

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N° 64/2: 135-147  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **O DESAFIO DE CARACTERIZAR OBJETOS RELEVANTES AO PLANEJAMENTO URBANO A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO**

*The Challenge of Charactering Relevant Object of Urban Planning Through High Resolution Satellite Images*

**Alby Duarte Rocha & AlzirFelippe B. Antunes**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR**

Centro Politécnico – J. Américas  
CEP-81531-990 - Curitiba – Paraná – Brasil  
alby@ufpr.br; felippe@ufpr.br

*Recebido em 06 Maio, 2010/ Aceito em 15 Junho, 2011*

*Received on May 06, 2010/ Accepted on June 15, 2011*

### **RESUMO**

A dinâmica e a complexidade urbana impõem novas formas de orientar o desenvolvimento para garantir a sustentabilidade das cidades e qualidade de vida às pessoas. A intensa urbanização e a consolidação de grandes centros exigem competências para o planejamento urbano e para a ordenação territorial, sobretudo quando já não há mais dúvidas de que os recursos naturais são finitos. Com a finalidade de verificar a viabilidade da utilização de imagens de satélite de alta resolução para reconhecimento e classificação de objetos de interesse ao planejamento urbano, este trabalho procurou estabelecer uma metodologia que oriente o processo e gere mapas temáticos que permitam analisar a dinâmica de crescimento urbano, mediante a obtenção rápida e menos onerosa de informações espaciais atualizadas. Os principais fundamentos da metodologia desenvolvida foram: 1) a organização do conhecimento e sua representação hierárquica por meio de rede semântica; 2) a segmentação orientada a objeto multiresolução com apoio de informações de contexto e 3) a classificação hierárquica a partir da identificação do comportamento dos objetos e modelagem das funções de pertinência por Lógica Fuzzy. Para desenvolvimento da metodologia, foi utilizada imagem do satélite Quickbird em uma área de mananciais com uma grande ocupação irregular pertencente ao município de Piraquara-Pr. O método criado se mostrou um guia eficiente ao esforço de evitar a tentativa-e-erro e o excesso de subjetividade no processo de segmentação e classificação automatizadas, trazendo um ganho de produtividade e qualidade na vetorização de imagens de alta resolução, permitindo maior integração com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

**Palavras-chave:** segmentação orientada a objeto; classificação hierárquica; Lógica Fuzzy; imagens de alta resolução; mapeamento de áreas urbanas.

### **ABSTRACT**

The urban environment is dynamic and imposes strategies to lead development in order to guarantee the sustainability of the cities and life quality to citizens. The recent strong urbanization and the establishment of large urban centers demand abilities on urban planning and territorial ordinance, especially nowadays; when there is no doubt that natural

resources are finite. In this context this paper discusses the viability of using high resolution images to recognize and classify urban features useful to urban planning and decision making. This work presents an experimental methodology that guides and generates thematic and analytic maps for the dynamic of urban growth, by fast and cheaper attainment of assertive spatial information. The methodology's construction had as main pillars: 1) the organization of the knowledge through semantic net; 2) object creation from multiresolution segmentation; 3) hierarchical classification from object's behavior identification and functions modeling of Fuzzy Logic. The image used in this study contains a panchromatic band and four multispectral ones captured by Quickbird satellite. The pilot area is situated in informal settlement in the metropolitan area of Curitiba, named Guarituba, municipality of Piraquara. In state of Paraná, this region has a special attention because it is water resource supply of Curitiba metropolitan area.

**Keywords:** object-oriented segmentation; hierarchical classification; Fuzzy Logic; high resolution images; urban areas.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Censo Demográfico 2010, 84% da população brasileira reside em áreas urbanas e cerca de 11 milhões de pessoas vivem em aglomerados subnormais, ou seja, em ocupações ilegais, com urbanização fora dos padrões vigentes ou precariedade de serviços públicos essenciais. A dinâmica de crescimento das periferias urbanas brasileiras ainda é pouco mapeada, apesar de seus efeitos sociais e ambientais serem conhecidos e cada vez mais evidentes.

Apesar de os grandes avanços em tecnologias de sensoriamento remoto e o processamento de imagens terem aumentado a disponibilidade de imagens de satélite de alta resolução no mercado, sua utilização para planejamento urbano e proteção ambiental ainda é restrita. A introdução do conceito de segmentação orientada a objeto possibilitou agregar informações de forma, textura e relações de vizinhança não disponíveis nos métodos de classificação pixel-a-pixel, trazendo significativa melhora para a qualidade das vetorizações automatizadas de imagens de satélite. A importância cada vez maior da integração do Sistema de Informações Geográficas – SIG ao sensoriamento remoto exige a continuidade do aprimoramento dos métodos de segmentação e classificação, transformando píxeis em vetores que representem objetos fidedignos à realidade de interesse, reduzindo tempo e custo de atualizações.

A classificação de objetos relevantes ao planejamento urbano, como edificações, ruas, corpos d'água e arborizações, ainda enfrenta grandes desafios. Sabe-se que as informações espectrais não são suficientes para discriminar certos objetos urbanos. Os sensores de alta resolução espacial apresentam limitações no mapeamento detalhado de áreas urbanas devido à largura das bandas espectrais e ao fato de não adquirirem

imagens no infravermelho médio, região onde há melhor separabilidade entre algumas das classes (Araki, 2005).

Objetiva-se, neste trabalho, avaliar a utilização destas tecnologias, aliadas a técnicas estatísticas, organizadas em um processo passo a passo. Este estudo apresenta uma alternativa de aplicação das imagens de alta resolução para caracterização e monitoramento de áreas sujeitas a expansão urbana. Isto contribui para que gestores e técnicos de planejamento urbano possam tomar decisões mais rápidas e eficientes, com a adoção de formas adequadas de intervenção e ordenação da ocupação urbana.

## 2. ÁREA DE ESTUDO E MATERIAIS

Para avaliar o método foi utilizada uma área pertencente à Unidade Territorial de Planejamento (UTP) Guarituba, em Piraquara. O município integra a Região Metropolitana de Curitiba e tem pelo menos 70% de seu território em área de proteção de mananciais. Estes mananciais abastecem mais de 50% da população da Grande Curitiba. A UTP Guarituba é considerada a maior ocupação irregular do estado do Paraná e o município apresentou o maior índice de crescimento demográfico da região, com taxas anuais superiores a 8% (IBGE, 1996 a 2000).

Foi selecionada imagem de setembro de 2004, capturada pelo satélite Quickbird com resoluções espaciais de aproximadamente 2,4m para as bandas multiespectrais e de 0,6m para a pancromática (figura 1). Para ampliar a distinção de classes de objetos, foram realizados processamentos na imagem original, tais como equalização da banda pancromática; operação de fusão da pancromática com as bandas multiespectrais e operações de bandas do “vermelho” e “infravermelho próximo”, para a criação do índice de vegetação NDVI.

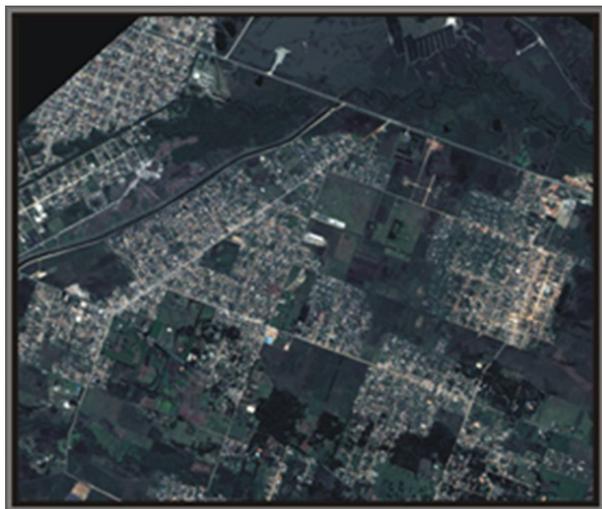


Fig.1 - Área selecionada para o estudo. Fonte: Imagem Quickbird (Set/2004)

O recorte selecionado possui uma extensão de 15 Km<sup>2</sup> que contempla áreas remanescentes de mata nativa, áreas de ocupação irregulares, rios e corpos d' água, áreas sujeitas a alagamento, trechos da rodovia estadual e malha viária pavimentada e não pavimentada. Esta diversidade de feições existente em um pequeno espaço territorial não só torna sua classificação mais complexa, como também reforça a relevância de possuir mecanismos de controle e planejamento da ordenação territorial capazes de garantir seu uso sustentável.

Para auxiliar na avaliação da segmentação e na classificação, foram utilizadas fotos aéreas do ano de 2005 para a mesma área de estudo, além de informações de contexto, como hidrografia e sistema viário.

Foram utilizados os *softwares* ENVI - para correções radiométricas, operações entre bandas e fusão das bandas multiespectrais com a pancromática – e o eCognition, para segmentação multiresolução orientada a objeto e para classificação hierárquica da imagem por meio da aplicação de funções de Lógica Fuzzy. O *software* estatístico SPSS foi utilizado para análise exploratória de dados que definiram as variáveis e os parâmetros discriminatórios e o Arcview, para vetorização das fotos aéreas para inserção como informação de contexto e para construção dos mapas temáticos.

### 3. OBJETO DE INTERESSE

Este artigo propõe-se a construir métodos para identificar e classificar imagens que caracterizem áreas de interesse ao planejamento urbano a partir

de aplicação prática. A metodologia concentra-se em três processos principais: a construção de níveis hierárquicos a partir do conhecimento do pesquisador expresso pela rede semântica; a formação de objetos de interesse condizentes à realidade por meio da segmentação orientada ao objeto com a utilização de informações de contexto; e a classificação dos objetos a partir da modelagem estatística de seu comportamento e a utilização de funções Fuzzy.

A utilização do método de determinação dos parâmetros de segmentação e de classificação a partir do conhecimento gerado pelas informações de contexto possibilita ao usuário compreender melhor o processo de criação dos objetos e estimar valores de escala, cor e forma que garantam uma segmentação e classificação mais próxima da cognição humana.

Dada a compreensão de que o processo deve ser iterativo e empírico, pois depende do entendimento do usuário, do local, do satélite e da aplicação destinada, o método guia o pesquisador na seleção de parâmetros que orientam a formação de objetos mais próximos das feições do terreno. Isto otimiza a segmentação para que não sejam criados objetos nem demasiadamente fracionados, nem que confundam diferentes objetos fusionados.

O estudo baseia-se na compreensão do comportamento das feições para a estimação de parâmetros de cor, forma e dimensão que, ao serem inseridos no processo de segmentação, melhoram a qualidade da vetorização e, por consequência, as informações extraídas das imagens de alta resolução.

### 4. METODOLOGIA

A solução metodológica proposta busca potencializar os recursos do sensoriamento remoto pela melhoria na identificação e parametrização das variáveis e dos atributos necessários à discriminação de áreas de expansão urbana. Isto fará com que se reduza o tempo de seleção e de processamento de variáveis, facilitando a análise humana e a utilização do conhecimento a priori da área, diminuindo a subjetividade na definição das funções para a classificação de imagens de satélite. O processo de classificação usará como principal eixo a segmentação multiresolução orientada a objeto e modelos de classificação a partir de funções de pertinência de Lógica Fuzzy. Conduzida a partir da estruturação de objetos relevantes para a área de interesse, esta metodologia (Quadro 1) ajudará o

Quadro 1 - Etapas do processo de desenvolvimento da metodologia. Fonte: O Autor - Baseado na ferramenta SIPOC (Supply, Input, Process, Output, Customer)

Nº.	Fonte	Entrada	Processo	Produto
1	Instituições de pesquisa, órgãos de planejamento e ambientais, prefeituras	Estudos, análises, planos de regularização e dados de crescimento demográfico e ocupação irregular	Seleção da área de estudo	Área de ocupação irregular identificada e caracterizada
2	Satélites de alta resolução e Sistema de Informação Geográfica	Imagem Quickbird (pancromático e multiespectral) métodos de correção e fusão de imagens de alta resolução	Pré-processamento da imagem	Imagem georreferenciada, corrigida e fundida
3	Imagem processada	Interpretação visual e conhecimento dos objetos relevantes ao planejamento urbano	Identificação dos objetos e construção da estrutura semântica e hierárquica	Estrutura semântica e hierárquica e descrição dos objetos
4	Imagem processada Estrutura hierárquica	Algoritmo de crescimento de regiões, valores espectrais, de forma: compacidade e suavidade, definição da hierarquia e escala	Segmentação da imagem	Imagem segmentada em objetos e super-objetos relevantes ao estudo
5	Imagem Segmentada	Valores espectrais, de forma, textura, contexto, hierarquia e relacionamento dos objetos	Determinação do comportamento dos objetos e super-objetos	Objetos caracterizados e suas propriedades descritas
6	Imagem segmentada	Análise Exploratória de Dados, Estatísticas, Funções Fuzzy	Seleção de Atributos, Variáveis, Funções e Parâmetros para Discriminação dos objetos	Regras de decisão e modelos de classificação de objetos
7	Imagem segmentada, Estrutura Semântica e hierárquica e Modelos de classificação	Funções fuzzy, registro de classes por nível hierárquico	Classificação dos objetos e superobjetos	Mapa temático da área estudada
8	Mapa temático e imagem original	Índices de avaliação de classificação e interpretação visual	Avaliação da qualidade da classificação resultante	Nível de qualidade do mapa gerado

pesquisador a responder quais variáveis e parâmetros selecionar para distinguir com maior parcimônia os objetos definidos; se há interações entre as variáveis; qual função escolher para cada tipo de distribuição; qual tolerância no intervalo da função atribuir para não tornar a classe muito sensível ou muito específica.

#### 4.1 Hierarquia da Informação e Rede Semântica

Os objetos de interesse ao planejamento e ordenamento territorial identificados possuem, na prática, escalas diferenciadas que serão trabalhadas em níveis de segmentação distintos, mas sem perder as relações de hierarquia. À medida que novas classes de objetos são criadas em uma segmentação de menor escala, elas passam a pertencer exclusivamente a uma das classes da escala superior. Esta relação de hierarquia auxilia no processo de classificação.

Conceitos de inteligência artificial podem ser utilizados na criação de uma rede semântica que facilite a organização do conhecimento. Para este estudo foi elaborada uma rede semântica que proporcionou a organização e a visualização do conhecimento do espaço territorial em suas relações de hierarquia e de escala dos objetos (Figura 2).

Esta rede foi fundamental para definir os níveis de segmentação e estruturar os grupos de objetos no processo de classificação, assim como as relações entre os níveis superiores e inferiores.

#### 4.2 Segmentação de Imagens

A segmentação é o processo de partição da imagem em objetos de interesse e pode ser executada por diferentes métodos. Segundo Estevam (2006), a utilização do conceito de objeto é crucial em classificações de imagens quando se

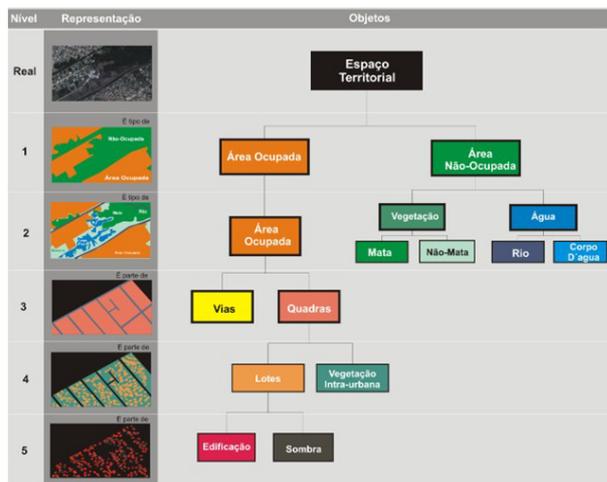


Fig.2- Rede semântica da área de interesse.

deseja um nível de detalhamento próximo às feições do mundo real, pois a informação semântica necessária para a interpretação de uma imagem não está presente no píxel e sim nos objetos da imagem e nas relações entre eles.

Neste estudo, será utilizado o processo de segmentação multiresolução pelo método de crescimento de regiões implementado no software eCognition. Existe a possibilidade de o usuário definir três tipos de fatores para segmentação: o fator de escala dos objetos, o peso para cor ou forma e a composição entre suavidade e compacidade. O processo de segmentação do eCognition permite a utilização de informações *delayers* temáticos, como ruas e rios, ao determinar a segmentação destes objetos.

#### 4.2.1 Segmentação Multiresolução

O uso da segmentação multiresolução é necessário devido ao trabalho com diferentes escalas de objetos. Para isso, inicia-se a segmentação pelos objetos menores, aumentando progressivamente a escala até a satisfação de todos os níveis de objetos, em um processo chamado de segmentação multiresolução “de baixo para cima” (*bottom-up*). Este processo possibilita a identificação dos objetos de escalas significativamente diferentes sem perder a relação de hierarquia existente, expressa na rede semântica.

De acordo com Hofmann (2001), para a segmentação de áreas urbanas é recomendada uma estratégia de segmentação *bottom-up*, com a geração de pequenos objetos no nível base, ou seja, no nível mais baixo de segmentação e em grandes no nível mais alto.

Este processo de segmentação criará relações hierárquicas entre objetos de diferentes níveis, nas quais o objeto imediatamente acima e o imediatamente abaixo são definidos como “superobjeto” e “subobjeto”, respectivamente.

#### 4.2.2 Segmentação por Contexto

Três aspectos são fundamentais para a qualidade da segmentação, que são:

Seleção dos *layers* e pesos: o algoritmo de segmentação utiliza o desvio padrão dos píxeis do objeto em cada *layer* para decidir sobre seu agrupamento. A seleção de *layers* que possuem pequeno desvio padrão interno do objeto e grande diferença na média em relação aos objetos vizinhos contribui para a formação de objetos mais “puros” e próximos da realidade.

Utilização de atributos de forma: a inclusão destes atributos ajuda a criar objetos mais compactos ou suaves, “forçando” o algoritmo a obter objetos mais regulares. Quando a segmentação é aplicada em áreas urbanas, se torna mais importante, devendo, no entanto, servir como uma forma de ajuste ou refinamento, sem que faça o objeto perder suas propriedades espectrais em detrimento à forma. Em área cuja direção principal das ruas e casas na imagem não se aproxime de 0° ou múltiplo de 90°, seu potencial de utilização será prejudicado.

Escolha da escala: além de o fator de escala ser utilizado no algoritmo de segmentação para decidir quando se interrompe o processo de agrupamento dos píxeis, ele é fundamental para que o objeto possua relevância prática de acordo com os níveis convencionados na rede semântica.

Uma má escolha do parâmetro de escala resulta em objetos excessivamente fracionados ou na fusão de objetos de diferentes classes.

Um mesmo objeto pode ter diferentes respostas espectrais e formas geométricas diversas, mas representar uma mesma classe. Uma habitação, por exemplo, pode ter cobertura de telha de barro, zinco, amianto ou concreto, variando, assim, em valor espectral.

O telhado pode ser retangular, quadrado, meia-água ou de duas águas, variando na forma. Entretanto, do ponto de vista de gestão e planejamento urbano, mesmo com todas estas variações físicas, elas são consideradas simplesmente edificações. (figura 3)



Fig. 3- Diferentes comportamentos de objetos. Fonte: Copel - Foto aérea de Piraquara.

Assim como diferentes objetos de interesse para o planejamento podem possuir semelhantes respostas espectrais ou formas geométricas e pertencer a diferentes classes, uma edificação com cobertura de laje ou concreto, por exemplo, pode possuir propriedades físicas que dificultem a diferenciação deste objeto de um trecho de uma rua de asfalto.

Para auxiliar no processo de escolha dos parâmetros de segmentação, recortes da imagem terão parte dos objetos de interesse restituídos manualmente em polígonos e serão inseridos como informação de contexto.

Na figura abaixo, foram restituídas edificações com telhado escuro e com telhado claro, além de ruas e terrenos vazios, para que, ao se conhecer suas propriedades espectrais e de forma, fosse possível selecionar os melhores parâmetros de segmentação.

A partir da avaliação do comportamento espectral para cada um dos *layers* disponíveis e das propriedades de forma de cada uma das classes de objetos, deverão ser determinados pelo usuário os parâmetros de segmentação a serem utilizados.

Para a definição da escala correspondente a cada classe, é realizado o processo de segmentação, aumentando o fator de escala até que os objetos formados sejam o mais próximo possível do real.

Para isto, três sub-recortes foram tomados para o estudo: um com características de área não ocupada e outros dois de áreas ocupadas com diferentes estágios de urbanização. Estes recortes são áreas cobertas por fotos aéreas de período

próximo e foram selecionados para estudar de maneira mais aprofundada a segmentação e o comportamento dos objetos. (Figura 5)

A figura 6 apresenta etapas para determinação de parâmetros com a finalidade de otimizar a segmentação e melhorar a qualidade dos objetos formados.

### 4.3 Classificação

A classificação é o processo de nomear os objetos formados na segmentação em categorias estipuladas arbitrariamente pelo pesquisador. Para isto, deve-se informar ao algoritmo classificador quais são os descritores, as funções e os parâmetros que serão utilizados para discriminar cada objeto em sua classe.

Segundo Pavuluri (2003), há inúmeras organizações no mundo trabalhando com classificação de imagens de alta resolução, usando técnicas existentes ou desenvolvendo novos métodos, mas como os dados de sensoriamento remoto têm-se tornado cada vez mais complexos, há necessidade de estes métodos utilizarem diferentes abordagens para diferentes propósitos. A classificação de áreas de expansão urbana excessivamente densas precisa de modelos construídos especificamente para suas características e propriedades.

Por esta razão, a classificação requer o estudo do comportamento estatístico e físico dos descritores para cada uma das classes de objetos estabelecidos na rede semântica de cada realidade estudada, não existindo uma fórmula pronta robusta



Fig.4- Restituição de edificações e ruas. Fonte: ArcView – Restituição da Fusão.



Fig. 5 – Áreas selecionadas para coleta de amostras. Fonte: Imagem Quickbird (Set/2004).

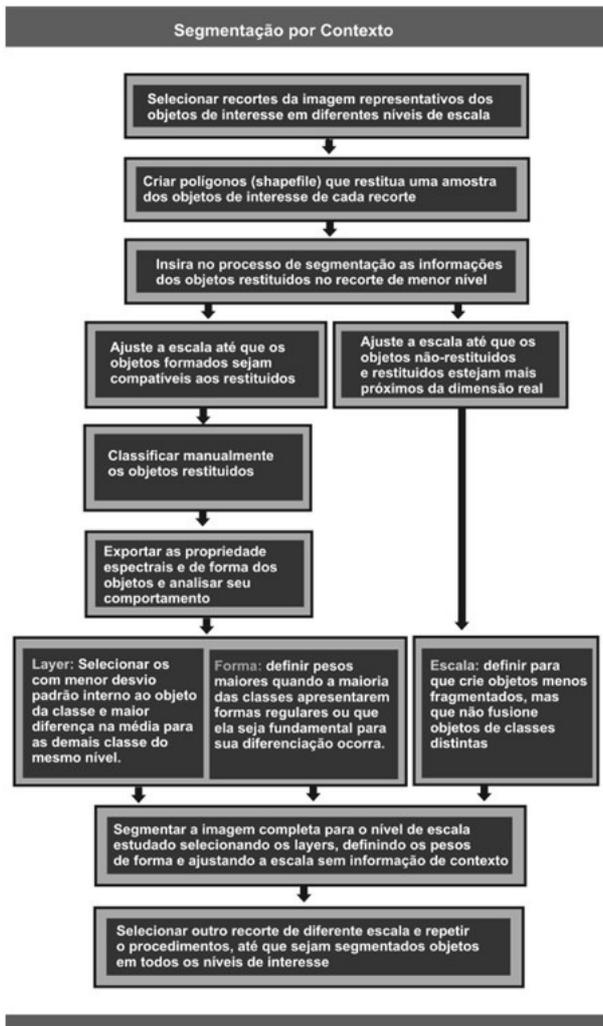


Fig.6- Determinação de parâmetros de segmentação.

o suficiente para se adaptar a quaisquer cenários urbanos e ambientes e a diferentes tipos de sensores.

A classificação, ao contrário da segmentação, começa seu processo pelos objetos de maior escala, partindo do mais global para o mais específico. Isto possibilita a construção das relações hierárquicas, já que os objetos maiores são a fusão dos menores, permitindo criar inter-relação entre os níveis. Este processo auxilia na classificação, evitando redundância e processamento desnecessário em área onde, de acordo com a rede semântica, não há interesse de classificar determinado objeto que possui um superobjeto específico.

No caso deste estudo, os superobjetos classificados como “áreas não ocupadas” em um nível abaixo tiveram seus subobjetos classificados como ‘água’ ou “vegetação”, diferentemente dos subobjetos da classe ‘área ocupada’, que se constituíram em quadras e vias na escala imediatamente inferior. Isto faz com que o

conhecimento do pesquisador, aplicado na rede semântica, seja executado na classificação hierárquica.

### 4.3.1 Lógica Fuzzy

A partir do conhecimento do comportamento dos descritores para as classes e da hierarquia dos objetos, criada na rede semântica, é necessário elaborar modelos e regras de decisão capazes de fazer a distinção, com a menor incerteza possível.

Em algumas situações, os níveis de incerteza são grandes e não se pode determinar de maneira excludente e científica que um objeto pertence a uma determinada classe. Por haver este nível de subjetividade, os fundamentos da Lógica Fuzzy são apropriados para auxiliar na tomada de decisão, pois operacionalizam um conjunto de regras que indicam em qual classe um determinado objeto seria atribuído com maior grau de assertividade.

A figura 7 ilustra o poder de discriminação de duas variáveis (1 e 2) em relação a três classes de objetos (A, B e C). Na variável 1, a classe B confunde parte de seus objetos com as classes A e C, diferentes entre si. Já a variável 2 discrimina o objeto B de A e C, mas esta medida confunde grande parte dos objetos C com A. Neste caso, para separar A, B e C, seria necessário utilizar as duas variáveis com diferentes modelos de funções e operadores lógicos para discriminar cada classe de objetos.

A partir das funções Fuzzy é possível estabelecer o grau de pertinência de cada objeto a um conjunto de classes estipuladas. Variando de 0 (zero) a 1 (um); onde zero representa a ausência de associação à classe e um, a certeza de pertencer à

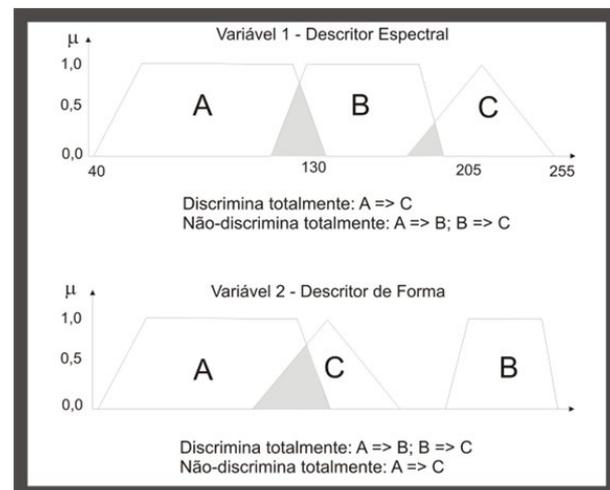


Fig.7 – Exemplo de relação de conjuntos Fuzzy.

mesma; a Lógica Fuzzy permite que um objeto tenha grau de pertinência superior a zero em duas ou mais classes.

Para utilização de duas ou mais funções na caracterização de uma classe de objetos, usa-se um operador lógico que combine os graus de pertinência, resultando em um único valor. Os tipos de operadores utilizados são “E” (mínimo), “Ou” (Máximo) e “Média” (aritmética ou geométrica). Quando é necessário trabalhar com três ou mais variáveis para discriminar o objeto, existe a possibilidade de utilizar mais que um operador, mas para facilitar as regras e diminuir o número de operadores lógicos poderão ser combinadas variáveis, formando uma nova, com maior poder de separação.

Objetos com grau de pertinência baixo ou muito próximo de outra classe possuem maiores riscos de erro de classificação, aumentando a necessidade de se encontrar descritores e parâmetros que melhorem a distinção das classes. Para auxiliar este processo de escolha das variáveis discriminatórias, amostras classificadas manualmente foram selecionadas para extrair as variáveis de cada um dos descritores: espectrais, forma, textura e vizinhança, entre outros, permitindo uma compreensão do comportamento das classes de objetos criados pela segmentação.

Para que não fosse necessário avaliar o comportamento de cada variável, uma a uma, foi calculado o grau de discriminação e avaliado seu poder de separação das classes de objetos. Esse processo elimina variáveis que possuem comportamento semelhante entre as classes, não sendo relevantes para o processo de classificação. O teste consiste em verificar se a variável possui, para alguma combinação de objetos dois-a-dois, diferenças significativas na distribuição dos dados, capazes de contribuir para a discriminação das classes de objetos.

O grau de discriminação varia de 0 a 1, onde 1 significa que a variável tem poder de discriminar todos os objetos entre essas duas classes e 0, que um dos objetos está totalmente contido no outro, não possibilitando separá-los.

O gráfico BoxPlot (acima) traz a representação da distribuição dos dados e é composto pela mediana, 1.º e 3.º quartis, limite superior e inferior, além da representação de valores extremos (*outlayer*). A representação simultânea de

várias características permite a visualização das propriedades de locação, variabilidade e assimetria e, quando aplicada com múltiplas categorias, possibilita a comparabilidade entre a distribuição de diferentes objetos. A figura 8 ilustra os tipos de relacionamentos possíveis entre a distribuição dos dados das classes de objetos usando o gráfico BoxPlot.

O cálculo do grau de discriminação é realizado pelo seguinte procedimento:

1.º passo\*: calcular os percentis 5% e 95% do objeto A.

2.º passo: calcular a ordem percentual dos valores do percentil do objeto A em relação ao objeto B.

3.º passo: atribuir grau igual a 1 quando a ordem percentual para os dois percentis for igual a 0 ou igual a 1 (sem interseção) e atribuir grau 0 para as variáveis que não possuem ao menos um valor da ordem igual a 1 ou 0 (contido).

4.º passo: para as demais variáveis, calcular o grau de discriminação segundo a equação:

$$\text{Grau de discriminação} = 1 - \left| \text{Ordem}_B(\text{Percentil}_{A,0,95}) - \text{Ordem}_B(\text{Percentil}_{A,0,05}) \right| \quad (1)$$

Onde Ordem, em um conjunto de dados ordenados de forma crescente, representa a posição percentual de um valor em relação ao todo. Para reduzir o efeito dos valores extremos, em vez de se trabalhar com os valores máximo e mínimo, serão utilizados os percentis de 5% e 95% como medida do limite de cada classe.

As variáveis com grau de discriminação acima de 0,70 foram analisadas com maior precisão por meio da construção de gráficos BoxPlot. Foram, ainda, analisadas as correlações duas a duas, para

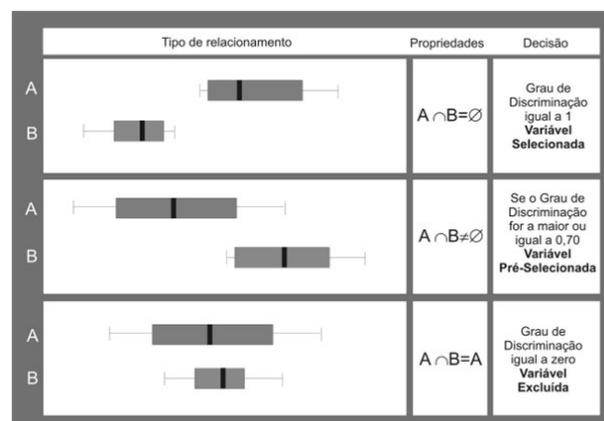


Fig.8- Tipo de relacionamento e grau de discriminação.

reduzir a seleção de variáveis redundantes no processo de classificação. As informações de quartil e percentil também auxiliaram na escolha dos parâmetros que determinaram o grau de pertinência de um objeto a sua classe.

A figura 9 mostra duas formas de visualização do comportamento das classes de objetos para as variáveis selecionadas. Uma com a variação numérica do padrão de distribuição dos dados e outra com a escala de cores na imagem segmentada, que permite visualizar espacialmente na área de estudo.

Para objetos da classe “não ocupada”, nota-se que a variável “GLCM Contraste” apresenta pequena variação, além de maior poder de separação das classes, já que seu grau de discriminação é 0,94. A variável “Média da Pancromática”, apesar de possuir um poder de discriminação menor (0,76), auxilia a explicar parte dos objetos que isoladamente a outra variável não conseguiu discernir (correlação = 0,60).

A partir deste estudo, realizado com o comportamento dos descritores para cada classe, ficou mais fácil identificar a melhor combinação de

atributos para a discriminação dos objetos. A figura 10 propõe uma sequência de etapas para otimizar o processo de classificação e melhorar a assertividade na discriminação dos objetos.

### 5. RESULTADOS

O processo de segmentação multiresolução gerou objetos em cinco níveis de escala distintos, conforme a dimensão espacial. Cada nível teve uma combinação própria de layers e pesos.

O menor nível de escala gerou mais de 350 mil objetos e teve como principal foco a identificação de edificações. Estes objetos foram sistematicamente agrupados nos demais níveis até se criar os superobjetos, para separar ocupação urbana das áreas não ocupadas, formando um total de 774 objetos.

Cada um dos cinco níveis de segmentação foi analisado separadamente, descrevendo as etapas de identificação, seleção e parametrização das variáveis discriminatórias e funções de pertinência Fuzzy. A figura 11 traz um resumo dos objetos classificados em cada nível, o percentual da área

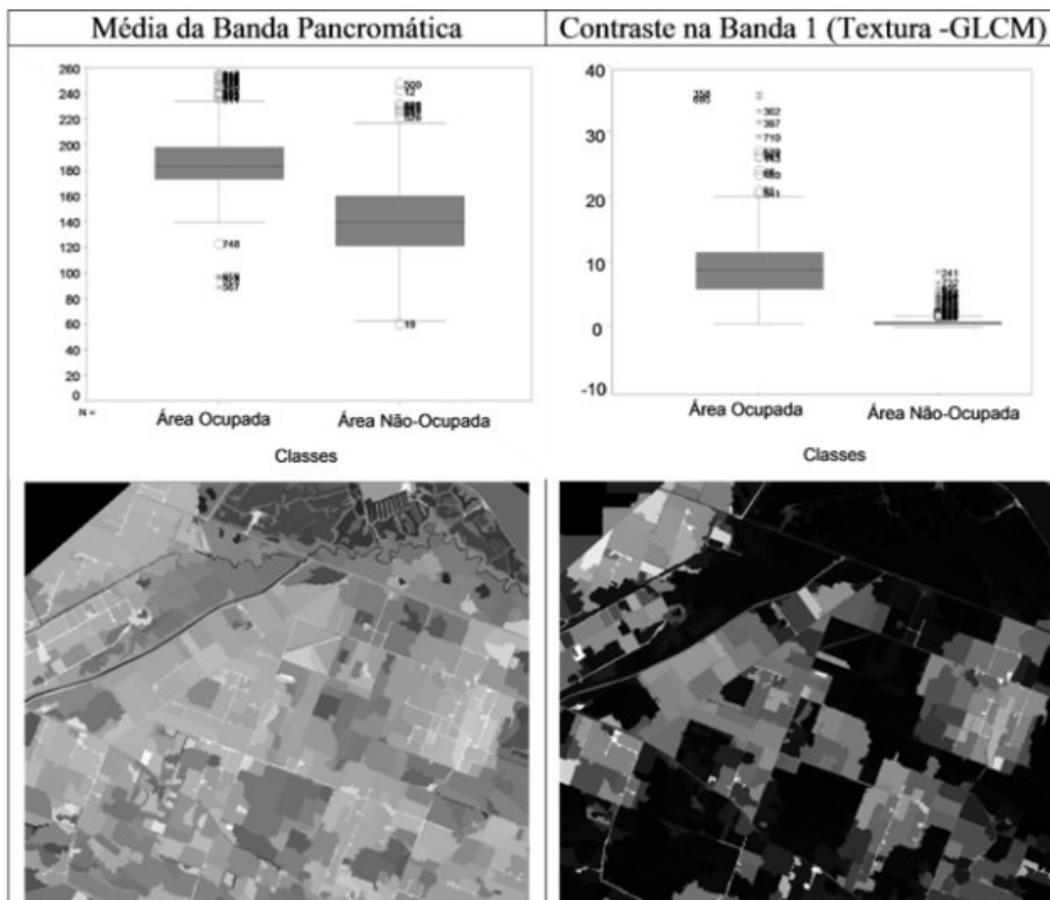


Fig.9- Variação entre as classes.

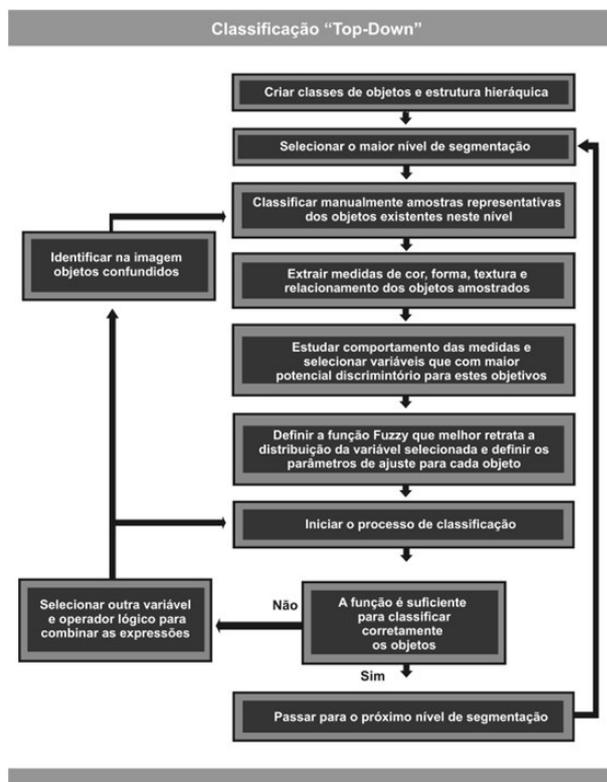


Fig.10-Etapas para classificação hierárquica.

representada e as variáveis utilizadas para sua discriminação.

Dos objetos componentes da área total estudada, 57% foram classificados como ‘área não ocupada’, apresentando apenas algumas edificações e intervenções humanas isoladas. A maior parte desta área possui vegetação rasteira ou solo exposto (40%), com alguns pontos de plantio. Apenas 10% é remanescente de vegetação com cobertura vegetal mais densa e os 7% restantes representam corpos d’água.

A área ocupada compreende 43% da imagem, sendo apenas 8% da área total classificada como ‘edificação’ e outros 5% relativos ao sistema viário. O restante são vazios urbanos, compostos por terrenos com vegetação rasteira, solo exposto ou areia existente entre as quadras definidas como pertencentes às áreas ocupadas.

Após a classificação dos objetos pelas funções Fuzzy, mapas temáticos foram extraídos do software eCognition, de acordo com os níveis de interesse. Esses mapas foram transformados em polígonos e, com uso do Arcview, foi montado um mapa temático único agrupando todos os níveis, assim podendo os objetos serem analisados em uma mesma representação. O mapa resultante pode ser trabalhado até a escala de 1:10.000 (Figura 12).

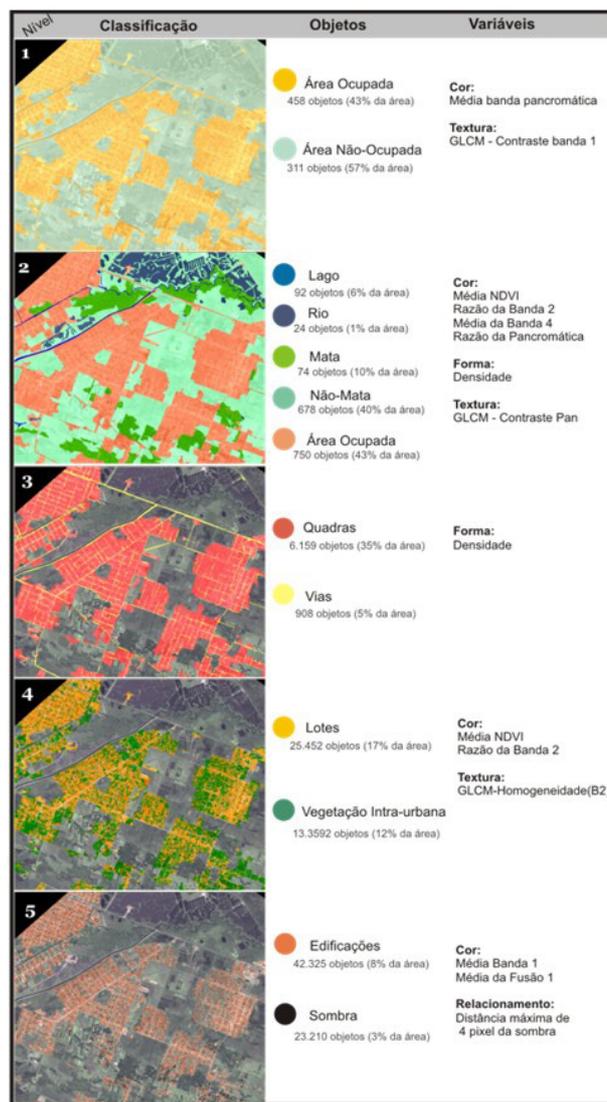


Fig.11- Resumo: classificação por nível hierárquico. Fonte: Saídas do eCognition

Em uma segunda etapa, os mapas temáticos foram sobrepostos e avaliados conjuntamente, apontando o grau de assertividade na classificação de cada um dos grupos de objetos, sem se deter ao nível de escala a que este venha a pertencer.

Nem todas as classes de objetos utilizadas no processo de classificação hierárquica foram selecionadas para a criação do mapa temático final. Algumas delas foram utilizadas para herdar classes superiores - como no caso da área ocupada no nível 4 - ou como etapa intermediária para facilitar a utilização das funções de discriminação, como no caso das classes ‘água’ e ‘vegetação’. Algumas classes podem ainda ser utilizadas como contexto - como é o caso da sombra, que criou uma relação de vizinhança com a classe ‘edificação’, esta sim de interesse final.

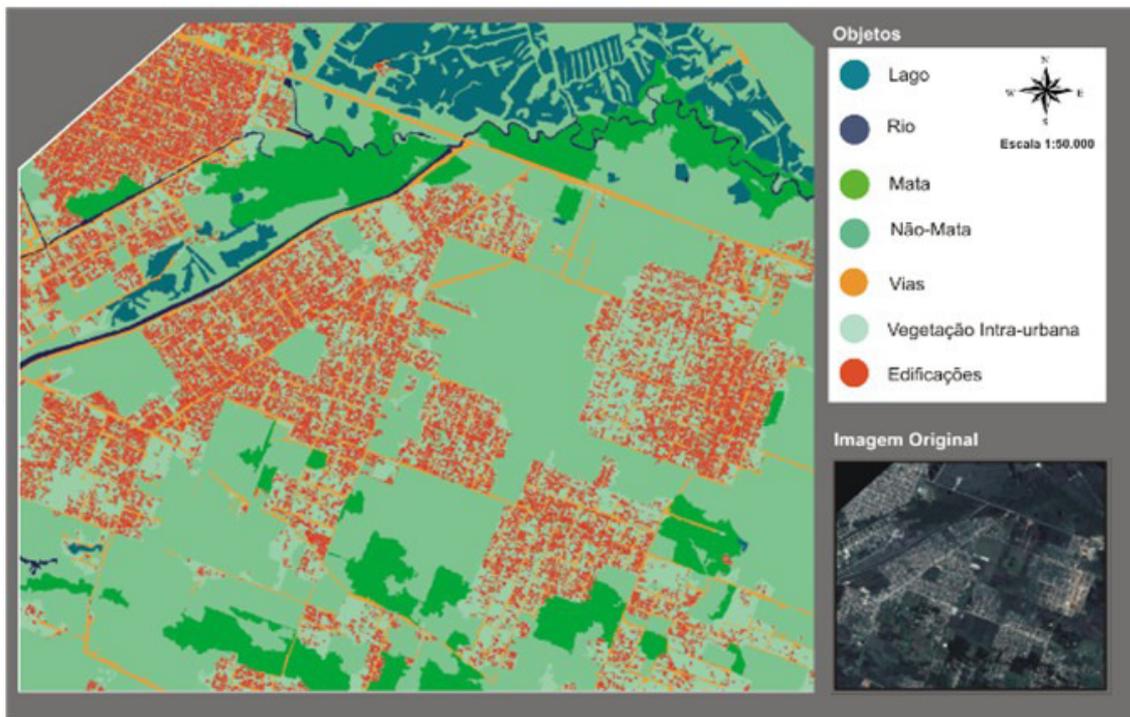


Fig.12- Composição final do mapa temático. Fonte: Saída do eCognition e imagem Quickbird.

## 6. CONCLUSÃO

A constatação principal deste estudo é que, em análises de cenários urbanos, o estabelecimento de uma metodologia para seleção das informações necessárias à classificação, a partir do conhecimento do comportamento dos objetos, contribui para reduções nos níveis de erro e no processamento computacional. A metodologia é útil porque a segmentação orientada a objeto possibilita criar uma infinidade de medidas descritivas, antes não disponíveis na classificação pixel-a-pixel.

Outras constatações são: há necessidade de utilização de informações cada vez mais contextualizadas às realidades locais, explorando variáveis como forma, textura e relações de vizinhança e não somente bandas espectrais originais dos sensores; e as operações entre bandas e a fusão com diferentes resoluções melhoram o desempenho da classificação.

Apesar de um software para segmentação e classificação com algoritmos já definidos ter sido usado, a automatização da segmentação e sua classificação mostram-se dependentes do entendimento do usuário sobre a área e o objetivo de estudo. A utilização das funções de pertinência (Lógica Fuzzy) cria um critério de decisão sobre a classe mais próxima do raciocínio humano, o que facilita estabelecer regras de classificação. Os

conceitos de Inteligência Artificial utilizados na estruturação da rede semântica, estabelecendo relações como “é parte de”, “é tido de”, “sinônimo” e “conexo”, auxiliam na transformação do conhecimento técnico em planejamento urbano e, na área de estudo, em regras de decisão no processo de classificação.

A segmentação de objetos, principalmente para áreas urbanas, mostrou-se determinante para a qualidade da classificação e a relevância prática. A segmentação multiresolução auxilia na obtenção de objetos de diferentes níveis de escala e de hierarquia, mas ainda é um desafio criar objetos “puros” e pouco fragmentados, se dentro de uma mesma classe de objetos houver uma grande disparidade de dimensões espaciais e baixa homogeneidade interna.

A importância cada vez maior de integração do Sistema de Informações Geográficas – SIG ao Sensoriamento Remoto exige a continuidade do aprimoramento dos métodos de segmentação. Neste trabalho, os objetos criados até o segundo nível (área ocupada, rio, lago, mata, não mata) possuem qualidade de segmentação suficiente para a utilização direta em SIG, mas no nível três (vias), apesar de apresentar razoável qualidade, grande parte dos objetos resultantes precisaria de ajustes nos polígonos. Já os objetos de escala menor,

quando analisados separadamente, não têm qualidade suficiente para que sua área individual ou quantidade sejam avaliadas, restringindo seu uso.

O comportamento dos objetos é determinante, tanto para orientar a segmentação quanto para estabelecer as regras de decisão para classificação. Para entender o comportamento dos objetos, é necessário estudo de amostra representativa de cada classe e determinação de quais descritores e variáveis são importantes para sua discriminação. O processo de seleção das variáveis reduz a subjetividade e torna mais eficiente a escolha das funções de pertinência que conduzem à classificação.

A aplicação completa da metodologia, desde o pré-processamento da imagem até a classificação por nível e a construção do mapa temático (quadro1), apresenta excelentes resultados para o objetivo proposto pelo estudo. Logo, pode-se afirmar que, com aplicação do método, é possível classificar objetos relevantes para o planejamento territorial e avaliar o crescimento urbano por meio de imagens de satélite de alta resolução. No entanto, para objetos menores, como as edificações, é possível apenas avaliar sua densidade, sem determinar precisamente sua enumeração e forma geométrica.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARAKI, H. **Fusão de informações espectrais, altimétricas e de dados auxiliares na classificação de imagens de alta resolução espacial**, Curitiba: UFPR – Tese de Doutorado, 2005.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**. Karlsruhe: Herbert Wichmann, 2000.

ESTEVAM E. A. **Classificação de Áreas de Favelas a Partir de Imagens Ikonos: Viabilidade de Uso de uma Abordagem Orientada a Objetos**. Presidente Prudente: Unesp - Dissertação de Mestrado, 2006.

HOFMANN, P. Detecting buildings and roads from Ikonos data using additional elevation information. **Journal for Spatial Information and Decision Making**: 2001.

HOFMANN, P. **Detecting Informal Settlements From Ikonos Image Data Using Methods Of**

**Object Oriented Image Analysis**, Munich: Definiens AG, 2002.

PAVULURI M. K. **Fuzzy Decision Tree Classification for High-Resolution Satellite Imagery**. Columbia: University of Missouri, Master of Science, 2003.

SCHNEIDER M. J. & BELLON R. P. & ARAKI, H. **Experimentos em Fusão de Imagens de Alta Resolução**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003.

Definiens Imaging. eCognition: userguide. 2000, 468 p. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>.

Digitalglobe. QUICKBIRD imagery products – products guide. 2003. 54 p.