

**ALBY DUARTE ROCHA**

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA COMO SUBSÍDIO AO  
PLANEJAMENTO URBANO POR MEIO DE TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO  
ORIENTADA A OBJETOS DE IMAGENS *QUICKBIRD***

**Curitiba**

**2007**

**ALBY DUARTE ROCHA**

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA  
COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO POR MEIO DE  
TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS DE  
IMAGENS *QUICKBIRD***

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Ciências  
Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da  
Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Alzir Felipe Buffara Antunes

Curitiba  
2007

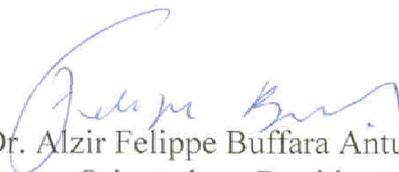
**“CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA COMO  
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO POR MEIO DE TÉCNICAS  
DE SEGMENTAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS DE IMAGENS  
QUICKBIRD”**

**POR**

**ALBY DUARTE ROCHA**

Dissertação nº 210 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre  
no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade  
Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 27 de agosto de 2007.



Prof. Dr. Alzir Felipe Buffara Antunes (UFPR)  
Orientador e Presidente



Prof. Dr. Luiz Felipe Guanaes Rego – Membro (PUC/RJ)



Prof.<sup>ª</sup>. Dr.<sup>ª</sup>. Sony Cortese Caneparo - Membro (UFPR)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos que contribuíram de alguma forma no processo de concepção e execução do trabalho ou que me apoiaram para que transpusesse os desafios apresentados, a quem, entre eles se incluem:

O Orbis - Observatório de Indicadores de Sustentabilidade e seus colaboradores, por ter me concebido a oportunidade de cursar o mestrado e ainda ser um espaço de reflexão que me permitiu ter acesso a informações e o apoio de pessoas que me auxiliaram a encontrar novos caminhos;

À Prefeitura de Piraquara por disponibilizar informações sobre a área de estudo que permitiram entender a complexidade que envolve a localidade tema do trabalho;

À Universidade Federal do Paraná pelo privilégio de estudar em uma instituição pública de qualidade e prestígio, ao quadro de professores pela seriedade e presteza no ensino, em especial ao orientar Alzir Felipe Buffará Antunes pelo acompanhamento da condução do projeto e confiança depositada no meu trabalho;

Aos familiares e amigos pela criação de uma ambiente favorável para a execução do projeto e compreensão nos momentos de ausência.

## 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 o surgimento de grandes centros exige competência para o planejamento urbano e a ordenação territorial, sobretudo quando já não há mais dúvidas de que os recursos naturais são finitos. Para disciplinar esse processo, foi criado o Estatuto das Cidades, que determina a elaboração e aprovação de um plano diretor a todo município com mais de vinte mil habitantes, ou pertencente a região metropolitana, ou localizado em área de interesse turístico. Estabelecer um plano diretor que oriente o crescimento e defina a ocupação e uso da terra, com base nos princípios da sustentabilidade, exige o conhecimento das características atuais da ocupação; já para sua implementação é preciso monitorar as mudanças ao longo do tempo, alimentando sistema de informações geográficas para acompanhar a dinâmica de crescimento, o que pode ser significativamente potencializado com o uso de imagens de satélite de alta resolução. Com a finalidade de verificar a viabilidade da utilização dessas imagens no reconhecimento e classificação de objetos de interesse ao planejamento urbano, este trabalho procurou estabelecer metodologia que oriente o processo e gere mapas temáticos capazes de analisar a dinâmica de crescimento urbano, mediante a obtenção rápida e menos onerosa de informações assertivas. A imagem utilizada no estudo contém uma banda pancromática e quatro multiespectrais e foi capturada pelo satélite Quickbird em setembro de 2004. Compreende uma área de ocupação irregular pertencente à Unidade Territorial de Planejamento do Guarituba, no município de Piraquara, Paraná, onde estão importantes mananciais que abastecem parte de Curitiba e região metropolitana; deveria, assim, ter sua ocupação controlada, mas constitui-se no maior assentamento irregular do Estado. A metodologia apresentada teve como resultado um mapa temático que permitiu separar as áreas não-ocupadas das áreas já ocupadas; permitiu apontar se a superfície das não-ocupadas era composta de água (rio ou lago), ou vegetação (mata ou rasteira); e, das áreas ocupadas, o estágio do sistema viário e do adensamento das habitações. A construção desta metodologia teve como principais pilares a organização do conhecimento através da rede semântica, a criação de objetos pela segmentação multiresolução e a classificação hierárquica a partir da identificação do comportamento dos objetos, e modelagem das funções de pertinência da Lógica *Fuzzy*. A utilização destas ferramentas, organizadas num processo passo-a-passo, apresentou alternativa de aplicação das imagens de alta resolução para caracterização e monitoramento de áreas sujeitas a expansão urbana.

## ABSTRACT

The dynamics and the urban complexity impose new forms to guide the development to guarantee the sustainability of the cities and life quality to the people. The intense urbanization and the sprouting of great centers demand ability for the urban planning and the territorial ordinance, over all when already it does not have more doubts of that the natural resources are finite. To discipline this process, the Statute of the Cities was created, that more than determines the elaboration and approval of a managing plan the all city with twenty a thousand inhabitants, or pertaining the region metropolitan, or located in area of tourist interest. To establish a managing plan that has guided the growth and defines the occupation and use of the ground, on the basis of the principles of the sustainability, demands the knowledge of the current characteristics of the occupation; already for its implementation it is necessary to monitor the changes throughout the time, feeding geographic information system to follow the growth dynamics, which it can significantly be raised with the use of images of high resolution satellite. With the purpose to verify the viability of the use of these images in the recognition and object classification of interest to the urban planning, this work looked for to establish methodology that has guided the process and generates thematic maps capable to analyze the dynamics of urban growth, by means of the fast and less onerous attainment of assertive information, with the use of technologies of remote sensing, digital processing of images and classification of images guided the object. The image used in the study will count to pan-sharpened band and four multispectral ones and was captured by the satellite. The image used in the study contains a pan band and four multispectral ones and was captured by the Quickbird satellite in September of 2004. It consists an area of pertaining occupation to the Territorial Unit of Planning of the Guarituba, in the city of Piraquara, Paraná, where they are important sources that supply part of Curitiba and region metropolitan; it must, thus, have its controlled occupation, but one consists in the biggest irregular nesting of the State. The presented methodology had as resulted a thematic map that allowed to separate the not-busy areas of the busy areas already; it allowed to point if the surface of the not-busy ones was composed of water (river or lake), or vegetation (it kills or tripping); and, of the busy areas, the period of training of the road system and the density of the habitations. The construction of this methodology had as main pillars the organization of the knowledge through the net semantics, the object creation for the segmentation multiresolution and the hierarchic classification from the identification of the behavior of objects, and modeling of the functions of the Fuzzy Logic. The use of these tools, organized in a process step-by-step, presented alternative of application of the high resolution images for the managing and characterization of slum areas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mancha urbana e aglomerados subnormais na Região Metropolitana de Curitiba.....	5
Figura 2 – Moradores em domicílios urbanos sem acesso serviços essenciais, superlotados ou forma de ocupação segura – 2000.....	6
Figura 3 – Principais mananciais existentes no entorno na macha urbana....	7
Figura 4 – Localização geográfica da área de estudo.....	8
Figura 5 – Área de ocupação irregular na Unidade Territorial de Planejamento – UTP do Guarituba.....	10
Figura 6 – Localização da UTP do Guarituba e principais mananciais em seu entorno – 2005.....	12
Figura 7 – Fotos aéreas da área compreendida pelo projeto de regularização – 2005.....	13
Figura 8 – Proposta de alteração do zoneamento e uso do solo.....	14
Figura 9 – Equipamentos públicos disponíveis na área – 2005.....	16
Figura 10 - Área selecionada para o estudo.....	29
Figura 11 – Recortes da área selecionada para coleta de amostras.....	30
Figura 12 – Layers espectrais utilizados para o estudo.....	31
Figura 13 – Exemplos de coberturas de edificações.....	35
Figura 14 – Exemplos de diferentes comportamentos de objetos de área ocupadas.....	35
Figura 15 – Exemplos de diferentes comportamentos de objetos de área não-ocupadas.....	36
Figura 16 – Áreas Ocupadas e não-ocupadas no território estudado.....	37
Figura 17 - Rede semântica para monitoração de áreas sujeitas a expansão urbana.....	39
Figura 18 – Restituição de recorte da área ocupada urbanizada.....	44
Figura 19 – Processo de ajuste de parâmetros de segmentação.....	45
Figura 20 – Distribuição dos valores espectrais nas bandas do visível para os objetos da área estudada.....	47
Figura 21 – Exemplo de criação da matriz de textura – GLCM.....	50

Figura 22 – Ilustração do gráfico <i>Box-plot</i> .....	54
Figura 23 – Relação do tipo de relacionamento das classes de objeto e o grau de discriminação.....	55
Figura 24 - Fluxograma das etapas para a classificação hierárquica ( <i>Top-Down</i> ).....	58
Figura 25 – Relação entre rede semântica, escala de segmentação e classificação hierárquica.....	59
Figura 26 – Exemplo de relação de conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	61
Figura 27 – Tipos de funções <i>Fuzzy</i> .....	62
Figura 28 – Exemplo de aplicação de funções <i>Fuzzy</i> .....	62
Figura 29 – Exemplo de relação de graus de pertinência.....	63
Figura 30 – Parâmetros e resultados da segmentação por nível de objeto.....	68
Figura 31 – Resultado da segmentação para o menor nível de objeto.....	69
Figura 32 – Estrutura de criação das classes hierárquicas de objetos.....	70
Figura 33 – Segmentação para o maior nível de escala.....	71
Figura 34 – Variação entre as classes para as variáveis selecionadas.....	74
Figura 35 – Combinação de variáveis para discriminação dos objetos.....	76
Figura 36 – Funções e parâmetros utilizados na classificação.....	77
Figura 37 – Resultado final do 1º nível de classificação.....	78
Figura 38 – Segmentação para o 2º nível de escala.....	79
Figura 39 – Comportamento das variáveis mais significativas para as classes de objetos.....	81
Figura 40 – Criação de variáveis para o 2º nível.....	82
Figura 41 – Comportamento das variáveis: Vegetação Úmida e Rio.....	82
Figura 42 - Seleção de variáveis e operadores para discriminação das classes.....	83
Figura 43 – Variável hierárquica e Função de Pertinência para classificação da ocupação.....	84
Figura 44 – Funções de Pertinência para diferenciação entre corpos d’água..	84
Figura 45 – Comportamento das variáveis contraste e razão pancromática....	85
Figura 46 – Funções de Pertinência para diferenciação entre vegetações.....	85
Figura 47 – Resultado final do 2º nível de classificação.....	86

Figura 48 – Segmentação para o 3º nível de escala.....	87
Figura 49 – Comportamento da variável densidade para área estudada.....	88
Figura 50 – Funções de Pertinência para diferenciação entre vias e quadras	88
Figura 51 – Resultado final do 3º nível de classificação.....	89
Figura 52 – Segmentação para o 4º nível de escala.....	90
Figura 53 – Comportamento das variáveis homogeneidade e vegetação úmida.....	91
Figura 54 – Variáveis e operadores para diferenciação entre quadra e vias...	92
Figura 55 – Funções de Pertinência para diferenciação entre vias.....	92
Figura 56 – Resultado final do 4º nível de classificação.....	93
Figura 57 – Segmentação para o 5º nível de escala.....	94
Figura 58 – Criação das variáveis sombra e distância da sombra.....	96
Figura 59 – Comportamento das variáveis sombra e distância da sombra.....	96
Figura 60 – Combinações de variáveis para as classes sombra e edificação..	97
Figura 61 – Funções de Pertinência para diferenciação da vegetação intra- urbana.....	97
Figura 62 – Resultado final do 5º nível de classificação.....	98
Figura 63 – Resumo da classificação, objetos e variáveis por nível.....	100
Figura 64 – Composição final do mapa temático.....	101

## LISTA DE TABELAS

Quadro 1 – Resolução espacial e espectral dos principais satélites em órbita	21
Quadro 2 – Especificações do satélite Quickbird.....	25
Quadro 3 – Etapas do processo de desenvolvimento da metodologia.....	28
Tabela 1 – Grau de discriminação das variáveis.....	72
Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas.....	75
Tabela 3 – Cálculo do adensamento.....	98

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xii</b>
ABSTRACT.....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 HIPÓTESES.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>4</b>
2.1 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E ADENSAMENTO E SEUS IMPACTOS.....	4
2.2 UNIDADE TERRITORIAL DE PLANEJAMENTO – UTP DO GUARITUBA, MUNICÍPIO DE PIRAQUARA, PARANÁ.....	8
2.3 PROJETO DE REGULARIZAÇÃO DO GUARITUBA.....	10
2.4 OBSERVATÓRIO REGIONAL BASE DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....	17
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
3.1 CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO AO PLANEJAMENTO URBANO.....	18
3.2 APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS URBANAS.....	19
3.3 IMAGENS DE SATÉLITE PARA MONITORAÇÃO DE ÁREAS DE OCUPAÇÃO IRREGULAR.....	20
3.4 IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO.....	21
3.5 FUSÃO DA IMAGEM MULTIESPECTRAL E PANCRÔMÁTICA.....	21
3.6 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO.....	23
<b>4 MATERIAL.....</b>	<b>25</b>
4.1 IMAGEM DE ALTA RESOLUÇÃO - SATÉLITE DO <i>QUICKBIRD</i> .....	25
4.2 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES.....	26
4.3 <i>SOFTWARES</i> .....	26
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
5.1 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
5.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM.....	31
5.2.1 Fusão.....	32
5.2.2 Operação de Bandas Espectrais.....	32
5.3 OBJETOS RELEVANTES AO PLANEJAMENTO URBANO E À MONITORAÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO IRREGULAR.....	33
5.3.1 Criação de Níveis Hierárquicos de Informação.....	37
5.3.2 Rede Semântica.....	38

5.4	SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS.....	40
5.4.1	Segmentação de Imagem Orientada a Objeto.....	40
5.4.2	Crescimento de Regiões.....	40
5.4.3	Cálculo de Heterogeneidade Interna das Regiões.....	41
5.4.4	Segmentação Multi-Resolução.....	42
5.4.5	Segmentação por Contexto.....	43
5.5	DESCRITORES.....	46
5.5.1	Tipos de Descritores.....	46
5.5.2	Descritores Avaliados.....	48
5.6	SELEÇÃO DE ATRIBUTOS.....	52
5.6.1	Coleta de Amostras dos Objetos.....	52
5.6.2	Seleção das Variáveis.....	52
5.7	CLASSIFICAÇÃO.....	57
5.7.1	Criação da Estrutura Hierárquica.....	59
5.7.2	Lógica Fuzzy.....	60
5.7.3	Tipos de Funções e Usos.....	61
5.7.4	Graus de Pertinência .....	62
5.7.5	Operadores Lógicos.....	63
5.7.6	Mapas Temáticos.....	64
5.7.7	Graus de Adensamento.....	65
5.8	AValiação DA CLASSIFICAÇÃO.....	65
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
6.1	RESULTADOS DA SEGMENTAÇÃO.....	67
6.2	ESTRUTURA HIERÁRQUICA.....	69
6.3	RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO.....	70
6.4	CLASSIFICAÇÃO CONJUNTA.....	99
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>102</b>
7.1	RECOMENDAÇÕES.....	105
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Apesar dos grandes avanços em tecnologias de sensoriamento remoto e o aumento da disponibilidade de imagens de satélite de alta resolução no mercado, sua utilização para o planejamento urbano e controle da expansão urbana nos municípios brasileiros ainda se mostra tímida. Por outro lado, o número de ocupações desordenadas nos grandes centros urbanos ainda é freqüente e atinge cada vez mais áreas de proteção ambiental, com impactos à sustentabilidade e à qualidade de vida dessas populações.

As aplicações dessas tecnologias no campo cadastral e no planejamento urbano tornaram-se viáveis com a melhoria da resolução espacial e o surgimento de consórcios privados, que comercializam imagens de satélite à população civil, como é o caso da *DigitalGlobe* que, a partir de 2002, fornece imagens do satélite *Quickbird* com resolução espacial de até 61cm e revisita a cada três dias. Além disso, as tecnologias dos processadores e sistemas computacionais se aprimoram, facilitando a análise das grandes quantidades de informação geradas pelos novos sensores de alta resolução. Essas duas grandes evoluções da ciência, aliadas com as técnicas estatísticas e matemáticas disponíveis, criam cenário ideal para uma maior utilização de imagens de satélite como ferramenta de estudo socioambientais e monitoração de expansões urbanas e ocupações freqüentes nos grandes centros urbanos.

Outro grande avanço nesta área foi a introdução do conceito de segmentação orientada a objeto, que possibilitou a agregação de informações de forma, textura e relações de vizinhança não disponíveis nos métodos pixel-a-pixel, trazendo significativa melhora para a qualidade da classificação de imagem de satélite.

A classificação de objetos relevantes ao planejamento urbano, como edificações, ruas, corpos d'água e arborização, 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).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a relevância social e ambiental de possuir mecanismos de monitoração e planejamento da ocupação territorial, de forma a evitar o crescimento desordenado, e os conseqüentes riscos à sustentabilidade regional, à saúde e à qualidade de vida dos moradores, este trabalho pretende utilizar a tecnologia disponível em sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, através da utilização de imagens de satélite de alta resolução, aliada a técnicas estatísticas robustas, para estabelecer uma metodologia capaz de reconhecer intervenções humanas em áreas sujeitas a ocupação desordenada.

Esta metodologia poderá servir a gestores e técnicos de planejamento urbano na tomada de decisões mais rápidas e eficientes, com a adoção de formas adequadas de intervenção e controle da ocupação urbana, crescimento e adensamento demográfico dos municípios, garantindo melhor ordenação e capacidade de prover infra-estrutura básica para as localidades.

## 1.3. HIPÓTESES

- a) Através de imagens de alta resolução é possível classificar objetos relevantes para o planejamento territorial e avaliação do crescimento urbano.
- b) A fusão das bandas Multiespectrais com a Pancromática melhora o desempenho da segmentação e classificação em áreas urbanas, dispensando a utilização das bandas originais.
- c) A utilização de informações de textura, forma, contexto e hierarquia em complementação aos dados espectrais é fundamental na classificação de áreas urbanas.
- d) A seleção de variáveis e parâmetros através de técnicas estatísticas auxilia a obtenção de modelos discriminatórios mais parcimoniosos, reduz o tempo de

análise e processamento computacional, além de diminuir os níveis de confusão entre os objetos urbanos classificados.

- e) O conhecimento das propriedades fundamentais necessárias para discriminar os objetos urbanos na classificação trará novos elementos para melhorar o desempenho da segmentação.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Estabelecer uma metodologia de classificação para imagens de satélite de alta resolução capaz de identificar e avaliar o crescimento de áreas de ocupação irregular.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar os objetos relevantes ao planejamento urbano de áreas de ocupação desordenada;
- b) Desenvolver um método para seleção e parametrização de variáveis na classificação dos objetos;
- c) Testar o efeito da utilização de imagem derivada da fusão pancromática - multiespectral na classificação de objetos em área de ocupação urbana;
- d) Avaliar o grau de acerto da metodologia de classificação proposta em relação ao mundo real.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E ADENSAMENTO E SEUS IMPACTOS

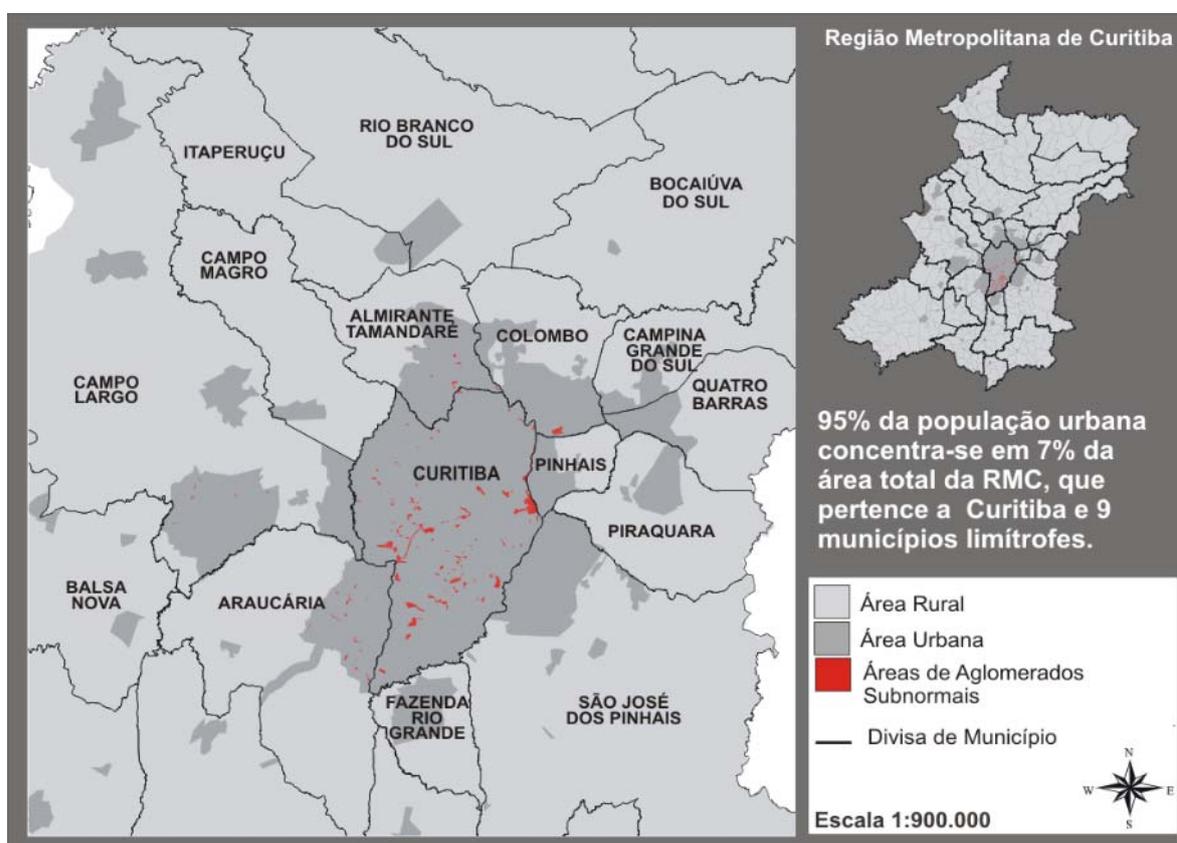
Mais de 128 milhões de habitantes na América Latina vivem em bairros e áreas degradadas, sem infra-estrutura e serviços essenciais necessários para a qualidade de vida e saúde da população residente (UN-Habitat - 2004).

A dinâmica de crescimento das periferias urbanas brasileiras ainda é pouco mapeada, apesar de se conhecer seus efeitos sociais e ambientais, cada vez mais evidentes. Parte significativa da população urbana dos grandes centros do país vive em áreas degradadas, com deficiência de infra-estrutura, risco ambiental ou carências sociais.

Nas últimas três décadas, a Região Metropolitana de Curitiba – RMC teve sua população triplicada e hoje é, entre as principais regiões metropolitanas do país, a que mais cresce - 3,2% ao ano entre 1991/2000. Esse crescimento deu-se em boa parte pela migração rural do Estado, com concentração, inicialmente, em Curitiba, ultrapassando as fronteiras do município ao longo do tempo, de modo que o processo de ocupação culminou com um grande aglomerado metropolitano. (ORBIS, 2005)

A mancha urbana formada se estende sobre os municípios de Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo, Pinhais, Campo Largo, Araucária, Almirante Tamandaré, Campo Magro, Piraquara, Fazenda Rio Grande, Quatro Barras e Campina Grande do Sul. (Figura 1)

Figura 1 – Mancha urbana e aglomerados subnormais na Região Metropolitana de Curitiba



Fonte: IBGE – Censo Demográfico 2000

O IBGE (2007), que utiliza o termo aglomerados subnormais, define-os como

um conjunto constituído por no mínimo 51 unidades habitacionais (barracos, casas etc.), ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular), dispostas, em geral, de forma desordenada e densa, carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais.

Aglomerados subnormais possuem a definição que mais se aproxima do conceito de domicílios situados em vilas ou favelas. São, todavia, sub-enumerados em relação a estimativas divulgadas por órgãos estaduais que trabalham com estas informações. Servem, no entanto, como um instrumento mais apurado para avaliar as condições de moradia do contingente populacional concentrado basicamente nas regiões metropolitanas. (Fundação João Pinheiro – Déficit Habitacional no Brasil, 2005)

Nesse contexto de crescimento demográfico acelerado, houve a formação de diversos bolsões de pobreza e áreas de ocupação irregular em Curitiba e seu entorno; segundo dados de pesquisa do IBGE, em 2004, 14% dos moradores da região estavam abaixo da linha de pobreza nacional, o que significava mais de 430 mil pessoas vivendo em condições adversas.

Já as áreas de ocupação irregular possuem várias definições; Mason, O. S. & Fraser, C. S. (1998), descrevem assentamentos informais como:

“...Densos assentamentos constituídos de habitações comunitárias, construídas precariamente pelos próprios moradores, de maneira informal ou sem documentação que assegure a propriedade. São comuns em países em desenvolvimento e é tipicamente o produto de uma necessidade urgente de habitação para a população urbana mais pobre. Eles são caracterizados por uma densa proliferação de pequenas e improvisadas habitações, construídas com os mais diversos materiais (tais como o plástico, chapas de metal e pranchas de madeira), pela degradação do ecossistema local (por exemplo, erosão, baixa qualidade do abastecimento de água e condições de saneamento) e por problemas sociais severos.”

Figura 2 – Moradores em domicílios urbanos sem acesso a serviços essenciais, superlotados ou sem forma de ocupação segura na Mesorregião Metropolitana de Curitiba - 2000

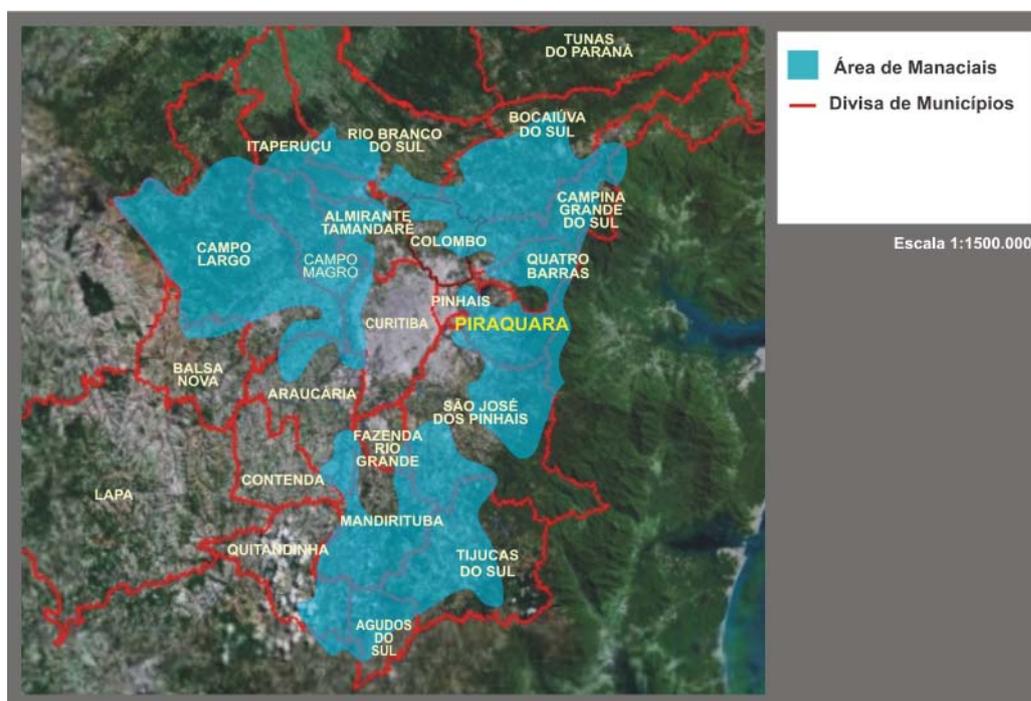


Fonte: ORBIS - Indicadores do Milênio das Mesorregiões do Paraná

Os problemas habitacionais são proporcionalmente mais graves nas aglomerações populacionais maiores. É onde mais se torna necessário que agentes do governo e formuladores de políticas públicas busquem mecanismos ágeis, capazes de proporcionar melhores condições para a solução dos problemas de moradia e de qualidade de vida da população. (Fundação João Pinheiro – Déficit Habitacional no Brasil, 2005)

Em 2000, aproximadamente 800 mil ou 29,5% dos moradores urbanos da Região Metropolitana de Curitiba não possuíam seguridade ou serviços essenciais em sua habitação, sendo que destes 5% não possuíam acesso a água ligada à rede canalizada em pelo menos um cômodo; 15% não tinham acesso a esgotamento sanitário ligado à rede ou fossa séptica; 4%, sem acesso a serviço de coleta de resíduos sólidos; 9%, com média superior a três moradores por dormitório; 1%, sem acesso à rede de energia elétrica. Além disso, perto de 8% dos domicílios não possuíam regularização fundiária. A regularização e urbanização de áreas menos favorecidas são essenciais para a garantia de condições mínimas de qualidade de vida e respeito ao ser humano.

Figura 3 – Principais mananciais existentes no entorno da mancha urbana na RMC



Fonte: ORBIS

Essas questões relacionadas à Região Metropolitana de Curitiba são agravadas pelo fato de que ela se caracteriza por abrigar importantes mananciais próximos ao centro urbano, que são responsáveis pelo abastecimento de água da população. Outros aspectos são a demanda por serviços públicos essenciais, acesso a água tratada, saneamento básico, coleta de resíduos sólidos, além de grande déficit habitacional. (ORBIS, 2005).

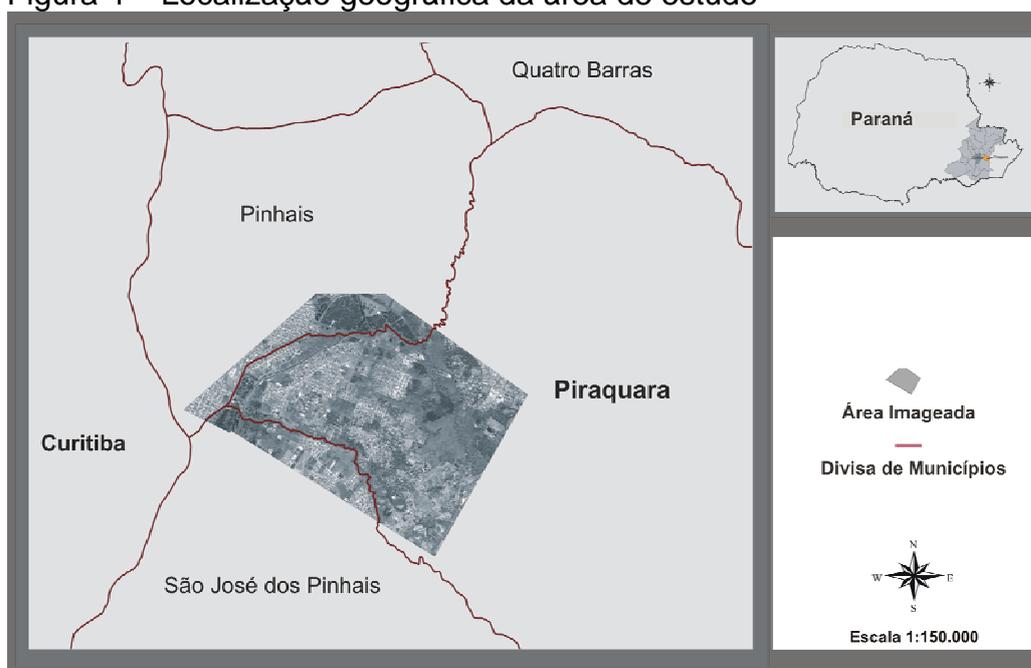
## 2.2 UNIDADE TERRITORIAL DE PLANEJAMENTO – UTP DO GUARITUBA, MUNICÍPIO DE PIRAQUARA, PARANÁ

Denominada Guarituba, a área objeto deste estudo pertence ao município de Piraquara, localizado a 21 km a Nordeste da capital paranaense, nas encostas da Serra do Mar, onde se concentram centenas de nascentes que dão origem ao Rio Iguaçu.

Integrando a Região Metropolitana, Piraquara tem pelo menos 70% de seu território em área de proteção de mananciais e é responsável por mais de 50% do abastecimento de água da Grande Curitiba. Possui várias áreas de proteção ambiental, entre elas o Pico do Marumbi, Parque Estadual da Serra da Baitaca, Bacia do Iraí, do Piraquara e do Itaqui. Mesmo assim, é o município que apresenta o maior índice de crescimento demográfico da região, com taxas anuais superiores a 8% (IBGE, 1996 a 2000).

O Guarituba, apesar de constituir uma Unidade Territorial de Planejamento – UTP, tem grande parte de sua área ocupada por assentamentos irregulares, com uma população que representa aproximadamente a metade da população do município, estimada em 100 mil habitantes pelo IBGE, em agosto de 2005, sendo a maioria de baixa renda (Figura 4).

Figura 4 – Localização geográfica da área de estudo



Fonte: ORBIS

Levantamento realizado pela Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC, em 1997, contabilizou mais de 40 pontos de invasão na localidade. Novo levantamento realizado em 2005 identificou cerca de 5 mil unidades de ocupação irregular, em uma área com aproximadamente 12 mil edificações.

Além do forte adensamento populacional, caracteriza-se pela falta de infraestrutura de saneamento básico, situação que adquire maior gravidade pelo fato de estar situada em uma importante bacia hidrográfica, responsável pela captação de 44% da água do sistema integrado que abastece Curitiba e parte da Região Metropolitana.

O impasse criado diante das ocupações irregulares e a espera por uma solução para o problema geraram uma série de carências urbanas, levando à precariedade do sistema de abastecimento de água, rede de esgoto, energia elétrica, transporte público, sistema viário, déficit habitacional e ocupações de risco.

Por entender que a ocupação desta área já está consolidada, e sua não-regularização trará mais problemas ambientais e sociais que a urbanização e ocupação planejadas, uma parceria entre o governo estadual, prefeitura municipal, entre outras instituições, propõe plano de desenvolvimento social, urbano e ambiental, comprometido com o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida da população. As principais ações a serem implementadas são a regularização fundiária, a criação de infra-estrutura, a recuperação de áreas degradadas, a preservação dos mananciais e a geração de renda para a população.

Para isto, é fundamental o desenvolvimento e a aplicação de ferramentas capazes de trazer informações dinâmicas e atuais que subsidiem o processo de planejamento e de tomada de decisão, de forma a antecipar tendências e a garantir o desenvolvimento sustentável, com a conseqüente melhoria da qualidade de vida dos moradores.

Figura 5 - Área de ocupação irregular na Unidade Territorial de Planejamento - UTP do Guarituba



Fonte: COPEL - Foto aérea 2005

Como mostra a figura 5, o planejamento territorial desta área para controlar o adensamento excessivo deve evitar a ocupação de áreas próximas a rios e reservatórios, áreas de inundação e outros riscos de desastre.

### 2.3 PROJETO DE REGULARIZAÇÃO DO GUARITUBA

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Integrado da RMC, elaborado em 1978, o município de Piraquara está inserido no subsistema leste, destinado à preservação dos mananciais de abastecimento hídrico. Sendo assim, esse município deveria ter seu crescimento controlado de forma mais rígida, em razão de sua localização muito próxima às áreas de captação de água e áreas inundáveis.

Mesmo assim, estima-se que na região do Guarituba 5.000 famílias vivem sobre terrenos inadequados, sem a posse da terra, só parcialmente atendidos por infra-estrutura de água, luz e esgoto, Constituindo, assim, uma grande área de exclusão social, que compromete a qualidade dos recursos hídricos existentes.

Em face da situação instalada dos assentamentos irregulares, e de pressão por mais ocupação na região, foi criada, a partir dos dispositivos da Lei Estadual n.º 12.248/98, a Unidade Territorial de Planejamento do Guarituba – UTP do Guarituba, através do Decreto Estadual n.º 809, de 31 de maio de 1999.

De forma sintética, pode-se definir as áreas de intervenção como:

I – Áreas de Restrição à Ocupação – são as de interesse de preservação e que poderão ser computadas no cálculo das áreas reservadas como de lazer, em parcelamentos do solo como de reserva florestal ou transferência de potencial construtivo.

II – Áreas de Ocupação Orientada – são as comprometidas com processos de parcelamento do solo e de ocupação urbana e áreas sujeitas à pressão por ocupação, onde será permitido o parcelamento de médias e baixas densidades, podendo haver acréscimo de potencial construtivo.

III – Áreas de Urbanização Consolidada – são as de interesse de consolidação da ocupação urbana, saneando e recuperando as condições ambientais, onde há possibilidade de adensamento.

Nas Áreas de Urbanização Consolidada, através de Decreto do Poder Executivo Municipal, foi inserida a possibilidade de criação de Áreas de Interesse Social de Ocupação destinadas a:

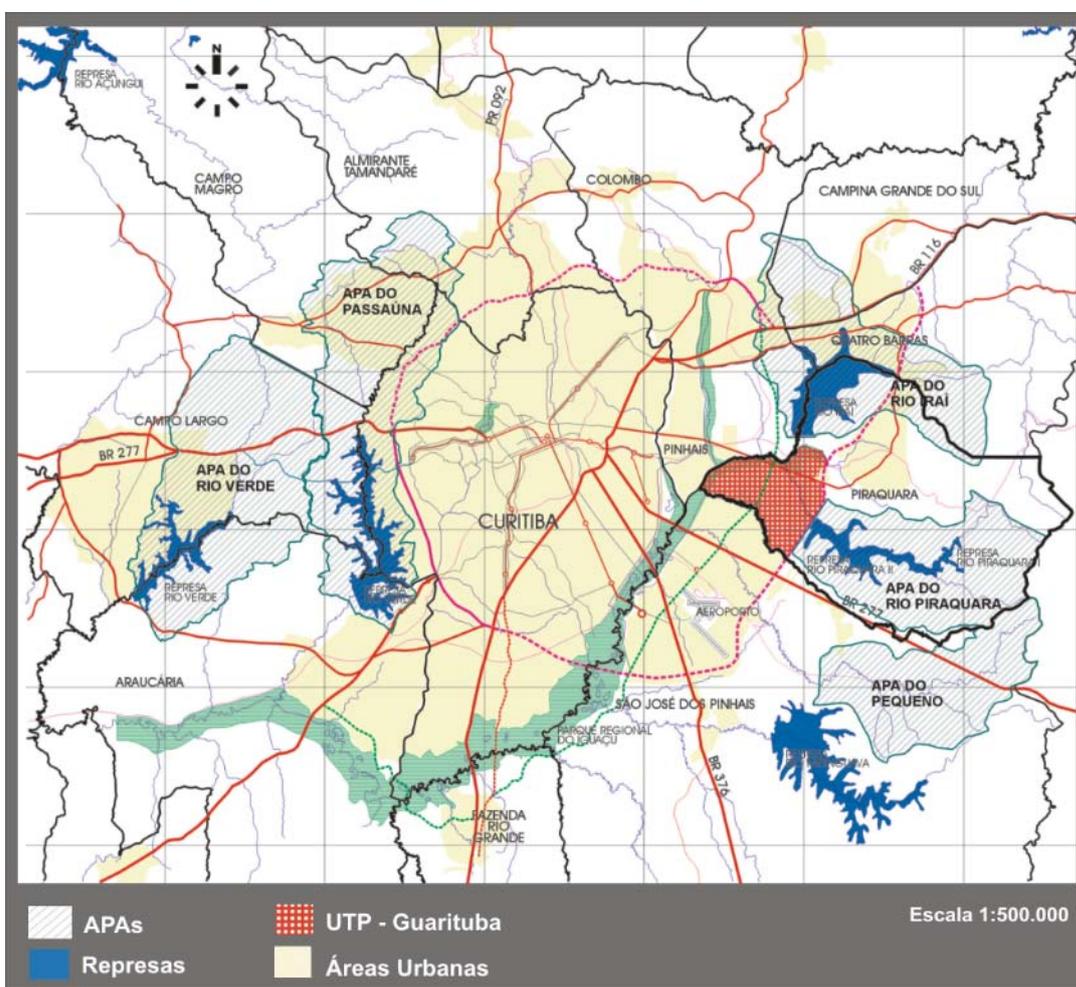
- i) Assentamentos habitacionais precários, objeto de interesse público para a recuperação ambiental;
- ii) Atendimento habitacional das famílias residentes em áreas de risco e reassentamento das famílias removidas das Áreas de Restrição à Ocupação e das Áreas de Ocupação Orientada, desde que aprovadas pelo Conselho Gestor dos Mananciais da RMC.

Em 2005, foi estabelecida uma parceria entre a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC, Instituto Ambiental do Paraná - IAP, Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUDERHSA, Companhia de Habitação do Paraná - COHAPAR, Companhia Paranaense de Energia - COPEL, MINEROPAR, PARANACIDADE e Prefeitura Municipal de Piraquara, sob a Coordenação do Governo do Estado do Paraná, através da Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral e

da Secretaria Especial de Assuntos Metropolitanos, para intervenção a ser realizada na área do Guarituba, município de Piraquara, Estado do Paraná.

No espaço compreendido pela Unidade Territorial de Planejamento - UTP do Guarituba, destaca-se então a área de intervenção proposta pelo Projeto de Desenvolvimento Social, Urbano e Ambiental que compreende uma área de 15,43 km<sup>2</sup> do total de 31 km<sup>2</sup> da unidade.

Figura 6 – Localização da UTP do Guarituba e principais mananciais em seu entorno - 2005



Fonte: COMEC – Guarituba: Plano de Desenvolvimento Social, Urbano e Ambiental

Os passos a serem observados para a implementação do plano encontram-se definidos na Estratégia de Intervenção, dividida em linhas mestras que nortearão a ação governamental, quais sejam:

- Adequação Legal;
- Reassentamento da população residente em áreas impróprias à ocupação;
- Infra-estruturação da região com obras de macrodrenagem e sistema viário;
- Reordenamento territorial e implantação de infra-estrutura nas áreas ocupadas irregularmente;
- Implantação de áreas de proteção, lazer e uso institucional;
- Cancelamento dos loteamentos aprovados, sem ocupação e não implantados;
- Implantação de Sistema de Fiscalização e Monitoramento;

Figura 7 – Fotos aéreas da área compreendida pelo projeto de regularização - 2005



Fonte: Copel

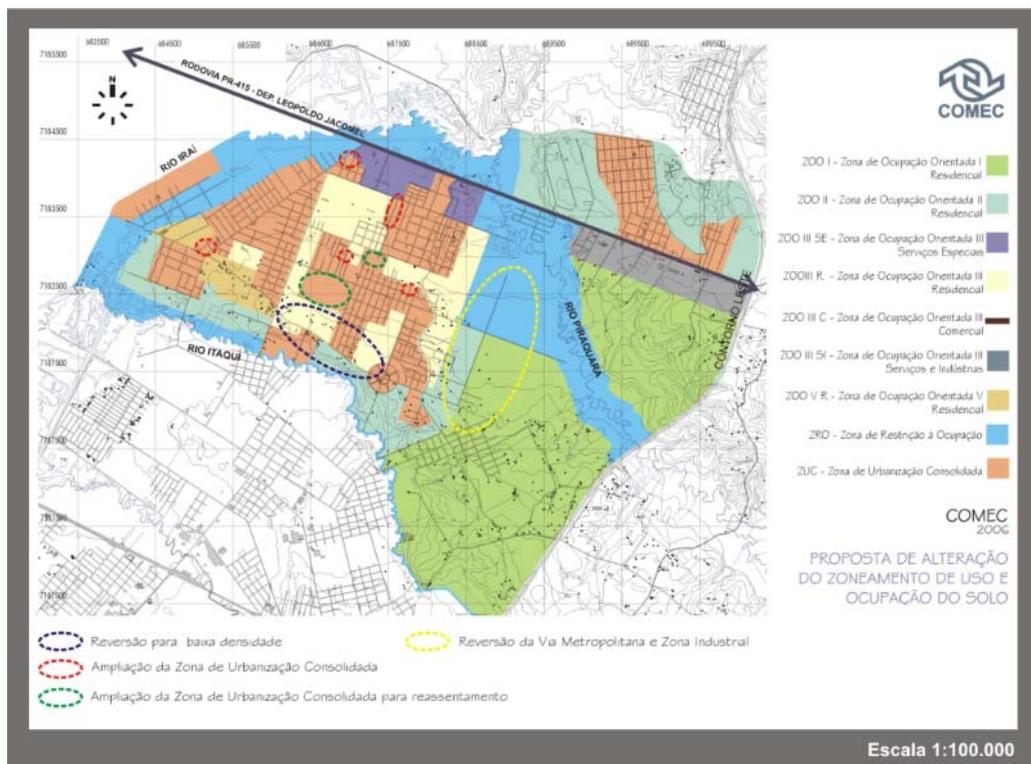
Retirado: Guarituba: Plano de Desenvolvimento Social, Urbano e Ambiental - COMEC

Com o projeto de regularização, as instituições pretendem melhorar a qualidade de vida dos moradores e as condições ambientais do Guarituba, alinhando a urbanização das áreas ocupadas com a preservação do importante sistema de mananciais existente, para o que deverão ser tomadas algumas importantes providências:

- Definir áreas prioritárias para ordenamento territorial e implantar infraestrutura e saneamento.
- Fazer a regularização fundiária através da criação de áreas de interesse social.
- Reduzir e controlar a densidade populacional.
- Estabelecer política de proteção dos fundos de vales e das áreas sujeitas a inundação.
- Recuperar áreas degradadas e assegurar as condições ambientais adequadas à proteção dos mananciais.
- Implementar programa de geração de renda e áreas de lazer.

A figura abaixo mostra a proposta de alteração do zoneamento e uso da terra para tentar reverter parte da degradação provocada pela expansão urbana desordenada e orientar as novas ocupações de modo a proporcionar um menor impacto aos mananciais.

Figura 8 – Proposta de alteração do zoneamento e uso da terra



Fonte: COMEC – Guarituba: Plano de Desenvolvimento Social, Urbano e Ambiental

Nas terras marginais aos principais rios da região, verifica-se a manutenção da mata ciliar dos rios Piraquara e Itaqui, com a ocorrência de assentamentos nas margens do rio Iraí. Grande parte das várzeas dos rios da região apresenta alto potencial mineral para extração de areia, atividade esta que vem sendo desenvolvida em alguns pontos da região.

No que se refere à condição de manancial da área, a ocupação do Guarituba está situada predominantemente na bacia hidrográfica do rio Iraí, afluente do rio Iguaçu, cujo sistema de captação de água responde por 3.800 l/s, o que significa aproximadamente 40% de todo o Sistema Integrado que abastece Curitiba e parte da RMC.

De acordo com a legislação federal em vigor, Resolução CONAMA n.º 20/86 e Portaria SUREHMA 20/92, os rios da bacia do Alto Iguaçu estão incluídos na classe 2, onde numa escala de 1 a 5, quanto maior pior é a classificação atingida. No entanto, segundo estudo realizado pela SUDERHSA (2000), através do monitoramento da qualidade da água no período de 1996 a 1998, a maior parte dos cursos d'água na bacia do Alto Iguaçu possui condições atuais ruins, encontrando-se na classe 4.

O ponto de monitoramento mais próximo da região do Guarituba está situado no encontro do rio Iraí com o rio Palmital. Os parâmetros avaliados de fósforo, oxigênio dissolvido, ph, DBO, fosfato, turbidez, coliformes fecais, sólidos totais e coliformes totais neste ponto, ratificam a colocação do rio Iraí na classe 4.

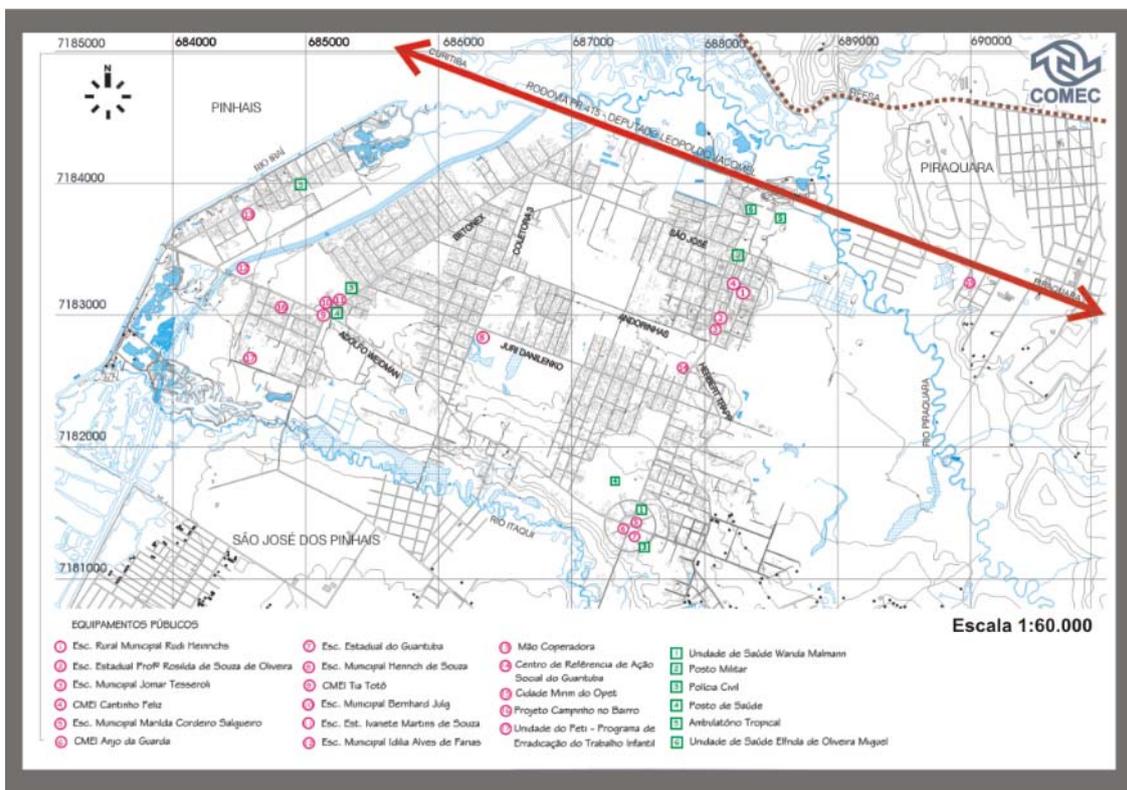
Com relação especificamente aos riscos oferecidos pela ocupação urbana ao sistema de abastecimento de água, ressalta-se que a geração de descargas orgânicas de esgoto doméstico no leito do rio, implica, em um primeiro momento, num consumo maior de produtos químicos no processo de tratamento da água e, ao longo do tempo, na perda do manancial.

Um fator de extrema relevância refere-se à baixa capacidade de drenagem da área como um todo, que possui solo aluvionar justamente onde se encontra grande parte das ocupações. Face a esta realidade, destaca-se que a implantação do Canal Paralelo do Rio Iguaçu diminuiu sensivelmente os efeitos das cheias na região.

No caso do Guarituba, estima-se que mais da metade da população residente não se encontra atendida pelos serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto. Outra situação importante a ser considerada é a ligação das habitações à rede de energia elétrica que abrange grande parte das áreas ocupadas, visto que foram notificados diversos acidentes ocorridos com ligações clandestinas.

No que tange ao atendimento da população por equipamentos comunitários, verifica-se que atualmente a região conta com 9 instituições de ensino, 4 postos de saúde e 2 creches, sendo que praticamente não há equipamentos destinados ao lazer e à recreação. (Figura 9)

Figura 9 – Equipamentos públicos disponíveis na área - 2005



Fonte: COMEC – Guarituba: Plano de Desenvolvimento Social, Urbano e Ambiental

## 2.4 OBSERVATÓRIO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE – ORBIS

O ORBIS tem a missão de contribuir com a promoção do desenvolvimento sustentável da Região Metropolitana de Curitiba, em parceria com atores sociais, públicos e privados. Um de seus eixos estratégicos, “apoiar processos de decisão sobre os rumos do desenvolvimento regional, produzindo estudos e análises, incentivando o diálogo e disponibilizando ferramentas e informações para tomada de decisão”, está diretamente relacionado com o projeto de Guarituba.

Como integrante da rede mundial de Observatórios Urbanos Locais, credenciado pela UN-Habitat, o ORBIS monitora e trabalha para atingir os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e da Agenda Habitat, sendo um de seus focos a participação em projetos que promovam o alcance da Meta 11 - Melhorar a qualidade de vida de moradores de assentamentos humanos precários.

Considerando a relevância do projeto Guarituba para o desenvolvimento sustentável da região, tanto pela sua importância ambiental na preservação dos mananciais, como pelo impacto na qualidade de vida dos moradores locais e os reflexos na economia do município de Piraquara, o projeto recebe o apoio do Observatório e de organismos comprometidos com o desenvolvimento sustentável de comunidades.

Através de um termo de cooperação técnica entre o ORBIS e a Prefeitura de Piraquara, serão realizados estudos da ocupação urbana e dos recursos ambientais na região do assentamento, assim como será dado apoio a levantamento de campo e georreferenciamento das informações. A construção de um sistema de informações local irá subsidiar o planejamento e a tomada de decisões da gestão municipal, além de possibilitar a mensuração dos impactos gerados à população pelo projeto de regularização e urbanização do Guarituba.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO AO PLANEJAMENTO URBANO

A obtenção de informações sobre mudanças no uso e ocupação da terra é importante para a tomada de decisão e o desenvolvimento sustentável urbano. (CHUNYANG HE, 2005)

Para entender a mobilidade populacional e o fenômeno da urbanização mundial, principalmente em países em desenvolvimento, na América Latina, é necessário utilizar ferramentas dinâmicas capazes de fornecer informações sistemáticas e em tempo hábil, como o sensoriamento remoto. Segundo Chuvieco (1990), as vantagens do sensoriamento remoto são: a visão panorâmica de uma região, ou seja, obter imagens de grande extensão, praticamente em uma mesma fração de tempo; a cobertura global da terra de forma sistemática; condições de iluminação homogêneas para extensas áreas; a ampliação da sensibilidade humana através da utilização de faixas espectrais e outros tipos de ondas não percebidas pelos olhos para caracterização do meio ambiente a sua volta; facilidade de análise e melhoria da qualidade através do processamento digital das imagens; possibilidade de estudos cronológicos e recuperação de imagens antigas.

A integração deste tipo de imagens, depois de georreferenciadas, como informação-base em sistemas de informações geográficas municipais, permite manter atualizada a informação sobre a qual se tomam as decisões de planejamento e gestão. (FONSECA, 2004).

As imagens de alta resolução constituem atualmente uma importante fonte de dados em geoprocessamento e a partir delas pode-se realizar mapeamentos de uso da terra, na escala de detalhes, assim como realizar estudos urbanos como, por exemplo, atualização da malha viária das cidades. (MEDEIROS, 2005).

### 3.2 APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS URBANAS

A detecção da mudança de objetos de intervenção urbana é uma difícil tarefa, porque a maioria destes objetos têm propriedades espectrais e de formas similares. (PHALKE, 2005). A classificação de imagens de alta resolução é uma questão desafiadora, principalmente se o que se quer extrair são informações referentes a áreas intra-urbanas, com grande quantidade de detalhes. (ESTEVEM, 2006).

A gestão de áreas urbanas exige que os organismos envolvidos, como os municípios, os serviços de proteção civil, entre outros, disponham de informação cartográfica, topográfica e temática atualizada, tanto na forma de cartografia convencional, como em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os métodos convencionais de aquisição e atualização desta informação usualmente são longos e a sua execução cara. Para reduzir o custo de aquisição de informação, que faz com que esses organismos utilizem muito freqüentemente, no planejamento e na gestão urbana, informações de bases cartográficas desatualizadas, deveriam ser utilizadas de modo complementar informações registradas por satélites de alta resolução que obtêm informações com o detalhe que as aplicações urbanas exigem. (FONSECA, 2004).

Além de permitir manter atualizadas as infra-estruturas cartográficas, o sensoriamento remoto fornece um meio de manter o espaço urbano sob observação freqüente, permitindo gerir o impacto de catástrofes, fazer estudos de evolução, avaliar tendências, etc. (FONSECA e FERNANDES, 2004).

Com o avanço da tecnologia de sensoriamento remoto, e conseqüente maior disponibilidade de sistemas sensores, houve grande aumento nas opções de uso de produtos orbitais, principalmente com significativa melhoria nas resoluções. Com isto, a utilização desses produtos em áreas urbanas tem crescido demasiadamente à medida que suas potencialidades têm sido demonstradas e confirmadas em diferentes aplicações. (ESTEVAM, 2006)

### 3.3 IMAGENS DE SATÉLITE PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA

Por estas áreas apresentarem um crescimento desordenado, com a formação de loteamentos e sistemas viários irregulares, sem padrões claros e edificações com formas diversas, sua segmentação e classificação, a partir de imagens de satélite de alta resolução, apresentam soluções metodológicas mais complexas.

Os assentamentos formais são suficientemente mapeados para a maioria das finalidades, o que não acontece com estabelecimentos informais, cuja detecção é substancialmente mais difícil, devido a sua micro-estrutura e instabilidade de forma. Deste modo, são necessários dados e métodos mais sofisticados para a análise da imagem que alimente uma base de dados espaciais para o gerenciamento de assentamentos informais. Estas são as áreas que mais necessitam de acompanhamento e que mais carecem de estudos que possibilitem um melhor planejamento urbano e monitoração. (HOFMANN, 2001).

Especialmente em países menos desenvolvidos, pode ser observada uma forte tendência de concentração de pessoas em áreas urbanas, para o que se recomenda a utilização de sistemas de monitoração sofisticados, principalmente para finalidades do planejamento, por permitirem a avaliação de seu crescimento em um nível mais detalhado, além da comparação do crescimento de diferentes cidades. (MOELLER, 2005). No entanto, freqüentemente, não há infra-estrutura, nem as capacidades necessárias para um moderno planejamento de cidade, pela falta de peritos para coleta de campo e mapeamento permanente das regiões urbanizadas. Ironicamente, enquanto a quantidade e a qualidade de dados de sensoriamento remoto melhoram, o senso de certeza e confiança nas classificações urbanas parece diminuir. Uma dose saudável de ceticismo pode trazer uma importante contribuição na compreensão dos dados e no conhecimento dos sistemas urbanos. (MOELLER, 2005).

Detectar estabelecimentos informais pode ser uma das tarefas mais desafiadoras de sensoriamento remoto em áreas urbanas. E para haver planejamento urbano, desenvolvimento e melhoria das condições de vida dos

moradores de localidades pobres, uma base de dados espacial adequada é necessária. (MASON e FRASER, 1998).

### 3.4 IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO

Desde 1999, imagens de satélite da superfície terrestre, designadas de alta resolução, estão disponíveis para utilizadores civis. Estas imagens, com uma resolução espacial de 1 m e 60 cm, são registradas por sensores a bordo de satélites artificiais da terra e são comercializadas por empresas dos EUA (FONSECA, 2005).

Quadro 1 - Resolução espacial e espectral dos principais satélites comerciais de alta resolução em órbita.

Sensores	IKONOS	QuickBird	ORBVIEW
<b>Resolução</b>			
Banda Pancromática	1 m	0.7 m	1 m
Bandas Multispectrais	4 m	2,4 m	4 m
<b>Largura da Faixa</b>			
Pan ( $\mu\text{m}$ )	0.45 a 0.90 $\mu\text{m}$	0.45 a 0.90 $\mu\text{m}$	0.45 a 0.90 $\mu\text{m}$
Blue ( $\mu\text{m}$ )	0.45 a 0.52 $\mu\text{m}$	0.45 a 0.52 $\mu\text{m}$	0.45 a 0.52 $\mu\text{m}$
Green ( $\mu\text{m}$ )	0.52 a 0.60 $\mu\text{m}$	0.52 a 0.60 $\mu\text{m}$	0.52 a 0.60 $\mu\text{m}$
Red ( $\mu\text{m}$ )	0.63 a 0.69 $\mu\text{m}$	0.63 a 0.69 $\mu\text{m}$	0.63 a 0.69 $\mu\text{m}$
IVP ( $\mu\text{m}$ )	0.76 a 0.90 $\mu\text{m}$	0.76 a 0.90 $\mu\text{m}$	0.76 a 0.90 $\mu\text{m}$

### 3.5 FUSÃO DA IMAGEM MULTIESPECTRAL E PANCROMÁTICA

O processamento digital de imagens possui duas aplicações principais: melhoria de informação visual para a interpretação humana e o processamento de dados para percepção automática através máquinas. (GONZALEZ, 2000).

As técnicas de fusão de imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais visam aumentar a definição dos detalhes espaciais, o que possibilita melhor interpretação visual e análise automática ou semi-automática. A fusão de imagens com diferentes resoluções busca a melhoria da resolução espacial e a manutenção da qualidade espectral. (SCHNEIDER, 2003).

Alguns autores expressam a idéia de que o método de fusão não deve distorcer as características espectrais dos dados originais, de forma a assegurar que

alvos espectralmente separáveis nos dados originais sejam separáveis no conjunto de dados resultante (CHAVEZ, 1991).

A resolução espacial das imagens é a dimensão do elemento mínimo registrado. A sua resolução espectral é a amplitude e o número das bandas espectrais em que a imagem é registrada. As imagens Pan, que correspondem a um registro da informação numa única banda larga do espectro eletromagnético, apresentam melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral. Esta, constituída por várias bandas, apresenta melhor resolução espectral. As bandas espectrais disponibilizam, para cada tipo de ocupação da terra, uma assinatura espectral que confere a capacidade discriminatória. Nas aplicações urbanas, tanto a alta resolução espacial da imagem Pan, como a capacidade discriminatória de imagens multiespectrais, são necessárias. Assim, é útil utilizar, nestas aplicações, uma imagem resultante da fusão da imagem Pan e multiespectral. (FONSECA, 2004).

Imagens pancromáticas de alta resolução espacial podem ser combinadas com imagens multiespectrais de menor resolução espacial, mediante o uso de técnicas apropriadas. Deste modo, a resolução espectral pode ser preservada, enquanto a resolução espacial mais alta é incorporada de maneira a representar o conteúdo de informação das imagens com muito mais detalhes. (SCHNEIDER, 2003),

Deve-se considerar que, apesar da melhor resolução espacial, a banda Pan é menos sensível a variações de reflectância, que são melhor registradas pelas bandas multiespectrais. Altas frequências espaciais presentes na banda Pan podem levar à excessiva segmentação ao efetuar a classificação da imagem (SCHNEIDER, 2003), assim como os tipos de coberturas do solo presentes na cena influenciam fortemente os resultados da fusão (WALD, 1997).

A vantagem da fusão é poder utilizar a imagem de maior resolução espacial, procurando-se preservar ao máximo as características espectrais das imagens multiespectrais. É válido dizer que a reamostragem dos *pixels*, que compõem uma imagem, está relacionada à correção geométrica da imagem que também é considerada um aspecto importante no processo de fusão de imagens, pois as

imagens necessitam estar referenciadas entre si antes de serem submetidas ao processo de fusão. (NAPOLEÃO, 1998).

Com o aumento da resolução espacial e radiométrica, ao efetuar os processos de classificação e de segmentação das imagens híbridas, deve-se ter muito mais cuidado do que anteriormente, quando se dispunha apenas de imagens como as do Landsat TM ou do SPOT (SCHNEIDER, 2003).

A resolução espacial é importante para extração de informação em áreas urbanas, como, por exemplo, para detectar e identificar o tipo de edificações. Naturalmente, deve haver suficiente contraste espectral entre os objetos de interesse e o fundo (JENSEN e COWEN, 1999).

### 3.6 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO

As estratégias de monitoração de objetos em sensoriamento remoto requerem dois componentes principais: fontes de dados da imagem digital e um método de classificação ou segmentação. (YALLOP, 2004).

A extração de informações e interpretação de imagens de sensoriamento remoto baseia-se em elementos visuais como brilho, cor, forma, tamanho, textura, contexto, padrão e sombra (LILLESAND e KIEFER, 2000; MOREIRA, 2001, CCRS, 2001).

Antes da classificação, é realizado um processo de segmentação com o objetivo de dividir a imagem em regiões homogêneas e solucionar problemas de subjetividade em classificações supervisionadas. O processo consiste em separar os atributos espectrais da imagem em regiões homogêneas, isto é, os pixels com características similares (forma, textura, área, parâmetros espectrais) são associados (MOREIRA, 2001).

Segundo Hoffmann (2001), os novos sistemas de sensores orbitais, como o *IKONOS-II* e o *QUICKBIRD*, exigiram novos métodos para a extração de informações das respectivas imagens, sugerindo a utilização de metodologias de classificação orientada ao objeto para classificar imagens com alta resolução.

Ao contrário dos métodos tradicionais para a classificação digital de imagens, na classificação orientada ao objeto, a análise é realizada sobre objetos ou segmentos na imagem e não apenas sobre *pixels*. (PINHEIRO, 2003).

Entre os motivos para se adotar a classificação de imagem orientada ao objeto, podem ser citados (GONÇALVES 2001):

a) O processamento de imagens aproxima-se mais dos processos cognitivos humanos que as análises baseadas em *pixel*;

b) É mais fácil incorporar informação de contexto com significado numa abordagem orientada ao objeto do que numa abordagem apenas por *pixel*.

c) A classificação tem por objetivo tornar o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subseqüentes (NOVO, 1989).

d) A Classificação Multiespectral de Imagem orientada a objeto mediante regras *Fuzzy* tem como finalidade substituir a análise visual dos dados por técnicas quantitativas de análise automática, visando a identificação dos elementos presentes na cena. (ESTEVAM, 2006).

As funções *Fuzzy*, ao permitirem associar a cada objeto um determinado grau de pertinência a essa classe (entre 0 e 1), possibilita lidar com as inexatidões dos modelos, tal como alguma incerteza existente nas definições das classes ou na definição das fronteiras entre elas. (FONSECA, 2004).

## 4 MATERIAL

### 4.1 IMAGEM DE ALTA RESOLUÇÃO - SATÉLITE DO QUICKBIRD

Para a realização deste estudo, foi utilizada imagem de setembro de 2004, capturada pelo satélite *QUICKBIRD*, com área aproximada de 37,5 km<sup>2</sup> sobre o município de Piraquara-PR; os extremos do menor retângulo que compreende a imagem estão entre as latitudes 682272,78E e 691764,06E e longitudes de 7178336,72N e 7185805,45N.

Lançado no dia 18 de outubro de 2001, a partir da Base da Força Aérea de Vandenberg, no Estado da Califórnia – EUA, o *QUICKBIRD* tem uma órbita heliosíncrona, a uma altitude de 450 km, quase polar, com uma inclinação de 98°, percorrendo uma órbita completa em cerca de 93,4 minutos, à velocidade de cerca de 7,1 km/s, o que lhe permite um intervalo de revisita do mesmo local na superfície terrestre de 1 a 3,5 dias, dependendo da latitude do lugar. (Quadro 2)

Os sensores a bordo também são do tipo CCD, com resoluções espaciais de 2,44m para imagem multiespectral e 0,61m para pancromática (no nadir).

Quadro 2 – Especificações do satélite *Quickbird*

	Pancromática	Multiespectral			
Resolução Espectral	Preto & Branco	Azul	Verde	Vermelho	IVP
	0,45 – 0,90 $\mu\text{m}$	0,45-0,52 $\mu\text{m}$	0,52-0,60 $\mu\text{m}$	0,63-0,69 $\mu\text{m}$	0,76- 0,90 $\mu\text{m}$
Resolução Espacial	61-cm a 72-cm (2 a 2.4-ft)	2.44 a 2.88-m (8 to 9.4-ft)			
Dimensão da cena	27,552 x 27,424 pixels	6,888 x 6,856 pixels			
Largura do Imageamento	272-km <sup>2</sup> (nadir) a 435-km <sup>2</sup> (25° off-nadir) (105 a 168-mi <sup>2</sup> )				
	16.5-km <sup>2</sup> (nadir) a 20.8-km <sup>2</sup> (25° off-nadir) 10.3 a 12.9-mi <sup>2</sup> )				

FONTE: DigitalGlobe, 2007.

## 4.2 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Para auxiliar a avaliação da segmentação e classificação, serão utilizadas fotos aéreas para a mesma área de estudo, levantadas em 2005, além de informações de contexto, como hidrografia e sistema viário.

Ao incluir informações de feições pré-mapeadas no processo de classificação de objetos, pretende-se analisar o comportamento da segmentação em diferentes escalas, bandas espectrais e pesos, a utilização dos fatores de forma, encontrando os melhores parâmetros para o estudo proposto.

## 4.3 SOFTWARES

Foram utilizados os *softwares* ENVI para correções radiométricas, operações entre bandas e a fusão das bandas multiespectrais com a pancromática através do método de componentes principais.

O *eCognition* permitiu a segmentação multiresolução orientada a objeto e a classificação hierárquica dos objetos da imagem por meio da aplicação de funções de lógica *Fuzzy*, foi também utilizado o *software* estatístico SPSS para a análise exploratória de dados, que definiu as variáveis e os parâmetros discriminatórios.

## 5 METODOLOGIA

A proposta metodológica deste estudo busca potencializar os recursos do sensoriamento remoto ao se melhorar a identificação e parametrização das variáveis e atributos necessários na discriminação de áreas com ocupação irregular para auxílio à ordenação territorial. Isto fará com que se reduza o tempo de seleção, processamento de variáveis e funções, facilitando a análise humana e a utilização do conhecimento *a priori* da área, reduzindo a subjetividade na definição das funções para a classificação de imagens de satélite.

O processo de classificação da imagem usará como principal eixo norteador do estudo a segmentação multiresolução orientada a objeto e modelos de classificação a partir de funções de pertinência de lógica *Fuzzy*.

Segundo Estevam (2006), deve-se tentar separar não apenas áreas de favelas dentro do contexto urbano, mas fazer a classificação de uso para áreas urbanas, principalmente as que contenham áreas de favela; deve-se, também, buscar novas técnicas de avaliação da acurácia por regras *Fuzzy*, pois há uma lacuna neste tema, merecendo estudos mais aprofundados.

Para avaliar o método que conduzirá aos modelos de discriminação e classificação de objetos relevantes para compreensão dos processos de ocupações em áreas urbanas, foi utilizada uma área pertencente à Unidade Territorial de Planejamento do Guarituba – Piraquara-PR.

Conduzida a partir da montagem da estrutura de objetos relevantes para a área de interesse, esta metodologia (Quadro 3), ajudará o pesquisador a responder as perguntas: quais variáveis selecionar para discriminar com maior parcimônia os objetos definidos? Há interações entre as variáveis? Como determinar os parâmetros adequados? Qual função escolher para cada tipo de distribuição? Qual a tolerância no intervalo da função que se deve atribuir para não tornar aquela classe nem tão sensível, nem tão específica? Quando se deve utilizar a negação de uma classe?

Quadro 3 – Etapas do processo de desenvolvimento da metodologia

<b>N<sup>o</sup>.</b>	<b>Fonte</b>	<b>Entrada</b>	<b>Processo</b>	<b>Produto</b>
<b>1</b>	Instituições de pesquisa, órgãos de planejamento e ambientais, prefeituras	Estudos, análises, planos de regularização e dados de crescimento demográfico e ocupação irregular	<b>Seleção da área de estudo</b>	Área de ocupação irregular identificada e caracterizada
<b>2</b>	Satélites de alta resolução e Sistema de Informação Geográfica	Imagem Quickbird (pancromático e multiespectral) métodos de correção e fusão de imagens de alta resolução	<b>Pré-processamento da imagem</b>	Imagem georreferenciada, corrigida e fundida
<b>3</b>	Imagem processada	Interpretação visual e conhecimento dos objetos relevantes ao planejamento urbano	<b>Identificação dos objetos e construção da estrutura semântica e hierárquica</b>	Estrutura semântica e hierárquica e descrição dos objetos
<b>4</b>	Imagem processada Estrutura hierárquica	Algoritmo de crescimento de regiões, valores espectrais, de forma: compacidade e suavidade, definição da hierarquia e escala	<b>Segmentação da imagem</b>	Imagem segmentada em objetos e super-objetos relevantes ao estudo
<b>5</b>	Imagem Segmentada	Valores espectrais, de forma, textura, contexto, hierarquia e relacionamento dos objetos	<b>Determinação do comportamento dos objetos e super-objetos</b>	Objetos caracterizados e suas propriedades descritas
<b>6</b>	Imagem segmentada	Análise Exploratória de Dados, Estatísticas, Funções Fuzzy	<b>Seleção de Atributos, Variáveis, Funções e Parâmetros para Discriminação dos objetos</b>	Regras de decisão e modelos de classificação de objetos
<b>7</b>	Imagem segmentada, Estrutura Semântica e hierárquica e Modelos de classificação	Funções fuzzy, registro de classes por nível hierárquico	<b>Classificação dos objetos e superobjetos</b>	Mapa temático da área estudada
<b>8</b>	Mapa temático e imagem original	Índices de avaliação de classificação e interpretação visual	<b>Avaliação da qualidade da classificação resultante</b>	Nível de qualidade do mapa gerado

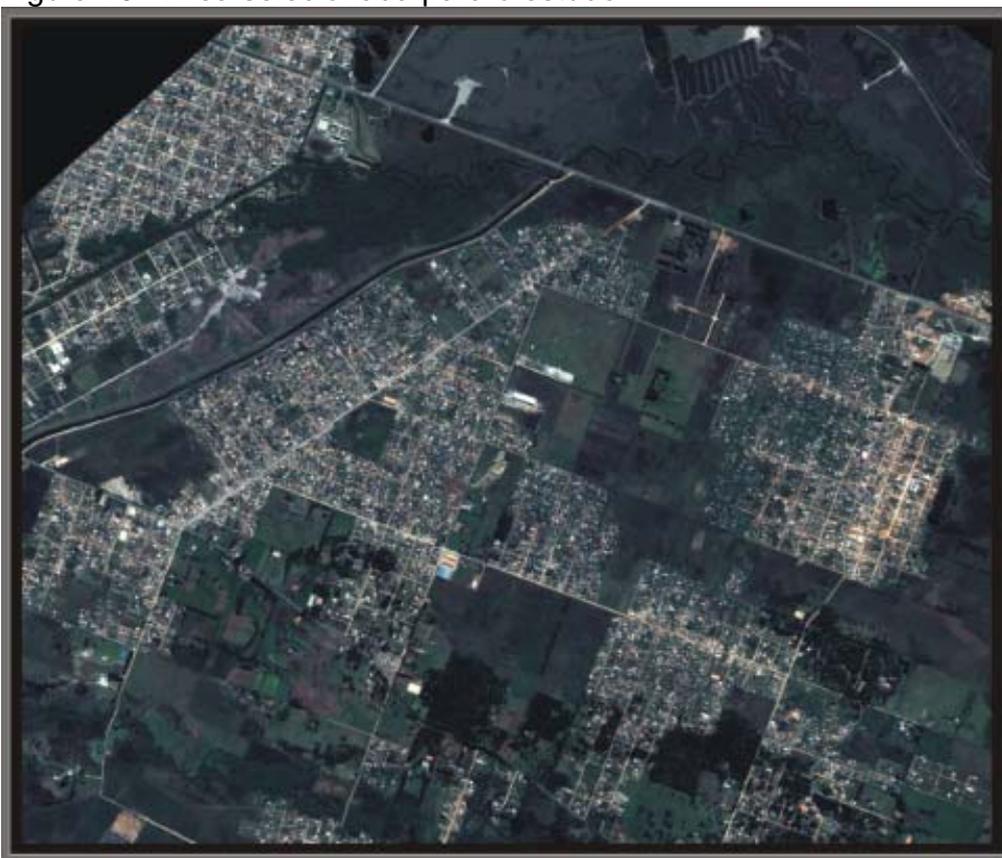
Nota: O Autor - Baseado na ferramenta SIPOC (Supply, Input, Process, Output, Customer)

## 5.1 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com a intenção de reduzir os tempos de processamento e obter uma imagem de formato mais regular que facilitasse a condução dos experimentos, sem perder as características de heterogeneidade presentes na ocupação da terra da região, foi utilizado para este estudo do recorte de 15 km<sup>2</sup> sobre a área total, como mostra a figura abaixo.

Para isso foi selecionada uma área que contemplasse cobertura vegetal rasteira e densa, corpos d'água e rios, áreas ocupadas, urbanizadas e não-urbanizadas, sendo capaz de representar a complexidade da área original.

Figura 10 - Área selecionada para o estudo



Fonte: Imagem Quickbird

Este recorte possui 7.000 x 6.000 *pixels* e contempla boa parte do manancial da APA do rio Iraí e as áreas sujeitas a alagamento. Tem os remanescentes de mata nativa, áreas de ocupações irregulares na unidade de conservação ambiental,

ocupações regulares urbanizadas no município de Pinhais, trechos da rodovia estadual, 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. Esta localidade não só é fundamental para o município de Piraquara, mas também é determinante para o abastecimento de água de qualidade a toda a Região Metropolitana de Curitiba.

Três sub-recortes foram tomados para o estudo: um com características de área não-ocupada e outros dois de áreas ocupadas, mas 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 segundo os descritores definidos. (Figura 11)

Figura 11 – Recortes da área selecionada para coleta de amostras



Fonte: Imagem Quickbird

## 5.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

Com a intenção de ampliar a discriminação de classes de objetos, foram realizados processamentos na imagem original, como a realização de equalização da banda pancromática para melhor aproveitamento dos 8 bits (escala de cinza – 0 a 255); operação de fusão da pancromática com as bandas multiespectrais, através do método de componentes principais; e operações de bandas do “vermelho” e “infravermelho próximo”, para a criação do índice de vegetação NDVI para área de estudo.

Figura 12 – Layers espectrais utilizados para o estudo



Fonte: Imagem Quickbird

### 5.2.1 Fusão

Como a resolução espacial dos sensores do *Quickbird* para a imagem pancromática é de 0,61cm, e nas bandas multiespectrais diminui para 2,44m, foi avaliado se a fusão através do método de substituição por componente principal (SPC) trouxe a melhoria da resolução espacial sem perder a capacidade de discriminação de objetos de áreas urbanas.

Segundo Fonseca (2004), a imagem resultante da fusão com a resolução espacial da imagem Pancromática perde a separabilidade espectral que caracteriza a imagem multiespectral; mas, para a extração de informação temática, utilizando um método de reconhecimento de padrões orientado por objetos, os resultados finais são consideravelmente melhores se for utilizada a imagem resultante da fusão, em vez das bandas espectrais originais com inferior resolução espacial.

De acordo com Schneider (2003), algumas das abordagens de fusão de bandas de um único sensor para realce de resolução já estão implementadas em programas comerciais. Também os provedores de imagem já integraram produtos de fusão de resolução no catálogo de produtos-padrão.

Na avaliação dos resultados será discutido se o usuário, ao estudar uma área urbana de alta densidade, poderá decidir entre utilizar uma imagem de fusão com melhor resolução espacial ou a multiespectral, que preserva as propriedades originais.

### 5.2.2 Operação de Bandas Espectrais

A operação matemática entre bandas pode auxiliar a ressaltar determinadas características importantes para o processo de segmentação e classificação de tipos específicos de objetos na imagem. Operações simples de adição, subtração, multiplicação ou divisão entre duas ou mais bandas podem criar uma nova variável com maior poder de diferenciação dos objetos.

Um exemplo clássico de operação entre bandas é o Índice de Vegetação – NDVI: a vegetação sadia absorve o vermelho (banda 3) e reflete o infravermelho próximo (banda 4), diferentemente de outras classes de objetos. A razão entre elas ajuda a detectar e classificar mais facilmente estas áreas a partir do índice.

Fórmula:

$$NDVI = \left( \frac{\text{banda4} - \text{banda3}}{\text{banda4} + \text{banda3}} \right) a + b$$

onde a e b são escalares que padronizam a variável entre 0 e 255.

A utilização do NDVI neste estudo tem como objetivo a separação entre as classes de áreas ocupadas e não-ocupadas, como também a identificação das vegetações intra-urbanas. O processamento foi realizado através do algoritmo implementado no *software* Envi 3.6.

### 5.3 OBJETOS RELEVANTES AO PLANEJAMENTO URBANO E À MONITORAÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO IRREGULAR

Como já descrita na área de estudo, trata-se de uma região com grandes diversidades de superfícies e das mais variadas características de uso da terra. Como a intenção do estudo está justamente na discriminação das categorias de uso da terra e cobertura vegetal como instrumento de planejamento urbano, a área em estudo permite visualizar as formas de ocupação: a urbanizada com quadras, lotes, vias, edificação e as não-urbanizadas com vegetação ou de uso agrícola, corpos d'água, solo exposto.

Seguindo nesta direção, pode-se identificar dois grandes grupos de interesse: áreas ocupadas e não-ocupadas. As não-ocupadas, além da quantificação de sua área, há necessidade de identificar a ocupação e avaliar o nível de preservação da vegetação. Por ser área de proteção ambiental e conter mananciais importantes, estar próxima de rios, ter corpos de água, mata ciliar, é fundamental reconhecer essas características para compreender o estágio do processo de ocupação.

Partindo deste entendimento, a área não-ocupada contém importantes objetos para a compreensão do espaço urbano, como: a vegetação, seu grau de preservação e isolamento, as áreas de solo exposto ou vegetação rasteira e sua facilidade de ocupação, a existência de corpos d'água, corrente ou parados, preservados com matas ciliares ou próximos a casas e sujeitos a rejeitos de esgotamento sanitário não tratados ou ao alagamento.

Essas informações não só auxiliam o processo de planejamento e gestão do espaço territorial, como ajudam a dimensionar o crescimento, os impactos e as restrições ambientais necessárias.

Quando se trata de áreas onde já houve a ocupação e a intervenção humana no espaço territorial, sendo, do ponto de vista prático, irreversíveis, o interesse do ponto de vista do planejamento e ordenação territorial volta-se para a densidade das ocupações. Esses conceitos podem ser traduzidos no volume de edificações identificadas, na infra-estrutura viária e na impermeabilização do solo. Desta maneira, objetos como ruas e avenidas, edificações, vegetação, infra-estrutura urbana, terrenos vazios compõem o cenário que auxilia a compreensão do estágio de ocupação, assim como o planejador a tomar decisões.

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 o valor espectral; pode ser retangular, quadrada, meia água ou duas águas, variando na forma. Mas, do ponto de vista de gestão e planejamento urbano, mesmo com todas estas variações físicas, elas são consideradas simplesmente edificações. Assim como diferentes objetos de interesse para o planejamento podem possuir semelhantes respostas espectrais ou similaridade de forma geométrica, apesar de pertencerem a diferentes classes. Uma edificação com cobertura de laje e concreto pode possuir propriedades físicas que dificultem a diferenciação deste objeto a um trecho de uma rua de asfalto, que no ponto de vista prático são tratados como classes totalmente distintas. (figura 13)

Figura 13 – Exemplos de coberturas de edificações



Fonte: Copel - Foto aérea

Conceitos de objetos em áreas ocupadas:

**Edificações:** construções utilizadas como habitação, atividade comercial ou serviços públicos, independente do tipo de material encontrado em seu revestimento ou cobertura.

**Sistema Viário:** ruas, avenidas ou estradas, sejam elas pavimentadas com concreto, asfalto, anti-pó, ou sem pavimentação, podendo ser de areia, saibro ou terra.

**Vazios urbanos:** terrenos vazios em meio a edificações, situados em áreas que possuem sistema viário definido em seu entorno, pequenas áreas de vegetação intra-urbana.

Figura 14 – Exemplos de diferentes comportamentos de objetos de áreas ocupadas



Fonte: Copel - Foto aérea

Conceitos de objetos em áreas não-ocupadas:

**Corpo D'água:** rios, represas, lagos e áreas de inundação.

**Solo exposto:** áreas de solo nu, composto de areia, argila ou terra, que estão isoladas ou intercaladas com vegetação ou corpos d'água.

**Vegetação:** área de vegetação fechada ou mata ciliar, com pouca interferência humana ou degradadas, áreas de vegetação rasteira ou arbustos.

Figura 15 - Exemplos de diferentes comportamentos de objetos de área não-ocupadas



Fonte: Copel - Foto aérea

### 5.3.1 Criação de Níveis Hierárquicos de Informação

Os objetos de interesse ao planejamento e ordenamento territorial, identificados pela relevância, possuem, na prática, escalas diferenciadas que serão trabalhadas em níveis de segmentação distintos, mas sem perder as relações de hierarquia.

Em uma escala de super-objetos, a área de estudo desmembrará em duas partes: as áreas ocupadas e não-ocupadas. São consideradas Áreas Ocupadas aquelas com adensamento de edificações e um sistema viário básico que demonstre uma ocupação que já se consolidou nesse território. Áreas Não-ocupadas são aquelas predominantemente cobertas por vegetação, gramíneas, solo exposto, ou corpo d'água, com poucas ou nenhuma edificação, sem ramificações do sistema viário, não determinando uma consolidação de ocupação territorial.

À medida que novas classes de objetos são criadas, elas sempre pertencerão à área ocupada ou não-ocupada, em uma relação de hierarquia que auxiliará o processo de classificação.

Estas relações hierárquicas e a composição dos objetos são construídas através da compreensão do usuário, que pode utilizar conceitos de inteligência artificial na criação de uma rede semântica que facilite a organização do conhecimento.

Figura 16 - Exemplos de diferentes comportamentos de objetos de áreas não-ocupadas



Fonte: Amostra da imagem Quickbird

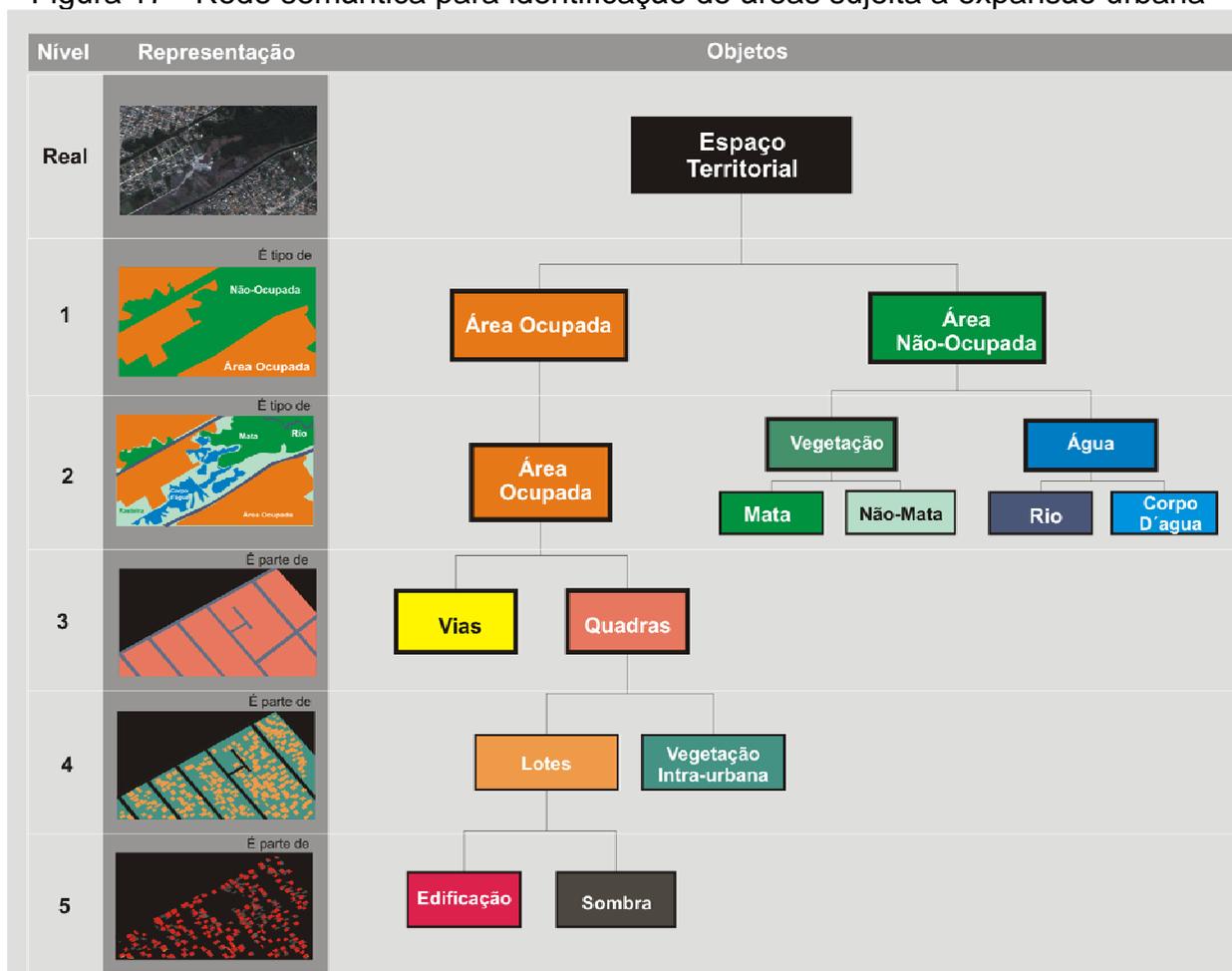
### 5.3.2 Rede Semântica

Como o principal objetivo foi o de desenvolver metodologia que auxilie a identificar as áreas de ocupação e seus objetos, a precisão na escala e a exatidão da localização territorial não será a preocupação principal. Por isto, a expansão urbana e da densidade das edificações das áreas ocupadas são as informações determinantes. Sobre esse entendimento foi criada a 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 17). Esta rede será fundamental para definir os níveis de segmentação e estruturar os grupos de objeto no processo de classificação.

Muitas das coisas julgadas impossíveis de serem feitas por uma máquina, sabe-se hoje que são factíveis, com aceitável precisão. Isto é possível, dado o processo de construção de sistemas baseados em conhecimento, modelados a partir da *expertise* de especialistas na área de interesse, extraindo os procedimentos, estratégias e regras práticas para solução de problemas. A representação do conhecimento é uma forma sistemática de estruturação e codificação do que se sabe sobre uma determinada aplicação. (IJURIS, 2005).

Utilizando conceitos semânticos como “isso é um tipo de”, que demonstra a relação existente entre um objeto mais específico e um mais geral, ou “isso é parte de”, que exhibe a relação de fração e todo, além de relações de sinônimos e conexos, o conhecimento pode ser representado de forma sistemática.

Figura 17 - Rede semântica para identificação de áreas sujeita a expansão urbana



Fonte: O Autor

Para identificar e classificar áreas de ocupação irregular de acordo com os objetos relevantes para a monitoração e planejamento urbano, foi montada uma rede semântica que auxiliará a formação das classes de cobertura vegetal e uso da terra, além de estabelecer uma relação de hierarquia para a segmentação. Através da representação do conhecimento para o processo de ocupação do uso da terra, a rede semântica estabelece as relações entre as classes de objetos de um mesmo nível, assim como as relações entre os níveis superiores e inferiores.

## 5.4 SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

### 5.4.1 Segmentação de Imagem Orientada a Objeto

Como já apontado anteriormente, a criação de objetos a partir da segmentação trouxe grandes avanços para o processo de classificação de imagens de satélite em relação à tradicional classificação *pixel-a-pixel*. 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 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 *pixel* e sim nos objetos da imagem e nas relações entre eles.

Neste estudo, será utilizado o processo de segmentação multi-resolução 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, valor do peso para cor ou forma e composição entre suavidade e compacidade. O processo de segmentação do *eCognition* permite ainda a utilização de informações de contexto, através de *layers* temáticos, como ruas e rios que determinam a segmentação destes objetos.

### 5.4.2 Crescimento de Regiões

O procedimento para a segmentação de imagem utilizado neste estudo é descrito como uma técnica de agrupamento ou crescimento de região.

O processo inicia com cada *pixel* sendo um objeto da imagem. Em cada etapa, um par de objetos na imagem é fundido em um objeto maior. A decisão de fusão é baseada nos critérios locais de homogeneidade, descrevendo a similaridade de objetos adjacentes da imagem (BAATZ 2001).

A decisão da fusão de sub-objetos adjacentes similares leva em consideração a heterogeneidade interna do objeto. A heterogeneidade resulta da diferença entre o produto do número de elementos e a variabilidade interna da cor do objeto fundido, e

a soma do produto do número de elementos e a variação da cor para os dois objetos adjacentes sujeitos à fusão. Os objetos serão agrupados caso o valor desta diferença não ultrapasse o parâmetro de escala atribuído arbitrariamente para a classe de objeto de um mesmo nível.

O cálculo da heterogeneidade interna é baseado na variação de cor dos objetos para os *layers* espectrais, utilizando como medida de variação o desvio padrão e o número de *pixel* que o objeto possui. Além das propriedades espectrais, a formação de objetos permite a inclusão de parâmetros de forma no processo de segmentação, podendo o cálculo da heterogeneidade ser ponderado por atributos de compacidade e suavidade representados matematicamente pelo perímetro do objeto e o perímetro do retângulo limite do objeto.

#### 5.4.3 Cálculo de Heterogeneidade Interna das Regiões

Para o cálculo de heterogeneidade é preciso definir quatro parâmetros: escala, peso de cada banda espectral, peso para o atributo cor e relação entre compacidade e suavidade (forma).

Fórmula geral:

$$f = w_{cor} \Delta h_{cor} + w_{forma} \Delta h_{forma}$$

, onde  $w \in [0,1]$  e  $w_{cor} + w_{forma} = 1$

Atributos de cor:

$$\Delta h_{cor} = \sum_c w_{cor} \left( n_{fusão} \cdot \sigma_{c,fusão} - (n_{obj1} \cdot \sigma_{c,obj1} + n_{obj2} \cdot \sigma_{c,obj2}) \right)$$

, onde  $n$  = número de pixel do objeto e  $\sigma$  é o desvio padrão da cor  $c$

Atributos de forma:

$$\Delta h_{forma} = w_{compacidade} \Delta h_{compacidade} + w_{suavidade} \Delta h_{suavidade}$$

, onde  $w \in [0,1]$  e  $w_{comp.} + w_{suav.} = 1$

$$\Delta h_{\text{compacidade}} = n_{\text{agrupado}} \left( \frac{l_{\text{agrupado}}}{b_{\text{agrupado}}} \right) - n_{\text{obj1}} \left( \frac{l_{\text{obj1}}}{b_{\text{obj1}}} \right) + n_{\text{obj2}} \left( \frac{l_{\text{obj2}}}{b_{\text{obj2}}} \right)$$

$$\Delta h_{\text{suavidade}} = n_{\text{agrupado}} \left( \frac{l_{\text{agrupado}}}{\sqrt{n_{\text{agrupado}}}} \right) - n_{\text{obj1}} \left( \frac{l_{\text{obj1}}}{\sqrt{n_{\text{obj1}}}} \right) + n_{\text{obj2}} \left( \frac{l_{\text{obj2}}}{\sqrt{n_{\text{obj1}}}} \right)$$

onde  $n$  é igual ao número de *pixels*,  $l$  é o perímetro e  $b$  é o perímetro do retângulo ajustado ao objeto.

#### 5.4.4 Segmentação Multi-resolução

A utilização da segmentação multi-resolução vem da necessidade de se trabalhar com diferentes escalas de objetos como definido anteriormente na estruturação da rede semântica. Para isso, inicia-se a segmentação focando os objetos menores, aumentando progressivamente a escala, até que a mesma satisfaça todos os níveis de objetos definidos na semântica, em um processo chamado de segmentação multi-resolução “de baixo para cima” (*bottom-up*). Esse processo possibilita a identificação e classificação dos objetos de escalas significativamente diferentes sem perder a relação de hierarquia existente.

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 segmentos no nível mais alto.

Esse processo de segmentação criará relações hierárquicas entre os objetos de diferentes níveis, onde o objeto imediatamente acima e o imediatamente abaixo serão chamados de: super-objeto e sub-objeto, respectivamente.

#### 5.4.5 Segmentação por Contexto

A qualidade da segmentação é determinante para o processo de classificação uma vez que ela é responsável pela criação dos objetos. Existem três aspectos fundamentais para a qualidade da segmentação que podem ser trabalhados a partir do algoritmo do *E-cogniton*, que são:

**Seleção dos *layers* e pesos:** o algoritmo de segmentação utiliza o desvio padrão dos *pixels* do objeto em cada *layer* para decidir sobre seu agrupamento. A seleção de *layers*, cujo desvio padrão interno do objeto é pequeno, mas a diferença na média em relação ao objeto vizinho é grande, 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 de formas mais regulares. Quando a segmentação é aplicada em áreas urbanas, sua aplicação 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.

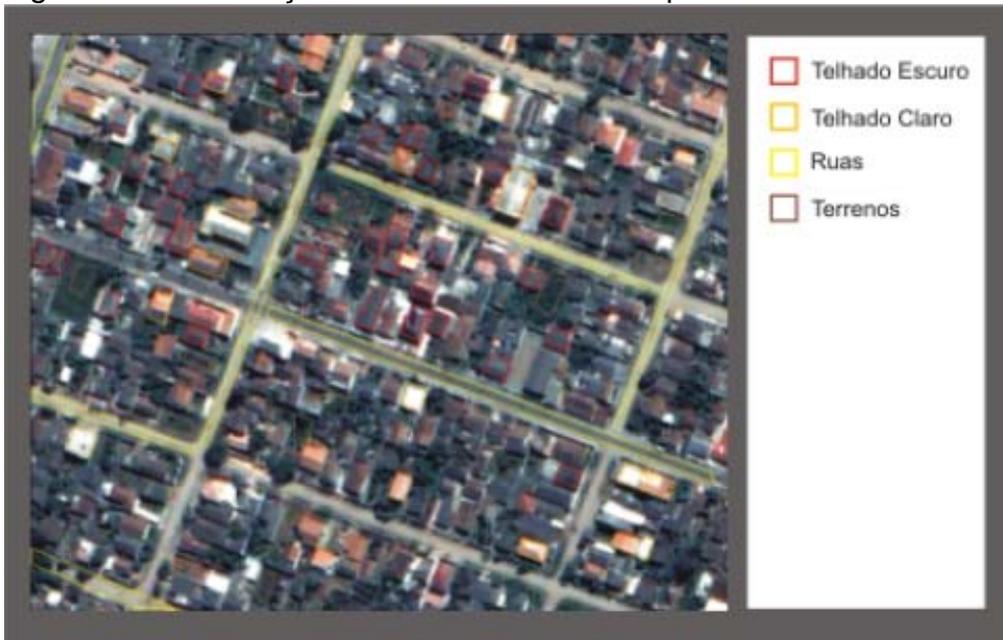
Em área cuja direção principal das ruas e casas na imagem não se aproxime de 0° ou múltiplo de 90° graus, seu potencial de utilização será prejudicado.

**Escolha da escala:** além do fator de escala ser utilizado no algoritmo de segmentação para decidir quando se interrompe o processo de agrupamento dos *pixels* para que se consolide o objeto, ela é fundamental para que o mesmo possua relevância prática de acordo com os níveis convencionados na semântica. Uma má escolha do parâmetro de escala resulta em objetos excessivamente fracionados ou a fusão de objetos de diferentes classes.

Para auxiliar a seleção dos parâmetros de segmentação, foram utilizados *layers* temáticos, com polígonos restituídos a partir do *Arcview*, inseridos como informações de contexto.

A classe de sub-objetos de menor escala é a das edificações; por isso foram selecionadas duas áreas ocupadas, uma com estágio de urbanização mais avançado (figura abaixo) e outra com ocupações recentes. Parte dos objetos destas áreas foi restituída, identificando edificações com telhado escuro e claro, ruas e terrenos vazios, para que, ao se conhecer suas propriedades, fosse possível selecionar os melhores parâmetros de segmentação.

Figura 18 – Restituição de recorte da área ocupada urbanizada

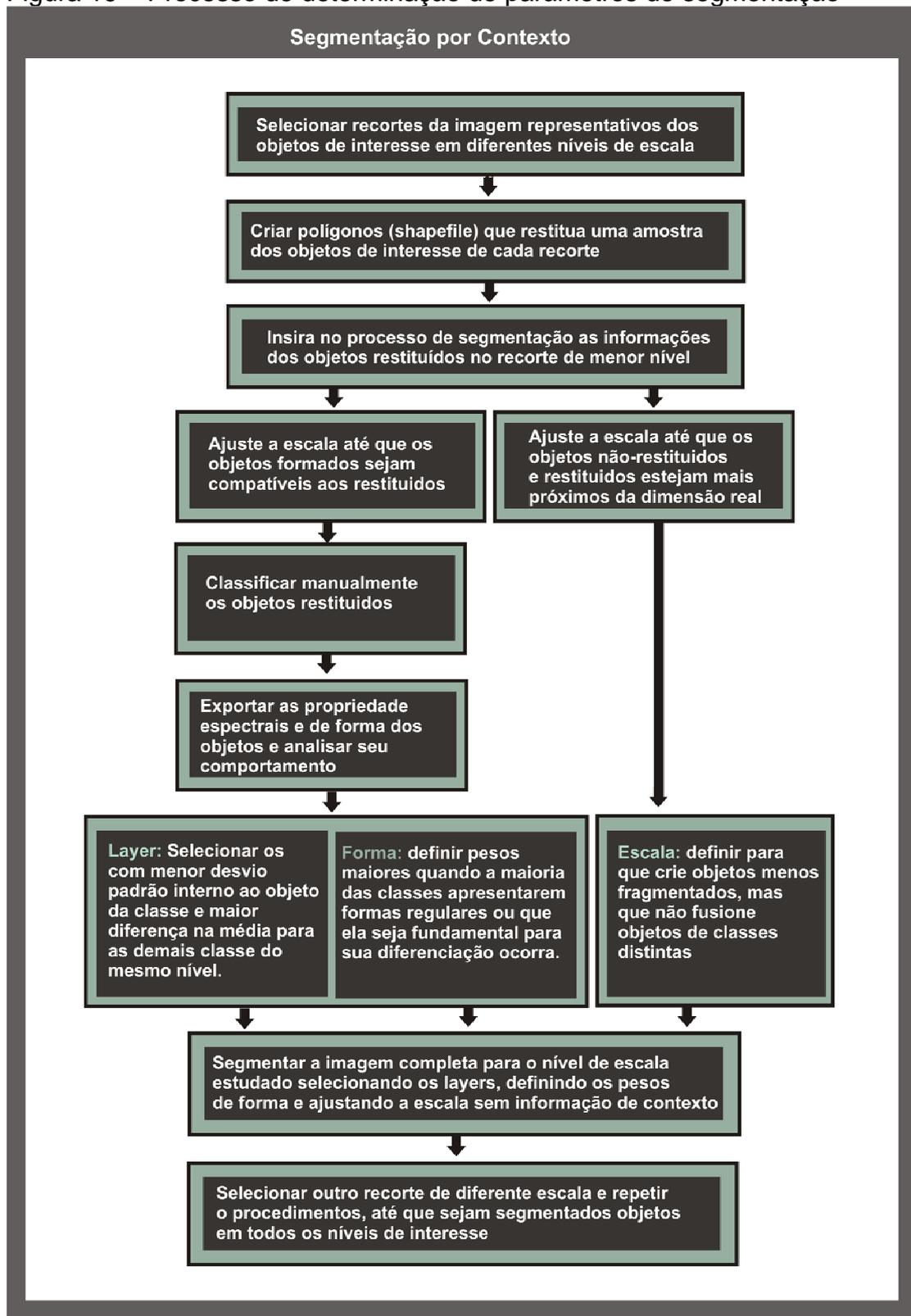


Fonte: ArcView – Restituição da Fusão

A partir da avaliação do comportamento espectral para cada um dos *layers* e das propriedades de forma destes objetos, foram determinados 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.

A figura 19 propõe um processo de determinação dos parâmetros de segmentação para a otimização e melhoria da qualidade dos objetos formados.

Figura 19 – Processo de determinação de parâmetros de segmentação



Fonte: O Autor

## 5.5 DESCRITORES

### 5.5.1 Tipos de Descritores

A utilização de metodologias de segmentação orientadas a objetos elevou significativamente a quantidade de variáveis disponíveis para a discriminação e classificação de imagem. O grupo de descritores mais utilizados refere-se à cor (espectrais), forma, textura, contexto, relação de hierarquia e vizinhança, a partir dos quais é possível criar uma série de variáveis e suas inter-relações, gerando uma infinidade de possibilidades de arranjos discriminatórios.

De acordo com Definiens (2004), os atributos do objeto podem ser agrupados em espectral, textura, forma, hierarquia e temático, que se subdividem em diversas variáveis. Os espectrais, por exemplo, fornecem informações dos valores digitais das bandas e dos relacionamentos espectrais de vizinhança; os de forma se subdividem em valores de área, perímetro, largura, simetria, densidade e direção principal, entre outros; os de textura são baseados nos padrões e combinações dos valores espectrais dos *pixels* contidos no objeto, e assim por diante.

Ao mesmo tempo em que a segmentação em objetos possibilita uma quantidade abundante de atributos e variáveis para a classificação, ela gera a dúvida de como chegar ao melhor tipo de atributo e suas respectivas variáveis para cada problema específico.

Segundo Pinho (2005), os descritores são utilizados na caracterização das classes e equivalem a relações matemáticas capazes de exprimir os atributos dos objetos.

Exemplos de descritores e variáveis existentes:

**Espectral:** brilho, média, desvio padrão, razão, *pixel* máximo e mínimo, diferença média do vizinho mais claro e mais escuro, diferença entre bandas, entre outros.

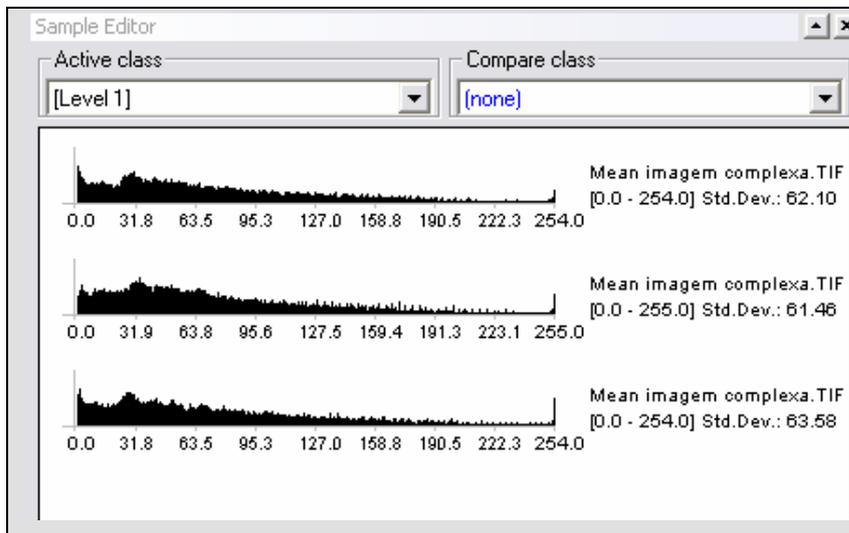
**Forma:** área, perímetro, coeficiente de compacidade e suavização, distância do centro de gravidade, razão entre o maior e o menor eixo da elipse, direção principal, assimetria, entre outros.

**Textura:** homogeneidade, contraste, correlação, média e desvio padrão nas direções 0°, 45°, 90° e 135°, entre outros.

Relacionamento entre objetos e contexto: distância, existência, número, relação com o vizinho por borda ou área, relação com sub-objetos ou super-objetos, entre outros.

Como se percebe na figura abaixo, a classificação de objetos apenas através de propriedades espectrais para áreas urbanas se torna muito difícil, devido à interposição de valores espectrais de objetos de classes diferentes.

Figura 20 – Distribuição dos valores espectrais nas bandas do visível para os objetos da área estudada



Fonte: eCognition

Para chegar aos descritores adequados de maneira lógica e estruturada, que discrimine objetos definidos pelo estudo, deve-se avaliar as interações e combinações de variáveis, evitando, assim, possíveis erros advindos de análises variável-a-variável via “tentativa e erro”. A partir de uma análise exploratória de dados será proposto um método para facilitar a seleção dos descritores e variáveis para os estudos de classificação orientados a objeto.

### 5.5.2 Descritores Avaliados

**Espectrais:** Referem-se ao conjunto de bandas espectrais disponíveis para a imagem ou resultado de operações entre bandas que contribuam para a discriminação de objetos através de suas propriedades de cor.

Neste estudo, além das quatro bandas espectrais e a pancromática disponíveis para as imagens *QuickBird*, foram realizadas operações entre as bandas gerando um total de dez camadas, sendo quatro resultantes da fusão da pancromática com a multiespectral, e uma camada referente ao índice de vegetação NDVI. O valor digital das faixas espectrais das bandas utilizadas são medidas adimensionais que podem variar de 0 a 255.

Os objetos podem ser avaliados por medidas que levem em consideração suas propriedades de locação e variabilidade para cada camada utilizada, ou sua comparação com os objetos vizinhos. Foram avaliados: média, desvio padrão, razão, máximo, mínimo, brilho, máxima diferença, diferença média do objeto vizinho para cada *layer* existente.

**Forma:** refere-se a propriedades geométricas dos objetos; representam um grande potencial discriminatório em imagens de alta resolução em cenários urbanos. Também auxiliam a identificação de ruas e rios em escalas maiores, devido a sua propriedade longelínea.

Como a segmentação é definida pela a escala, fatores como área, comprimento, largura ou perímetro, isoladamente, não apresentam grandes contribuições para a discriminação de objetos; mas, as operações entre estas variáveis trazem informações com maior poder de separabilidade dos objetos como: densidade, assimetria, compacidade, ajuste da menor elipse ou retângulo.

**Textura:** traduz conceitos que formam padrões visuais que se repetem na imagem, dando a impressão de rugosidade, suavidade ou regularidade da imagem.

Como os objetos formados pela segmentação são frutos da união de sub-objeto, tendo o *pixel* como a menor unidade coletada, é possível estabelecer

medidas de textura capazes de auxiliar a discriminação dos objetos. Estas medidas podem levar em consideração as variações de dois tipos de informações, já apresentadas acima, a de cor (espectrais) ou a forma dos sub-objetos. Foram avaliadas variáveis que buscam os conceitos de homogeneidade, contraste, média, etc, a partir da Matriz de Co-ocorrência de Nível de Cinza (GLCM).

#### GLCM - Matriz de Co-ocorrência de Nível de Cinza

Matriz de Co-ocorrência de Nível de Cinza (GLCM) é a tabulação da frequência de ocorrência de diferentes combinações de níveis de cinza na imagem. Existe uma diferente matriz de co-ocorrência para cada relacionamento espacial. A matriz pode ser calculada para as direções ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  e todas).

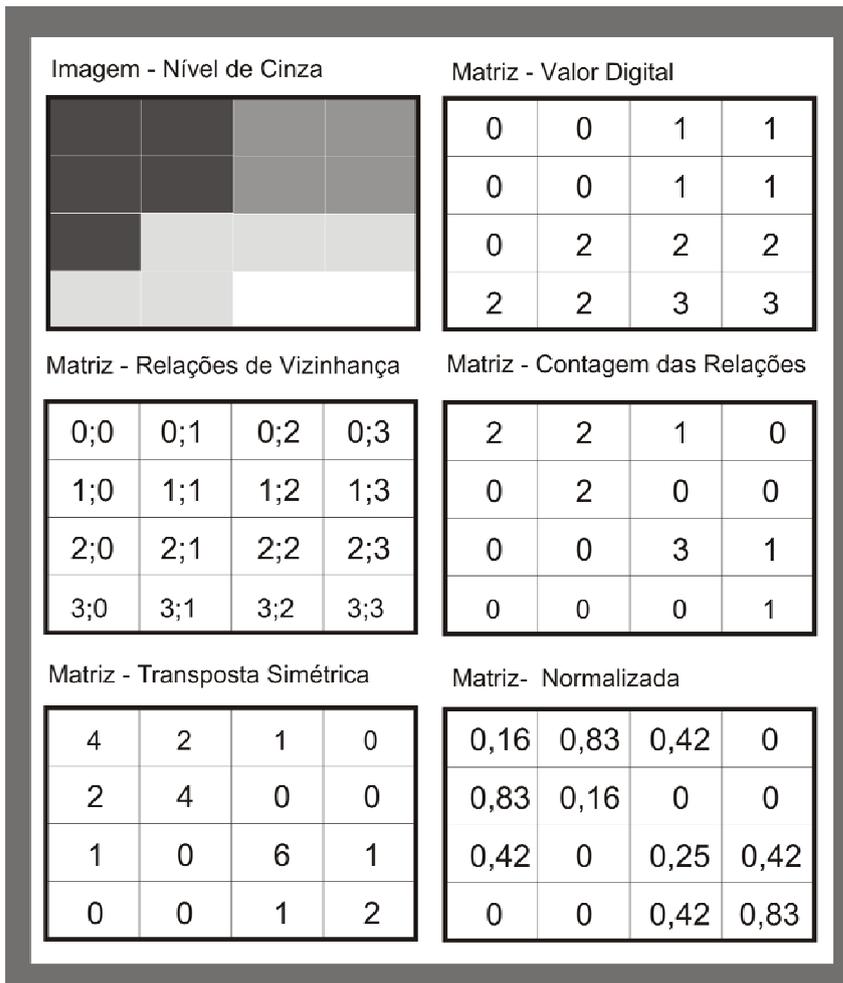
#### **Etapas para o cálculo da GLCM**

1. Criar a matriz de relações
2. Decidir a relação espacial entre o *pixel* de referência e seu vizinho
3. Contar o número de ocorrências e preencher a matriz
4. Adicionar a sua transposta - matriz simétrica
5. Normalizar a matriz

O GLCM usado no exemplo a seguir será o de “segunda ordem”, calculado considerando a relação de vizinhança entre dois *pixels* na imagem original na direção  $90^\circ$ , que avalia cada *pixel* de referência em relação ao seu vizinho da direita. As combinações possíveis de níveis de cinza e suas posições na matriz para a imagem teste podem ser vistas abaixo.

Deve-se então analisar na imagem original quantas vezes ocorreu cada uma das combinações. No quadro abaixo é possível visualizar a quantidade de combinações, dois a dois para o relacionamento entre o pixel de referência e o seu vizinho a direita.

Figura 21 – Exemplo de criação da matriz de textura - GLCM



Fonte: Mryka Hall-Beyer – Exemplo retirado de <<http://www.fp.ucalgary.ca/mhallbey/>>

Após contabilizar as combinações de relações de vizinhança possíveis é realizado um processo de transposição da matriz, tornando-a simetria e pela fórmula abaixo normalizada.

Cálculo de normalização para o GLCM

Fórmula:

$$P_{ij} = \frac{V_{ij}}{\sum_{ij=0}^{n-1} V_{ij}}$$

onde:

- i é o número de linhas e j número de colunas

- $P_{i,j}$  é o valor normalizado na célula  $i,j$
- $V_{i,j}$  é o valor da célula  $i,j$  na matriz transposta
- $n$  é o número de linhas ou colunas (quadrada)

Com a matriz GLMC é possível calcular as variáveis que avaliam o comportamento da textura como, homogeneidade, contraste, entropia, correlação, média entre outras.

**Relacionais e Hierárquicos:** funções que comparam um objeto com outro em seu entorno, analisando as relações de vizinhança. Também pode ser utilizado para verificar a relação de hierarquia com o seu super ou sub-objetos.

A combinação de variáveis de posição com a relação de vizinhança pode trazer um grande avanço na classificação. Por exemplo, a identificação da posição do objeto em relação à sombra poderia velar sua elevação aproximada, já que as imagens captadas por satélites podem ser consideradas, na prática, como tomadas num mesmo espaço de tempo; logo, as sombras estarão sempre de um mesmo lado do objeto com elevação. Esta componente poderia auxiliar a classificação da edificação.

Medidas como distância média, máxima ou mínima de uma classe de objeto, pertence ou não-pertence a uma classe de super-objetos, contém ou não-contém sub-objetos, fazem parte do grupo de variáveis que podem demonstrar relacionamento ou hierarquia entre as variáveis.

**Temáticos:** A utilização de *layers* temáticos, com a restituição de rios ou ruas que determinem a formação destes objetos na segmentação e tem sua classificação já dada pela informação contida no *layer*.

Neste trabalho, o *layer* temático só foi utilizado para garantir que os objetos de interesse fossem segmentados exatamente como a cognição humana os entendem e assim entender suas propriedades. Para isso, foram utilizadas três regiões da imagem, que representavam respectivamente uma área não-ocupada e duas áreas ocupadas, mas em diferentes estágios de urbanização.

A partir do *software ArcView*, foram restituídas amostras de objetos de interesse na imagem, com apoio de fotos aéreas transformadas em arquivos *shapfile*, que foram utilizadas como *layer* na segmentação.

Esse teste possibilitou a compreensão das propriedades dos objetos, assim como estabeleceu um parâmetro de escala aproximado para a formação de objetos mais próximos da realidade e utilização prática.

## 5.6 SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

### 5.6.1 Coleta de Amostras dos Objetos

Para cada um dos níveis de segmentação foram coletadas amostras de objetos representativos numérica e espacialmente na imagem. Essas amostras foram classificadas manualmente para se extrair as medidas de cada um dos descritores relacionados acima, permitindo uma compreensão do comportamento das classes de objetos criados pela segmentação.

### 5.6.2 Seleção das Variáveis

Para distinção de classes de objetos através das funções de lógica *Fuzzy* é necessário conhecer as diferenças do comportamento de cada objeto em relação aos descritores. Por esta razão, é preciso analisar a distribuição dos dados para as variáveis estudadas; para isso, um conjunto de medidas estatísticas que trazem informações sobre locação, variabilidade, assimetria, valores extremos foram analisadas. Essas informações são fundamentais para determinar as variáveis utilizadas para a discriminação dos objetos e os parâmetros que serão definidos para o início do processo de classificação.

a) Conceitos básicos das medidas utilizadas

**Localção ou tendência central** – medidas para posicionar o centro da distribuição dos dados; principais medidas: média, mediana, moda, quartis;

**Assimetria** – medidas relacionadas à forma geométrica da distribuição dos dados; principais medidas: simetria e curtose;

**Variabilidade** – medidas de variação que refletem a dispersão dos dados e torno do centro da distribuição; principais medidas: variância, desvio padrão, amplitude;

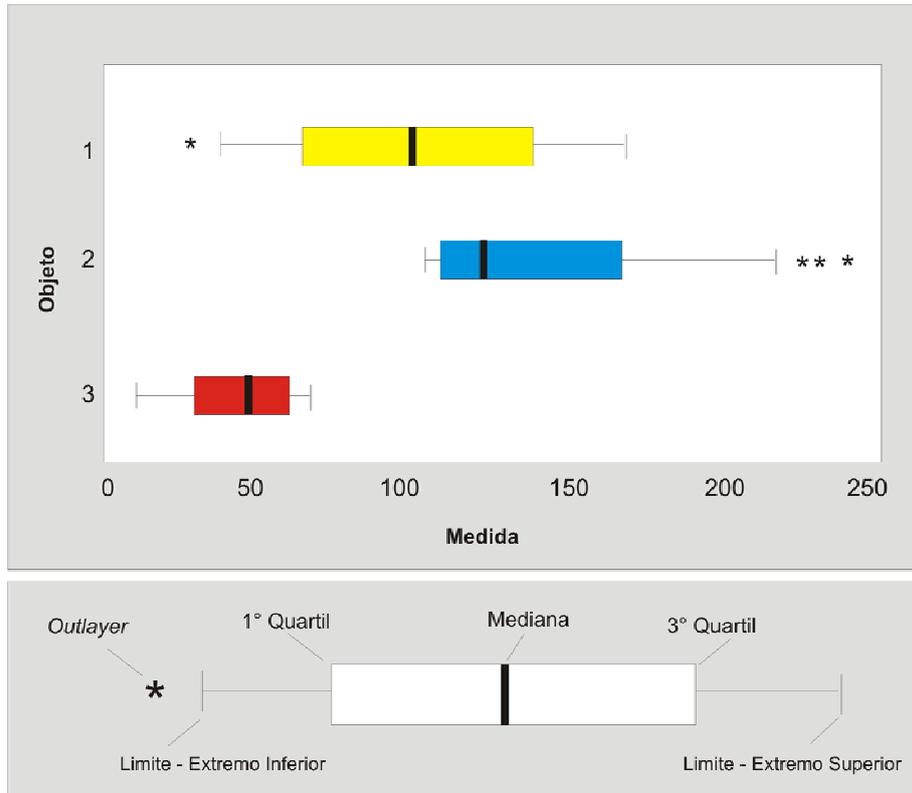
**Dados discrepantes** - medidas que apontam valores que se distanciam da curva da distribuição; principais medidas: *outlayers*, valores extremos

b) Utilização do Gráfico *Box-plot* no auxílio a seleção de variáveis

O gráfico 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*), quando for detectada a sua presença. A representação simultânea de várias características permite a visualização das propriedades de localção, variabilidade e assimetria e quando aplicada com múltiplas categorias possibilita a comparabilidade entre a distribuição de diferentes objetos. (Figura 22)

O limite superior e inferior, que compreende a distância da extremidade do retângulo até a menor observação encontrada na faixa de 0 a  $1,5(Q3 - Q1)$ , é que determina quando uma observação é considerada *outlayer*.

Figura 22 – Ilustração do gráfico Box-plot



Fonte: O Autor

O exemplo da figura acima mostra que os objetos 2 e 3 são facilmente separados pela medida apresentada; já os objetos 1 e 3 possuem aproximadamente 25% de confusão, número de objetos abaixo do 1.º quartil da classe 1. Entre os objetos 1 e 2, mais de 50% dos objetos seriam confundidos se a medida fosse utilizada.

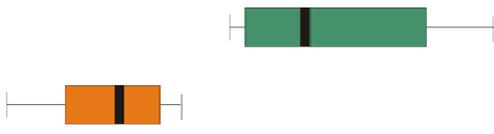
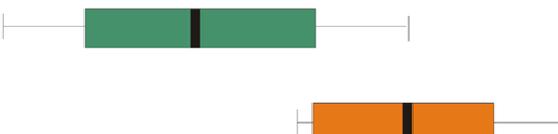
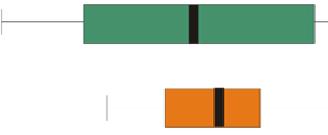
### c) Cálculo do Grau de Discriminação

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. (Figura 23)

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 alguma

combinação de objetos dois-a-dois, diferenças significativas na distribuição dos dados, capazes de contribuir para a discriminação das classes de objetos.

Figura 23 – Tipo de relacionamento das classes de objeto e o grau de discriminação

	Tipo de relacionamento	Propriedades	Decisão
A B		$A \cap B = \emptyset$	Grau de Discriminação igual a 1 <b>Variável Selecionada</b>
A B		$A \cap B \neq \emptyset$	Se o Grau de Discriminação for a maior ou igual a 0,70 <b>Variável Pré-Selecionada</b>
A B		$A \cap B = A$	Grau de Discriminação igual a zero <b>Variável Excluída</b>

Fonte: O Autor

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. A figura acima ilustra os tipos de relacionamento possíveis entre a distribuição dos dados das classes de objetos.

Quando não houver interseção entre as duas classes, o grau de discriminação desta variável será igual 1; já quando houver interseção, mas uma classe não estiver contida na variação da outra, será preciso calcular o grau de discriminação através do 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 de A em relação ao conjunto de dados do 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:

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

onde ordem, em um conjunto de dados ordenados de forma crescente, representa a posição percentual de um valor em relação ao todo.

\*Nota: Para reduzir o efeito dos valores extremos, ao invés 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 através da construção de gráficos *Box-Plots*. Foram ainda, analisadas as correlações duas-a-duas, para reduzir a seleção de variáveis redundantes para o processo de classificação.

As informações de quartil e percentil também auxiliaram a escolha das funções *Fuzzy* e das definições dos parâmetros que determinaram o grau de pertinência de um objeto a sua classe.

## 5.7 CLASSIFICAÇÃO

A classificação é o processo de nomear os objetos formados na segmentação, através de 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 categoria ou classe.

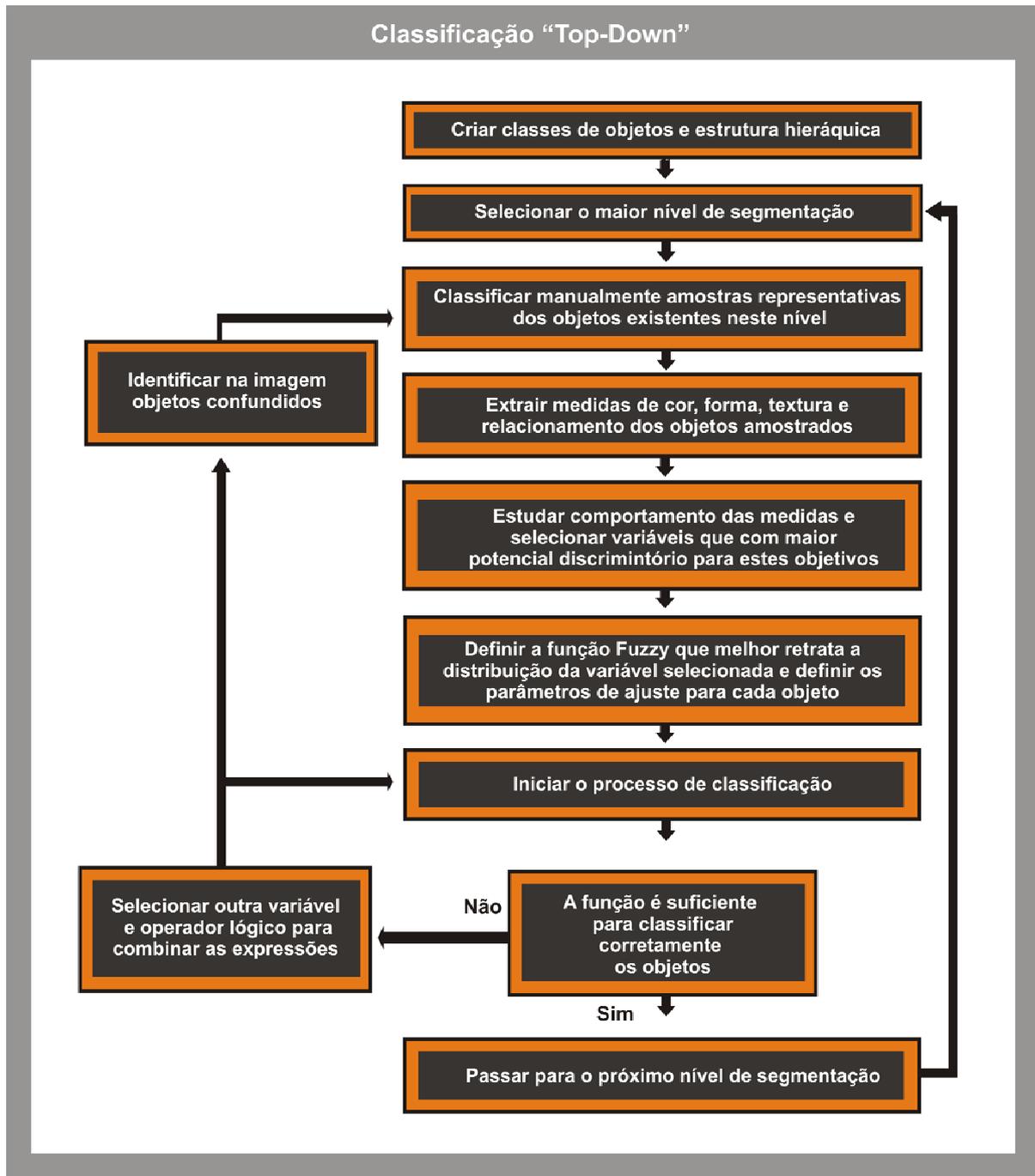
Segundo Pavuluri (2003), há inúmeras organizações no mundo trabalhando com classificação de imagem de alta resolução, usando técnicas existentes ou desenvolvendo novos métodos, mas como os dados de sensoriamento remoto têm-se tornado cada vez mais complexos, há necessidade de que estes métodos utilizem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

Por esta razão, a classificação passa necessariamente pelo estudo do comportamento estatístico e físico dos descritores para cada um dos objetos estabelecidos na rede semântica de cada realidade estudada, não existindo uma fórmula pronta robusta o suficiente para se adaptar a qualquer cenário urbano, tipo de satélite e hora e dia de captura da imagem.

A partir deste estudo, realizado com o comportamento dos descritores para cada objeto, foi mais fácil identificar a melhor combinação de atributos que contribuem com a discriminação dos objetos.

A figura 24 propõe uma seqüência de etapas para otimizar o processo de classificação e melhorar o acerto na discriminação dos objetos.

Figura 24 - Fluxograma das etapas para a classificação hierárquica (*Top-Down*)



Fonte: O Autor

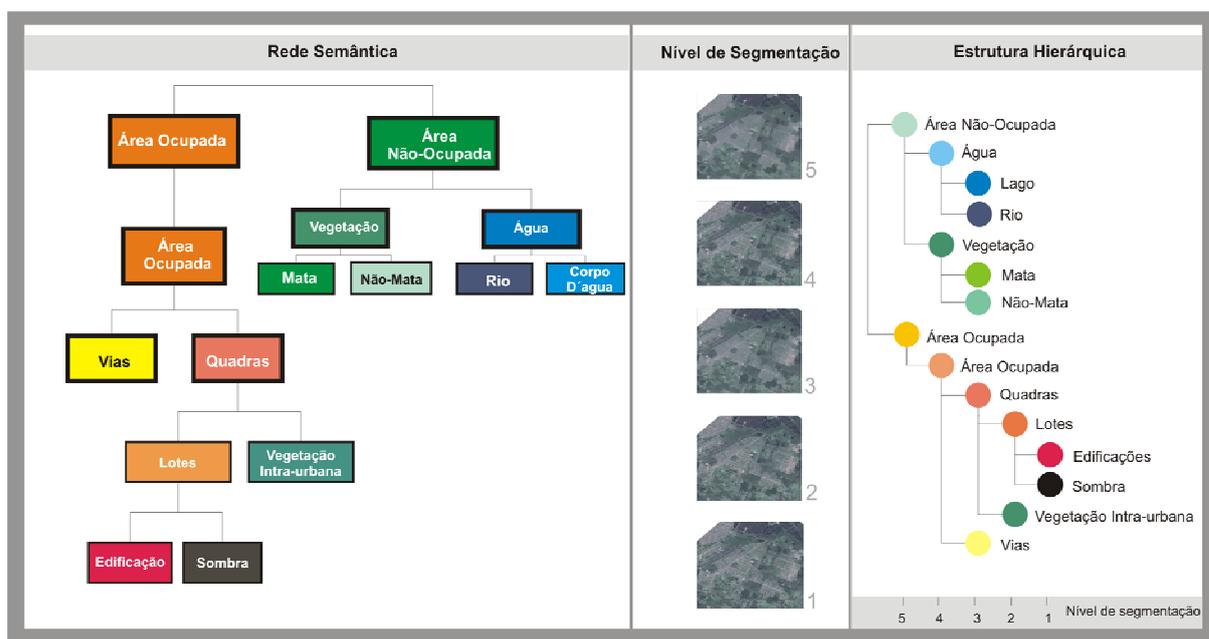
A segmentação multi-resolução cria primeiramente o menor objeto e, nas etapas subseqüentes, agrupa objetos em regiões maiores, até atingir o nível do objeto de maior escala; isso permite obter objetos concêntricos. Já a classificação hierárquica inicia-se com a determinação do maior nível de objeto na hierarquia

(super-objeto); isso permite criar inter-relação entre os níveis que auxiliam o processo de 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 super-objeto específico.

No caso deste estudo, os super-objetos classificados como áreas não-ocupadas em um nível abaixo tiveram seus sub-objetos classificados como água (rio ou corpo d'água) ou vegetação (mata ou rasteira), diferentemente dos sub-objetos da classe área ocupada que se constituíram em quadras e vias nos níveis nas escalas imediatamente inferior. Isto faz com que o conhecimento do pesquisador, aplicado na rede semântica, seja implementado na classificação hierárquica.

### 5.7.1 Criação da Estrutura Hierárquica

Figura 25 – Relação entre rede semântica, escala de segmentação e classificação hierárquica



Fonte: O Autor

A estrutura hierárquica da classificação é simplesmente a operacionalização da rede semântica, através de conceitos de conjunto da lógica booleana. Um objeto em um nível de escala menor só poderá ser classificado como um determinado

objeto se, e somente se, a classe a que ele pertencia no nível de escala superior é condizente com as relações criadas na rede semântica.

### 5.7.2 Lógica *Fuzzy*

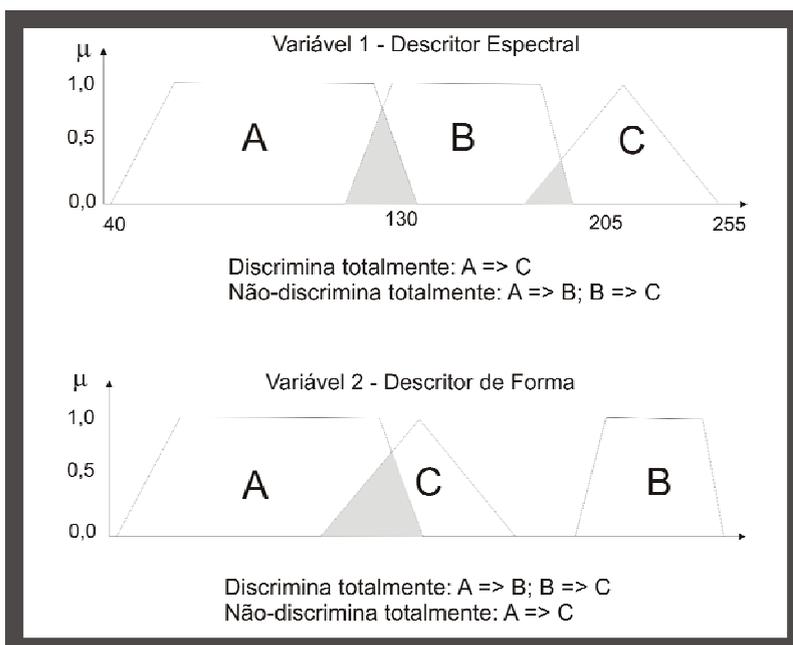
A partir do conhecimento do comportamento dos descritores para as classes e da hierarquia dos objetos criada na rede semântica, é necessário elaborar modelos e regras de decisão capazes de fazer a distinção, com a menor incerteza possível, da melhor classe a que cada objeto pertence na prática.

Se a classificação utilizasse a lógica booleana, a resposta seria binária (0 ou 1), e um objeto só poderia assumir duas categorias: pertence ou não-pertence a determinada classe. Como nem sempre é possível criar um número de classes compatível com as possibilidades existentes no mundo real, definir assertivamente se um objeto pertence ou não a uma determinada classe é uma tarefa difícil até para os mais experientes conhecedores do assunto. Como um especialista classificaria um campo de futebol, segundo a rede semântica apresentada?

Em algumas situações práticas, os níveis de incertezas são grandes e não se pode determinar de maneira excludente e científica que um objeto pertence a uma determinada classe. Por haver um nível de subjetividade elevado, os fundamentos da Lógica *Fuzzy* auxiliam o processo de tomada de decisão, através da operacionalização de um conjunto de regras que indiquem em qual classe um determinado objeto seria classificado com maior grau de acerto.

A figura 26 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, que se diferenciam entre si. Já a variável 2 discrimina a variável B de A e C, mas esta medida confunde grande parte dos objetos de se 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 cada classe de objetos.

Figura 26 – Exemplo de relação de conjuntos *Fuzzy*



Fonte: O Autor

### 5.7.3 Tipos de Funções e Usos

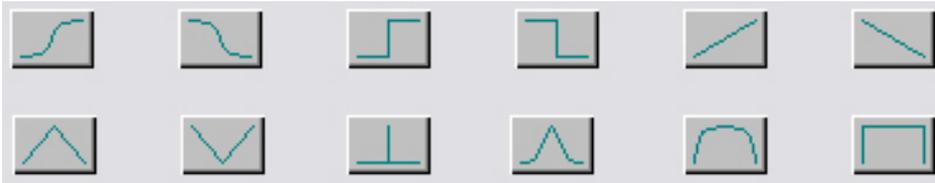
A definição da função de pertinência a ser utilizada depende da distribuição da variável selecionada para aquela classe de objetos. No exemplo da figura 29, para discriminar B dos demais objetos pela variável 2, uma função do tipo maior que seria suficiente para fazer esta separação.

Existem infinitas possibilidades de se criar uma função de pertinência *Fuzzy* que melhor se adapte a classe de objeto desejada. Os tipos mais comuns de funções, que estão implementados no *software E-congition* são as representadas na figura abaixo.

Primeira linha - funções: maior que, menor que, maior que (Boleana), menor que (Boleana), maior que (linear), menor que (linear).

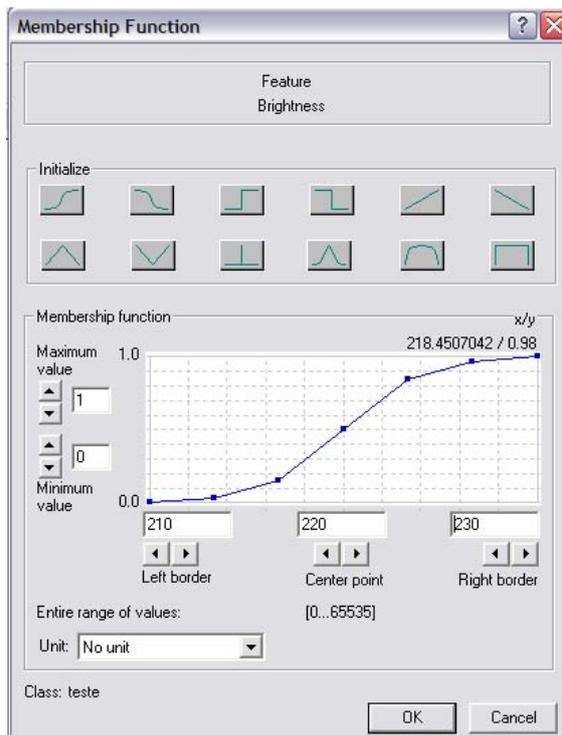
Segunda linha - funções: Amplitude linear “v”, Amplitude linear “v invertido”, apenas um membro, aproximadamente Normal, em volta da amplitude e amplitude (Boleana).

Figura 27 – Tipos de funções *Fuzzy*



Fonte: *E-cogniton*

Figura 28 – Exemplo de aplicação de funções *Fuzzy*



Fonte: *E-cogniton*

#### 5.7.4 Graus de Pertinência

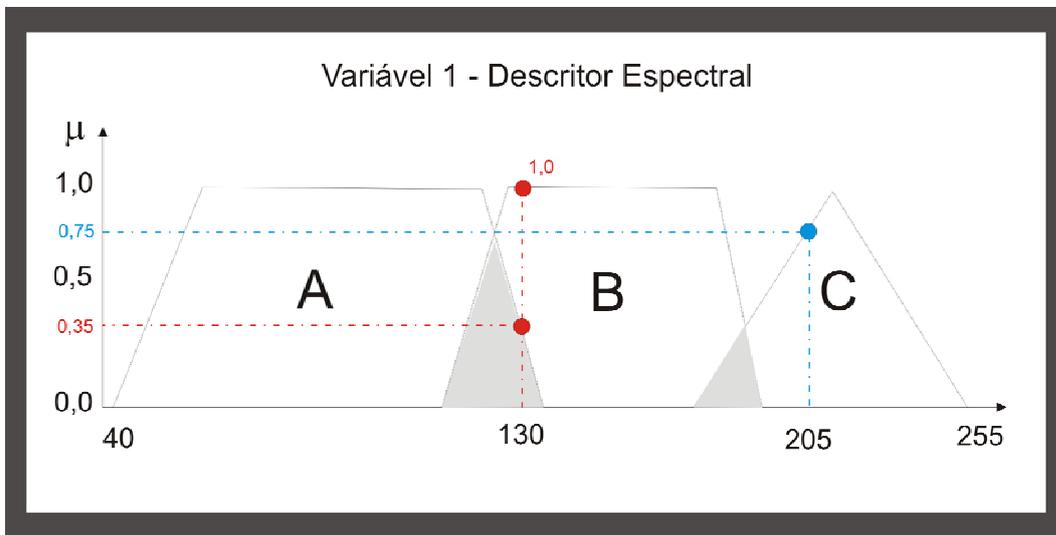
A partir das funções da *Fuzzy* é possível estabelecer o grau de pertinência de cada objeto a um conjunto de classes estipuladas. Variando de 0 a 1, onde zero representa a ausência de associação a classe e 1 a certeza de pertencer a classe, a Lógica *Fuzzy* permite que um objeto tenha grau de pertinência superior a zero em duas ou mais classe.

Objetos com grau de pertinência baixo ou muito próximo de outra classe possuem maiores riscos de erro de classificação, aumentando a necessidade de

encontrar descritores e parâmetros que melhorem a distinção das classes e que se elevem os índices de acerto.

No exemplo utilizado anteriormente, caso um objeto possua um valor igual a 130 para a variável 1, esse objeto poderá pertencer a duas classes (A ou B), mas com graus de pertinência diferenciados. Teria segundo as funções definidas para A e B, graus de pertinência igual a 0,35 para a classe A e 1,0 para a classe B, classificando-o na classe B pelo seu maior grau de pertinência, o que representa um menor grau de incerteza de aquele objeto pertencer àquela classe (Figura 29).

Figura 29– Exemplo de relação de graus de pertinência.



Fonte: O Autor

Já um objeto com valor igual a 205 só teria grau de pertinência associado à classe C e seria classificado como tal.

#### 5.7.5 Operadores Lógicos

Quando é necessária a utilização de duas ou mais funções para caracterizar uma classe de objeto, usa-se um operador lógico que combine os graus de pertinência, resultando num único valor. Os tipos de operadores utilizados são:

**E** (mínimo) – Este operador é adequado quando se deseja que determinada classe de objeto possua o comportamento especificado em todas as funções estabelecidas; caso contrário, como o operador retorna o menor grau de pertinência entre as funções, este objeto será provavelmente classificado em outra classe.

**Ou** (Máximo) – Quando a intenção é que a classe de objeto possua pelo menos um dos comportamentos modelados nas funções de pertinência, este operador deve ser utilizado. Ele resulta no maior valor de pertinência entre as funções.

**Média** (aritmética ou geométrica) – Ao contrário dos outros operadores que selecionam um grau de pertinência entre um conjunto de funções, este operador faz uma ponderação entre os graus de pertinência do objeto, através da média aritmética ou geométrica dos valores de duas ou mais funções.

Existe a possibilidade de se utilizar mais que um operador quando necessário trabalhar com três ou mais variáveis para discriminar o objeto. Neste trabalho, para facilitar a utilização das regras e diminuir o número de operadores lógicos, algumas variáveis foram combinadas, formando uma nova variável com maior poder de separação da classe, para evitar o excesso de operadores.

#### 5.7.6 Mapas Temáticos

Após a classificação dos objetos pelas Funções *Fuzzy*, serão extraídos do *E-cognition* mapas temáticos de acordo com os níveis de interesse. Esses mapas serão transformados em polígonos e, através do uso do *Arcview*, será montado um mapa temático único que agrupe todos os níveis, onde poderão ser analisados os objetos em uma mesma imagem.

### 5.7.7 Graus de Adensamento

Como o interesse deste trabalho não era contar o número de casas e sim analisar o adensamento das ocupações, foi criado o nível de adensamento, que avalia a proporção da área ocupada para cada objeto do nível 4 da segmentação em relação ao conjunto de polígonos classificado como edificação pertencente a essa área.

Fórmula:

$$\text{Grau\_de\_Adensamento} = \frac{AO_j}{\sum AE_{ij}}$$

onde  $A_j$  é a área do objeto ocupação;  $j$  e  $AE_{ij}$ , a área do objeto edificação;  $i$ , pertencente ao objeto  $j$  do nível 4.

## 5.8 AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO

Existem várias formas de fazer a avaliação de classificações de objetos, como as matrizes de confusão ou erro, que podem trabalhar com as perspectivas de usuário e produtor, além do coeficiente de concordância de kappa, entre outros. Mas, em todas as formas de avaliação será necessária a interpretação visual de uma amostra de objetos na imagem original, podendo assim relacionar a classe real do objeto com a categorizada pelo algoritmo de classificação proposto.

O importante desta avaliação é determinar, dois-a-dois, os objetos que têm maior ocorrência de confusão na classificação. Assim, pode-se entender a intersecção desses grupos de objetos e otimizar os modelos de decisão *Fuzzy*, através da mudança da função, valores dos parâmetros ou da seleção de outros descritores que auxiliem a discriminação correta.

Os erros de classificação podem ter origens diferentes, podendo ser fruto de falhas na definição da rede semântica, na execução da segmentação dos objetos ou na classificação.

A matriz de confusão levará em consideração os objetos: rio, lago, mata, não-mata, vias, vegetação intra-urbana e edificação. Será analisado ainda se a origem principal do erro foi devido a falha de semântica, de segmentação ou classificação.

Para analisar a aproximação do grau de adensamento obtido na classificação, serão utilizados os dois recortes, representando áreas ocupadas restituídas para o auxílio da segmentação. Caso o grau de adensamento calculado seja satisfatório para essas duas áreas com realidades extremamente diferentes, ele poderá ser considerado como ferramenta de análise da ocupação urbana.

## 6 RESULTADOS

A análise dos resultados da implementação da metodologia proposta para identificação e mensuração do adensamento de ocupações urbanas, a partir de imagens de satélite de alta resolução, foi avaliada com base na qualidade dos mapas temáticos originados no processo de classificação.

A qualidade dos resultados depende dos processos de criação dos objetos, através da segmentação, da organização do conhecimento, por meio da elaboração da rede semântica e da estrutura hierárquica, além da eficiência na identificação do comportamento dos objetos para seleção e parametrização das variáveis e funções de pertinência *Fuzzy*. O grau de acerto na classificação dos objetos de interesse foi analisado sob estas dimensões, avaliando a contribuição destes três processos no resultado alcançado.

### 6.1 RESULTADOS DA SEGMENTAÇÃO

O processo de segmentação multi-resolução gerou objetos em cinco níveis de escala distintos de acordo com a dimensão espacial. Além da escala, cada nível teve uma combinação própria de *layers* e valores de pesos, como mostra a figura 30.

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

As escalas foram atribuídas de modo que os objetos criados tivessem as dimensões mais próximas do real, sem gerar excesso de fragmentos e principalmente não confundindo diferentes objetos. Essas precauções, aliadas à utilização do menor objeto identificado na classe como referência, geraram um número maior de polígonos que os necessários para constituir os objetos, com destaque aos de menores níveis.

Figura 30 – Parâmetros e resultados da segmentação por nível de objeto

Nível	Segmentação	Parâmetros		Objetos																										
<b>1</b>		Escala: 15 Atributos Cor: 0,6 Forma: 0,4 Compacidade: 0,7 Suavidade: 0,3	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Bandas</th> <th>Peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Pancromatica</td><td>2</td></tr> <tr><td>Multiespectral</td><td></td></tr> <tr><td>Banda 1 (B)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 2 (G)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 3 (R)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 4 (IVP)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fusão</td><td></td></tr> <tr><td>Componente 1</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 4</td><td>1</td></tr> <tr><td>NDVI</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Bandas	Peso	Pancromatica	2	Multiespectral		Banda 1 (B)	1	Banda 2 (G)	1	Banda 3 (R)	1	Banda 4 (IVP)	1	Fusão		Componente 1	1	Componente 2	1	Componente 3	1	Componente 4	1	NDVI	1	Edificações Vazios Sombra  Tota de objetos: 359.502
Bandas	Peso																													
Pancromatica	2																													
Multiespectral																														
Banda 1 (B)	1																													
Banda 2 (G)	1																													
Banda 3 (R)	1																													
Banda 4 (IVP)	1																													
Fusão																														
Componente 1	1																													
Componente 2	1																													
Componente 3	1																													
Componente 4	1																													
NDVI	1																													
<b>2</b>		Escala: 30 Atributos Cor: 0,8 Forma: 0,2 Compacidade: 0,5 Suavidade: 0,5	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Bandas</th> <th>Peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Pancromatica</td><td>5</td></tr> <tr><td>Multiespectral</td><td></td></tr> <tr><td>Banda 1 (B)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 2 (G)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 3 (R)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 4 (IVP)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fusão</td><td></td></tr> <tr><td>Componente 1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Componente 2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 4</td><td>1</td></tr> <tr><td>NDVI</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	Bandas	Peso	Pancromatica	5	Multiespectral		Banda 1 (B)	1	Banda 2 (G)	1	Banda 3 (R)	1	Banda 4 (IVP)	1	Fusão		Componente 1	3	Componente 2	1	Componente 3	1	Componente 4	1	NDVI	3	Edificações Vegetação Intra-Urbana  Tota de objetos: 87.858
Bandas	Peso																													
Pancromatica	5																													
Multiespectral																														
Banda 1 (B)	1																													
Banda 2 (G)	1																													
Banda 3 (R)	1																													
Banda 4 (IVP)	1																													
Fusão																														
Componente 1	3																													
Componente 2	1																													
Componente 3	1																													
Componente 4	1																													
NDVI	3																													
<b>3</b>		Escala: 80 Atributos Cor: 0,6 Forma: 0,4 Compacidade: 0,5 Suavidade: 0,5	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Bandas</th> <th>Peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Pancromatica</td><td>5</td></tr> <tr><td>Multiespectral</td><td></td></tr> <tr><td>Banda 1 (B)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 2 (G)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 3 (R)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 4 (IVP)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fusão</td><td></td></tr> <tr><td>Componente 1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Componente 2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 4</td><td>1</td></tr> <tr><td>NDVI</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	Bandas	Peso	Pancromatica	5	Multiespectral		Banda 1 (B)	1	Banda 2 (G)	1	Banda 3 (R)	1	Banda 4 (IVP)	1	Fusão		Componente 1	3	Componente 2	1	Componente 3	1	Componente 4	1	NDVI	3	Vias  Tota de objetos: 14.045
Bandas	Peso																													
Pancromatica	5																													
Multiespectral																														
Banda 1 (B)	1																													
Banda 2 (G)	1																													
Banda 3 (R)	1																													
Banda 4 (IVP)	1																													
Fusão																														
Componente 1	3																													
Componente 2	1																													
Componente 3	1																													
Componente 4	1																													
NDVI	3																													
<b>4</b>		Escala: 200 Atributos Cor: 0,6 Forma: 0,4 Compacidade: 0,5 Suavidade: 0,5	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Bandas</th> <th>Peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Pancromatica</td><td>5</td></tr> <tr><td>Multiespectral</td><td></td></tr> <tr><td>Banda 1 (B)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 2 (G)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 3 (R)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 4 (IVP)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fusão</td><td></td></tr> <tr><td>Componente 1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Componente 2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 4</td><td>1</td></tr> <tr><td>NDVI</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	Bandas	Peso	Pancromatica	5	Multiespectral		Banda 1 (B)	1	Banda 2 (G)	1	Banda 3 (R)	1	Banda 4 (IVP)	1	Fusão		Componente 1	3	Componente 2	1	Componente 3	1	Componente 4	1	NDVI	3	Rios Corpos d' água Matas Vegetação rasteira  Tota de objetos: 1.618
Bandas	Peso																													
Pancromatica	5																													
Multiespectral																														
Banda 1 (B)	1																													
Banda 2 (G)	1																													
Banda 3 (R)	1																													
Banda 4 (IVP)	1																													
Fusão																														
Componente 1	3																													
Componente 2	1																													
Componente 3	1																													
Componente 4	1																													
NDVI	3																													
<b>5</b>		Escala: 300 Atributos Cor: 0,6 Forma: 0,4 Compacidade: 0,5 Suavidade: 0,5	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Bandas</th> <th>Peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Pancromatica</td><td>5</td></tr> <tr><td>Multiespectral</td><td></td></tr> <tr><td>Banda 1 (B)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 2 (G)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 3 (R)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Banda 4 (IVP)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fusão</td><td></td></tr> <tr><td>Componente 1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Componente 2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Componente 4</td><td>1</td></tr> <tr><td>NDVI</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	Bandas	Peso	Pancromatica	5	Multiespectral		Banda 1 (B)	1	Banda 2 (G)	1	Banda 3 (R)	1	Banda 4 (IVP)	1	Fusão		Componente 1	3	Componente 2	1	Componente 3	1	Componente 4	1	NDVI	3	Áreas Ocupadas Áreas Não-Ocupadas  Tota de objetos: 774
Bandas	Peso																													
Pancromatica	5																													
Multiespectral																														
Banda 1 (B)	1																													
Banda 2 (G)	1																													
Banda 3 (R)	1																													
Banda 4 (IVP)	1																													
Fusão																														
Componente 1	3																													
Componente 2	1																													
Componente 3	1																													
Componente 4	1																													
NDVI	3																													

Fonte: Saída do E-cognition

A escala para criação dos objetos identificados como edificações foi baseada nas casas de menor padrão construtivo, o que fatalmente acarreta na fragmentação das edificações de maior porte. Outro fator que potencializou essa ocorrência foram as diferentes inclinações dos telhados de uma edificação, que devido à iluminação influenciam as propriedades espectrais e determinam a partição do objeto. O impacto desses fenômenos e a qualidade da segmentação só serão avaliados no final deste capítulo, ao serem analisados os resultados da classificação e os motivos para a confusão de determinadas classes de objetos.

Figura 31 – Resultado da segmentação para o menor nível de objeto



Fonte: Saída do E-cognition

## 6.2 ESTRUTURA HIERÁRQUICA

A estrutura hierárquica da classificação é simplesmente a operacionalização da rede semântica, através de conceitos excludentes de classes de objetos. Um objeto em um nível de escala menor só poderá ser classificado em determinada categoria se, e somente se, a classe a que ele pertencia no nível de escala superior for condizente com as relações criadas na rede semântica.

A implementação da rede semântica resultou na estrutura hierárquica de classes demonstrada na figura abaixo. Na maioria dos casos, a mudança de hierarquia equivale à do nível de segmentação, com exceção do nível dois, quando, dentro de uma mesma escala, têm-se propriedades herdadas hierarquicamente para duas classes de objeto.

Figura 32 - Estrutura de criação das classes hierárquicas de objetos



Fonte: O Autor

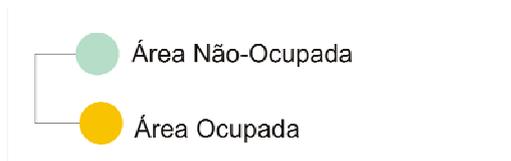
### 6.3 RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO

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 fusões dos menores.

Foi analisada separadamente cada uma das classificações dos cinco níveis existentes, descrevendo as etapas de identificação, seleção e parametrização das variáveis discriminatórias e as funções de pertinência *Fuzzy* definidas para as classes de objeto. Em um segundo passo, os mapas temáticos foram sobrepostos e avaliados conjuntamente, apontando o grau de acerto na classificação de cada um dos grupos de objetos, sem se deter ao nível de escala que o mesmo venha pertencer.

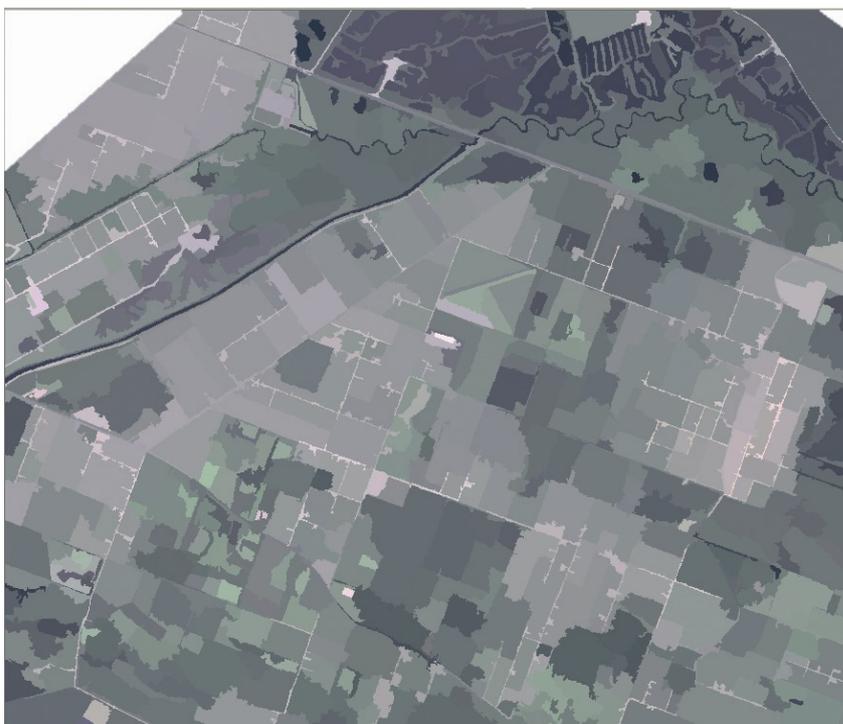
## 1º NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO

### Classes de Objetos de Interesse



Como, neste nível de classificação, a intenção era criar grandes objetos que determinassem as áreas onde a intervenção humana e a ocupação urbana eram predominantes, foi gerado um total de 774 objetos na segmentação.

Figura 33 - Segmentação para o maior nível de escala



Fonte: Saída do *E-cognition*

### Seleção das variáveis discriminatórias

A partir da segmentação acima, um número significativo de objetos foi classificado manualmente, sendo distribuído representativamente entre os diversos tipos de superfície ocupada e não-ocupada, segundo o entendimento do usuário.

Desta amostra, foram retiradas variáveis descritoras espectrais, de forma e textura, e avaliadas quanto a seu poder de discriminação entre as classes de objetos. De 208 variáveis analisadas, nenhuma apresentou, sozinha, discriminação total dos objetos; 65% delas não auxiliaram a separação de objetos, já que uma classe estava contida na variação da outra; e dos 35% que apresentaram discriminação parcial das classes, apenas 16% tinham grau de discriminação superior a 70%.

Tabela 1 – Variáveis com maior grau de discriminação

Banda	Variável	Grau de Discriminação
PAN	Média	0,76
	GLCM Média	0,72
F1	Desvio Padrão	0,91
	GLCM Contraste	0,75
	GLDV Contraste	0,75
F2	Desvio Padrão	0,90
	GLCM Contraste	0,79
	GLDV Média	0,71
	GLDV Contraste	0,79
F3	Desvio Padrão	0,90
	GLCM Contraste	0,92
	GLDV Média	0,80
	GLDV Contraste	0,92
F4	Pixel Máximo	0,73
	GLCM Contraste	0,71
	GLDV Contraste	0,71
M1	Desvio Padrão	0,94
	Pixel Máximo	0,88
	GLCM Homogeneidade	0,96
	GLCM Contraste	0,94
	GLDV Média	0,95
	GLDV Contraste	0,94
M2	Desvio Padrão	0,94
	Pixel Máximo	0,87
	GLCM Homogeneidade	0,93
	GLCM Contraste	0,94
	GLDV Média	0,95
	GLDV Contraste	0,94
M3	Desvio Padrão	0,90
	Pixel Máximo	0,88
	GLCM Homogeneidade	0,93
	GLCM Contraste	0,94
	GLDV Média	0,95
	GLDV Contraste	0,94

As 34 variáveis pré-selecionadas se limitam a oito tipos de medidores em oito *layers* distintos. Por este motivo, existe alta correlação entre as variáveis, o que resulta na redundância de informação, podendo-se ainda trabalhar com um número menor de variáveis ao ser iniciado o processo de definição das funções.

As variáveis de textura, desvios padrões e *pixel* máximo apresentam em sua maioria correlações bivariadas superiores a 0,9 entre elas; mas correlações abaixo de 0,6 com as duas variáveis da banda pancromática.

Foram construídos gráficos *Box-plot* para avaliar melhor o tipo de relacionamento existente entre as classes e a distribuição dos objetos a partir de cada uma das variáveis. Também foram calculadas estatísticas descritivas para auxiliar o processo de escolha das variáveis a serem utilizadas no processo de classificação deste nível de objetos.

Descrição das variáveis selecionadas

### **Contraste da banda 1 (GLCM)**

Tipo de descritor: Textura

Descrição: Tipo de comportamento da combinação de níveis de cinza apresentado na imagem. Quanto maiores e mais distantes da diagonal da matriz de GLCM forem os pesos dados pelo número de combinações de padrões de cinza, maior será o valor de contraste.

Amplitude de Variação: [0; 1]

Fórmula:

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i-j)^2$$

, Onde P é o valor encontrado na matriz GLCM normalizada e i,j são as linhas e colunas da matriz.

### **Média da Banda Pancromática**

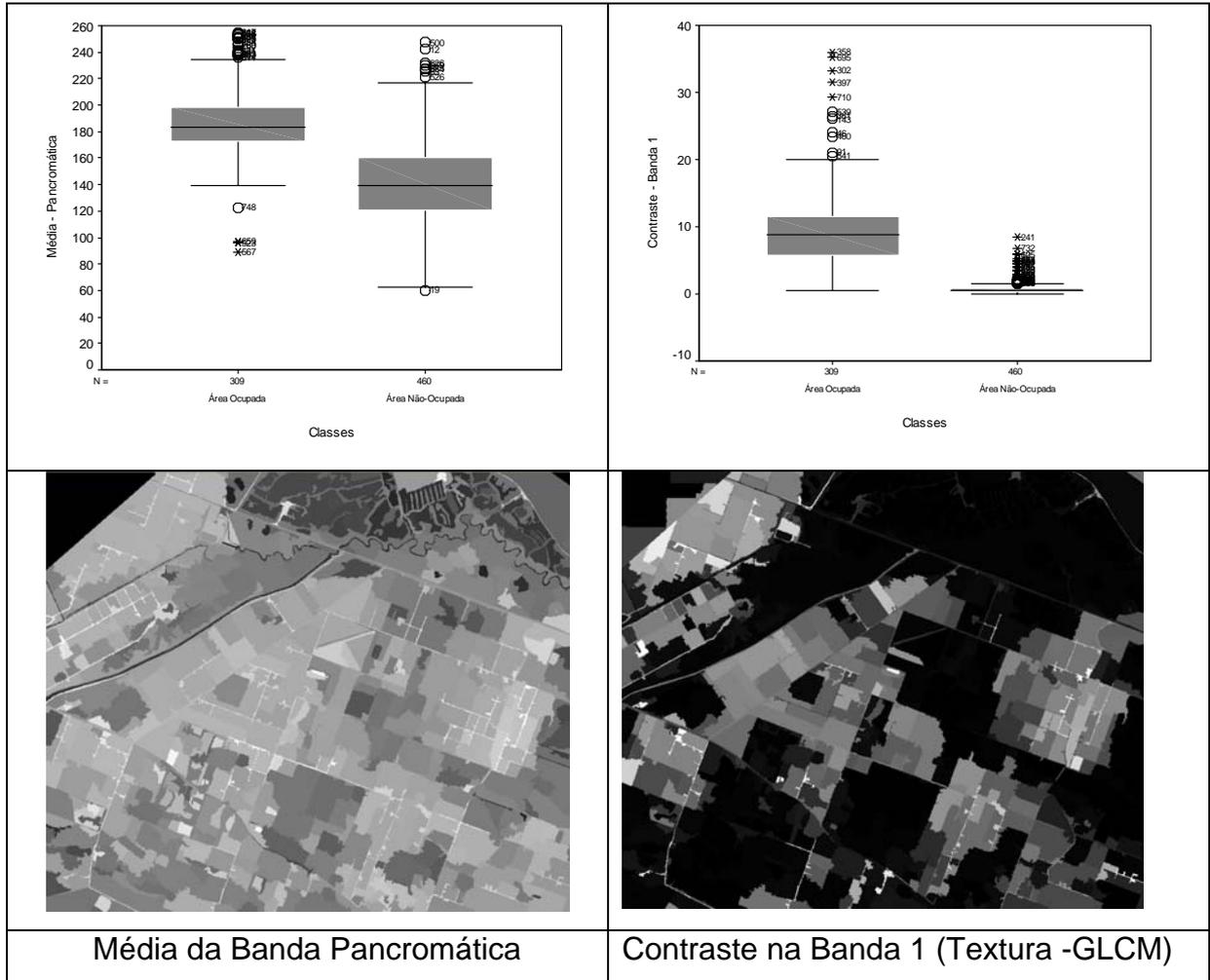
Tipo de descritor: Espectral (Cor)

Descrição: Valor médio dos *pixels* que compõem o objeto de uma determinada banda.

Amplitude de Variação: [0; 255]

Fórmula:  $\bar{C}_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$ , onde n é o número de *pixel* do objeto e C é o valor digital de *pixel* na banda pancromática.

Figura 34 – Variação entre as classes para as variáveis selecionadas



Fonte: Saída do E-cognition e SPSS

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

Nota-se que a variável GLCM Contraste apresenta uma pequena variação para os objetos supostamente da classe não-ocupada, além de um maior poder de separação das classes, já que seu grau de discriminação é de 0,94. A variável Média da Banda Pancromática, apesar de possuir um poder de discriminação menor (grau = 0,76), auxilia a variável anterior a explicar parte dos objetos que ela isoladamente não conseguiu discernir (correlação = 0,60).

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas

Variável	Classe	Percentis						
		5	10	25	50	75	90	95
Cor - Média Pan	Área Ocupada	154,3	162,2	172,7	183,4	198,0	228,3	238,4
	Área Não-ocupada	78,0	89,1	120,7	139,4	160,2	187,6	200,1
Textura - Contraste	Área Ocupada	2,04	2,58	5,74	8,85	11,52	14,86	19,20
	Área Não-ocupada	0,21	0,24	0,32	0,47	0,82	1,49	2,47

Medidas estatísticas	Média Pan		Contraste Banda 1	
	Ocupada	Não-ocupada	Ocupada	Não-ocupada
<b>Localção</b>				
Média	187,9	139,4	9,31	0,78
Intervalo de Confiança 95%	L.S	185,0	136,1	8,68
	L.I	190,8	142,6	9,93
Média Aparada (5%)	187,4	138,9	8,81	0,62
Mediana	183,4	139,4	8,85	0,47
<b>Variabilidade</b>				
Variância	677,3	1260,1	31,28	0,91
Desvio Padrão	26,0	35,5	5,59	0,95
Mínimo	89,1	60,2	0,54	0,00
Máximo	254,7	247,6	35,96	8,44
Amplitude	165,6	187,4	35,42	8,44
Amplitude Interquartilica	25,3	39,5	5,78	0,50
<b>Simetria</b>				
Assimetria	0,3	0,1	1,63	4,01
Curtose	1,3	0,0	4,79	19,93

Fonte: Saída do SPSS

### Seleção das funções de pertinência e parâmetros

Selecionadas as potenciais variáveis discriminatórias e estudado seu comportamento e distribuição dos dados através das medidas estatísticas, inicia-se o processo com a seleção de uma variável de alto grau de discriminação. Com base nas propriedades desta variável, deve-se selecionar o tipo de função que melhor se

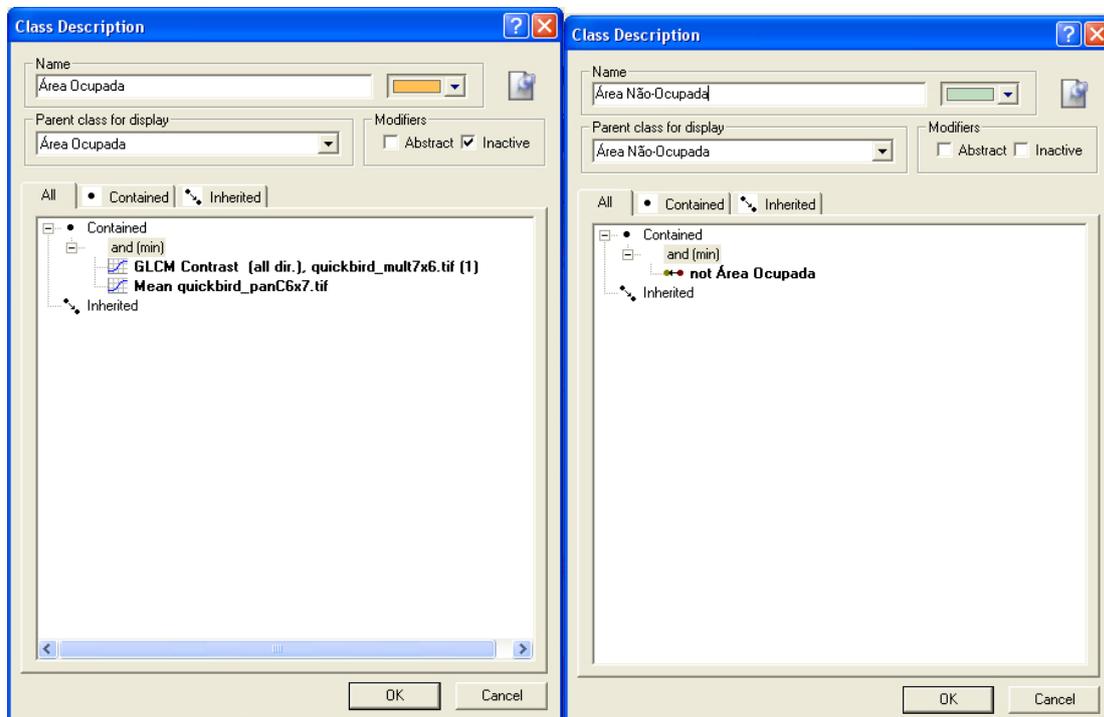
ajuste à distribuição e definir quais serão os parâmetros que estabelecerão a função de pertinência *Fuzzy*.

Como existem apenas duas classes de objetos desejados neste nível de segmentação, é preciso ajustar apenas as funções para uma das classes, que, por consequência, a outra sairá pela negação da primeira.

Não sendo alcançado o resultado esperado ao classificar-se a imagem a partir deste processo, buscava-se uma outra variável para auxiliar a separação dos objetos confundidos. Caso as variáveis pré-selecionadas pelo grau de discriminação não forem suficientes para separar os objetos confundidos, deve-se amostrar parte destes objetos, classificá-los manualmente, analisar o comportamento e encontrar uma nova variável capaz de discriminá-los.

Encontrada esta segunda variável, deve-se escolher um operador lógico para combiná-las. Neste estudo, se utilizou “E” quando os objetos deveriam possuir as duas propriedades para pertencer à classe e “OU” quando o objeto deveria possuir ou uma ou outra característica para pertencer à mesma.

Figura 35 – Combinação de variáveis para discriminação dos objetos

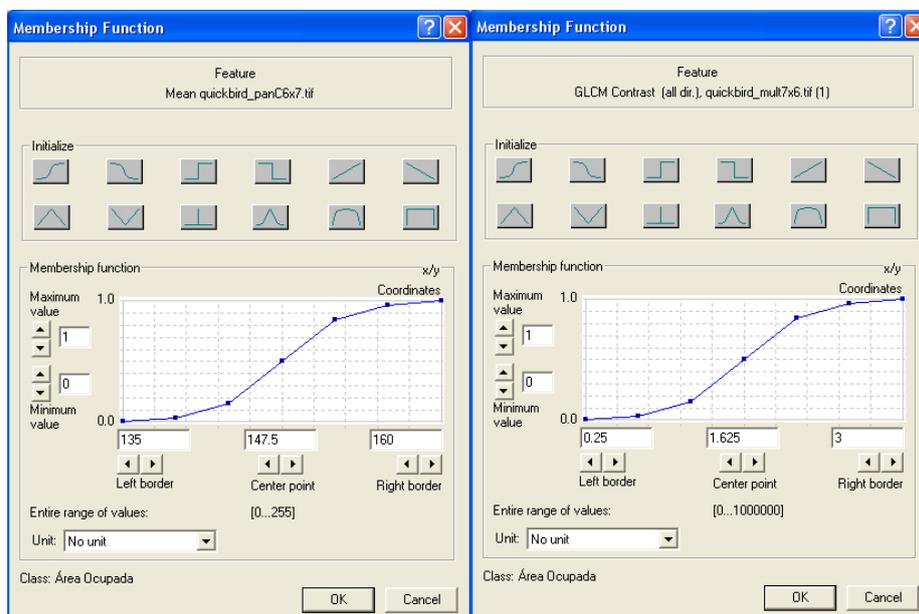


Fonte: Saída do E-cognition

Através dos *box-plots* e estatísticas descritivas, foi verificado que média da banda Pancromática e do GLCM Contraste apresentam valores maiores para os objetos da classe “Áreas Ocupadas”; por isso, foi utilizada a função do tipo “maior que”. Após um ajuste inicial dos parâmetros e algumas interações para otimizar o resultado, as funções de pertinência foram definidas como mostra a figura abaixo.

Nota-se que para a variável média da banda pancromática os objetos têm grau de pertinência zero quando o valor digital médio for menor ou igual a 135, aumentando exponencialmente o grau de pertinência até alcançar o valor máximo de 160.

Figura 36 – Funções e parâmetros utilizados na classificação



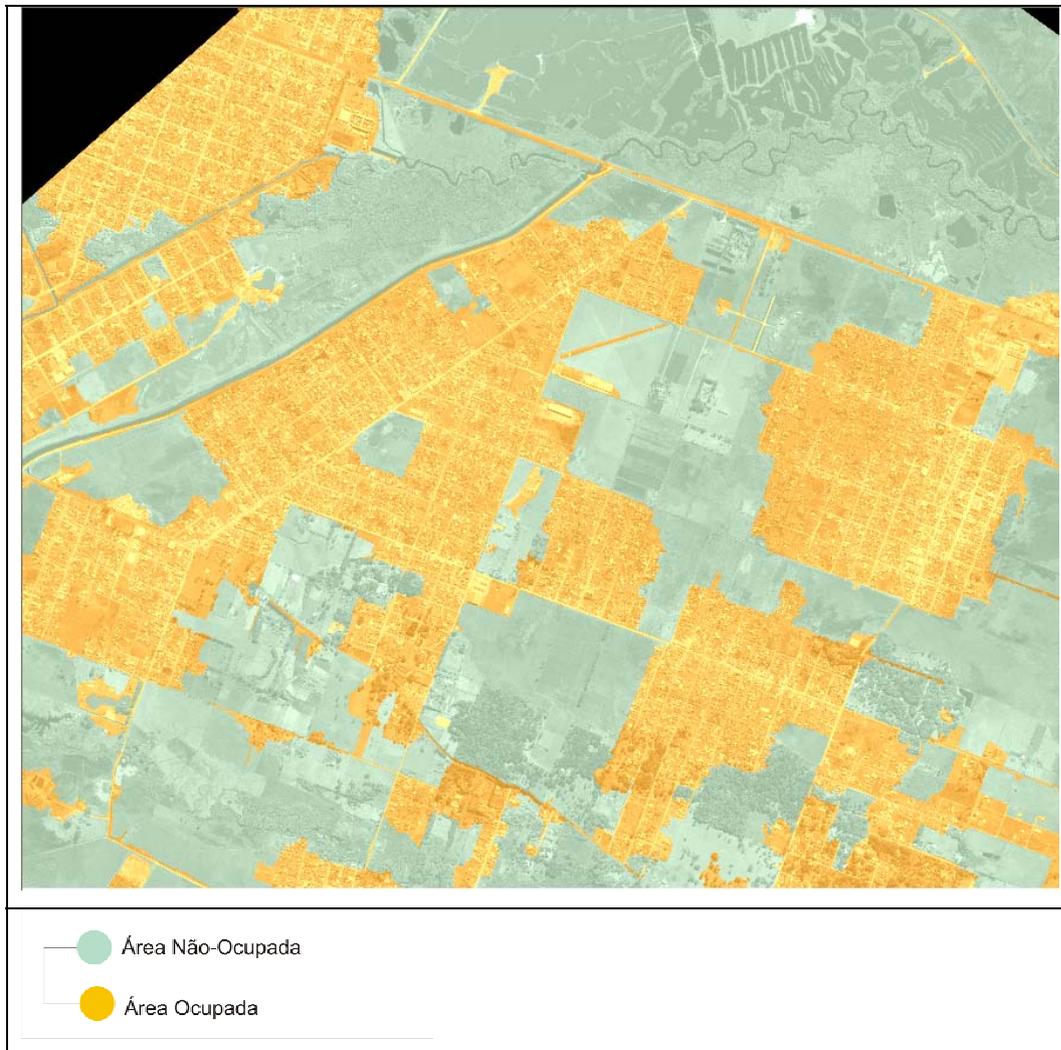
Fonte: Saída do E-cognition

A classificação do maior nível de segmentação apresentou excelentes resultados, como pode ser visto no mapa temático abaixo. Dos aproximadamente 15 km<sup>2</sup> de área da imagem, 57% foram classificados como área não-ocupada.

É difícil apresentar um grau de acerto da classificação neste nível devido à subjetividade na interpretação das classes. Nessa região, existem duas áreas de extração de areia, podendo ser considerada como área ocupada caso esta intervenção humana ainda esteja em funcionamento; no entanto, se a atividade tiver

vido abandonada, ela passa a ser considerada uma área não-ocupada degradada. Este é um problema de semântica e não propriamente de classificação.

Figura 37 – Resultado final do 1º nível de classificação



Analisando os 774 objetos formados, menos de 1% deles seriam classificados de maneira diferente se fossem realizados manualmente pelo conhecimento *a priori* em planejamento urbano. Além das duas áreas de extração de areia, existem dois objetos classificados como ocupados, ainda que talvez possuam mais elementos para a classe não-ocupado; e um ou dois casos em que ocorre justamente o contrário.

## 2º NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO

### Classes de Objetos de Interesse



Figura 38 - Segmentação para o 2º nível de escala



Fonte: Saída do E-cognition

Descrição das variáveis selecionadas

### **Média da Banda NDVI e Multiespectral Banda 4**

Tipo de descritor: Espectral (Cor)

Descrição: Valor médio dos *pixels* que compõem o objeto de determinada banda.

Amplitude de Variação: [0; 255]

$$\text{Fórmula: } \overline{C_b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

onde n é o número de *pixel* do objeto e C é o valor digital do *pixel* na banda 4 e NDVI.

### **Razão da Banda 2 Multiespectral**

Tipo de descritor: Espectral (Cor)

Descrição: Divisão da média do objeto na banda 2 pela soma dos valores das médias de todas as bandas espectrais disponíveis.

Amplitude de Variação: [0; 1]

$$\text{Fórmula: } R_{B2} = \frac{\overline{C_{B2}}}{\sum C_{Bi}}$$

### **Densidade**

Tipo de descritor: Forma

Descrição: A densidade pode ser expressa pela área coberta pelo objeto dividido pelo seu raio. No *ecognition*, a área é calculada através do número de *pixel* do objeto e o raio é aproximado usando a matriz de covariância. A densidade é um indicador de compacidade, por isso, quanto mais próximo de um quadrado for o objeto, maior será o valor da densidade.

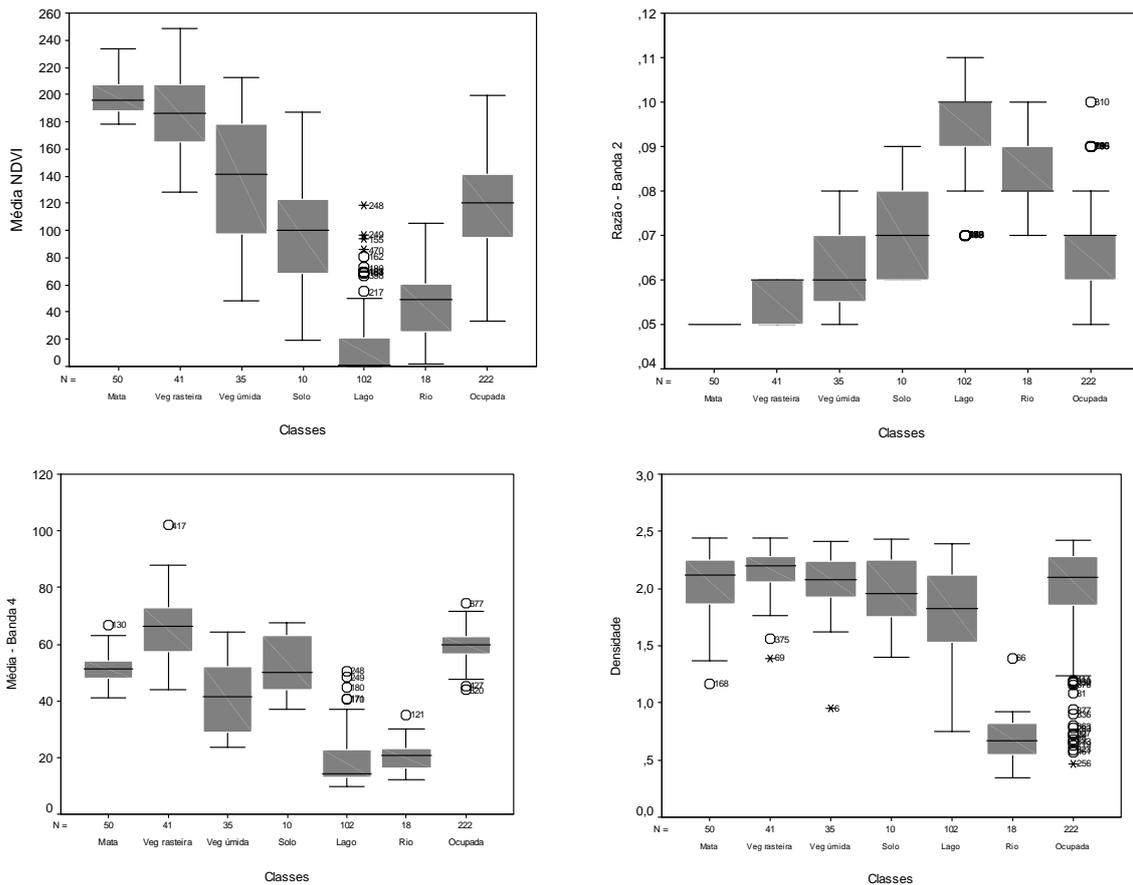
Amplitude de Variação: [0 ; depende da forma do objeto]

$$\text{Fórmula: } d = \frac{\sqrt{n}}{1 + \sqrt{\text{var}(x) + \text{var}(y)}}$$

Neste nível de segmentação, o número de classes de objetos de interesse é superior aos demais, aumentando a complexidade de sua discriminação. Para facilitar a compreensão e o processo de separação, pode-se dividir esta fase em três grandes grupos: Ocupações, Vegetação e Água.

As ocupações foram consideradas simplesmente como a herança hierárquica da classe superior, ficando como primeiro desafio a separação entre vegetação e água, com seus desdobramentos.

Figura 39 – Comportamento das variáveis mais significativas para as classes de objetos



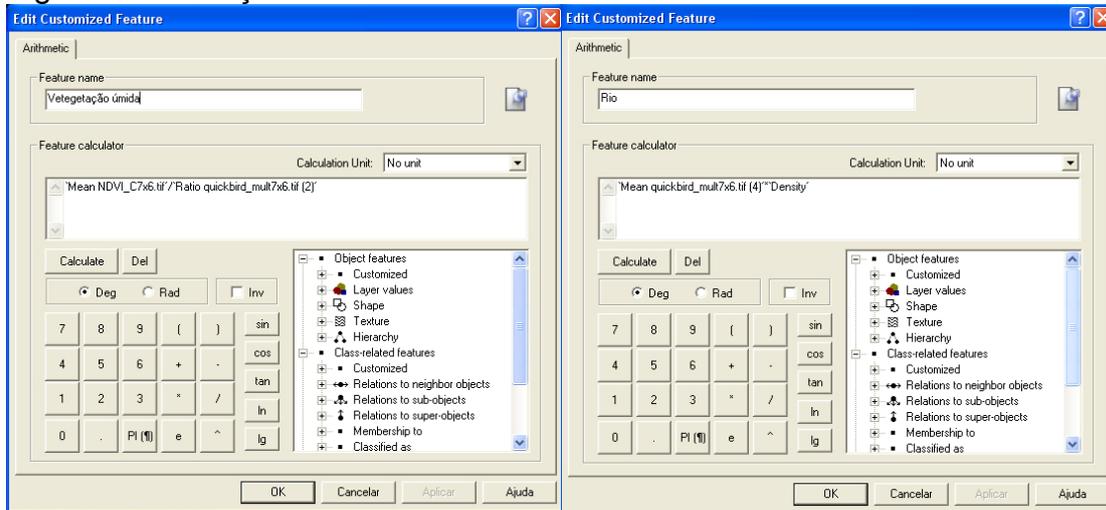
Fonte: Saída do SPSS

Para aumentar o poder de separação foram combinados dois pares de variáveis, resultando em duas novas variáveis com maior grau de discriminação. Por auxiliar a distinguir as áreas de vegetação ou terreno úmido dos corpos d'água, a nova variável será chamada de "vegetação úmida". A outra variável, denominada "rio", foi criada para separar os corpos d'água de rios ou canais.

$$VegetaçãoÚmida = \frac{Média\_NDVI}{Razão\_Banda2}$$

$$\text{Rio} = \text{Média\_Banda4} * \text{Densidade}$$

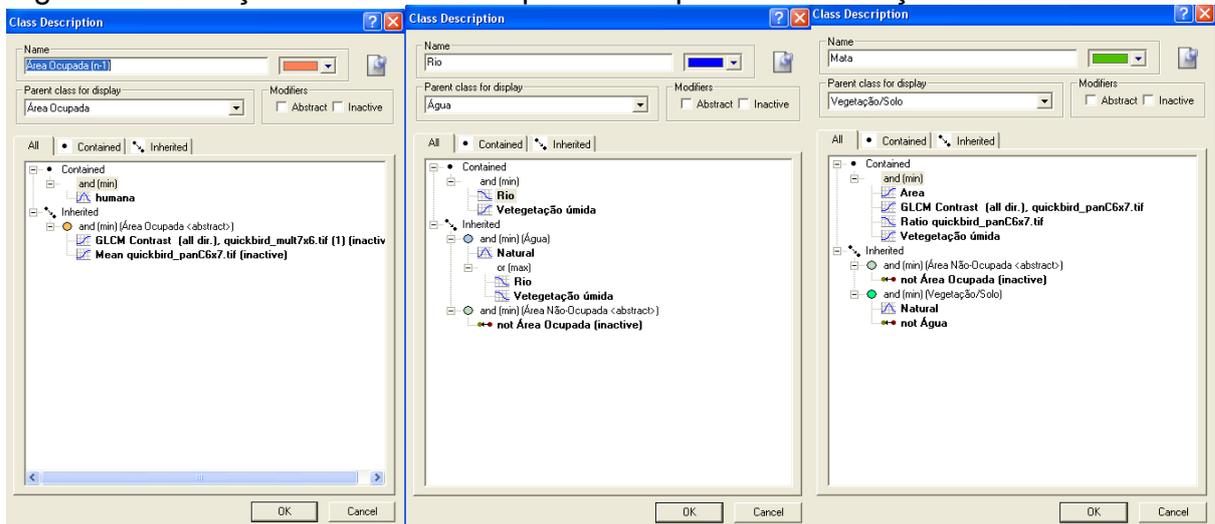
Figura 40 – Criação de variáveis



Fonte: Saída do E-cognition

A figura abaixo ilustra a comparação da distribuição dos objetos para as novas variáveis. A combinação das variáveis Rio e Vegetação Úmida será utilizada para conseguir separar as classes de Vegetação e Água.

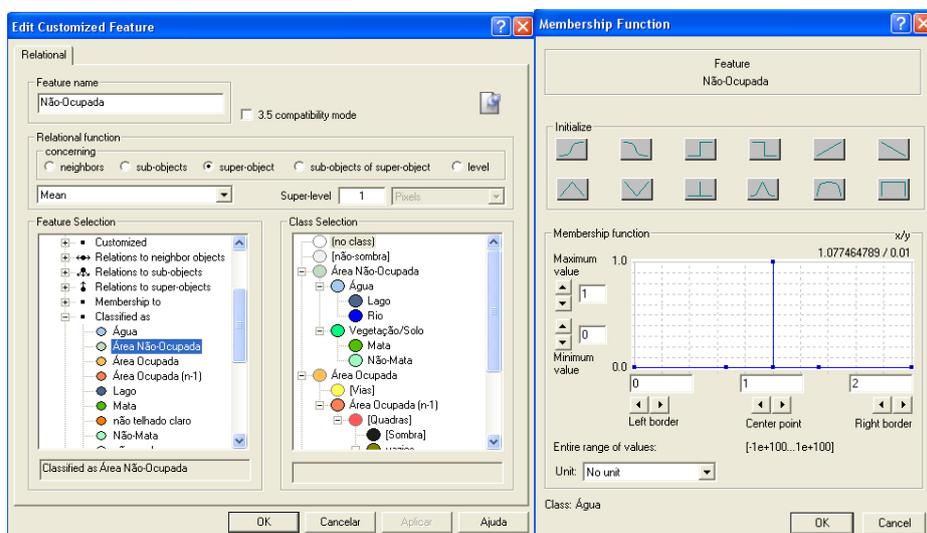
Figura 41 - Seleção de variáveis e operadores para discriminação das classes



Fonte: Saída do E-cognition



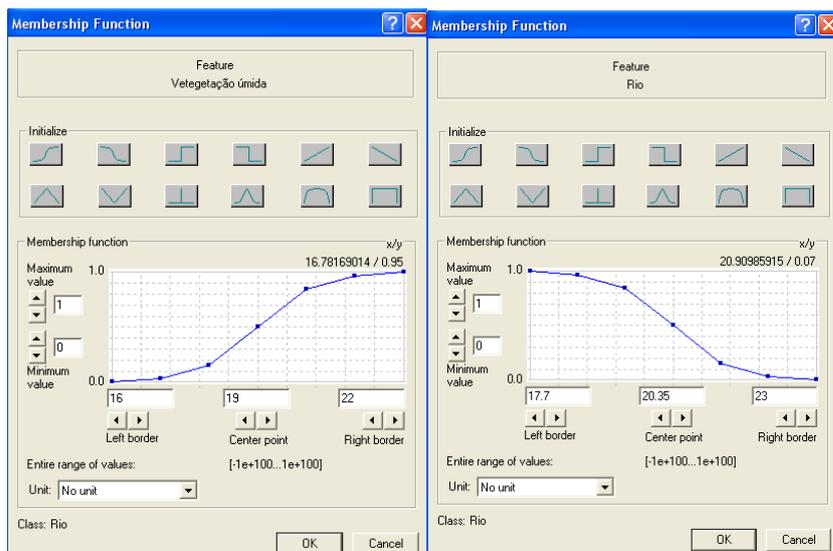
Figura 43 – Variável hierárquica e Função de Pertinência para classificação da ocupação



Fonte: Saída do E-cognition

Para a discriminação entre as duas possíveis classes de corpos d'água, rio ou lago, foram utilizadas as variáveis "rio" e "vegetação úmida", como mostram as funções de pertinência abaixo. As duas variáveis foram combinadas com o operador "E" e definidos os parâmetros para o comportamento do objeto Rio, separando-o da classe Lago, através da negação da classe.

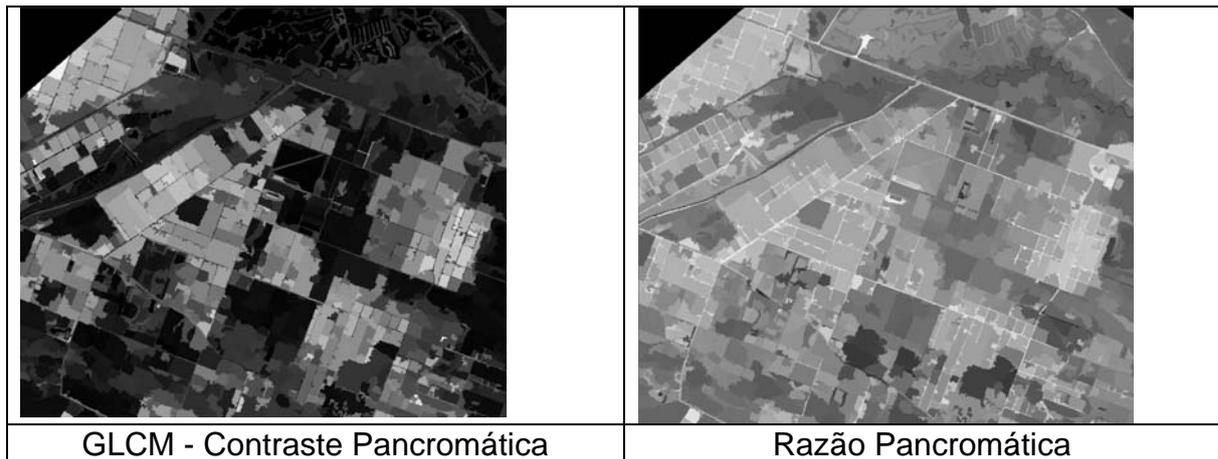
Figura 44 – Funções de Pertinência para diferenciação entre corpos d' água



Fonte: Saída do E-cognition

Para a discriminação da vegetação mais densa e preservada das áreas de vegetação rasteira e degradada, foram utilizadas as variáveis GLCM-Contraste e Razão na banda pancromática, além da vegetação úmida usada anteriormente e a área do objeto, que pretendia retirar objetos isolados com dimensões pequenas.

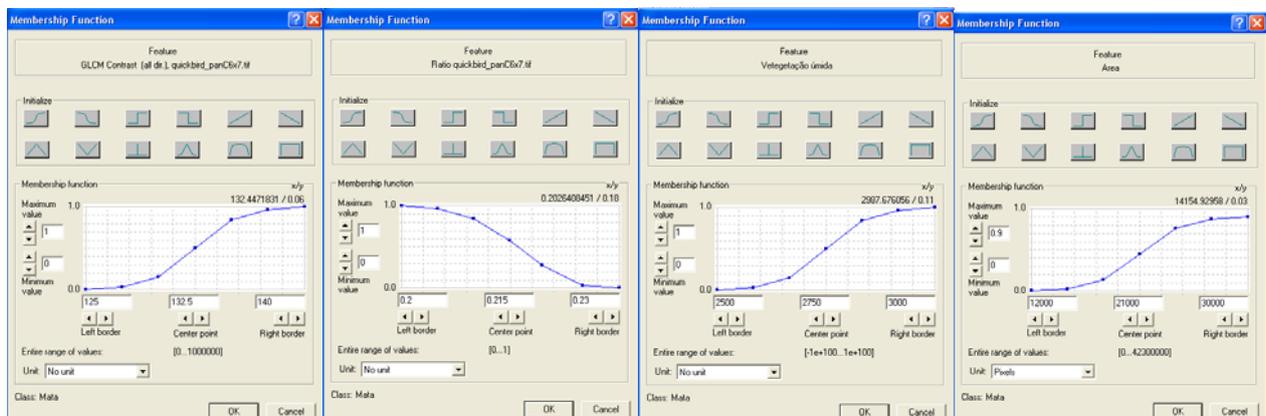
Figura 45 – Comportamento das variáveis Contraste e Razão Pancromática



Fonte: Saída do E-cognition

O contraste e a razão pancromática possuem comportamentos inversos, com as áreas de mata mais densas, apresentando coloração mais escura na razão pancromática, e mais clara no contraste. Como no caso anterior, será modelada a classe “Mata” e utilizada sua negação para a classe “Não-mata”. Desse modo, foram selecionadas quatro variáveis e definidas suas respectivas funções de pertinência e parâmetros de ajuste.

Figura 46 – Funções de Pertinência para diferenciação entre vegetações



Fonte: Saída do E-cognition

O mapa temático resultante no 2.º nível de classificação também apresentou excelente qualidade, possuindo poucos erros na avaliação visual.

O objeto mais sensível à classificação foi lago com não-mata. Alguns lagos provavelmente rasos e com grande quantidade de sedimentos foram segmentados com parte de vegetação ou solo. Para que algumas áreas de solo úmido não fossem classificadas como água, foi aumentada a tolerância da função, o que fez com que 1,5% dos objetos dessas classes fosse confundida, sendo todos lagos classificados como não-mata.

Já na classe rio houve apenas uma troca com um lago estreito e uma curva de rio classificada como não-mata, provavelmente pelo fato de o rio ter parte de sua superfície coberta por mata ciliar.

Figura 47 – Resultado final do 2º nível de classificação



Fonte: Saída do E-cognition

### 3º NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO

#### Classes de Objetos de Interesse

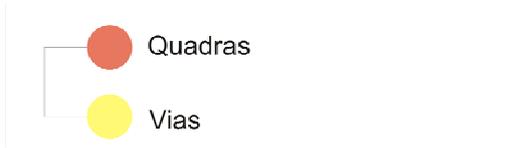
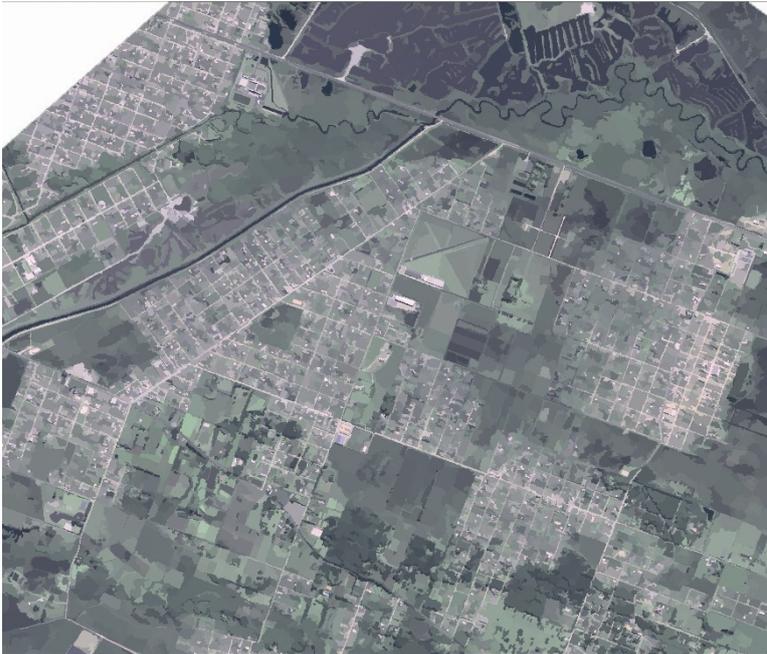


Figura 48 - Segmentação para o 3º nível de escala



Fonte: Saída do E-cognition

Este nível de classificação intermediária se limita apenas à área classificada no nível superior como área ocupada e tem o objetivo de isolar o sistema viário principal. É providencial que ela ocorra neste nível, já que em escalas maiores ele se fundia em grandes quarteirões e nas menores perdia parte das características longelíneas, que auxiliam sua classificação, fazendo com que se confunda mais facilmente com as edificações e terrenos, dependendo do tipo de pavimentação.

Este comportamento é evidenciado à medida em que é necessária apenas a variável densidade para orientar o processo de classificação. O mapa abaixo demonstra o poder de separação desta variável, onde as áreas mais escuras representam com clareza o sistema viário.

Nota-se que os rios possuem comportamento semelhante, mas pertencem a relações hierárquicas distintas e não são confundidos neste nível.

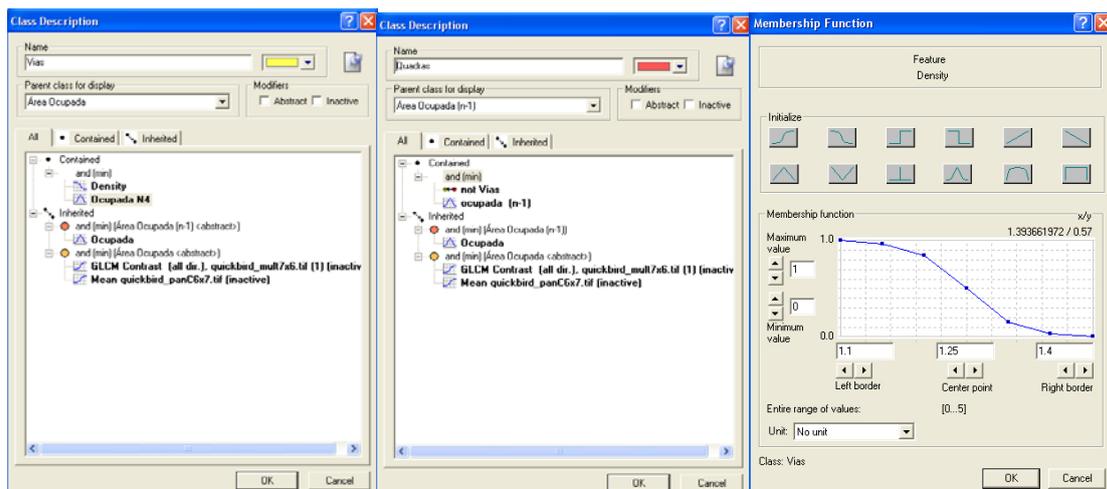
Figura 49 – Comportamento da variável densidade para área estudada



Fonte: Saída do E-cognition

A variável densidade foi parametrizada de acordo com o conhecimento da distribuição dos objetos da classe “vias”. Foi utilizada uma função do tipo “menor que”, com valor máximo de 1,4 decrescendo exponencialmente até atingir o valor 1,1, quando a função de pertinência alcança o grau 1.

Figura 50 – Funções de Pertinência para diferenciação entre vias e quadras



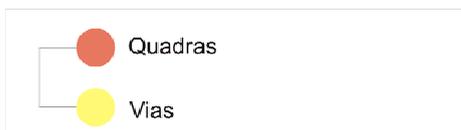
Fonte: Saída do E-cognition

A classificação das vias existentes na região utilizou parâmetros rigorosos, o que fez com que o sistema viário apresentado contemplasse apenas as principais

ruas; mas, como ocorreu em todas as dimensões, a noção de proporcionalidade e urbanização não foi perdida. Esse fato fez com que as vias ficassem subestimadas, mas ao se diminuir a especificidade da função, ela não classificou objetos que devido às falhas no processo de segmentação englobaram casas e terrenos conectados espacialmente.

A classificação desses objetos deixaria o mapa temático resultante mais próximo da realidade para este nível, mas geraria um erro nas classes dos níveis abaixo, que arrastaria a informação hierárquica, deixando de classificá-la no nível inferior.

Figura 51 – Resultado final do 3º nível de classificação



Fonte: Saída do E-cognition

## 4º NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO

### Classes de Objetos de Interesse

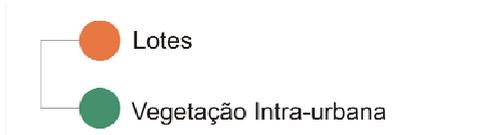


Figura 52 - Segmentação para o 4º nível de escala



Fonte: Saída do E-cognition

### Homogeneidade da banda 2 (GLCM)

Tipo de descritor: Textura

Descrição: Ao contrário do contraste, quanto mais próximos da diagonal da matriz de GLCM forem os valores, maior é a Homogeneidade.

Amplitude de Variação: [0; 1]

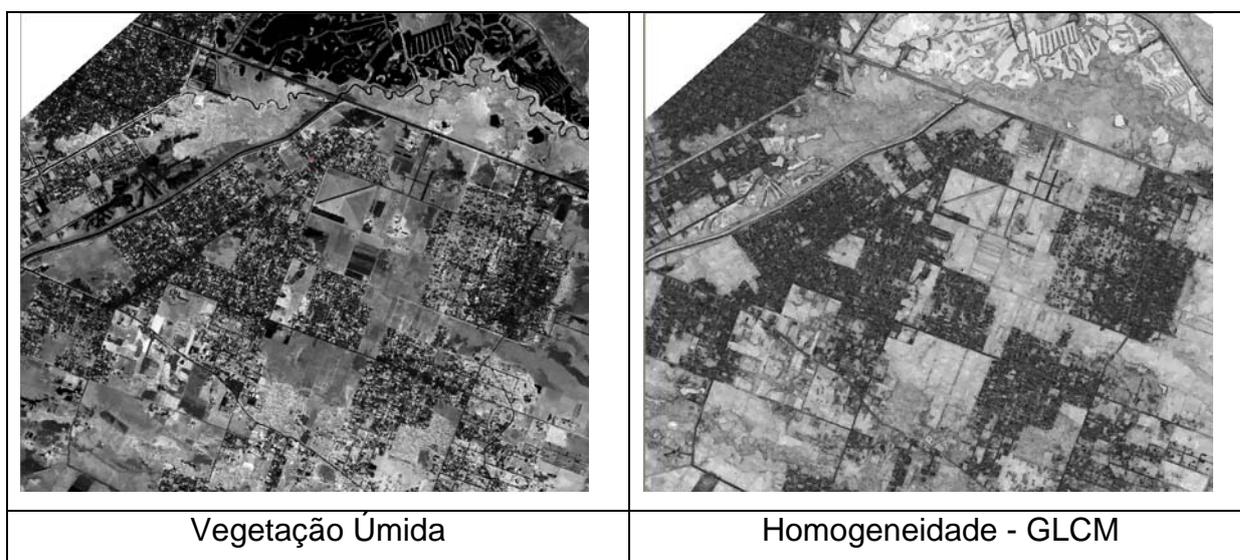
Fórmula:

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2}$$

onde P é o valor encontrado na matriz GLCM normalizada e i, j são as linhas e colunas da matriz.

Este nível foi criado para retirar vazios urbanos existentes entre as ocupações, como forma de refinamento na identificação das edificações no próximo estágio de classificação. O objeto “vegetação intra-urbana” poderia, simplesmente, sair da comparação do objeto quadra do nível acima com as edificações que serão classificadas abaixo.

Figura 53 – Comportamento das variáveis Homogeneidade e Vegetação Úmida

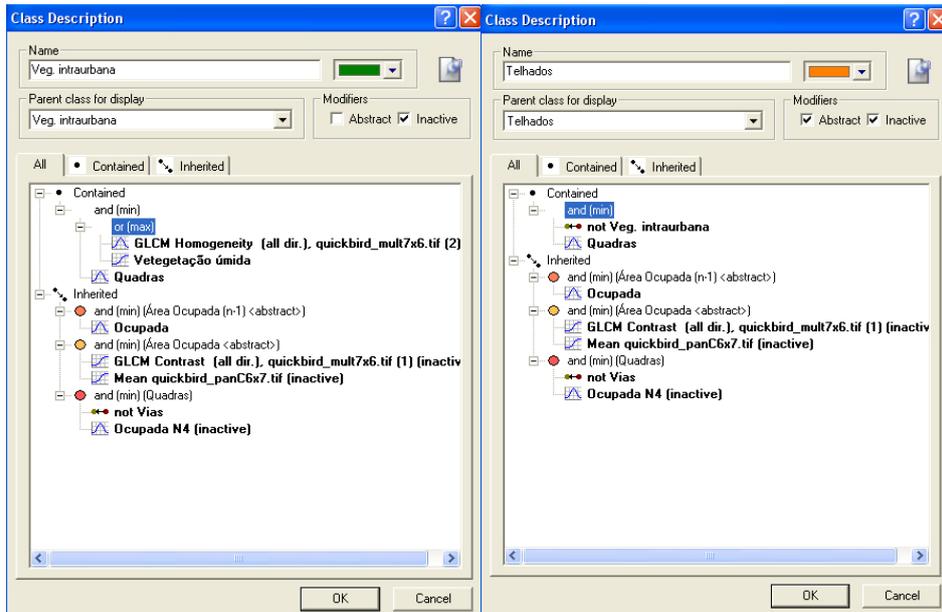


Fonte: Saída do E-cognition

A partir deste objetivo, procurou-se retirar todo objeto que pertencia à “quadra” no nível superior que não fosse uma provável edificação. Novamente procurou a utilização de funções específicas, que, na dúvida, classificassem o objeto como lotes, para que na classificação do último nível fosse ainda possível verificar sua real classe.

Foram utilizadas as variáveis: homogeneidade da banda 2 e vegetação úmida, selecionadas pelo critério de grau de discriminação que as variáveis possuíam em relação aos objetos deste nível.

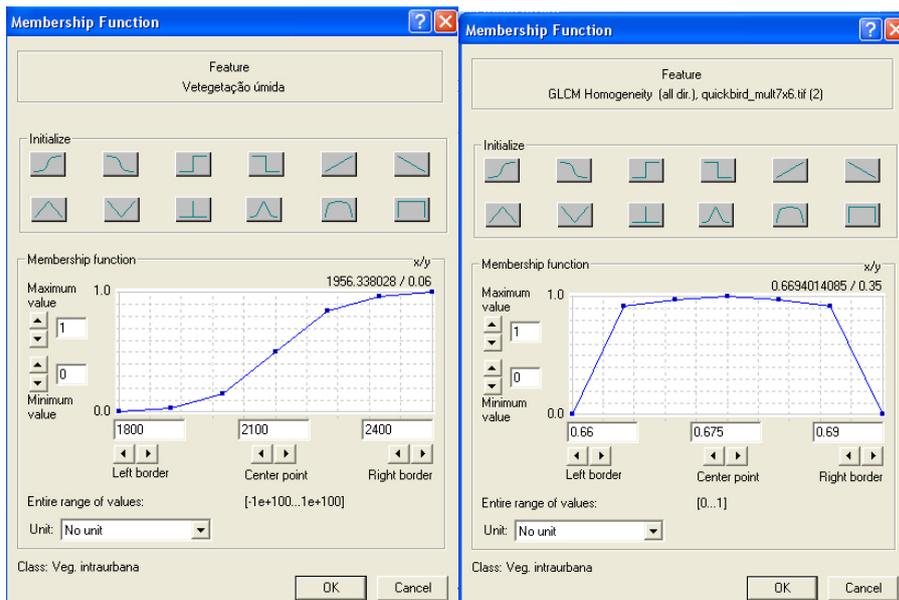
Figura 54 – Variáveis e operadores para diferenciação entre quadra e vias



Fonte: Saída do E-cognition

Também utilizando os mesmos critérios anteriores, foram ajustadas as funções de pertinência para a classe “vegetação intra-urbana” e usada a negação da classe para determinar a outra. Porém, neste caso, foi utilizado o operador lógico “Ou”, que retorna o maior grau de pertinência entre as duas variáveis modeladas pela função.

Figura 55 – Funções de Pertinência para diferenciação entre vias



Fonte: Saída do E-cognition

Esse processo trouxe uma maior visibilidade do adensamento das ocupações, diferenciando as áreas onde a urbanização já está mais avançada daquelas ainda em fase de consolidação.

Considerando o objetivo central do trabalho de possuir instrumentos para mensurar a ocupação urbana de forma a auxiliar o processo de ordenação territorial, a utilização da metodologia até este passo já seria suficiente para controlar a ocupação de áreas sujeitas a habitação irregular.

Figura 56 – Resultado final do 4º nível de classificação



Fonte: Saída do E-cognition

## 5º NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO

### Classes de Objetos de Interesse

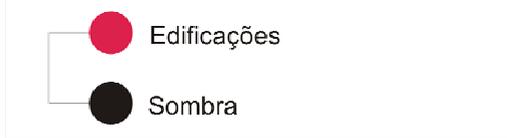


Figura 57 - Segmentação para o 5º nível de escala



Fonte: Saída do E-cognition

### Média da Fusão 1.ª CP e Multiespectral Banda 1

Tipo de descritor: Espectral (Cor)

Descrição: Valor médio dos *pixels* que compõem o objeto de determinada banda.

Amplitude de Variação: [0; 255]

$$\text{Fórmula: } \overline{C_b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

onde  $n$  é o número de *pixels* do objeto e  $C$  é o valor digital do *pixel*.

O desafio de extrair edificações através de imagens de satélite de forma mais automatizada ainda não foi alcançado totalmente. A resolução espacial e o comprimento e número de faixas espectrais dos satélites de alta resolução

disponíveis no mercado ainda não garantem que os processos de segmentação e classificação sejam feitos de forma automatizada com a qualidade desejada.

Neste nível de segmentação, o interesse principal é isolar as edificações dos demais objetos. Apesar de o nível anterior ter retirado grande parte dos vazios urbanos, os objetos restantes que não pertencem à classe de edificação apresentam baixo grau de discriminação para todas as variáveis testadas.

Isto faz com que não seja possível separar, por exemplo: alguns trechos de ruas não pavimentadas das edificações que possuem muito desses sedimentos depositados em seus telhados. O mesmo acontece em algumas áreas onde objetos que representam solo nu úmido e coloração escura fossem confundidos com casas de telhado escuro.

Dado que, para o objeto ser considerado uma edificação, é necessário ter uma elevação, é natural que esses objetos projetem suas dimensões e criem uma sombra no terreno. Por isso, na tentativa de reduzir a confusão das edificações com os demais objetos, foi criada uma variável de relação de vizinhança que analisa a distância do objeto até a sombra mais próxima.

Para a detecção da sombra, foi criada uma variável calculada pela diferença entre a média da primeira componente da fusão com a média da banda 1 da multiespectral. A partir dela, foi trabalhada a variável distância máxima de 4 *pixels* da sombra.

### **Variáveis**

$$Sombra = Média(F1) - Média(M1)$$

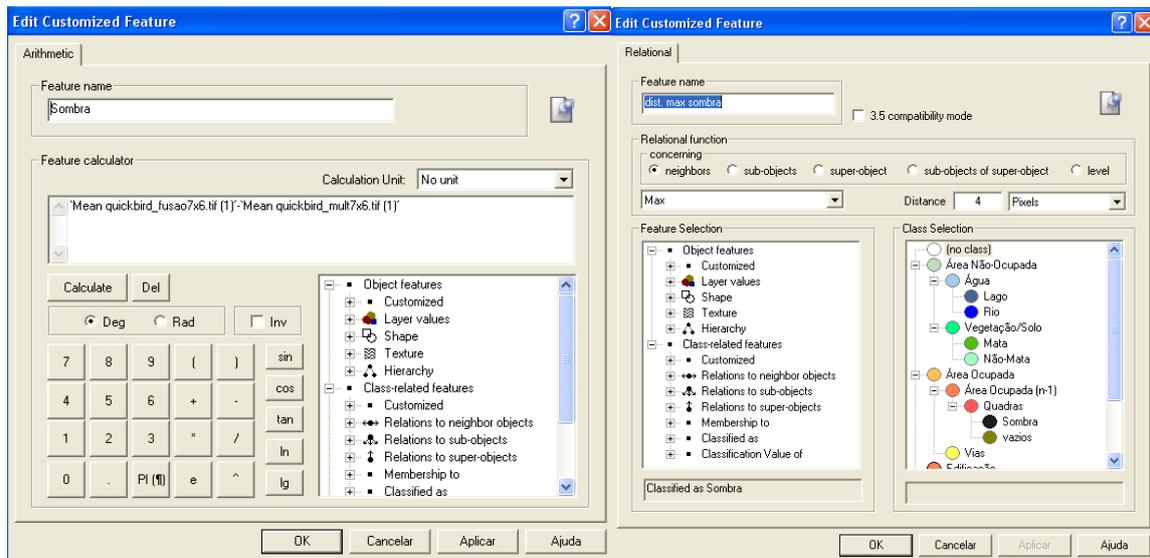
Onde F1 é a banda que contém a primeira componente principal da fusão e M1 é a primeira banda multiespectral (B – visível)

Distância máxima da sombra:

1 - quando a distância da sombra é menor que o objeto 4 *pixel*

0 - caso contrário.

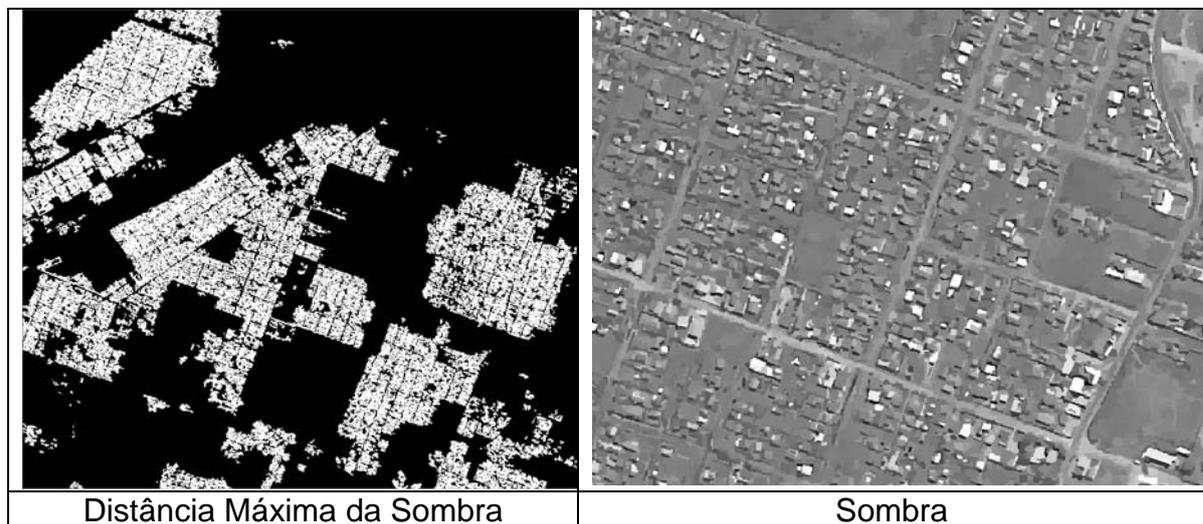
Figura 58 – Criação das variáveis sombra e distância da sombra



Fonte: Saída do E-cognition

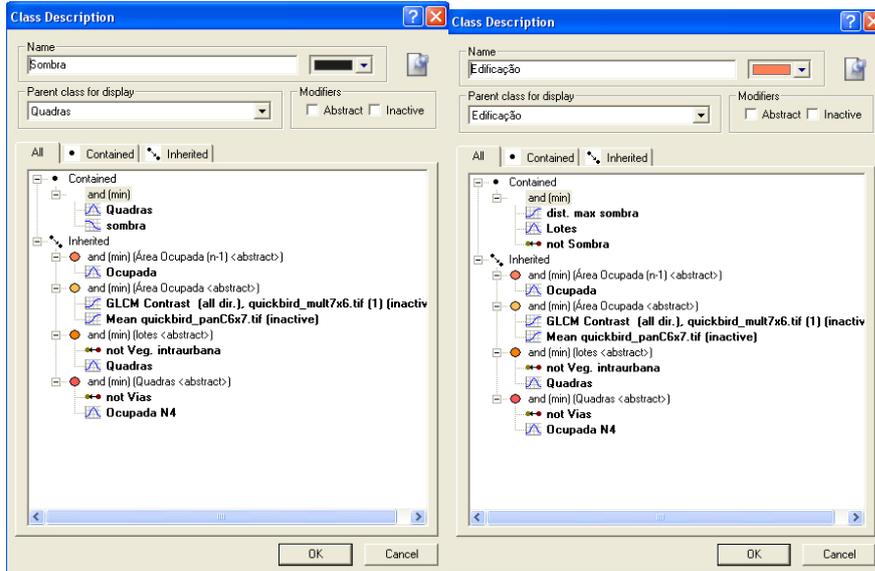
Como é possível notar na figura abaixo, a sombra sempre está localizada na face sul das edificações. Essa informação poderia trazer uma grande melhoria para o processo de classificação, mas não foi possível ser implementado neste trabalho por falta de recursos computacionais necessários no aplicativo.

Figura 59 – Comportamento das variáveis Sombra e Distância da Sombra



Fonte: Saída do E-cognition

Figura 60 – Combinações de variáveis para as classes sombra e edificação

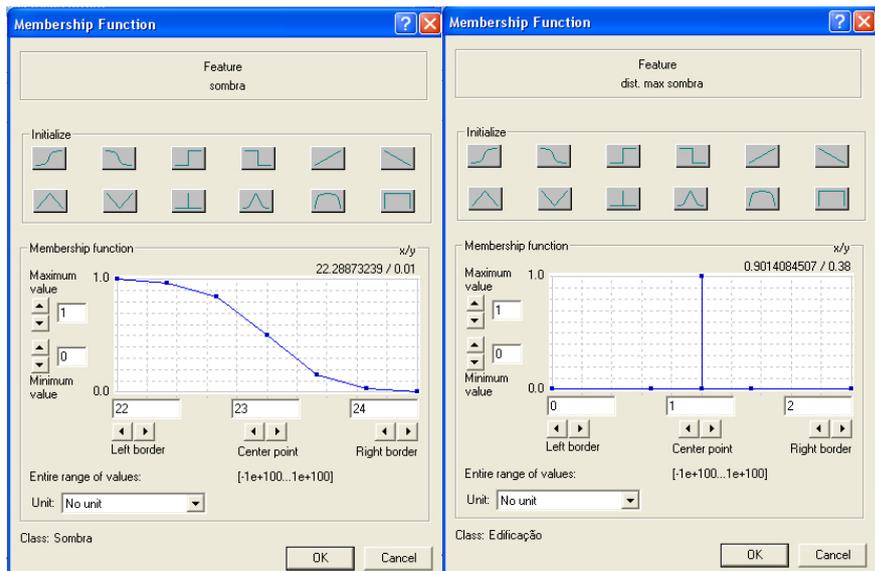


Fonte: Saída do E-cognition

Diferentemente dos outros casos, onde havia apenas duas classes, nesta etapa, uma classe não poderá ser apenas a negação da outra, já que é preciso se detectar as sombras em uma classe e determinar a distância a ela na outra.

Para determinar se o objeto é uma edificação, foi definida a função de pertinência do tipo “apenas um membro”, que classifica os que possuem distância de até 4 pixels da sombra.

Figura 61 – Funções de Pertinência para diferenciação da vegetação intra-urbana



Fonte: Saída do E-cognition

Apesar de apresentar objetos excessivamente fragmentados, e haver algumas confusões de solo exposto com telhados escuros na área de menor urbanização, e de terrenos e vias de areia com edificações de telhado claro, a classificação dimensiona com razoável fidedignidade a densidade das áreas ocupadas.

Foram utilizados os dois recortes de áreas ocupadas restituídas no *Arcview* para o estudo da segmentação para avaliar a qualidade da informação de densidade das edificações. Esta análise possibilitou verificar a coerência entre o grau de adensamento calculado a partir da classificação em comparação com o da restituição.

Tabela 3 – Cálculo do adensamento

Área	Adensamento		
	Classificação	Restituição	Diferença
Urbanizada	54%	46%	7%
Não-urbanizada	17%	8%	9%
Diferença	37%	38%	

Figura 62 – Resultado final do 5º nível de classificação



Fonte: Saída do E-cognition

Houve diferença inferior a 10% entre o adensamento calculado com objetos obtidos a partir da classificação e com os da restituição manual no *Arcview*. Porém, esta diferença se mantém praticamente a mesma quando são comparados os dois métodos de cálculo do adensamento entre a área urbanizada e não-urbanizada.

#### 6.4 CLASSIFICAÇÃO CONJUNTA

Da área total estudada, 57% foram classificados como áreas não-ocupadas, apresentando apenas algumas edificações e intervenções humanas isoladas. A maior parte dessa área possui vegetação rasteira ou solo exposto, com alguns pontos de plantio (40%). Apenas 10% são remanescentes de vegetação com cobertura vegetal mais densa, e os 7% restantes representam corpos d' água.

A área ocupada compreende 43% da imagem, mas apenas 8% da área total são classificados como edificação, com mais 5% relativo ao sistema viário no nível três. 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.

A figura abaixo traz um resumo dos objetos classificados em cada nível, o percentual da área que ele representa e as variáveis utilizadas para sua discriminação.

Figura 63 – Resumo da classificação, objetos e variáveis por nível

Nível	Classificação	Objetos	Variáveis
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>Área Ocupada: N° de objetos: 458, % Área Total: 43%</li> <li>Área Não-Ocupada: N° de objetos: 311, % Área Total: 57%</li> </ul>	<p><b>Variáveis:</b>                      Cor: Média banda pancromática                      Textura: GLCM - Contraste B1</p>
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>Lago: N° de objetos: 92, % Área Total: 6%</li> <li>Rio: N° de objetos: 24, % Área Total: 1%</li> <li>Mata: N° de objetos: 74, % Área Total: 10%</li> <li>Não-Mata: N° de objetos: 678, % Área Total: 40%</li> <li>Área Ocupada: N° de objetos: 750, % Área Total: 43%</li> </ul>	<p><b>Variáveis:</b>                      Cor: Média NDVI                      Razão da Banda 2                      Média da Banda 4                      Razão da Pancromática                      Forma: Densidade                      Textura: GLCM - Contraste Pan</p>
3		<ul style="list-style-type: none"> <li>Quadras: N° de objetos: 6159, % Área Total: 35%</li> <li>Vias: N° de objetos: 908, % Área Total: 5%</li> </ul>	<p><b>Variáveis:</b>                      Forma: Densidade</p>
4		<ul style="list-style-type: none"> <li>Lotes: N° de objetos: 25452, % Área Total: 17%</li> <li>Vegetação Intra-urbana: N° de objetos: 13359, % Área Total: 12%</li> </ul>	<p><b>Variáveis:</b>                      Cor: Média NDVI                      Razão da Banda 2                      Textura: GLCM-Homogeneidade (B2)</p>
5		<ul style="list-style-type: none"> <li>Edificações: N° de objetos: 42325, % Área Total: 8%</li> <li>Sombra: N° de objetos: 23210, % Área Total: 3%</li> </ul>	<p><b>Variáveis:</b>                      Cor: Média Banda 1                      Média da Fusão 1                      Relacionamento: Distância máxima da de 4 pixel da sombra</p>

Fonte: Saídas do E-cognition

Nem todas as classes de objetos utilizadas no processo de classificação hierárquica foram selecionadas para a criação do mapa temático final. O mapa resultante pode ser trabalhado até a escala de 1:10.000 (Figura 64). Algumas delas foram utilizadas para herdar classes superiores, como o caso da área ocupada no nível 4, ou como passo intermediário para facilitar a utilização das funções de discriminação, no caso das classes água e vegetação, ou ainda para ser utilizada como contexto, como é o caso da sombra, que criou uma relação de vizinhança com a classe edificação, esta sim de interesse final.

Figura 64 – Composição final do mapa temático



Fonte: Saída do E-cognition e Imagem Quickbird

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou avaliar a viabilidade de criação de mapas de ocupação da terra, a partir de processos de segmentação e classificação de imagens automatizadas, para servirem de auxílio ao planejamento e monitoração do uso da terra. A partir de uma aplicação prática, buscou-se construir metodologia passo-a-passo para identificar e classificar imagens que caracterizem áreas de ocupação urbana.

A hipótese central está na constatação de que o estabelecimento de uma metodologia para a seleção das informações necessárias à classificação, a partir do conhecimento do comportamento dos objetos, contribui para a redução dos níveis de erros e do processamento computacional na análise de cenários urbanos. A metodologia cresce em importância quando a segmentação orientada a objeto traz a possibilidade de se criar uma infinidade de medidas descritivas, antes não disponíveis para classificação pixel-a-pixel.

Outras hipóteses testadas são a de que existe a necessidade da utilização de informações cada vez mais contextualizadas às realidades locais, explorando variáveis de forma, textura e relações de vizinhança, não bastando somente as bandas espectrais originais dos sensores; e que as operações entre bandas e fusão com diferentes resoluções podem melhorar o desempenho da classificação.

O índice de vegetação NDVI foi útil para a segmentação e classificação neste estudo, mas o uso da fusão através do método de componentes principais não agrega novas informações para a classificação, logo pode ser descartada, utilizando apenas as bandas originais e o NDVI, reduzindo assim o número de variáveis no processo.

A metodologia se focou em três principais processos: a construção do conhecimento expresso pela rede semântica; a formação de objetos de interesse condizentes com a realidade através da segmentação; e a classificação dos objetos a partir da modelagem de seu comportamento.

Os três processos e suas interdependências foram explorados apontando as etapas fundamentais para garantir a qualidade do resultado dos mapas temáticos. É importante ressaltar que apesar da utilização de um *software* para segmentação e classificação com algoritmos já implementados, a automatização da segmentação e

classificação depende do entendimento do usuário sobre a área e do objetivo proposto pelo estudo.

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

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. 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, parte dos objetos resultantes precisaria de ajustes nos polígonos. Já os objetos de escala menores, quando analisados separadamente, não têm qualidade suficiente para ser avaliada sua área ou quantidade, restringindo seu uso.

A correta escolha da escala e das bandas para a segmentação de cada nível é fundamental para a obtenção de objetos com relevância prática, aproximando-os aos definidos na rede semântica, o que facilita sua classificação.

A utilização das funções de pertinência (Lógica *Fuzzy*) cria um critério de decisão sobre a melhor classe mais próxima do raciocínio humano, o que facilita o estabelecimento das regras de classificação. A utilização de conceitos de Inteligência Artificial na estruturação da rede semântica, estabelecendo relações como “é parte de, é tido de, sinônimo e conexo” pode auxiliar a transformar o conhecimento técnico em planejamento urbano e, na área de estudo, em regras de decisão para a implementação do processo de classificação.

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 estudar uma amostra representativa de cada classe e determinar quais descritores e variáveis são importantes para sua discriminação. O grau de discriminação criado para pré-

seleção das variáveis, aliado ao cálculo da correlação bivariada, a estatísticas descritivas e à visualização da distribuição dos dados no gráfico *Box-plot*, auxiliaram a definição das medidas, funções, parâmetros e operadores lógicos que determinaram a relação do objeto à classe. Este processo de seleção das variáveis reduziu a subjetividade e tornou mais eficiente a escolha das funções de pertinência que conduzirão à classificação.

Outra constatação foi a importância da utilização de informações de textura, forma, contexto, relações de hierarquia e vizinhança, em complemento às informações espectrais da imagem original. Com a integração do sensoriamento remoto e o SIG, as informações de relação de vizinhança, hierarquia e contexto terão cada vez mais importância nos processos de classificação, devido à necessidade de atualização dos sistemas de informação, através da captura periódica de imagens, auxiliando no monitoramento e controle do ordenamento territorial das cidades brasileiras.

A aplicação completa da metodologia, desde o pré-processamento da imagem até a classificação por nível e a construção do mapa temático, apresentou excelentes resultados para o objetivo proposto pelo estudo. Logo, pode-se afirmar que através de imagens de satélite de alta resolução é possível classificar objetos relevantes para o planejamento territorial e avaliar o crescimento urbano. Mas, para objetos menores, como é o caso das edificações, é possível apenas avaliar sua densidade, sem determinar sua enumeração e forma geométrica.

O grau de adensamento mostrou potencialidade de uso, já que ele manteve a proporcionalidade entre os métodos de cálculo pela classificação manual e automática quando aplicados na área urbanizada e na área não-urbanizada. Mas, se as áreas das edificações foram superestimadas ou subestimadas, é necessário um ajuste no grau de adensamento, através da comparação entre os dois métodos.

## 7.1 RECOMENDAÇÕES

A rede semântica deve orientar a seleção das escalas de segmentação e a hierarquia de classificação; mas ela deve ser reavaliada se ocorrer inconsistência na operacionalização.

O comportamento espectral e de forma dos objetos deve ser analisado antes da segmentação. Deve-se utilizar bandas que apresentem os menores valores de desvio padrão interno para a classe e a maior diferença entre as médias das classes para a mesma banda.

A segmentação orientada a objeto cria uma grande quantidade de novas possibilidades de medidas para a discriminação das classes, mas muitas dessas variáveis são redundantes; por isso, para evitar a tentativa de combinar variáveis que na prática explicam o mesmo comportamento é importante verificar a correlação entre elas.

A classificação hierárquica auxilia o processo de geração dos mapas temáticos, mas como um nível inferior sempre herda as propriedades do super-objeto, um erro na classificação será “arrastado” até o último nível de escala. Por isso, quanto maior o nível do erro cometido, maior a área a ser prejudicada.

O resultado da classificação por meio de interpretação visual foi satisfatório para os super-objetos, mas nos objetos menores é necessário buscar técnicas de avaliação para grande quantidade de informações que leve em conta a qualidade da segmentação, da estrutura semântica, além da própria classificação dos objetos.

## REFERÊNCIAS

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

BLASCHKE T.; LANG S.; STROBL J.; ZEIL P. *Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications*, 2000.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagem**, Curitiba: Ed. UFPR, 2004.

CHAVEZ, P. S.JR.; SIDES, C. S.; ANDERSON, A. J. *Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic*. **PE&RS**, V. 57, n°3, p.295-303. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing – USA, 1991.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. Editora: Ediciones Rialp/AS. Madrid, 1990. 41-48 p.

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.

FONSECA, A. M.; MARTINS, J. C. *Monitorização da Evolução da Cidade de Lisboa entre 2002 e 2005, por Detecção Remota*: LNEC/DBB – Núcleo de Geodesia Aplicada Proc, 2005.

FONSECA, A. M. *Classificação da ocupação do solo urbano, utilizando funções de pertença, sobre uma imagem Ikonos da cidade de Lisboa*. Lisboa: Conferência Nacional de Cartografia e Geodésia, 2002.

FONSECA, A. M. *Exploração de Imagens de Satélite de Alta Resolução*, Lisboa: ICT, 2004.

GONZÁLES R. C. & WOODS R. E. **Processamento Digital de Imagem**, São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2000.

Gonçalves, Luísa; Ana Fonseca (2001) – *Exploração de Imagens de Alta Resolução do Satélite Ikonos*. Comunicação apresentada ao VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG2001). Lisboa.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. *Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-Economic Attributes*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 65, n. 5, pp. 611-622, 1999.

HE C.; LI J.; ZHANG J.; PAN Y.; CHEN Y. *Dynamic monitor on urban expansion based on a object-oriented approach*, Republic of China: Beijing Normal University, 2003.

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.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2ª edição, Editora: John Wiley; Sons. New York 1987.

LONGLEY, P.; HARRIS, R. *Towards a new digital data infrastructure for urban analysis and modelling*. United Kingdom: University of Bristol, 1999.

LONGLEY P. A.; BARNESLEY M. J.; DONNAY J. P. *Remote Sensing and Urban Analysis*, 2001.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. 2ª edição, Editora: Edgard Blucher Ltda. São Paulo/SP 1992.

MASON O. S.; FRASER, C. S. *Image Sources for Informal Settlement Management*, Photogrammetric Record, 1998.

MOELLER M. S. *Remote Sensing for the Monitoring of Urban Growth Patterns*, Tempe: Arizona State University, International Institute For Sustainability, 2005.

NAPOLEÃO M. C.; LINGNAU C.; ANTUNES A. F. B. *A Influência dos Métodos de Reamostragem na Fusão de Imagens Landsat-5 TM e Spot Pancromática*, Curitiba: UFPR - Universidade Federal do Paraná, 1999.

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

PHALKE S. *Change Detection of Man-made Objects Using Very High Resolution Images*, University of Calgari Department of Geomatics Engineering, 2005.

PINHEIRO E. S. *Avaliação de Imagens Quickbird na Análise Geográfica de um Setor da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul*, São José dos Campos: INPE - Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, 2003.

PINHO, C. M. D.; KUX, H. J. H. *Dados do Quickbird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica*, São José dos Campos: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, Goiânia. Anais: INPE, 2005.

REPAKA S. R. *Comparing Spectral-Object Based Approaches for Extracting and Classifying Transportation Features Using High Resolution Multi-Spectral Satellite Imagery*, Mississippi: Mississippi State University, 2004.

ROSS, T. J. **Fuzzy Logic With Engineering Applications**, Nova Iorque: McGraw-Hill, 1995.

SCHWARZ, M.; STEINMEIER, C.; WASER, L. *Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodic approaches using high-resolution satellite data*

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

WALD, L.; RANCHIN, T.; MANGOLINI, M. *Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: Assessing the Quality of resulting Images*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, n. 6 , pp. 691-699, 1997.

WALTER V.; *Object-Based Classification of Integrated Multispectral and Lidar Data for Change Detection and Quality Control in Urban Areas*, Stuttgart-Germany, 2005.

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

Digitalglobe. QUICKBIRD imagery products – products guide. 2003. 54 p. Disponível em: <<http://www.digitalglobe.com>>.

MRYKA HALL-BEYER - Matriz de Co-ocorrência de Nível de Cinza -GLCM. Disponível em: <<http://www.fp.ucalgary.ca/mhallbey/>>