

Determinação de larguras de estradas vicinais em imagens de alta resolução

Claudionor Ribeiro da Silva^{1,2}
Jorge Antônio Silva Centeno²

¹ Universidade Federal do Piauí - UFPI
CEP 64900 000 – Bom Jesus - PI, Brasil
crs@ufpi.br

² Universidade Federal do Paraná - UFPR
Caixa Postal 19001 – Universidade Federal do Paraná - PR, Brasil
{crs, centeno}@ufpr.br

Abstract. The determination of the road geometry is a basic step in automatic road extraction. The road width plays an important role in this context. An unpaved road, by definition, is covered by bare soil and has high intensity values in relation to the neighboring features. The method for determination of road width proposed in this work is based in that spectral characteristic of the unpaved road. Therefore, the gradient is used for the detection of the borders of the road and, consequently, for the determination of its width. The proposed methodology is applied to high space resolution images. The method is evaluated with experiments using synthetic and real images. The validation of the results is accomplished through comparisons with measures obtained by visual analysis.

Palavras-chave: Image processing, road mapping, high resolution, processamento de imagens, mapeamento de estradas, imagem de alta resolução espacial.

1. Introdução

De acordo com DNIT (2007), estradas vicinais são vias de acessos às pequenas vilas, fazendas e sítios, ou caminhos que ligam povoações relativamente pequenas e próximas. Adicionalmente, são estradas compostas por solo exposto, sem pavimentação asfáltica. Escoamento da produção agrícola, transporte coletivo e escolar e transporte de produtos primários são tipos de conduções realizadas com frequência nesses tipos de estradas. Dessa forma, o desenvolvimento econômico e social de um município rural depende da existência dessas estradas. Segundo Castro (2003), a interrupção de uma dessas vias acarreta em prejuízos como: a perda de produtos perecíveis, a ausência dos alunos e professores às escolas, a impossibilidade de atendimento médico, o aumento dos custos no transportes dos produtos agrícolas além de estimular o êxodo rural.

Cruz (2005) relata que a malha viária brasileira é constituída de aproximadamente 1.724.929,00 km de estradas, das quais aproximadamente 90,4% são de estradas não pavimentadas, sem considerar as redes de estradas florestais, que geralmente não são pavimentadas. Essa proporção relata a necessidade do mapeamento desse tipo de estrada.

O mapeamento de estradas e/ou rodovias via vetorização manual é exaustivo e oneroso. Atualmente, vários métodos têm sido propostos no intuito de automatizar ou pelo menos semi-automatizar essa tarefa. Na maioria desses métodos é comum o uso do parâmetro largura de estradas, tanto em abordagem automática quanto semi-automática. Principalmente, por ser um parâmetro importante na elaboração de modelos matemáticos que definem as estradas.

A aparência de estradas vicinais (solo exposto) proporciona uma característica intrínseca radiométrica interessante para métodos de extração de feições. As estradas apresentam alto contraste em relação à sua vizinhança, ou seja, possuem valores digitais superiores aos dos *pixels* vizinhos em imagens digitais. Essa característica é explorada nesta pesquisa para a determinação da largura de estradas.

O método proposto utiliza segmentos sementes. Os segmentos sementes são, geralmente, fornecidos pelo operador; contudo, em abordagens automáticas, esses segmentos são

detectados automaticamente. Os segmentos sementes devem, necessariamente, representar os eixos das estradas de interesse.

Na seção 2, desse trabalho, é apresentada uma breve revisão bibliográfica. A metodologia proposta e o material usado são apresentados na seção 3. Os resultados e discussão são descritos na seção 4. Finalmente, na seção 5 é apresentada a conclusão geral.

2. Referencial Teórico

O método discutido nesse trabalho é, geralmente, usado como uma fase prévia de outras metodologias, tais como a extração de estradas e/ou rodovias (Hatger, 2006; Dal-Poz e Gallis et al., 2006; Agouris, 2008;). Em métodos semi-automáticos é comum o fornecimento da medida de largura w , pelo operador (Mendes et al., 2004).

Alguns métodos de extração de estradas determinam as larguras w , de forma implícita, como pode ser visto em Dal-Poz et al. (2005). O método proposto por esses autores extrai segmentos (polígonos) candidatos a estradas e , conseqüentemente, as larguras desses polígonos são consideradas como as larguras das estradas.

Em Vale (2003) a medida da largura w é obtida por otimização, tendo por base uma largura aproximada da estrada. Esse autor usou o conceito de gradiente para determinar a largura da estrada.

Um método para cálculo de largura w , usando conceitos como segmentação, agrupamento k -médias e lógica fuzzy, é apresentado em Zhang and Couloigner (2006). Nesse método, uma transformação é executada sobre a imagem, criando um espaço com os valores transformados e , finalmente, a largura w é calculada nesse novo espaço.

A largura w é também usada na definição de índices de qualidade. Isto é, alguns índices usados na validação de eixos de estradas detectados fazem uso da medida de largura w , como pode ser visto em (Heipke et al., 1997; Wiedemann, 2003; Clode et al., 2004; Clode, 2007).

3. Material e Método

3.1 Dados Usados

Foram usadas, nos experimentos, recortes de imagem real (recortes de uma foto aérea) e uma imagem sintética. Quatro situações diferentes foram avaliadas nessa imagem. Isto é, foram inseridos segmentos (trecho de estrada) com inclinações positivas e negativas, em relação ao eixo das abscissas e , um segmento horizontal e outro vertical. Os recortes a , b , c e d , da imagem real, apresentam segmentos com as mesmas características dos segmentos da imagem sintética. Por outro lado, os recortes e , f , g e h foram escolhidos aleatoriamente.

As rotinas foram geradas na plataforma MatLab 5.1.

3.2 Método Proposto

O método proposto para medir larguras de estradas vicinais é descrito nas subseções seguintes.

3.2.1 Definição de Perfis Transversais de Estradas Vicinais

Para melhor compreensão do método proposto, o segmento 1-2, ilustrado na figura 1, será usado como exemplo de um segmento de estrada vicinal. A partir do ponto 1 são traçados três semi-arcos que cruzam o segmento 1-2, formando perfis (arcos) transversais à estrada, com uma direção $\theta/2$ e raios menores que a distância entre os pontos 1 e 2, conforme ilustra a figura 1. Os valores digitais correspondentes aos pixels pertencentes aos semi-arcos 1, 2 e 3 são armazenados em três vetores distintos.

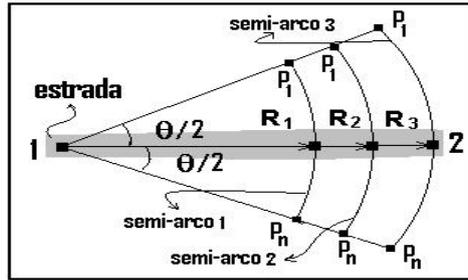


Figura 1 - Definição de larguras de estradas.

3.2.2 Cálculo da Largura

O gradiente ao longo de cada um dos vetores (ou perfil) definidos anteriormente é calculado pela derivada parcial em relação ao eixo do perfil. Por exemplo, o gradiente de uma função contínua de $f(x, y)$ é definido pela equação 1.

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{i} \quad (1)$$

onde $\frac{\partial f}{\partial x}$ é a derivada parcial na direção do eixo x (abscissa).

O filtro de gradiente usado nessa pesquisa foi o de Prewitt, com a máscara: [-1 0 1]. Por se tratar de um perfil, o filtro é unidimensional. A figura 2 mostra o gráfico de um perfil transversal ou semi-arco (figura 2a) e o gráfico do módulo do seu gradiente (figura 2b).

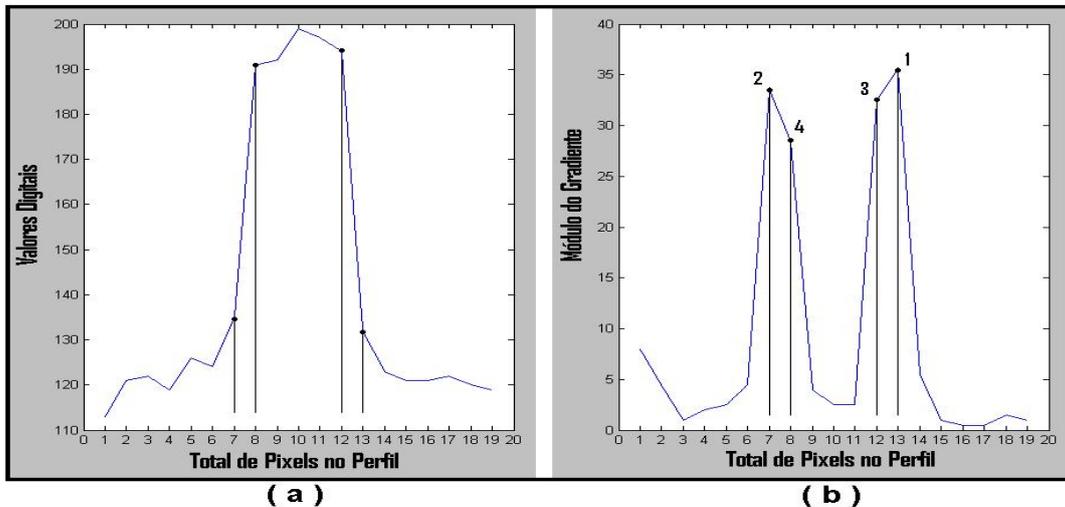


Figura 2 - Perfil transversal da estrada (a) módulo do gradiente do perfil (b).

O gradiente ao longo do perfil pode ser também representado como um vetor unidimensional. Neste novo vetor, dois pontos de máximo (pontos 1 e 2 na figura 2b) são selecionados. Para cada um dos máximos é selecionado também um ponto vizinho, de maior módulo (pontos 3 e 4 na figura 2b). A partir desses pontos são calculadas duas distâncias: uma entre os pontos de máximo (pontos 1 e 2), e outra entre os vizinhos dos pontos de máximo (pontos 3 e 4). Ressalta-se que essas distâncias são calculadas no espaço imagem. Finalmente, a distância média (d) é calculada pela média dessas medidas. Determinadas as distâncias d, referentes aos três perfis transversais (semi-arcos), é calculada a média, e este valor é assumido como a largura (w) da estrada. Esse procedimento é realizado sobre todos os segmentos fornecidos nas imagens digitais.

As larguras w de referência são medidas por um processo manual, da seguinte forma: (a) três medidas são realizadas em cada segmento e, (b) os valores médios dessas três medidas são adotados como as larguras w de referência de estradas.

4. Resultados e Discussão

Uma imagem sintética, contendo segmentos (pista hipotética de estrada) em diferentes direções, é usada para testar a metodologia proposta. A figura 3 mostra o negativo dessa imagem sintética. Assim, as feições escuras (simulação de segmentos de estradas) foram usadas nos testes como feições claras.

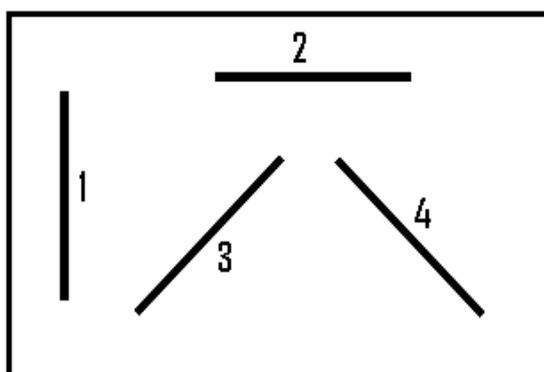


Figura 3 - Imagem sintética simulando pistas de estradas vicinais.

Os dois segmentos retos (1 e 2), mostrados na figura 3, foram criados com 5 *pixels* de espessura, os demais com 4 *pixels*. Os valores calculados automaticamente e medidos manualmente, para as larguras das estradas (ou segmentos), na imagem sintética, encontram-se na tabela 1. Na última coluna dessa tabela são mostrados os erros (ou desvios) medidos.

Tabela 1 - Larguras de segmentos em imagem sintética (em *pixels*).

| Segmentos | Larguras Referência | Larguras Calculadas | Diferença |
|-----------|---------------------|---------------------|-----------|
| 1 | 5.00 | 5.00 | 0.00 |
| 2 | 5.00 | 5.00 | 0.00 |
| 3 | 4.00 | 4.35 | 0.35 |
| 4 | 4.00 | 4.35 | 0.35 |

Para o caso ideal, segmentos horizontais e verticais (segmentos 1 e 2), não existiram erros. Todavia, para segmentos inclinados (segmentos 3 e 4) ocorreram diferenças inferiores a um *pixel*. Essa diferença pode ser explicada pelo “serrilhamento” criado pelo formato raster quando a reta é inclinada. Dependendo da posição onde o semi-arco passa sobre o segmento inclinado, a largura medida pode ser maior ou menor, para o mesmo segmento, como mostra a figura 4. Na figura 4, a largura do segmento e é levemente maior, nos semi-arcos 1 e 2 tem módulo igual, entretanto, no semi-arco 3 existe a contribuição de um quinto *pixel*, como mostra a figura 4.

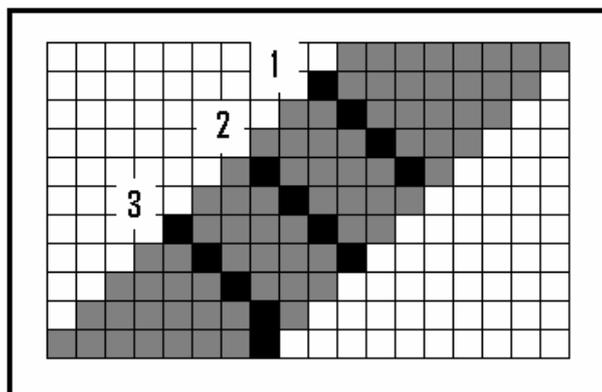


Figura 4 - Erro medido na determinação de larguras em segmentos inclinados.

A seguir, o método foi avaliado usando dados derivados de uma imagem real. Todos os recortes da imagem digital real, usados para testar a metodologia proposta, são ilustrados na figura 5. Os recortes a, b, c e d foram escolhidos de forma que representassem as estradas em diferentes direções. Adicionalmente, os recortes e, f, g e h, contendo trechos maiores de estradas vicinais, foram usados na validação da metodologia.

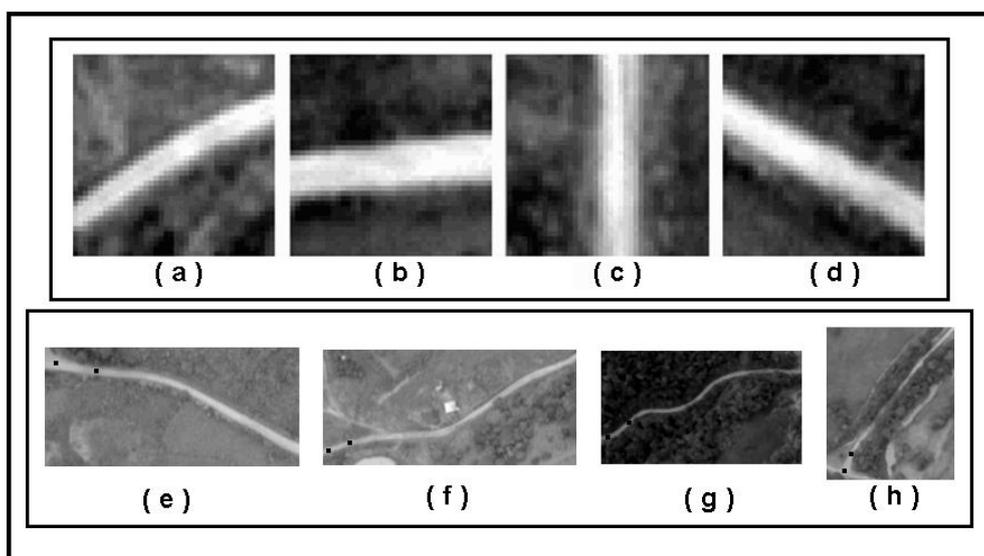


Figura 5 - Recortes da imagem digital real.

A tabela 2 mostra os valores das larguras w medidas manualmente (referência) e calculadas pelo método proposto. Na última coluna dessa tabela são mostradas as diferenças entre os dois valores.

Tabela 2 - Larguras de segmentos presentes nos recortes a, b, c e d (em *pixels*).

| Recortes | Larguras Referência | Larguras Calculadas | Diferença |
|----------|---------------------|---------------------|-----------|
| a | 4.04 | 4.20 | 0.16 |
| b | 7.07 | 7.42 | 0.35 |
| c | 6.50 | 6.87 | 0.37 |
| d | 7.62 | 7.69 | 0.07 |
| e | 5.59 | 5.74 | 0.15 |
| f | 4.89 | 5.35 | 0.46 |
| g | 3.53 | 3.87 | 0.34 |
| h | 4.04 | 4.26 | 0.22 |

Considerando a diferença entre o valor obtido manualmente e o obtido pelo método, constata-se que a diferença é inferior a um *pixel*, em todos os casos. É difícil fazer uma afirmação da qualidade dessa medida, uma vez que não existe um Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) para comparação. Contudo, é verdade que são erros pequenos, considerando o módulo do erro e a resolução da imagem (0.8 metros).

A estrada presente no recorte h apresenta um alargamento na região onde se encontra com outra estrada (cruzamento). Nesse caso, a medida da largura é função do tamanho do raio R e da posição dos segmentos sementes (aproximados pelos pontos escuros nos recortes e, f, g e h), pois, quanto menor for o raio R, maior é a largura w medida. A figura 6 mostra a área em que ocorre a bifurcação ou encontro das duas estradas.

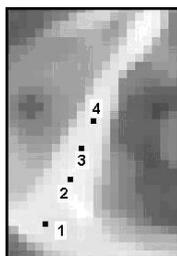


Figura 6 - Alargamento da estrada vicinal presente no recorte h.

Por exemplo, considere as possibilidades de segmentos sementes mostradas na figura 6, segmentos 1-4, 1-3 e 1-2. Nessa ordem, a magnitude da medida da largura é crescente, devido ao alargamento da pista de rolamento. O segmento 1-4 foi usado nessa pesquisa, por representar uma largura mais coerente com o restante da estrada.

Apesar de os erros apresentados serem todos positivos, isto não implica que não seguem uma distribuição normal. Foram realizadas dezenas de outros testes a fim de verificar a existência de uma tendência, mas, nesses testes, ocorreram erros tanto negativos quanto positivos, e todos inferiores a um *pixel*.

5. Conclusão

Considerando dois fatores, a não existência de um Padrão de Exatidão Cartográfico para medidas de larguras de estradas, e a complexidade em estimá-la (forma irregular ao longo do seu eixo), pode-se classificar o método como eficiente. Porém, é evidente que ocorrerão falhas no método se a pista de rolamento for obstruída total ou parcialmente. Exemplos de obstruções são as sombras de árvores ou a presença de árvores sobre a pista de rolamento da estrada. Esses casos não foram testados porque não interessa ao foco da pesquisa geral (tese de doutorado), na qual esse método é inserido como complemento.

Referências Bibliográficas

Castro, C. A. A. **Estudo da Técnica de Anti-Pó com Emulsão de Xisto em Pavimentos para Baixo Volume de Tráfego**. 2003. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Clode, S.; Kootsookos, P.; Rottensteiner, F. The Automatic Extraction of Roads from LIDAR data. In: **Proceedings of ISPRS congress**, 2004, Istanbul, Turkey. v. 35, Part 3B, paper 272.

Clode, S.; Rottensteiner, F.; Kootsookos, P.; Zelniker, E. Detection and Vectorization of Roads from Lidar Data. **PE&RS (Photogrammetric Engineering & Remote Sensing)**. v. 73, n. 5, p. 517-535, 2007.

Cruz, A. V. **Estradas Vicinais: Abordagem Pedológica, Geotécnica, Geométrica e de Serventia de dois Trechos Rodoviários não Pavimentados no Campus da UFV – MG**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Dal-Poz, A. P.; Agouris, E. **Extração Semi-Automática de Rodovias Usando Programação Dinâmica. GeoInfo 2000** - II Workshop Brasileiro de GeoInformática, 2000, São Paulo/SP. Disponível em: www.tecgraf.puc-rio.br/geoinfo2000/anais/005.pdf. Acesso em: 03 fev. 2008.

Dal-Poz, A. P., Vale, G. M. and Zanin, R. B. Automatic extraction of road seeds from high-resolution aerial images. **Anais da Academia Brasileira de Ciências (Annals of the Brazilian Academy of Sciences)**, v. 77, n. 3, p. 509-520, 2005.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos**. Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas. Brasília, 2007.

Gallis, R. B. A.; Dal-Poz, A. P.; Barbosa, R. L.; Silva, J. F. C. Extração semi-automática de rodovias em um par de imagens aéreas digitais utilizando geometria epipolar e programação dinâmica. **Boletim Ciências Geodésicas**. v. 12, n. 1, p.19-35, 2006.

Hatger, C. **Road Extraction by Use of Airborne Laser Scanner Data**. Disponível em: www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2006. Acesso em: 31 dez. 2006.

Heipke, C; Mayer, H; Wiedemann, C.; Jamet, O. **Evaluation of Automatic Road Extraction**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. p. 47-56. 1997.

Mendes, T. S. G.; Fazan, A. J.; Dal Poz, A. P. Delineamento de estradas vicinais usando técnicas de correlação de imagens. **Boletim Ciências Geodésicas**. v. 10, n. 2, p.159-176, 2004.

Vale, G. M. **Extração semi-automática do eixo de rodovia em imagens de média e alta resolução usando programação dinâmica**. 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista / Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. 2003.

Zhang, Q.; Couloigner, I. An integrated approach to extracting urban road networks from high resolution multi-spectral imagery. In: **1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing**, 2006, Humboldt-Universität zu Berlin.

Wiedemann, C.; Hinz, S. Automatic Extraction and Evaluation of Road Networks from Satellite Imagery. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 32, n. 3, p. 95-100, 1999.

Wiedemann, C. External Evaluation of Road Networks. **ISPRS Archives**, 2003, Munich. v. XXXIV, Part 3/W8.