

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E**  
**TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

---

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA  
RESOLUÇÃO EM AMBIENTES DE  
ASSENTAMENTOS SUBNORMAIS NO MUNICÍPIO DE**

**JOÃO PESSOA**

**ALEX GARCIA XIMENES QUINTANS**

**Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco**

**Dissertação de Mestrado**

Recife, 2011

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E**  
**TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

**ALEX GARCIA XIMENES QUINTANS**

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO EM  
AMBIENTES DE ASSENTAMENTOS SUBNORMAIS NO MUNICÍPIO  
DE JOÃO PESSOA**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação defendida e aprovada no dia 11/08/2011.

**Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco**

Recife  
2011

Catalogação na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

Q7c Quintans, Alex Garcia Ximenes.

Classificação de imagens de alta resolução em ambientes de assentamentos subnormais no Município de João Pessoa / Alex Garcia Ximenes Quintans. - Recife: O Autor, 2011.

x, 99 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.

CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO EM  
AMBIENTES DE ASSENTAMENTOS SUBNORMAIS NO MUNICÍPIO  
DE JOÃO PESSOA**

POR

**ALEX GARCIA XIMENES QUINTANS**

Banca examinadora:

**Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco**  
Universidade Federal de Pernambuco  
*Orientador*

**Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves**  
Universidade Federal de Pernambuco

**Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima**  
Universidade Federal de Pernambuco

**Prof. Dr. Marcelo Antonio Nero**  
Universidade Federal de Pernambuco  
– DECART

**Prof. Dr. Luciano José de Oliveira Acioly**  
Embrapa Solos PE

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus amados pais  
Sebastião e Gladys que são  
meu suporte. A José Demílio  
Simões da Silva (*in memoriam*)  
que me incentivou e foi  
exemplo de um grande amigo e  
pesquisador .

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por conceder saúde e paz de espírito ao longo da pesquisa

A todos os professores do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao professor Admilson Pachêco que me orientou com sabedoria nesta pesquisa.

Ao professor Rodrigo que contribuiu para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Ao professor Eduardo Rodrigues Viana de Lima que com paciência e amizade enriqueceu a pesquisa com seu conhecimento.

A todos os companheiros de turma 2009 do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, em especial ao colega Jancerlan Gomes.

A meus pais e irmãs que foram meus pilares nessa jornada.

A minha vó, Agláia, que sempre teve os conselhos mais sábios quando precisei.

À minha noiva Isadora Louise pelo carinho e compreensão ao longo dessa jornada.

Ao pessoal da empresa Procenge por realizar concessões para realizar este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Cartográfica.

## RESUMO

QUINTANS, Alex Garcia Ximenes. **Classificação de imagens de alta resolução em ambientes de assentamentos subnormais no município de João Pessoa.** Recife, 2010.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

O crescimento acelerado do processo de expansão urbana gera situações de vulnerabilidade socioambiental através do surgimento de assentamentos espontâneos, os quais são ocupados por populações de baixa renda, sem infra-estrutura nem serviços urbanos. crescimento acelerado do processo de expansão urbana gera situações de vulnerabilidade socioambiental através do surgimento de assentamentos espontâneos os quais são ocupados por populações de baixa renda e sem infra-estrutura e serviços urbanos. O presente estudo procurou identificar através de uma análise baseada em objeto (OBIA) em imagens de alta resolução identificar áreas de assentamentos subnormais resultante do crescimento do município de João Pessoa. Os bairros de Manaíra, Bairro dos Ipês e Alto do céu foram escolhidos como área de estudo por terem características urbanísticas e sociais distintas. O estudo se baseou na segmentação multiresolução e na elaboração de critérios baseados na forma, textura, cor, contexto e na relação entre super-objetos e objetos. A classificação foi estrutura em uma árvore de processo, onde documentou todo procedimento partindo da segmentação a estruturação dos critérios a associação dos objetos da imagem as classes temáticas. Possibilitando a utilização desta informação em outras imagens com característica similares. As características passíveis de serem identificadas através de imagens de sensoriamento orbital de alta resolução são referentes às propriedades urbanísticas e ambientais, que neste trabalho foram utilizadas as irregularidades de ruas, lotes não inseridos em quadras, proximidades ou invasão de áreas de proteção ambientais e leitos de rios, irregularidade tamanhos e forma das edificações. O material utilizado nesta pesquisa foi imagens do sensor QuickBird NATURAL COLOR (3 bandas multi-espectrais fusionadas com a PAN) e o software Definiens Developer 7 para segmentação e classificação. A segmentação foi estruturada em três níveis através da estratégia de classificação top-down. As classes temáticas utilizadas foram quadras, estradas, vegetação, estradas (formal e informal), telhados vermelhos, telhados escuros, telhados/objetos claros, assentamentos subnormais e assentamentos informais. A fim de avaliar acurácia do produto gerado pela classificação foram adotados o índice de exatidão global e o coeficiente Kappa, os valores encontrados foram maiores que 80% e 0,75 respectivamente para cada método. As utilizações de informações temáticas possibilitaram uma melhor separação dos elementos asfálticos presente nas estradas e em algumas edificações, da mesma forma ocorreu entre a classe solo exposto e telhados cerâmicos. Verificou-se que os critérios estabelecidos condizem com a realidade dos assentamentos subnormais na cidade de João Pessoa. O método possibilita produzir informações sobre assentamentos subnormais coerentes com os níveis exigidos para estudos urbanos.

**Palavras-chave:** OBIA, assentamentos subnormais, João Pessoa, alta resolução.

## ABSTRACT

The accelerated process of urban social and environmental causes of vulnerability through the emergence of spontaneous settlements, which are occupied by low-income populations, without infrastructure or urban services. accelerated growth process of urban social and environmental causes of vulnerability through the emergence of spontaneous settlements which are occupied by low-income people and without infrastructure and urban services. This study sought to identify through analysis based on an object (OBIA) in high-resolution images to identify areas of substandard settlements resulting from the growth of the city of Joao Pessoa. Manaíra neighborhoods, Bairro Alto and Ipês of the sky were chosen as study area because they have different social and urban characteristics. The study was based on multiresolution segmentation and development of criteria based on shape, texture, color, context and the relationship between super-objects and objects. The classification structure was a process tree, where she documented the entire procedure starting from the segmentation criteria to structure the association of image objects thematic classes. Allowing the use of this information in other images with similar characteristics. The characteristics that can be identified by orbital remote sensing images of high resolution are related to planning and environmental properties, which were used in this work the irregularities of streets, lots not included in court, or invasion of nearby areas of environmental protection and beds rivers, irregular size and shape of buildings. The material used in this research was the image sensor QuickBird Natural Color (3-band multi-spectral fused with PAN) and the software Definiens Developer 7 for segmentation and classification. The segmentation was structured in three levels through the strategy of top-ranking down. The classes used were thematic blocks, roads, vegetation, roads (both formal and informal), red roofs, dark roofs, roof / light objects, substandard settlements and informal settlements. In order to assess the accuracy of product generated by the classification were adopted an overall accuracy and Kappa coefficient, the values were greater than 80% and 0.75 respectively for each method. The use of thematic information enabled a better separation of the elements present in the asphalt on some roads and buildings, as occurred between the class bare soil and ceramic tile. It was found that the criteria are consistent with the reality of substandard settlements in the city of Joao Pessoa. The method provides information on producing substandard settlements consistent with the required standards for urban studies.

**Keywords:** OBIA, substandard settlements, Joao Pessoa, high resolution.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.2. Organização da Dissertação.....	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. Sensoriamento remoto de resolução espacial muito alta (very high resolution - vhr) - quickbird-2.....	16
2.2. Os Assentamentos Subnormais.....	22
2.3. Panorama do sensoriamento remoto no estudo de assentamentos subnormais.....	24
2.4. Processamento digital de imagem e análise de imagem baseada em objetos.....	26
2.4.1. Segmentação.....	27
2.5. Classificação de imagens.....	37
2.6. Análise de Imagens Baseada em objetos – OBIA.....	41
2.7. Avaliação da Acurácia.....	44
<b>3. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>47</b>

3.1. Sistema de Indicadores Urbanos do Município de João Pessoa.....	51
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>58</b>
4.1. Materiais.....	58
4.2 Pré-processamento da imagem.....	58
4.3. Segmentações da Imagem.....	60
4.4. Avaliações da segmentação.....	63
4.5. Classes e Rede Hierárquica.....	64
4.6. Avaliações da Classificação.....	67
<b>5. Resultados e Discussão.....</b>	<b>68</b>
5.1. Segmentação da Imagem.....	72
5.2. Classificação da Imagem.....	76
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCD - *Charge Coupled Device*

CG - porcentagem de *pixels* corretamente agrupados

EUA - percentual de *under-segmentation*

FAC - Fundação de Ação Comunitária

GEOBIA - Objetos Geográficos Baseados em Análise de Imagem

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IHS – *Intensity Hue Saturation*

LAURBE/DA/CT/UFPB - Laboratório do Ambiente Urbano e Edificado

LIDAR - *Light Detection and Ranging*

MAXVER - máxima verossimilhança

OAM - matriz de área de sobreposição

OBIA - *Object-Based Image Analysis*

ONU - Organização das Nações Unidas

OS - percentual de *over-segmentation*

PMJP - Prefeitura Municipal de João Pessoa

SETRAPS/SETRASS - Secretaria de trabalho e Promoção Social

SIG - Sistema de Informações Geográficas

## LISTA DE EQUAÇÕES

	Página
<b>Equação 1</b> .....	38
<b>Equação 2</b> .....	39
<b>Equação 3</b> .....	39
<b>Equação 4</b> .....	39
<b>Equação 5</b> .....	50
<b>Equação 6</b> .....	50
<b>Equação 7</b> .....	59
<b>Equação 8</b> .....	59
<b>Equação 9</b> .....	63
<b>Equação 10</b> .....	64
<b>Equação 11</b> .....	65
<b>Equação 12</b> .....	66
<b>Equação 13</b> .....	66
<b>Equação 14</b> .....	66

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 01:</b> Bandas multiespectrais disponíveis no WorldView-2.....	25
<b>Figura 02:</b> Relação das bandas multi-espectrais entre os sensores <i>Quickbird</i> e WorldView 1 e 2.....	26
<b>Figura 03:</b> Imagem segmentada através do método <i>Quad Tree</i> . .....	34
<b>Figura 04:</b> Diagrama da segmentação multi resolução.....	37
<b>Figura 05:</b> Resultado de uma segmentação multi resolução.....	38
<b>Figura 06:</b> Representação dos parâmetros de similaridade referentes à forma.....	40
<b>Figura 07:</b> Hierarquia semântica desenvolvida e embasada na classificação orientada a objeto. ....	46
<b>Figura 08:</b> Matriz de confusão referente a classe água.....	49
<b>Figura 09:</b> Mapa de localização do município de João Pessoa.....	52
<b>Figura 10:</b> Mapa de localização das áreas onde foram realizados os experimentos.....	54
<b>Figura 11:</b> Localização das áreas de interesse social na cidade de João Pessoa-PB.....	55
<b>Figura 12:</b> Segmentação <i>top-down</i> .....	62
<b>Figura 13:</b> Classe temática.....	65
<b>Figura 14:</b> Segmentação com diferentes critérios de escala.....	72
<b>Figura 15:</b> Segmentação escolhida para ser aplicada no Nível 1 do experimento.....	73
<b>Figura 16:</b> Comparação entre imagens com valores de formas diferentes. Os valores da escala e compacidade são os mesmos.....	74
<b>Figura 17:</b> Relação entre os polígonos gerados pela segmentação multi resolução e o polígono de referência.....	74
<b>Figura 18:</b> Comparação entre segmentação e polígono de referência.....	75
<b>Figura 19:</b> Ordem de classificação estabelecida na árvore de processo.....	77
<b>Figura 20:</b> Árvore de processo utilizado no nível 1 com todas as classes temáticas deste nível de informação.....	77
<b>Figura 21:</b> Critérios utilizados para gerar a classe "sombra".....	71
<b>Figura 22:</b> Correlação entre as classes telhados vermelhos e vegetação em relação a .....	79

<i>Ration green.....</i>	
<b>Figura 23:</b> Função fuzzy “menor que” aplicado no critério <i>Hue</i> .....	80
<b>Figura 24:</b> Critérios da classe Telhados escuros.....	80
<b>Figura 25:</b> Matriz de confusão gerada pelo Definiens Developer 7 para o nível -1.....	81
<b>Figura 26:</b> Fluxograma da classificação dos assentamentos subnormais.....	82
<b>Figura 27:</b> Descrição da classe assentamento subnormal.....	83
<b>Figura 28:</b> Mapa de Assentamento Subnormal do bairro Manaíra.....	85
<b>Figura 29:</b> Mapa de Assentamento Subnormal do bairro dos Ipês.....	86
<b>Figura 30:</b> Mapa de Assentamento Subnormal do bairro Alto do Céu.....	87

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 01:</b> Principais satélites de alta resolução em atuação.....	22
<b>Tabela 02:</b> Resolução Espacial de Sistemas de Sensoriamento Remoto.....	23
<b>Tabela 03:</b> Nomenclatura da resolução Espacial de Sistemas de Sensoriamento Remoto.	24
<b>Tabela 04:</b> Desempenho da classificação segundo o índice kappa.....	51
<b>Tabela 05:</b> Índice de Desenvolvimento Urbano por bairro, por ordem de colocação, J. Pessoa/PB (2004).....	52
<b>Tabela 06:</b> Assentamentos Subnormais.....	56
<b>Tabela 07:</b> Tabela de objetos de interesse para classificação.....	60
<b>Tabela 08:</b> Características dos níveis de segmentação.....	63
<b>Tabela 09:</b> Caracterização das vias.....	69
<b>Tabela 10:</b> Características dos assentamentos.....	70
<b>Tabela 11:</b> Características dos elementos naturais.....	71
<b>Tabela 12:</b> Parâmetros testados para segmentação no Nível -1.....	75
<b>Tabela 13:</b> Parâmetros testados para segmentação no Nível -1 com escala constante igual a 20.....	76

## LISTA DE QUADROS

	Página
<b>Quadro 01:</b> Evolução recente das áreas de interesse social e sua população.....	54

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização trouxe grave desequilíbrio social; problemas ambientais; carência de moradias e de serviços públicos adequados; poluição crescente; e falta de saneamento para boa parte da população que vive nas grandes cidades e cidades médias, decorrente da escassez de investimentos públicos e planejamento urbano. O IBGE (2001) constatou que há no Brasil 16.433 favelas cadastradas. No período de 1999 a 2001, o número de domicílios em favelas cresceu de 900 mil para mais de 2,3 milhões. Desse total de domicílios, mais de 1,6 milhão (70%) estão localizados nos 32 maiores municípios brasileiros, aqueles com mais de 500 mil habitantes. Nas regiões metropolitanas e cidades de grande porte do Brasil vivem mais de 12,4 milhões de pessoas em áreas com carências sociais e com infra-estrutura precária, sendo esse valor o dobro do publicado pelo IBGE MARQUES *et al* (2007).

Com o intuito de amenizar os efeitos negativos do desenvolvimento urbano, o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2008) estabelece normas que regularizam o uso da propriedade urbana em prol do bem-estar dos cidadãos e do equilíbrio ambiental, como por exemplo, proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído. Suas diretrizes visam corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente e a população quanto ao gerenciamento na oferta de equipamentos urbanos e comunitários, transporte e serviços públicos adequados aos interesses e necessidades da população. Nesse

contexto os assentamentos subnormais são importantes e o seu estudo é de grande valia.

Neste trabalho serão estudados os assentamentos subnormais contidos nos bairros de Manaira, Alto do Céu e Ipês, localizados ao norte do município. Alto do céu e Ipês tem uma renda per capita menor que Manaira e fazem limite com o município de Cabedelo. Para tal feito serão utilizadas imagens orbitais de alta resolução espacial.

A constante evolução do sensoriamento remoto tem possibilitado, mais recentemente, a detecção de alvos cada vez menores, devido à melhoria da resolução espacial e radiométrica. A resolução espacial dos sensores de hoje é capaz de fornecer detalhes espaciais compatíveis com a cartografia urbana que exige escalas entre 1:1.000 e 1:10.000.

Sensores com capacidade de resolução submétrica, tais como Ikonos (1m), QuickBird (0,61m), GeoEye-1(0,41m) e WorldView-1 e 2 (0,46 m), têm sido utilizados para o mapeamento urbano (AMINPOURI, SLIUZAS, & KUFFER, 2009; DURIEUX, LAGABRIELLE, & NELSON, 2008). A junção dessas informações com sensores LIDAR, atrelado também a novos métodos de classificação automática ou semi-automática, possibilitam em um espaço de tempo curto a realização de mapeamentos do uso e da cobertura do solo urbano. Sendo assim esses sensores constituem ferramenta de grande aplicabilidade em diversas áreas do planejamento urbano.

Os métodos tradicionais de classificação *pixel-a-pixel* ou por região (segmentação), apresentam limitações na identificação com fidelidade de áreas heterogêneas, quando utilizados em imagens de alta resolução, como, por exemplo, no caso do uso do solo intra-urbano devido à ocorrência do efeito sal-e-pimenta, HUSSAIN e SHAN (2010). Neste exemplo a maior dificuldade é devida a semelhança do comportamento espectral de diferentes materiais da superfície urbana. Por exemplo, o elemento concreto pode aparecer tanto no pavimento de estradas como em edificações, causando confusões entre classes diferentes (estradas e edificações). Outro exemplo é a variação espectral dentro de uma mesma classe, como ocorre em edificações, que tem suas coberturas compostas por diferentes materiais. Deste modo é necessário extrapolar as características radiométricas.

Para solucionar esse problema, entre outros, tem sido aplicada a análise de imagem baseada em objeto (*Object-Based Image Analysis* – OBIA), que se diferencia de outras técnicas automáticas e semi-automáticas de classificação por não analisar o *pixel* separadamente, levando em conta também a textura, as relações espaciais e a geometria visando modelar o conhecimento do foto intérprete. Os objetos com características semelhantes são agrupados em classes, e estas são organizadas em forma de rede hierárquica, onde as classes de um nível podem herdar características de um nível superior. Os objetos são criados a partir de uma segmentação multiresolução. O objetivo básico do processo de segmentação deve ser o de gerar objetos tão significativos quanto possível. Isto implica que a forma de

cada objeto em questão deve, idealmente, ser representada por um objeto proveniente da segmentação, BLASCHKE (2010).

Outra vantagem dessa técnica, em especial do *software* alemão *Definiens Developer*, é a possibilidade de usar informações temáticas, por exemplo, arquivos vetoriais de ruas e quadras, para auxiliar na classificação das imagens de satélite (BENZ, 2009; MEDINA, 2007; ZHOU et al., 2009). Deste modo a classificação orientada a objeto supera as limitações espectrais das imagens de alta resolução, e confusões de classes na extração das informações (MATHIEU; ARYAL; CHONG, 2007; PINHO, 2005).

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho são os seguintes:

### **1.1.1. Geral**

Identificar assentamentos subnormais na cidade de João Pessoa, através da análise baseada em objeto em imagens orbitais de alta resolução espacial (*QuickBird*).

### **1.1.2. Específicos**

- a) Analisar e estabelecer os critérios para segmentação multi-resolução;
- b) Identificar os critérios que caracterizam os assentamentos informais;
- c) Estabelecer uma rede hierárquica de classes temáticas;
- d) Analisar a exatidão temática para este tipo de classificação.

## **1.2. Organização da Dissertação**

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica da pesquisa, com o objetivo de embasar cientificamente os temas utilizados, como também os conceitos utilizados ao longo do trabalho . Os tópicos abordados são: uma breve descrição sobre sensoriamento remota de alta resolução e os sensores utilizados, conceito de assentamento informal, a utilização do sensoriamento remoto nos estudos de assentamentos informais, segmentação multi resolução, análise de imagem baseada em objeto, classificação de imagem. No capítulo 3 é apresentada a área de estudo sob o enredo dos fatores geográficos e socioeconômicos relacionados aos assentamentos informais. No capítulo seguinte, o 4, a metodologia do trabalho é descrita de forma detalhada. No capítulo 5 são expostos os resultados e a avaliação dos resultados da classificação. Posteriormente, no Capítulo 6, são tecidas as considerações finais e apresentadas as perspectivas para trabalhos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será tratado os conceitos utilizados neste trabalho referente a análise de imagem baseado em objeto e assentamentos subnormais a partir de uma revisão bibliográfica.

### 2.1. Sensoriamento remoto de resolução espacial muito alta (*very high resolution - vhr*) - *quickbird-2*

O avanço das tecnologias da geoinformação vem possibilitando a construção de novos paradigmas para obtenção e processamento de dados espaciais. No âmbito do sensoriamento remoto, o avanço computacional de *software* e *hardware* tem permitido captar faixas espectrais menores e em maior quantidade e identificar alvos de nível submétrico. Esses avanços acarretaram mudança nas metodologias da extração de informação dessas imagens.

Até 1999 o satélite indiano IRS-1 C/D era considerado de alta resolução espacial (5,8 metros pancromático e 23 metros multi-espectral). No início de 2000 as imagens do satélite americano Ikonos passaram a ser comercializadas, com resolução espacial de 1 metro no modo pancromático e 4 metros no multi-espectral de resolução espacial (BLASCHKE; KUX, 2007). O *QuickBird-2* adquire os dados de 11 bits em cinco bandas espectrais, cobrindo as faixas de comprimento de onda pancromática (525-924 nm), azul (447-512 nm), verde (499-594 nm), vermelha (620-688 nm) e infravermelho próximo (755 - 874 nm). Na visada NADIR, a distância nominal da amostra do solo é de 0,61 m (pancromático) e 2,44 m (multi-espectral), com uma largura de faixa nominal de 16,5 km ,produtos básicos são apresentadas na resolução do sensor nativo e largura de faixa da aquisição da imagem, e dos

produtos Standard ou Ortho normalmente são re amostradas para uma resolução pancromática de 0,6 m ou 0,7, (DIGITALGLOBE, 2005). O sistema de varredura do satélite é do tipo *pushbroom linear array* (varredura eletrônica em fileira linear), equipado com detectores do tipo *Charge Coupled Device* (CCD).

A partir de 2007, até outubro de 2009, uma série de satélites foi lançada com resolução espacial melhor que 0,61 m, como pode ser visto na Tabela 01.

TABELA 01: Principais satélites de alta resolução em atuação.

ESPECIFICAÇÕES/SATÉLITES	Ikonos	QUICKBIRD	GEOEYE-1	WorldView-1	WorldView -2
<b>Número de Bandas</b>	PAN e MS	PAN e MS	PAN e MS	PAN	PAN e MS
<b>Resolução espacial</b>	0,80m (PAN) e 3,2m (MS)	0,60m (PAN) e 2,4 m (MS)	0,41(PAN) e 1,65 (MS)	0,50 m	0,46 (PAN) e 1,84 (MS)
<b>Tempo de revisita</b>	3 dias	3,5 dias	3 dias	4,6 dias	3,7 dias
<b>Faixa Imageada</b>	11,3 km (NADIR)	16,5 km (NADIR)	15,2 km (NADIR)	17,6 km(NADIR)	16,4 km (NADIR)
<b>Período em operação</b>	Setembro de 1999 até o presente	Abril de 2002 até o presente	Setembro de 2008 até o presente	Setembro de 2007 até o presente	Outubro de 2009 até o presente
<b>Altitude da Órbita</b>	681 km	450 km	681 km	496 km	770 km

Fonte: DIGITALGLOBE (2009); SPACE IMAGING (2009).

Em relação à nomenclatura utilizada para classificar as resoluções espaciais, Ehlers (2005) define seis categorias, como pode ser visto na tabela 02. O termo

"Ultra-alta" utilizado pelo autor é empregado usualmente para definir resoluções menores que um metro. Em geral são utilizados os termos "muito alta" ou "altíssima" resolução espacial ("very high"), como pode ser visto nos trabalhos de Durieux, Lagabrielle, & Nelson, 2008; Hu, 2005; Kong, 2006; Trias-Sanz, 2008 e Zhou, 2008.

TABELA 2 - Resolução Espacial de Sistemas de Sensoriamento Remoto

RESOLUÇÃO	NOMENCLATURA	EXEMPLOS DE SENsoRES
< 1 m	Ultra-alta	Sensores aerotrasnportados, <i>GeoEye-1</i> (pan), <i>WorldView-1</i> (pan) e <i>WorldView-2</i> (ms), Ikonos (pan), <i>QuickBird-2</i> (pan)
1 - 4 m	Muito Alta	Ikonos (ms), <i>QuickBird-2</i> (ms), IRS(pan)
4 - 10 m	Alta	SPOT (pan)
10 - 50 m	Média	ASTER(ms), Landsat -TM/TM+ (pan,ms), SPOT (ms), CBERS-2/CCD(ms)
50 - 250m	Baixa	<i>Landsat</i> - MSS, CBERS-2/IRNSS(ms)
> 250m	Muito baixa	NOAA

Fonte: Adaptação de Ehlers (2005).

Entre a utilização dos termos alta e muito alta, ainda não há um consenso entre os pesquisadores. Bhatta (2010) utiliza a nomenclatura para resoluções menores que 0,5 metros como sendo "extremamente-alta", e "muito alta" como

sendo maior que 0,5 metros até 1 metro (ver Tabela 03). Como exposto anteriormente neste trabalho será utilizada a denominação "alta" para o sensor *QuickBird*. Neste trabalho será utilizada a denominação "alta" resolução espacial para o sensor *QuickBird*, devido que as correntes de pesquisas dos sensores orbital desse gênero no Brasil ainda este termo para sensores com resolução espacial menos que 1 metro, como pode ser visto nos trabalhos de ANTUNES e CORTESE (2007); ARAÚJO *et al.* (2007); BARROS *et al.* (2011).

TABELA 03 - Nomenclatura da resolução Espacial de Sistemas de Sensoriamento

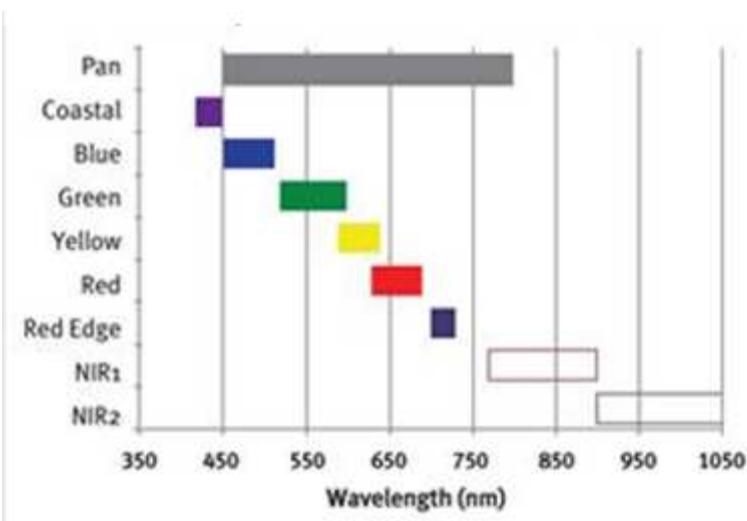
## Remoto

RESOLUÇÃO	NOMECLATURA	EXEMPLO DE SENORES
0,1 - 0,5 m	Extremamente-Alta	sensores aerotransportados, GeoEye-1(pan), <i>WorldView-1</i> (pan) e <i>WorldView-2</i> (ms)
>0,5 - 1 m	Muito Alta	Ikonos (pan), <i>QuickBird</i> (pan)
>1 - 4 m	Alta	Ikonos (ms), <i>QuickBird</i> (ms), IRS(pan)
>4 - 12 m	Média	SPOT (pan)
>12 - 50 m	Baixa	ASTER(ms), Landsat -TM/TM+ (pan,ms), SPOT (ms), CBERS-2/CCD(ms)
>50 - 250 m	Muito baixa	Landsat - MSS, CBERS-2/IRNSS(ms)

>250 m	Extremamente-Baixa	NOAA
--------	--------------------	------

Fonte: Adaptação de Bhatta (2010).

No tocante à resolução espectral, ocorreu um desenvolvimento em relação aos sensores submétricos. Após seu lançamento em 2009, o *WorldView-2* galgou um marco, quando até aquele momento o número de bandas espectrais utilizadas por sensores de resolução espacial muito alta estava limitada às bandas azul, verde, vermelha e infra-vermelho próximo. A inovação do *WorldView-2* foi a de expandir a resolução espectral para 8 bandas (ver Figura 01). A seguir são mostradas essas novas bandas e suas aplicações.

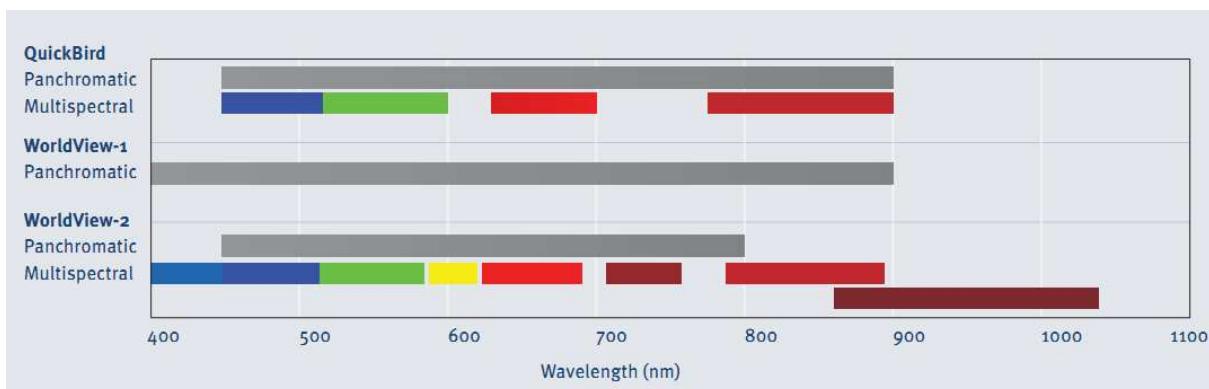


**Figura 1 - Bandas multiespectrais disponíveis no *WorldView-2*. Fonte: DIGITALGLOBE,**

**2010**

A faixa *Coastal* (400 - 450 nm) encontra-se antes da faixa azul, e pode ser aplicada em estudos oceanográficos, para identificação de características de

penetração de água e estudos sobre técnicas de correção atmosférica. A Banda Yellow (585-625 nm) tem como aplicação o auxílio de correção de cor para imagens "true-color". A Banda Red Edge (705-745 nm) pode ser aplicada em estudos relacionados com a saúde de plantas através do teor de clorofila. A banda Near Infrared 2 - NIR2 (860-1040 nm) tem aplicabilidade em estudos de vegetação e de biomassa e uma característica dessa banda é que ela se sobrepõe à infravermelha-próxima, mas é menos afetada pela influência atmosférica (DIGITALGLOBE, 2010). Uma maior abrangência espectral favorece a identificação de alvos. Na figura (02) pode ser vista a relação entre as bandas dos sensores *QuickBird*, *WorldView 1* e *2*.



**Figura 2 - Relação das bandas multi-espectrais entre os sensores *Quickbird* e *WorldView 1* e *2*. Fonte: DIGITALGLOBE, 2010.**

Esta constante evolução do sensoriamento remoto de alta resolução espacial permite avanços nos estudos ligados às áreas urbanas e de planejamento. A integração de dados permite melhorar a qualidade e precisão das informações, como por exemplo o uso integrado de imagens *QuickBird* com imagens LIDAR (MEDINA, 2007) ou até mesmo imagens de radar.

## **2.2. Os Assentamentos Subnormais**

Com base no conceito estabelecido pela Organização das Nações Unidas - ONU (UN-HABITAT, 2003), assentamentos subnormais são áreas onde os grupos de unidades habitacionais foram construídos em terras públicas ou particulares de forma ilegal, moradias não planejadas e áreas onde a habitação não está em conformidade com o planejamento atual e regulamentos de construção. Existe, na realidade, uma vasta gama de terminologias que diferenciam "favela", "ocupação subnormal" e "assentamento subnormal". Estes termos são usados para se referir às habitações ou ao conjunto delas que são relegadas às populações mais desfavorecidas (BARROS, 2009). Portanto, a utilização do termo assentamento subnormal não é uma questão apenas de definição de unidade geográfica, mas, antes de tudo, é uma questão conceitual.

O termo favela é brasileiro, empregado de acordo com o senso comum como uma área pobre no espaço intra-urbano (VALLADARES, 2005). Até o ano de 2001 o IBGE utilizava a denominação "favela e assemelhados" que foi substituído por aglomerados subnormais. Este termo trata-se de uma categoria operacional criada pelo IBGE, sendo este caracterizado como áreas carentes de infra-estrutura com mais de cinqüenta e um domicílios, construção em terrenos de propriedade alheia (pública ou particular) na qual a obtenção de título de propriedade tenha ocorrido há dez anos antes ou menos. A definição do IBGE recebe críticas em diversos trabalhos de LEITE (2010); BARROS (2009); AZEVEDO JUNIOR (2008); PASTERNAK (2008); MARQUES (2007) e COSTA e NASCIMENTO (2005), sobre a

dificuldade de utilizar o termo aglomerado subnormal e consequentemente o declínio de pesquisas que empregam este conceito.

Costa e Nascimento (2005) compararam as definições de "favela" de 16 capitais brasileiras e a definição do IBGE e constataram que os critérios mais comuns nas definições das prefeituras são: a legalidade da posse e a falta de infraestrutura básica e urbanística, encontrados em 15 e 13 prefeituras, respectivamente. Os critérios de tempo de posse e a quantidade de domicílios, termos este usados pelo IBGE, são encontrados em apenas uma prefeitura, mostrando ser um dado de difícil constatação. Os mesmos autores realizaram também a comparação entre as definições do IBGE e da ONU. Algumas das diferenças entre os critérios utilizados pela ONU que não são utilizados pelo IBGE são: material de construção e número mínimo de moradores por cômodo, por exemplo. O IBGE apresenta ainda dois critérios que a ONU não considera: tempo de posse da terra e quantidade de domicílios. Vale salientar que a denominação dessas áreas é de assentamentos subnormais.

O limite inferior de 51 moradias, estabelecido para o setor censitário de aglomerado subnormal, tende a subestimar a contagem das favelas (MARQUES, 2007). Segundo dados da Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (PNAD), realizada pelo o IBGE, em 2001 aproximadamente 3,92% do total de domicílios existentes no Brasil estão inseridos em aglomerados subnormais. No entanto, cabe mencionar que essa pesquisa subestima o número de habitações informais no Brasil, já que não contabiliza os aglomerados com menos de 50 unidades habitacionais. Os dados do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM)

---

revelam que esta proporção pode ser maior que 14% (IBAM, 2004). Segundo Costa & Nascimento (2005), que avaliaram 727 municípios brasileiros que declararam possuir cadastro de favelas ou assemelhados, 222 estão situados nas classes com média inferior a 50 domicílios por favela.

A utilização do termo assentamento subnormal nesta pesquisa visa tornar tangível a análise comparativa com outros trabalhos envolvendo esta temática MATHENGE (2011); HOFMANN *et al.*, (2008) e ANTUNES & CORTESE (2007), tendo em vista que esse conceito é mais abrangente e mais tangível pelo sensoriamento remoto. HOFMANN *et al.*, (2008) elabora uma ontologia para ser aplicado na detecção de assentamentos subnormais através da técnica OBIA na cidade Rio de Janeiro. MATHENGE (2011) também utiliza ontologia para representar assentamentos subnormais na cidade Kisumu, no Quênia, posteriormente transfere essa ontologia para o OBIA. Os resultados dos dois autores que utilizaram ontologias e OBIA demonstraram a viabilidade da abordagem. Eles afirmam que o uso de ontologias consegue melhor informar o reconhecimento de favelas em conjunto com OBIA. Os autores citados anteriormente utilizaram indicadores espectrais, forma, tipologia, direção, textura e vizinhança como descritores de assentamentos subnormais.

### **2.3. Panorama do sensoriamento remoto no estudo de assentamentos subnormais**

O aumento da população mundial juntamente com a expansão das cidades acarreta impactos negativos no meio-ambiente e na qualidade de vida da população. A informalidade das moradias é um dos pontos negativos da expansão rápida das

cidades, principalmente nos países em desenvolvimento, que neste caso o crescimento sucedeu de forma desordenada (PINA, ALMEIDA, & PINA, 2010).

O déficit de políticas de habitação eficientes, além da inexistência de metodologias para a atualização de dados compatíveis com a dinâmica espacial e temporal das habitações informais implica na necessidade do desenvolvimento de métodos sólidos efetivos na identificação e monitoramento do desenvolvimento subnormal (SLIUZAS et al., 2008).

Informação espacial confiável sobre assentamentos subnormais é vital para qualquer ação de melhoria das condições de vida (HOFMANN et al., 2008). Estas imagens fornecem níveis sem precedentes de informações espaciais sobre a superfície da Terra e, especificamente, devido ao aumento da qualidade e detalhes das informações, permitem a elaboração de mapas de cobertura e uso do solo intra-urbano de forma mais eficiente e produtiva (HUSSAIN & SHAN, 2010).

A utilização de sensores remotos de resolução espacial muito-alta permite que técnicas de sensoriamento remoto e SIG monitorem adequadamente estes assentamentos subnormais (KUX et al. 2009; DURIEUX et al. 2008; ZHOU, 2008). Os métodos tradicionais de classificação *pixel-a-pixel* ou por região (segmentação), apresentam limitações na identificação com fidelidade de áreas heterogêneas, quando utilizados em imagens de alta resolução, como, por exemplo, no caso do uso do solo intra-urbano (MATHIEU et al. 2007). As imagens de alta resolução alteraram o foco da classificação, onde antes um *pixel* representava vários elementos imageados; nas imagens de alta resolução um objeto é representado por meio de vários *pixels*. Neste exemplo a maior dificuldade é devida a semelhança do

---

comportamento espectral de diferentes materiais da superfície urbana. Deste modo é necessário extrapolar as características radiométricas e transportar as propriedades temáticas, geométricas e topológicas, como por exemplo: textura, distância, localização, conceitos de vizinhança e forma.

O método de classificação que consegue agregar esses elementos é o OBIA por considerar os objetos ou segmentos e não apenas as respostas espectrais do *pixel*, de tal forma que cada objeto tenha atributos próprios e as propriedades que lhe deram origem gerem as classes através de uma rede hierárquica (QIAN; ZHOU; HOU, 2007). Trabalhos como os de Aminipouri, Sliuzas, & Kuffer (2009); Bhatta (2010); Kux H. A., (2008) e Mathenge (2011), foram realizados utilizando deste método e aplicados à áreas urbanas.

#### **2.4. Processamento digital de imagem e análise de imagem baseada em objetos**

Os conceitos de percepção visual são difíceis de entender, uma vez que o funcionamento exato do cérebro humano ainda não é conhecido. Nas palavras de Gordon (GORDON, 2004), "*a percepção visual utiliza não só o olho que é uma estrutura de complexidade formidável do cérebro, que nos seres humanos é composto por 10 mil milhões de células que interagem de maneira ainda não compreendida. A nossa experiência de ver é o sistema mais complicado já conhecido.*" Vários pesquisadores que trabalham nesta área poderiam formular teorias para explicar muitos dos aspectos da percepção visual. No entanto, nenhuma teoria pode ser vista como verdadeiramente abrangente. Com o melhor

entendimento de cada nova teoria e análise dos pontos fortes e fracos, a compreensão da percepção poderá crescer.

Os objetos primitivos são os que dão forma às cenas, à fotografia, ou à uma imagem. Por exemplo, quando nós olhamos para uma fotografia, nós a analisamos decompondo-a em vários objetos e utilizamos propriedades, tais como forma, textura, cor, contexto e outras para compreender a cena. O cérebro humano tem a capacidade de interpretar ricas informações contidas nas cenas e intuitivamente identifica objetos tais como os carros, casas, campos de golfe, e outras características presentes na cena. Nossos poderes cognitivos permitem que nós exploremos instantaneamente o conhecimento já armazenado em nossos cérebros e convertem essas informações em uma base de regras para interpretação da imagem.

#### **2.4.1. Segmentação**

Segundo Medina (2007), a segmentação em sensoriamento remoto refere-se ao particionamento de uma imagem digital em regiões não sobrepostas, sendo cada uma destas regiões um conjunto de pixels conectados a partir de parâmetros estabelecidos. É nesta etapa onde são definidos os objetos ou regiões das imagens a serem classificadas ou analisadas. Existem diversos algoritmos de segmentação de imagens, os quais podem ser divididos em três grupos, denominados de: Segmentação por Descontinuidade, Segmentação por Similaridade, Segmentação Quad Tree e Segmentação Multi Resolução.

a) Segmentação por Descontinuidade (Detecção de Bacias)

Os algoritmos baseados na descontinuidade dividem a imagem em segmentos e detectam mudanças abruptas dos níveis de cinza de uma cena. Para que isso seja possível é necessário que se defina um limiar para que, ao se encontrar um *pixel* com um valor superior a este limiar estabelecido, tenha-se o início da detecção da borda. Dentro desta ótica, uma imagem binária é gerada com valores 1, referente à borda, e 0, referente às regiões de não bordas. Esta imagem binária, por sua vez, é rotulada de forma que as regiões com valores 0 sejam limitadas pelas regiões com valores 1 (MEDINA, 2007; PEREIRA, 2006).

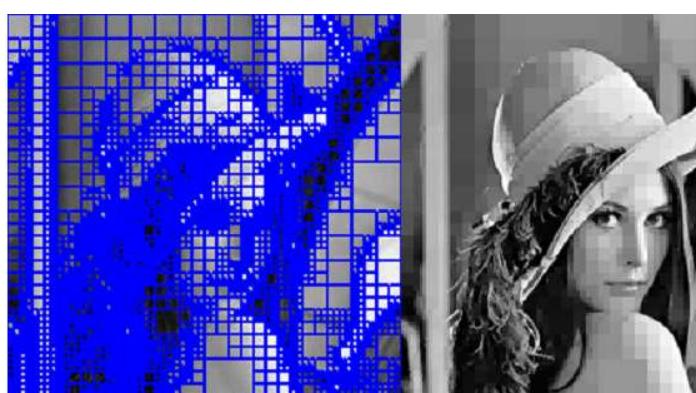
b) Segmentação por Similaridade (Crescimento por Regiões)

Inicialmente este processo de segmentação rotula cada *pixel* como um segmento distinto, ou seja, uma região. Posteriormente, os *pixels* são agrupados entre si formando novas regiões, as quais são reagrupadas com suas regiões adjacentes até formar um segmento que represente uma porção homogênea da superfície terrestre. Estes agrupamentos são gerados a partir de parâmetros iniciais fornecidos pelo analista, são eles: diferença de nível entre *pixels* contíguos, denominado de similaridade, e a área mínima do segmento a ser identificado denominado como área mínima. Sendo assim, o limiar de similaridade representa o menor valor da diferença entre o valor médio de dois *pixels* ou conjuntos de *pixels* para que sejam considerados como único segmento. O limiar de área mínima representa o tamanho mínimo do segmento a ser definido; esta informação está

ligada diretamente com a resolução espacial da imagem (JENSEN, 2009; PINHO, 2005; BENZ et al., 2003).

### c) Segmentação *QuadTree*

A segmentação *quadtree*: divide um domínio da imagem em quadrados, e depois em quadrados menores, até que a heterogeneidade espectral de cada objeto da imagem cai abaixo de um limite definido pelo usuário. A segmentação através da diferença espectral funde objetos que não fazem exceder um limite definido pelo usuário para uma diferença ponderada espectral à imagem adjacente (ESCH et al., 2008). Visto que as imagens têm dimensões arbitrárias, regiões *quadtree* são retangulares em vez de quadrados (Figura 03). Caso contrário, o algoritmo de segmentação clássica *quadtree* é utilizado, começando com a imagem completa e recursivamente dividindo-a em quatro regiões até que o desvio padrão das intensidades de *pixels* em uma região seja menor do que um determinado limite ou de uma região tem menos de quatro *pixels*, DEFINIENS (2007).



**Figura 03 - Imagem segmentada através do método *Quad Tree*. Fonte: Definiens, 2007.**

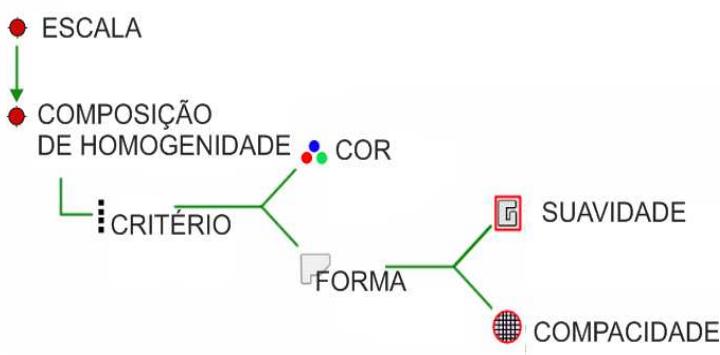
#### d) Segmentação MultiResolução

Esta segmentação consiste em uma técnica onde a imagem é dividida em diferentes níveis de detalhamento, dando origem a diferentes escalas de segmentação. A construção de objetos nesta técnica de segmentação se inicia a partir de um *pixel*, crescendo através da fusão dos objetos adjacentes com base em critérios de heterogeneidade (YAN et al., 2006). O procedimento de agrupamento dos *pixels* é similar ao utilizado na técnica de crescimento de regiões, porém também leva em consideração não só os parâmetros espectrais, como também a forma dos segmentos no momento do agrupamento (DEFINIENS, 2007; MEDINA, 2007; PINHO, 2005). O parâmetro de escala definirá o tamanho dos objetos em cada nível de análise.

A segmentação de imagens tradicionais pode ser referida como segmentação “crisp”, porque produz objetos de imagem, com fronteiras claramente definidas. Em uma segmentação “nítida”, presume-se que a imagem pode ser dividida em grupos espacialmente contínuos, disjuntos e homogêneos de *pixels* que representam a relativa homogeneidade dos fenômenos geográficos (BLASCHKE et al., 2006). No entanto, no mundo real as paisagens são compostas por objetos de diferentes tamanhos, que podem apresentar heterogeneidade interna (HEROLD et al., 2003). A representação da realidade em uma única escala de segmentação pode não ser suficiente para capturar tal complexidade. Burnett & Blaschke (2003) sugerem que a segmentação da imagem seja realizada através de hierarquia de escalas que possibilitem relações entre sub-objetos, objetos e super-objetos.

A segmentação de imagens através do método Multi Resolução é um campo relativamente recente da pesquisa em sensoriamento remoto ambiental, apesar de ter sido aplicada extensivamente em áreas correlatas, tais como visão computacional e imagens médicas. Anteriormente, a baixa eficiência dos algoritmos de visão computacional em processar dados de cores ou conjuntos de imagens com múltiplas bandas implicava em uma limitação na análise de imagens. No entanto, na última década, a comunidade de sensoriamento remoto tem adaptado e aperfeiçoado o computador para lidar com conjuntos de dados multi-espectrais Navulur (2006). Um grande número de ferramentas de softwares está agora disponível para realizar a segmentação baseada em classificação de imagens de sensoriamento remoto. Isto inclui o programa *Developer Definiens*, anteriormente conhecido como eCognition, o ENVI, o ERDAS e o IDRISI. Embora todos esses programas ofereçam uma série de funcionalidades semelhantes, o *Developer Definiens* implementa os algoritmos mais avançados e é uma escolha popular em aplicações OBIA (BLASCHKE et al., 2006) e, portanto, pode ser visto como exemplo para o padrão atual 'crisp' de implementações OBIA.

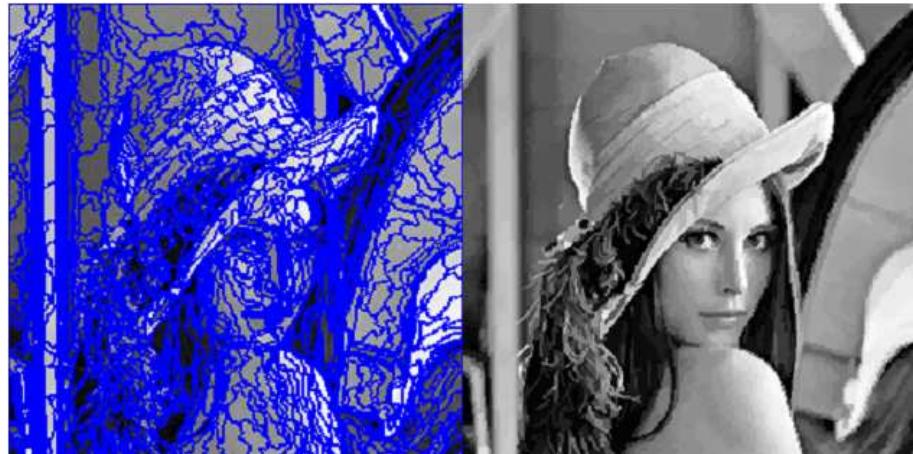
Nesta abordagem, a imagem é segmentada com base em 3 parâmetros: dimensão (escala), cor (informação espectral), e forma (compacidade e suavidade).



**Figura 04 - Diagrama da segmentação multi-resolução.** Fonte: Adaptado de Definiens, 2007.

O termo escala refere-se ao tamanho dos objetos que aparecem na paisagem ou em uma representação da mesma (por exemplo, um mapa ou uma imagem de satélite). Cada objeto tem sua escala inerente, podendo ser representado de maneiras diferentes, dependendo do ponto de vista do observador. Hay et al. (2003) demonstraram que a representação em diferentes escalas corresponde mais aos objetos de interesse, não apenas referindo-se à medidas estatísticas de uma imagem.

O resultado da segmentação da imagem é determinado pelo propósito do estudo, a estratégia de agrupamento e as decisões específicas sobre os níveis desejados de homogeneidade e (ou) o tamanho esperado dos segmentos resultantes.



**Figura 5 - Resultado de uma segmentação multi resolução.** Fonte: Definiens, 2007.

Cor e forma podem ser ponderadas com valores de 0 a 1. A diferença entre os valores dos atributos de duas regiões é calculada e testada em relação a um limiar máximo de similaridade fornecido pelo usuário; se o valor verificado for menor que o limiar estabelecido, as regiões são agrupadas. A similaridade é expressa através da Equação 01 (DEFINIENS, 2007; PINHO, 2005):

$$f = w \cdot h_{cor} + (1-w) \cdot h_{forma} \quad (01)$$

Onde,

$f$ =similaridade

$w$  = Peso atribuído a entidade cor, este valor varia de 0 a 1.

$h_{cor}$  = heterogeneidade de cor

$h_{forma}$  = heterogeneidade de forma

Contudo, o critério forma (*shape*) não pode ter um valor maior que 0,9, devido ao fato que os objetos resultantes não serem relacionados às informações

espectrais. O parâmetro heterogeneidade da forma é baseado na mudança da forma do objeto, antes e depois de uma fusão eventual.

O critério da forma, expresso nas equações 02, 03 e 04 é composto por dois parâmetros: a lisura ou compacidade e suavidade de modo ponderado, atribuindo pesos entre 0 e 1. Podemos definir sua utilização como:

Compacidade (*Compactness*): é utilizado para aperfeiçoar o segmento com relação à compacidade, representada pela equação 05 a seguir;

Suavidade (*Smoothness*): é utilizado para aperfeiçoar a forma em relação à suavidade dos contornos. Segundo Benz et al. (2004), os parâmetros de forma são expressos pelas seguintes equações:

$$\Delta h_{\text{shape}} = w_{\text{compt}} \cdot \Delta h_{\text{compt}} + w_{\text{smooth}} \cdot \Delta h_{\text{smooth}} \quad (02)$$

with

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{smooth}} &= n_{\text{merge}} \cdot \frac{l_{\text{merge}}}{b_{\text{merge}}} \\ &- \left( n_{\text{obj\_1}} \cdot \frac{l_{\text{obj\_1}}}{b_{\text{obj\_1}}} + n_{\text{obj\_2}} \cdot \frac{l_{\text{obj\_2}}}{b_{\text{obj\_2}}} \right) \end{aligned} \quad (03)$$

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{compt}} &= n_{\text{merge}} \cdot \frac{l_{\text{merge}}}{\sqrt{n_{\text{merge}}}} \\ &- \left( n_{\text{obj\_1}} \cdot \frac{l_{\text{obj\_1}}}{\sqrt{n_{\text{obj\_1}}}} + n_{\text{obj\_2}} \cdot \frac{l_{\text{obj\_2}}}{\sqrt{n_{\text{obj\_2}}}} \right) \end{aligned} \quad (04)$$

Onde  $l_{\text{merge}}$  é o perímetro do objeto;  $n_{\text{obj}}$  é o número de *pixels* que formam o objeto;  $w$  é o peso atribuído pelo usuário e  $b_{\text{merge}}$  é o perímetro do *bounding Box* que é o retângulo envolvente paralelo às bordas com perímetro menor possível (PINHO,

2005). A figura 06 representa esquematicamente os conceitos de forma expostos anteriormente.

Objeto	representação gráfica de $I$	representação gráfica de $b$	$l$ (m)	$b$ (m)	$n$ (nº de pixels)	Área (m <sup>2</sup> )	Compacidade	Suavidade
			16	16	16	16	4,000	1,000
			26	22	16	16	6,500	1,182
			20	20	16	16	5,000	1,000
			24	22	16	16	6,000	1,09
			30	26	16	16	7,500	1,154

**Figura 6 - Representação dos parâmetros de similaridade referentes à forma. Fonte: PINHO (2005).**

A segmentação de imagens pode ser vista como uma melhoria do processo de análise de imagens de sensoriamento remoto. Ela fornece um meio alternativo para realizar classificação de imagens. No entanto, observam-se as seguintes limitações em relação ao objeto de classificação de imagem (SONG et al, 2005):

- Precisão de classificação: depende da qualidade da segmentação de imagens (ou seja, se os objetos são extraídos de forma imprecisa, a precisão da classificação subsequente não vai melhorar);
- Erro de classificação: poderia ser acumulado devido ao erro de segmentação e/ou no processo de classificação;

- Quando o objeto é erroneamente segmentado, todos os *pixels* no objeto serão erroneamente classificados.

Segmentação de imagens é, portanto, a fase crítica do OBIA, mas também é visto como um problema mal-colocado, no sentido de que não tem solução única: uma pequena alteração da medida de homogeneidade conduz a resultados diferentes de segmentação (HAY & CASTILLA, 2008).

No entanto, nem todos os métodos de segmentação são bons o suficiente para um determinado tipo de imagem, e os usuários de cada aplicação têm que avaliar a qualidade da saída da imagem a partir de um algoritmo de segmentação dado. Assim, o problema é garantir que a avaliação dos resultados de segmentação seja um processo objetivo. Uma abordagem comum, em aplicações de visão computacional, é criar um vetor de medidas de comparação entre a imagem segmentada e a segmentação de uma "verdade terreno" (PAL & PAL, 1993). Uma maneira de avaliar a qualidade da segmentação em relação à realidade no terreno, é usar uma matriz de área de sobreposição (OAM) através das seguintes métricas (ORTIZ & OLIVER, 2006):

- porcentagem de *pixels* corretamente agrupados (CG);
- percentual de over-segmentation (OS), e
- percentual de under-segmentation (EUA).

Uma boa segmentação é alcançada quando as diferenças gerais entre os resultados de segmentação e os objetos de referência associados são tão baixos quanto possível (NEUBERT et al, 2006; MEINEL & NEUBERT, 2004). Em geral, a

qualidade da segmentação de imagens pode ser avaliada utilizando ambos os métodos qualitativos e quantitativos. Medidas qualitativas são avaliações visuais de critérios gerais, tais como a delimitação de diferentes tipos de cobertura do solo, a segmentação de objetos lineares, ou a ocorrência de segmentação defeituosa. Medidas quantitativas podem fazer uma comparação entre áreas de referência claramente definidas (variando em localização, forma, textura, contraste, tipo de cobertura do solo) e os resultados de segmentação, usando as propriedades geométricas como área  $A_i$ , perímetro  $P_i$ , e forma (MEINEL & NEUBERT, 2004; NEUBERT et al, 2006).

## 2.5. Classificação de imagens

Dados espaciais são quaisquer tipos de dados que descrevem fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial (BORGES, 2009). Ou seja, os dados geoespaciais são dados espaciais em que a dimensão espacial refere-se ao seu posicionamento na Terra em um determinado período.

As técnicas de classificação visam atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades, podendo ser elas espectrais e/ou espaciais. Segundo Jesen (2000) o processo de atribuir significado a um *pixel* em função de suas propriedades numéricas é chamado genericamente de classificação. Considerando o uso de computadores para executar essa tarefa, este processo se torna mais rápido e dinâmico.

A classificação pode ser subdividida em função do grau de intervenção do analista no processo, podendo ser denominado como: classificação não

supervisionada ou classificação supervisionada. A classificação supervisionada exige que o analista tenha um conhecimento prévio da área, estando com isso familiarizado com a localização de alguns alvos. A classificação não supervisionada é aquela onde o processo de classificação não necessita que o analista tenha um conhecimento prévio da área, e consequentemente não precisa estar familiarizado com a localização dos alvos (NOVO, 2008).

Muitos classificadores com base na análise espectral dos *pixels* individuais têm sido propostos e progresso significativo foi alcançado. No entanto, estas abordagens têm suas limitações técnicas, desde as mais remotas, baseadas em procedimentos por *pixel* (BLASCHKE & STROBL, 2001). Eles analisam *pixels*, principalmente por meio de estatística multi variada. Atualmente um dos classificadores mais utilizados é o de máxima verossimilhança (MAXVER). Contudo esse classificador não apresenta respostas satisfatórias quando aplicado em imagens de alta resolução, devido gerar elevada heterogeneidade entre alvos, que são identificados pela resposta espectral *pixel-a-pixel*. Autores como Pinho (2007), Pinho (2005), Araújo (2007), Geneletti e Gorte (2003) afirmam e comprovam a necessidade de métodos alternativos que não se limitem apenas a atributos espectrais. Assim, os resultados atuais ainda não se podem comparar com foto-intérpretes (BLASCHKE, 2003).

Sobre a terminologia utilizada para caracterizar este tipo de classificação, alguns desenvolvedores OBIA usaram o termo "baseado em objeto". Alguns autores utilizaram "orientada a objetos" (BLASCHKE et al., 2000; BLASCHKE e HAY, 2001; BENZ et al., 2004), embora alguns autores ainda usem "orientada a objetos" (por

exemplo NUVULUR, 2006). Até agora tem sido assumido que a maioria dos autores prefere utilizar o termo baseado em vez de “orientada”. Alguns autores afirmam o uso de baseado em objeto para não confundir ou ser relacionado com o paradigma de programação orientada a objeto (FENO e CASTELA, 2008). A idéia de incorporar informações contextuais na classificação de imagens de sensoriamento remoto pode ser rastreada até a década de 1970. Um dos objetivos do agrupamento por *pixels* em objetos de imagem é superar o chamado efeito de “sal-e-pimenta” (BLASCHKE et al., 2000). Muitos pesquisadores afirmam que os métodos OBIA são adequados para superar esta situação.

Pinho (2007) comenta que a classificação orientada a objeto “... permite a inserção do conhecimento do analista (características das feições a serem identificadas: cor, tamanho, forma, padrão, textura, contexto etc.)”, estruturando em forma de rede semântica. Nestas redes, são modeladas relações espaciais e não espaciais entre as classes de determinada aplicação. Algumas vantagens da abordagem orientada a objeto são:

- Permite explorar todas as dimensões do sensoriamento remoto, incluindo as seguintes:
  - Espectral (bandas multi-espectrais mais a pancromática);
  - Espacial (área, comprimento, largura e direção);
  - Morfológicas (parâmetros de forma e textura);
  - Contextual (relacionamento com a vizinhança, análise de proximidade);
  - Temporal (séries temporais).

- Incorpora métodos/técnicas correntes comprovadas e usadas para análise de imagens, tais como classificação supervisionada, lógica fuzzy, classificação baseada em regras.
- Incorpora várias funcionalidades de um SIG para classificação temática incluindo como informações auxiliares tais como: *shape file*, cálculo de distâncias, etc.
- Extrai características provenientes da mesma cena em diferentes resoluções.

A classificação baseada em objeto tem como base a segmentação multi resolução, onde objetos comuns são agrupados em classes organizadas de forma hierárquica em um nível inferior (subclasses) e herdam as características da classe do nível superior (superclasses) (BAATZ e SCHAPE, 2000). No próximo item será abordado o tema de forma detalhada. Na figura 07 pode ser visto um exemplo de hierarquia semântica de classe para uma classificação do uso e ocupação do solo em uma região urbana. Neste tipo de hierarquia as classes são agrupadas de acordo com o seu significado, por exemplo, na figura 07 tem a classe telhado em um nível, quando esse nível é segmentado para um maior detalhe surge mais três classes: telha de alumínio, telha de cerâmica e concreta, ou seja, essas três classes são edificações.



**Figura 7 - Hierarquia semântica desenvolvida e embasada na classificação orientada a objeto. Fonte: PINHO (2005)**

Segundo Araújo, Kux e Florezano (2007), o conceito de objeto é fundamental neste tipo de interpretação, devido ao fato das informações semânticas estarem relacionadas aos objetos das imagens e suas relações entre si, e não ao *pixel*. O classificador permite usar, para determinar as classes, o algoritmo “vizinho mais próximo” ou as regras de pertinência fuzzy. Na lógica fuzzy um objeto pode ser associado a várias classes com diferentes graus de pertinência que pode variar de 0 (não pertence) a 1 (pertence), deste modo o objeto é associado à classe com maior pertinência.

## 2.6. Análise de Imagens Baseada em objetos - OBIA

A classificação baseada em objeto é principalmente aplicada em estudos urbanos que envolvem o uso de imagens de satélite de alta resolução e fotos aéreas, devido à heterogeneidade dos *pixels* desses produtos, além de apresentar uma maneira automatizada de obter informações desses produtos. Em relação a

isso podem ser citados os trabalhos de Hoffmann (2001) apud Pinho (2007); Pinho (2005); Alves (2004). Esse tipo de classificação é uma ferramenta satisfatória para determinar o uso e ocupação do solo urbano em um nível de grande detalhe.

Por meio de um breve panorama, o conceito de OBIA primeiro ganhou um interesse generalizado na comunidade de geoinformação (*Geographic Information Science*, 2000), com o advento do primeiro *software* comercial para o que era então chamado de "análise de imagens baseada em objetos". No entanto, é amplamente aceito que OBIA baseia-se na segmentação, detecção de bordas e conceitos de classificação que foram utilizados na análise de imagens de sensoriamento remoto por várias décadas. Seu surgimento tem proporcionado uma nova ponte crítica aos conceitos geográficos aplicados na análise da paisagem multi-escala, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da sinergia entre os objetos da imagem e suas características radiométricas e análise dos dados de observação da Terra. Hay & Castilla (2008) sugerem a nomenclatura como sendo "Objetos Geográficos Baseados em Análise de Imagem" (GEOBIA), pois só assim ficará claro que ele representa uma sub-disciplina da geoinformação. Na verdade, o termo OBIA pode ser muito amplo, pois é evidente para os cientistas de Sensoriamento Remoto, especialistas em SIG, que os "seus" dados de imagem representam porções da superfície da Terra; tal associação não pode ser encarada por cientistas em disciplinas como a Visão Computacional, Ciências de Materiais ou imagens biomédicas, que também realizam OBIA.

Durante a última década uma mudança de paradigma no processamento de imagens de sensoriamento vem tomado lugar. Passaram-se mais de 20 anos de

---

um modelo predominantemente em *pixels* para um modelo dinâmico baseado em objetos multi-escala, que tenta imitar a forma como os humanos interpretam as imagens. No entanto, esse caminho novo, a partir de *pixels*, de objetos, da inteligência, para consolidar este novo paradigma, necessita ainda de inúmeros desafios. Em um esforço para identificar estes desafios e possíveis soluções, a conferência internacional intitulada GEOBIA–(*Pixels, Objects, Intelligence: Geographic Object-Based Image Analysis for the 21st century*), foi realizada na Universidade de Calgary, Alberta, Canadá em agosto de 2008. Um dos principais objetivos deste evento era o de criar um fórum para compartilhar os últimos desenvolvimentos da teoria GEOBIA, métodos e aplicações, de modo a explorar de forma mais inteligente as imagens de sensoriamento remoto.

O padrão baseado em objeto (OBIA) para classificação de imagens pode ser representado utilizando um fluxo de trabalho de três estágios (BENZ, 2001): 1. segmentação de imagens, que cria objetos de imagem significativa; 2. análise de recurso, que mede atributos espectrais, espaciais e contextuais da imagem, e; 3. classificação que aloca objetos da imagem para classes-alvo.

Também na temática do uso do solo urbano e áreas permeáveis, Pinho (2005) utilizou, com resultados satisfatórios, a classificação orientada a objeto e regras fuzzy para pertinências entre as classes, concluindo que, apesar do bom resultado obtido, essa técnica exige que o usuário tenha um bom conhecimento da área e das características dos objetos da imagem.

Outros trabalhos onde a classificação exposta anteriormente foi aplicada demonstraram bons resultados na redução de sombra, como em Zhou et al. (2009).

---

Também há uma grande aplicabilidade em estudos temporais como os desenvolvidos por Gamanya, Ruvimbo; Maeyer, Philippe; Dapper, Morgan De (2009); Laliberte et al. (2004).

## 2.7. Avaliação da Acurácia

A matriz de confusão, também conhecida como Matriz de erro, é a forma de padronizar os erros, identificando não somente o erro global da classificação para cada categoria, mas também como ocorre a confusão entre categorias (BARROS & IMAI, 2011). As colunas representam os dados de referência considerados como verdade terrestre, enquanto as linhas indicam a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto (Figura 08) (PINHO, 2005).

		Plano de Referência		Total
		wtr	Fundo	
Plano Classificado	wtr	31	0	31
	Fundo	7	62	69
	Total	38	62	100

**Figura 8 – Matriz de confusão referente a classe água. Fonte: Pinho, 2005.**

Após a elaboração da matriz de confusão, é possível calcular algumas medidas descritivas como a exatidão global e o coeficiente de concordância *Kappa*. Segundo alguns estudos na área (BARROS & IMAI, 2011; VARELA, REGO, & IGLESIAS, 2008; CONGALTON & GREEN, 1999), a aplicação destas técnicas estatísticas para a análise da acurácia da classificação foi considerada eficiente.

A exatidão global (*eg*) é gerada pela razão entre o total de amostras corretamente classificadas dividido pelo número total de amostras de toda a matriz

de erros (ver equação 05). As amostras corretamente classificadas são os valores situados na diagonal da matriz. A acurácia expressa para cada classe o grau em que a classificação concorda com a referência, deste modo são considerados valores aceitáveis aqueles maiores que 85% (CONGALTON & GREEN, 1999).

$$eg = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N}, \quad (05)$$

Onde,  $x_{ii}$  são os elementos da diagonal principal ;  $r$  o número de classes e  $N$  o número total de amostras.

O método *Kappa* considera que, tanto o produto gerado, como o documento de referência, possuem o mesmo grau de verdade, segundo Lobão; França-Rocha; Silva (2005). Estes autores descrevem uma metodologia para executar o coeficiente *Kappa* onde, em primeiro lugar, é necessária a construção da verdade terrestre e, em seguida, a elaboração da tabulação cruzada entre o mapa de verdade terrestre e a classificação da imagem. A etapa seguinte é aplicar os valores da matriz de confusão na seguinte equação 06.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}, \quad (06)$$

Onde,

$r$  = Número de classe

$x_{ii}$  = Número de elementos classificados corretamente

$x_{i+}$  = Total de elementos para uma classe i

$x_{+i}$  = Total de elementos de referência da classe i

*N* = Número total de amostras

O índice *Kappa*, segundo Landis e Koch (1977) apud Espindola; Vergara e Gaboardi (2003), pode ser classificado segundo seu desempenho da seguinte maneira (Tabela 04):

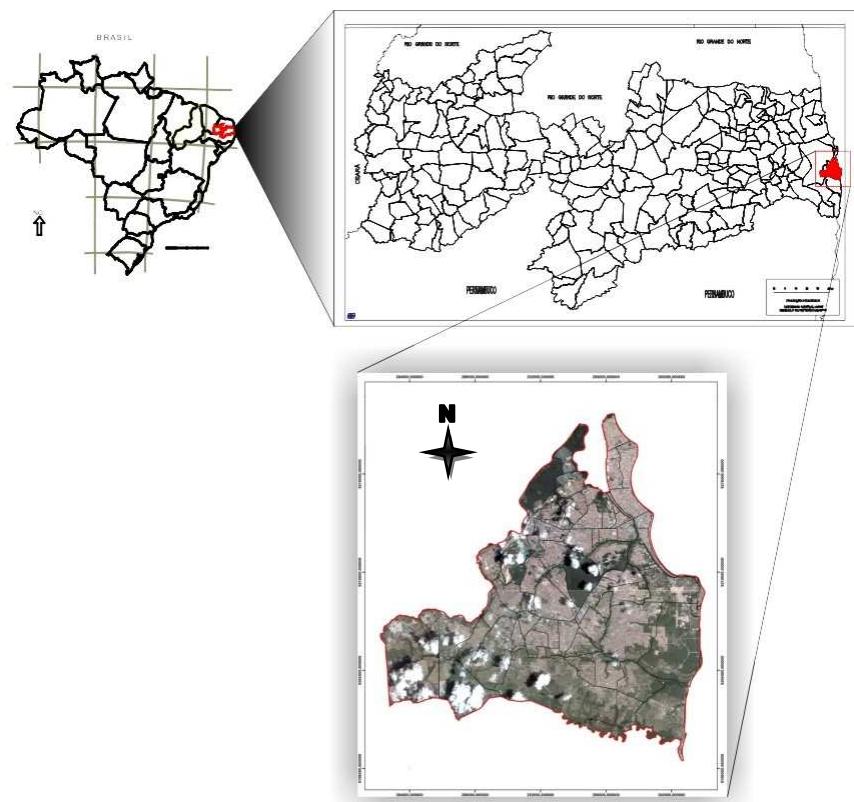
TABELA 04: Desempenho da classificação segundo o índice kappa.

<b>KAPPA</b>	<b>Desempenho da Classificação</b>
<0	Péssimo
0< <i>k</i> <0,2	Mau
0,2< <i>k</i> <0,4	Razoável
0,4< <i>k</i> <0,6	Bom
0,6< <i>k</i> <0,8	Muito Bom
0,8< <i>k</i> <1,0	Excelente

FONTE: Landis e Koch (1977) apud Espindola; Vergara e Gaboardi (2003).

### 3. ÁREA DE ESTUDO

O município de João Pessoa está localizado na porção Leste do Estado da Paraíba, com coordenadas geográficas  $7^{\circ} 6' 59''$  de Latitude Sul e  $34^{\circ} 51' 47''$  de Longitude Oeste (Figura 09). Encontra-se inserido na Mesorregião da Mata Paraibana, mais precisamente, na Microrregião de João Pessoa. Limita-se, ao norte, com o município de Cabedelo (18 km); ao sul com o município do Conde (13 km); a oeste com os municípios de Bayeux (6 km) e Santa Rita (12 km); e a leste com o Oceano Atlântico. Segundo o IBGE (2000), sua dimensão é de  $211 \text{ km}^2$ , que representa 0,37% da área do Estado.



**Figura 9 - Mapa de localização do município de João Pessoa.**

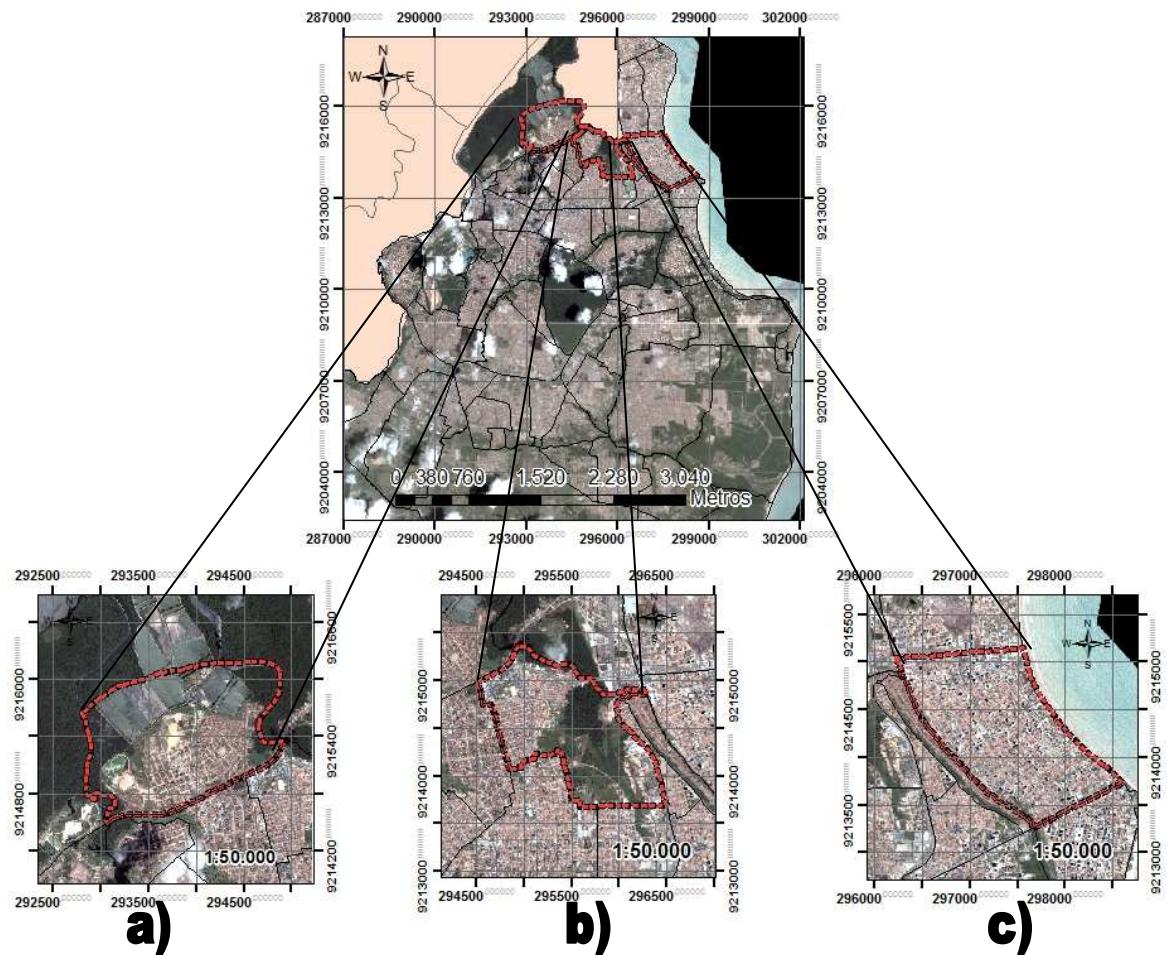
A Região Metropolitana de João Pessoa e o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano é integrada pelos Municípios de João Pessoa, Bayeux, Cabedelo, Santa Rita, Cruz do Espírito Santo, Conde, Lucena, Mamanguape e Rio Tinto, prevista no art. 24 da Constituição do Estado da Paraíba da Lei Complementar Nº 59 de 30 de Dezembro de 2003.

O município é composto por sessenta bairros, que foram definidos pela Lei nº 1574, de 04 de setembro de 1998. A cidade, até 1960, se desenvolvia em um ritmo lento, porém, a partir desse período, impulsionada por intervenções públicas, houve uma aceleração que estimulou o crescimento da cidade. Segundo MAIA (2003), essa expansão foi acompanhada de um aumento populacional, influenciado fortemente pelo processo migratório, derivado das zonas rurais ou das cidades interioranas do estado.

A cidade de João Pessoa está inserida dentro do domínio tropical úmido atlântico que é fortemente influenciado pelos ventos alísios marítimos, mas também sofre influência de massa de ar equatorial atlântica e de frente polar, que provocam chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

A vegetação natural é composta pelas formações vegetais pioneira, cerrado e matas de restinga, manguezais, mata úmida ou mata atlântica.

Nesta pesquisa foram escolhidas três áreas para realizar o experimento, são bairros com características socioeconômicas diferentes e indicadores urbanos distintos, apesar dos bairros serem próximos uns dos outros, como pode ser visto no mapa a seguir (Figura 10):



**Figura 10 - Mapa de localização das áreas onde foram realizados os experimentos.a) Bairro Alto do Céu; b) Bairro dos Ipês e c) Bairro Manaira.**

Segundo a Prefeitura Municipal de João Pessoa (1994) a divisão dos bairros é da seguinte forma:

Zona Norte: Centro, Varadouro, Róger, Torre, Tambiá, Jardim 13 de Maio, Padre Zé, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, Alto do Céu, Jardim Esther, Jardim Mangueira e Conjunto Pedro Gondim.

Zona Sul: Castelo Branco, Conjunto Cehap I, Bancários, Jardim São Paulo, Anatolia, Jardim Cidade Universitária, Água Fria, Ernesto Geisel, Valentina Figueiredo, Paratibe, Praia do Sol, Conjunto Boa Esperança, José Américo, Costa e Silva, Mangabeira, Cidade Verde, Esplanada, Ernani Sátiro, Funcionários (I a IV), Grotão, Conjunto João Paulo II, Distrito Industrial e Bairro das Indústrias.

Zona Leste: Cabo Branco, Tambaú, Tambauzinho, Expedicionários, Bessa, Jardim Oceania, Aeroclube, Manaíra, Altiplano, Miramar, Jardim Luna, João Agripino, São José e Bairro dos Ipês.

Zona Oeste: Cruz das Armas, Renascer, Jaguaribe, Oitizeiro, Rangel, Cristo Redentor, Bairros dos Novais, Comunidade Bola Na Rede, Alto do Mateus, Ilha do Bispo e Jardim Veneza.

Neste estudo o objeto de estudo estão situados na zona leste (Manaira e Ipês) e na zona Norte (Alto do Céu). Na zona Norte encontra-se os bairros mais antigos da cidade e o centro comercial. Os bairros de Manaira e Ipês apresentam uma renda média/alta enquanto o Bairro alto do Céu tem uma baixa renda, e ocupam um setores mais periféricos, com baixo provimento infraestrutural, de equipamentos públicos e de serviços urbanos.

### **3.1. Sistema de Indicadores Urbanos do Município de João Pessoa**

O sistema de indicadores urbanos tem como objeto o estudo da cidade, do ponto de vista de sua estrutura, morfologia, características ambientais e funcionais, com vistas à qualidade de vida de sua população (Dias, Gomes, & Alkmim, 2011).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), inicialmente criado para comparar o desenvolvimento verdadeiro entre as nações, incorporando mensurações de aspectos essenciais como as condições de saúde e de educação de seus povos, passou também, ao longo do tempo, a ser utilizado em escalas menores, como a região, os estados, os municípios e, recentemente, na análise intra-urbana. Na análise intra-urbana se observam com clareza as desigualdades sociais e sua distribuição no espaço urbano.

Na cidade de João Pessoa 14 (quatorze) bairros têm IDH maior do que 0,800, ou seja, um alto IDH (indicados em verde na Tabela 05). Todos estes bairros estão situados no eixo Centro-Litoral, tendo como estruturador principal a Av. Epitácio Pessoa e os corredores litorâneos. Os 11(onze) bairros que apresentam IDH baixo, ou seja, menor que 0,500, são predominantemente representados por bairros periféricos e ainda, por bairros de baixa renda localizados nos interstícios da área urbanizada (indicados em vermelho na Tabela 05).

TABELA 05 – Índice de Desenvolvimento Urbano por bairro, por ordem de colocação, J. Pessoa/PB (2004).

Bairros	IDH
Cabo Branco	1,000
Jardim Oceania	0,982
Tambaú	0,981
Brisamar	0,959
Estados	0,922
Manaíra	0,907
Aeroclube	0,900
Tambiá	0,896
Pedro Gondim	0,870
Tambauzinho	0,863
Ponta do Seixas	0,842
Miramar	0,830
Bessa	0,808
João Agripino	0,803
Alto do Mateus	0,508
Gramame	0,508
Cruz das Armas	0,503
Indústrias	0,503
Grotão	0,492
Costa do Sol	0,492
Ilha do Bispo	0,491
Mucumago	0,490
Bairros	IDH

Paratibe	0,481
Alto do Céu	0,473
Mumbaba	0,470
Distrito Industrial	0,464
Padre Zé	0,434
São José	0,399
Mussuré	0,352
Média entre os bairros	0,645
IDH Municipal	0,783

Fonte: Ribeiro et al. - LAURBE/DA/CT/UFPB (2004).

O município de João Pessoa atualmente dispõe de três instrumentos reguladores principais:

- A. Plano Diretor de Desenvolvimento Municipal (Atualizado em 1993, pela lei complementar nº 04 de 30 de abril de 1993);
- B. Código de Obras (Lei municipal no 1347/71 de 27 de abril de 1971);
- C. Código de Posturas (atualizado pela Lei complementar nº 09 de 17/08/95)

O aumento populacional urbano ocorrido em João Pessoa tem provocado um problema, que diz respeito à evolução populacional e física dos aglomerados subnormais. Esses aglomerados geralmente ocupam áreas de risco (áreas inundáveis, áreas sujeitas a deslizamentos ou desabamentos, áreas com riscos de contaminação, áreas sob a linha de transmissão de alta tensão, e outros), Nascimento, Lima, & Santos(2009) em seu trabalho geram um produto cartográfico avaliando os locais referente a potencial para servir como ocupação urbana, referente as áreas de estudo o bairro Alto do Céu, Manaira e Ipês foram classificado respectivamente como "escassa aptidão", "baixa aptidão" e "apta". Têm

se expandido em ritmo ainda mais forte que a população urbana (RIBEIRO, SILVA, & RIBEIRO, 2004).

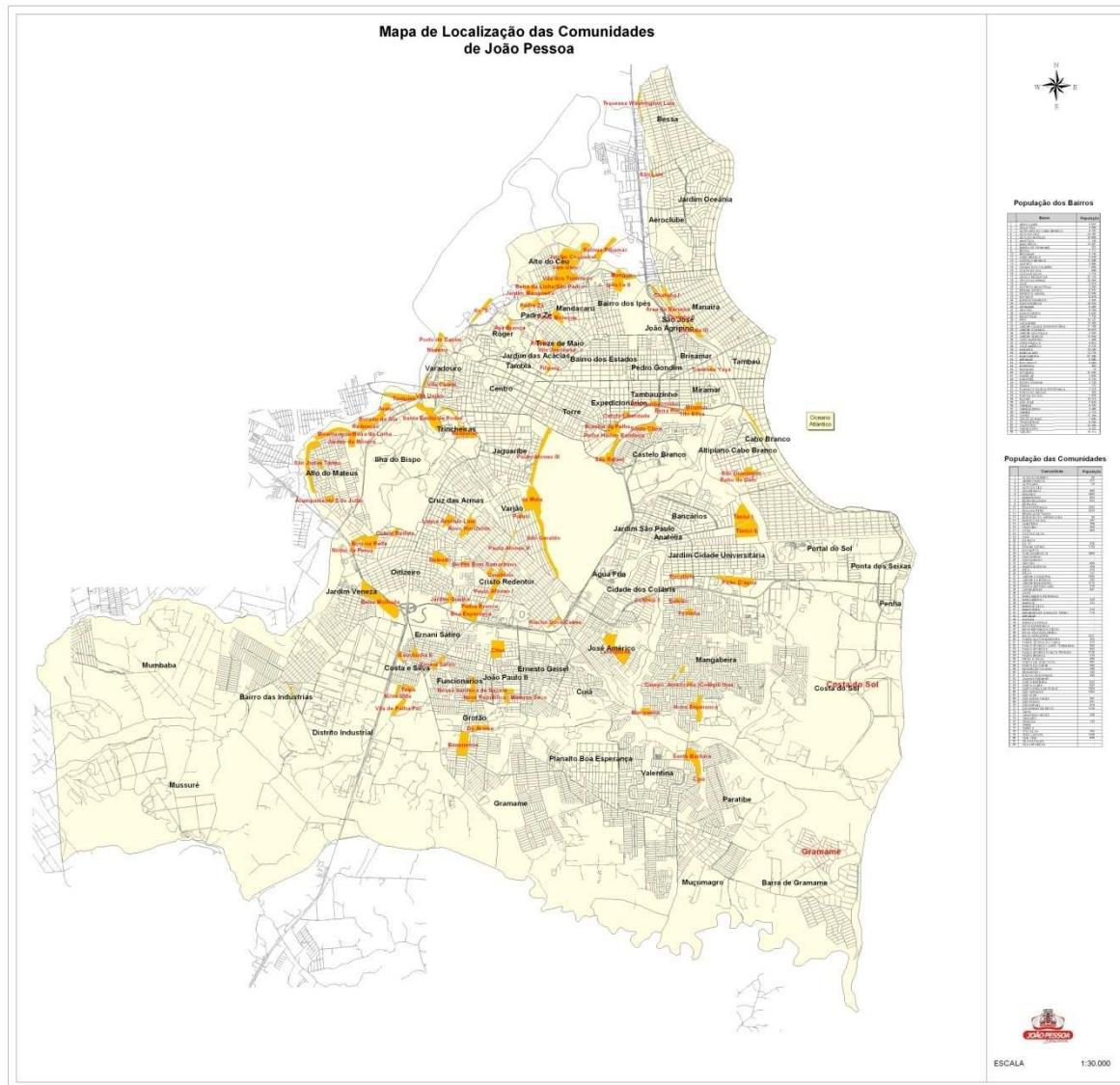
O Quadro 01 mostra algumas informações principais sobre a evolução dos aglomerados sub-normais e sua população, na cidade de João Pessoa. Dentre esta população, a maioria está localizada em áreas de risco e, se considerarmos também a insalubridade devido às condições habitacionais e da densidade de pessoas por habitação, pode-se dizer que toda a população dos aglomerados vive sob condição de risco, ainda que seja devido à insalubridade habitacional.

Quadro 01 – Evolução recente das áreas de interesse social e sua população

Ano	No de aglomerados	Bairros com aglomerados	População em aglomerados	% habitantes aglomerados	% Evolução pop Aglomerados
2000	99	40	111.557	18,7	
2005	209 (1)	49	150.000 (2)	23,1	34

Fontes: SETRAPPS/SETRASS (2005)

A localização mais comum desses aglomerados, dentro da estrutura urbana, são os vales de rios, as áreas de preservação ambiental, as faixas de linhas de transmissão de alta tensão e as faixas de domínio junto a rodovias e ferrovias, conforme apresentado na Figura 11.



**Figura 11 – Localização das áreas de interesse social na cidade de João Pessoa-PB.**

Fonte: PMJP, 2008

As áreas de várzeas e encostas dos rios urbanos, principalmente os rios Jaguaribe, Sanhauá-Paraíba e Timbó, são as áreas que mais concentram tais aglomerados. Os bairros escolhidos para realizar o presente trabalho são cortados pelo Rio Jaguaribe e pelo Rio Sanhauá-Paraíba.

Existem 33 assentamentos subnormais localizados em áreas de risco e de preservação no Município de João Pessoa, com 10.488 domicílios e uma população de 50.342 habitantes, correspondente a uma densidade de 4,8 hab/dom, levantados pela pesquisa realizada pela FAC (Fundação de Ação Comunitária) e a Defesa Civil Municipal, Órgão vinculado a Secretaria de trabalho e Promoção Social - SETRAPS.

A tabela 6 representa a população residente em assentamentos subnormais nos bairros referentes à área de estudo no ano de 2000.

TABELA 06– Assentamentos Subnormais

BAIRRO	FAVELA	POPULAÇÃO	DOMICÍLIO
ALTODO CÉU	Beira da Linha/ São Pedro	1.200	300
	Jardim Mangueira	2.060	512
	Porto de João Tota	2.500	600
	Vem-Vem /Jardim Éster	880	176
	Jardim Coqueiral	3.300	760
	Beira Molhada	1.400	300
	Vila dos Teimosos	165	41
	Total das Favelas	11.505	2.689
	Total do Bairro	2.673	703
	Total Geral	14.178	3.392
BAIRRO DOS IPÊS	Tancredo Neves / Mangue	480	110
	Ipês II	3.750	840
	Total das Favelas	4.230	950
	Total do Bairro	5.891	1.731
	Total Geral	10.121	2.681
MANAÍRA	Chatuba I	700	140

	Chatuba II	250	50
	Chatuba III	600	120
	Total das Favelas	1.550	310
	Total do Bairro	17.709	4.807
	Total Geral	19.259	5.117

Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Social - SEDES (2000).

No próximo capítulo será descrito a metodologia aplicada neste trabalho. Onde com base nas informações levantadas pela bibliografia estuda e a análise da imagem orbital foram definidos os critérios para classifica a imagens sobre a ótica OBIA.

## 4. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais (imagens, bases cartográficas digitais e programas) utilizados, bem como a metodologia adotada no trabalho.

### 4.1. Materiais

Foram utilizados os seguintes dados e programas para a realização do trabalho:

- 1) Imagem *QuickBird*; tipo Standard - Pan-sharpened, ou seja, multi-espectral, com 2,40m de resolução espacial e 3 bandas (azul, verde, vermelho) fusionadas com uma banda pancromática, com 0,60 m de resolução espacial. A imagem foi obtida em 20 de janeiro de 2008, com ângulo offnadir de 7,0º e resolução radiométrica de 16 bits (embora os *pixels* só estejam distribuídos no intervalo de 256 níveis de cinza).
- 2) Arquivos vetoriais no formato *shapefile* (.shp) provenientes do banco de dados da Prefeitura Municipal de João Pessoa - PMJP (2008), que foram utilizados para a caracterização da área de estudo e para extração das bases digitais de bairros e quadras utilizadas no trabalho.

A metodologia constou das seguintes etapas: Pré-processamento da imagem, segmentação, definição de classes e hierarquia, classificação e validação.

### 4.2 Pré-processamento da imagem

Nesta etapa foram extraídas informações das imagens provenientes da transformação IHS, que é um modelo de representação de cores que utiliza os conceitos de Matiz (*H - Hue*), Saturação (*S – Saturation*) e Intensidade (*I –*

*Intensity*). O Matiz é o comprimento de onda médio que define a cor do objeto. A Saturação expressa o intervalo de comprimentos de onda ao redor do comprimento de onda predominante, ou seja, é uma medida do grau de mistura de uma cor com as outras. A Intensidade é o total de energia envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo responsável pela percepção do brilho (FONSECA et.al., 2000).

Para essa transformação o software *Definiens Developer 7* aplica a seguinte equação para H, S e I (Definiens, 2007):

A equação 07 expressão o valor de Hue:

$$H = \begin{cases} \text{undefined} & \text{if } MAX = MIN \\ \frac{60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN}}{360^\circ}, & \text{if } MAX = R \\ \frac{60^\circ \times \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120^\circ}{360^\circ}, & \text{if } MAX = G \\ \frac{60^\circ \times \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240^\circ}{360^\circ}, & \text{if } MAX = B \end{cases} \quad (07)$$

Onde,

$R, G, B$  = os valores são expresso em números entre 0 e 1;

$MAX$  = maior valor entre as bandas vermelha (R), verde(G) e azul (B);

$MIN$  = menor valor entre as bandas vermelha (R), verde(G) e azul (B);

Para encontrar os valores de S é utilizada a equação 08.

$$S = \begin{cases} 0 & \text{if } MAX = 0 \\ \frac{MAX - MIN}{MAX}, & \text{if } MAX \neq 0 \end{cases} \quad (08)$$

Onde,

$MAX$  = maior valor entre as bandas vermelha (R),verde(G) e azul (B);

$MIN$ = menor valor entre as bandas vermelha (R),verde(G) e azul (B);

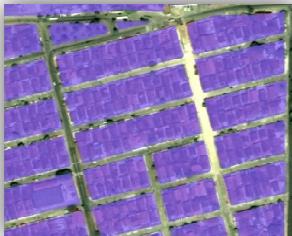
Os valores de I são os valores máximos do R,G e B.

Também foi aplicada a transformação de Componentes Principais, que consiste na rotação dos dados no espaço espectral.

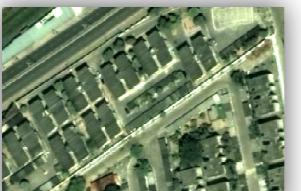
#### 4.3. Segmentações da Imagem

Nesta etapa foram segmentadas as imagens através do método multi-resolução. Para tal, foram estabelecidas estratégias (*bottom-up ou top-down*) e níveis de segmentação através de testes para determinar os critérios de forma e cor apropriados em cada nível. Para cada nível foram determinados objetos de interesse para serem encontrados na OBIA (Tabela 07).

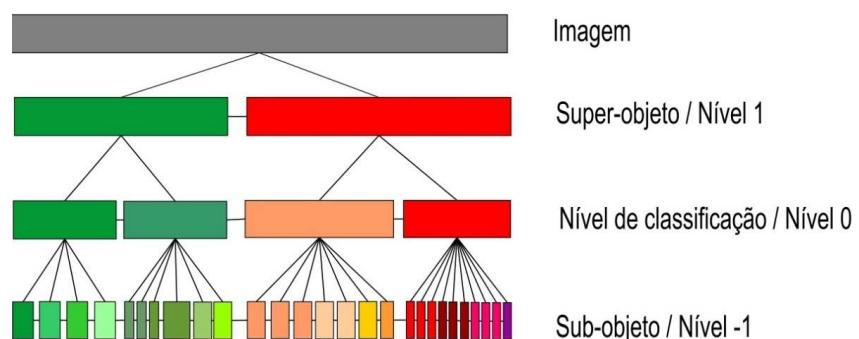
TABELA 07: Tabela de objetos de interesse para classificação.

OBJETO	AMOSTRA	COR (RGB - 3-2-1)	CONTEXTO	FORMA,TAMANHO E TEXTURA
QUADRAS		-	Extraído através da relação com a base cartográfica da PMJP	Geometria bem definida, maioria com padrões retangulares

OBJETO	AMOSTRA	COR (RGB - 3-2-1)	CONTEXTO	FORMA,TAMANHO E TEXTURA
ESTRADAS		As pavimentadas com asfalto e pedras variam de cinza escuro a claro, as não pavimentadas tons marrom	Localizada entre quadras	Forma retangular com o comprimento maior que a largura. Sua textura é lisa.
VEGETAÇÃO		Cores variando de verde escuro até verde claro	Abrange grandes áreas podendo ser encontradas próximas a rios e dentro as quadras	Textura rugosa para as vegetações arbóreas e lisas para as vegetações rasteiras
HIDROGRAFIA		Cor escura próxima a preto.	Localiza-se entre vegetações e canais urbanos.	Textura lisa e forma alongam e irregular.
SOMBRA		Cor escura próxima a preto.	Localiza-se próximo a edificações altas e entre vegetações arbóreas	Textura lisa com forma regulares quando próximo a edificações e formas irregulares entre a vegetação.

OBJETO	AMOSTRA	COR (RGB - 3-2-1)	CONTEXTO	FORMA,TAMANHO E TEXTURA
TELHADOS DE CERÂMICA		Variação entre laranja a marrom	Inserido nas quadras como cobertura das edificações.	Tamanhos variados e formas retangulares ou próximas a isso.
TELHADOS DE CONCRETO		Cores entre cinza escura a claro	Inserido nas quadras como cobertura das edificações.	Tamanhos variados e formas retangulares ou próximas a isso.
PISCINAS		Variação de azul	Inserido nas quadras.	Formas retangulares, com tamanhos pequenos e textura lisa.

A estratégia de segmentação adota foi do tipo *top-down*, ou seja, os objetos do Nível 1 foram segregados até chegarem no nível -1, ver figura 12.



**Figura 12: Segmentação *top-down*.** Fonte: adaptado de Definiens, 2007.

No nível 1 foram analisados os objetos quadras, vegetação, estradas e hidrografia; no nível seguinte, denominado nível 0, foram analisados os tipos de assentamentos, solo exposto e estradas, em relação ao tipo de pavimentação; no nível -1 foram identificados as sombras, os tipos de telhados, objetos claros e piscinas. A identificação dos objetos foi feita com base no parâmetro (cor ou forma), base de dados e finalidade (Tabela 08).

TABELA 08: Características dos níveis de segmentação.

NÍVEL	OBJETOS	FINALIDADE	BASE DE DADOS	PARÂMETRO
1	Estradas, vegetação, hidrografia e quadras	Determinar áreas de ocupação legal	Base de quadras da PMJP Imagen <i>QuickBird</i>	Cor
0	tipos de assentamentos, solo exposto e estradas	Gerar mapas de ocupação e restringir e restringir algumas classes do nível -1	Malha rodoviária da PMJP Imagen <i>QuickBird</i>	Forma
-1	sobras, tipos de telhados, objetos claros e piscinas	Gerar informações que caracterizam os tipos de assentamentos	Imagen <i>QuickBird</i>	Cor

#### 4.4. Avaliações da segmentação

A avaliação da acurácia dos resultados da segmentação foi feita por meio de dois parâmetros, taxa de extração de edificações (equação 9) e área de cobertura do telhado (equação 10), com base em uma amostra de 100 edifícios de referência. Foram utilizados os polígonos, no formato vetorial, extraídos manualmente dos telhados como referência (AMINIPOURI, 2009).

$$EE = \frac{ECE}{PRE} \times 100 \quad (9)$$

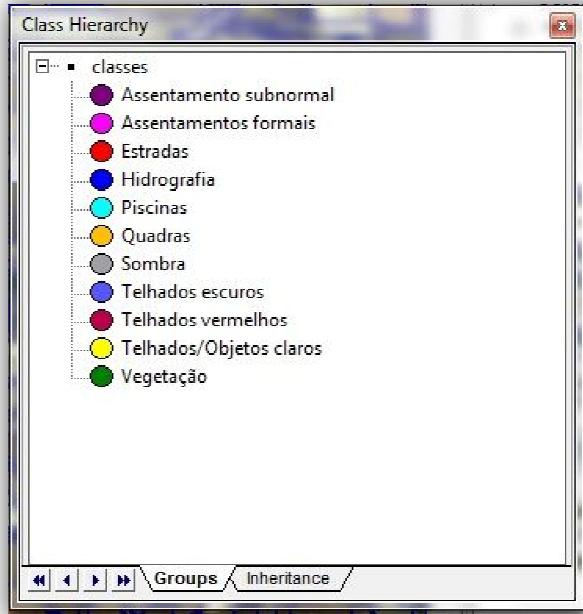
Onde EE é a taxa de extração de edificações, resultado em porcentagem. ECE é o número de edificações extraídas corretamente. Sendo PRE a quantidade de polígonos de referência das edificações. Sabendo que:

$$ACT = \frac{AED}{APR} \quad (10)$$

Onde ACT é a área de cobertura do telhado, AED é a área de edificações detectadas ( $m^2$ ) e APR a área dos polígonos de referência ( $m^2$ ). Os resultados maiores que 25% são considerados corretos.

#### 4.5. Classes e Rede Hierárquica

A elaboração da rede hierárquica foi realizada com base nos estudos de Mathengue (2011) e Hofmann, Strobl, Blaschke & Kux (2008), autores que através de ontologias procuraram simplificar o número de classes e a estrutura das redes hieráquicas. As classes de objetos classificados foram: quadras, estradas, vegetação, hidrografia, piscinas, telhados escuros, telhados vermelhos, telhados/objetos claros, sombra, assentamentos subnormais e assentamentos formais (Figura 13).



**Figura 13: Classes temáticas.**

A classificação da imagem foi iniciada pela classificação das "quadras" através do critério de atributos temáticos (*thematic attributes*). O mesmo critério foi utilizado para a classe "estradas", sendo utilizado o atributo temático estradas da base cartográfica. Para a classificação da "hidrografia" criou-se um novo critério em relação a cor, chamado de "cores escuras". Este atributo foi determinado pela seguinte fórmula (Equação 11):

$$\text{cores escuras} = \frac{\text{mean green} - \text{mean blue}}{\text{brightness}} \quad (11)$$

Onde *mean green* corresponde ao valor médio calculado a partir de todos os *pixels* que formam um objeto; *mean blue* tem o mesmo princípio do anterior, sendo em relação à banda azul da imagem *QuickBird*; *brightness* é a soma do valor médio dos valores médios espectrais de um objeto de imagem.

A vegetação foi determinada pela relação entre o critério customizado denominado nSI (*normalized Shadow Index*) definido por Polidorio (2007) na equação (12) com o critério *ratio* da banda verde.

$$nSI = \frac{S-I}{S+I} \quad (12)$$

Onde  $S$  é o valor referente à saturação da transformação IHS e  $I$  é a intensidade.

Os objetos caracterizados como "sombra" foram determinados pela existência de super-objetos em relação a classe "hidrografia", juntamente com o critério customizado *Feature Sombras*, conforme a equação 13:

$$Feature\ Sombras = (Razao\ H - RED) - (nSI) \quad (13)$$

Onde a Razão H-RED é definida pela equação 14 descrita a seguir.

$$Razão\ H - RED = H - (Mean\ red) \quad (14)$$

Onde  $H$  significa a matiz (*hue*) proveniente da transformação IHS e *Mean red* é o valor médio calculado a partir de todos os *pixels* que formam um objeto na banda vermelha.

A classe referente aos "telhados vermelhos" foi definida através do intervalo de valores do critério  $H$ . Os objetos "telhados/ objetos claros" foram classificados a partir de um limiar determinado no critério *brightness*. Os "telhados escuros" foram classificados a partir da correlação entre os critérios CORES ESCURAS e a não existência de super-objetos "estradas".

Para os "assentamentos subnormais" os critérios foram os mesmos que para "telhados escuros", "telhados vermelhos" e "telhados/objetos claros", sendo o seu diferencial a relação espacial entre as classes de "hidrografia", "estradas" e forma.

#### **4.6. Avaliações da Classificação**

A verificação de acurácia da classificação das imagens referentes a todas as áreas de estudo foi realizada com base na matriz de erros (ou matriz de confusão) e cálculo do coeficiente de concordância *Kappa*.

As amostras utilizadas para essa avaliação foram as do nível 0 de segmentação por melhor diferencia os tipos de assentamentos.

## 5. Resultados e Discussão

A análise prévia da imagem sob a ótica do conceito de assentamento subnormal ocorreu para facilitar a aplicação da metodologia e nortear a etapa de estruturação da rede hierárquica e dos critérios caracterizadores das classes temáticas. Neste contexto foram analisadas as seguintes informações: estradas, geometria das edificações, materiais da cobertura das edificações, proximidades de áreas de risco ou área de proteção ambiental.

Os critérios ligados aos aspectos socioeconômicos, tais como número de domicílios, renda e acesso ao serviço de saneamento básico, não foram levados em consideração na análise. Os de renda e número de domicílios não foram possíveis de ser mensurados no nível de informação necessário neste estudo, já que os dados disponibilizados pelo IBGE são dos setores censitários, que tem até 350 domicílios.

As informações da malha viária corresponderam à forma (largura e sinuosidade) e tipo de pavimento. Constatou-se que na área de assentamentos subnormais as vias são estreitas, irregulares e sem pavimentação, como pode ser visto na tabela 09, que descreve as áreas de interesse referentes às vias em cada bairro estudado.

TABELA 09 - Caracterização das vias.

BAIRRO	AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS
MANAÍRA		Vias não pavimentadas
IPÊS		Vias sem pavimentação, com irregularidades e estreitas
ALTO DO CÉU		Vias com irregularidades na largura, sinuosas e sem pavimentação

As análises das edificações mostraram que o material predominante dos telhados é de cerâmica, com cores variando do laranja ao marrom, telhados claros estão presentes principalmente em edificações verticais. Os telhados apresentaram cores escuras, tons de cinza, e representam em suma conjuntos habitacionais e galpões. A forma predominante das edificações é retangular. A tabela 10 mostra, em síntese, as principais características das edificações utilizadas no trabalho.

TABELA 10: Características dos assentamentos.

BAIRRO	AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS
MANAÍRA		Residências com lotes bem definidos, predominância de telhados de cerâmica e quantidade marcante de edifícios.
IPÊS		Os limites entre os telhados são pouco nítidos, o material predominante é de cerâmica com aspecto mais envelhecido.
ALTO DO CÉU		Não é visível limites entre edificações

Na cidade de João Pessoa, como em grande parte do território nacional, os assentamentos subnormais estão localizados próximos a áreas de risco ou áreas destinadas a proteção ambiental. Nos bairros estudados foram localizados alguns desses fatores, que podem ser vistos na tabela 11. O Bairro Alto do Céu é o que

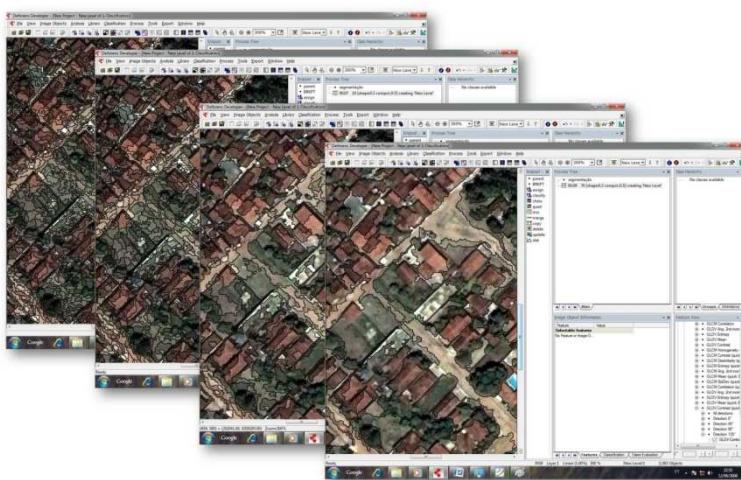
apresenta maior ocorrência dessas áreas, sendo também envolvido por fazendas de camarões, próximos a antiga área do aterro sanitário municipal.

TABELA 11: Características elementos naturais.

BAIRRO	AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS
MANAÍRA		Margem de rios sem mata ciliar substituída por habitações.
IPÊS		Proximidade com os rios e desmatamento da área de manguezal.
ALTO DO CÉU		Proximidade com os rios e desmatamento da área de manguezal.

## 5.1. Segmentação da Imagem

No processo de segmentação foram testados diversos valores referentes aos parâmetros escala, cor, forma, suavidade e compacidade, como pode ser visto na figura 14. Os valores iniciais testados foram com base em estudos que abordaram a mesma temática como AMINIPOURI (2009); Hofmann *et al.* (2008) e Pinho (2005).



**Figura 14. Segmentação com diferentes critérios de escala.**

Inicialmente foram testados os parâmetros de escala para cada nível de segmentação, sendo aplicados nas três áreas onde foi realizado o experimento. Pelo fato de ser de ter sido a mesma imagem para todas as áreas, ficou mais fácil determinar os parâmetros. A escolha da segmentação nos níveis 1 e -1 foi realizada de forma empírica, procurando-se adequar às classes que foram escolhidas na pesquisa.

Para o nível 1 foram aplicados os seguintes valores:

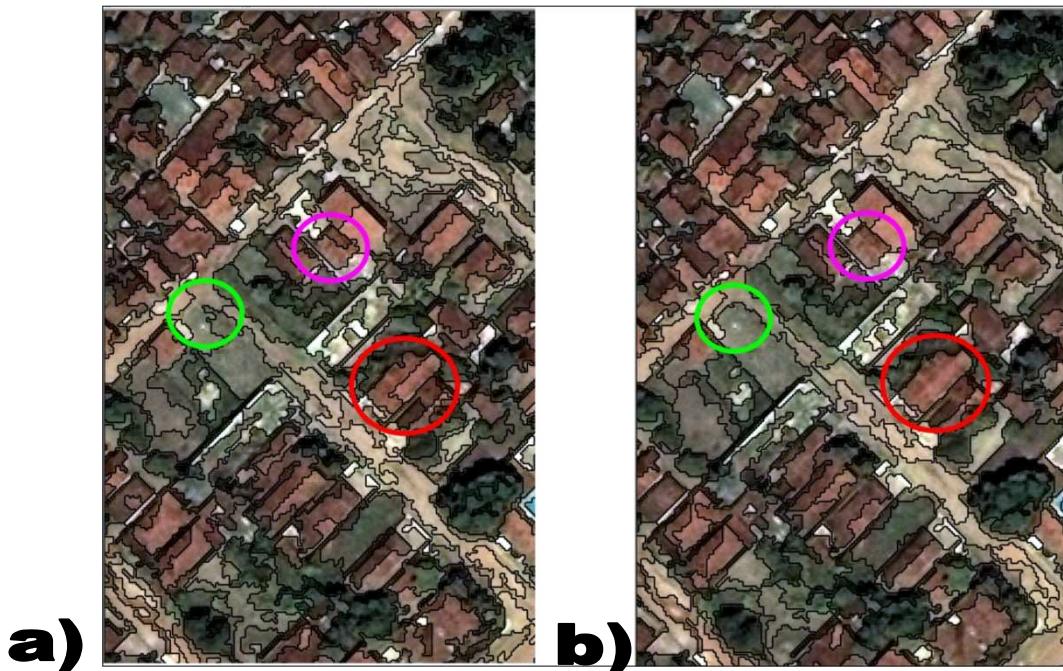
- a) escala = 300 ; forma=0,1; compacidade=0,5
- b) escala = 200 ; forma=0,1; compacidade=0,5
- c) escala = 150 ; forma=0,1; compacidade=0,5

O valor de escala de 200 foi escolhido por melhor delimitar as estradas e a hidrografia (Figura 15). Nos trabalhos de Hofmannet al. (2008) são utilizados valores maiores que 200 na escala para delimitar as quadras, como também pode ser visto em PINHO (2005). Diferentemente dos autores citados anteriormente que utilizaram o parâmetro forma maior que o de cor para segmentar este tipo de informação, os parâmetros nesta pesquisa foram para forma de 0,1 e cor 0,9 foram definidos por melhor diferenciar a vegetação da hidrografia. A compacidade e a suavidade foram de 0,5.



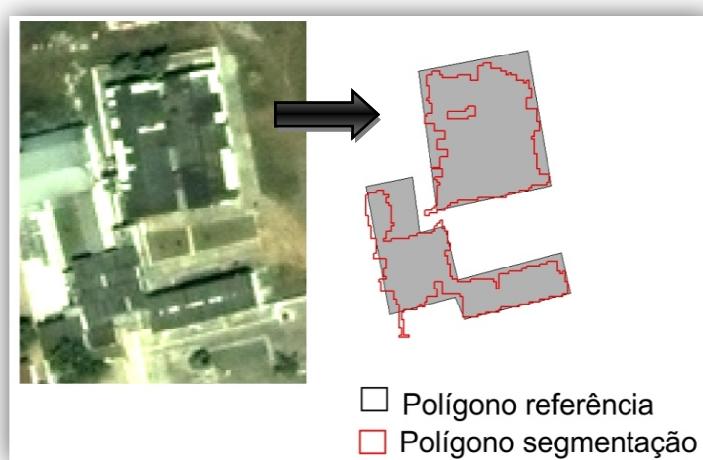
**Figura 15 - Segmentação escolhida para ser aplicado no Nível 1 do experimento.**

No nível 0 o valor de escala escolhido para segmentação foi de 50, sendo este o que melhor caracterizou os elementos da imagem, tornando os telhados mais homogêneos e diferenciados em relação aos elementos restantes das edificações. Para este nível foi testado, através de uma análise empírica, o parâmetro de forma (Figura 16), onde a alteração deste valor resultou no melhoramento da geometria dos alvos, tornando-os mais próximos da realidade.



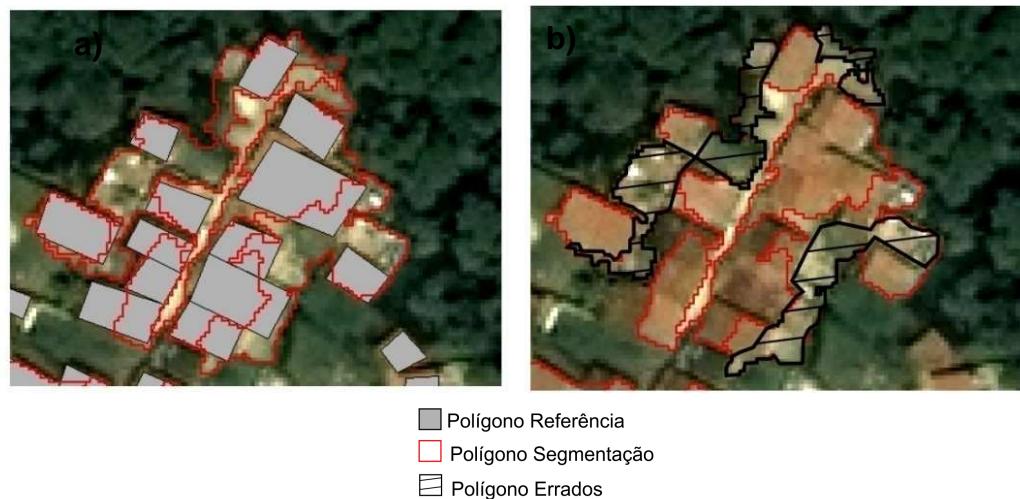
**Figura 16 – Comparação entre imagens com valores de formas diferente, valores da escala e compacidade são os mesmos. a) imagem segmentada na escala 35 ; b)imagem segmentado na escala 50.**

Os polígonos identificados como telhados nesta escala, representaram aproximadamente 93,617% das edificações - EE (Figura 17).



**Figura 17 - Relação entre os poligonos gerados pela segmentação multi-resolução e o polígono de referência.**

A área de cobertura dos telhados (*ACT*) representou 117,216%, e esse valor foi encontrado devido alguns polígonos extrapolarem os limites das suas respectivas referências, principalmente nas áreas de residências mais densas e precárias (Figura 18).



**Figura 18 – Comparação entre segmentação e polígono de referência.** a) mostra a relação entre os polígonos de referência e os gerados pela segmentação; b) polígonos hachurados são os não segmentados, de acordo com a referência.

Na segmentação de nível -1 foram testados os seguintes parâmetros (Tabela 12):

TABELA 12 - Parâmetros testados para segmentação no Nível -1.

PARÂMETROS				
ESCALA	FORMA	COR	COMPACIDADE	SUAVIDADE
20	0,1	0,9	0,5	0,5
18	0,1	0,9	0,5	0,5
16	0,1	0,9	0,5	0,5

O objetivo deste nível foi delimitar as sombras, objetos claros e piscinas. O nível que melhor possibilitou identificar esses elementos foi o de escala igual a 20. A

fim de melhor caracterizar a geometria dos objetos piscinas e sombras, foram testados parâmetros mantendo constante o valor da escala (Tabela 13).

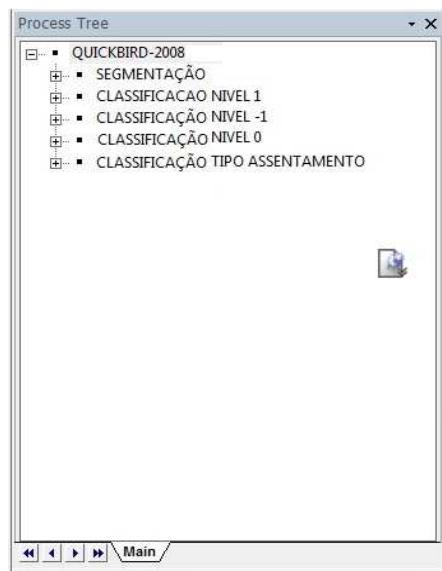
TABELA 13 - Parâmetros testados para segmentação no Nível -1 com escala constante igual a 20.

PARÂMETROS				
ESCALA	FORMA	COR	COMPACIDADE	SUAVIDADE
20	0,1	0,9	0,5	0,5
20	0,2	0,8	0,5	0,5
20	0,3	0,7	0,5	0,5

O resultado deste teste foi o de que a forma com valor de 0,3 mantém melhor a geometria dos objetos.

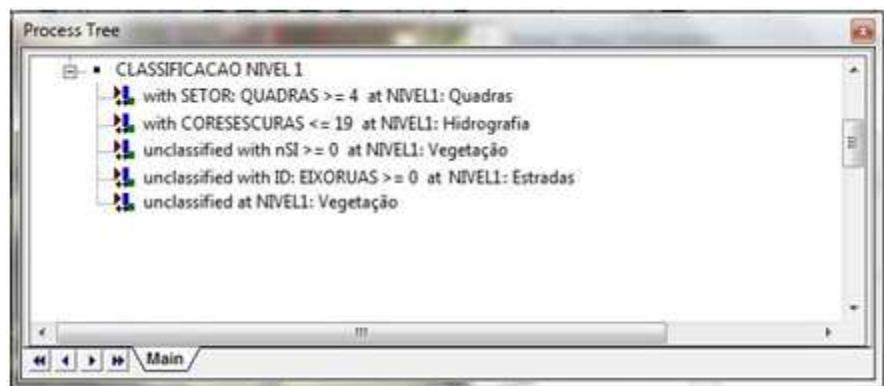
## 5.2. Classificação da Imagem

A classificação ocorreu primeiro no Nível 1. Após esta etapa foi realizada a classificação no nível -1. A classificação do nível 0 foi a última a ser realizada, pois as informações deste nível foram decorrentes das relações de vizinhança e das relações entre super-objeto e sub-objeto. O processo estabelecido na árvore de processo do software *Definiens Developer 7* pode ser visto na figura 19:



**Figura 19 - Ordem de classificação estabelecida na árvore de processo.**

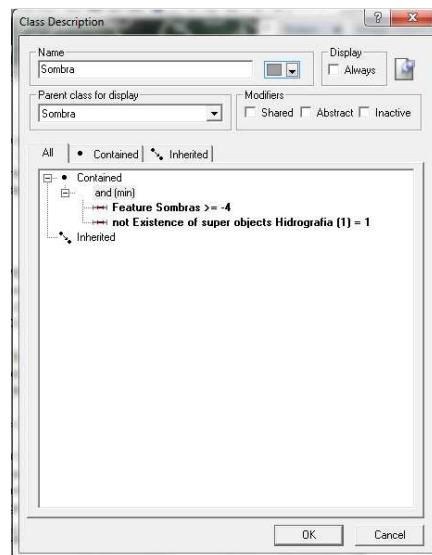
Para a classificação dos objetos do Nível 1 de segmentação foram definidas três classes: quadras, estradas, hidrografia e vegetação. Para o agrupamento dos objetos com base nestas classes, foram utilizados como descritores, a relação de existência entre as classes temáticas "quadras" e "estradas" da base cartográfica; critério "cores escuras" e nSI. A figura 20 mostra a árvore de processo utilizada.



**Figura 20 - Árvore de processo utilizado no nível 1 com todas as classes temáticas deste nível de informação.**

No nível -1 foram estabelecidos os seguintes critérios: característica Sombras (*Feature Sombras*), existência de super objeto (*existence of super object*), razão de verde (*Ratio Green*); relação de fronteira (*relative border*) e fusão de objetos (*fusion objects*). Estes descritores foram aplicados nas seguintes classes: sombra, telhados vermelhos, telhados escuros, telhados/objetos claros, hidrografia e vegetação.

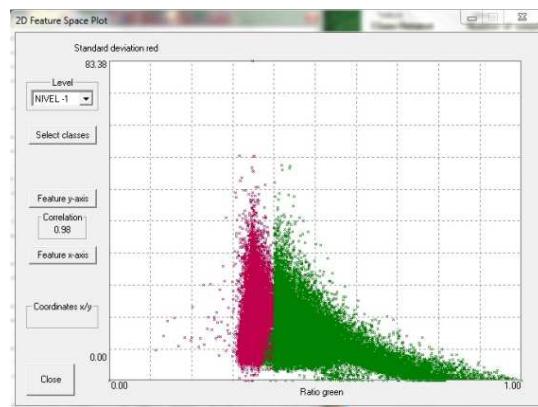
A classe sombra foi definida pelos seguintes descritores: Característica Sombras maior ou igual a -4 e foram classificados os objetos que não sejam hidrografia no nível superior (Figura 21). A necessidade de criar Característica Sombras foi para diferenciar as sombras de objetos escuros, como concreto e água.



**Figura 21 - Critérios utilizados para gerar a classe "sombra".**

A classificação da vegetação e da hidrografia foi feita a partir do critério "*existence of super object*". Para classificar as áreas de vegetação não classificadas pelo critério anterior, foram utilizadas as informações da banda verde do sensor através do critério "*Ration green*". O gráfico da figura 22 mostra uma correlação

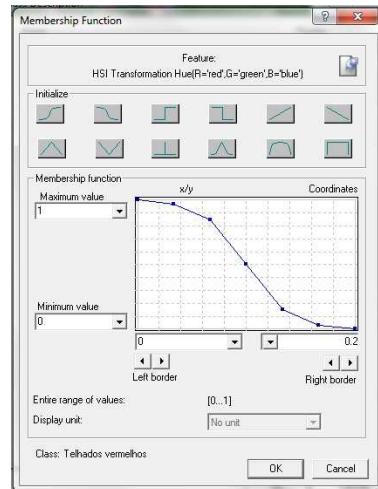
inversa com valor de -0,56, ou seja, os valores mais elevados de uma classe estão associados a valores mais baixos da outra classe.



**Figura 22 - Correlação entre as classes telhados vermelhos e vegetação em relação a *Ration green*.**

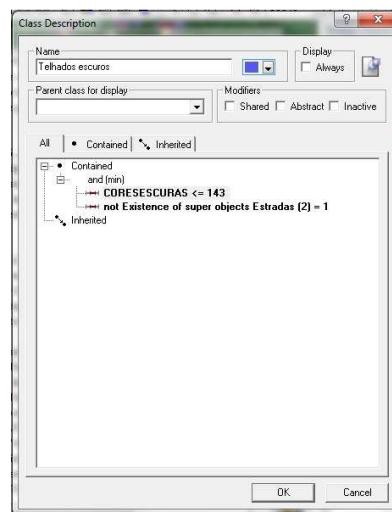
A classificação dos telhados em vermelhos, escuros e claros foram feita para diferenciar os materiais das edificações. Na área de estudo os assentamentos subnormais são predominantemente de cerâmica com cor mais próxima do marrom. Primeiramente foram classificados os "telhados claros e objetos" claros nesta mesma classe. Decorrente desta etapa e visando melhorar a geometria dos prédios e de outros tipos de edificações com telhados predominantemente claros, utilizou-se o critério "*image object fusion*".

Para os "telhados vermelhos" foi estipulado um intervalo entre 0 e 0,2 para o critério *Hue* (matiz), através da ferramenta *membership function*, a função definida foi a "menor que" (ver Figura 23).



**Figura 23 - Função fuzzy “menor que” aplicado no critério *Hue*.**

Os telhados escuros foram definidos por dois critérios: "cores escuras" e "*not existence of super object*" (ver Figura 24). O primeiro critério foi estabelecido pelo limiar menor que 143 na ferramenta "*edit threshold condition*". A utilização da informação de existência de super-objetos em outros níveis foi para evitar a classificação errônea de estradas pavimentadas com resposta espectral próxima aos valores escolhidos para "telhados escuros".



**Figura 24: Critérios da classe Telhados escuros.**

Para o nível -1 foi realizada a matriz de confusão a fim de analisar a coerência das informações com a realidade, onde as informações geradas neste nível serviram como critério para determinar os elementos caracterizadores dos assentamentos subnormais (Figura 25).

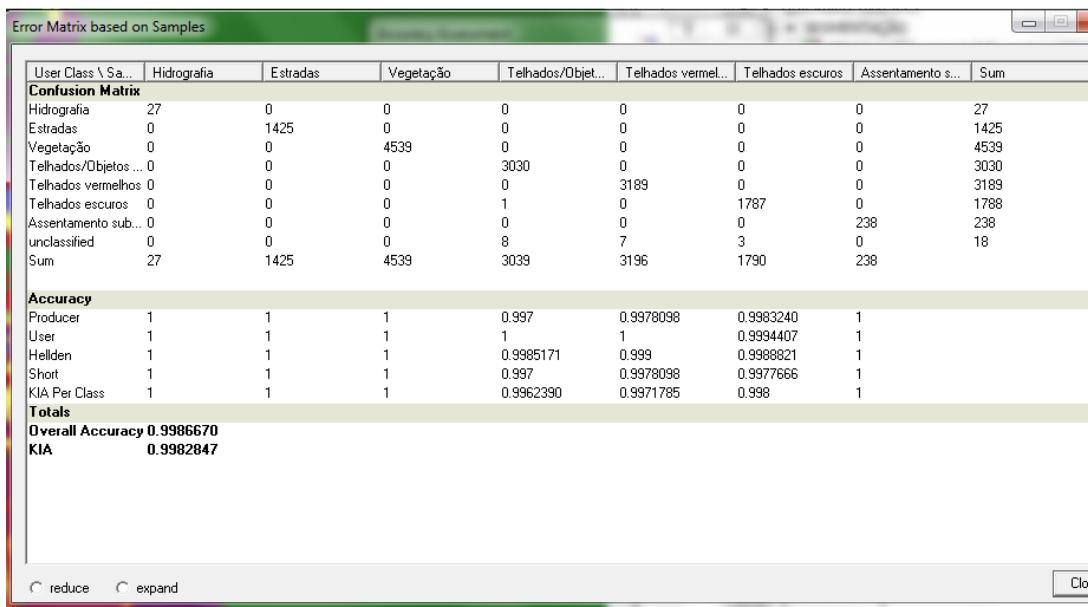
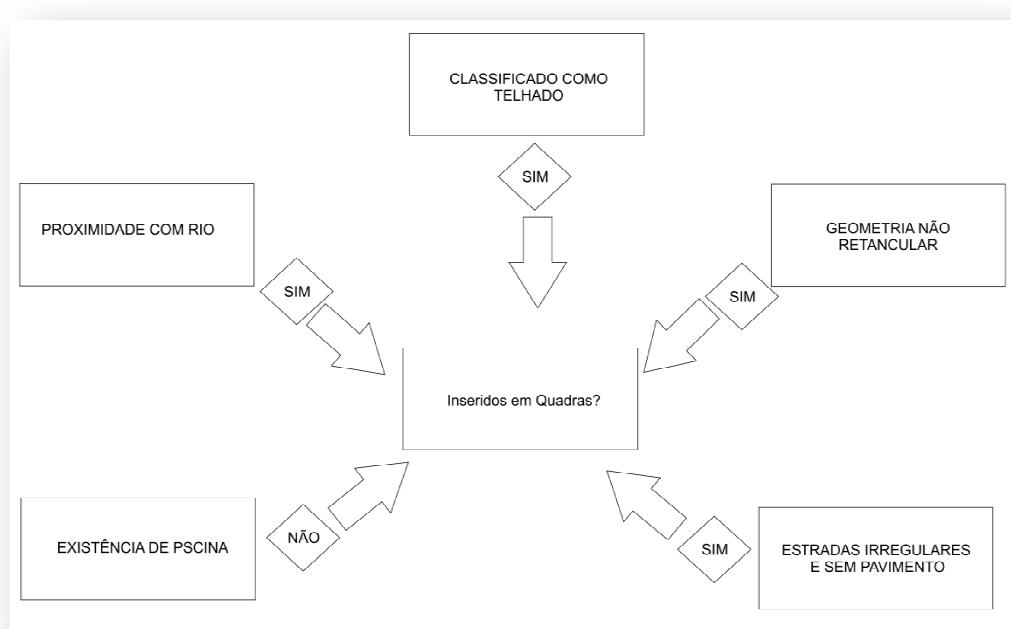


Figura 25 – Matriz de confusão gerada pelo Definiens Developer 7 para o nível -1.

A partir dos elementos classificados no nível 0, foram identificadas as informações referentes aos assentamentos subnormais. O primeiro passo foi classificar os elementos-chave para identificar esse tipo de assentamento, são eles: estradas, hidrografia e telhados (sinônimo para edificações). Essas classes foram classificadas neste nível a partir do critério "existence of", sendo em relação aos super-objetos para estradas e hidrografia e a sub-objetos para telhados vermelhos, escuros e claros, como também a vegetação. Essa estratégia baseada na seguinte semântica: as classes de telhados na classe inferior também é telhados neste nível de informação, as classes de vegetação nas outras classes também serve para este

nível onde seja diferente de telhados, hidrografia, sobra e estrada. Desta forma torna-se o processo de classificação eficiente e rápido, evitando a análise de novos descritores a serem aplicados no nível de informação trabalhado.

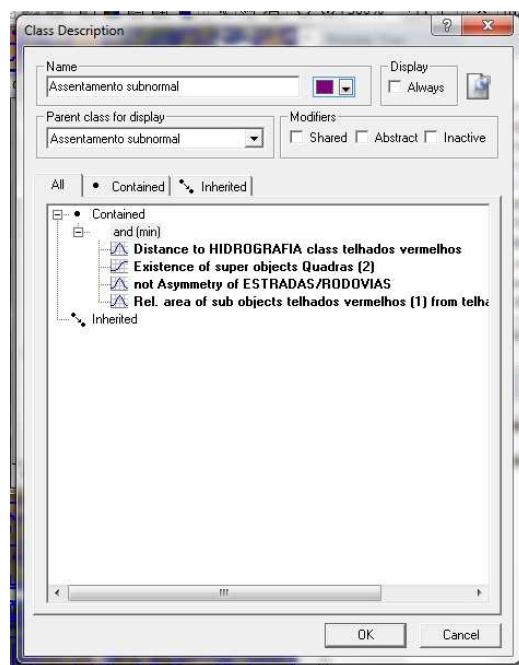
O nível 0 foi copiado para um nível abaixo, denominado "assentamentos", onde foram classificados os tipos de assentamentos através do seguinte fluxograma (Figura 26):



**Figura 26 - Fluxograma da classificação dos assentamentos subnormais.**

Os assentamentos que contenham informações de telhados (vermelhos, escuros ou claros) que não esteja inserido na classe quadra foram classificados como assentamentos subnormais. No caso contrário, os assentamentos que contém a classe piscina foram classificados como “assentamentos formais”. Para os casos dos assentamentos contidos em quadras segundo a base da PMJP (2005) foi utilizada descritores de forma combinada (ver FIGURA 27), neles estão inseridos as seguintes informações: proximidades com rios, relação das áreas dos telhados no nível -1 e ruas com formas irregulares. Nos trabalhos de

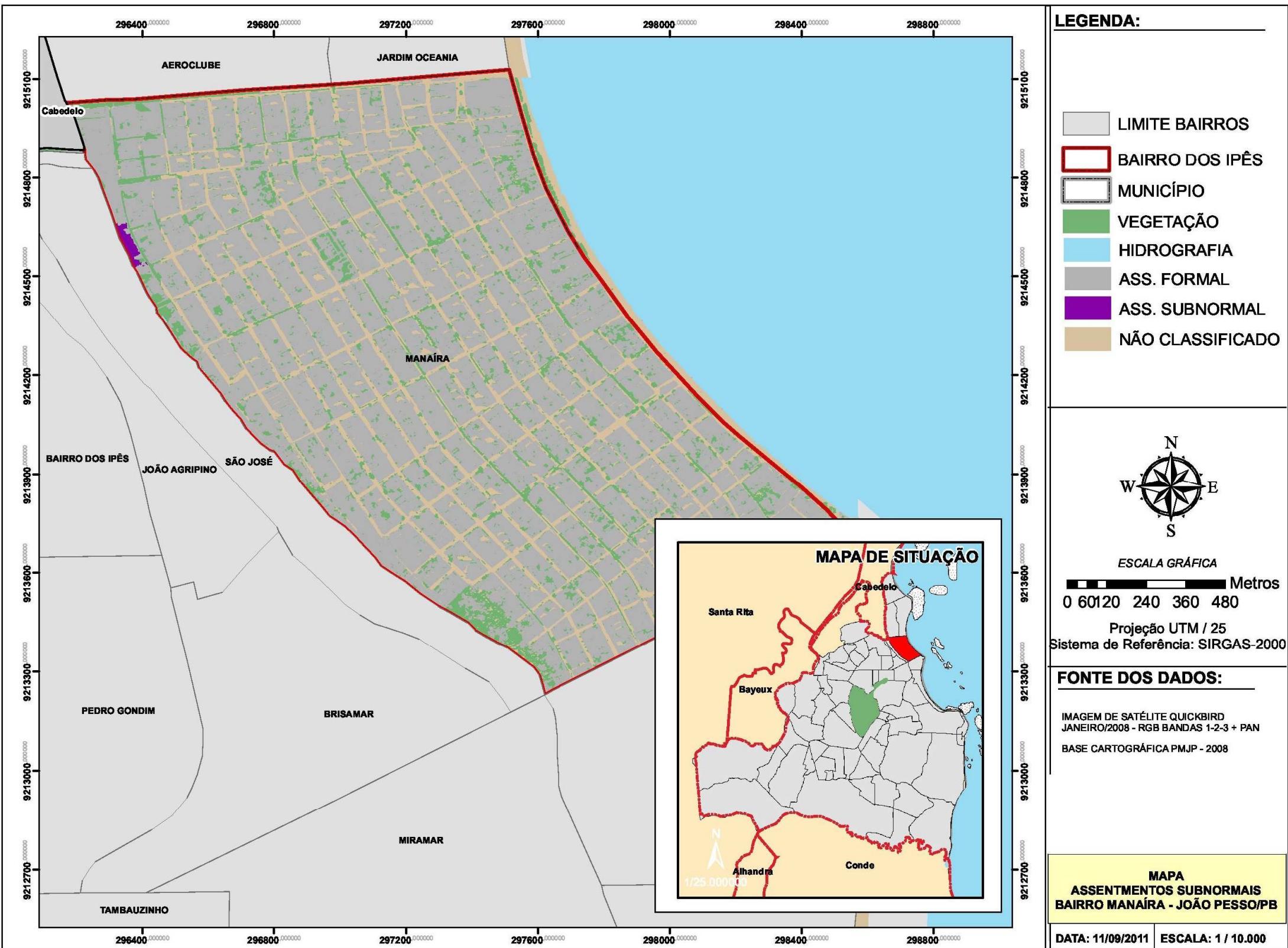
Mathengue (2011) e Hofmann et al.(2008) mostram que a relação do tipo de estrada influência na configuração de legalidade da edificação. Os autores citados anteriormente utilizaram valores de textura como critério de diferenciação entre os tipos de assentamento, na área de estudo não foi possível a partir da textura diferenciar esses assentamentos pois alguns assentamentos considerados legais pela prefeitura de João Pessoa apresentaram textura arecida com os assentamentos subnormais.

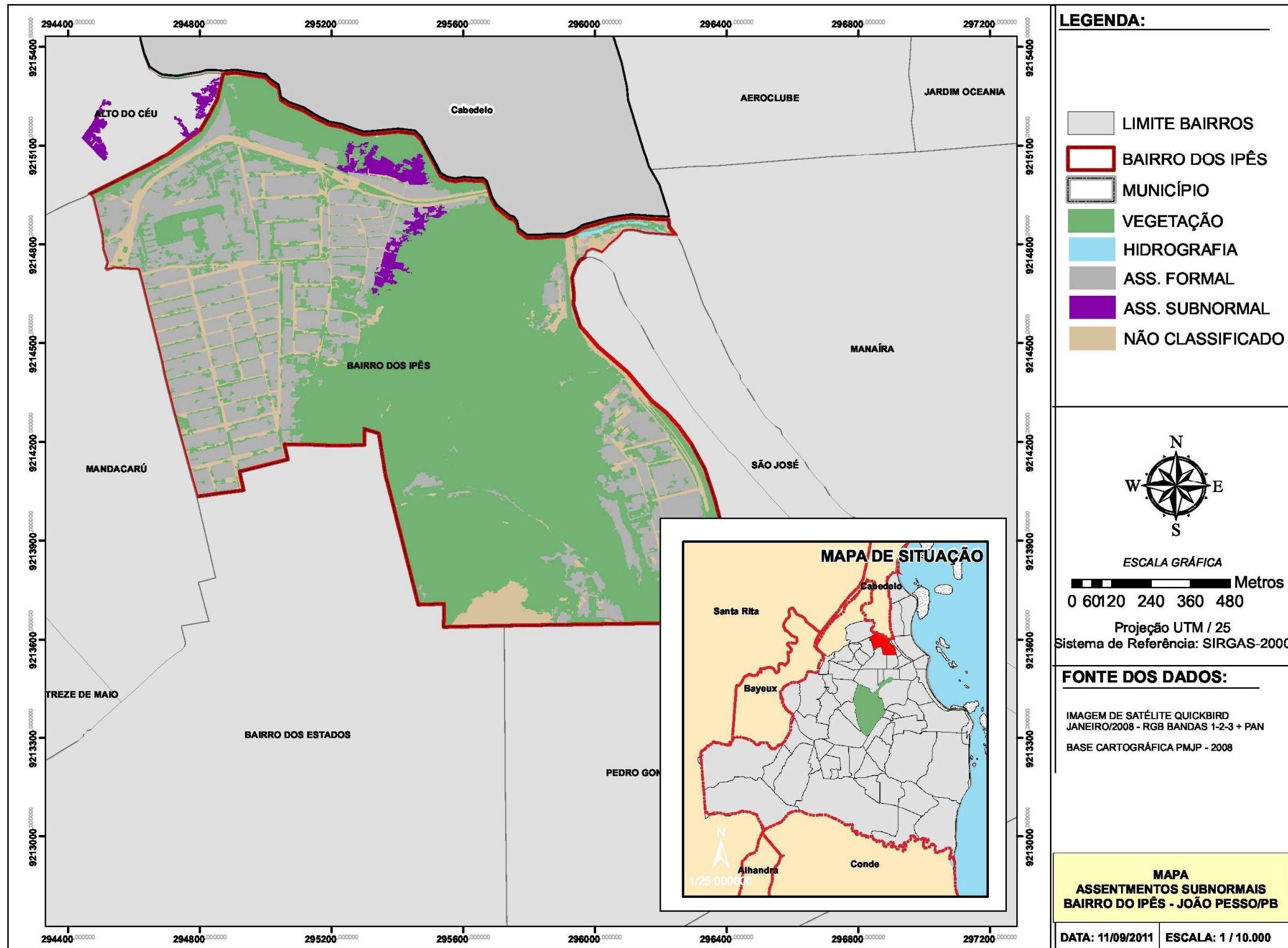


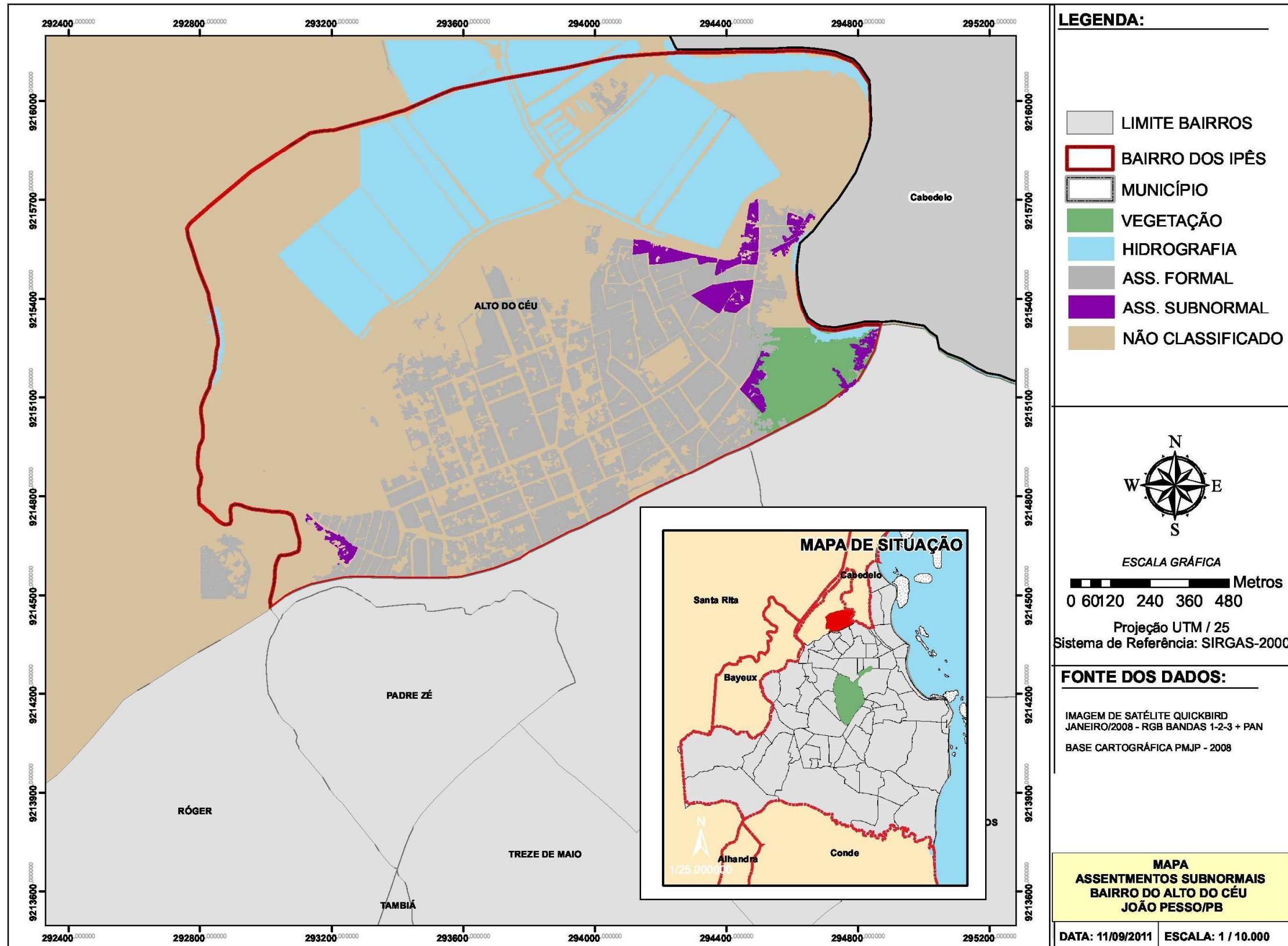
**Figura 27 – Descrição da classe assentamento subnormal.**

A matriz de confusão foi elaborada, sendo seus valores em área, a base eleita como verdade foram os dados de comunidades da base cadastral proveniente da PMJP. A área com maior acurácia foi a do bairro de Tambaú com valor de 0,5954. O bairro dos Ipês teve um valor considerado como bom pelo coeficiente *kappa* igual a 0,467 o que ocasional uma decaída na acurácia foi o fato que a base da prefeitura está desatualizada em relação a imagem de satélite de tal forma que na classificação apresentou uma maior área como sendo assentamento subnormal.

Após a validação da classificação foram elaborados mapa temático representado as áreas de assentamento subnormal para cada bairro estudado figuras 28,29 e 30 representam respetivamente os bairros Manaíra, Ipês e Alto do Céu. Em todos os produtos cartográficos pode ser notado a proximidades destes assentamentos com rios e matas.







## 6. CONCLUSÕES

O modelo de classificação proposto nesta pesquisa visou estabelecer de forma simples e objetiva metas para identificar os assentamentos subnormais por meio de OBIA em imagens de altíssima resolução, obedecendo padrões internacionais que possibilitam a comparação dessa informação com outros trabalhos. Devido esta metodologia permitir que a base de conhecimentos do operador fosse documentada através da árvore de decisão (*Process Tree*), é possível ser aplicada por outra pessoa que deseje classificar os mesmos objetos em uma outra cena, desde que esta possua características espectrais e resolução espacial semelhantes as da cena onde a metodologia foi utilizada .

A classificação dos assentamentos subnormais foi satisfatória, considerado o coeficiente kappa obtido para toda a área de estudo. As informações de contexto foram a base para identificar os assentamentos, já que nas áreas estudadas as edificações irregulares, em sua maioria, têm estruturas similares às de áreas de assentamento regular. Esse fato ocorre devido essas áreas serem transformadas em Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS).

A metodologia utilizada neste trabalho mostrou-se eficiente para possibilitar identificar as áreas irregulares sob a ótica das edificações. Contudo, devido a resolução espacial do sensor utilizado, não foi possível identificar de forma individual os lotes e residências para poder ser aplicado em cadastros técnicos multifinalitários e censo. Outro fator que não permitiu identificar as edificações foi o uso da imagens funcionada sem a banda infravermelho próximo e com a resolução radiométrica de 8 bits, usando a imagem por banda (incluindo a infra vermelho próximo) e com 11 bits permite identificar diferenças sutis dentro de um mesmo critério. Além de uma

resolução raiométrica maior auxilia na segmentação criando polígonos mais detalhados e coerentes com a realidade.

Com a evolução do sensoriamento remoto, será possível alcançar esta meta, uma vez que já existem sensores com resolução espacial melhor, como é o caso do WorldView – II, que tem resolução de 0,5 m. Com o intuito de determinar com maior precisão as edificações, podem ser agregados outros sensores, a exemplo do LIDAR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMINPOURI, M. **Object-Oriented Analysis of Very High Resolution Orthophotos for Estimating the Population of Slum Areas, Case of Dar-Es-Salaam, Tanzania.** *Dissertação (Mestrado)* . International Institute For Geo-information Science And Earth Observation, 2009.
- ANTUNES, A. F., & CORTESE, S. C. **Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de análise orientada a objeto.** *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* , pp. 481-487, 2007, Abril 21-26.
- ARAÚJO, E. G.; KUX, H. J. H.; FLORENZANO, T. G. **Análise multitemporal de dois bairros de Belo Horizonte (MG) usando classificação orientada a objetos de imagens QuickBird e inferência espacial.** Sensoriamento remoto e SIG avançado: novos sistemas sensores: métodos inovadores. São Paulo: Oficina de extos, Ed. 2, cap. 20, p. 209-226, 2007.
- AZEVEDO JUNIOR, M. T. **Regularização de assentamentos urbanos e sustentabilidade.** *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo* , 15, pp. 80-93, 2008 (2º Semestre).
- BARROS, A. D., & IMAI, N. N. **Identificação de corpo d'água e sombra em imagens aéreas de alta resolução.** *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* , p. 7301, 2011, Abril.
- BARROS, A. M. **Cidade, Fábricas de Excluídos?** *Anais do 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina*, 2009.
- BENZ, U. C. et al. **Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information.** *Isprs Journal Of Photogrammetry &*

**Remote Sensing:** Elsevier, n. 58, 06 out. 2003. Disponível em:  
[www.elsevier.com/locate/isprsjprs](http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs). Acesso em: 18 mar. 2009.

**BHATTA, B. Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data.**  
Springer, (2010).

**BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , 2-16, 2010.**

**BLASCHKE, T., & KUX, H. Sensoriamento remoto e SIG avançados** (2<sup>a</sup> Edição ed.). São Paulo, Brasil: Oficina de Textos, 2007.

**CONGALTON, R. G., & GREEN, K. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data.** Lewis Publishers , 49 (12), 1999.

**COSTA, V. G., & NASCIMENTO, J. O conceito de favelas e assemelhados sob o olhar do IBGE, das prefeituras do Brasil e da ONU. Anais do Encontro de Geógrafos da América Latina, 2005.**

**D'OTTAVIANO, M. C., & SILVA, S. L.. Regularização fundiária no brasil: velhas e novas.** (L. M. Carleial, & B. d. Cruz, Eds.) *Planejamento e Políticas Públicas - PPP* (34), pp. 201-229, 2009.

**DAVIS, M. Planeta Favela.** São Paulo: Bomtempo, 2007.

**DEFINIENS, User Guide, 2007, 480 p.** Acesso em: 08 de janeiro de 2009. Disponível em: <http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>.

**DIAS, F. D., GOMES, L. A., & ALKMIM, J. K. Avaliação da qualidade ambiental urbana da bacia do ribeirão do Iipa através de indicadores, cuiabá/mt.**  
*Sociedade & Natureza* , pp. 127-147, 2011.

DIGITALGLOBE (Estados Unidos Da America). The DigitalGlobe Constellation. Disponível em:

<<http://www.digitalglobe.com/index.php/82/Content+Collection+Systems>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

**DURIEUX, L., LAGABRIELLE, E., & NELSON, A. A method for monitoring building construction in urban sprawl areas using object-based analysis of Spot 5 images and existing GIS data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* (63), 399 - 408, 2008.**

**EHLERS, M. Sensoriamento remoto para usuários de SIG – sistemas e métodos: as exigências e a realidade.** In T. Blaschke, & H. Kux, *Sensoriamento Remoto e S/G* (pp. 19-38). São Paulo, Brasil: Oficina de Textos, 2005.

**GAMANYAR, R., MAYER, P., & DAPPER, M. d. Object-oriented change detection for the city of Harare, Zimbabwe.** Expert Systems With Applications: Elsevier, n. 36. 2009. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/eswa](http://www.elsevier.com/locate/eswa)>. Acesso em: 10 nov. 2009.

**GENELETTI, D.; GORTE, B. G. H. A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photographs.** *International Journal of Remote Sensing.* vol. 24, n. 6, 1273–1286 2003,. Acesso em: 10 de janeiro de 2009. Disponível em: <http://www.tandf.co.uk/journals>.

**HOFMANN, P., STROBL, J., BLASCHKE, T., & KUX, H. Detecting informal settlements from quickbird data in rio de janeiro using an object based approach.** In T. Blaschke, S. Lang, & G. Hay, *Object-Based Image Analysis : Spatial*

*Concepts for Knowledge-Drive Remote Sensing Applications* (pp. 532-553). Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2008.

HU, X. T. **Automatic segmentation of high-resolution satellite imagery by integrating texture, intensity, and color features.** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* (71), 1399 - 1406, 2005.

HUSSAIN, E., & SHAN, J. **Rule inheritance in object-based image classification for urban.** *ASPRS 2010 Annual Conference*, 2010.

IBAM. **Urbanização de assentamentos informais e regularização fundiária América Latina.** In UN-HABITAT, *Foro Iberoamericano e do Caribe sobre Melhores Práticas*. Rio de Janeiro, 2004.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the Environment an Earth perspective.** New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River, 2000. 544 p.

KONG, C. X. **Classification and extraction of urban land-use information from high-resolution image based on object multi-features.** *Journal of China University of Geosciences* (17), 151 - 157, 2006.

KUX, H. A. **Object-based image analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil).** In T. L. Blaschke, *Object Based Image Analysis* (pp. 571-588). Heidelberg, Berlin, New York: Springer, 2008.

KUX, H. J., NOVACK, T., & FONSECA, L. M. **Mapeamento de favelas usando classificação orientada a objeto – estudo de caso em Paraisópolis, São Paulo (SP).** *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* , 2009, pp. 715-721.

NUVULUR, Kumar. Multiespectral image analysis using the object-oriented paradigm. Florida, Estados Unidos,2006

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. ***Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.*** 3. edição. São Paulo:Ed.Blucher,2008. Revista e ampliada.

PINHO, Carolina Moutinho Duque de. **Análise orientada a objeto de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do uso do solo no espaço intra-urbano:** o caso de São José dos Campos. 2005. 180 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisa Espacial – INPE. São José dos Campos, SP, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. Plano diretor da cidade de João Pessoa. João Pessoa,1994.