

Segmentação de Imagens de Satélite através de Contornos ativos geodésicos

Cassius Marcelus Ferreira Pereira ¹

Flávio Luis Mello ²

Oscar Ricardo Vergara ¹

¹ IME – Instituto Militar de Engenharia – Depto. de Engenharia Cartográfica

² CTEx- Centro Tecnológico do Exército - Divisão de Tecnologia da Informação

cassius27@gmail.com

fmello@ctex.eb.br, vergara@ime.eb.br

Resumo : O processamento digital de imagens tem por finalidade auxiliar o usuário na tarefa de interpretar uma imagem de satélite. Dentre as técnicas existentes em processamento de imagens, o método de segmentação, em linhas gerais, procura dividir o espaço-imagem em seus objetos constituintes, de modo a tornar mais eficaz o trabalho em fases posteriores como a extração de feições cartográficas e a classificação digital. Atualmente, existem algoritmos que segmentam imagens de satélite, tais como o agrupamento de pixels e o crescimento de regiões. Estes algoritmos baseiam-se em dois princípios: o da descontinuidade e o da similaridade. No entanto, ainda são produzidas inconsistências como resultados destes algoritmos, tais como hipersegmentação de áreas homogêneas, geração de falsos contornos e de contornos abertos. Este trabalho propõe uma forma alternativa de segmentação usando a teoria dos modelos deformáveis, a fim de minimizar as inconsistências geradas pelos algoritmos tradicionais. Além da revisão conceitual e matemática dos fundamentos dos modelos deformáveis, desenvolve-se um algoritmo de segmentação baseado em um tipo particular destes modelos, os Contornos Ativos Geodésicos. Os testes deste algoritmo são realizados sobre uma imagem IKONOS 2 do Rio de Janeiro.

Palavras Chaves: segmentação, processamento de imagens, modelos deformáveis, snakes, imagens de satélite.

Abstract

The digital image processing helps the user to interpret satellite images. The segmentation method has a particular importance. Segmentation means to divide the space of the image into its constitutional objects, in order to make tasks like semi-automatic extractions and digital classification more efficiently. Nowadays, there are algorithms that do the segmentation of satellite images, like clustering and region growing. These algorithms have their basis in two principles: discontinuity and similarity. On the other hand, they can produce inconsistent results, like hipersegmentation of homogeneous areas, generation of false boundaries and open contours. This paper proposes an alternative method of segmentation based in deformable models, to minimize the inconsistent outputs of traditional algorithms. Besides the review of concepts and the mathematics of the deformable models, one develops a segmentation algorithm based in Geodesic Active Contours, a kind of deformable models. The tests of the algorithm are performed on a IKONOS 2 image of Rio de Janeiro.

Keywords: segmentation, image processing, deformable models, snakes, satellite images.

1 Introdução

O processo de segmentação é uma etapa em análise de imagem que divide a mesma em suas partes ou objetos constituintes (Gonzalez e Woods, 2000). Ela se destaca como uma etapa fundamental na obtenção de informações qualitativas e quantitativas de tais objetos do domínio espaço-imagem. Tal processo visa também auxiliar a aquisição das amostras de treinamento para uma classificação supervisionada, dividindo o espaço-imagem em regiões homogêneas, nas quais serão coletadas tais amostras (Moreira, 2003).

Os algoritmos tradicionais de segmentação baseiam-se em dois princípios: o da descontinuidade, que detecta mudanças abruptas dos níveis de cinza de uma cena, e o da similaridade, que realiza o agrupamento de pixels que guardam semelhanças com os vizinhos (N-Barbosa *et al*, 2003). Alguns exemplos de algoritmos de segmentação são os de agrupamento de pixels (*clusterização*), o de crescimento de regiões e o de detecção de bacias. Entretanto, estes algoritmos ainda geram alguns resultados indesejáveis para o usuário, como hipersegmentação de área homogêneas, construção de falsos contornos e o surgimento de segmentos abertos. Sob esta ótica, estes resultados degenerados acabam por demandar uma edição detalhada e custosa das feições segmentadas, a fim de minimizar os erros na fase posterior de classificação e extração de feições.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor um método alternativo para segmentação de imagens de satélite baseado em modelos deformáveis, mais especificamente, nos modelos de contornos ativos geodésicos. Tais modelos apóiam-se na teoria de evolução de curvas e fluxos geométricos, isto é, a curva inicial é modelada através de uma equação diferencial parcial, e sua deformação em direção aos limites de contorno é explicada pelas técnicas de evolução de uma curva no espaço bidimensional (Caselles *et al*, 1995). Assim, os modelos geométricos relacionam-se diretamente com a geometria intrínseca da curva em relação à imagem. Este modo de tratar da segmentação de imagens difere significativamente dos métodos tradicionais de segmentação ora citados, principalmente devido a sua proposição envolvendo conceitos físicos e de geometria diferencial que não são abordados nos métodos clássicos. Para o teste do método proposto, três alvos de interesse a um mapeamento cadastral foram segmentados através de um programa baseado em Contornos Ativos Geodésicos desenvolvido em MATLAB. Os resultados obtidos dos testes são resultados preliminares da pesquisa de mestrado que vem sendo desenvolvida sobre a segmentação apoiada em modelos deformáveis. Como fonte de dados para o programa foi usada uma imagem IKONOS 2 de uma parte da cidade do Rio de Janeiro.

2 Área de Estudo

A área de estudo engloba a zona oeste da cidade do Rio de Janeiro com latitude de 22°51'46,42" S e longitude de 43°25'13,31" O, como ilustrado na figura 1. Dentro desta imagem foram selecionados três tipos de feições que servem de insumos para uma base cadastral desta área da cidade: um centro de exposições no Rio de Janeiro (Riocentro), uma área de vegetação intra-urbana (Fazenda da Taquara) e um autódromo (Autódromo de Jacarepaguá). Estas áreas foram selecionadas para mostrar a capacidade dos Contornos Ativos Geodésicos de modelar tanto formas geométricas bem definidas, como os pavilhões do Riocentro e a área de vegetação, ou não tão bem definidas, como a pista do autódromo de Jacarepaguá.

3 Materiais

Os materiais utilizados foram: uma imagem IKONOS 2 da zona oeste do Rio de Janeiro, por este tipo de imagem já ter sido testado como fonte de dados para apoiar a um mapeamento cadastral e fornecer resultados compatíveis com sua escala (Castro Filho, 2006; Alves, 2005).

O software ENVI 4.2 que foi usado para carregar a imagem e recortar as áreas ao redor das feições selecionadas, já que, como será visto em detalhes na metodologia, carregar a imagem IKONOS inteira (3000 X 1500 pixels) requereria um grande tempo de processamento para o programa desenvolvido em MATLAB.

A escolha do MATLAB como plataforma para o desenvolvimento do algoritmo deve-se ao fato do mesmo oferecer recursos e funções matemáticas já codificadas em suas bibliotecas, o que permite uma

manipulação mais direta de todas as fórmulas e equações matemáticas inerentes ao modelo. Além disso, o trabalho com imagens pressupõe o cálculo de matrizes com dimensões da ordem de centenas de pixels, o que o MATLAB realiza com rapidez.

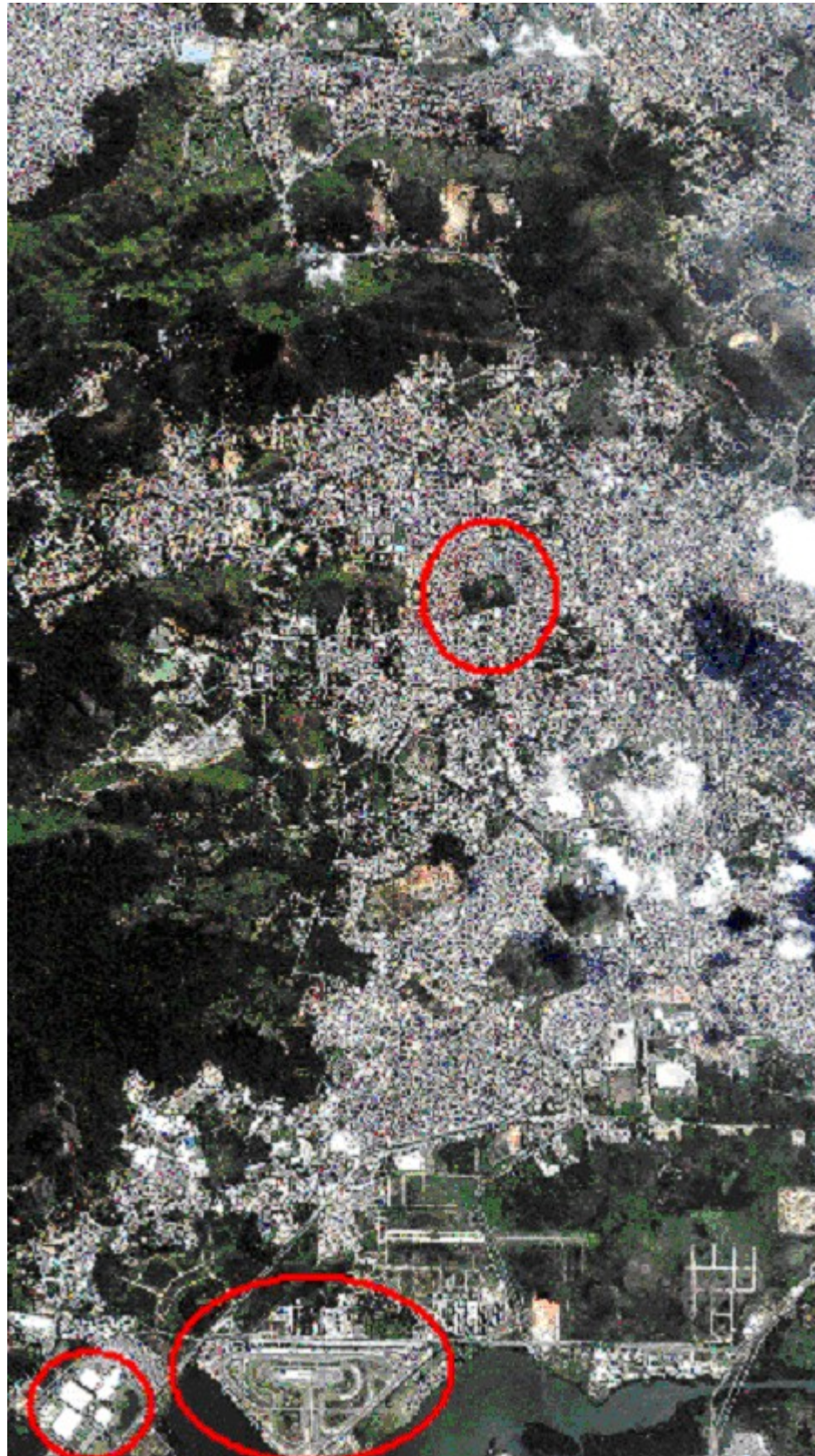


Figura 1: Imagem IKONOS da zona oeste do Rio de Janeiro, com os três alvos em destaque.

4 Modelos Deformáveis

Os modelos deformáveis têm por base uma técnica desenvolvida na década de 70, conhecida como técnica da máscara de borracha (Widrow, 1973). Estes modelos foram desenvolvidos de modo que a geometria do modelo sofra influências das bordas dos alvos de interesse. Desta forma garante-se a formação de segmentos fechados como resultado da segmentação, um problema nos algoritmos tradicionais de detecção de bordas. Por este motivo, os modelos deformáveis constituem uma poderosa técnica para solucionar o entrave da identificação de contornos.

A teoria envolvida na definição dos modelos deformáveis baseia-se em três áreas distintas de conhecimento: Física, Geometria e Teoria da Aproximação. Os conceitos físicos de energia e força são empregados para quantificar as deformações que ocorram no modelo original ao longo do tempo. A Geometria fornece a fundamentação para a interpretação geométrica dos resultados, assim como da topologia das formas envolvidas nas diversas fases do processo de segmentação, fornecendo condições de contorno para o movimento da deformação. Já a Teoria da Aproximação fornece subsídios para que se produza um contorno mais adequado à feição que se deseja extrair da imagem, contribuindo na definição de condições de parada do algoritmo (Harmaneh, 2000).

4.1 MODELOS DE CONTORNOS ATIVOS

Entre os modelos deformáveis disponíveis, um em especial é o foco de interesse neste trabalho: os modelos de contornos ativos, conhecidos comumente como *snakes*. O modelo original de *snakes* (Kass et al, 1987) é, basicamente, uma curva contínua parametrizada na qual age um sistema de forças proveniente de funcionais de energia, responsáveis pela deformação da curva.

No modelo original proposto por Kass et al (1988), existem três funcionais de energia: interna, externa e da imagem. Pode-se, a partir destas, definir o funcional de energia para a *snake* como sendo:

$$E_{snake} = E_{interna} + E_{externa} + E_{imagem} \quad (1)$$

onde E representa o funcional de energia para cada componente.

Na equação 1, a energia interna de uma *snake* ($E_{interna}$) tem por finalidade principal controlar dois parâmetros da curva que formam o modelo: a tensão (w_1) e a elasticidade (w_2). Neste contexto entende-se por tensão a resistência da curva a se quebrar devido a um estiramento, e elasticidade a resistência que ela fornece ao cisalhamento. A *snake* necessita de um funcional que atraia o modelo para as bordas das feições que se desejam segmentar.

O funcional de energia da imagem (E_{imagem}) fornece ao modelo as variáveis espectrais e topológicas das feições em questão. Segundo o modelo original são parametrizadas por este funcional, a localização de bordas, as terminações, as diferenças espectrais entre os níveis de cinza e a forma geométrica das feições.

Por fim, a energia externa ($E_{externa}$) é responsável por limitar o crescimento da *snake*, ou seja, este funcional trabalha como um limitador da curva, visando conter a expansão da mesma, fornecendo-lhe uma condição de parada segundo a diferença de gradiente encontrada entre as bordas e o exterior do objeto.

Todavia, pode haver necessidade de mudanças topológicas do contorno original a ser deformado, como operações de junção e separação de curvas, que não são implementadas diretamente com os modelos baseados em minimização de energia. Além disso, a imposição de um contorno inicial próximo à feição a ser segmentada enfraquece o caráter prático dos modelos de contorno ativo.

4.2 Contornos Ativos Geodésicos

Os Contornos Ativos Geodésicos, ou *Snakes* Geodésicas (Caselles *et al*, 1995), apresentam uma abordagem mais geométrica ao problema de segmentação de imagens. Isto se deve ao fato deste tipo de *snake* basear-se na relação entre os contornos ativos originais e o cálculo das geodésicas, ou curvas de mínimas distâncias. Isto torna o modelo mais elaborado matematicamente, porém também aumenta a estabilidade quanto à identificação dos contornos.

Seja $C(p):[0,1] \rightarrow \mathbb{R}^2$ uma curva planar parametrizada e $I:[0,a] \times [0,b] \rightarrow \mathbb{R}^+$ uma imagem genérica na qual deseja-se segmentar seus objetos constituintes. Primeiramente, define-se uma função g , que depende do gradiente da imagem, aqui representado por ∇I , de modo que g seja uma função estritamente decrescente enquanto o gradiente da imagem se aproxime de regiões com alta diferença de contraste entre os níveis de cinza, ou seja, da borda de um objeto constituinte da imagem. Pode-se demonstrar que a minimização da equação de energia descrita anteriormente, no modelo paramétrico, equivale a minimizar $L_R = \int g(|\nabla I(C)|) dq$, onde q é o comprimento de arco Euclidiano.

A minimização deste funcional se dá segundo uma regra de evolução de curvas que enuncia que o contorno se deforma segundo a equação:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = (g \cdot k - \nabla g \cdot \vec{N}) \vec{N} \quad (2)$$

onde k é a curvatura e $\vec{N}$ é o vetor unitário normal.

Contudo, a equação 2 apenas deforma a curva inicial em direção às bordas do objeto-alvo. A fim de segmentar múltiplos objetos presentes na imagem torna-se necessário o incremento de mudanças topológicas que serão incorporadas ao modelo de *snakes* geodésicas pelo método das Curvas de Nível. Este método, desenvolvido por Osher e Sethian (1988), permite que o contorno original sofra mudanças topológicas, através de uma outra forma de analisar o problema de deformação de curvas. Nesta técnica, o contorno é visto como uma curva de nível de uma função de dimensão imediatamente superior à dimensão da curva. No caso de imagens de sensoriamento remoto, esta função pertence ao universo tridimensional, recebendo a denominação de função *level-set*. Na figura 2, ilustra-se o fundamento do método ora exposto.

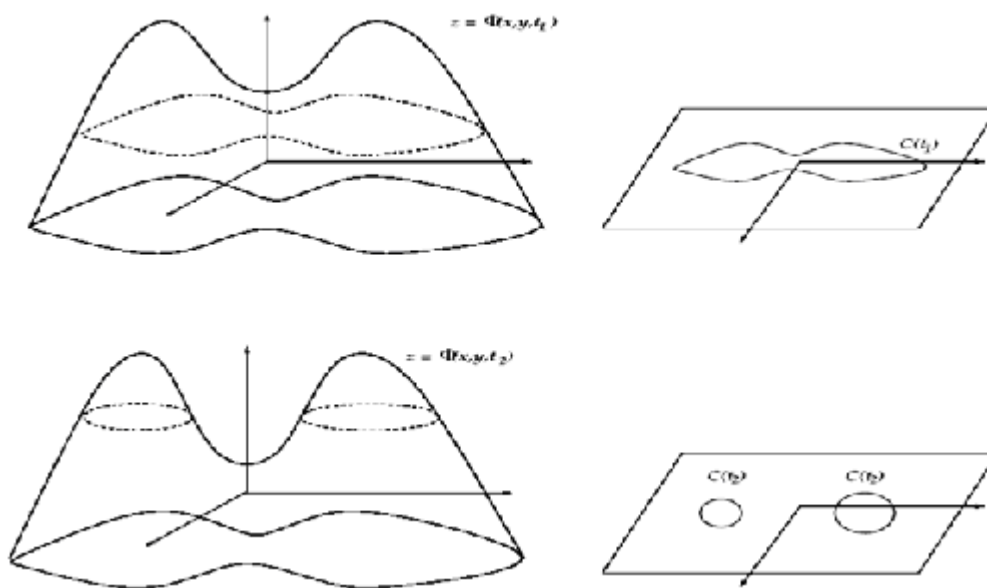


Figura 2 : Mudanças topológicas no contorno propiciadas pelo Método de Curvas de Nível

Inserindo a equação (2) em uma função *level-set* obtém-se a seguinte equação para os contornos ativos geodésicos:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = (g \cdot k - \nabla g \cdot \vec{N}) |\nabla \Phi| \quad (3)$$

onde Φ representa a função tridimensional.

Analisando por um momento a equação 3, que define as *snakes* geodésicas, tem-se que a parcela $g \cdot k$ se comporta de maneira análoga à energia interna do modelo paramétrico representado pela equação (1), controlando a deformação do contorno segundo sua curvatura enquanto suaviza sua forma final. A segunda parcela $\nabla g \cdot \vec{N}$ irá ter a mesma ação da energia externa, atraindo a curva para as bordas da feição segundo direção normal à trajetória de deformação.

5 Metodologia

Com base na teoria de *snakes* geodésicas ora exposta (Caselles *et al.*, 1995), neste trabalho foi desenvolvido o algoritmo G-Snakes, que visa segmentar imagens usando os Contornos Ativos Geodésicos. Este algoritmo foi implementado em MATLAB 6.0, tendo o cuidado de não só ser eficiente quanto à segmentação das imagens nele carregadas, mas também oferecer ao usuário uma interface gráfica e simples de se trabalhar. Cabe ressaltar que, apesar do algoritmo já estar funcionando, inclusive obtendo-se resultados preliminares, este ainda encontra-se em fase de testes, sofrendo eventualmente alguns ajustes em sua forma.

Como mostrado nas equações, no modelo adotado tem-se termos com derivadas parciais que, numericamente, foram desenvolvidas usando-se o Método das Diferenças Finitas. Além disso, para este

algoritmo adotou-se a função $g = \frac{1}{1 + |\nabla I|}$, como a função monotonicamente decrescente para ser usada no cálculo de deformação do contorno inicial. Logo abaixo, é mostrado o fluxograma do algoritmo:

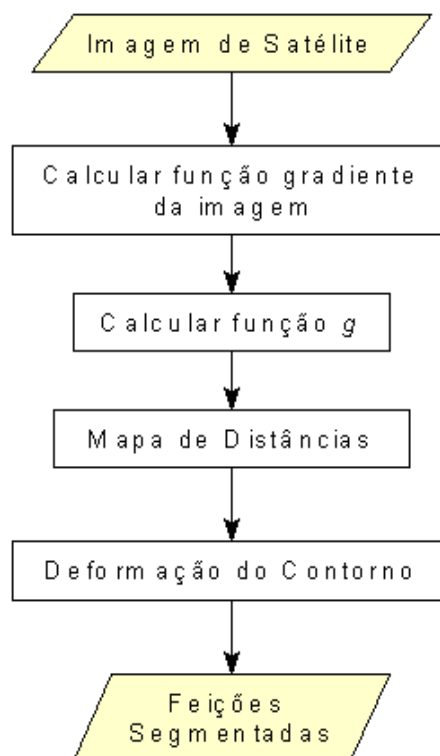


Figura 3: Fluxograma do algoritmo G-Snakes

A entrada do algoritmo foi realizada com um recorte de 400 X 400 pixels ao redor das feições selecionadas na imagem IKONOS 2. Neste passo, justifica-se ter como entrada um recorte da imagem ao invés da imagem por inteiro, simplesmente por motivos de custo computacional. Este custo é consequência do quarto processo apresentado no fluxograma do algoritmo: o cálculo do mapa de distâncias. Em linhas gerais, este mapa consiste em avaliar a distância euclidiana de cada pixel da imagem ao contorno inicial, e armazenar o valor na posição de cada pixel na imagem. Vale salientar que o contorno inicial é adquirido automaticamente quando a imagem é carregada no programa G-Snakes. Sendo assim, se fosse considerada toda a imagem (3000 X 1500 pixels) ter-se-ia um número bastante grande de operações para medir estas distâncias, gerando um custo operacional alto, que não se justifica para o caso de testes localizados na imagem. Além disso, como o comportamento dos modelos deformáveis em imagens de satélite encontra-se em fase de pesquisa, o uso de imagens de menor dimensão facilita a análise dos resultados.

Após o mapa de distâncias ter sido adquirido, inicia-se o processo de deformação do contorno inicial. Para tal a equação 3 é descrita através de diferenças finitas e a função Φ assume a forma da matriz do mapa de distâncias. A partir deste ponto, a tarefa de deformação resume-se em calcular iterativamente a função Φ , até que se atinjam as bordas das feições de interesse na segmentação ou o número máximo de iterações, que no programa é configurada em 1000. É possível ainda visualizar a deformação da curva ao longo do tempo percebendo-se as mudanças topológicas e a força exercida pelas bordas dos contornos na curva inicial.

Ao final, satisfeita uma das condições de parada do algoritmo, extrai-se os contornos das feições segmentadas, salvando-os em um arquivo texto contendo o número de pontos que formam a curva do contorno e as coordenadas de cada ponto, no sistema da imagem. Este arquivo pode ser lido em um software como o *MapViewer*, de modo que sejam restauradas as formas geométricas das feições segmentadas.

6 Resultados

A primeira imagem (figura 4) mostra o Riocentro, Centro de Exposições do Rio de Janeiro. A intenção nesta imagem era segmentar os pavilhões que compõem o Riocentro, já que a cobertura de zinco dos tetos dos pavilhões produz uma alta reflectância, gerando um valor de nível de cinza muito próximo do 255 (branco). Em virtude disto, analisando os pixels ao redor destas feições, percebe-se um alto valor de gradiente nas bordas dos tetos. Entretanto, obteve-se, como resultado, a extração de todas as feições de ruas e vegetações constituintes da imagem, isto é, os valores de nível de cinza próximos ao zero (preto). Uma possível justificativa para este resultado é a maneira como foi calculado o gradiente da imagem, através de diferenças finitas centrais. Este fato ainda está sendo investigado dentro da pesquisa em andamento, sendo este um resultado preliminar da segmentação via Contornos Ativos.

Não obstante, vislumbra-se na figura 4-b que todas as feições de vegetação e alagados, com suas respostas espectrais próximas ao nível de cinza zero, foram segmentadas com precisão, independente de quão complexa fosse sua forma e quão pequeno seu tamanho.

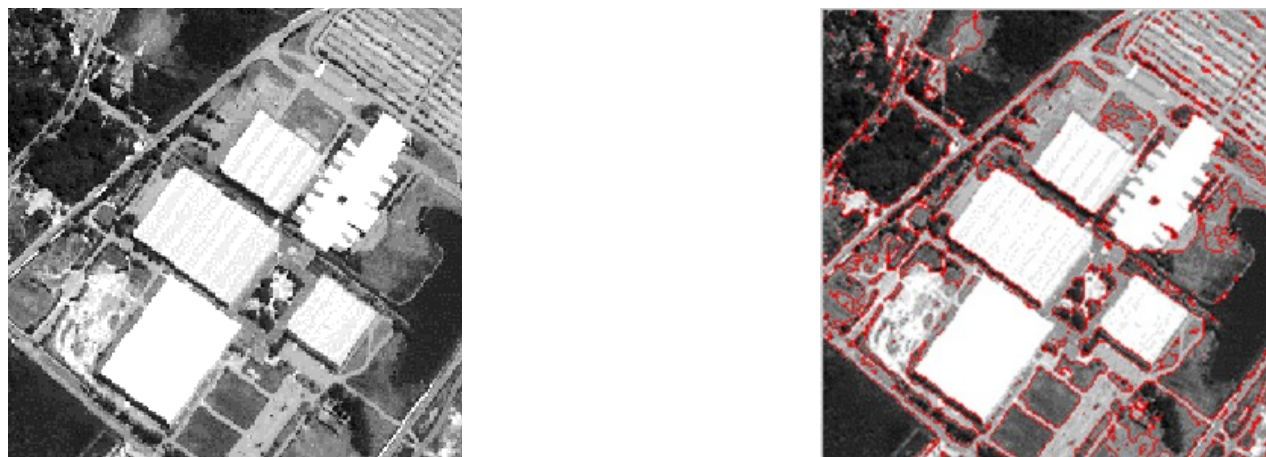


Figura 4: (a) Pavilhão do Riocentro original e (b) Pavilhões após a segmentação

No segundo exemplo (figura 5), o objetivo era a extração da área da Fazenda da Taquara. Neste caso, como a curva é atraída para feições que possuem o nível de cinza mais próximo do zero, obteve-se a segmentação da área da fazenda e também de pequenas vegetações intra-urbanas ao redor da mesma. Aqui fica bem notório o potencial do Método de Curvas de Nível associado aos Contornos Ativos Geodésicos, pois a curva envolvente¹ se divide em dezenas de curvas menores, mudando sua forma geométrica original. Neste ponto, é interessante evidenciar que a curva envolvente tem as dimensões da imagem por inteiro, no caso, 400 X 400 pixels.

Outro fato importante evidenciado neste exemplo é que, em nenhum momento foi fornecida a quantidade de alvos a serem identificados na imagem, não constituindo esta quantidade, um parâmetro restritivo para a segmentação.

Destaca-se ainda que, apesar deste teste ter gerado muitos resultados paralelos, ou seja, vários segmentos que não seriam representados em uma base cadastral, o usuário tem a opção de, ao regenerar a lista de pontos em um CAD, selecionar somente as feições de interesse que lhe convém.

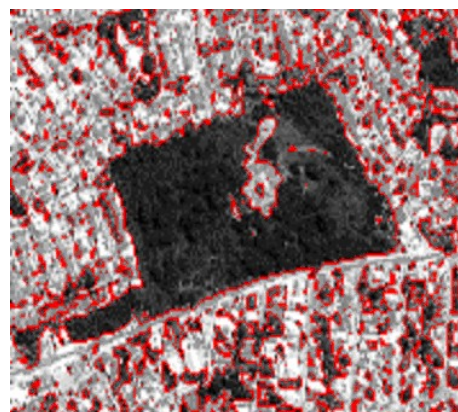


Figura 5: (a) área da Fazenda da Taquara original e (b) área da Fazenda da Taquara após a segmentação

Como exemplo final (figura 6), mostra-se o Autódromo de Jacarepaguá, onde se tem como resultado a extração da pista do autódromo, dos focos de vegetação e das arquibancadas do mesmo. Aqui fica claro a propriedade que os Contornos Ativos Geodésicos têm de se adaptar a feições mais lineares do que as dos exemplos anteriores.

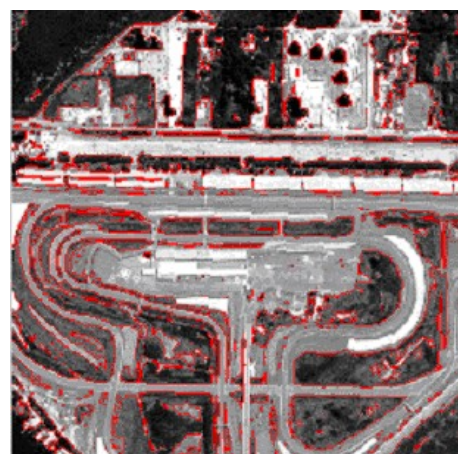


Figura 6: (a) Autódromo de Jacarepaguá e (b) Vegetação, arquibancadas e partes da pista do Autódromo segmentados.

1 Denomina-se curva envolvente o contorno com que inicia o algoritmo G-Snakes.

Destaca-se também que, nestes exemplos não se realizou nenhuma forma de processamento nas imagens com o intuito de realçar as bordas das feições, a fim de facilitar o trabalho das *snakes* geodésicas. Isto foi intencional para demonstrar a potencialidade desta metodologia como uma forma alternativa e efetiva de segmentação. Como dito na seção 5, todos os contornos foram extraídos da imagem na forma de um arquivo de poli-linhas. Isto significa que a saída do programa tem um formato vetorial, minimizando a edição de resultados da segmentação. Neste sentido, poder-se-ia perfeitamente alimentar um arquivo digital de uma base cartográfica ou um Sistema de Informações Geográficas.

7 Conclusões

Os modelos deformáveis são uma forma alternativa e efetiva de segmentação de imagens. O modelo de *snakes* geodésicas foi aqui testado para minimizar as inconsistências advindas dos algoritmos tradicionais de segmentação em imagens de satélites. Os resultados preliminares obtidos mostram a potencialidade deste modelo em dividir a imagem em seus objetos constituintes, resultados estes que podem ser melhorados com o uso de filtros para realçar as bordas da imagem ou a introdução outros parâmetros de caracterização das feições, tal como a textura. Estas idéias de melhoria dos resultados já estão sendo executadas dentro do desenvolvimento da pesquisa de mestrado em andamento, no âmbito do departamento de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia.

8 Referências Bibliográficas

- ALVES, Rafael de Área Leão.** *Identificação de Alvos Urbanos Em Imagens Ikonos Aplicando Classificação Orientada A Segmentos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Rio de Janeiro, 2005. 127p
- CASELLES, V., KIMMEL, R., SAPIRO, G.,** *Geodesic Active Contours. Procedures of International Conference in Computer Vision* Boston, EUA, junho de 1995, p.694–699.
- CRÓSTA, Álvaro Penteado.** *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.170p
- GONZALEZ, R.C. e WOODS, R.E.** *Processamento de Imagens Digitais*. Editora Edgard Blücher Ltda. 1992. São Paulo, Brasil.
- HAMARNEH, G.** *Towards Intelligent Deformable Models for Medical Image Analysis*, 2001. 212 p. Tese de Doutorado em Engenharia, Department of Signals and Systems School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden: 2001
- KASS, M., WITKIN, A., TERZOPOULOS, D.** *Snakes: Active Contour Models*, International Journal of Computer Vision, 1988, 321-331 pp.
- MOREIRA, Maurício Alves.** *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. Viçosa, 2003. 307p.
- N-BARBOSA, K. M.; ACCO, M.; KIRCHNER, F. F.;** *Classificação de Imagens Ikonos e Comparação por meio de Segmentação e Fotointerpretação da Área Amostral*. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 2003.
- OSHER, S. J. e SETHIAN, J. A.,** *Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations*, Journal of Computational Physics, vol. 79, p. 12–49, 1988.
- CASTRO FILHO, C.A.P.** *Metodologia de Classificação Orientada A Segmentos Para Apoio ao Cadastro Urbano*. Dissertação de Mestrado, 2006. Departamento de Engenharia Cartográfica. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- WIDROW, B.** *The Rubber Mask technique parts I and II*, Pattern Recognition, vol 5, 1973, 175-211 pp.