

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

OLINDINA GOMES DE MACEDO

AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES EM IMAGEM
DE ALTA RESOLUÇÃO: ÁREA URBANA DE
JABOATÃO DOS GUARARAPES-PE

Orientador: Prof^a. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias
Co-Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior

Dissertação de Mestrado

Recife, 2010

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

Olindina Gomes de Macedo

AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES EM IMAGEM DE ALTA
RESOLUÇÃO: ÁREA URBANA DE JABOATÃO DOS
GUARARAPES-PE

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 SIG, defendida e aprovada em 30/08/2010.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias
Co-orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior

Recife, 2010

M141a **Macedo, Olindina Gomes Macedo**

Avaliação de Classificadores em Imagem de Alta Resolução: Área urbana de Jaboatão dos Guararapes-PE/ Olindina Gomes de Macedo. - Recife: O Autor, 2010.
vi, 70f.; Il., gráfs., tabs., mapas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós- Graduação e Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010.

Orientador Profª Drª Ana Lúcia Bezerra Candeias
Inclui Referências Bibliográficas e Anexos

1.Engenharia Cartográfica. 2. Classificador ISOSEG e Bhattacharrya. 3. Classificação Visual. 4. Imagens de Alta Resolução. 5. Áreas de Preservação Ambiental. I. Título.

UFPE

526.1 CDD (22.ed.)

BCTG/2010-220

**AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES EM IMAGEM DE ALTA
RESOLUÇÃO: ÁREA URBANA DE JABOATÃO DOS
GUARARAPES-PE**

POR

OLINDINA GOMES DE MACEDO

Dissertação defendida e aprovada em 30/08/2010.

Banca Examinadora:


Profa. Dra. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco


Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco


Profa. Dra. VANICE SANTIAGO FRAGOSO SELVA
Departamento de Ciências Geográficas - Universidade Federal de Pernambuco

"Aquele que faz e promove o bem cultiva o seu próprio êxito" (Provérbio chinês)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Luiz e Lourdes Macedo, dedico esta vitória.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me conceder essa oportunidade fortalecendo minha fé para enfrentar os obstáculos

A minha família, pais, irmãos e sobrinhas, que sempre me incentivaram, fazendo com que eu superasse as dificuldades que surgiram no caminho.

A Semio pela compreensão, paciência e companheirismo nos momentos de angústias.

A minha orientadora Professora Ana Lúcia, pela paciência, dedicação, auxílio e principalmente por acreditar no meu potencial.

Ao professor João Rodrigues pela co-orientação, pelos ensinamentos e palavras de incentivos.

À amiga Vanessa e Clécio pelo incentivo nos momentos mais difíceis.

Aos colegas do mestrado especialmente Luciano, pelo apoio e auxílio na superação das disciplinas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação por me proporcionarem novos conhecimentos, em especial a Professora Andréa de Seixas.

À professora Vanice Selva e Professor Carlos Alberto Schüller pela valiosa contribuição para finalização desta pesquisa.

À Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes em especial ao Cel. Artur Paiva por disponibilizar a Imagem de Satélite referente à Área de Estudo.

A todos que contribuíram de alguma forma para que esta dissertação fosse concretizada, muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO E ALAVRAS – CHAVES	i
ABSTRACT AND KEYWORDS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS	vi
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivo Geral	04
1.2 Objetivos Específicos.....	04
2. EMBASAMENTO TEÓRICO.....	06
2.1 Imagem QUICKBIRD.....	06
2.2 Classificação de alvos usando Interpretação Visual.....	07
2.3 Classificação Automática de Imagens Digital.....	09
2.4 Métodos de Classificação de Crescimento por Regiões.....	13
2.4.1 Método ISOSEG.....	13
2.4.2 Método BHATTACHARYA.....	14
2.5 Transformação por Principais Componentes.....	15
2.6 A Legislação Ambiental no Contexto Urbano.....	17
2.6.1 Legislação no nível Estadual.....	17
2.6.2 Legislação no nível Municipal.....	18
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	20
3.2 Material e Método.....	23
4. RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL E AUTOMÁTICA.....	26
4.1 Resultados da Classificação Visual.....	26
4.2 Resultado e Avaliação da Classificação Automática.....	37
4.2.1 Resultados utilizando a Transformação por Principais Componentes.....	38
4.2.2 Resultado e avaliação do processo de Segmentação.....	42

4.2.2.1 Segmentação da Imagem Original RGB e da Imagem Realçada por Principais Componentes com Limiar de Similaridade e Limiar Área 100.....	42
4.2.2.2 Segmentação da Imagem Original RGB e da Imagem Realçada por Principais Componentes com Limiar de Similaridade e Limiar de Área 50.....	43
4.2.3 Resultados da Classificação Automática ISOSEG e BATTACHARRYA.....	45
4.2.3.1 Classificação da Imagem após a Segmentação Utilizando o Método ISOSEG.....	46
4.2.3.2 Classificação da Imagem após a Segmentação Utilizando o Método BHATACHARRYA.....	47
4.3 Avaliação dos Resultados dos Classificadores Automáticos.	49
 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	54
5.1 Conclusões.....	54
5.2 Recomendações.....	56
 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
 Anexo 1 - Carta Imagem - Zoneamento Temático da Área de Estudo em Observação a Legislação Ambiental.....	60
Anexo 2 - Mapa da diferença de Urbanização entre 1986 e 2005 da área de Estudo Urbano.....	62
Anexo 3 - Identificação de Variáveis Visuais na Área de Estudo.....	64
Anexo 4 - Transformação de Sistemas de Referência Geodésico.....	66

RESUMO E PALAVRAS - CHAVE

MACEDO, Olindina Gomes de. **Avaliação de Classificadores em Imagem de Alta Resolução: Área Urbana de Jaboatão dos Guararapes-PE.** Recife, 2010, 67 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A avaliação de classificadores automáticos de imagens QUICKBIRD em relação à classificação visual integrada a visita de campo para comprovação da verdade terrestre, permite testar classificadores automáticos de imagens submétricas, indicando as vantagens e restrições na identificação de alvos. A observação da ocupação do solo nas áreas de preservação ambiental aplicando a avaliação de classificação visual e classificadores automáticos representam importante contribuição metodológica, principalmente nas ocupações subnormais nas margens de corpos de água. Uma área teste no entorno e margem da lagoa Olho D'Água, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, foi usada para analisar testes de alguns classificadores automáticos e classificação visual integrada à inspeção visual e fotográfica dos alvos em campo da imagem QUICKBIRD de 2005 georreferenciada em UTM/SAD/69. A área de estudo está inserida na Zona de Proteção Ambiental Z4.10 de acordo com a Legislação Urbanística Básica do Município de Jaboatão dos Guararapes, Lei nº165 de 20/11/1980, e Área de Preservação Permanente, APP, conforme Resolução 303/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), tendo sido realizada carta imagem e zoneamento temático usando o ARCVIEW usando imagem RGB QUICKBIRD das áreas de preservação conforme a legislação referida, áreas livres, áreas de solo exposto, áreas construídas e áreas com cobertura vegetal, indicando que 4,946 ha de área construída estão dentro da Z4.10, do total de 102,261 ha de área construída. A metodologia de aplicação dos classificadores consistiu em síntese em classificar os alvos água, solo exposto, área construída e vegetação, realizando: 1- segmentação da imagem fusionada multiespectral (RGB) QUICKBIRD de 0,6 m de pixel; 2- realce por componentes principais com diferentes limiares de similaridade; 3- uso dos classificadores automáticos ISOSEG e BHATTACHARRYA, classificação visual da imagem RGB com o software SPRING. Na avaliação, o classificador BHATTACHARRYA com limiar de aceitação de 95% foi o que mais de aproximou da análise visual da imagem original RGB assumida como referencia. Na avaliação da classificação visual dos alvos a imagem de referência RGB integrada à visita de campo, e comparada à classificação BHATTACHARRYA, as regiões da interface água/solo foram bem definidas, demonstrando a utilidade da metodologia para separar alvos em regiões complexas de ocupação subnormal e protegidas pela legislação ambiental

Palavras-chave: Classificador ISOSEG e BHATTACHARRYA; classificação visual; imagens de alta resolução; áreas de preservação ambiental.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The evaluation of automatic classifiers with QuickBird image classification in relation to the integrated visual classification and field visit for proving the ground truth, allows testing of automatic classifiers submetric images, indicating the advantages and limitations in identifying targets. The observation of land use in environmentally protected areas by applying the evaluation of visual classification and automatic classifiers, represents an important methodological contribution, especially in occupations subnormal shores of water bodies. A test area surrounding the pond margin and Olho D'Água, Jaboatao dos Guararapes, Pernambuco, was used to analyze tests of some automatic classifiers and classification integrated with visual and photographic visual inspection of the targets in the field of QuickBird image of 2005 georeferenced in UTM / SAD/69. The study area is part of the Environmental Protection Zone Z4.10 according to the Basic Law of Urban Jaboatão Guararapes, Law No 165 of 20.11.1980, and Permanent Preservation Area, APP, according to Resolution 303/2002 CONAMA (National Environment Council), was performed letter and zoning thematic image using ARCVIEW using QuickBird RGB image of the preservation areas such as law, free areas, areas of exposed soil, built areas and areas with vegetation cover, indicating that a constructed area of 4.946 ha are within Z4.10, total building area of 102.261 ha. The methodology consisted of applying the classifiers to classify synthetic targets water, bare soil, vegetation and building area, performing: 1-segmentation of original image in RGB QUICKBIRD 0.6 m pixel, 2-enhancement of principal components with different thresholds of similarity, and 3 - use of automatic classifiers and ISOSEG BHATTACHARRYA, visual classification of RGB image with the software SPRING. In evaluating the classifier BHATTACHARRYA with acceptance threshold of 95% was more than approached the original RGB image taken as reference. In assessing the visual classification of the target reference image RGB integrated with the field visit, and compared the classification BHATTACHARRYA, regions of the interface water / soil were well defined, demonstrating the usefulness of the methodology for separating targets in complex areas of occupation and subnormal protected by environmental legislation

Keywords: Classifier ISOSEG and BHATTACHARRYA; visual classification, high-resolution imagery, environmental preservation areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alvos da imagem IKONOS(1), imagem classificada(2) e vetorização(3)	08
Figura 2: Modelagem da Classificação Supervisionada	10
Figura 3: Espaço de Atributos	11
Figura 4: Classificação de um Pixel utilizando a Distância de Mahalanobis	14
Figura 5: Distância de Bhattacharya.	15
Figura 6: Transformação pro Principais Componentes em duas dimensões	16
Figura 7: Localização da Lagoa Olho d'Água e da Área de estudo	20
Figura 8: Localização da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão e a micro bacia Lagoa Olho D'Água	21
Figura 9: Localização da área de estudo. As escalas se referem à escala original	21
Figura 10: Carta Imagem destacando os três canais secundários que deságuam na Lagoa Olho D'Água	22
Figura 11: Etapas da Pesquisa	23
Figura 12: Locais observados e fotografados <i>in situ</i>	29
Figura 13: Via lateral a um canal secundário	30
Figura 14: Canal na margem leste da Lagoa Olho D'Água	31
Figura 15: Aspecto do canal marginal da Lagoa Olho D'Água	31
Figura 16: Aterro de lagoas menores	32
Figura 17: Abertura do canal marginal da Lagoa Olho D'Água	33
Figura 18: Vegetação flutuante do canal marginal	33
Figura 19: Ocupação do canal marginal da Lagoa Olho	34
Figura 20: Seleção da área da imagem QuickBird e transformação por principais componentes	38
Figura 21: (a) Imagens sintética Principais Componentes. (b) Imagem QuickBird	39
Figura 22: Imagem sintética ampliada em área construída	40
Figura 23: Imagem sintética ampliada das áreas livres	41
Figura 24: Imagem sintética ampliada	41
Figura 25: Segmentação a partir da Imagem realçada por Principais Componentes e Imagem original (RGB)	43
Figura 26: Segmentação da imagem com limiar de similaridade 50 e limiar de área 50	44
Figura 27: Segmentação com limiar de similaridade 50 e limiar de área 50	45
Figura 28: Classificador Iseseg com limiar de aceitação 95%	47
Figura 29: Classificador Bhattacharya com limiar de aceitação de 95%.	48
Figura 30: Classificador Bhattacharya com limiar de aceitação de 75%	49

Figura 31: ISOSEG. (a) Classificação ISOSEG da imagem QUICKBIRD. (b) Imagem de referência RGB QUICKBIRD	50
Figura 32: BATHACHARRYA. (a) Classificação BATHACHARRYA. (b) Imagem de referência RGB QUICKBIRD	51
Figura 33: Principais Componentes. (a) Imagem Principais Componentes. (b) Imagem de referência RGB QUICKBIRD	52

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Característica das imagens do Sensor de alta resolução a bordo do satélite QUICKBIRD	07
Tabela 2: Pontos visitados em 10/out/2009 em UTM/SAD69	28
Tabela 3: Dados quantitativos do zoneamento da área de estudo	35
Tabela 4: Comparação da expansão urbana de 1986 e 2005.	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

APP	Área de Proteção Ambiental
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
GPS	Global Position System
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
SAD69	Sistema Geodésico de Referência South American Datum 1969
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCA	Zona de Conservação dos Corpos de Água
ZEIS	Zona de Interesse Social
ZPA	Zona de Proteção Ambiental

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma avaliação de classificadores automáticos usando imagem de alta resolução espacial no processo de separação de classes de alvos, a saber, água, solo exposto, telhados de edificações e cobertura vegetal.

A área de estudo corresponde a um trecho da margem localizada no entorno da Lagoa Olho D'Água, uma porção leste deste corpo de água envolvida pelo bairro de Candeias, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. Esta área de estudo é plana, com solos arenosos e argilosos, onde a vegetação original de restinga foi quase toda retirada, tendo hoje a cobertura vegetal composta de vários tipos de árvores, arbustos e vegetação rasteira.

Existe um canal escavado ao longo de toda margem leste da Lagoa Olho D'Água, havendo vários trechos cobertos por vegetação flutuante, sendo este canal a ligação entre o canal de Setúbal (norte da Lagoa Olho D'Água) e o canal Olho D'Água, ao sul da referida lagoa. Neste canal marginal há uma estrada não pavimentada cortada por dois canais menores na área de estudo, havendo criatórios de animais, mocambos e pequenas lagoas sendo aterradas para construção de casas ao longo da margem da Lagoa Olho D'Água.

A média de precipitação anual no município de Jaboatão dos Guararapes é de 2000 mm, ocorrendo alagamentos no entorno da Lagoa Olho D'Água em função da capacidade insuficiente de escoamento dos canais principais e secundários, e do pequeno número de canais, além de assoreamento e lixo lançado pela população.

Dentre as diversas categorias de imagens e metodologias de processamento de imagens de Sensoriamento Remoto, a classificação de imagens de alta resolução multiespectrais tem proporcionado informações atualizadas sobre inúmeros tipos de problemas socioambientais e de planejamento urbano, dentre outros.

Ao lado das vantagens da maior quantidade e da qualidade das informações espaciais disponíveis nas imagens de alta resolução, são observados alguns problemas decorrentes da própria alta resolução espacial, um deles é o problema de separar alvos com comportamentos espectrais semelhantes.

Conforme as características da ocupação da área de estudo, das variações do meio físico, e do comportamento espectral semelhantes de alvos pode-se gerar dificuldades em separar automaticamente os alvos na segmentação ou classificação. Este é um dos problemas de imagens de alta resolução espacial que será discutido neste trabalho.

A eficiência do agrupamento de classes homogêneas usando classificadores automáticos pode ser avaliada quando comparada com a interpretação visual. Um exemplo prático deste problema de classificação automática de alvos de comportamento espectral semelhante é a confusão entre o solo exposto (argiloso) e os telhados de casas construídos com telhas de argila.

Na classificação dos alvos, a análise visual da imagem colorida das bandas RGB 3, 2 e 1 da imagem multiespectral QUICKBIRD é adequada para reconhecer água, solo exposto, telhados e outras edificações, contudo existem setores do terreno que necessitam de visita a campo para constatar sua identidade, por causa do aspecto muito semelhante entre estes alvos.

A análise visual das imagens é uma técnica normalmente usada na interpretação das imagens, mas o intérprete visual encontra dificuldades quando a tarefa é classificar áreas inteiras de dezenas ou centenas de quilômetros quadrados e os alvos de aspecto similar.

Uma classificação automática pode ser avaliada para resolver o problema de classificação de alvos similares tomando como referência uma imagem RGB do QUICKBIRD conferida *in situ* para alguns pontos escolhidos na imagem mediante visita de campo e fotografias terrestres posicionadas com GPS de navegação.

Dentre os classificadores automáticos, o ISOSEG é um classificador não supervisionado automático enquanto, o BHATTACHARYA é um classificador supervisionado. Ambos necessitam de uma segmentação prévia da imagem e para o caso do BHATTACHARYA tem-se a definição inicial de classes com a supervisão do intérprete. Também é usado aqui o método da classificação a partir das Principais Componentes aplicada a imagem original RGB. Por ser um método de decorrelação, tem-se uma separabilidade dos alvos presentes na cena.

As classificações usando ISOSEG, BHATTACHARYA e Principais Componentes podem ser avaliadas visualmente quanto a sua capacidade de classificar alvos em relação à análise visual dos mesmos alvos inspecionados em visita de campo dos alvos como a água, vegetação, solo e área construída.

A Lagoa Olho D'Água está sob a Lei Nº165/1980 que determina uma faixa de proteção do entorno desta lagoa denominada de Zona de Proteção Ambiental Z4-10, uma faixa de 100 m proibindo edificações, exceto determinados tipos de infra-estruturas.

As imagens multiespectrais do sistema satélite QUICKBIRD usadas no presente trabalho e cedidas pela Comissão de Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes, foram fusionadas com a imagem pancromática e possuem uma resolução espacial de 0,6 m. Estas imagens permitem um detalhamento espacial dos alvos água, solo exposto, vegetação e edificações, e permite a vetorização de polígonos definidos na classificação visual, além de possibilitar o zoneamento ambiental dos afastamentos de 100 m (Lei No. 165/1980) e de 30 m (Resolução 303/2002 do CONAMA) em torno da Lagoa Olho D'Água.

A imagem QUICKBIRD georreferenciada em SAD69/UTM (Sistema Geodésico de Referência South American Datum 1969, e Sistema de Projeção Universo Transverso de Mercator) permite calcular as áreas construídas, áreas de solo exposto, os setores de cobertura vegetal, fora e dentro das áreas de proteção ambiental.

O entorno da Lagoa Olho D'Água apresenta vários locais de ocupação subnormal, aterros, inclusive aterros do sistema de lagoas menores que fazem parte da Lagoa Olho D'Água; assoreamento no leito das lagoas, e do canal Setúbal e do canal Olho D'Água, que liga a lagoa ao Rio Jaboatão, permitindo a influência das marés. O canal de Setúbal drena os bairros de Boa Viagem, Pina, Setúbal, Piedade, Candeias, Cajueiro Seco, Prazeres, Barra de Jangada, entre outros, representando um nível de base vital para a drenagem urbana destes bairros.

A complexidade da imagem QUICKBIRD da área de estudo, em suas texturas e geometrias dos objetos entrelaçados, reflete as várias formas do uso e ocupação do solo, desde quadras bem organizadas até ocupações sem padrões de lotes ou de casas, que são as ocupações subnormais.

Observa-se, na imagem de 2005 e nas visitas de campo de 2009, os terrenos livres de ocupação (e que podem ser ocupados), ocupações subnormais (inclusive em torno dos canais), os aterros e estradas com solo exposto; casas com diversos tipos de telhados, inclusive de telha canal de argila, vegetação ressecada, etc. Esta complexidade da paisagem na imagem contribuiu para dificultar a classificação de alvos em imagens de alta resolução cujo comportamento espectral sejam semelhantes, ou seja, representa um problema motivador para avaliar classificadores automáticos em relação à classificação visual apoiada com visita de campo.

A falta de mapeamento de domínio público usando imagens de alta resolução, das margens protegidas pela legislação ambiental, como é o caso do entorno da Lagoa Olho D'Água, é outra razão para usar a área de estudo do presente trabalho como teste para avaliar classificadores automáticos comparando-os a classificação visual, especialmente em alguns setores da imagem, onde a confusão entre alvos é crítica.

A imagem QUICKBIRD de 2005 representa um registro muito significativo da situação de 2009, época da visita de campo, não tendo sido constatada diferenças grandes no tipo e na extensão do uso e ocupação do solo, reflexo da falta de realização de obras de infra-estrutura e da ocupação subnormal menos intensa.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar os classificadores automáticos dos alvos da área de estudo em relação à classificação visual dos alvos na imagem QUICKBIRD em RGB de 2005 assumida, junto com o auxílio das informações coletadas na visita de campo em 2009 para identificação dos alvos, como referência na avaliação das classificações automáticas.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dizem respeito à avaliação visual da classificação dos classificadores automáticos em relação à interpretação visual da imagem de referência, QUICKBIRD multiespectral de pixel de 0,6 m de março de 2005, e a análise da comparação destes classificadores entre si. Portanto, os objetivos específicos alcançados foram:

- 1- Fazer a interpretação visual da imagem de referência QUICKBIRD das classes de objeto: solo exposto, água, área construída e cobertura vegetal;
- 2- Fazer o Zoneamento ambiental do trecho margem da Lagoa Olho D'Água compreendido na área de estudo do presente trabalho em observação a Lei No. 165/1980 e a Resolução 303/2002 do CONAMA;
- 3- Analisar o mapeamento da diferença de crescimento urbano de 1986 e 2005.
- 4- Avaliar o resultado dos classificadores ISOSEG, BHATTACHARRYA e Principais Componentes com a imagem de referência;

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

A complexidade das imagens de alta resolução referente à área de estudo, em suas texturas e geometrias dos objetos entrelaçados, reflete as várias formas do uso e ocupação do solo, desde quadras bem organizadas até ocupações sem padrões de lotes ou de casas, que são as ocupações subnormais. JENSEN e TOLL (1982); JI et al. (2001); LI, YEH (1988); DENG (2008), MOELLER, 2005, HEROLD et al. (2003), BATTY e HOWES (2001) analisaram a extração de feições em áreas urbanas utilizando imagens de sensores remotos e seus resultados são satisfatórios para a extração automática dos alvos urbanos.

A seguir têm-se os elementos que serviram de embasamento teórico e de ferramentas na metodologia aplicada à área teste da lagoa Olho D' Água.

2.1 Imagem QUICKBIRD

Uma imagem digital raster apresenta uma estrutura de pixels para formar os objetos, tendo o pixel na matriz da imagem a notação $[a(i, j)]$, para identificar linha (i) e coluna (j) do pixel (a) na matriz. O reconhecimento das feições do terreno representada na imagem depende da resolução espacial, radiométrica e espectral da imagem. Existem vários sistemas sensores que geram imagens de alta resolução, a exemplo do GEOEYE, IKONOS e o QUICKBIRD. A imagem QUICKBIRD apresenta na banda pancromática e multiespectrais 2,4m, e resolução radiométrica de onze bits, fornecendo 2044 níveis de cinza, NOVO (2008). No caso aqui estudado, a imagem multiespectral está previamente processada com a imagem pancromática LILLESAND e KIEFER, (1994), e por isto as bandas multiespectrais possuem a resolução de 0,6 m. A Tabela 1 abaixo mostra as características principais da imagem QUICKBIRD.

Tabela 1- Característica das imagens do Sensor de alta resolução a bordo do satélite QUICKBIRD. Fonte: NOVO (2008).

Bandas Espectrais	Faixas Espectrais	Resolução Espectral (nm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica (bit)	Largura da faixa imageada (nadir) (km)
Pancromática	445-900 nm	455	0,6	11	16,5
Azul	450-520 nm	70	2,4		
Verde	520-600 nm	80			
Vermelho	630-690 nm	60			
Infravermelho	760-900 nm	140			

2.2 Classificação de alvos usando Interpretação Visual

A classificação de uma imagem consiste no agrupamento de pixels de mesma resposta espectral em classes. A visão humana tem capacidade variável e limitada conforme o intérprete quanto ao poder de identificar e separar os grupos de áreas homogêneas. Em áreas de estudo reduzidas (por exemplo, 1 km²), e alvos bem diferenciados entre si, a interpretação visual pode ser usada com eficiência para separar as classes de alvos, mas o grau de conhecimento do intérprete sobre a verdade terrestre e sua experiência em interpretação é vital no bom resultado da avaliação da classificação visual MARCHETTI e GARCIA (1997). Áreas de ocupação subnormal dentro de meio físicos complexos (estuários, sistemas de lagoas) oferecem um desafio a interpretação visual e definição consistente das classes de objetos.

Os limites entre os diferentes alvos representam um dos problemas mais importantes da classificação de objetos em imagens. Limites entre os alvos com bom contraste facilitam a separação dos alvos, enquanto que, áreas com objetos com semelhante comportamento espectral dificultam a separação dos alvos CENTENO (2004).

Vários elementos contribuem para caracterizar os objetos na imagem, entre os quais o nível de cinza, forma, dimensões, as variações de saturação, matiz e brilho. A textura

reflete inúmeros combinações e padrões das variações de níveis de cinza, cores, e a geometria das linhas e pontos formados por pixels MOREIRA (2005).

A Figura 1 mostra um exemplo do artigo de Herold et al. (2003) de configurações na área urbana, em níveis de cinza, textura e geometria de alvos da imagem IKONOS. Na coluna (1) tem-se a imagem, na coluna (2) a classificação, e na coluna (3) uma imagem vetorial. Observa-se que as colunas 2 e 3 desta figura possuem feições extraídas das amostras das imagens da coluna 1, no modo automático e com análise visual.

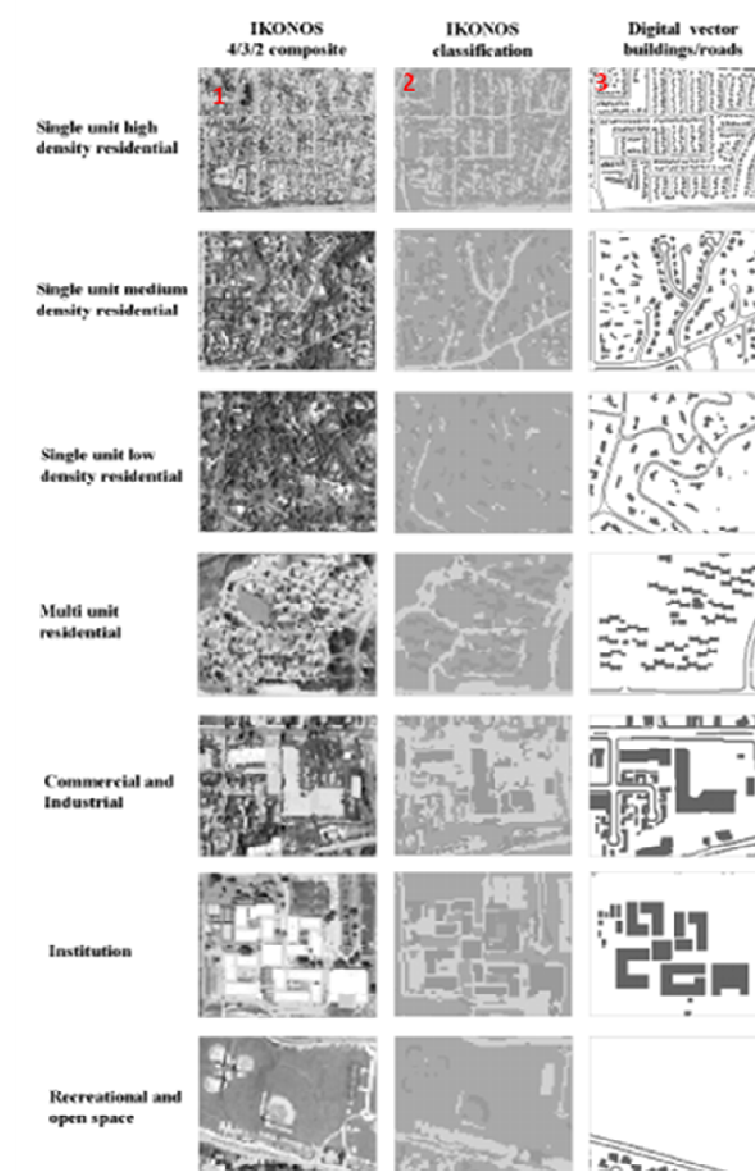


Figura 1 - Alvos da imagem IKONOS (1), imagem classificada (2) e vetorização (3).

Fonte: Herold et al. 2003.

2.3 Classificação Automática de Imagens Digital

A classificação digital da imagem de uma parte da superfície terrestre tem por finalidade a extração de objetos ou feições. A interpretação automática se torna um método eficaz para auxiliar dúvidas de detecção de alvos encontrados a partir da classificação interpretada no modo visual da imagem de alta resolução espacial e também fornece repetitividade quando esta classificação é do tipo não supervisionada. Para uma melhor constatação no reconhecimento de objetos homogêneos identificados na classificação visual, utiliza-se o método de classificação automática através dos processos pelos quais se extraem informações capazes de reconhecer padrões e objetos homogêneos.

Na identificação de alguns objetos como na interface de solo x água, solo x telhados, água e vegetação, água x solo, nas imagens QUICKBIRD, aplicou-se técnicas de Processamento Digital de Imagem por meio de algoritmos de classificação automática utilizados aqui nesta dissertação como método comparativo à classificação visual dos alvos.

De acordo com o INPE (2002), o processamento digital da imagem visa a identificação e a extração de informações da imagem que ajude o usuário a identificar os alvos. O Processamento Digital de Imagens pode ser dividido em três etapas: 1- Pré-processamento, que permite a transformação de dados digitais em dados corrigidos radiométrica e geometricamente; 2- O realce da imagem, que tem a finalidade de melhorar sua qualidade visual, enfatizando algumas características para uma aplicação mais específica (destaque de bordas, por exemplo); 3- Processamento da imagem usando segmentação e classificação.

A primeira fase da classificação de imagens envolve a segmentação, que de acordo com MOREIRA (2005), é o processo de particionamento do espaço de atributos espectrais em regiões homogêneas, que significa a localização de regiões na imagem que possuem pixel com características espectrais similares.

No software SPRING existem dois algoritmos de segmentação: 1- crescimento por regiões e, 2- detecção de bacias, para esta pesquisa foi empregado o segmentador crescimento por regiões que utiliza dois limiares, o de similaridade e de área.

O limiar de similaridade baseia-se na distância euclidiana entre os valores médios de cada nível de cinza de cada região, e quando esta média for superior ao limite de similaridade escolhido, tais regiões são consideradas distintas. O limiar de área limita o tamanho mínimo (número de pixel) que uma região pode ter na imagem segmentada, e as regiões que não obedecem ao critério mínimo da região são agrupadas à região mais freqüente ao seu redor CÂMARA et al. (1996).

O processo da classificação automática divide-se em classificação supervisionada e não supervisionada. No caso da classificação supervisionada o usuário irá entrar com seu conhecimento a priori quando coletar as amostras a serem classificadas. De posse dessas amostras e dependendo do classificador escolhido: paralelepípedo, distância mínima, máxima verossimilhança etc., teremos um conjunto de regras para a classificação.

(a) Supervisionado - A escolha das amostras é inicial no processo de classificação, bem como o classificador escolhido. De forma esquemática tem-se a representação da classificação supervisionada na Figura 2:

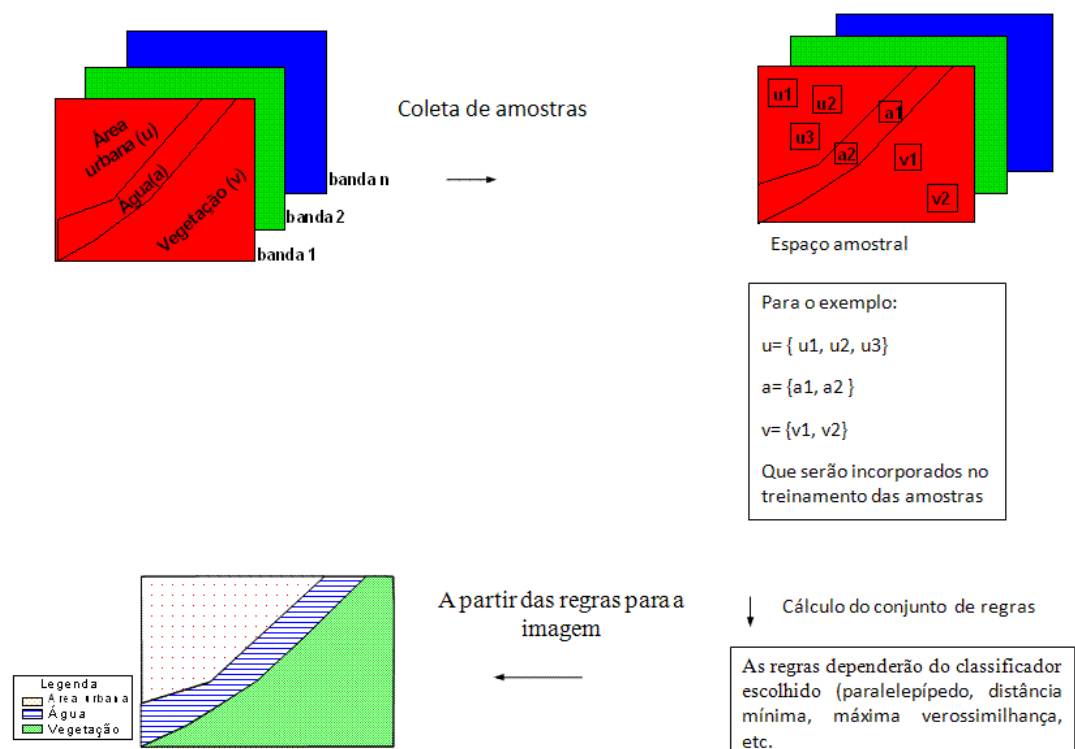


Figura 2 - Modelagem da Classificação Supervisionada.

Nas regras assume-se que: o conjunto de classes foi previamente determinado e qualquer pixel da imagem pertencerá a uma das classes. Para garantir isto, tem-se que a imagem poderá ser classificada em $n + 1$ classes, ou seja tem-se as n classes escolhidas e mais a classe dos pixels que poderão não pertencer a nenhuma das classes (pixels classificados).

Dependendo da coleta de amostras podemos ter resultados distintos com um mesmo classificador. Isto ocorre, pois a amostragem possui influência direta no conjunto de regras, como iremos ver mais adiante.

Podemos ter também o mesmo conjunto de amostras, resultados distintos da classificação, no qual cada classificador (paralelepípedo, vizinho mais próximo, máximo verossimilhança, ISOSEG, BHATTACHARYYA etc.), possui regras distintas e isto leva a resultados diferentes de classificação Neste caso o classificador escolhido. A escolha de um classificador que se aproxime da interpretação visual, no caso de imagens de alta resolução, ainda é uma área de estudo de processamento de imagens.

Um ponto importante na classificação é o espaço de atributos que pode ser definido como um gráfico que representa as bandas de imagem e a distribuição dos níveis de cinza dos pixels. Exemplificando, na Figura 3 tem-se uma imagem do sensor TM com as bandas 5, 4 e 3 poderíamos ter as seguintes representações para o espaço de atributos:

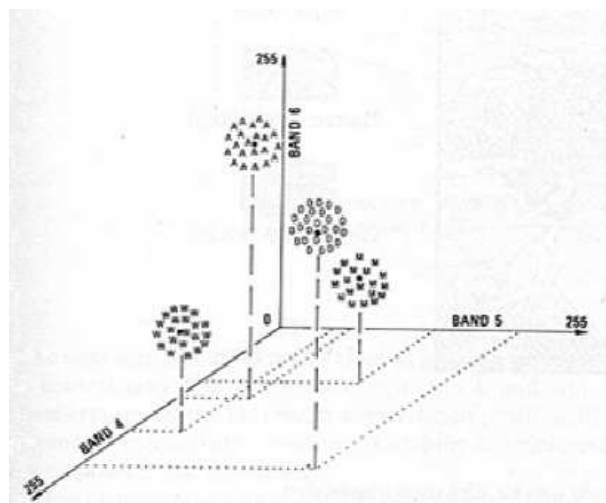


Figura 3 - Espaço de Atributos. Fonte: Sabins, 1987.

A nuvem ou cluster de cada alvo no espaço de atributos está diretamente ligada ao comportamento espectral dos alvos e das bandas selecionadas e a homogeneidade das classes. No caso de amostragem das classes da classificação, isto também irá influenciar no espaço amostral.

- (b) Não Supervisionada - No caso da classificação não supervisionada tem-se uma automação maior do processo. O usuário irá definir apenas o número de classes e o número de iterações. Com isto, pode-se repetir n vezes a mesma classificação com os mesmos parâmetros (n° de classe e iterações) e têm-se o mesmo resultado. Isto não ocorre na classificação supervisionada, pois o usuário poderá selecionar as amostras em locais distintos e mesmo que utilize o mesmo classificador, o espaço amostral será diferente, gerando assim resultados distintos.

Tomando-se como exemplo o caso desmatamento da Amazônia utiliza-se classificação não supervisionada na metodologia, pois isso gerará resultados independentes do usuário. Tem-se o número de classes e iteração que serão aplicados as imagens no tempo $t_1, t_2, \dots, t_x$.

A desvantagem do método de classificação não supervisionada é que nem sempre é trivial informar o número de classes e/ou número de iterações. Na classificação supervisionada é possível indicar quais são as classes que realmente desejamos classificar. Isto, em geral, é uma vantagem, além disto, deixa o usuário como participante de classificação, pois irá interferir mais diretamente do processo.

Os classificadores são do tipo pixel a pixel quando utilizam apenas a informação espectral (nível de cinza) para obter as regiões homogêneas, os métodos para classificar podem ser determinísticos ou probabilísticos para este caso. A maioria dos métodos de classificação amplamente utilizados é do tipo pixel a pixel. Exemplos de classificadores não supervisionados pixel a pixel são o ISODATA e K-médias. Já um classificador não supervisionado por regiões pode ser exemplificado por ISOSEG. Os classificadores por região utilizam, além de informação espectral de cada pixel, utiliza também a informação especial que envolve a relação dos pixels e sua vizinhança um pixel do alvo tem grande chance que seus vizinhos.

A informação de borda (segmentação) é inicialmente utilizada para separar as regiões de propriedades espectrais e espaciais semelhantes (mesma textura). Este tipo de classificação se assemelha um pouco mais ao que um interpretador visual da imagem utiliza quando classifica uma imagem visualmente. Ele agrega regiões de textura homogênea.

Softwares como o E-cognition® ESPINDOLA (2007) possuem a abordagem da classificação utilizando segmentação. No caso do software SPRING existe um módulo para classificação por regiões e onde previamente a imagem deve ser segmentada e classificada pelos métodos: ISOSEG (não existe treinamento de amostras), BHATHACHARYA (onde existe o treinamento de regiões), etc.

2.4 Métodos de Classificação de Crescimento por Regiões

ISOSEG e BHATTACHARYA foram os algoritmos de segmentação de crescimento por regiões empregados na pesquisa, estes métodos utilizam os atributos estatísticos das regiões: a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe.

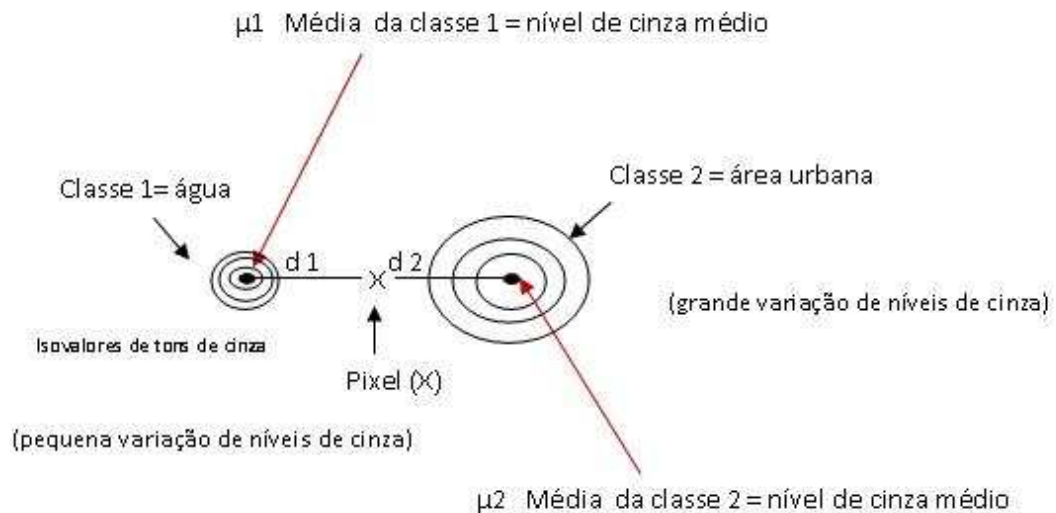
2.4.1 Método ISOSEG

Segundo KÖRTING (2010), o método ISOSEG é um algoritmo de agrupamento (clustering) de dados não-supervisionado, aplicado sobre um determinado conjunto de regiões, caracterizadas por seus atributos estatísticos de média, matriz de covariância e área (DPI, 2010).

Este método agrupa regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas. Tal medida consiste na distância de Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas a relação de pertinência com esta classe.

O método de distância normalizado de Mahalanobis pode ser entendido da seguinte maneira: quando levarmos em consideração a dispersão dos dados, tem-se a diferença normalizada por bandas. Se além da dispersão, for levando em consideração a correlação entre bandas, isto incluirá a covariância entre bandas. Este tipo de distância é chamada de distância de Mahalanobis.

A distância de Mahalanobis é calculada considerando a dispersão dos dados, inclusive a orientação de amostras de uma determinada classe, SANTOS (2006). Essa distância é calculada entre um ponto e um conjunto de amostras, exemplificada na Figura 4.



Neste caso, mesmo se $d1 = d2$ teremos que o pixel (X) pertencerá a classe 2 pois essa classe tem maior variação de níveis de cinza.

Figura 4 - Classificação de um Pixel utilizando a Distância de Mahalanobis.

2.4.2 Método BHATTACHARYA

O princípio deste método é análogo ao utilizado para o classificador Isoseg, porém a medida de distância usada é a de Bhattacharya

A medida da distância de BHATTACHARYA, CHOI E LEE (2003) é usada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ela mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais, de acordo com a Figura 5.

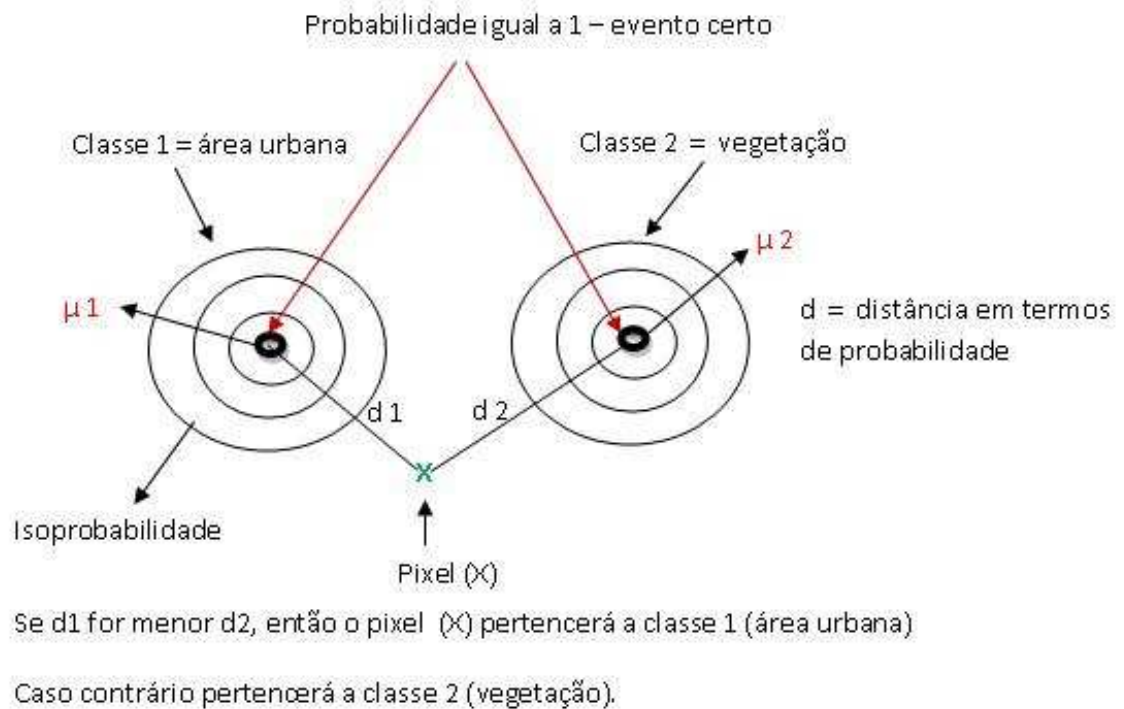


Figura 5 - Distância de Bhattacharya.

O classificador BHATTACHARYA, ao contrário do ISOSEG que é automático, requer uma etapa de treinamento, portanto entrando nos métodos de classificação supervisionada. Neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens.

2.5 Transformação por Principais Componentes

A análise ou transformação por Principais Componentes é uma técnica utilizada no processamento de imagens. Uma imagem altamente correlacionada significa dizer as bandas espectrais são numérica e visualmente similares, portanto analisá-las individualmente pode ser ineficiente uma vez que as informações contidas em cada banda espectral são redundantes, com isto a principal função da transformação por principais componentes de acordo com CRÓSTA, (1992) é determinar a extensão da correlação entre as bandas espectrais e removê-la através de uma transformação matemática apropriada.

Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos (INPE, 2010).

De acordo com as informações de INPE (2010), a transformações por principais componentes deriva-se da matriz de covariância entre as bandas gerando um novo conjunto de imagens onde cada valor de "pixel" é uma combinação linear dos valores originais, e o número de componentes geradas é de acordo com o número de bandas espectrais correspondentes a imagem.

A seguir na Figura 6, têm-se um exemplificado a transformação por principais componentes em duas dimensões correspondentes à rotação do eixo original da coordenada coincidindo coma as direções de máxima e mínima variância no dado (INPE, 2010)

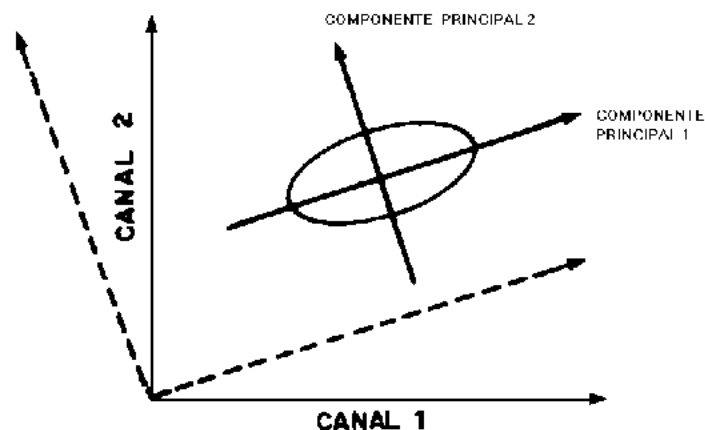


Figura 6 - Transformação pro Principais Componentes em duas dimensões.
Fonte: INPE (2010)

O resultado da transformação é o realce na imagem que reduz ou remove a redundância espectral, gerando uma nova imagem com informações que não estão disponíveis em outras bandas. Isto se assemelha a uma classificação e veremos que esta técnica pode ser bastante eficiente para mostrar o conteúdo intra-urbano. DENG et al. (2008) e LI e YEH (1998) fazem aplicações de principais componentes para área urbana.

2.6 A Legislação Ambiental no Contexto Urbano

A classificação de imagens de alta resolução multiespectrais tem proporcionado informações atualizadas sobre inúmeros tipos de problemas socioambientais e de planejamento urbano, portanto a seguir serão abordados as observações no que diz respeito a área de estudo do ponto de vista da legislação ambiental pertinente .

A Resolução 303 de março de 2002, publicada pelo Conselho Nacional de Meio ambiente (CONAMA) dispõe sobre parâmetros definições e limites de Área de Preservação Permanente (APP). Esta Resolução considerou entre outros aspectos, a necessidade de regulamentar o artigo 2º do Código Florestal, no que concerne às APPs, onde no seu inciso III, alínea “a” do artigo 3º, estabelece que, *in verbis*: “Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas. Para consideração de lagoas situadas em área urbanas consolidadas, a Resolução 303/2002 do CONAMA define estas áreas como aquelas que atendam aos critérios de definição legal pelo poder público e existência mínima de quatro equipamentos urbanos entre eles: malha viária com canalizações pluviais, distribuição de energia elétrica e iluminação pública, entre outros.

2.6.1 Legislação no nível Estadual

No nível Estadual o instrumento que trata das questões relacionadas à proteção de flora e fauna no estado de Pernambuco é a Lei Nº 11.206, publicada em 31 de março de 1995, que dispõe sobre as Políticas Florestais do estado entre outras providencias. A Lei 11.206/1995 aborda temas diversos, ao mesmo tempo em que estabelece parâmetros que disciplinam a forma o modelo de uso e dos bens naturais do estado, portanto é no Capítulo IV da proteção florestal que a Lei estadual Nº 11.206 se refere à proteção de Lagoas, onde considera a área de preservação permanente ao redor da Lagoa, lagos ou reservatórios de água naturais ou artificiais em seu Art. 8, Alínea II.

O parágrafo 1º do Art. 8 da Lei 11.206 esclarece que os índices observados para cada alínea indicada serão estabelecidos por decreto regulamentar mediante estudos técnicos considerando todos os fatores ambientais. No parágrafo 2º, Art. 8 da Lei

11.206/1995, esclarece que em caso de área urbana, as normas devem obedecer aos planos diretores municipais e leis de uso e ocupação do solo dos municípios.

2.6.2 Legislação no nível Municipal

Em relação à legislação ambiental em nível municipal em 1989 com a alteração do Código Florestal Nº 4.771/65 pela Lei Federal 7.803, de 18 de julho de 1989, onde alterava o artigo 2º fixando elementos norteadores a respeito da responsabilidade de fiscalização aos municípios. Portanto afirma que “nas áreas urbanas, a que se refere o parágrafo único do art. 2º desta Lei, a fiscalização é da competência dos municípios, atuando a União supletivamente”. (Lei 7.803/1989).

A lei a qual se refere à legislação urbanística dos municípios e que, portanto atende a este fim é a Lei de Uso e ocupação do Solo e em específico do município de Jaboatão dos Guararapes é a Legislação Urbanística Básica Lei N º 165 de 20 de novembro de 1980.

Entre outros aspectos a Lei municipal Nº 165/80 trata no Livro II, Título II, capítulo II da delimitação de Zonas de Proteção Ambiental, no qual o Art.11º deste capítulo subdivide as áreas urbanas por tipos de zonas, inserindo, no caso desta pesquisa, o entorno da Lagoa Olho D'Água no tipo Z4- Zona de Preservação Ambiental – ZPA no primeiro trecho da sub-zona Z4.10 do Art. 15º.

O trecho da sub-zona Z4.10 a que se refere o Art. 15º acima citado, compreende por uma faixa *Non Aedificandi* de 100 m (cem metros) em torno da Lagoa Olho D'Água, medida a partir do nível d'água na cota *maxi-maximorum* do reservatório, ou seja o nível mais alto registrado. Por sua vez uma parte desta zona de preservação ambiental identificada nesta referida Lei está inserida na área de estudo desta dissertação.

A lagoa Olho D'Água também é citada na Lei complementar 002 de 11 de janeiro de 2008, no capítulo IV que trata das Zonas especiais e imóveis especiais na subseção III da Zona de Conservação dos Corpos de Água – ZCA, onde no Art. 47 que compreendem as margens dos corpos de água superficiais determina que entre outras providências, a área em volta da Lagoa do Náutico (Lagoa Olho D'Água) seja identificada como ZCA 2, onde no art. 48, inciso VI determina o desenvolvimento de estudos para a retirada das habitações

ribeirinhas situadas em áreas de risco de inundação constituindo uma das diretrizes de conservação dos corpos de água ao qual se refere o Art.47. Vale salientar que o parágrafo Único do Art.47 determina que as condições específicas de conservação e de aproveitamento como área de lazer da Lagoa do Náutico (Lagoa Olho D'Água) serão objeto de regulamento, editado no prazo máximo de 18 (dezoito) meses após a data da publicação desta Lei.

Na seção VI do capítulo IV da lei acima citada, trata do Projeto de controle do Uso e Ocupação do solo nas áreas sujeitas a alagamento, determina no seu art.91 que nas áreas não edificáveis em torno da Lagoa do Náutico (Lagoa Olho D'água) e na área de preservação permanente dos cursos d'água que drenam as planícies flúvio-lagunar e aluvional, seja realizada a inserção de vegetação nativa.

Com isto, a demarcação em cartas-imagem de áreas protegidas pela legislação ambiental é imprescindível na análise e tomada de decisões dos órgãos públicos ligados ao planejamento e fiscalização ambiental e urbana necessitando para tanto um mapeamento temático de acordo com MACEDO et al. (2009) e que venha facilitar a identificação de áreas irregulares do ponto de vista socioambiental.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo do trabalho está situada na margem leste da Lagoa Olho D'Água, e inserida no bairro de Candeias, município de Jaboatão dos Guararapes, conforme o mapa mostrado na Figura 7.

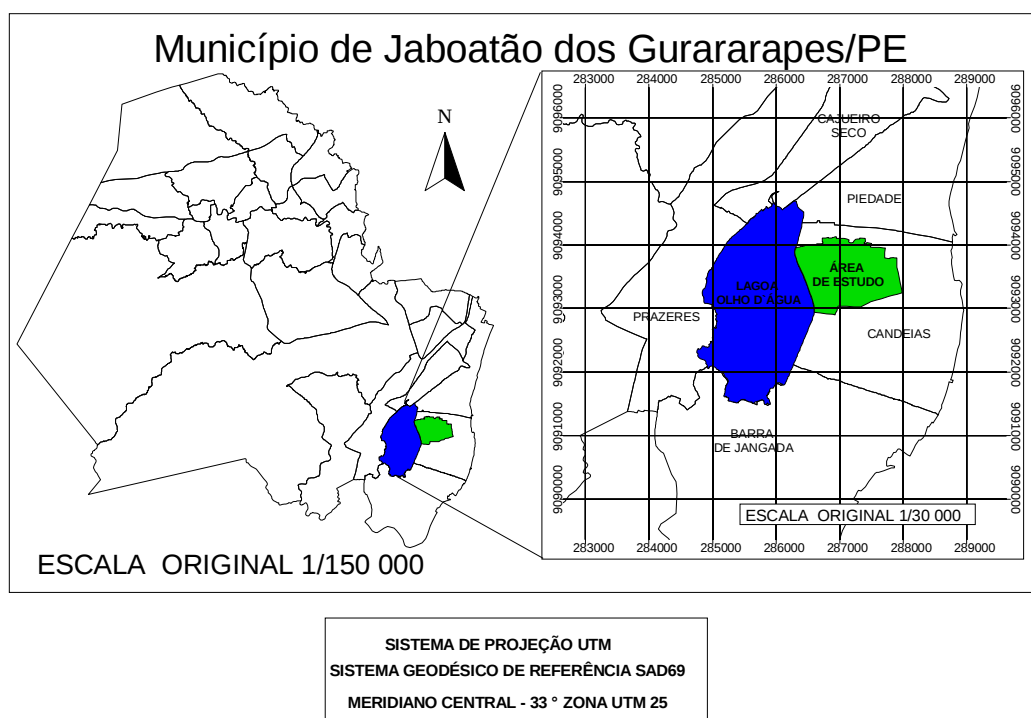


Figura 7 - Localização da Lagoa Olho d'Água e da Área de estudo.

A Lagoa Olho D'Água está distante aproximadamente 2,4 km do litoral, desde o ponto da sua margem leste mais próximo do litoral, e corresponde a um sistema lagunar extremamente raso de várias lagoas menores, formando a micro bacia do Rio Jaboatão, conforme Figura 8 e Dois canais artificiais principais - Canal de Setúbal (que termina na Lagoa), e o Canal Olho d'Água, de saída para o Rio Jaboatão. A Figura 8 identifica a localização da área de estudo com seus limites na imagem QUICKBIRD, área de estudo possui conjuntos residenciais do tipo multifamiliar, edificações comerciais e residenciais e

ocupação subnormal. A delimitação da área que está em vermelho na Figura 10 coincide com os setores censitários do IBGE do ano de 2000.

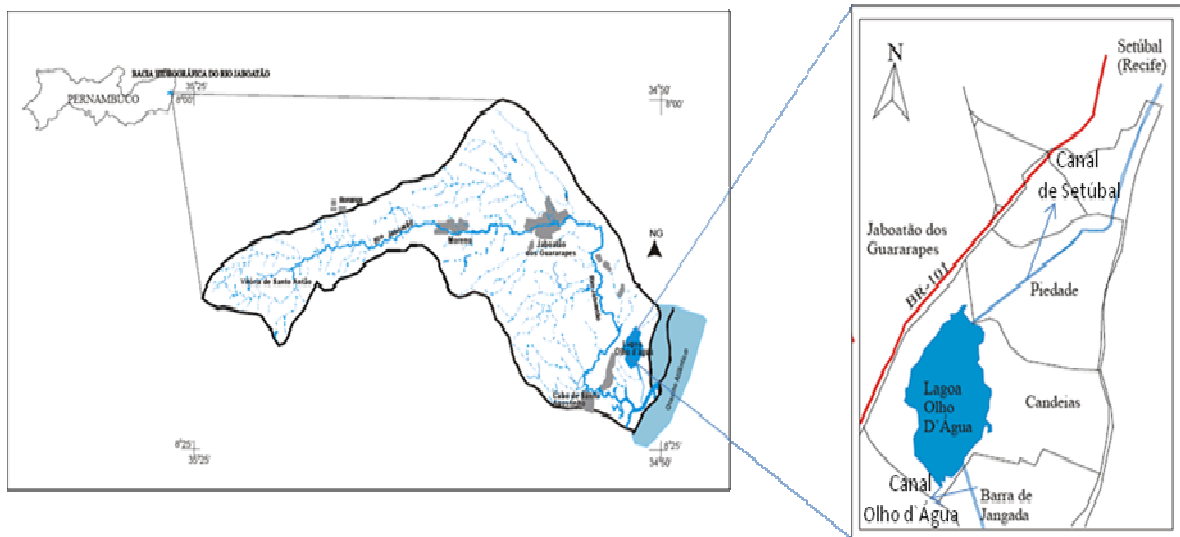


Figura 8 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão e a micro bacia Lagoa Olho D'Água. Fonte: GOMES (2005).



Figura 9 - Localização da área de estudo. (As escalas se referem à escala original).

Na área de estudo existem outros três canais menores, destacados na Figura 9, que drenam o esgoto doméstico e águas pluviais no sentido geral de leste para oeste, e que deságuam em um canal de largura de 20 m que contorna toda a margem leste da Lagoa

Olho D'Água. O nível da lâmina de água da Lagoa está condicionado a vários fatores entre os quais: 1- a pluviometria média anual de 2000 mm (notadamente de maio até junho) que tende a elevar o nível da Lagoa; 2- ao regime das marés, que dificulta o escoamento das águas do Canal Olho D'Água ligado ao sul ao Rio Jaboatão; 3- ao volume de sedimentos e detritos lançados pelo Canal Setúbal (que liga a Lagoa Olho D'Água ao manguezal da Estação Rádio Pina); 4- aos aterramentos do sistema de lagoas no entorno da Lagoa Olho D'Água; 5- ao número e capacidade de escoamentos dos canais menores que deságuam na Lagoa; 6- ao lixo lançado pela população no leito da Lagoa Olho D'Água; 7- a evaporação, e à erosão do solo próximo às margens da Lagoa, principalmente durante períodos chuvosos; 8- Outra questão influente na variação do volume de água da Lagoa Olho d'Água é o aumento da área impermeável contribuindo para o aumento da captação de águas pluviais por poucas galerias pluviais, e valas abertas no solo, além da diminuição da área de solo natural para a relativa absorção de água. A Figura 10 mostra os três canais secundários da área de estudo que drenam no sentido leste-oeste.

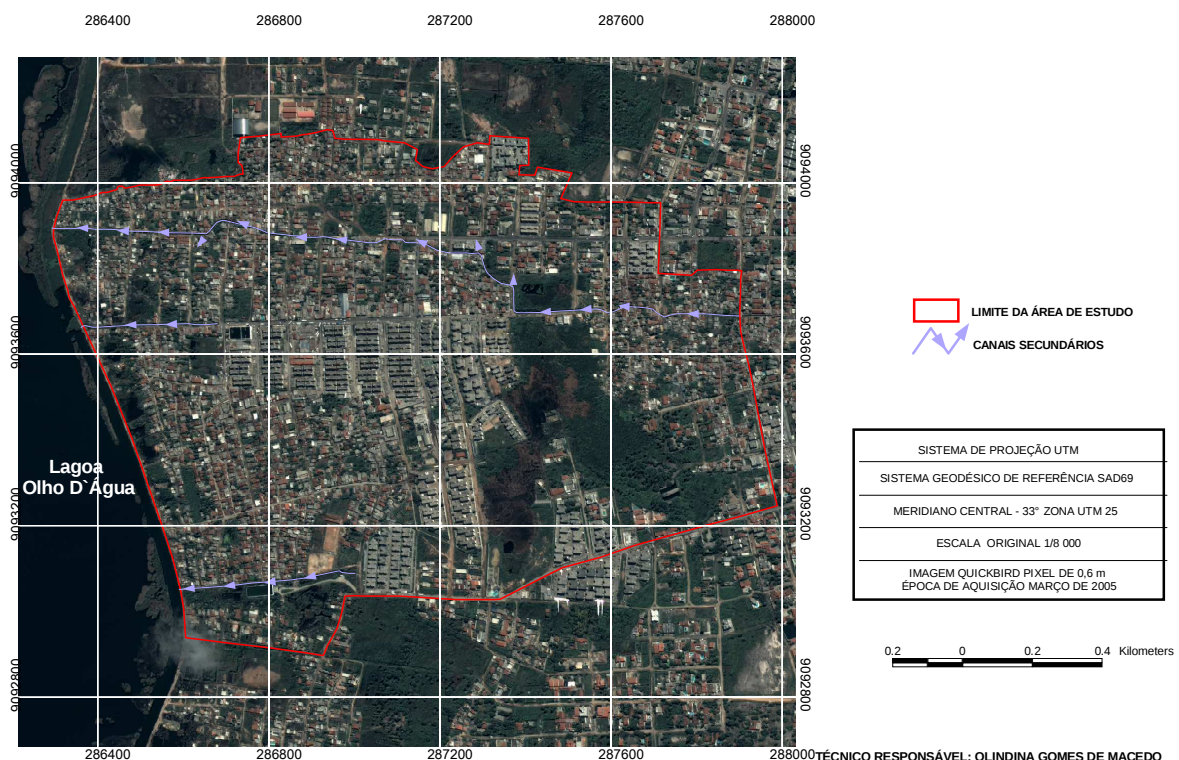


Figura 10 - Carta Imagem destacando os três canais secundários que deságuam na Lagoa Olho D'Água.

3.2 Material e Método

Na realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: imagem QUICKBIRD (cena inteira) de março de 2005 multiespectral com resolução espacial de 0,6 m; fotografias terrestres e coordenadas GPS de pontos da área de estudo; ortofotocarta 89-50 em meio digital de 1986; os softwares ARCVIEW, ARCGIS e SPRING, câmara fotográfica digital e GPS GARMIN.

A metodologia constituiu em usar um recorte da cena inteira QUICKBIRD (cena inteira de 16, 5 km por 16,5 km) multiespectral nas bandas RGB com resolução espacial melhorada para 0,6 m com uso da imagem pancromática. As etapas da metodologia são apresentadas na figura 11.

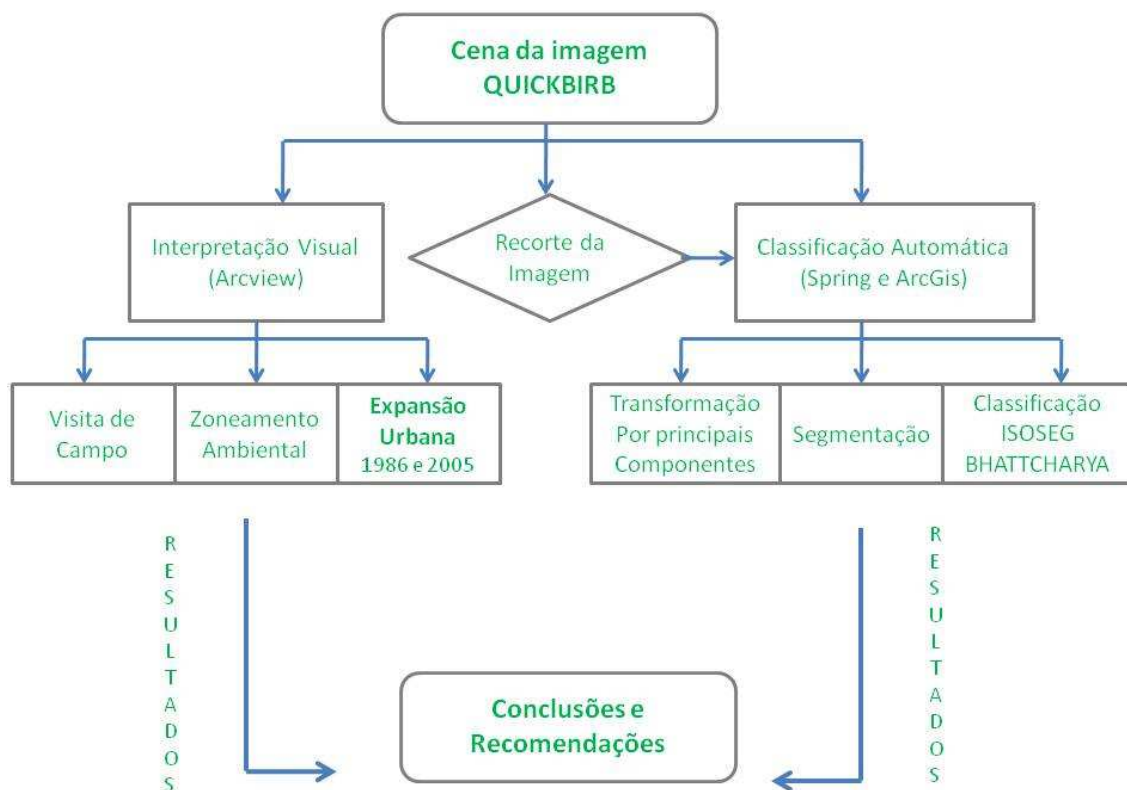


Figura 11- Etapas da Pesquisa.

A resolução radiométrica original de onze bits foi modificada para oito bits para facilitar o processamento. A resolução espacial da imagem multiespectral QUICKBIRD de 0,6 m foi realizada por meio de um pré-processamento da imagem original, previamente georreferenciada em SAD/69 e cedida para esta pesquisa de mestrado em 2009 pela Gerência da Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes, subordinada a Secretaria de Obras, Manutenção e Defesa Civil. O recorte da área de estudo efetuado na cena inteira da imagem QUICKBIRD corresponde à área de estudo de 133,075 ha.

A imagem foi devidamente estudada tendo sido escolhidos alguns pontos para visitação de campo e inspeção de determinados aspectos do terreno, a saber, sobre o estado e aspecto da ocupação do solo do canal da margem leste da Lagoa Olho D'Água, margens dos canais, lagoas em aterramento, situação das ruas e casas. Na inspeção de campo em 2009 vários locais foram observados, fotografados e posicionados com GPS de navegação, para serem inseridos na imagem georreferenciada e para associar as fotografias terrestres aos alvos correspondentes na imagem. Os pontos visitados no terreno foram previamente escolhidos como pontos com relativa dificuldade de classificação visual, devendo ser testados com os classificadores automáticos.

A linha da interface água/solo no trecho margem da Lagoa Olho D'Água dentro da área de estudo é importante para definir as Áreas de Proteção Permanente, APP, de 30 m conforme a Resolução 303/2002 do CONAMA, e a Zona de Proteção Ambiental (ZPA), Z4.10, que é a norma específica para a Lagoa Olho D'Água de acordo conforme a Lei municipal 165/1980 para delimitar os 100 m. Foi realizada uma carta imagem (Mapa 1- Anexo1) com o zoneamento ambiental com as APP e ZPA (Z4.10), sendo definidos os polígonos de área construída, de área não construída, setor residencial e comercial, e setor multifamiliar. Este zoneamento ambiental foi obtido independente de classificação automática, usando a análise visual, a visita de campo e fotografias terrestres aos pontos escolhidos previamente na imagem.

Nesta primeira etapa também foi realizada uma análise visual comparando a imagem de 2005 e ortofotocarta em meio digital do ano de 1986 dando condições de avaliar a expansão urbana da área de estudo (Mapa 2- Anexo 1).

Diante da dificuldade de separar na imagem QUICKBIRB com as bandas RGB, por meio da análise visual, o solo exposto e área construída (telhados), na segunda etapa foram realizados e analisados alguns experimentos usando os classificadores automáticos ISOSEG, BHATTACHARYYA e pela técnica de Principais Componentes para avaliar o poder de separação do solo exposto e área construída.

A avaliação consistiu em sobrepor as imagens classificadas e analisar visualmente o poder de separação dos classificadores entre si e em relação à imagem QUICKBIRD com as bandas RGB.

Durante as comparações entre imagens classificadas foram utilizadas imagens das fotografias terrestres dos pontos visitados para confirmar a identidade dos alvos auxiliando, portanto a análise da capacidade de separação dos alvos nos classificadores automáticos.

4. RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL E AUTOMÁTICA

4.1 Resultados da Classificação Visual

Antes de considerar os passos do processo de identificação dos objetos precisamos considerar se a imagem digital usada neste trabalho está georreferenciada. Esta imagem deve estar orientada em uma grade de paralelos e meridianos, e deve ter um sistema de projeção conforme (sistema UTM) e sistema de coordenadas métricas. O sistema UTM preserva a forma das feições na imagem o que permite a comparação qualitativa das formas dos objetos na imagem e também da direção entre os objetos.

O primeiro passo desta etapa foi separar, na imagem digital, as áreas homogêneas em termos das variáveis visuais como: cor, forma, tamanho e textura (anexo 3).

Cada área homogênea é considerada uma classe de objeto, e cada classe de objeto poderão, conforme a imagem, ser subdividida em subclasses. Por exemplo, a vegetação é chamada de classe V, e pode ser dividida em V1, V2, VN devido as variáveis visuais (cor, forma, tamanho e textura) .

O segundo passo foi atribuir uma identidade às áreas homogêneas, ou seja, estabelecer uma correspondência entre as áreas da imagem separadas em classes e o verdadeiro significado no mundo real de tais classes. Por exemplo, a classe se sol exposto S1 em determinados locais se apresenta em tons de marrom, e se distribui ao longo de feições lineares, e a visita de campo com fotografias digitais em RGB (mesmas faixas espectrais da imagem) confirmou que a classe de solo S1 ocorre na via sem pavimentação. Também a classe S1 ocorre em feições poligonais (retângulos), em terrenos usados como estacionamento e campos de futebol.

O Quadro 1 apresenta uma técnica de relacionar a fotografia terrestre dos pontos visitados e posicionados com GPS com os mesmos pontos reconhecidos na imagem QUICKBIRD. Neste caso, obteve-se amostras da imagem utilizada nesta dissertação. O ANEXO II mostra um detalhamento da análise visual da área.

Quadro 1 - Principais propriedades identificadas na área de estudo através da interpretação visual da imagem em RGB QUICKBIRD de 2005 de 0,6 m.

Elementos da Imagem	Amostra	Amostra	Propriedades
	(Imagem original)*	(fotografia de campo)	
Localização			A localização neste caso orientou para identificação de corpos d'água evitando a confusão de outros tipos de alvos que possuem reflectância similares.
Textura			Além da utilização da cor como elemento de identificação de solos mais úmidos utilizou-se também o elemento textura, na diferenciação de solos com cobertura vegetal.
Cor			Na imagem de alta resolução a cor é empregada no lugar da tonalidade, de modo que fica mais fácil perceber as cores verdes com diferentes brilhos representando a variedade da vegetação.
			Neste contexto a cor também é utilizada para identificar solos expostos na área de estudo.
Tamanho			Em função da resolução espacial o tamanho foi fator de identificação da Lagoa Olho d'Água para determinação de seu limite.
Sombra			A sombra neste contexto foi utilizada como elemento identificador de edificação do tipo multifamiliar, que na visualização da imagem estas edificações devido à altura ocasionam sombra.
Padrão			O elemento padrão neste caso foi utilizado para identificação de objetos que caracterizam concentrações urbanas que possuem padrões desordenados de ruas e casas, que na área de estudo são representados pelas ZEIS.
			O padrão também é um importante elemento identificador em áreas urbanas, pois objetos observados de cima possuem contornos peculiares que facilitam na identificação de uma malha urbana, por exemplo.

*Escala original da imagem digital: 1:2500.

A visita de campo foi fundamental para confirmar a verdade terrestre e aquática e subsidiar a interpretação visual da imagem de referência QUICKBIRD nas bandas RGB de 2005. Os locais observados e fotografados *in situ* representam amostras importantes da ocupação do solo em 2009 em termos de variedade de alvos (solo, água, edificações) e para entender o comportamento espectral dos alvos e consolidar a interpretação visual dos alvos atualizando-os para 2009. Outros pontos importantes não foram visitados por causa do acesso difícil, não autorizado por moradores, e motivos de segurança.

A seguir têm-se a tabela gerada a partir dos dados de campo obtidos na área em 10/out/2009 e localizados na Figura 12.

Tabela 2 – Pontos visitados em 10/out/2009 em UTM/SAD69

Ponto	E	N
1	287343	9093049
2	287144	9093875
3	286771	9093897
4	286417	9093977
5	286313	9093953
6	286291	9093899
7	286372	9093663
8	286458	9093671
9	286549	9093197
10	286758	9093242
11	286871	9093620
12	286758	9093666

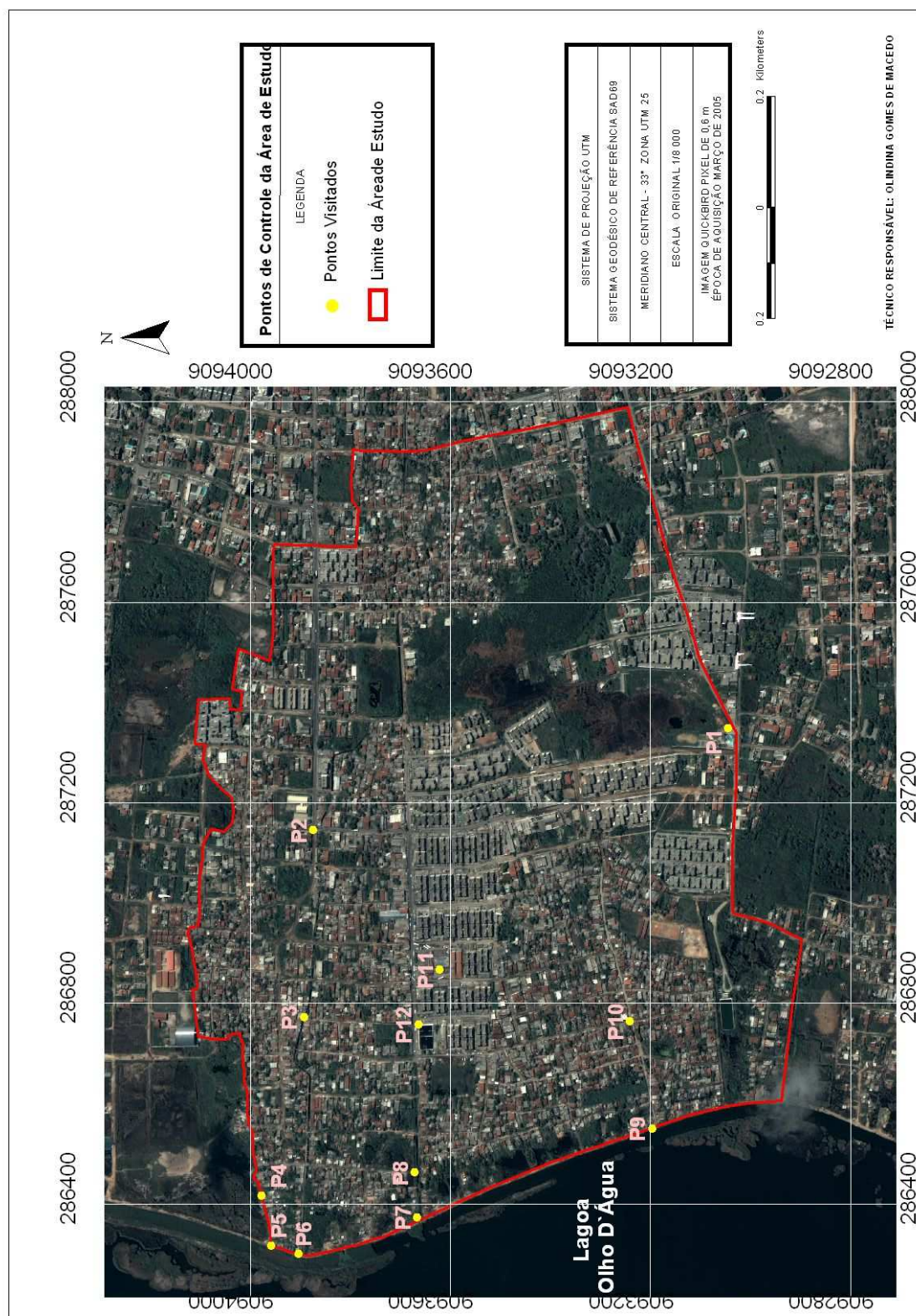


Figura 12 - Locais observados e fotografados *in situ*

No mapa do anexo 1 é possível observar que o limite da área de estudo (linha vermelha) vai até a borda do canal escavado na margem leste da lagoa e envolve o setor

multifamiliar (linha rosa), setor de atividades múltiplas (linha amarela), setor não edificado alagado ou alagável e cobertura vegetal (linha verde), setor de ocupação subnormal (linha cinza claro) e linha do limite da APP, e a linha azul clara do limite da Z4. 10.

Os terrenos de ocupação subnormal e setores residenciais e comerciais são regiões de ZEIS (Zonas Especiais de Interesse Social) protegidas pela legislação que as regulamenta e instituídas por Lei Municipal Nº 114/91. A Figura 13 (Ponto 7 da Figura 12) mostra trecho de uma rua dentro da ZEIS Dom Helder Câmara com um canal sem revestimento entre a rua e as moradias, além de pontes improvisadas. A Figura 14 (Ponto 9 da Figura 12) exibe o canal marginal da Lagoa Olho D'Água.



Figura 13 - Via lateral a um canal secundário.

A Figura 14 mostra a situação em 2009 da lateral do canal marginal da Lagoa Olho D'Água, observando-se a saída para a lagoa de um dos canais secundários.



Figura 14 - Canal na margem leste da Lagoa Olho D'Água.

A inspeção de campo foi importante para examinar o uso do solo em outubro de 2009, e perguntar a alguns moradores antigos se a área em 2005 apresentava a mesma ocupação.



Figura 15 - Aspecto do canal marginal da Lagoa Olho

A Figura 15 mostra a situação em 2009 da lateral do canal marginal da Lagoa Olho D'Água, observando-se a saída para a lagoa de um dos canais secundários.



Figura 16 - Aterro de lagoas menores.

A Figura 16 mostra um das lagoas menores do sistema lagunar da Lagoa Olho D'Água sendo aterrada, enquanto a Figura 17 mostra uma abertura do canal aproximando a margem da lagoa da estrada.



Figura 17 - Abertura do canal marginal da Lagoa Olho D'Água.

A Figura 18 mostra um trecho do canal com baronessas ressecadas, e a Figura 19 mostra outras formas de ocupação do solo.



Figura 18 – Vegetação flutuante do canal marginal.

Conforme depoimento do Toru Kashiwara morador há 24 anos na área de estudo, em relação a 2005 houve poucas transformações em termos de urbanização.



Figura 19 – Ocupação do canal marginal da Lagoa Olho

O zoneamento da Zona de Proteção Ambiental Z4.10 e da APP em torno da Lagoa Olho D'Água foi um dos resultados que constam na carta imagem (anexo 1). Uma nova interpretação da carta imagem lida junto com as fotografias mostra as ocupações subnormais (mocambos feitos de papelão, Eucatex, lonas plásticas, e outros materiais improvisados) justapostos uns sobre os outros ou divididos por cercas improvisadas, com as águas servidas lançadas em valas. Ainda dentro da APP e da Z4.10 há outras moradias de melhor qualidade estrutural (alvenaria, primeiro andar, quintais e varandas).

A carta imagem (anexo 1) também revelou dentro da Z4.10 e APP vários terrenos ainda livres de construções, lagoas não aterradas e lagoas aterradas, setor não edificado, alagável e não alagável e cobertura vegetal).

Nesta etapa com o auxílio do software permitiu-se calcular (Tabela 3) em hectares as áreas, para 2005, dos terrenos dentro e fora da Z4.10, total de área não construída, total de área construída, área do setor multifamiliar e setor residencial e comercial. No cálculo das

áreas constata-se que dentro da faixa de proteção da Z4.10 predomina área construída em relação aos terrenos vazios. Nas características gerais da área construída o setor residencial e comercial prevalece em relação ao residencial e multifamiliar.

Tabela 3 - Dados quantitativos do zoneamento da área de estudo.

DADOS QUANTITATIVOS DO ZONEAMENTO		
Imagem QUICKBIRD 2005		
ÁREA	Definição da área	Área (ha)
NÃO CONSTRUÍDA	Área não construída dentro limites da Z4.10	4,413
	Área não construída fora da do limite da Z4.10	26,401
	Total de área não construída	30,814
CONSTRUÍDA	Área construída dentro limites da Z4.10	4,946
	Área construída (Residencial multifamiliar)	18,137
	Área construída (Residencial/comercial)	79,178
	Total de área construída	102,261
Superfície total da área de estudo (ha)		133,075

Na Tabela 3 observa-se que na área de estudo, tipicamente residencial e comercial, de área total de 133,075 ha, a área construída representa 76,84% da área de estudo (23,16% de área livre), e que a área não construída dentro da Zona de Proteção Ambiental é de 3,32%, e que a área fora do limite da Zona de Proteção Ambiental é de 19,8%, da área total de estudo. Embora represente 3,32% da área total de estudo, a área edificada dentro da Zona de Proteção Ambiental constitui uma evidência do não respeito à legislação ambiental.

Na direção leste a partir do Conjunto Dom Helder Câmara tem-se uma grande área verde coberta por vegetação rasteira, arbustos e árvores, além de lagoas de contorno coberto pela vegetação e solo exposto, esta área possivelmente atua acumulando e absorvendo águas pluviais principalmente na estação chuvosa contribuindo para atenuar o alagamento de outros setores. Outras áreas verdes menores se encontram ao norte e leste do Conjunto Dom Helder Câmara. Depoimentos de moradores locais revelam que alagamentos ocorrem na Rua João Fragoso lateral ao Conjunto Dom Helder Câmara com lâmina d'água de 10 cm até 50 cm, mas vários terrenos ao norte da Rua João Fragoso não

são atingidos pelos alagamentos porque os moradores construíram suas casas em uma cota superior ao nível das águas.

O setor de atividades múltiplas abrange edificações menores com um ou dois pavimentos, desde casas improvisadas de madeira até moradias de alvenaria, havendo residências com garagens para um ou dois carros, além de estabelecimentos comerciais de materiais de construção, alimentos, internet, oficinas mecânicas, de móveis, entre outros.

O setor da Z4.10 está invadido por várias casas, criatórios de animais, pontos de atracamento de pequenas embarcações de pesca, aterros de lagoas menores para construção de casas, currais e cercados de depósitos de lixo para separação e venda de materiais recicláveis. Foi observado que, de um modo geral, à medida que as moradias se aproximam da margem da Lagoa Olho D'Água aumenta a concentração da população de baixa renda e de ocupação subnormal. Na margem da Lagoa Olho D'Água foram observadas várias casas, criatórios de porcos, galinhas e cavalos; o solo, a lagoa principal, e as lagoas menores, recebem os dejetos destes criatórios e residências. Entre o canal que margeia a borda leste da Lagoa Olho D'Água e a linha sinuosa das casas há uma estrada não pavimentada separando casas do canal em todo o trecho da área de estudo.

Outro resultado importante nesta etapa foi o mapa da diferença de urbanização de 1986 e 2005 (anexo 2) elaborados também a partir de interpretação visual utilizando as informações da ortofotocarta 89-50 de 1986 e da imagem digital de 2005, ambas georreferenciadas em UTM/SAD69, seguindo os parâmetros necessários para a transformação de Sistemas de Referência Geodésico (anexo 4).

Este mapa da diferença de crescimento urbano mostra que entre os anos de 1986 e 2005 a transformação ocorrida na área de estudo foi significativa. Uma constatação importante observada na imagem QUICKBIRD de 2005 comparada com as fotografias *in situ* (algumas panorâmicas) de 2009 de vários pontos da área de estudo, foi a pouca alteração mudança em termos de crescimento urbano da área de estudo. No mapa (anexo 2) toda a região em laranja corresponde à área mais densamente urbanizada em 1986, não havendo, em observação a legislação ambiental em vigor, invasão de terrenos protegidos pelas leis.

De acordo com a Tabela 4, é possível perceber que o aumento de área construída (residencial/comercial) cresceu em 1.249%, enquanto que a área construída (residencial multifamiliar) aumentou em 149%. Em relação à área construída nos limites da Z4.10 que de acordo com os dados da ortofotocarta de 1986 era inexistente, em 2005 identificou ocupação de 4,946 hectares do total da área da zona de proteção, totalizando um crescimento de área construída na área de estudo equivalente a 675% em um período de 19 anos.

Tabela 4 – Comparação da expansão urbana de 1986 e 2005.

DADOS QUANTITATIVOS DO ZONEAMENTO		
A partir das imagens QUICKBIRD de 2005 e ortofotocarta Nº 89-50 de 1986		
TIPO DE ÁREA	DESCRIÇÃO	Dados Quantitativos (ha)
CONSTRUÍDA em 2005 (ha)	Área construída nos limites da Z4.10	4,946
	Área construída (Residencial Multifamiliar)	18,137
	Área construída (Residencial/comercial)	79,178
	Total de área construída	102,261
CONSTRUÍDA em 1986 (ha)	Área construída nos limites da Z4.10	0,00
	Área construída (Residencial Multifamiliar)	7,288
	Área construída (Residencial/comercial)	5,913
	Total de área construída	13,201

A recuperação das fases históricas de 1986 e de 2005 da ocupação urbana identificada no mapa do (ANEXO 2) permite observar a ocupação de áreas naturais de alagados, na margem da Lagoa em 1986 e das áreas não edificadas, além das direções da evolução dos eixos e pólos mais característicos de influência na expansão urbana ainda hoje em desenvolvimento a exemplo pólo do Conjunto Dom Hélder Câmara, e eixos das ruas João Fragoso de Medeiros e S. Pedro.

4.2 Resultado e Avaliação da Classificação Automática

Com a finalidade de melhorar a qualidade visual da imagem foi utilizada inicialmente a técnica de realce por principais componentes e em seguida a segmentação que corresponde ao processo automático de localização de regiões na imagem que possuem pixel com características similares.

4.2.1 Resultados utilizando a Transformação por Principais Componentes

Visando uma melhor interpretação da área de estudos em relação aos alvos e conseqüentemente a classificação de áreas para zoneamento qualitativo e quantidade buscou-se utilizar técnicas de processamento de imagem para a obtenção de melhores resultados. Para esta avaliação foi utilizado a técnica de transformação por principais componentes (figura 20) através do software livre SPRING versão 5.0.

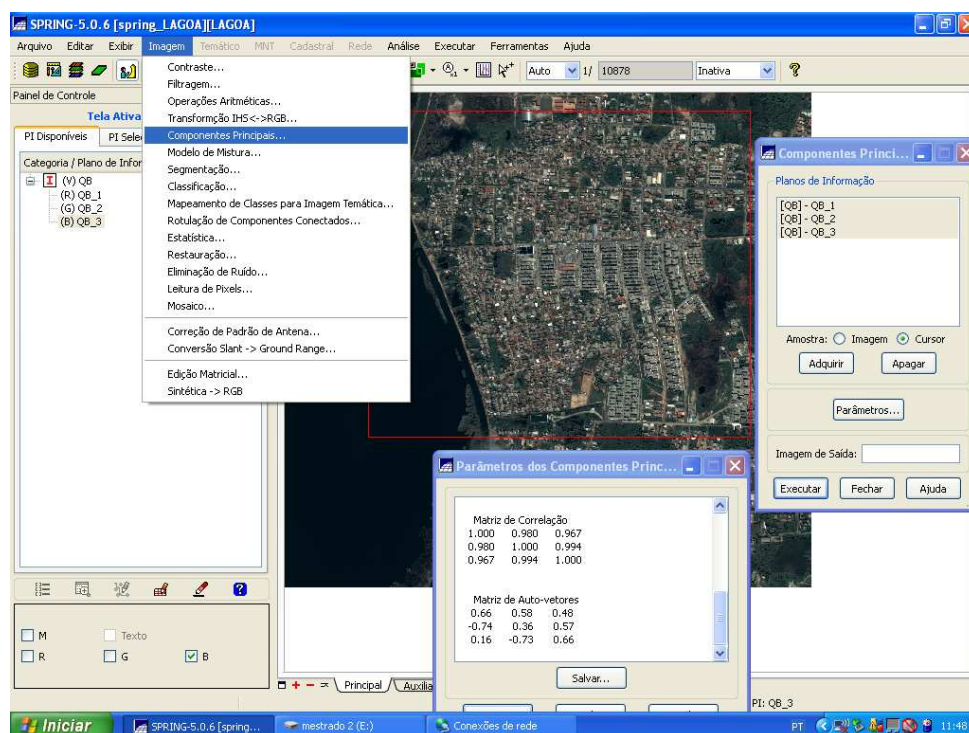


Figura 20 - Seleção da área da imagem QuickBird e transformação por principais componentes.

Parâmetros estatísticos das bandas seleccionadas referentes à área seleccionada da imagem QuickBird.

PI	Média	Variância
QB_1	61.38	2259.04
QB_2	68.54	1733.03
QB_3	66.51	1225.93

C	Auto-valor	Porcentagem
1	5147.93	98.66
2	63.44	1.22
3	6.63	0.13

Matriz de Covariância		
2259.04	1939.28	1609.16
1939.28	1733.03	1448.33
1609.16	1448.33	1225.93

Matriz de Correlação		
1.000	0.980	0.967
0.980	1.000	0.994
0.967	0.994	1.000

Matriz de Auto-vetores		
0.66	0.58	0.48
-0.74	0.36	0.57
0.16	-0.73	0.66

Utilizando a técnica de transformação por principais componentes do software livre SPRING foi possível distinguir com mais clareza os diferentes tipos de solos na imagem realçada (figura 21(a)) a partir da imagem QUICKBIRD (figura 21- (b)), da área de estudo.

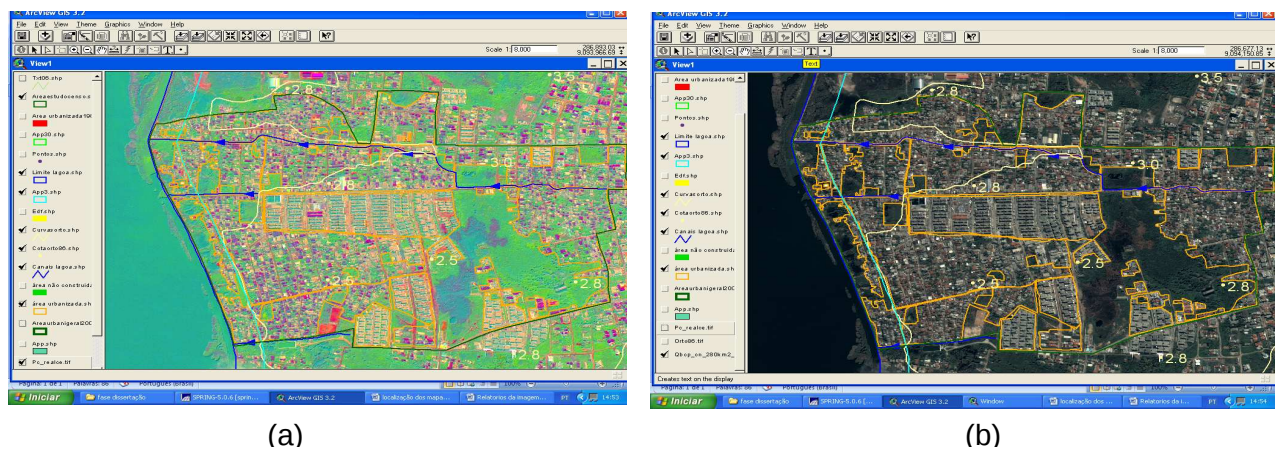


Figura 21 - (a) Imagens sintética Principais Componentes. (b) Imagem QuickBird

Na avaliação do comportamento dos alvos na área de estudo utilizando a técnica por principais componentes foram considerados os seguintes aspectos:

- Corpos d'água e sombras

Em relação aos corpos d'água, alguns alvos na imagem sintética confundem-se com as sombras ocasionadas pelos edifícios dentro da área de estudo (figura 22)



Figura 22 - Imagem sintética ampliada em área construída

- Áreas livres e corpos d'água

Os corpos d' água ficaram mais realçados na imagem classificada (Figura 23), pois a identificação de pequenas lagoas ficaram mais evidenciadas distinguindo-se dos solos úmidos, dos solos expostos e dos solos com cobertura vegetação, no qual estes alvos quando anteriormente interpretados de forma visual na imagem original, incluíam-se em apenas uma classe, ou seja classe de áreas livres.



Figura 23 - Imagem sintética ampliada das áreas livres

- Solos úmidos e coberturas das edificações

A imagem realçada (figura 24) também evidenciou os diversos tipos de coberturas das edificações, porém fez confusões com as coberturas de telhados cerâmicos e solos úmidos, onde dependendo de determinadas feições em relação a estes objetos podem gerar alguns conflitos.



Figura 24 - Imagem sintética ampliada

Portanto, avaliando a imagem sintética gerada a partir da técnica de transformação por principais componentes mostrou alguns resultados significativos quando comparados com a imagem QuickBird original da área de estudo, podendo auxiliar na delimitação de um maior número de classes em relação ao uso e ocupação do solo tão importante para a avaliação de crescimento urbano da área de estudo, principalmente na delimitação de sub-classes das áreas livres identificadas na interpretação visual.

4.2.2 Resultado e avaliação do processo de Segmentação

A segmentação é um processo necessário para fazer a classificação automática da imagem. Nesta etapa após várias tentativas utilizando diversos valores de limiar de similaridade e limiar de área foi possível obter alguns resultados significativos.

4.2.2.1 Segmentação da Imagem Original RGB e da Imagem Realçada por Principais Componentes com Limiar de Similaridade 100 e Limiar de Área 100.

Os resultados obtidos a partir do processo de segmentação com limiar de similaridade 100 e limiar de área 100 a partir da imagem realçada por Principais Componentes, Figura 25 (a) e a partir da imagem original RGB figura 25 (c) revelaram de uma maneira geral que em ambos os processos não houve a segmentação de corpos de água e da vegetação.

Contudo, houve uma subdivisão de solos expostos como pode ser observado na figura 25(a) separando este solo de corpos de água, o que não ocorreu na segmentação com a imagem original RGB Figura 25 (c), estas diferenças ficam mais evidentes na Figura 25 (b) que corresponde a segmentação por principais componentes na imagem RGB.

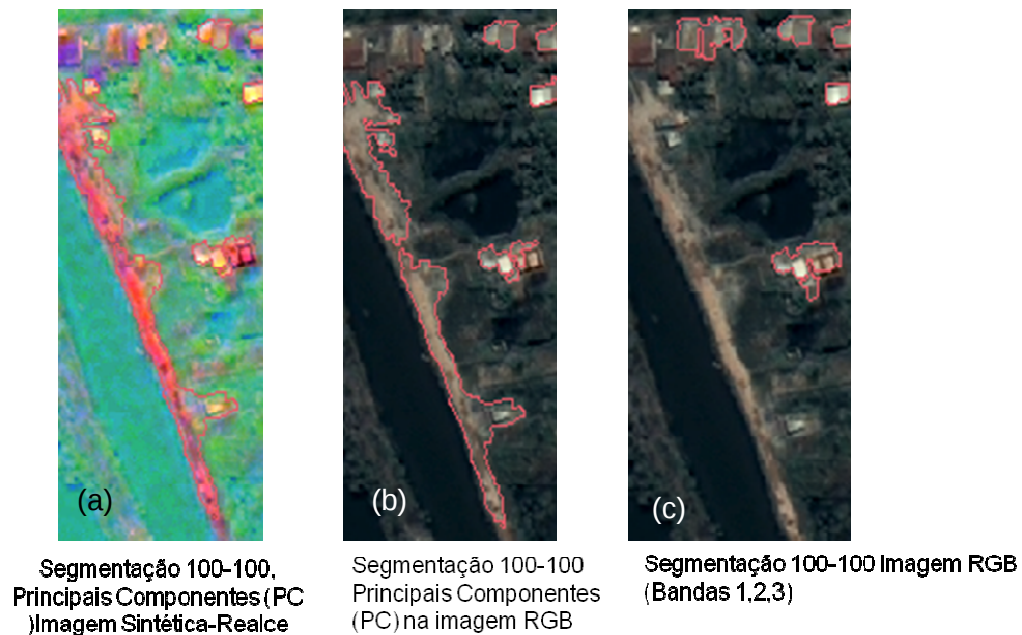


Figura 25 - Segmentação a partir da Imagem realçada por Principais Componentes e Imagem original (RGB).

4.2.2.2 Segmentação da Imagem Original RGB e da Imagem Realçada por Principais Componentes com Limiar de Similaridade 50 e Limiar de Área 50.

Na segmentação da transformação por principais componentes 50-50, em alguns pontos a vegetação se confunde com Lagoa, melhor identificado na Figura 26 (b). Tal confusão se justifica devido à grande proliferação de vegetação aquática popularmente conhecida como baronesa (*Eichhornia Azurea*) que possivelmente na data de aquisição da imagem (março de 2005) deveria estar com a mesma tonalidade, como pode ser verificada no detalhe da Figura 26 (b) que corresponde ao registro fotográfico da borda da lagoa datada em 10/10/2010.

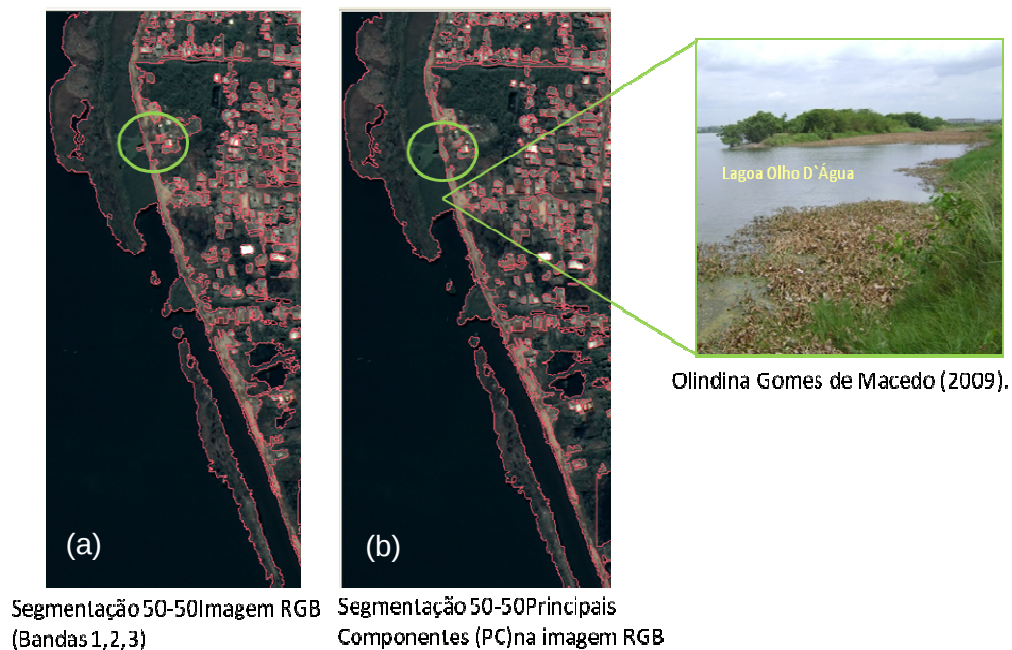


Figura 26 - Segmentação da imagem com limiar de similaridade 50 e limiar de área 50.

No caso da segmentação da imagem original RGB 50-50 ocorre uma separação dos alvos solo, água e vegetação nas suas diversas tonalidades e de forma contínua dando a possibilidade de separá-los, como está demonstrado na Figura 26 (a) e melhor identificado na Figura 27 (a), dando a possibilidade de traçar melhor o limite da lagoa após a classificação.

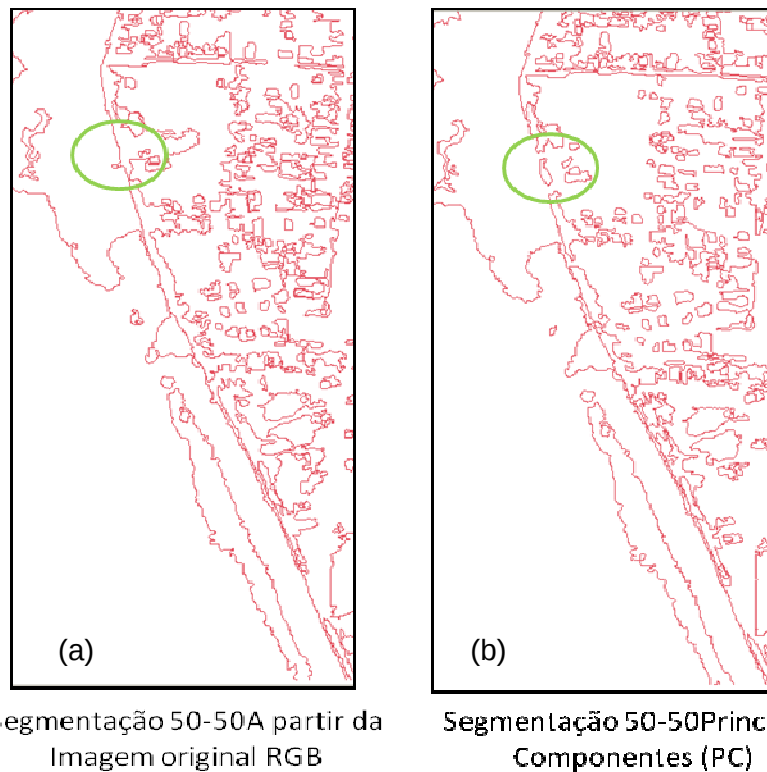


Figura 27 - Segmentação com limiar de similaridade 50 e limiar de área 50.

Mediante as observações dos resultados das segmentações utilizando limiar de similaridade 100 e 50 e limiar de área 100 e 50 concluiu-se que para obter resultados na classificação com o objetivo de separar solo, água e vegetação, alvos identificados no limite da lagoa, foi escolhida a segmentação da imagem original RGB com o limiar de similaridade 50 e limiar de área 50, pois foi a que melhor apresentou separabilidade dos alvos principalmente na interface solo / água.

4.2.3 Resultados da Classificação Automática ISOSEG e BATTACHARRYA

Nesta etapa foram testados dois métodos de classificação: Não-Supervisionado utilizando o classificador ISOSEG e o Supervisionado utilizando o classificador BATTACHARRYA.

Em ambos foram utilizados classificadores por região, ou seja, que considera a informação contextual presente nas imagens geradas após a segmentação.

4.2.3.1 Classificação da Imagem após a Segmentação Utilizando o Método ISOSEG.

O processo de classificação não-supervisionado é considerado uma etapa importante antes da classificação supervisionada para o conhecimento prévio de número de classes existente na imagem a ser classificada.

Como pode ser observada na Figura 28 a classificação não-supervisionada utilizando o classificador ISOSEG utilizando a imagem segmentada a partir da imagem original de limiar de similaridade 50 e limiar de área 50, originou resultados que permitem reconhecer o número de classes espectrais na área de estudo.

Os resultados obtidos a partir do classificador ISOSEG geraram imagens com variadas classes dependendo do limiar de aceitação, no caso quanto maior o nível de significância maior o limiar de aceitação e o nível de detalhe da classificação, como podem ser observados nas figuras a seguir.

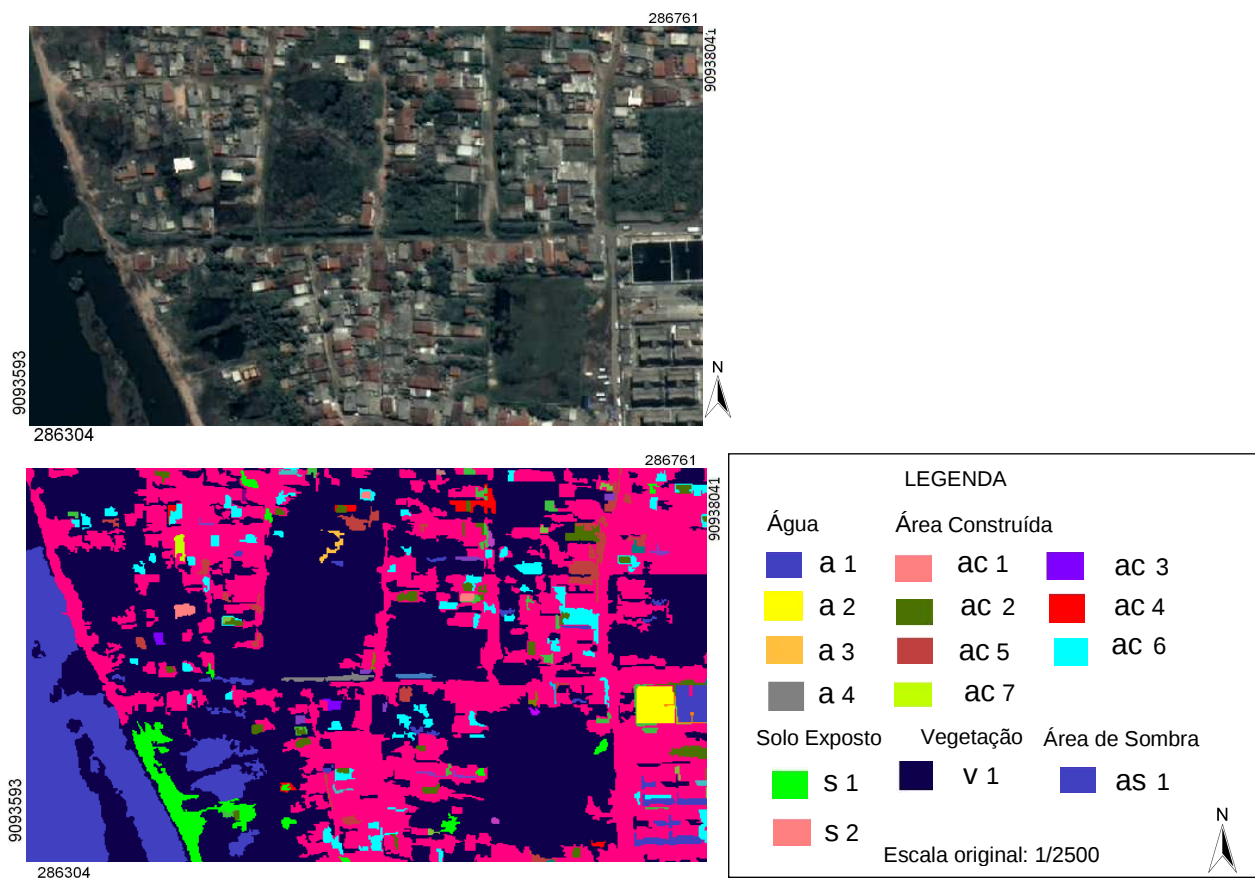


Figura 28 - Classificador Isoseg com limiar de aceitação 95%.

Para conclusão é importante ressaltar que o número de classes no terreno na maioria das vezes é menor que os resultados apresentados na Figura 28, devido à semelhança das características espectrais dos objetos, gerando ambigüidades.

4.2.3.2 Classificação da Imagem após a Segmentação Utilizando o Método BHATTACHARYA.

O classificador BHATTACHARYA foi escolhido para o método de classificação supervisionado e requer um conhecimento prévio sobre a localização espacial das amostras.

Neste método de classificação supervisionada utilizaram-se as amostras das regiões formadas na segmentação da imagem, portanto, a partir dos resultados da segmentação da imagem original RGB de limiar de similaridade 50 e limiar de área 50 foi realizada a classificação utilizando limiar de aceitação de 95% e 75%, sendo obtidos os seguintes resultados como pode ser observado nas Figuras 29 e 30 respectivamente.

Os resultados obtidos a partir do classificador BHATTACHARYA com limiar de aceitação de 95% identificado na amostra da Figura 29 demonstrou que só não foram classificados alguns telhados cerâmicos, algumas tonalidades correspondentes a água e sombras ocasionadas pelas árvores e edificações.

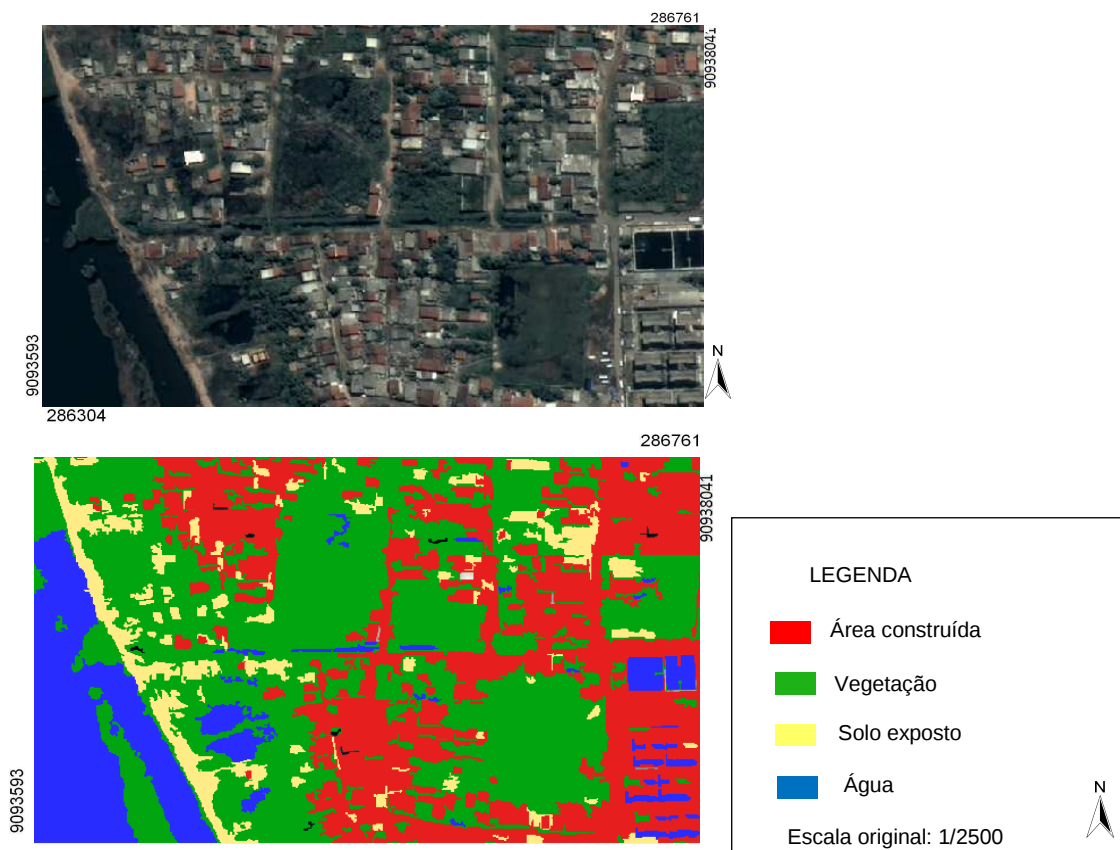


Figura 29 - Classificador Bhattacharya com limiar de aceitação de 95%.

Utilizando o limiar de aceitação de 75% amostra da Figura 30, a classe de água foi reduzida e por sua vez inserida na classe de solo ou na classe de área construída e a classe de vegetação dependendo da sua tonalidade inserida na classe de água.

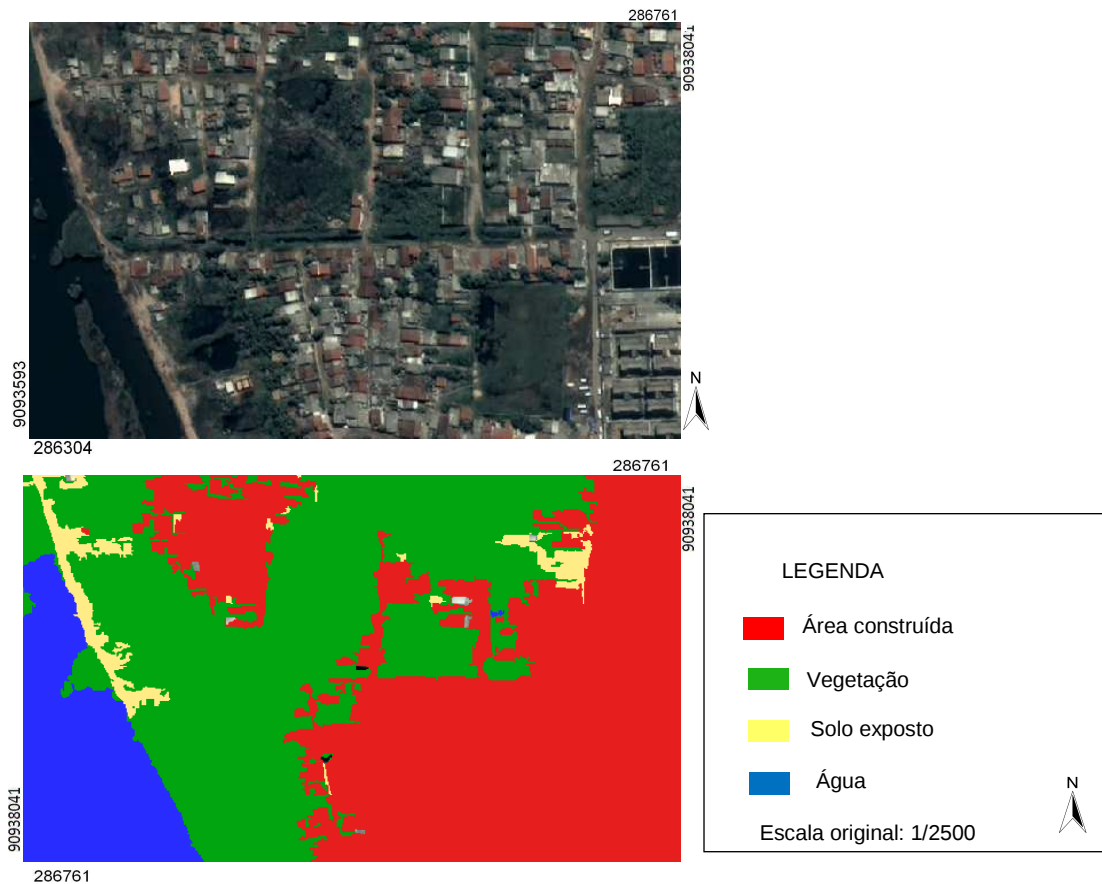


Figura 30 - Classificador Bhattacharya com limiar de aceitação de 75%.

Avaliando o classificador BHATTACHARYA conclui-se que em todos os resultados a classe de solo por vezes fez confusão com a classe de área construída isso devido a alguns telhados de diversas edificações possuírem resposta espectral parecida com algumas tonalidades do solo exposto, porém o classificador BHATTACHARYA com limiar de aceitação de 95% foi o que mais chegou próximo da imagem de referência, Figura 29.

4.3 Avaliação dos Resultados dos classificadores automáticos

A Figura 31(a) mostra a classificação usando o ISOSEG da imagem georreferenciada QUICKBIRD e as faixas da APP e Z4.10 a Figura 31 (b) mostra a imagem de referência RGB com as faixas de APP e Z4.10. Na ISOSEG a vegetação é destacada em azul escuro, enquanto as áreas construídas apresentam cor magenta.

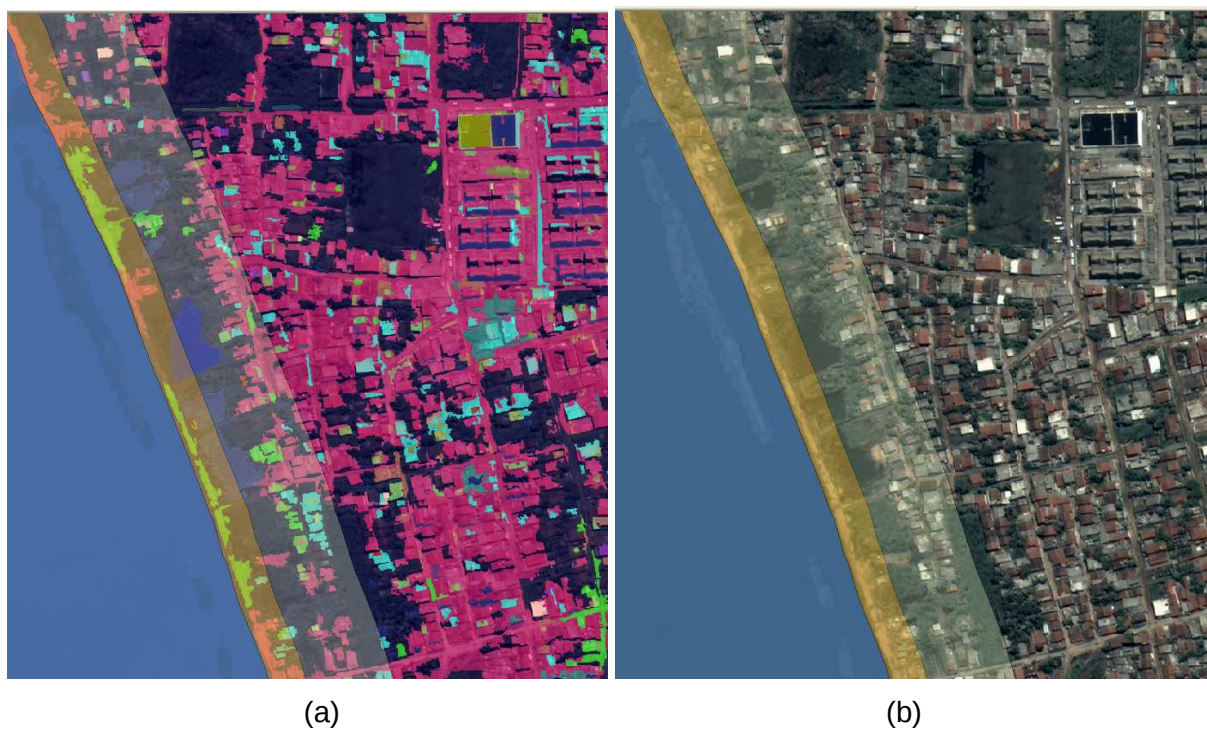


Figura 31 - ISOSEG. (a) Classificação ISOSEG da imagem QUICKBIRD. (b) Imagem de referencia RGB QUICKBIRD.

Na Figura 32 (a) a classificação BATHACHARRYA mostra um resultado melhor do que ISOSEG (Figura 31), pois delimita melhor a área urbana. A imagem obtida da transformação por Componentes principais (Figura 32) foi o classificador que apresentou os melhores resultados porque os alvos água, vegetação, e os alvos solo exposto e telhados que apresentaram áreas de comportamento espectral semelhante, foram bem separados na imagem classificada.

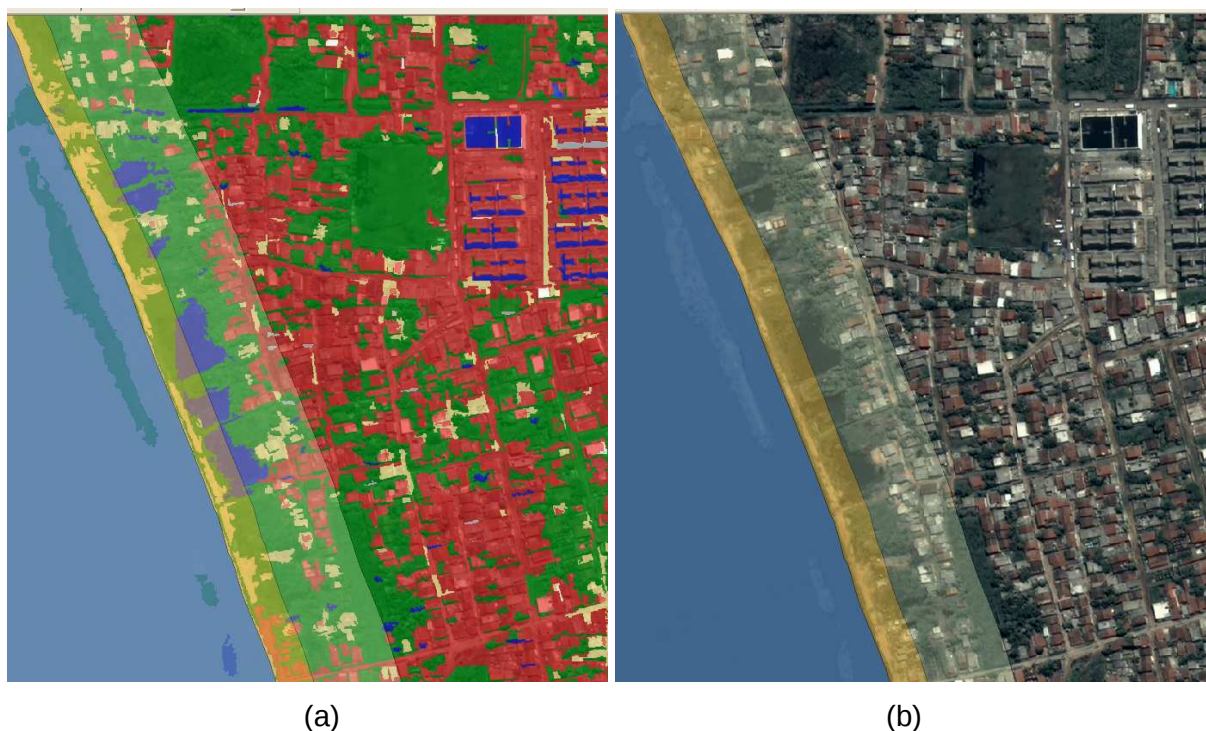


Figura 32 - BATHACHARRYA. (a) Classificação BATHACHARRYA. (b) Imagem de referencia RGB QUICKBIRD.

Os resultados da classificação visual e da classificação automática Bhattacharya e ISOSEG foram visualizados no Software ArcGis para possibilitar as comparações entre os dois tipos de classificação, portanto obtendo as seguintes conclusões :

O classificador ISOSEG (Figura 31 (a)) fez uma boa classificação em relação a vegetação, embora quando comparada a imagem de referencia RGB (Figura 31(b)) percebe-se que a classe que correspondente a vegetação ocupa em alguns pontos do zoneamento de área construída da classificação visual. É possível observar também que em relação ao solo exposto o classificador ISOSEG gerou duas subclasses, resultado da confusão com a resposta espectral de alguns telhados cerâmicos correspondentes a área construída.

No classificador ISOSEG gerou diversas classes para os alvos que correspondem à água, a quantidade variou de duas a quatro classes dependendo do limiar de aceitação. O maior número de subclasses gerado pelo classificador ISOSEG foi correspondente a área

construída, devido ao grande número de alvos encontrados com variadas respostas espectrais correspondentes a esta classe, por outro lado pode contribuir para identificação de área construída dentro da área de preservação auxiliando o que não pôde ser identificado no zoneamento da classificação visual.

O classificador Bhattacharya foi o que mais se aproximou dos resultados do zoneamento da área construída da classificação visual, pois evidenciou áreas construídas dentro da APP que corresponde aos 30 metros de área de proteção bem como a de 100m correspondente a ZPA-Z4.10 como pode ser visualizada na Figura 32 (a). O método de classificação Bhattacharya também possibilitou uma melhor visualização da interface solo e água de forma contínua.

Comparando a transformação por Principais Componentes na Figura 33 (a) com a imagem RGB Figura 33 (b) é possível identificar melhor os alvos, pois no que reduz as informações espectrais redundantes evidencia alguns elementos que não foram possíveis de identificar em uma interpretação visual na imagem RGB, destacando solos expostos da vegetação, áreas mais úmidas evidenciando as lagoas menores, bem como os diversos tipos de telhados destacando-os também da vegetação.



Figura 33 - Principais Componentes. (a) Imagem Principais Componentes. (b) Imagem de referencia RGB QUICKBIRD.

Os resultados comparativos da classificação visual e automática desta pesquisa revelaram que para estudos do uso e ocupação do solo urbano a classificação visual em imagens de alta resolução é satisfatória, mas devido ao grande número de informações que estas áreas possuem, o auxílio de uma classificação automática torna os resultados bem mais eficazes, juntamente com eventuais ajustes auxiliados por visitas de campo permitindo a obtenção de um mapeamento temático melhor sobre a distribuição espacial dos diferentes tipos de uso do solo em espaços urbanos principalmente em áreas de preservação ambiental.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Para obter um mapeamento temático de boa qualidade conclui-se é importante unir as vantagens que cada uma das classificações oferece, onde no caso desta pesquisa a classificadores automáticos serviram para auxiliar a classificação visual na identificação de objetos como, solo exposto, água, tipos de telhado, tipos de vegetação e edificações e na precisão para traçar o limite da Lagoa Olho D'Água tão importante para a observação do uso e ocupação do solo do seu entorno em observação a legislação ambiental pertinente.

Com auxílio de softwares na classificação visual foi possível determinar classes, como de vegetação, edificação e água, permitindo a identificação de áreas livres e ocupadas dentro da faixa de proteção ambiental referente à APP e ZPA da Lagoa Olho D'Água.

A classificação visual também possibilitou quantificar a extensão de área construída e não construída, no ano de 1986 referente a ortofotocarta e no ano de 2005 referente a imagem de alta resolução sendo possível verificar o percentual de crescimento num período de 19 anos.

Na classificação automática, não foi possível quantificar área construídas e não construídas devido à confusão de áreas espectralmente semelhantes mesmo no método supervisionado, um exemplo deste conflito foi no que diz respeito às regiões de solo exposto e as regiões de edificações que se uniram em apenas uma classe, isto ocorreu devido a mesma resposta espectral que certos tipos de telhados possuem. Porém, com a classificação automática supervisionada foi possível separar as interfaces solo /água podendo perfeitamente auxiliar a classificação visual para traçar o limite da lagoa na área de estudo.

O classificador BHATTACHARYA demonstrou melhores resultados em relação ao classificador ISOSEG, possibilitando uma melhor visualização na interface solo e água o

que contribui na classificação visual na demarcação do limite da Lagoa Olho D'Água e conseqüentemente as faixas de preservação ambiental correspondente a esta lagoa.

A transformação por principais componentes da imagem de referencia RGB contribuiu para destacar solos mais úmidos e conseqüentemente as lagoas menores, bem como diversos tipos de telhados e vegetação que são elementos de difícil identificação em uma interpretação visual na imagem RGB que por sua vez possui um grande nível de informação o que dificulta a separação dos diversos tipos de elementos encontrados na imagem, principalmente em áreas urbanas.

Os diversos problemas de ordem ambiental existentes na área de estudo principalmente nos períodos de chuva, provocando alagamentos localizados devidos a drenagem urbana deficiente ou inexistente, as águas pluviais associadas a elevação do freático, a saturação de solos superficiais, a eventual maré alta (que dificulta o escoamento do Canal Olho D'Água ao sul da lagoa homônima), causa alagamentos nos terrenos que originalmente ficam submersos ou saturados nestas épocas, como o que aconteceu na enchente de 2005, ocasião em que houve o transbordamento de alguns pontos da Lagoa.

A atuação da Defesa Civil do Jaboatão dos Guararapes e órgãos de licenciamento ambiental, de concessão de título de propriedade de imóveis, e licenciamento de novas edificações industriais e residenciais, podem utilizar na carta imagem de zoneamento do ambiental da área de estudo (anexo1), como documento cartográfico para aplicar a legislação ambiental e urbana nos terrenos livres de construção e com áreas verdes e lagoas menores que gradualmente vem sendo aterradas, isoladas da Lagoa Olho D'Água levando a sua eutrofização e estagnação.

Portanto, este mapeamento permite aos órgãos de planejamento municipal, baseada na carta imagem e legislação urbana e ambiental atuarem em:

- a- prevenção de ocupações irregulares conforme legislação do setor da APP e da Z4.10;
- b- inspecionar áreas suscetíveis de invasões no setor não edificado alagável e alagado e cobertura vegetal;

- c- propor campanhas de educação ambiental nas comunidades carentes no setor de ocupação subnormal;
- d- elaborar, junto aos órgãos públicos de planejamento e execução de obras públicas, projetos de requalificação urbana e recuperação ambiental;
- e- cadastramento de família que residem dentro da faixa de proteção Z4.10 para inserção de projetos habitacionais.

Os órgãos direta e indiretamente ligados ao planejamento urbano e fiscalização ambiental do município de Jaboatão dos Guararapes, em conjunto com a Defesa Civil municipal poderão utilizar os resultados desta pesquisa, pois a áreas de APP são importantes dentro das áreas consideradas de risco quando passam a ser ocupadas pela população, pois esta faixa de preservação corresponde a um trecho de vazão de corpos d'água podendo trazer danos a população residente, uma vez que o município é carente em mapeamento de áreas alagáveis atualizados para o seu monitoramento.

A falta de opções de moradia mais seguras faz com que estas áreas se tornem alvos fáceis de ocupação por parte de populações carentes, transformando uma área que seria de preservação em uma área de risco não só para o ambiente em si como para própria população trazendo danos para ambas as partes.

5.2 Recomendações

Recomenda-se que os mapas temáticos que foram os produtos gerados a partir dos resultados desta pesquisa e de domínio público da área de estudo sirvam de informações auxiliares, não somente em projetos de requalificação e recuperação ambiental da lagoa previsto na legislação municipal como determina a Lei Complementar 002/2008, como na identificação e cadastro de famílias residentes em áreas irregulares que podem ser indicadas para projetos habitacionais que garantem moradias em locais mais seguros. O mapeamento e a metodologia desta pesquisa podem ser aplicados ao entorno restante da Lagoa Olho D'Água, considerando que os problemas na área de estudo se reproduzem no entorno geral da referida lagoa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATTY, M.; HOWES, D. **Predicting Temporal Patterns in Urban Developed from Remote Imagery**. In: Donay, J.P.; Barnley, M. J.; Longley, P. A (ed.) Remote Sensing and urban analysis. London: Taylor and Francis, 2001. Cap 10, p. 185-204.

BRASIL. **Código Florestal: Lei 4.771** de 15 de setembro de 1965.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.C.P. **“Spring: Integrating Remote Sensing and GIS with Object Oriented Data Modelling”** Computer and Graphics, vol. 15, n. 6, pp. 13-22, 1996.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Ed. Curitiba. Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR, 2004, v.1, 209 p.

CHOI, E.; Lee C. **Feature extraction based on the Bhattacharyya distance**. Pattern Recognition, Vol. 36, 1703 – 1709, 2003.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 303/2002**. Brasília, 2002.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital da Imagem de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 2nd ed. 170p. 1992.

DENG, J. S. ; WANG, K. ; DENG, Y. H. ; Qi, G. J. **PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data**. International Journal of Remote Sensing. Volume 29 , Issue 16. Pages: 4823-4838. 2008.

DPI (Divisão de Processamento de Imagens). **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - Spring**. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/>. Acessado em 02/ago/2010.

ESPINDOLA, G. M. de. **Ajuste de Parâmetros no Algoritmo de Segmentação de Imagens do Software eCognition®**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 de abril de 2007. Anais, 5739-5744.

GOMES, S. C. **Diagnóstico Ambiental do Meio Físico da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão-PE**. Dissertação de Mestrado em Geociências, UFPE, 2005.

HEROLD, M.; LIU, X., ; CLARKE, K. C. **Spatial Metrics and Image Texture for Mapping Urban Land Use**. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, Pag. 991-2001. 2003

INPE. **Processamento Digital de Imagens**. Disponível em URL:< WWW.dpi.inpe.br/~leila/ser437//ser437.html>. Acessado em 03/06/2010.

_____. **Manual SPRING- Processamento de Informações Georreferenciadas**, v.5.0. 2009.

JABOATÃO DOS GUARARAPES. **Legislação Urbanística Básica, Nº 165/1980**. Jaboatão dos Guararapes, 1980.

_____. **Lei Complementar 002/2008**. Jaboatão dos Guararapes 16 de janeiro de 2008.

_____. **Lei Municipal 114/1991, Lei das ZEIS**. Jaboatão dos Guararapes, 1991.

JENSEN, J., and TOLL, D. 1982. **Detecting Residential Land Use Development at the UrbanFringe. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. vol. 48, pág. 629-643, 1982.

JI, C. Y.; Q. LIU, D. SUN, S. WANG, P. Lin, and LI, X. 2001. **Monitoring Urban Expansion with Remote Sensing in China**. International Journal of Remote Sensing, 22(8): 1441-1455.

KÖRTING, T. S. **Classificação de Imagens por Regiões**. Disponível em: URL: <<http://www.dpi.inpe.br/~tkorting/projects/isoseg/material.pdf>>. Acessado em 02/ago/2010.

KURY, E. B.; VIEIRA, C. A. O. **Classificação Automática de Imagens de Alta Resolução**. I Workshop sobre Geoprocessamento – UFVGEO- Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2002.

LI, X.; A.G.O. Yeh. **Principal component analysis of stacked multi-temporal images forthe monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta**. Int. J. Remote Sensing,19(8), 1501-1518, 1998.

LILLESAND, T. M; KIEFFER, R. W; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York, John Wiley & Sons Ltd. 763 pp. 2004.

MACEDO, O.G; CANDEIAS, A.L.B; TAVARES JÚNIOR, J.R. **Mapeamento do Entorno da Lagoa Olho D`Água em observação a legislação Ambiental Municipal, Estadual e Federal**. VI Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas Curitiba, 03 a 06 de novembro de 2009.

MARCHETTI, D.A.B; GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Foto Interpretação**. São Paulo. Livraria Nobel, 1997.

MOELLER, M. S. **Remote Sensing for the Monitoring of Urban Growth Patterns**. URBAN-URS 2005, ISPRS. Tempe (AZ). 3rd International Symposium RemoteSensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN) and 5th InternationalSymposium Remote Sensing of Urban Areas (URS). 14 a 16 de março de 2005. Disponível em URL <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W27/moeller.pdf>. Acesso em: 05/02/2010.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 3a ed. 2005. 320 p.

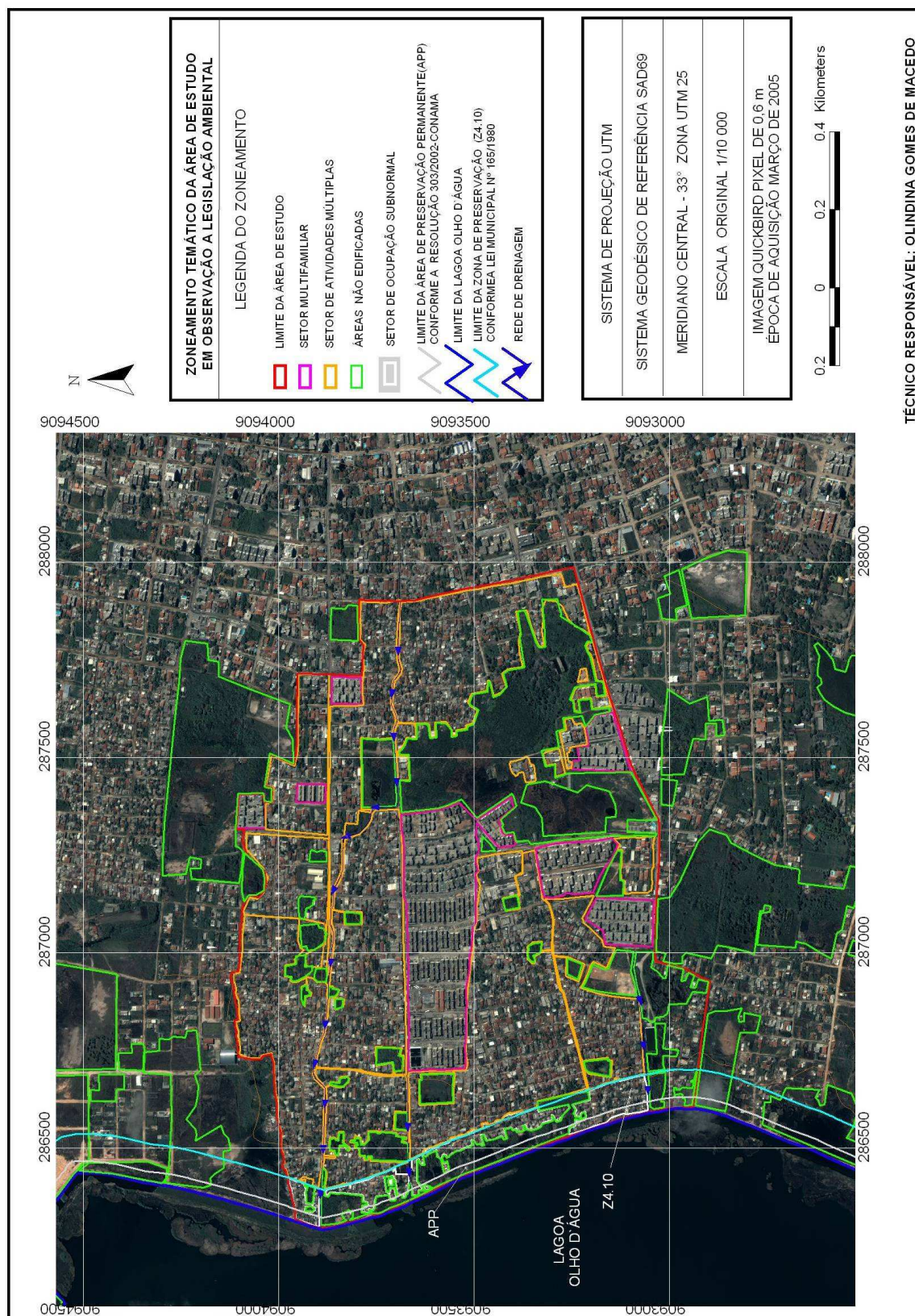
NOVO, E. M. L. de. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. Editora Blucher, São Paulo, 2008, 363p.

PERNAMBUCO. Política **Florestal do Estado de Pernambuco Lei Nº 11.206** de 31 de março de 1995.

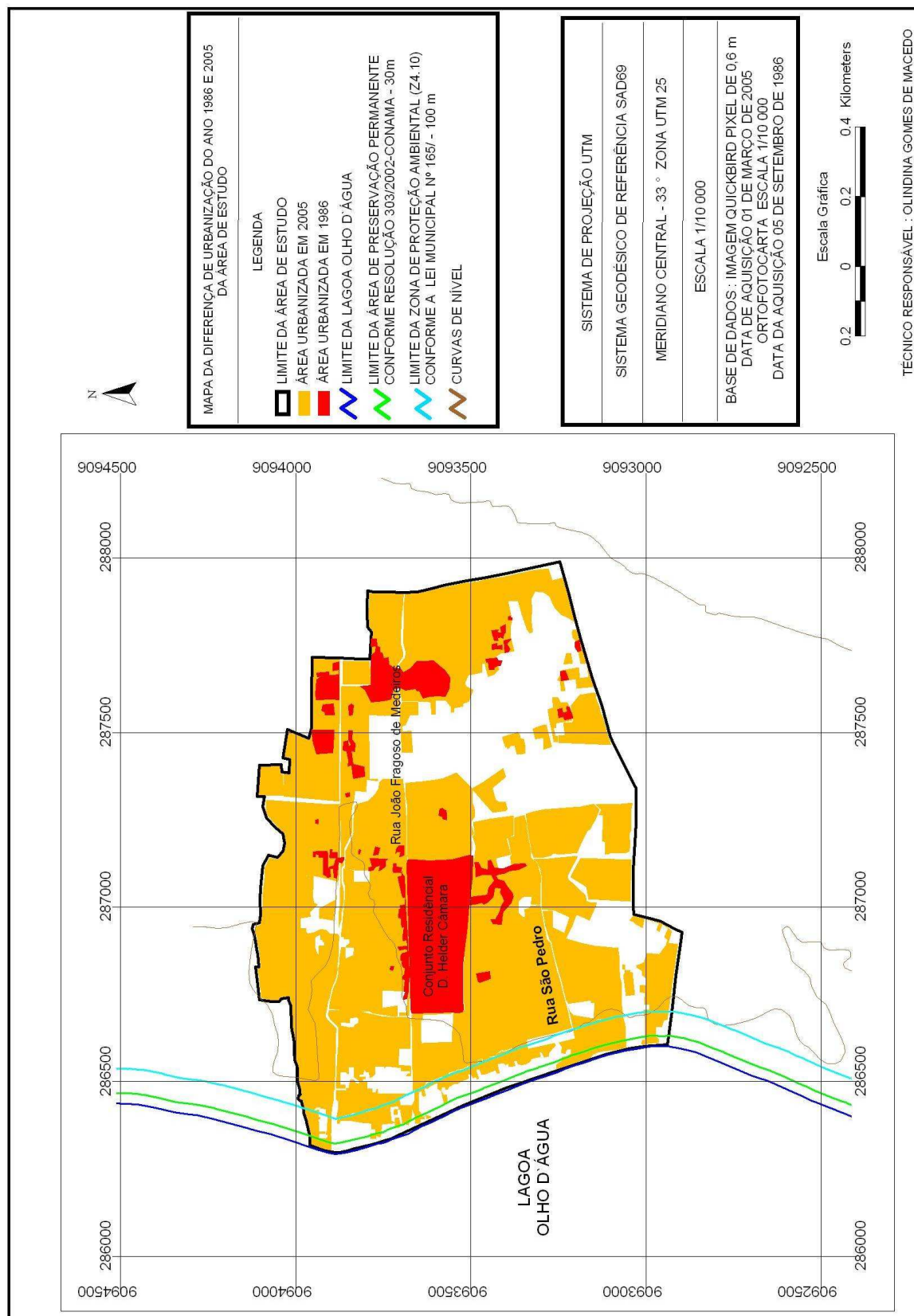
SANTOS, R.. **Princípios e Aplicações de Mineração de Dados**. Technical report, 2006, INPE.

SABINS, Jr., F.F. **Remote Sensing: Principles and Interpretation**. 2nd Ed., c 1987.

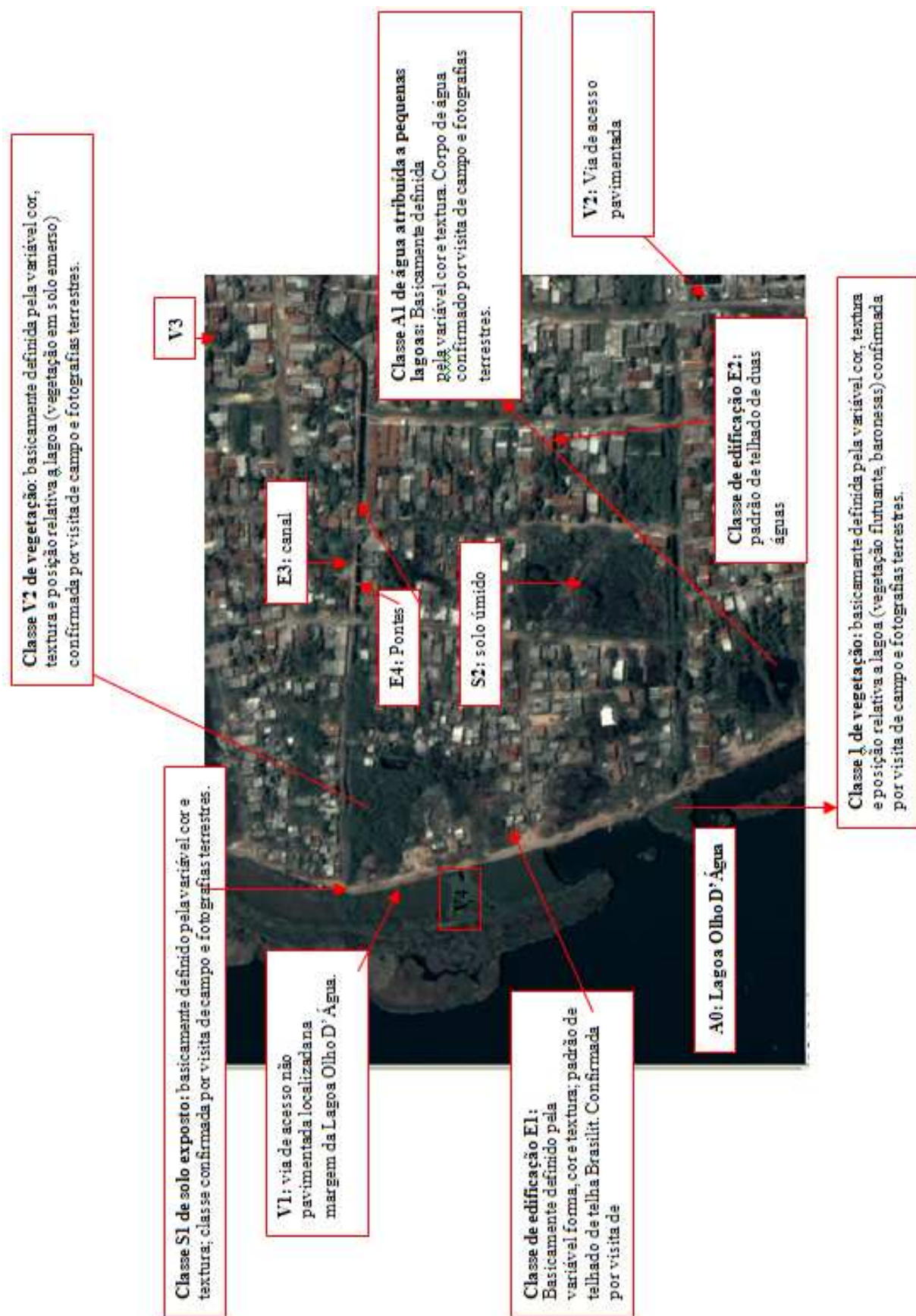
**ANEXO 1- Carta Imagem - Zoneamento Temático da Área de Estudo em Observação a
Legislação Ambiental**



**ANEXO 2. Mapa da Diferença de Urbanização do ano de 1986 e 2005 da Área de
Estudo**



Anexo 3 - Identificação de Variáveis Visuais na Área de Estudo



Anexo 4 - Transformação de Sistemas de Referência Geodésico.

Transformação de Sistemas de Referência Geodésicos

No processo de aquisição de dados é comum encontrar produtos cartográficos em diferentes sistemas, nesse caso é necessário o procedimento de transformação de sistemas, para tanto o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é a entidade responsável pela definição e disponibilização dos parâmetros necessários para a transformação de Sistemas de Referências Geodésicos adotado.

Atualmente está em uso simultâneo o Sistema de Referência Geodésico Córrego Alegre e o SAD69 (*South American Datum of 1969*) e o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas SIRGAS 2000, visando oferecer um período de transição e adaptação ao SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), porém o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul foi criado pelo fato dos sistemas ditos como clássicos não possuírem precisão compatível com as atuais técnicas de posicionamento global fazendo com que muitos países adotassem sistemas de referências geocêntricos.

Vários países já adotaram o Sistema de Referência Geocêntrico por possuir precisão compatível com as atuais técnicas de posicionamento global (GPS), o Brasil também se inclui nessa tendência, pois está migrando para o novo sistema. Após o ano de 2014, o SIRGAS 2000 será o sistema de referência geodésico no Brasil (IBGE, 2002), para tanto é recomendado de que os novos trabalhos sejam feitos já no novo sistema.

De acordo com DALAZOANA e FREITAS (2002) a adoção do SIRGAS 2000 como sistema oficial no Brasil tendo em vista os avanços tecnológicos e científicos segue uma tendência lógica. Porém, a adoção de um novo referencial implica na necessidade de integração dos dados e mapas já gerados ao novo sistema.

A transformação de sistema constitui basicamente na utilização de modelos matemáticos, para converter as coordenadas de pontos de um sistema de origem para outro sistema de referência, aqui representada pela fórmula simplificada de Molodensky, o qual utiliza 5 parâmetros (3 parâmetros de translação e as diferenças entre os semi-eixos maior e achatamento dos dois sistemas), aplicando a transformação diretamente nas coordenadas curvilíneas do sistema de origem.

Fórmulas simplificadas de Molodensky:

$$\Delta \Phi^{\circ} = \frac{1}{M_1} \{ (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \operatorname{sen} 2 \Phi_1 - \Delta x \operatorname{sen} \Phi_1 \cos \lambda_1 - \Delta y \operatorname{sen} \Phi_1 \operatorname{sen} \lambda_1 + \Delta z \cos \Phi_1 \} \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta \lambda^{\circ} = \frac{1}{N_1 \cos \Phi_1} \{ -\Delta x \operatorname{sen} \lambda_1 + \Delta y \cos \lambda_1 \} \frac{180}{\pi}$$

$$\Phi^{\circ}_2 = \Phi^{\circ}_1 + \Delta \Phi^{\circ}$$

$$\lambda^{\circ}_2 = \lambda^{\circ}_1 + \Delta \lambda^{\circ}$$

Onde:

$M^1 =$

$a_1 =$ Semi eixo maior do elipsóide no sistema S^1

$f_1 =$ achatamento do elipsóide no sistema S^1

$\Phi_1 =$ latitude geodésica do sistema S^1

$\lambda_1 =$ longitude geodésica do sistema S^1

$a_2 =$ semi-eixo maior do elipsóide no sistema S^2

$f_2 =$ achatamento do elipsóide do sistema S^2

$\Phi_2 =$ latitude geodésica do sistema S_2

$\lambda_2 =$ longitude geodésica do sistema S_2

$\Delta N =$ diferença de geondulação ($S_2 - S_1$)

$\Delta x; \Delta y; \Delta z =$ parâmetros de translação de S_1 em referencia ao S_2

$$N_1 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \Phi_1)^{1/2}} = \text{raio de curvatura } 1^\circ \text{ vertical no } S_1$$

$$M_1 = \frac{N_1}{(1 - e^2 \sin^2 \Phi_1)^{1/2}} = \text{raio de curvatura } 1^\circ \text{ meridiano no } S_1$$

$$\Delta a = a_2 - a_1$$

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

$$e^2 = f_1 (2 - f_1)$$

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

Parâmetros de Transformação de Sistemas adotados no Brasil

SAD69	WGS84	CÓRREGO	SIRGAS
Translação X	-66,87 m	+138,70 m	-67,348 m
Translação Y	+4,37 m	-164,40 m	+3,879 m
Translação Z	-38,52 m	-34,40 m	-38,223 m

SIRGAS	WGS84	CÓRREGO	SAD69
Translação X	+0,478 m	+206,048 m	+67,348 m
Translação Y	+0,491 m	-168,279 m	-3,879 m
Translação Z	-0,297 m	+3,823 m	+38,223 m

CÓRREGO	WGS84	SIRGAS	SAD69
Translação X	-205,57 m	-206,048 m	-138,70 m
Translação Y	+168,77 m	+168,279 m	+164,40 m
Translação Z	-4,12 m	-3,823 m	+34,40 m

WGS84	SIRGAS	CÓRREGO	SAD69
Translação X	-0,478 m	+205,57 m	+66,87 m
Translação Y	-0,491 m	-168,77 m	-4,37 m
Translação Z	+0,297 m	-72,623 m	+38,52 m

De acordo com IBGE (2008), estes parâmetros foram estimados adotando um conjunto de 63 estações geodésicas pertencentes a Rede GPS do Sistema Geodésico Brasileiro SGB. Considerando que esta rede possui um padrão de distorção muito menor que a aqueles determinados pelos métodos clássicos (triangulação e poligonação), não existindo a necessidade de modelar as distorções, uma vez que são homogêneas e diminutas.

Referências Bibliográficas

DALAZOANA Regiane A. S; FREITAS, Sílvia R. C. de - RBC - **Revista Brasileira de Cartografia** Brazilian Journal of Cartography 54, dezembro 2002 / n. 54, december 2002.

IBGE. **Sistemas de Referência**. Disponível em: <[http:// www. ibge. gov. br/ ibge/ geografia/geodésico/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/geodésico/default.shtm)>. Acesso em 3 abr. 2008.