

Aplicação da Esqueletização no Processo de Extração de Rodovias

Rodrigo Bruno Zanin

Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Departamento de Matemática
78550-000, Campus de Sinop, MT
E-mail: rodrigo.zanin@gmail.com

Aluir Porfírio Dal Poz

Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Departamento de Cartografia
19060-900, Campus de Presidente Prudente, SP
E-mail: aluir@fct.unesp.br

Resumo: Este trabalho se propõe a apresentar e avaliar uma metodologia alternativa para o processo de extração de sementes de rodovias em imagens digitais. Nesta metodologia o esqueleto da região de rodovias é calculado para atuar como filtro no processo de filtragem das bordas de rodovias que pela nova metodologia ocorre com o esqueleto contrapondo a metodologia vigente que utiliza as linhas. Por fim a nova metodologia é testada em um conjunto de imagens reais com considerado grau de dificuldade mostrando-se tão eficiente quanto a original, que utiliza as linhas. No entanto a nova metodologia mostrou-se mais vantajosa que a anterior dada a comparação entre os tempos de processamentos de cada uma das metodologias no processo de extração, tempo esse que na média foi 22% menor que a original.

Palavras chaves: Extração de Sementes de Rodovias, Esqueletização de Imagens, Extração de Linhas.

I – Introdução

Com a popularização das imagens digitais, bem como a evolução dos hardwares algumas áreas de pesquisa sofreram uma intensa evolução nas últimas décadas. Entre essas áreas destacam-se o Processamento Digital de Imagens a Visão Computacional e a Análise de Imagens. Tais evoluções ocorreram devido ao caráter multidisciplinar que estas áreas têm, bem como as aplicações imediatas que as mesmas geram, principalmente nas áreas tecnológicas.

Dentro desse contexto, existe uma área em franco desenvolvimento na Geociências denominada Fotogrametria Digital, que vem incorporando, efetivamente, as evoluções alcançadas em diferentes domínios, de maneira a automatizar o máximo possível os processos envolvidos no mapeamento sistemático baseado em imagens. Dentre os vários assuntos pesquisados na Fotogrametria Digital, a Extração Automática e Semi-Automática de Rodovias em imagens digitais se tornou um tema de grande interesse para alguns grupos de pesquisas que se dedicam a encontrar soluções para o problema desde a década de setenta, pois a necessidade em acelerar o processo de realização do mapeamento, bem como da sua atualização para a geração de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) é de fundamental importância em várias áreas ligadas a Geociências.

Este trabalho está focado em uma das principais etapas dos métodos de extração de rodovias que é baseado no espaço-escala e análise de multi resolução, pois nessas metodologias a extração de linhas ocorre em uma imagem re-amostrada para posterior utilização no processo de filtragem de elementos de rodovias. Dessa forma, se propõe aqui a substituição das linhas extraídas nas imagens de baixa resolução, pelo esqueleto calculado a partir da imagem binária obtida segundo a metodologia de [10].

Este trabalho está dividido em cinco seções sendo que a seção dois apresenta uma breve revisão teórica, que serve de base para a metodologia proposta apresentada na seção três e avaliada com imagens reais na seção quatro, ficando as conclusões para a última seção.

II – Revisão Teórica

II.1 – Extração de Sementes de Rodovias

Considerando a experiência acumulada pelos diversos grupos interessados no processo de extração de rodovias, várias são as metodologias propostas. Uma classificação para os trabalhos, vinculados às técnicas de extração automática e semi-automática de rodovias é apresentado em [7] onde a classificação dos trabalhos leva em consideração, tanto a técnica de extração empregada, bem como o tipo de sensor utilizado. Dessa forma, [7] divide os trabalhos desenvolvidos para extração de rodovias em métodos, cujos principais são: Métodos para extração da malha viária; Métodos de Segmentação geral; Métodos de Vetorização; Métodos de Otimização; Métodos traçadores de rodovias; Métodos baseados em “Snakes” e Programação Dinâmica e os Métodos baseados em análise do espaço-escala e multi resolução, sendo este último grupo o que tem tido os maiores desenvolvimentos nos últimos anos.

A extração de rodovias por meio de análise do espaço-escala oferece um controle sobre a largura das rodovias de forma que as ferramentas de extração vão explorar as diferentes características das rodovias nas diferentes escalas, segundo [5]. Nesse sentido um dos principais trabalhos nessa área é proposto em [1], onde as rodovias são modeladas dentro de uma malha viária com intersecções e ligações entre essas intersecções, baseando-se em relações topológicas entre as rodovias e outras feições sobre a imagem. Outro modelo baseado em características do espaço escala é apresentado em [4], em que as rodovias são extraídas com base em um agrupamento perceptual das sementes de rodovias, construídas em função de um conjunto de regras que organizam as hipóteses de rodovias, em função dos resultados do processo de análise de imagem, amplamente, empregado nesse método.

Ainda com relação aos métodos baseados em espaço-escala e multi-resolução, identificam-se quatro etapas distintas que segundo [3] são: Extração de fragmentos de rodovias; conexão dos fragmentos de rodovia; geração da malha viária e complementação da malha viária. Entre as etapas anteriores, a extração de fragmentos de rodovias é muito dependente dos processos de extração de bordas e linhas, dado que as linhas são utilizadas na “filtragem” dos elementos de bordas que se formarão os fragmentos de rodovias também identificadas por sementes de rodovias.

Algumas alterações consideráveis foram propostas por [10] na primeira das etapas citadas anteriormente. Estas alterações consistem de uma segmentação da imagem com base no elemento rodovia de forma a gerar uma imagem binária facilitando os processos de extração de linhas e bordas que são combinadas para gerar os fragmentos de rodovias. O processo de extração de rodovias pode ser verificado no fluxograma da figura 3(a) da seção 3.

II.2 – Extração de Linhas

A extração de feições do tipo linha nas imagens digitais é uma importante operação, classificada como de baixo-nível, com várias aplicações importantes. Entre estas aplicações incluem a extração de rios e rodovias em imagens de baixa-resolução, como por exemplo, as imagens de sensoriamento remoto ou mesmo como uma importante etapa no processo de extração de rodovias para imagens de média e alta-resolução [4]. Nesse caso, principalmente as linhas são extraídas em uma das imagens geradas ao longo do espaço-escala gaussiano sendo então, usadas para guiar o processo de extração e complementação automática da malha viária. Segundo [6] um algoritmo amplamente utilizado na literatura para detectar linhas é o denominado detector de linhas de Steger [9], cuja aplicação nos processos de extração de rodovias já está consolidada [11] e [6].

Como as linhas exibem um perfil intensidade, semelhante a um corte transversal, sobre uma cumeeira de telhado ou de uma barra estreita, as mesmas são geralmente causadas por objetos alongados podendo variar de 1 a 3 pixels, em imagens de baixa-resolução, ou até dezenas de pixels, como uma rodovia em imagens de média- e alta- resolução. De forma geral, as linhas são consideradas como objetos provenientes de bordas paralelas [9].

As linhas podem ser modeladas de forma unidimensional no espaço bidimensional R^2 como estruturas curvilíneas do tipo $s(t)$ que podem ser caracterizadas pelo atributo intensidade (como por exemplo, tons de cinza) em um perfil perpendicular ao modelo da mesma. Segundo [6], um modelo de linha ideal de largura $2w$ e altura h de mesma polaridade possui um perfil dado pela equação 1 (figura 1):

$$f_b(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq w \\ 0, & |x| > w \end{cases} \quad (1)$$

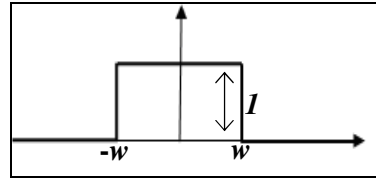


Figura 1 - Modelo de linha ideal [6]

No entanto, se um modelo de linha tem a mesma polaridade, mas contrastes laterais diferentes, então o modelo utiliza a equação 2 para determinar o perfil da linha, mostrada na figura 2, onde $a \in [0,1]$.

$$f_a(x) = \begin{cases} 0, & x < -w \\ 1, & |x| \leq w \\ a, & x > w \end{cases} \quad (2)$$

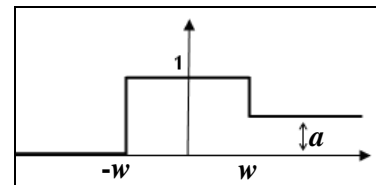


Figura 2 - Perfil de linha mesma polaridade [6]

Para equacionar linhas com polaridades diferentes verifique [9] que faz um amplo estudo sobre os possíveis modelos de linhas em imagens digitais.

II.3 – Esqueletização de Formas Bidimensionais

Antes de definir um esqueleto é necessário caracterizar formalmente uma forma ou um objeto em uma imagem digital para o qual deverá ser determinado o esqueleto.

Assim, segundo [2] uma forma ou um objeto D é um fecho (conjunto fechado e limitado) sobre um subconjunto aberto do R^2 , onde suas bordas ∂D são compostas por um número finito de curvas conectadas e mutuamente disjuntas.

Na prática, uma borda será definida por um polígono que represente o objeto em uma imagem digital, logo esse polígono será composto por pixels de bordas na referida imagem.

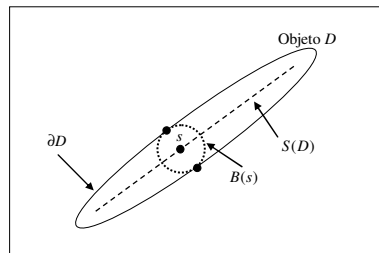


Figura 3 - Objeto ou forma com os elementos que compõe a geração do Esqueleto.

De acordo com as definições de eixo médio de Blum *apud* [2], o esqueleto $S(D)$ de um objeto D são os locais dos centros de discos máximos conforme ilustra a figura 3. Um disco máximo $B(s)$ é uma circunferência contida em D tal que a mesma é interiormente tangente a borda ∂D . Cada disco máximo como o representado por $B(s)$ na figura 3, deve ser tangente a borda em pelo menos dois diferentes pontos. Dessa forma denota-se por $Tan(s)$ o conjunto de pontos de borda tangente ao disco máximo $B(s)$ centrado no ponto $s \in S(D)$. Os pontos em $Tan(s)$ são chamados pontos de geração dos pontos de esqueleto $S(D)$.

Considerando cada borda como um polígono simples, têm-se que a $Tan(s)$ é composta por um número finito de pontos de bordas isoladas. O grau $deg(s)$ de $s \in S(D)$ é definido como a cardinalidade de $Tan(s)$ (isto é, o número de pontos de bordas tangente ao disco máximo centrado em s). Assim, dado que a borda ∂D de D é composta de por um número k de curvas poligonais simples fechadas C_1, \dots, C_k . Então o grau com respeito à C_j , indicado por $deg(s, C_j)$, é igual à cardinalidade de $Tan(s) \cap C_j$. Dessa forma pontos de bifurcação ou junção são pontos de grau três ou maior.

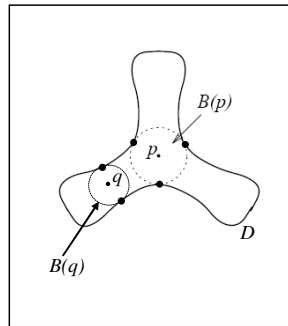


Figura 4 – Exemplo de discos máximos com seus respectivos graus em cada um dos pontos, p e q .

A figura 4 mostra o exemplo de dois discos máximos com seus respectivos pontos de esqueleto e respectivos pontos de intersecção que definem o grau do ponto de esqueleto, ou seja, para a região D com suas bordas ∂D e seus pontos p e q com discos $B(p)$ e $B(q)$, tal que $Tan(p) \cap \partial D = 3$ e $Tan(q) \cap \partial D = 2$, o que indica cardinalidade três e dois respectivamente. Mais detalhes sobre a formulação matemática para a definição de um esqueleto pode ser encontrada em [2].

Na literatura, várias são as formas de se obter um esqueleto em uma imagem bidimensional, entre elas destacam-se as transformadas da distância e do eixo médio como indica [8].

III – Metodologia Proposta

O processo de extração de rodovias indicado na seção 2.1 tem algumas etapas bem consolidadas conforme o método empregado. Nesse sentido o método utilizado por [4] e [1], com as modificações propostas por [10] é apresentado de forma resumida na figura 5(a), onde as linha extraídas com base no espaço escala e na imagem binária são utilizadas para filtrar as bordas de rodovias para gerar as sementes de rodovias.

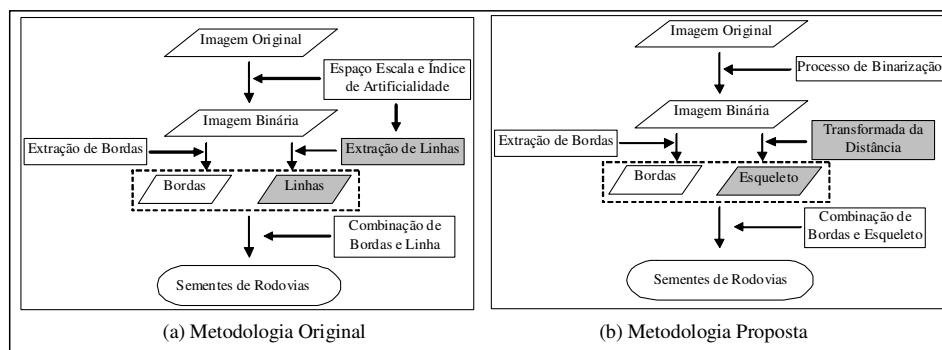


Figura 5 – (a) Metodologia Original e (b) Metodologia Proposta para Extração de Rodovias

Como as imagens binárias utilizadas no processo de extração de rodovias são ruidosas como pode ser verificado na figura 6(a), o processo de extração de linhas tende a extrair vários falsos positivos o que gera um custo computacional adicional para o processo de extração de rodovias mesmo com as mudanças propostas por [10], que aplica um filtro adicional para eliminar as linhas menores.

Nesse sentido este trabalho propõe uma mudança para contornar o problema indicado anteriormente, trocando as linhas pelo esqueleto da imagem binária, sendo o esqueleto calculado com base na transformada da distância. Esta troca, indicada no fluxograma da figura 5(b) é coerente quando se compara o número de elementos utilizados para serem combinados quando se utiliza linhas e o número de elementos a serem combinados quando se utiliza o esqueleto, principalmente do ponto de vista topológico. Esta comparação pode ser verificada nas figuras 6(b) e 6(c) que mostram as linhas e o esqueleto projetados em preto sobre a imagem original pancromática, bem como as respectivas bordas projetadas em branco.

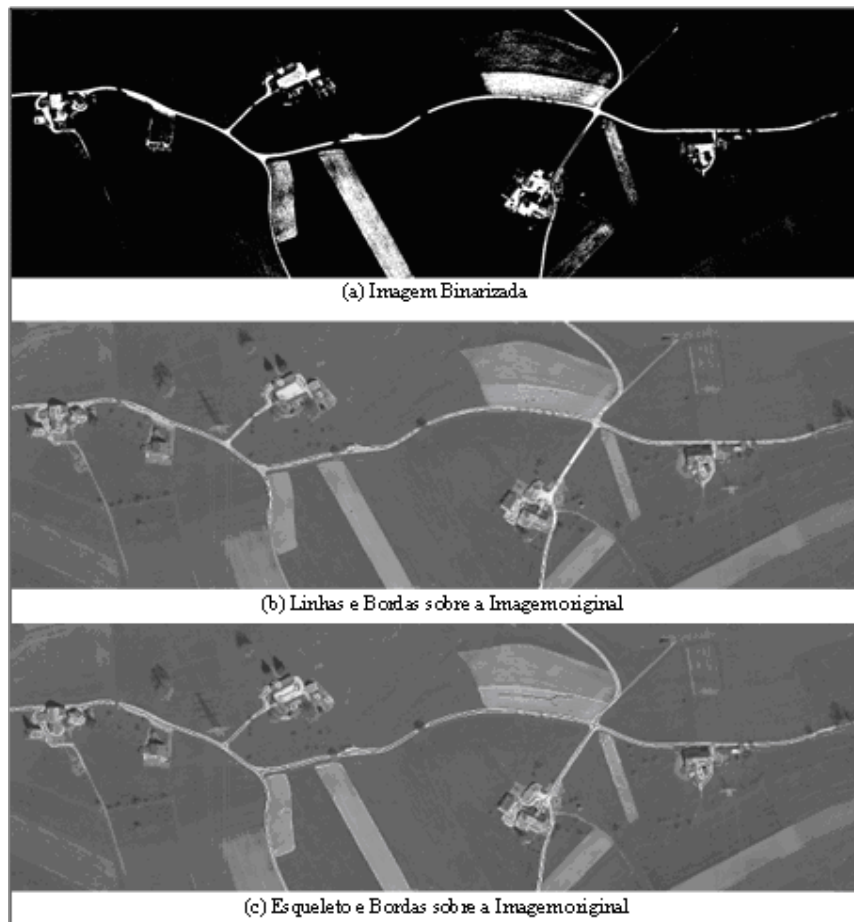


Figura 6 – (a) Imagem Binária; (b) Linhas sobre a imagem original; (c) Esqueleto sobre a imagem original.

IV – Avaliação da Metodologia

A avaliação da metodologia proposta neste trabalho foi realizada com base em quatro imagens reais com dificuldades diversas. Tais imagens são definidas e caracterizadas com relação as suas dimensões e largura de rodovias na tabela 1.

É importante ressaltar que os resultados do processo de extração de sementes de rodovias utilizando as linhas ou os esqueletos são bem similares, como pode ser verificado na figura 7, que apresenta o resultado da imagem Teste 04, onde as sementes aparecem projetadas em preto

na imagem. No entanto o tempo de processamento para a metodologia proposta é sempre menor que o da original.

Imagem	Dimensão (pixels)	Largura de Rodovias (pixels)
Teste 01 - Figura 09 (a)	717 x 530	7
Teste 02 - Figura 09 (b)	1260 x 940	17
Teste 03 - Figura 09 (c)	937 x 443	17
Teste 04 - Figura 07 (b)	1809 x 576	7

Tabela 1 – Imagens Testes e dimensões

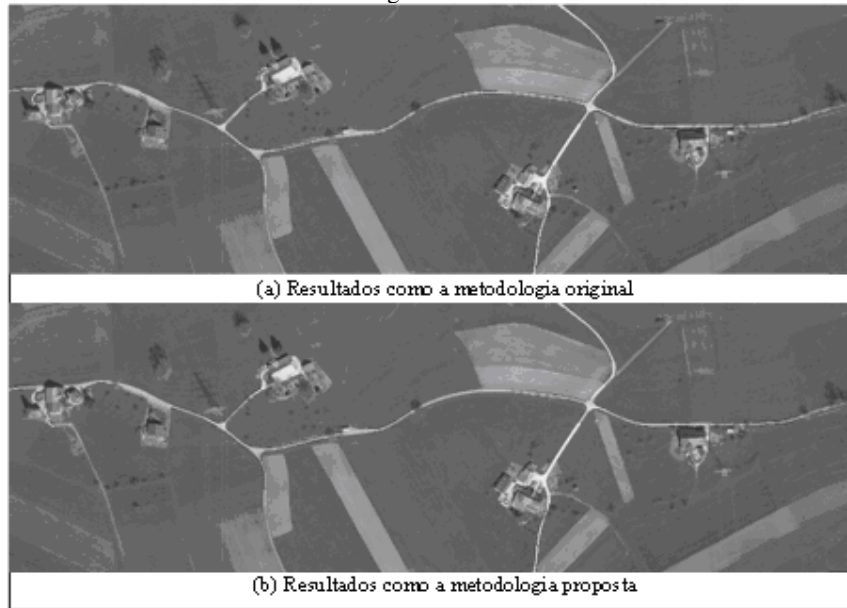


Figura 7 – Resultados obtidos com as metodologias originais e propostas

De forma geral o resultado da aplicação da metodologia proposta para as outras imagens pode ser verificado na figura 9, sendo as sementes de rodovias projetadas na imagem original em preto. Os tempos de processamento para as imagens foram comparadas nas duas metodologias e os resultados podem ser verificados na figura 8 que apresenta o gráfico de comparação para as imagens testes.

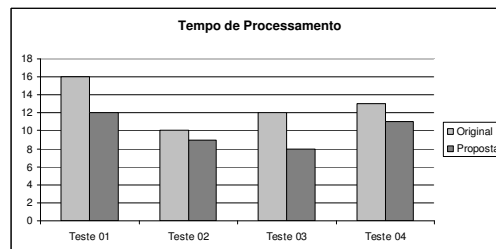


Figura 8 – Tempo de processamento para as imagens testes

V – Conclusão

Conclui-se, então neste trabalho, que a metodologia proposta tem uma vantagem no tempo de processamento, em relação metodologia original, pois quando se utiliza os esqueletos esse tempo de processamento é sempre inferior ao alcançado com a utilização das linhas na metodologia original.

Quanto aos resultados obtidos, tanto para a metodologia original, bem como para a proposta, o que se verifica é uma compatibilidade para os resultados, no que tange aos processos seguintes para a extração da malha viária, segundo [4]. No entanto a grande vantagem para a metodologia

proposta é como a economia de 22% na média do tempo de processamento. No entanto, mais experimentos seriam necessários para determinar e modelar a dependência da metodologia com o tamanho da imagem e a largura das rodovias, principalmente no cálculo do esqueleto que neste trabalho foi realizado com base na transformada da distância.

Dessa forma a metodologia proposta se mostrou bastante promissora a ponto de ser testada em imagens maiores, ou até mesmo em blocos de imagens que são elementos comuns em processos de mapeamento utilizando Fotogrametria Digital.

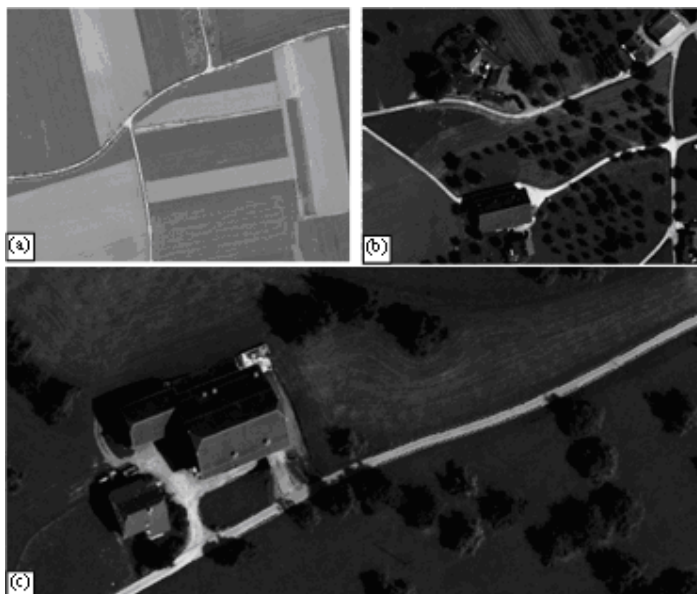


Figura 9 – Resultado para as imagens teste; (a) Teste 01; (b) Teste 02; (c) Teste 03; (d) Teste 04.

Referências

- [1] A. Baumgartner, C. Steger, H. Mayer, W. Eckstein, H. Ebner, Automatic road extraction in rural areas. *International Archives Photogrammetry and Remote Sensing*, 32(3), (1999) 107-112.
- [2] H. I. Choi, S.W. Choi, H.P. Moon, Mathematical theory of medial axis transform, em “PaciDe J.Math”. pp. 57–87, 1997.
- [3] A. P. Dal Poz, Extração automática de segmentos de rodovia em imagens aéreas de alta-resolução, em “Série em Ciências Geodésicas” 3 ed, pp. 262-276, 2003.
- [4] A. P. Dal Poz, G. M. Vale, R. B. Zanin, Automatic extraction of road seeds from high-resolution aerial images. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 77, (2005) 509-520.
- [5] C. Heipke, C. Steger, R. Multhammer, A hierarchical approach to automatic road extraction from aerial imagery. *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision II, Proc. SPIE*, 2486, (1995) 222–231.
- [6] R. Ishibashi, “Extração de segmentos de rodovia em imagens de resoluções variadas usando o princípio de bordas paralelas”, Dissertação Mestrado em Ciências Cartográficas – UNESP, 2008.
- [7] J. B. Mena, State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. *Pattern Recognition Letters*, Vol 24(16), pp. 3037–3058, 2003.
- [8] H. Pedrini, W. R. Schwartz, “Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações”. Ed Thomson Learning, 2008.
- [9] C. Steger, Subpixel – Precise Extraction of Lines and Edges, *International Archives Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (2000) 102-128.
- [10] G. M. Vale, R. B. Zanin, A. P. Dal Poz, Limiarização contextual automática de imagens coloridas: Aplicação na extração de sementes de rodovia. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 14 (2008) 72-93.
- [11] R. B. Zanin, A. P. Dal Poz, Metodologia automática para extração de cruzamento de rodovias em imagens de alta resolução. *Revista Brasileira de Cartografia*, 55 (2003) 55-65.
- [12] R. B. Zanin, R. Ishibashi, A. P. Dal Poz, Detector de linha de Steger: Potencial na extração de rodovias, em “II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas”, pp. 1-11, 2007.