



20 e 21 de outubro  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
São José dos Campos - SP

## Uso de função tangente para modificar segmentos de imagens

Carlos F. S. Volotão<sup>1</sup>, Luciano V. Dutra<sup>2</sup>, Rafael D. C. Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doutorado em Computação Aplicada – CAP – INPE

<sup>2</sup>Departamento de Processamento de Imagens – DPI – INPE

<sup>3</sup>Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC – INPE

{volotao, dutra}@dpi.inpe.br, rafael.santos@lac.inpe.br

**Abstract.** *Image segmentation finds the delineation of objects. Each segment may correspond to the shape of the object in real world. Rectangular segments should be used to represent rectangular urban objects as some roofs and pools. This work proposes an object-based approach to the foreground segmentation process of remotely sensed urban area images considering a joint consideration of both spectral and shape attributes for each segment. We present a method to segment rectangular objects by adjusting the shape. After detecting the segments the algorithm corrects its pixel shape. The contour is rotated and resized to best fit the both image DN and object shape by considering the image radiometry and detected borders. This work presents the research that was divided in some papers to provide every aspect in detail and the developing stage.*

**Resumo.** *A segmentação de imagens é um processo que delinea os objetos. A forma de cada segmento de imagem deve corresponder ao objeto real. É esperado que segmentos retangulares representem objetos urbanos retangulares. Este trabalho propõe o uso de uma abordagem baseada em objeto para a segmentação de “foreground” em imagens de área urbana que considera conjuntamente os atributos espectrais e de forma para cada segmento. Para segmentar os objetos retangulares levando em conta a forma, após detectar os segmentos, faz-se uma correção dos pixels. O contorno sofre rotação e redimensionamento para ajustar tanto o nível de cinza quanto a forma do objeto em função da radiometria e de bordas detectadas. Este trabalho apresenta o estágio de desenvolvimento atual da pesquisa, que foi dividida em partes para detalhar diferentes aspectos e possibilidades.*

**Palavras-chave:** *segmentação de imagens, turning function, análise de imagens baseada em objeto (OBIA).*

## 1. Introdução

O conceito de objeto é simples e seu uso tem-se intensificado em substituição aos métodos clássicos de processamento de imagem. Objetos, em uma imagem de sensoriamento remoto, são elementos unitários relacionados à semântica que se deseja reconhecer numa cena. A identificação do contorno de um objeto em uma cena é importante para as aplicações de visualização e análise espacial. Segmentação é um processo que produz uma nova imagem a partir de uma imagem original e, segundo o conceito de análise baseada em objeto apresentado por Blaschke et al. (2008), pode ser considerada de baixo nível pois, simplificada, agrupa pixels e não os interpreta.

Alguns sistemas já disponibilizam há muitos anos o métodos de segmentação convencional de imagens (Salembier e Marqués, 1999; Gonzales e Woods, 2000; Andrade *et al.*, 2003; e Souza Jr, 2005), como é o caso do SPRING (Erthal, Fonseca *et al.*, 1991; Bins, Fonseca *et al.*, 1996; Câmara, Souza *et al.*, 1996), que utiliza algoritmos de crescimento de regiões por detecção de bordas ou bacias.

O maior nível seria algo que se aproxima do que o homem faz, como a percepção visual e os inter-relacionamentos, realizados pelo cérebro durante a interpretação manual. As abordagens baseadas em objetos, portanto, se distinguem dos procedimentos tradicionais por considerarem a semântica. Deste modo, a segmentação baseada em objeto não se limita à detecção das bordas ou ao agrupamento das áreas com valores homogêneos, mas busca o significado do mundo real, sendo necessário um conjunto de operações para a estimação dos objetos.

O procedimento de categorização de objetos, se feito por um especialista (humano) é a interpretação, mas quando é feito pelo computador é chamado de classificação, que consiste na delimitação de áreas da imagem associadas a um rótulo de classe. Fatores como escalas e contextos (fundo) tornam a identificação mais complexa. Existe um grande número de alvos urbanos que facilitam a identificação com base exclusivamente na forma, como: fazendas, portos, aeroportos, cemitérios, praças, telhados, piscinas, ruas e arruamentos. A análise digital de cenas em imagens obtidas por sensoriamento remoto depende de informações específicas que são tratadas e extraídas por outros pré-processamentos. Uma das possíveis operações realizadas previamente é a identificação de contornos por operação de segmentação das regiões homogêneas em relação a algum critério estabelecido da imagem, geralmente relacionado com a estatística do número digital em cada banda.

As cenas urbanas apresentam um grande número de objetos com contorno regular, modificados ou criados pelo homem, como edificações, jardins, loteamentos e arruamentos. Apresenta também uma classe de objetos cujos contornos são polígonos extremamente complexos, como é o caso das copas das árvores que, inclusive, interferem na forma de outros objetos registrados na imagem, formando sombras e oclusões. Uma das maneiras de identificação e classificação do objeto relaciona-se com o formato do seu contorno. A partir de um objeto pode-se fazer análises mais detalhadas, facilitando a modelagem de fenômenos e reduzir a imprecisão ou imperfeição do delineamento pela correspondência das informações de forma do objeto identificado pela forma aproximada do segmento e informações radiométricas e espectrais obtidas pela imagem.

Existem várias classes de segmentadores, de acordo com o algoritmo utilizado (Fu e Mui, 1981; Haralick e Shapiro, 1985; Pal e Pal, 1993). A segmentação alcança resultados melhores com o conceito de análise de imagem baseada em objetos (Liu *et al.*, 2006). É a verificação conjunta da forma com os valores espectrais que permite aumentar a capacidade de análise dos objetos, e existem fenômenos que podem interferir na segmentação como fontes de erro, como: sombra, tipo de iluminação, oclusão devido a outro objeto ou nuvem e contornos com formatos desconhecidos. A abordagem com base em objeto torna possível modelar, estabelecer regras e corrigir casos desse tipo. Alvos urbanos imageados por sensores remotos podem ser agrupados por atributos de forma. A informação obtida pelo contorno da imagem é suficiente para caracterizar muitos objetos de interesse, pois para muitos alvos a silhueta fundamental para o reconhecimento de objetos da imagem.

Nesse contexto, este trabalho visa buscar uma forma de dar ao processo de segmentação informações mais próximas daquelas que podem ser aproveitadas pelos processos de mais alto nível, tornando mais fácil o reconhecimento de objetos pela melhor caracterização dos objetos. Para isso um conhecimento prévio de algumas ou todas as características que serão utilizadas no aspecto geométrico da forma do contorno dos objetos deve ser conhecida a priori. A seguir será apresentado o método.

## 2. Definição de segmentação baseada em objeto

Alguns objetos têm origem nas modificações da paisagem natural; outros existem pela ação do homem. Objetos urbanos são, portanto, , são segmentos de interesse para a análise de cenários e planejamento urbano e podem ter diversos formatos, sendo que uma das formas mais simples e comuns no espaço intra-urbano é o retângulo, considerando o contorno em projeção ortogonal.

Para distinguir o primeiro do segundo plano de segmentação a definição clássica de segmentação foi modificada de modo a permitir apenas delinear os objetos encontrados, ou seja, o “foreground”. Uma nova definição de segmentação é proposta.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bigcup_{i=1}^n F_i = F \subset \left( \bigcup_{i=1}^m R_i \right) = S \\ S \equiv \text{Suporte (a área considerada da imagem)} \\ F \equiv \text{Foreground (1º plano)} \\ B \equiv \text{Background (2º plano)} \\ S = B + F \\ F_i \subset F, i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ é um objeto} \\ B_i \subset B, i \in \{1, 2, \dots, m\} \text{ é um objeto de fundo} \\ F_i \text{ é uma região conectada, } \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \end{array} \right. \quad (2.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall i, j, i \neq j \Rightarrow F_i \cap F_j = \{ \} \Rightarrow \text{não ocorre oclusão} \\ \exists i, j, i \neq j \mid F_i \cap F_j \neq \{ \} \Rightarrow \text{ocorre oclusão} \end{array} \right. \quad (2.2)$$

$$\begin{cases} P(F_i \cap Q_i) = \text{verdadeiro}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \\ Q_i \equiv \text{critério de forma da região } F_i \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\begin{cases} P(F_i \cup F_j \cap Q_{ij}) = \text{falso}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, \\ \forall F_i, F_j \text{ adjacentes} \\ Q_{ij} \equiv \text{índice (forma) da região } F_i \cup F_j \end{cases} \quad (2.4)$$

A condição 2.1 define a presença numa imagem de dois tipos de pixel: um que compõe algum objeto (primeiro plano) e outro que não pertence (plano de fundo). A condição 2.2 torna possível considerar o efeito de sobreposição e oclusão de objetos. A condição 2.3 explicitamente considera a forma do objeto ( $Q$ ), por algum critério ou índice. Esta, em conjunto com a condição 2.4, permite considerar outros tipos de atributos, como forma, mas separa regiões ou objetos que sejam adjacentes e distintos. Cada segmento representa um objeto formado por uma única região conectada.

O conjunto de todos os objetos existentes em uma imagem define o primeiro plano (ou *foreground*). Todo objeto que não esteja incluído no critério estabelecido, p. ex., ser retangular, e tudo o que não for identificado dentro do critério passa a compor o plano de fundo (*background*). Exemplificando com o caso do retângulo, tudo o que tiver a forma retangular será incluído nas imagens no primeiro plano. Terrenos, lotes, jardins, praças de forma retangular, construções, piscinas, telhados, veículos e sinalização, se tiverem formato retangular comporão o primeiro plano da cena. A importância do estabelecimento das novas condições representadas pelas equações 2.1 a 2.4 é permitir utilizar o termo “segmentação” voltado para o delineamento apenas das regiões de interesse, i.e., onde há objetos identificados e permitir a hipótese de superposição de pixels devido a uma sobreposição da projeção de diferentes objetos.

Alguns casos de oclusão podem ser esclarecidos por aprendizagem a partir da análise de cenas, pois muitos desses fenômenos se repetem numa mesma cena. É o caso da geometria das sombras, das nuvens e da projeção de edificações sobre outros objetos. A análise de segmentos vizinhos e a ocorrência sistemática de vizinhança de mesma classe confirmam a hipótese de se tratar de um objeto do tipo em estudo. Árvores, edifícios, nuvens e sombras se identificadas por aprendizagem terão seu efeito compensado, para melhorar a precisão do método, de modo que a parte desse segmento que cobre o objeto terá, para efeito de equacionamento, valor espectral igual à média da vizinhança interna e mais próxima do retângulo, eliminada a influência das misturas de borda.

Um segmento retangular no domínio das imagens pode sofrer o efeito de serrilhamento das bordas devido à geometria dos pixels. Propriedades como o alinhamento e algum índice de forma como a retangularidade (Rosin, 2003) podem ser monitorados durante a segmentação e utilizados como restrição para a obtenção de uma segmentação. Nesse contexto, tem-se uma hipótese básica: a possibilidade de aumento da precisão na identificação do contorno de objetos em imagens por considerar o formato dos contornos junto com a resposta espectral durante o processo de segmentação. O objetivo final do trabalho é apresentar um método de segmentação que encontre retângulos com base em propriedades dos objetos em uma imagem

multiespectral de área urbana. O método busca encaixar o retângulo na sua posição mais provável por critério de maximização de um índice de retangularidade que leva em conta, conjuntamente, a forma e a radiometria do objeto. Durante a segmentação é preciso ir identificando os objetos para que a finalização do segmento não seja limitado a regiões homogêneas, mas à proximidade com algum modelo previamente reconhecido. Uma operação supervisionada pode simplificar o algoritmo de identificação do objeto, que pode concentrar o foco no melhor ajuste de posição dos contornos. A segmentação automática não-supervisionada necessita da coleta de informações durante a segmentação para a identificação automática. Neste caso é necessário estabelecer algoritmos específicos de modo que a identificação da categoria do objeto pode ser inferida durante o processo, tornando o problema mais complexo.

### 3. A conversão da forma dos segmentos detectados

Existem várias opções para encontrar retângulos. Um deles consiste na otimização do índice de retangularidade pelo mínimo retângulo envolvente. É utilizada a razão das áreas, conforme a equação 3.1. Um dos problemas desse índice, que varia no intervalo (0,1], é a sua sensibilidade a ruídos do tipo picos (i.e., *spikes*) internos e externos. Se o polígono que define o segmento contiver um vértice agudo afastando-se significativamente do retângulo principal, o índice resultará num valor baixo.

$$I = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de pixels do menor retângulo envolvente})}{(\text{n}^\circ \text{ de pixels do segmento})} \quad (3.1)$$

O método do mínimo retângulo envolvente robusto (Rosin, 2003), relaxa a exigência de que todos os pontos precisem ser envolvidos para lidar com os ruídos. A modificação básica do método consiste em reduzir o retângulo envolvente mínimo à metade de sua área e, utilizando um método de minimização iterativa da equação  $(R+D)/I$ , onde R é o retângulo, D é a diferença entre o retângulo e o segmento e I é a interseção entre ambos. A sensibilidade aos ruídos do retângulo envolvente original é reduzida.

A técnica de casamento de padrões (*template matching*) realiza uma comparação que pode ser aplicada com a busca de modelos geométricos em imagens conhecidos a priori. É feita uma varredura da imagem em busca de um padrão de forma de referência. Alguns graus de liberdade quanto às dimensões e rotação, com uma estrutura rígida bem definida. (Theodoridis e Koutroumbas, 2006) discutem o assunto.

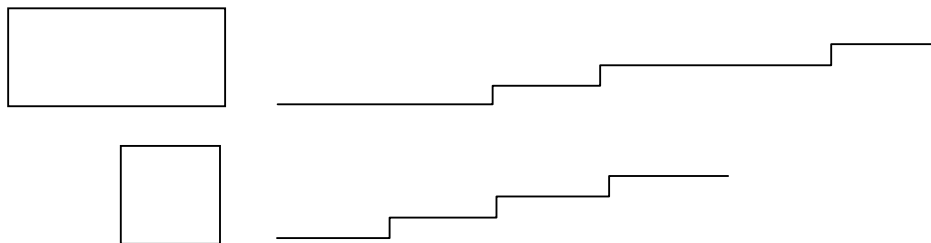


Figura 1. Aparência da representação de um retângulo e um quadrado (à esquerda) no espaço transformado (à direita).

A Fig. 1 apresenta a representação dual no plano cartesiano e no espaço da função tangente. A origem do quadrado e do retângulo no plano cartesiano foi arbitrada no canto inferior esquerdo, seguindo o sentido trigonométrico de rotação e na Fig. 1 não foi realizada a normalização de distâncias, que é aplicada na maioria das referências na literatura sobre o assunto. O eixo y transformado corresponde à direção do ângulo. Detalhes de como vetorizar a borda, de conceitos e de como operar nessa representação são apresentados por Volotão *et al.* (2009).

Para comparar formas poligonais, Arkin *et al.* (1991), como aperfeiçoamento de duas propostas iniciais de Wolfson (1990), definem uma métrica de distância para identificar padrões de forma. Essa métrica permite comparar por uma medida de distância o segmento e o modelo. A métrica é invariante, tanto à translação, quanto à rotação e à escala. Além disso não envolve cálculos complexos, é computacionalmente eficiente e tem um funcionamento aceitável à intuição humana. Cada forma poligonal é representada por uma função *turning function*, “função de desvio” ou função tangente cumulativa. Essa função registra o ângulo da tangente trigonométrica em função do comprimento de arco  $s$ , com  $s:[0,1]$ , a partir de um ponto de referência.

$$d_p(A, B) = \left( \min_{\theta \in \mathfrak{R}, t \in [0,1]} \int_0^1 | \Theta_A(s+t) - \Theta_B(s) + \theta |^p ds \right)^{\frac{1}{p}} \quad (3.2)$$

$$d_p(A, B) = \left( \min_{\theta \in \mathfrak{R}, t \in [0,1]} D_p^{A,B}(t, \theta) \right)^{\frac{1}{p}} \quad (3.3)$$

O trabalho no espaço transformado permite determinar uma medida de distância entre dois objetos para compará-las, conforme as equações 3.2 e 3.3 à figura de interesse, podendo-se definir a distância de modo a desconsiderar as proporções métricas, generalizando a forma para polígonos com formas que mantêm a mesma seqüência de desvios.

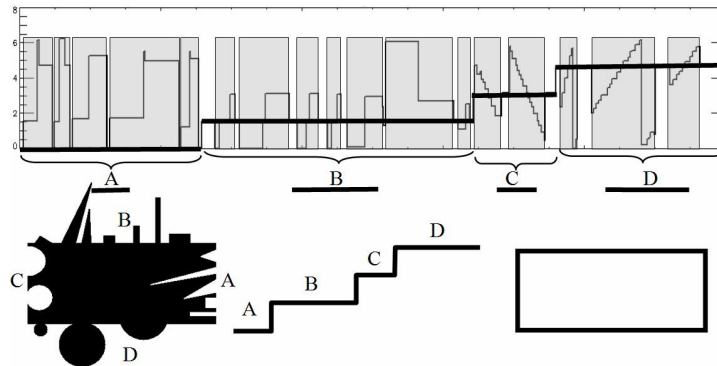


Figura 2. Retângulo com ruídos (Volotão *et al.*, 2010a).

Volotão *et al.* (2010a) apresentam os conceitos fundamentais de funcionamento do método de refinamento das formas irregulares (ver Fig. 2). A descrição do processo como um todo, começa com o pre-processamento, passando para as transformações das representações, a classificação do modelo de objeto a ser considerado e suas regras e as

modificações para refinar a forma final com base na imagem original. Nesse trabalho, apresentam a proposta do uso da função tangente como uma alternativa para outros métodos de simplificação de curvas capaz de suportar grande grau de generalização no modelo, i.e., não precisa utilizar um molde rigidamente estabelecido, mas regras flexíveis, de acordo com o objeto considerado.

#### **4. A Segmentação de Imagens Baseada em Objeto (SIBO)**

Visando a busca de formas geométricas regulares como candidatos para os objetos retangulares, como já foi dito, é necessário identificar a forma de segmentos. É preciso identificar previamente quais segmentos mais se aproximam de um retângulo de um modo não supervisionado, por meio de índices, ou de modo supervisionado, pela indicação de um conjunto de treinamento.

O sistema Definiens (Batz, Heynen *et al.*, 2001) apresenta uma abordagem de análise baseada em objeto, mas a segmentação utilizada produz as primitivas dos objetos como etapa inicial dos demais processamentos e classificações. O algoritmo básico é descrito por Zucker, (1976) e Wiederhold (1994). Iniciado o processo, cada região é juntada à região adjacente aceitável que seja mais provável.

Considerando objetos, o grau de segmentação de uma imagem depende apenas da definição dos objetos, não sujeita a efeitos de supersegmentação ou subsegmentação, que na segmentação convencional são resultantes da sua aplicação (Beauchemin e Thomson, 1997).

A segmentação de imagens baseada em objetos é representada por um processo de segmentação em conjunto com um módulo de identificação de objetos. O resultado é a identificação precisa de objetos com a identificação de prováveis objetos pela aproximação das regras e propriedades estabelecidas com base em algum modelo existente bem estudado.

Volotão *et al.* (2010b) apresentam as principais relações matemáticas necessárias para as operações vetoriais no espaço transformado, tornando possível substituir qualquer sequência de lados adjacentes por outra sequência e apresentam o cálculo de área do polígono nesse espaço. Também explicam que arcos de círculos são representados como retas inclinadas no domínio contínuo e escadas no domínio discreto. Outrossim, apresentam exemplos de superposição e como podem ser detectadas com esse método.

A segmentação normalmente não inclui a classificação, o que é feito internamente no processo. Mas o tipo de classificação realizada pela segmentação proposta é concentrada na forma do contorno e apenas orientada pela imagem. A segmentação, após detectar os objetos, utiliza a informação correspondente à categoria de forma de cada objeto e refina o seu contorno. Finalmente retorna um conjunto de segmentos, que podem ser devolvidos em forma de imagem não classificada para que a imagem segmentada resultante seja analisada à luz da imagem original e a um processo de classificação seja então realizado. Essa dupla classificação não é necessária, mas é proposta neste método pois a primeira categorização é uma classificação baseada na forma, critério distinto da classificação esperada. O resultado final é uma imagem com todos os objetos detectáveis delineados e mantendo a forma final esperada, ainda que haja um comprometimento de alguma porção do objeto por algum efeito como nuvem,

sombra ou sobreposição, sempre que for possível analisar. A segmentação produz uma imagem rotulada com cada segmento correspondendo a um objeto.

Segmentando objetos retangulares com base na forma, após detectar os segmentos, faz-se uma correção dos pixels. O contorno sofre rotação e redimensionamento para ajustar tanto o nível de cinza quanto a forma do objeto em função da radiometria e de bordas detectadas. Como exemplo, uma piscina e um telhado podem ser retangulares e classificados pelo classificador como objeto do tipo retangular (pela forma). Essa informação ficará implícita no objeto resultante, que terá uma forma mais próxima da retangular na imagem segmentada. Uma classificação baseada em objetos busca relacionar as classes de objetos dentro de uma hierarquia de classes.

Formas são compradas por funções de desvio e uma métrica adequada. Elas serão idênticas quando a distância for nula. A sequência de ângulos pode ser um modo de determinar a forma. O caso geral, onde muitos ângulos e muitos ruídos estão presentes, necessita de alguma simplificação, que pode ser feita na representação do objeto ou pode estar implícito na equação de distância.

## **5. Método de modificação dos segmentos**

Enquanto os processos tradicionais de segmentação de imagens detectam os objetos segundo a uniformidade interna com respeito a algum critério e em contraste com objetos vizinhos ou um plano de fundo considerado, este método propõe o conhecimento prévio de exemplos de forma ou padrões de forma a serem considerados como restrição no momento da segmentação, de acordo com a identificação do comportamento específico de cada forma detectada, com base na forma e refinada com base na imagem original. A descrição por meio de funções de tangente acumulada não apresenta perda de informações e é uma operação reversível.

Os segmentos podem ser sensíveis a certos tipos de amostragem e efeitos de quantização, ruídos e imprecisão do algoritmo de detecção de bordas na imagem. Associado a esse modelo de forma utiliza-se o espaço da função tangente cumulativa discreta do contorno para detectar e modificar a forma de cada segmento, após uma avaliação e classificação da forma em relação ao modelo de forma.

A segmentação de imagem baseada em objetos (OBIS - Object-Based Image Segmentation) tem lugar numa das fases do processo de análise de imagens baseada em objeto (OBIA). A abordagem que está sendo sugerida utiliza como base um modelo de forma e inclui a possibilidade de utilizar as informações espectrais da imagem contidas em uma ou mais bandas das imagens multiespectrais.

Os processos disponíveis atualmente em geral não utilizam a geometria do contorno do segmento como regra ou restrição. É possível realizar a ressegmentação a partir de uma imagem previamente segmentada utilizando esta abordagem ou segmentação refinada com base nos objetos conhecidos durante o processo de segmentação.

As regras podem basear-se na linearidade, retangularidade, circularidade, angulações e padrões admitidos ou exigidos e suas características, comprimento dos segmentos e número de ângulos específicos entre segmentos além do próprio método de *template matching*. Cada modelo tem seu conjunto de regras, que podem ser obtidos a partir de descrição ou extraídos por meio de exemplos.



O resultado esperado é distinto do originariamente considerado porque o processo visa explorar as características geométricas existentes junto aos contornos dos segmentos e forçar o modelo adequado do objeto a determinar as características de comportamento do contorno.

As principais etapas do método para cada dado segmento seguem a sequência: (1) segmentação do objeto; (2) extração do contorno; (3) transformação para o espaço da função tangente; (4) classificação do objeto; (5) análise da forma; e (6) modificações do contorno do objeto no espaço da imagem.

A parte mais crítica do método consiste na análise da forma, onde a borda é modificada com base tanto no modelo quanto na imagem. Nessa fase, no espaço transformado, a função tangente é analisada e as restrições são impostas às suas partes, de acordo com o que estiver estabelecendo o modelo, permitindo que a nova geometria se amolde às regras. É preciso haver a prévia identificação da classe de objeto a ser utilizado na modelagem de cada segmento e isso é obtido a partir da imposição dos critérios específicos.

## **6. Conclusão**

Este trabalho apresentou uma proposta de segmentação de imagens baseada em objetos, um paradigma capaz de representar objetos com forma predefinida conforme um modelo, onde a segmentação inicial é modificada e ajustada conforme regras específicas. Foi discutida a necessidade de uma nova definição de segmentação, com um primeiro plano composto por todos os objetos (segmentos) identificados. Cada segmento deve ser identificado, classificado e modificado. Foi apresentada uma abordagem para extrair a forma de modo a seguir um modelo. O uso de função de desvio foi apresentado como uma solução para realizar a generalização da forma. Foi também apresentada a métrica utilizada para comparar os contornos de dois objetos. A imagem segmentada resultante não é classificada e as informações utilizadas no processo ficam implicitamente transferidas para a forma final. O objetivo do método é encontrar a posição real dos objetos detectados e delineados conforme as características conhecidas *a priori*. A bibliografia básica que apresenta os detalhes do método é citada. O primeiro plano é identificado durante a segmentação e as formas dos polígonos são corrigidas durante o processo, ao ser feita a hipótese de que um segmento representa um objeto. Este trabalho considera imagens de área urbana e considera conjuntamente os atributos espectrais e de forma para cada segmento. Diferentes aspectos e possibilidades foram apresentados.

## **Bibliografia**

- Andrade, A. F., Botelho, M. F. *et al.* (2003), Classificação de imagens de alta resolução integrando variáveis espectrais e forma utilizando redes neurais artificiais. In *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Belo Horizonte: INPE, pp. 265-272.
- Arkin, E. M., L. P. Chew, L. P. *et al.* (1991), An efficiently computable metric for comparing polygonal shapes. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.13, n.3, p.209-216.
- Blaschke, T., Lang S., e Hay, G.J. (2008), Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Springer.

- Gonzales, R. C. e Woods, R. E. (2000), *Processamento de Imagens Digitais*. São Paulo: Edgard Blucher. 509 p.
- Liu, Y., Li, M. *et al.* (2006), Review of remotely sensed imagery classification patterns based on object-oriented image analysis. In *Chinese Geographical Science*, v.16, n.3, p.282-288.
- Rosin, P. L. (1999), Measuring rectangularity. *Machine Vision and Applications*, v.11, p.191-196.
- Rosin, P. L. (2003), Measuring shape: ellipticity, rectangularity, and triangularity. In *Machine Vision and Applications*, v.14, pp.172-184.
- Salembier, P. e Marqués, F. (1999), Region-based representations of image and video: Segmentation tools for multimedia services. In *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v.9, n.8, 8 dec 1999, p.1147-1667.
- Souza Jr, M. A. (2005), *Segmentação multi-níveis e multi-modelos para imagens de radar e ópticas*. São José dos Campos: INPE. 131 p.
- Theodoridis, S. e Koutroumbas, K. (2006), *Pattern Recognition*: Academic Press.
- Volotao, C. F. S., Santos, R. D. C. e Dutra, L. V. (2009), Proposta de segmentação de imagens baseada em objetos e uso de função de desvios para modelar formas. In *Anais do XII Encontro de Modelagem Computacional*, Rio de Janeiro.
- Volotao, C. F. S., Santos, R. D. C., Dutra, L. V. e Erthal, G. J. (2010a), Using turning functions to refine shapes. In Barneva et. al. (Eds), *Object Modeling, Algorithms and Applications*. Research Publishing, pp. 31-44.
- Volotao, C. F. S., Santos, R. D. C., Erthal, G. J. e Dutra, L. V. (2010b), Shape characterization with turning functions. In *17<sup>th</sup> International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, Rio de Janeiro.
- Wolfson, H. J. (1990) On curve matching, In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.12, n.5, p.483-489.