VLA, a limiarização da imagem de intensidade e do MDSn permite isolar, de forma grosseira, regiões com possibilidade de conter a malha viária.

A partir da análise do histograma da imagem é selecionado um limiar T , cujo valor separa os objetos presentes na cena em dois níveis, o objeto de interesse e o fundo. Assim, sendo $f(x, y)$ o nível de cinza num pixel (x, y) pode-se definir uma imagem limiarizada $G(x, y)$ como (GONZALEZ e WOODS, 2010):

$$G(x,y) = \begin{cases} 255 & \text{se } f(x,y) > T \\ 0 & \text{se } f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

Como na imagem de intensidade, algumas árvores e telhados de edificações apresentam resposta radiométrica similar à das vias, ao realizar a limiarização da imagem de intensidade, estes objetos serão erroneamente considerados como vias. Já no MDSn, estes objetos são elevados e aparecem em tonalidade clara. Para eliminá-los propõe-se a operação de interseção entre a imagem de intensidade limiarizada e o MDSn limiarizado, permanecendo somente os pixels que são comuns em ambas as imagens.

2.3 Representação de vias como linhas

Uma região pode ser representada pelo seu esqueleto obtido, por exemplo, pela Transformada do Eixo Médio (TEM) proposto por Blum (1967). O esqueleto resultante pode ser fragmentado em segmentos a partir dos seus pontos de junção. Mas, um dos problemas da esqueletização são as perturbações nas bordas das regiões, que resultam em muitas ramificações, como pode ser visto na Figura 3(b) que representa o esqueleto da região apresentada na Figura 3(a). Note a quantidade de pontos de junção para um pequeno segmento e na necessidade de desconectá-los, resultaria em grande quantidade de pequenos segmentos.

Usando o mesmo princípio da TEM, é possível gerar a imagem de distância, contendo a informação da distância das bordas das regiões até o seu centro. A Figura 3(c) mostra a imagem de distância gerada a partir da região apresentada na Figura 3(a), observando que os pixels mais claros da imagem correspondem ao esqueleto da região, o qual pode ser detectado como linha (Figura 3(d)), usando o detector de linhas de Steger (STEGER, 2000).

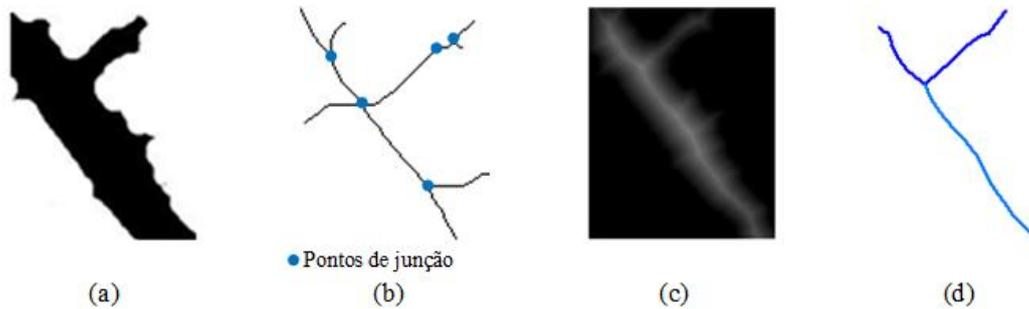


Figura 3 - Região representando a via; (b) Esqueleto da região; Imagem de distância; e (d) linhas detectadas a partir da imagem de distância.

Para a aplicação do detector de linhas de Steger é necessário inserir três parâmetros: desvio-padrão (σ) e dois limiares de histerese - o limiar inferior (τ_1) e o limiar superior (τ_2). O desvio-padrão determina o nível de suavização, sendo que valores grandes causam uma maior suavização da imagem. O limiar superior é responsável pela permanência das linhas mais expressivas e evita ao máximo as linhas indesejáveis. O limiar inferior tem a função de complementar essas linhas expressivas encontradas no plano superior e a continuidade das mesmas é baseada no plano inferior. Desta forma, os ruídos que estão presentes apenas no plano inferior não influenciam o resultado.

O detector de linhas de Steger é sensível à brusca mudança de direção da linha. Isso normalmente ocorre em locais que representam cruzamento das regiões, onde a linha é finalizada e em seguida outra linha é iniciada. Também ocorre quando as bordas das regiões apresentam muitas perturbações, resultando em pequenas linhas fragmentadas.

As linhas detectadas são conectadas baseando-se em critérios de agrupamento perceptivo de colinearidade e de proximidade, conforme as regras de organização Gestalt (SCLÜTER et al., 2000). A Figura 4 ilustra duas linhas que atendem os critérios de colinearidade e proximidade, uma vez que são aproximadamente colineares de acordo com o ângulo de direção e cuja distância entre elas é definida pelos pontos finais.

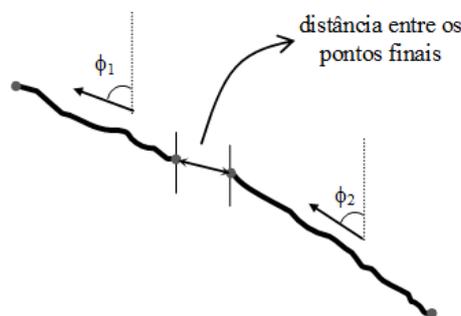


Figura 4 - Ângulo de direção de cada linha e distância entre os pontos finais.

Para realizar a conexão das linhas, primeiramente, é necessário obter a direção de cada uma delas. Para tal, ajusta-se uma reta através do método de regressão linear pelo Método dos Mínimos Quadrados.

As linhas são conectadas se as duas retas provenientes da regressão linear são colineares e próximas. Para tal, três parâmetros devem ser definidos: a distância máxima para ser considerada entre os pontos finais da linha (max_dist); a diferença máxima na direção entre duas linhas (max_angle), e o deslocamento máximo entre elas (max_shift), o qual é medido perpendicular à linha de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise experimental do método proposto foram utilizados dados de VLA de uma região urbana de Curitiba-PR, cuja nuvem de pontos possui uma densidade média de 4 pontos/m². A imagem de intensidade (Figura 5(a)) e o MDSn (Figura 5(b)) foram gerados usando a biblioteca livre LASTools, com resolução de 30 cm.

Para reduzir os ruídos inerentes aos dados radiométricos do sistema de VLA foi aplicado na imagem de intensidade o filtro de suavização pela mediana com máscara de dimensão 5x5. A partir desta etapa, todos os experimentos foram realizados usando a biblioteca HALCON.

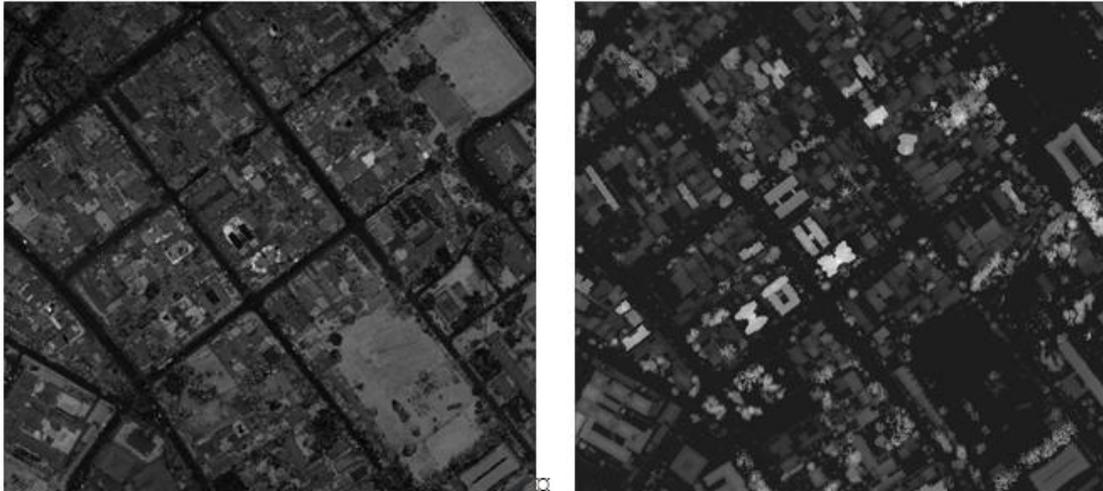


Figura 5 – Imagens geradas a partir dos dados de VLA. a) Imagem de intensidade; (b) MDSn.

A imagem de intensidade foi limiarizada de modo a separar os pixels mais prováveis de corresponderem às vias. O limiar utilizado foi igual a 30 e o resultado pode ser verificado na Figura 6(a), observando que além das vias, muitos outros objetos como edificações e árvores também foram separados, sendo que alguns deles estão em destaque. A Figura 6(b) mostra a imagem MDSn limiarizada, cujo limiar utilizado foi igual a 50. Verifica-se que foi possível separar os objetos elevados (em branco) dos objetos no nível do terreno (em preto).

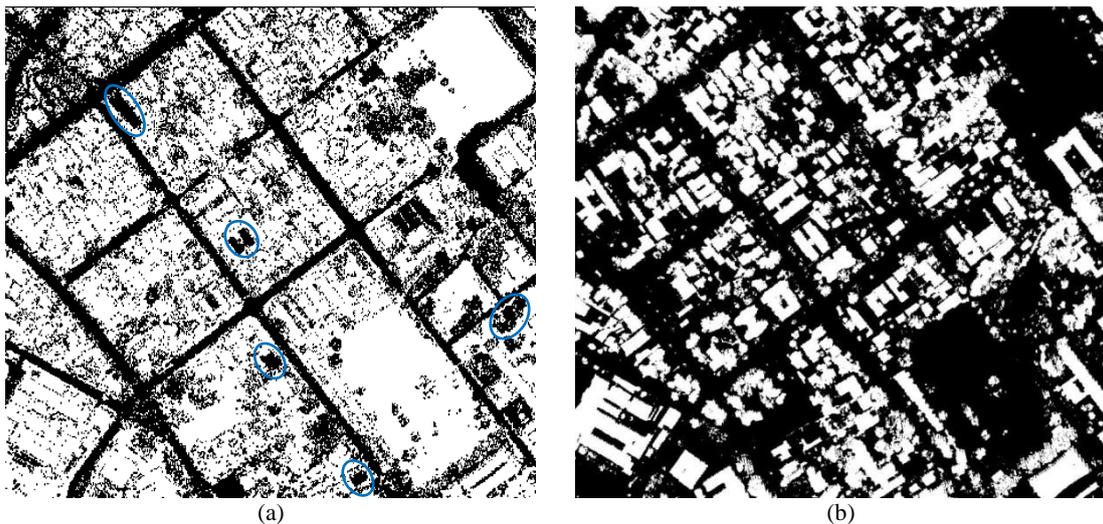


Figura 6 – (a) Imagem de intensidade limiarizada; e (b) MDSn limiarizado.

A operação de interseção entre as duas imagens permite eliminar os objetos elevados no resultado da imagem de intensidade limiarizada, conforme pode ser observado em destaque na Figura 6(a). No entanto, mesmo após a operação de interseção, verifica-se que no interior das quadras ainda existem muitas regiões que não correspondem às vias. A Figura 7 mostra o resultado da operação de interseção.

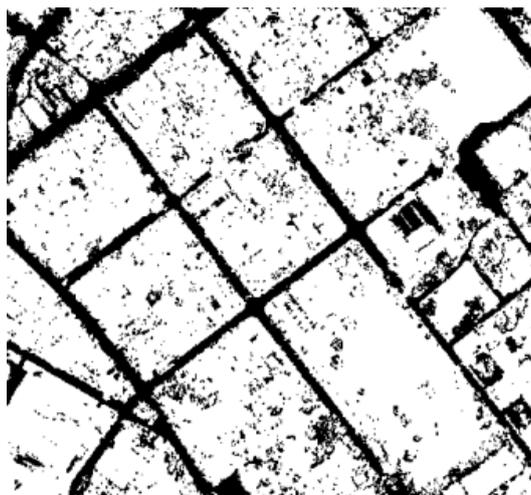


Figura 7 – Imagem resultante da interseção entre a imagem de intensidade limiarizada e o MDSn limiarizado.

Para obter as regiões apresentadas na Figura 7 como linhas, conforme método proposto, primeiramente foi gerado a imagem de distância (Figura 8(a)) e em seguida aplicado o detector de linhas de Steger, cujo resultado é mostrado na Figura 8(b). Este processo, além de obter linhas que representam as vias de forma contínua e sem os efeitos de ramificações como ocorre quando se aplica a esqueletização, reduz consideravelmente o número de linhas resultantes.

O detector de linhas de Steger foi aplicado com o desvio-padrão (σ) igual a 5 e os limiares de histerese inferior (τ_1) e superior (τ_2) iguais, respectivamente, à 0,01 e 0,1. Os valores foram definidos a partir de testes executados sobre a imagem de distância, verificando aqueles que melhor detectaram as linhas mais expressivas.

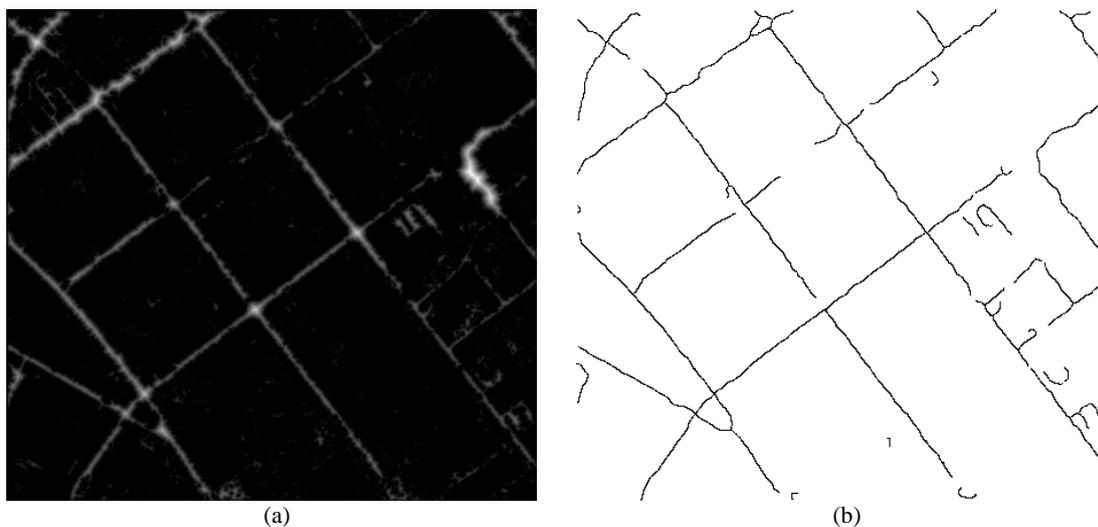


Figura 8 – Representação das regiões como linhas. (a) Imagem de distância; e (b) Linhas de Steger detectadas a partir da imagem de distância.

Outro fato importante é que as regiões menores e menos expressivas (regiões de não via) não foram detectadas como linhas. O número de regiões exibidas na Figura 7 é igual a 2756 e o número de linhas detectadas na Figura 8(b) é igual a 20. Diante disso, consta-se a expressiva redução de falsos positivos.

As linhas próximas e que possuem direção similar foram conectadas por meio de critérios de colinearidade e proximidade. Os parâmetros usados foram: máxima distância entre os pontos finais entre duas linhas (max_dist) igual a 200 pixels; a diferença máxima na direção entre duas linhas (max_angle) igual a 0,2 rad (aproximadamente igual a $11,45^\circ$); e o deslocamento máximo entre as linhas (max_shift) igual a 100 pixels. O resultado é apresentado na Figura 9.

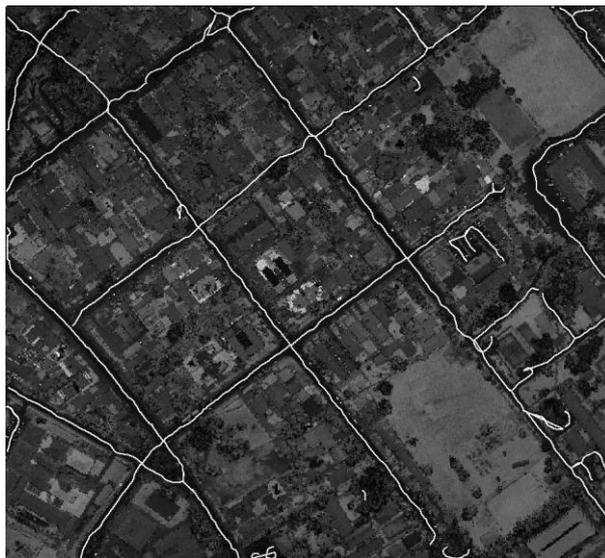


Figura 9 – Linhas conectadas sobrepostas na imagem de intensidade.

Comparando a Figura 9 com a Figura 8(b) é possível verificar que as linhas que estavam desconectadas, em regiões onde havia obstruções das vias por árvores, puderam ser conectadas pelo método proposto. No entanto, verificam-se algumas perturbações causadas pela conexão das linhas espúrias com as linhas que de fato representam as vias.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um método para a representação de vias como linhas a partir dos dados de VLA. Foram utilizados os dados de altura, por meio do MDSn, e dados da intensidade do retorno do pulso LASER, ou seja, imagem de intensidade.

A partir dos resultados obtidos verificou-se que o método proposto foi eficiente na tarefa de detectar as vias como linhas. No decorrer das etapas, os falsos positivos foram consideravelmente reduzidos, tanto por meio do processo de interseção entre as imagens limiarizadas como também pelo processo de detecção de linhas a partir da imagem de distância. Ao final, aplicando critérios de agrupamento perceptivo de proximidade e de colinearidade, as linhas foram conectadas de modo a obter as vias como linhas mesmo em locais onde a via estava obstruídas por árvores nos dados de VLA.

É importante considerar que o resultado precisa ser refinado para que o método possa ser usado para a extração do eixo da malha viária, uma vez que as linhas apresentam-se deslocadas em relação ao eixo das vias. Outro problema apontado são as perturbações causadas pelas linhas espúrias, conectando-se às linhas que realmente representam as vias. Desta forma, o refinamento do resultado obtido é proposto como trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LACTEC pelo fornecimento dos dados de varredura a LASER.

REFERÊNCIAS

ALHARTHY, A.; BETHEL, J. Automated Road Extraction from LIDAR Data. **In: Proceedings of ASPRS**. Anchorage, 2003.

BALTSAVIAS, E. P. A comparison between photogrammetric and laser scanning. **ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing**, V. 54, p. 83-94, 1999.

BLUM, H. A transformation for extracting new descriptors of shape. Wathen-Dunn, W. **Models for perceptions of speech and visual forms**, Cambridge, MIT Press, p. 362-380, 1967.

CHOI, Y. W.; J. Y. W.; LEE, H. J.; CHO, G. S. Three-Dimensional LiDAR data classifying to extract road point in urban area. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, V. 5, N. 4, p. 725-729, 2008.

CLODE, S.; KOOTSOOKOS, P.; ROTTENSTEINER, F. The automatic extraction of roads from LIDAR data. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science**. Istanbul, V. 35, p. 231-237, 2004.

CLODE, S.; ROTTENSTEINER, F.; KOOTSOOKOS, P.; ZELNIKER, E. Detection and vectorisation of roads from LIDAR data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, V. 73, N. 5, p. 517-535, 2007.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**. 3ª ed. Pearson, 2010. 624 p.

HU, X.; LI, Y.; SHAN, J.; ZHANG, J.; ZHANG, Y. Road centerline extraction in complex urban scenes from LiDAR data based on multiple features. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. V. 52, N. 11, p. 7448-7456, 2014.

MATKAN, A. A.; HAJEB, M.; SADEGHIAN S. Road Extraction from Lidar Data Using Support Vector Machine Classification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, V. 80, N. 5, p. 409-422, 2014.

SCLÜTER, D., WACHSMUTH, S., SAGERER, G. Towards an integrated framework for contour-based grouping and object recognition using Markov Random Fields. In: IEEE - International Conference on Image Processing 2000, Vancouver. V. 2, p. 100-103, 2000.

STEGER, C. Subpixel – Precise Extraction of lines and Edges. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, V. 33: p. 141-156, 2000.

WEHR A.; LOHR, U. Airborne LASER scanning – an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing**, V. 54, N. 2-3, p. 68-82, 1999.

ZHAO, J. P.; YOU, S.Y. Road Network Extraction from Airborne Lidar Data Using Scene Context. In: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2012.