



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.17.17.34-TDI

**CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA E DO USO DO  
SOLO URBANO DE SÃO LUÍS (MA), COM IMAGENS  
WORLDVIEW-2 UTILIZANDO MINERAÇÃO DE  
DADOS E O SISTEMA INTERIMAGE**

Ulisses Denache Vieira Souza

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Hermann Johann Heinrich Kux, aprovada em 19 de setembro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**

### **Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **Membros:**

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.17.17.34-TDI

**CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA E DO USO DO  
SOLO URBANO DE SÃO LUÍS (MA), COM IMAGENS  
WORLDVIEW-2 UTILIZANDO MINERAÇÃO DE  
DADOS E O SISTEMA INTERIMAGE**

Ulisses Denache Vieira Souza

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Hermann Johann Heinrich Kux, aprovada em 19 de setembro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

So89c Souza, Ulisses Denache Vieira.  
Classificação da cobertura e do uso do solo urbano de São Luís (MA), com imagens worldview-2 utilizando mineração de dados e o sistema interimage / Ulisses Denache Vieira Souza. – São José dos Campos : INPE, 2012.  
xx+112 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.17.17.34-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.  
Orientador : Dr. Hermann Johann Heinrich Kux.

1. sensoriamento remoto. 2. WorldView-II. 3. mineração de dados. 4. GEOBIA. 5. manguezais. 6. dunas I.Título.

CDU 528.88(812.1)

---

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

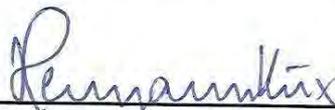
Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em  
**Sensoriamento Remoto**

Dra. Claudia Maria de Almeida



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux



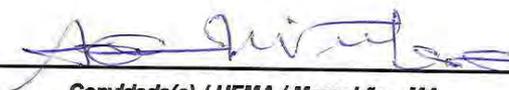
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Teresa Gallotti Florenzano



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Antônio Cordeiro Feitosa



Convidado(a) / UFMA / Maranhão - MA

*Este trabalho foi aprovado por:*

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Ulisses Denache Vieira Souza**

São José dos Campos, 17 de Agosto de 2012



*Porque para Deus nada é impossível.”*  
*(Lucas 1:37)*



A Deus fonte de toda graça. À minha esposa Natália, a meus pais Carlos e Luzilane, à minha avó Elenir "Mani" e a meus irmãos Bruna e Carlos. Muito obrigado por tudo.



## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo Dom da Vida e pela força do Espírito Santo concedida a cada momento.

À minha esposa Natália, que revestida de muita compreensão, despojamento e alegria sempre me incentivou a continuar.

Aos meus pais Carlos Alberto e Luzilane, à minha avó Maria Elenir, pelo incentivo e constante apoio ao longo de minha vida.

Aos tios Vera, Paulo, Cristina, Vera Lúcia, Luzinete, Moreira, Cristiane, Jonk, pelos conselhos e pelas orações.

Ao orientador e amigo Dr. Hermann Johann Heinrich Kux, pela paciência, pelos ensinamentos e pela confiança ao longo do período do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo auxílio financeiro ao longo da pesquisa e à empresa DigitalGlobe, na pessoa do Dr. Kumar Navulur, por gentilmente ter cedido as imagens WorldView-2 utilizadas nesta pesquisa.

Ao Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais – NEPA da UFMA, em especial aos Professores Antonio Cordeiro Feitosa e Zulimar Márta, pela disponibilidade do espaço para o desenvolvimento da pesquisa e aos alunos Taissa, Josué, Ózimo, Paulo, Celso, Fabiana, Alex, Thiara, Andressa, Dayla e Jessyca, pelo auxílio no trabalho de campo.

Ao Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID da Prefeitura Municipal de São Luís, por ter cedido sua base de dados.

Ao Laboratório de Geoprocessamento da UFMA na pessoa do amigo e Prof. Maurício Eduardo Salgado Rangel, pelas discussões sobre a temática de estudo e pela disponibilização dos dados topográficos digitais para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo.

Ao Eng. Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque da DSR/INPE, pela disposição em ir até São Luís e participar da jornada de campo e pelos ensinamentos durante a preparação, execução e processamento dos pontos com GNSS.

Aos professores do Colégio Universitário em especial a Rosalva, Jandira, Ângelo, Alberto Pestana, Michele, Conceição Vasconcelos, Inácio, Beatriz, Luís Alberto, Paulo Sérgio e Marinês, pelo apoio em diversos momentos.

À Dra. Tereza Florenzano e Dra. Claudia Maria, pela disponibilidade de participar da banca de avaliação do trabalho.

A todos da turma “PG-SER INPE 2010”, em especial aos irmãos e amigos Felipe Alfaya, Leonardo de Deus, Tatiana, Ana Elisa, Alan, Sergio, Édipo e Marcelo, Flora, Yasmim, Luciana, Rafael e aos amigos Ana Paula e Thales Korting pelas longas conversas de apoio e a Simone, pela amizade.

Ao Prof. Dr. Flavio Ponzoni, à Vera Gabriel e Valéria Abrão, por todo o apoio.



## RESUMO

As áreas urbanas caracterizam-se por ser um espaço em transformação, dinâmico e com problemas de ordenamento e de uso e ocupação do solo. Quando estas áreas urbanas estão localizadas em ambientes costeiros, se tornam ainda mais frágeis pela presença de ecossistemas como os manguezais e as dunas. A utilização dos dados de sensoriamento remoto aliados a técnicas de mineração de dados possibilitam a extração automática de importantes informações para o planejamento e a gestão urbana costeira. Para processamento e avaliação dos dados provenientes de novos sensores orbitais, utiliza-se conhecimento de GEOBIA. Neste trabalho foram utilizadas imagens do satélite WorldView-2 de alta resolução espacial, com uma banda pancromática (0,50m) e oito bandas multiespectrais: três bandas na faixa do visível (*red*, *green* e *blue*) e a banda do infravermelho próximo (NIR), além das quatro novas bandas: *coastal* (400-450 nm), *yellow* (585-625 nm), *red edge* (705-745 nm) e *near-infrared-2* (860-1040 nm). O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso dessas imagens aliadas a técnicas de mineração de dados para a classificação de uso e cobertura do solo urbano em áreas urbanas costeiras. Os procedimentos aplicados em duas áreas-testes no setor norte da cidade de São Luís, Ilha do Maranhão. Primeiramente, foi utilizado um modelo de classificação para as áreas-testes que considerava somente análise exploratória a partir das ferramentas implementadas no software InterIMAGE (Teste AI e BI). Para comparação foi elaborado um modelo com base nos resultados da mineração de dados por árvore de decisão com um número mínimo de folhas, indicava os melhores limiares e atributos para classificar as imagens, sendo este modelo adaptado à concepção do software InterIMAGE (Teste AII e BII). Através de avaliações estatísticas, foi possível optar pelas classificações com maior precisão que obtiveram índices *Kappa* de 0,8354 (Teste AII) e 0,8446 (Teste BII) e assim customizar os atributos já validados na classificação da cobertura do solo ao modelo para mapear o uso do solo, obtendo-se índices *Kappa* de 0,7924 (Área A) e 0,7631 (Área B).



# LAND USE/LAND COVER CLASSIFICATION OF URBAN AREA FROM SÃO LUIS (MARANHÃO STATE) USING WORLDVIEW-2 IMAGES, DATA MINING AND THE INTERIMAGE SYSTEM

## ABSTRACT

Urban areas are characteristic spaces under dynamic changes, with problems related to planning land use/land cover. Such areas are especially fragile when they are located in coastal regions with mangrove vegetation and dune ecosystems. Remote sensing information and data mining techniques allow the automatic extraction of important information for planning and urban management issues of such areas. Data processing of the new high resolution remote sensing satellite systems considers the GEOBIA paradigm. In this study data from the WorldView-2 satellite were used: bands red, green and blue in the visible spectrum and a near infrared band. Four new bands were added in this very high resolution sensor system, namely: coastal (400-450 nm), yellow (585-625 nm), red edge (705-745 nm) and near-Infrared-2 (860-1040 nm). The objective of this study was to evaluate the capability of these datasets for the classification of land use/land cover in urban coastal areas. Two test-sites were considered at the northern section of São Luís city (Maranhão State, Brazil). Initially, tests were made with a classification model, considering only those tools implemented at the InterIMAGE classification software (Tests AI and BI). For comparison purposes, a model was developed based on the results of data mining by decision tree, with a minimum number of leaves, which indicates the best thresholds and attributes to classify images. This model was adapted to the concept of the software InterIMAGE (Tests AII and BII). After a statistical evaluation, those classifications with the highest *Kappa* indices were considered, namely: Test AII (0.8354) and BII (0.8446). It was then possible to customize the attributes validated earlier in the land cover classification to the model used to map land use, obtaining *Kappa* indices of 0.7924 for area A and 0.7631 for area B.



## LISTA DE FIGURAS

		<u>Pág.</u>
Figura 2.1	Resposta espectral das bandas do satélite Worldview-2	08
Figura 2.2	Rede semântica e regras elaboradas no InterIMAGE	15
Figura 2.3	Processo de mineração de imagens	17
Figura 2.4	Exemplo de árvore de Decisão	19
Figura 3.1	Municípios da Ilha do Maranhão	21
Figura 3.2	Localização das áreas-testeS	24
Figura 3.3	Área-teste A	26
Figura 3.4	Área-teste B	26
Figura 4.1	Comparação das bandas dos satélites Quickbird, WorldView 1 e 2	27
Figura 4.2	Diagrama dos procedimentos metodológicos	30
Figura 4.3	Placa de monumentação de ponto de controle	35
Figura 4.4	Exemplos de locais escolhidos para monumentação	35
Figura 4.5	Localização Geográfica dos 59 pontos de controle na área de estudo	36
Figura 4.6	GCPs e ICPs distribuídos espacialmente na área a ser corrigida	37
Figura 4.7	Modelo em 3D com base no MDE da área de estudo	38
Figura 4.8	Ordem sequencial de análise de interpretação da imagem	41
Figura 4.9	Rede Semântica com nós-pais e nós-folhas	46
Figura 4.10	Imagem segmentada	48
Figura 4.11	Visualização do atributo em nível de cinza para Área A	49
Figura 5.1	(a) Imagem Pancromática. (b) Imagem Multiespectral. (c) Imagem Fusionada	60
Figura 5.2	Exemplo de parâmetros utilizados para a segmentação da área teste A da imagem do satélite WorldView-2, com base em Ribeiro (2010)	82 63
Figura 5.3	Estruturação da rede semântica	65
Figura 5.4	Regras de Decisão para a classe de vegetação rasteira (Área Teste 01).	65

Figura 5.5	Rede Semântica para classificação de uso do solo Área B	67
Figura 5.6	Regra BU inserida no nó 'Residencial Horizontal de Alto Padrão'	67
Figura 5.7	Mapa temático de cobertura do solo: Área A-Teste I (Mapa AI)	69
Figura 5.8	Mapa temático cobertura do solo: Área A-Teste II (Mapa AII)	71
Figura 5.9	Mapa temático cobertura do solo: Área B-Teste II (Mapa BI)	73
Figura 5.10	Mapa temático cobertura do solo: Área B-Teste II (Mapa BII)	75
Figura 5.11	Gráfico dos índices <i>Kappa</i> condicional para as classes de cobertura do solo da Área A- teste I	77
Figura 5.12	Gráfico dos índices <i>Kappa</i> condicional para as classes de cobertura do solo da Área A teste II	77
Figura 5.13	Gráfico dos índices <i>Kappa</i> condicional para as classes de cobertura do solo da Área B teste I	78
Figura 5.14	Gráfico dos índices <i>Kappa</i> condicional para as classes de cobertura do solo da Área B teste II	78
Figura 5.15	(a) Canais de maré. (b) Ponte com revestimento de asfalto sobre o canal de maré	80
Figura 5.16	Mangue na Área B	80
Figura 5.17	Gráfico dos índices <i>Kappa</i> condicional para as classes de uso do solo para Área A.	81
Figura 5.18	Gráfico dos índices <i>Kappa</i> condicional para as classes de uso do solo para Área B	81
Figura 5.19	Ocupações próximas ao canal de maré	82
Figura 5.20	Ocupações na área de manguezal	82
Figura 5.21	Mapa temático de uso do solo por quadra (Área Teste A)	83
Figura 5.22	Mapa temático de uso do solo por quadra (Área Teste B)	85

## LISTA DE TABELAS

		<u>Pág.</u>
Tabela 4.1	Métodos e interpoladores avaliados	32
Tabela 4.2	Fontes de distorções geométricas em imagens de satélite	33
Tabela 4.3	Chaves de interpretação das classes de cobertura do solo de interesse	42
Tabela 4.4	Métodos e parâmetros avaliados	48
Tabela 4.5	Classes de uso do solo na Imagem WorldView-2	54
Tabela 5.1	Estatística das ortoimagens WorldView-2 sem e com GCPs	61
Tabela 5.2	Critérios avaliados para a seleção do modelo de classificação	64
Tabela 5.3	Estatísticas das classificações da Cobertura para as áreas-testes	68
Tabela 5.4	Matriz de confusão para a classificação da Área A elaborada pelo modelo proposto pelo intérprete (Teste I)	70
Tabela 5.5	Matriz de confusão para a classificação elaborada para Área A usando técnicas de <i>Data Mining</i> (Teste II)	72
Tabela 5.6	Matriz de confusão para a classificação da Área B elaborada pelo modelo proposto pelo intérprete (Teste I)	74
Tabela 5.7	Matriz de confusão para a classificação elaborada para Área B usando técnicas de <i>Data Mining</i> (Teste II)	76
Tabela 5.8	Matriz de confusão para a classificação do uso do solo (Área A)	84
Tabela 5.9	Matriz de confusão para a classificação do uso do solo (Área B)	86



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>CAPÍTULO 1</b> -----	<b>01</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> -----	<b>01</b>
1.1 Objetivo Geral -----	03
1.2 Objetivos Específicos-----	03
1.3 Organização da Dissertação-----	04
<b>CAPÍTULO 2</b> -----	<b>05</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> -----	<b>05</b>
2.1 O sensoriamento remoto de Áreas Urbanas-----	05
2.2 Imagens de Alta Resolução Espacial-----	06
2.2.1 O satélite WorldView-2-----	07
2.3 Classificação de Cobertura da Terra e do Uso do Solo Urbano -----	09
2.4 Análise Geográfica de Imagens Baseada em Objeto - GEOBIA -----	10
2.5 Sistemas de Interpretação de Imagens Baseados em Conhecimento ----	12
2.5.1 InterIMAGE -----	13
2.5.1.1 Rede Semântica -----	14
2.5.1.2 Operadores-----	14
2.5.1.3 Etapas <i>Top-down</i> e <i>Bottom-up</i> -----	14
2.6 Mineração de Dados ( <i>Data Mining</i> ) -----	16
2.6.1 Árvores de Decisão-----	18
<b>CAPÍTULO 3</b> -----	<b>21</b>
<b>ÁREA DE ESTUDO</b> -----	<b>21</b>
3.1 Situação Geográfica e Aspectos Gerais -----	21
3.2 Áreas-Testes-----	25
<b>CAPÍTULO 4</b> -----	<b>27</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> -----	<b>27</b>
4.1 Material-----	27
4.1.1 Dados de Entrada -----	27
4.1.2 Softwares e Aplicativos -----	28
4.1.3 Equipamentos-----	29
4.2 Métodos -----	29
4.2.1 Preparação dos Dados -----	31
4.2.1.1 Fusão das Imagens -----	32
4.2.1.2 Ortorectificação -----	33
4.2.2 Classificação da Cobertura -----	40
4.2.2.1 Definição das Classes-----	40
4.2.2.2 Elaboração da Rede Semântica -----	45
4.2.2.3 Segmentação -----	46
4.2.2.4 Análise Exploratória-----	49

4.2.2.5 Mineração de Dados: Definição dos Parâmetros-----	50
4.2.4 Classificação do Uso do Solo -----	51
4.2.4.1 Definição das Classes -----	52
4.2.5 Modelo de Classificação-----	56
4.2.6 Avaliação das Classificações -----	57
<b>CAPÍTULO 5-----</b>	<b>59</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES-----</b>	<b>59</b>
5.1 Fusão de Imagens-----	59
5.2 Ortorectificação -----	60
5.3 Avaliação das Ortoimagens -----	61
5.4 Análise de Imagem Baseada em Objetos Geográficos -----	62
5.4.1 Segmentação -----	62
5.4.2 Mineração de Dados: Definição dos Parâmetros -----	63
5.4.3 Modelos de Classificação da Cobertura da Terra-----	64
5.4.4 Modelos de Classificação do Uso do Solo-----	66
5.4.5 Avaliação das Classificações -----	68
5.4.5.1 Classificações da Cobertura e do Uso do Solo -----	68
<b>CAPÍTULO 6-----</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSÕES -----</b>	<b>87</b>
6.1 Recomendações -----	90
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE A -----</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE B -----</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE C -----</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO A-----</b>	<b>111</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Ao longo da segunda metade do século XX, ocorreu em países que estavam em processo de industrialização uma acentuada elevação dos índices de urbanização (REIS, 2009). No Brasil, a partir da década de 1970, o processo de urbanização se tornou intenso, levando a um rápido aumento populacional, especialmente nas grandes cidades, ampliando a necessidade de um eficaz planejamento e controle das atividades desenvolvidas no ambiente urbano.

Nas últimas décadas, houve um acentuado crescimento dos estudos sobre a dinâmica urbana (SOUZA, 2000). A presença de grandes empreendimentos localizados próximos aos centros urbanos é responsável pela atração de uma considerável quantidade de trabalhadores e consumidores. Na cidade de São Luís, ocorreu um intenso crescimento populacional a partir da década de 1960, motivado pelas atividades comerciais e industriais na região.

Os produtos de sensoriamento remoto possuem grande importância para o planejamento e monitoramento urbano. Mapeamentos temáticos com dados de sistemas sensores de alta resolução são fundamentais para o monitoramento de áreas de preservação ambiental, na identificação de áreas de risco, identificação de áreas de expansão urbana, dentre outros (ANTUNES; CORTESE, 2007; KUX; ARAÚJO, 2008; NOVACK; KUX, 2010;).

Através das várias aplicações desenvolvidas ao longo dos últimos anos pode ser constatar uma melhora significativa das resoluções espectral e espacial dos novos sistemas sensores orbitais conforme pode se verificar em Blaschke e Kux (2007), Novack (2009), Pinho et al. (2009, 2012), Ribeiro (2010), Tomás (2010), Leonardi (2010), Novack et al. (2011), Ribeiro et al. (2011), entre outros.

Ehlers (2007) apresenta a lista dos sistemas sensores com significativa melhoria nas resoluções espacial, temporal e radiométrica que estão permitindo aplicações até agora “reservadas” às fotografias aéreas, como o mapeamento de biótopos com alta precisão e mapeamento de alvos urbanos.

Estudos sobre a cobertura e o uso do solo se tornam necessários para o correto gerenciamento dos problemas urbanos. Por cobertura da terra (*land cover*), entende-se como sendo aspectos físicos da superfície de uma dada parcela do solo, por exemplo, grama, concreto, água, etc (JENSEN; COWEN, 1999). Barnsley et al. (2001) conceituam o uso do solo (*land use*) como o exercício das atividades humanas sobre o solo. Trata-se de um conceito abstrato, entrelaçando fatores culturais e econômicos, não podendo ser diretamente determinados através de técnicas de sensoriamento remoto.

Em relação aos modelos de classificação de imagem Blaschke (2010) e Taubenbock, et al. (2010) apontam para a abordagem baseada em objeto utilizando sensores de alta resolução espacial, que é vantajosa por considerar conjuntos de pixels (regiões) e não pixels isoladamente. Aplicações que utilizam esse conceito consideram um número maior de variáveis, usando atributos de forma, textura, além de características da vizinhança, que melhoram significativamente o processo de classificação, conforme estudos de Pinho (2005), Almeida et al. (2007), Hofmann et al. (2008).

Para que mais usuários de imagens de alta resolução espacial possam utilizar o método de classificação baseado em objeto, a PUC-RJ e o INPE (DSR e DPI) desenvolveram um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento, o InterIMAGE, que possui código aberto e pode ser acessado de forma livre e gratuita por qualquer usuário (COSTA, 2009; COSTA et al. 2010).

Ao lado do desenvolvimento desse software, foram empregadas técnicas de mineração de dados (*Data Mining*) já utilizadas na detecção de mudanças em conjuntos de dados espaciais por Chen et al. (2009). Tanto a mineração de dados como as técnicas baseadas em objeto aplicadas às imagens do satélite WorldView-2 auxiliaram na realização deste trabalho.

### **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo de conhecimento para o mapeamento da cobertura e do uso do solo no contexto de uma área urbana costeira (São Luís, Maranhão), classificando imagens do satélite WorldView-2 e utilizando o paradigma de análise de imagens baseada em objeto e técnicas de mineração de dados (*Data Mining*).

### **1.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a exatidão do processo de ortorretificação por diferentes métodos implementados com *GCPs* (*Ground Control Points*) e do Modelo Digital de Elevação.
- Avaliar a contribuição das bandas adicionais do sensor WorldView-2 para este tipo de aplicação.
- Elaboração de um modelo de conhecimento para a classificação do uso e cobertura do solo em áreas similares à área de estudo.
- Identificar os melhores atributos através de mineração de dados para a caracterização de cada classe de cobertura do solo, além de elaborar mapas de uso do solo para as áreas-testes.
- Avaliar o desempenho e o potencial do aplicativo InterIMAGE.

- Gerar produtos de classificação de cobertura e uso do solo que possam contribuir para o planejamento urbano e ambiental da cidade de São Luís (MA).

### **1.3 Organização da Dissertação**

Este documento está organizado em seis capítulos da seguinte forma:

- ✓ O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica no qual são abordados conceitos e trabalhos anteriores relacionados aos conhecimentos explorados nesta pesquisa, incluindo discussões sobre temas como: imagens de alta resolução espacial, análise geográfica de imagens baseada em objeto – *GEOBIA* (Geographic Object-Based Image Analysis) e técnicas de mineração de dados.
- ✓ O Capítulo 3 apresenta a localização e situação geográfica da área de estudo, com ênfase para as características específicas das áreas-testes.
- ✓ O Capítulo 4 descreve os procedimentos utilizados, os dados que serviram de base para a pesquisa, aplicativos computacionais, equipamentos, a organização dos passos metodológicos que nortearam o encaminhamento da pesquisa.
- ✓ O Capítulo 5 apresenta, analisa e discute os resultados obtidos com o uso dos procedimentos realizados e nas classificações de cobertura e uso do solo com base nas avaliações realizadas.
- ✓ O Capítulo 6 contém as conclusões, as recomendações e perspectivas para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo, são apresentados os conceitos de sensoriamento remoto relacionados à questão urbana que fundamentam esta pesquisa e as técnicas aplicadas nos experimentos realizados: classificação de uso e cobertura do solo, fusão de imagens, ortorretificação, análise baseada em objetos geográficos, mineração de dados, avaliação dos produtos cartográficos e avaliação das classificações.

#### **2.1 O Sensoriamento Remoto de Áreas Urbanas**

Para estudos da ocupação urbana, o uso do sensoriamento remoto possibilita uma visão sinóptica da área a ser estudada, fornecendo dados com resoluções espaciais e temporais adequadas à dinâmica de transformação da paisagem (JENSEN, 2009).

Nessa perspectiva, há estudos (WENG, 2007; JACQUIN et al., 2008) sobre a cobertura vegetal natural na escala dos municípios, com integração dos dados de expansão urbana, que identificam ocupações desordenadas em áreas de risco de deslizamento, áreas inundáveis etc.

Os estudos em áreas urbanas a partir de produtos de sensoriamento remoto ganharam mais importância com o lançamento dos sistemas sensores com alta resolução espacial, como, p.ex., o Ikonos-II (1999), Quickbird-2 (2001) e SPOT-5 (2002). Com a disponibilidade de imagens obtidas por esses sistemas, foi possível executar trabalhos antes só realizados com fotografias aéreas em escalas de 1:10.000 a 1:5.000, sendo consideradas as dimensões das quadras e tornando os alvos urbanos de cobertura do solo urbano passíveis de identificação em mapeamentos de áreas construídas.

Os satélites OrbView-III (2003), CBERS-2B (2007), GeoEye (2008), WorldView-2 (2009) possibilitam uma melhor compreensão do espaço urbano a partir do momento em que reduzem as limitações do uso do sensoriamento remoto orbital para o estudo deste ambiente (MARCELHAS e SOUZA et al., 2003). Imagens de sistemas como Ikonos-II, GeoEye-1, WorldView-1 e 2 permitem a extração de informações a partir de cenas do mesmo local que são adquiridas sob ângulos diferentes de imageamento, sendo capazes de gerar estereoscopia na mesma órbita.

A tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tem contribuído para diversas finalidades, devido à sua alta precisão vertical, e tem sido utilizada na geração de Modelos Digitais de Superfície (MDS), na extração de edificações e na modelagem tridimensional de cidades, facilitando a classificação da cobertura do solo (BRITO et al., 2008;)

## **2.2 Imagens de Alta Resolução Espacial**

A partir do início da década passada, com a disponibilidade de novos sistemas sensores de alta resolução e a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), tornou-se possível a obtenção de imagens que contém alto nível de detalhamento, expandindo assim as possibilidades para o uso de produtos orbitais, devido principalmente à significativa melhoria nas resoluções espaciais e espectrais, semelhantes a fotografias aéreas adquiridas por sensores aerotransportados em baixa altitude (EHLERS, 2007).

Blaschke e Kux (2007) relatam que as imagens de alta resolução e seus produtos derivados se tornaram ferramentas imprescindíveis para os gestores urbanos, servindo de suporte para a tomada de decisões técnicas. Várias entidades e agentes públicos ou privados utilizam dados de Sensoriamento Remoto, para as mais diversas finalidades, desde o planejamento de ações, a prevenção de desastres até ações mitigadoras de danos ambientais ou antrópicos.

Quando se trata de estudos de identificação de alvos e feições típicas de áreas urbanas, Jensen (2009) aponta para a importância da resolução espacial em detrimento da espectral, pois até então sensores como Ikonos e Quickbird-2, possuíam somente quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). Atualmente o sensor WorldView-2 inova com a presença de mais quatro bandas espectrais, contendo, além das quatro bandas anteriormente citadas a *coastal* (400-450 nm), *yellow* (585-625 nm), *red edge* (705-745 nm), *near infrared 2* (860-1040 nm)).

Foram realizados estudos de áreas urbanas brasileiras para a discriminação do uso e cobertura do solo utilizando imagens de alta resolução, destacando-se as contribuições de Almeida et al., (2007), Carvalho (2011), Novack et al. (2011), Novack (2009), Araújo (2006) e Pinho (2005) que desenvolveram metodologias usando a abordagem baseada em objeto, tendo o estudo de Ribeiro (2010) sido pioneiro na utilização de imagens do satélite *WorldView-II* no Brasil.

### **2.2.1 O Satélite WorldView-2**

Lançado em outubro de 2009, o sensor do Worldview-2 possui resolução espacial de 0,46 m na banda pancromática e 1,84 m nas bandas multiespectrais, além de uma resolução radiométrica de 11 bits (DIGITALGLOBE, 2010a) A presença das quatro bandas adicionais em relação aos sistemas anteriores de alta resolução espacial, localizadas em faixas específicas do espectro eletromagnético, aumenta a capacidade de discriminação dos alvos em estudo, conforme se observa na Figura 2.1.

Essas bandas adicionais podem ser utilizadas para diversas aplicações, por exemplo: a banda *red edge* auxilia no estudo das condições fitofisionômicas das plantas além de discriminar entre formações vegetais arbóreas e rasteiras. A banda *Coastal*, por possuir maior dispersão atmosférica, pode ser utilizada para investigar novas técnicas de correção atmosférica. Além disso, esta banda possui maior capacidade de penetração na água, auxiliando estudos de batimetria.

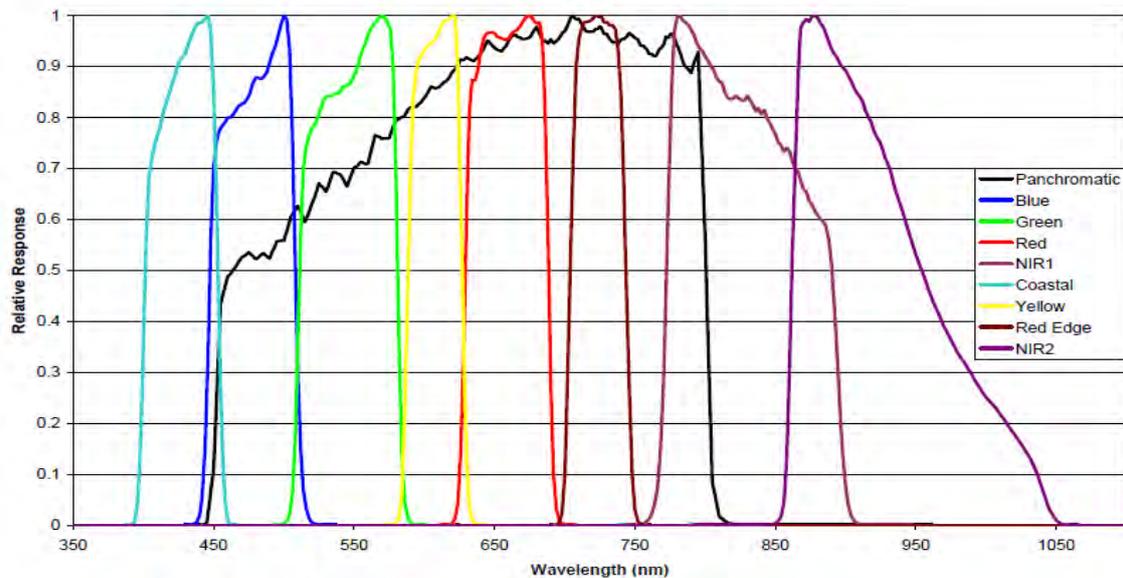


Figura 2.1 - Resposta espectral das bandas do satélite Worldview-2.  
 Fonte: Padwick et al., (2010)

Souza et al., (2011) realizaram testes para melhorar a discriminação de tipos vegetais costeiros como manguezais e áreas de apicuns, a partir das novas bandas do sensor WorldView-2. Silva et al., (2011) aplicaram as novas bandas para estudos de batimetria e poluição marinha na área do Rio San Pedro na Espanha. Aplicações utilizando as bandas do WorldView-2 e propostas de metodologias que incluem desde análise espacial de dados a abordagem baseada em objeto encontram-se em Kerr (2011), Vaduva (2011), Bratasanu (2011), dentre outros.

Segundo Pinho (2005), no entanto, mesmo nas imagens de alta resolução espacial, a extração automática e semiautomática de informações é difícil, devido ao fato de que no ambiente intraurbano, os alvos a serem identificados (edifícios, casas, quadras esportivas, piscinas, etc.) são maiores do que os pixels da imagem, resultando em uma grande variabilidade interna do número digital (ND) dos pixels dentro de uma mesma classe (PINHO et al., 2012).

Assim sendo, a inserção de conhecimento do intérprete na construção de regras para interpretação a partir de procedimentos semiautomáticos, e utilizando elementos como cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização e contexto se tornam importantes para a estruturação de um modelo para a classificação de uma cena urbana, facilitando a distinção de alvos urbanos devido à sua complexidade.

### **2.3 Classificação de Cobertura da Terra e do Uso do Solo Urbano**

Ao utilizar dados de sensoriamento remoto no estudo do tipo de cobertura e uso do solo, deve-se atentar para a relação próxima, porém distinta entre os conceitos de cobertura e uso do solo. São freqüentes os estudos que tratam os dois conceitos como sendo semelhantes. Entende-se por cobertura o revestimento da terra caracterizado por suas propriedades biofísicas, físicas e químicas com reação própria de interação energia-matéria (PRADO, 2009).

Ao abordar o uso do solo, deve-se considerar o conceito de Di Gregorio (2005) que está associado às práticas sociais, econômicas e culturais que ocorrem na área analisada. Assim sendo, obtém-se um grande número de categorias de uso do solo dependendo dos tipos de atividades e de assentamento na área em estudo (DEÁK, 2001; NOVACK e KUX, 2010). De forma mais simplificada, Jensen e Cowen (1999) definem que o uso do solo refere-se ao modo como a terra é utilizada, e a cobertura diz respeito aos materiais encontrados sobre a superfície.

Para Pinho (2005), o mapeamento do uso do solo em ambientes urbanos deve atentar para a questão da ausência de relações relativamente diretas entre as categorias de uso do solo e a reflectância espectral registrada pelos sensores, importante para as técnicas de sensoriamento remoto, pois esta informação relaciona-se à cobertura do solo – ou seja, aos materiais (naturais e artificiais) presentes na cena (PINHO et al., 2012).

Novack (2009) desenvolveu um modelo de classificação de cobertura da terra e do uso do solo urbano para a área da favela de Paraisópolis na cidade de São Paulo (SP) a partir de imagens do sensor QuickBird-2, operadores de processamento de imagens TerraAIDA e utilizando o software InterIMAGE. Para a classificação da cobertura da terra, foi utilizado um algoritmo genético para a calibração de parâmetros de segmentação e algoritmos de seleção de atributos, e uma árvore de decisão para a descrição das classes. A classificação do uso do solo foi realizada com base em atributos relacionados à composição e estrutura dos objetos de cobertura da terra dentro dos quarteirões. Esta estratégia de interpretação do InterIMAGE é adequada a este tipo de aplicação, sendo que o resultado da classificação foi considerado bom.

Ao identificar e espacializar diferentes categorias de uso do solo urbano, se produz um arcabouço importante de informações que auxiliam o planejamento urbano, fornecendo subsídios para um diagnóstico eficaz desses ambientes. A regulamentação dos artigos da Constituição relativos à política urbana foi instituída pelo Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001), onde consta que é dever do poder público municipal o papel e a tarefa de disciplinar o parcelamento, uso e ocupação do solo. A partir de bases de dados atualizadas as imagens de alta resolução espacial contribuirão para tornar esse mapeamento mais rápido e preciso.

#### **2.4 Análise Geográfica de Imagens Baseada em Objeto - *GEOBIA***

Para a análise de imagens geradas a partir de satélites com alta resolução espacial, como o WorldView-2, a utilização da tradicional classificação pixel a pixel é limitada, já que tais imagens apresentam um alto nível de heterogeneidade e variação interna de classes dentro de uma mesma cena. Blaschke (2010) apresentou a evolução da Análise de Imagem Baseada em Objeto *OBIA* (*Object-Based Image Analysis*) através de estudos que utilizaram as técnicas baseadas em objeto nas mais diversas áreas. Considerando o paradigma de *OBIA*, a classificação passa a considerar informações extraídas

dos objetos, dados topológicos (vizinhança, contexto) e geométricos (forma, tamanho).

O conceito de objeto é fundamental ao considerar este tipo de abordagem para analisar imagens, pois segundo Definiens (2007), a informação semântica que conduzirá a interpretação de uma imagem não está no pixel, mas nos objetos e nas relações estabelecidas entre eles. Rumbaugh et al. (2006) conceituam objetos como conceitos e abstrações definidas em um determinado domínio de uma aplicação.

Para Ribeiro (2010) na análise baseada em objeto, um problema ou aplicação é representado por uma coleção de objetos que possuem características próprias e interagem entre si. Pinho et al. (2007) destacam que os objetos possuem identidade, sendo distinguíveis pela sua própria existência independente das propriedades que possuem. Assim sendo, dois objetos “piscina” mesmo que possuam características idênticas (cor, forma, contexto), permanecem únicos, consistindo em dois elementos independentes.

Gerçek (2010) demonstra, ao estudar a estrutura da paisagem (*landforms*) geométrica e geomorfométrica, que a classificação baseada em objeto pode fornecer resultados mais satisfatórios quando são incorporados ao processo de classificação características locais de forma e contexto, reafirmando os estudos de Herold et al. (2002) e Andrade et al. (2003), os quais mostram que a análise baseada em objeto produz melhores resultados do que quando comparada com técnicas baseadas apenas na informação espectral.

Outros atributos, como forma, tamanho, textura, padrão e contexto, auxiliam na identificação de alvos quando não é possível a distinção somente a partir de atributos espectrais, sendo o conhecimento do especialista inserido para uma melhor interpretação da imagem. Definir o espaço de atributos de uma determinada classe é uma tarefa associada a um nível de imprecisão, o que introduz certo grau de incerteza na associação de um objeto a uma determinada classe. Benz et al. (2004) relatam que essa incerteza precisa ser

modelada, o que deverá auxiliar na avaliação da classificação, pois esta é parte do resultado da classificação.

Para Baatz et al. (2006) e Hay e Castilla (2006), o procedimento de segmentação multirresolução é aconselhável, pois resultará em objetos da imagem analisada em diferentes escalas de detalhamento e assim melhorará o desempenho da segmentação e conseqüentemente os resultados da classificação. As regras de classificação modelam os objetos e seus relacionamentos quanto à estruturação das classes na rede hierárquica, utilizando funções *fuzzy* de pertinência, que modelam a incerteza associada às classes (NOVACK; KUX, 2010).

Informações sobre a abordagem baseada em objeto para a extração de informações de áreas urbanas a partir da classificação de imagens de alta resolução espacial podem ser encontradas em Kong et al. (2006) e Jacquin et al. (2008). No Brasil, estudos foram realizados de áreas urbanas por: Pinho (2005), Araújo (2006), Almeida et al. (2007), Souza et al. (2007), Hofmann et al. (2008), Novack (2009), Kux et al. (2010), Ribeiro (2010), Leonardi (2010) e Carvalho (2011), entre outros.

## **2.5 Sistemas de Interpretação de Imagens Baseados em Conhecimento**

Ao estudar alvos com alta complexidade, como os encontrados em áreas urbanas, percebe-se que as plataformas convencionais de análise de imagens digitais, que operam com métodos estatísticos, possuem limitações. Bückner et al. (2001) ressaltam a importância da avaliação desses resultados por um especialista humano, visto que os resultados obtidos contêm inconsistências.

Nos sistemas de análise de imagens baseados em conhecimento, a interpretação da imagem pode ser representada através de dois tipos de conhecimento: conhecimento implícito e explícito (PAHL, 2008). O conhecimento implícito é a construção procedural específica para a detecção

de certa classe na imagem. Para Costa (2009), o conhecimento explícito representa as soluções alternativas para uma dada tarefa.

Para executar uma estratégia de interpretação de uma imagem utilizando estes sistemas, segundo Benz et al. (2004), o intérprete deve considerar: (1) a estruturação das relações semânticas e de herança de atributos entre as classes, que é dada pela rede semântica e pela rede hierárquica respectivamente, (2) a geração de elementos de análise, os chamados objetos, geralmente gerados por um processo de segmentação e (3) a descrição das classes quanto a atributos, limiares, funções de pertinência *fuzzy* e regras de agregação dos valores de pertinência.

Essas novas técnicas devem, segundo Pahl (2008), introduzir o conhecimento do analista a respeito da cena, a partir de informações coletadas a priori sobre a área a ser classificada, armazenando o conhecimento específico da aplicação de modo explícito. Atendendo a este desafio no sistema InterIMAGE, a representação do conhecimento é feita através da rede semântica.

### **2.5.1 InterIMAGE**

O InterIMAGE é um software livre para a interpretação de imagens baseado em conhecimento desenvolvido a partir da cooperação entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, o Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LVC-DEE/PUC-RJ), e a Universidade Leibniz de Hannover (Alemanha). Segundo Costa et al. (2010) e Costa (2009), o InterIMAGE herdou a estrutura de conhecimento, design e os mecanismos de controle do sistema alemão GeoAIDA (BÜCKNER et al., 2001). Este software consiste no desenvolvimento do AIDA (*Automatic Image Data Analyser*) (LIEDTKE et al., 1997)

### **2.5.1.1 Rede Semântica**

Quanto à estratégia de interpretação de uma imagem, o InterIMAGE baseia-se em uma rede semântica, que para Pahl (2008), é uma forma de representação do conhecimento definida como um grafo direcionado, no qual os vértices (ou “nós”) representam objetos, conceitos, idéias, acontecimentos; e as arestas (ou “arcos”) representam relações semânticas entre os nós, sendo uma forma de representação gráfica do conhecimento. O InterIMAGE possui uma arquitetura flexível, além de permitir a implementação de habilidades multitemporais (COSTA et al., 2007).

### **2.5.1.2 Operadores**

As etapas *Top-Down* (01) e *Bottom-Up* (02) comandam o processo de interpretação no InterIMAGE. Na etapa *Top-Down* (TD), o sistema percorre a rede semântica de cima para baixo executando os chamados operadores holísticos, caracterizados como programas executáveis especializados na detecção de conceitos da rede semântica. Para a detecção dos conceitos, os operadores holísticos utilizam tarefas de processamento de imagem, tais como segmentação, extração de atributos e classificação. Esta etapa é baseada no modelo (rede semântica) (NOVACK, 2009; PINHO et al., 2009).

### **2.5.1.3 Etapas *Top-down* e *Bottom-up***

Na Figura 2.2, Ribeiro (2010) apresenta os níveis e os nós de uma rede e regras associadas a operadores *Top-Down*(TD) e *Bottom-Up*(BU) implementadas no InterIMAGE, a saber: (a) rede com poucos níveis e muitos nós-folha, (b) rede com mais níveis e menos nós-folhas por cada nível, (c) cada nó possui regras associadas a operadores *Top-Down* (em azul), e operadores *Bottom-Up* (em verde). Outros exemplos de rede desenvolvidos no InterIMAGE encontram-se em Novack et al. (2010); Novack (2009); Pinho et al. (2009).

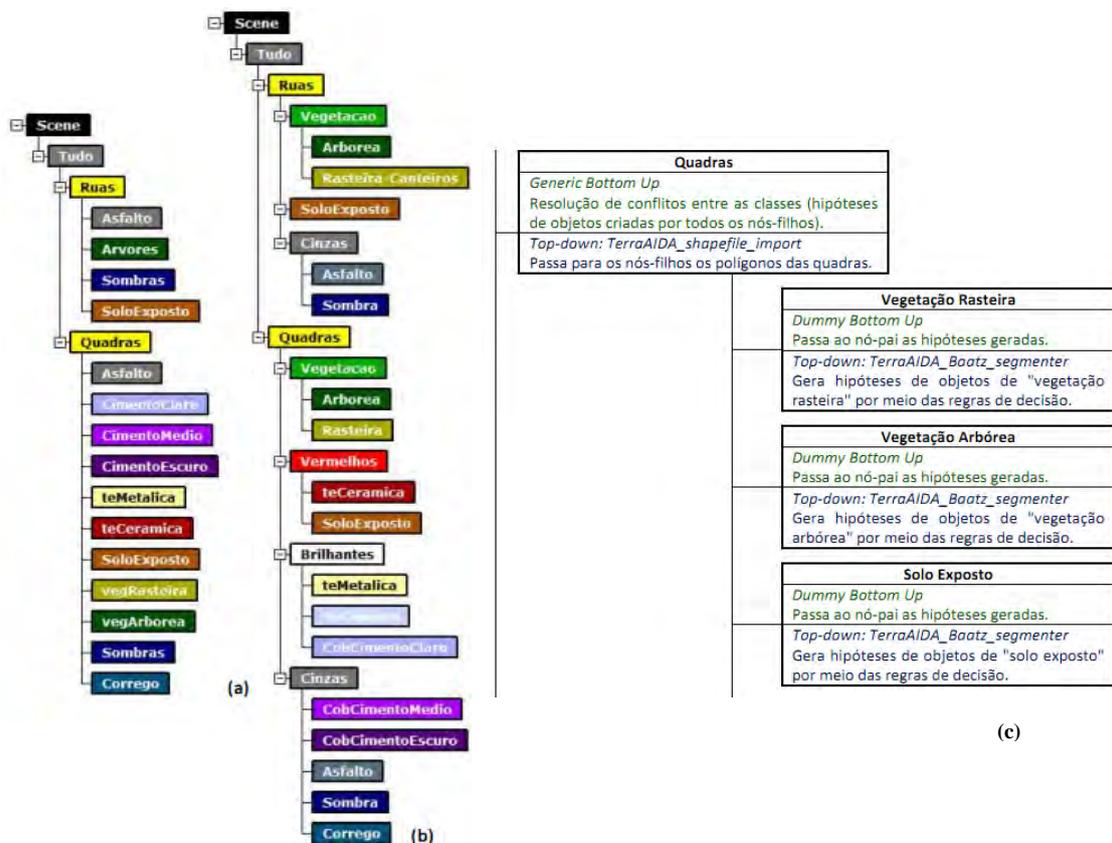


Figura 2.2 – Rede semântica e regras elaboradas no InterIMAGE  
Fonte: Adaptado de Ribeiro, (2010).

Para Ribeiro (2010), a flexibilidade e a classificação de imagens multissensores e a redução do tempo gasto na interpretação do conhecimento que envolve uma pesada carga computacional são importantes características do InterIMAGE.

Para consultar a versão 1.24-Beta do InterIMAGE, deve-se acessar o link <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/>. São apresentados operadores para a extração de objetos e, entre outros, o segmentador de Baatz, o Checkerboard, o classificador por árvores de decisão, o importador de arquivos vetoriais, atributos topológicos que podem ser utilizados nas regras de decisão dos operadores *Top-Down* e *Bottom-Up*.

## 2.6 Mineração de Dados (*Data Mining*)

A Mineração de Dados é uma aplicação de algoritmos computacionais sobre uma base de dados com o intuito de abstrair conhecimentos novos e úteis. Witten e Frank (2005) relatam que estes algoritmos são fundamentados em técnicas que procuram, segundo determinados paradigmas, explorar os dados de forma a produzir modelos de conhecimento, os quais expressam padrões de comportamento dos dados e podem ser extrapolados para a classificação.

Modelos de conhecimento podem ser utilizados para a classificação ou tomada de decisão em um conjunto de dados diferentes daqueles usados na tarefa de aprendizado, formalizando assim um conhecimento sobre certo fenômeno (WITTEN; FRANK, 2005).

Para a escolha de algoritmos de Mineração de Dados, é fundamental conhecer os tipos de variáveis envolvidas e a inteligibilidade do modelo de conhecimento gerado, a fim de se definir a forma de aprendizado do algoritmo, que pode ser: (1) supervisionado, em que o modelo de conhecimento é abstraído a partir de um conjunto de treinamento e avaliado a partir do conjunto de teste, e (2) não-supervisionado, quando não existe a informação de saída desejada, e os algoritmos partem dos dados procurando estabelecer relações entre si (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005).

Segundo Goldschmidt e Passos (2005), existem diferentes métodos de Mineração de Dados (*Data Mining*), destacando-se: métodos baseados em redes neurais, em algoritmos genéticos, em instâncias, métodos estatísticos, métodos específicos, métodos baseados em indução de árvores de decisão e métodos baseados em lógica nebulosa.

Tarefas de mineração de dados normalmente envolvem as seguintes etapas: definição dos dados de referência, transformação dos dados (normalmente discretização e tratamento de valores ausentes), filtragem da informação,

detecção de padrões nos dados e, finalmente, obtenção de conhecimento exportável (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005) (Figura 2.3).

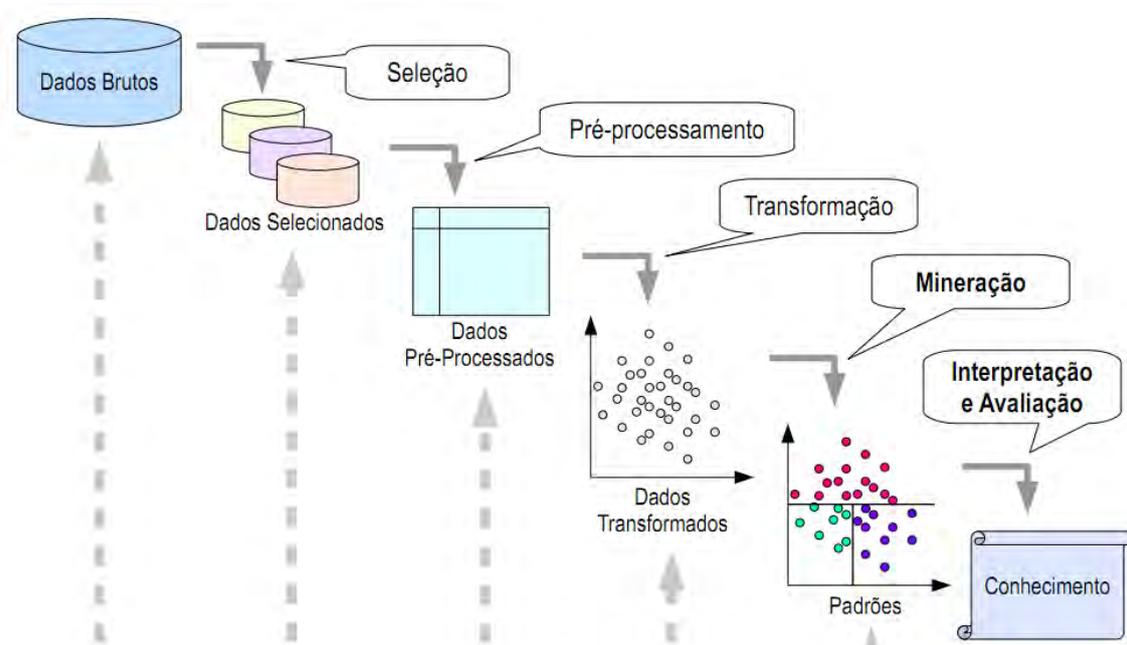


Figura 2.3 – Processo de mineração de imagens.  
Fonte: Adaptado de Santos (2005).

Korting et al. (2009) afirma que a utilização de ferramentas de mineração de dados aumenta o potencial de análise e aplicações de dados de sensoriamento remoto, o que facilita estudos em áreas urbanas, as quais possuem alvos de difícil distinção entre si, exigindo a utilização de técnicas mais apuradas para a extração de informações.

Para a tarefa de minerar dados, diferentes *softwares* e algoritmos se encontram disponíveis, neste estudo, optou-se pelo *software* livre Weka (HALL et al., 2009) e pelo algoritmo C4.5 (QUINLAN, 1993), que faz uso da técnica de mineração de dados pela indução de árvores de decisão a partir da seleção de atributos.

As técnicas de seleção de atributos auxiliam na escolha de um subgrupo ótimo de atributos reduzidos a partir do grupo original, com base em heurísticas e critérios de avaliação (KOHAVI; JOHN, 1997).

O intuito da seleção de atributos (SA) é remover atributos irrelevantes e redundantes, aumentando assim, através da redução da dimensionalidade, a eficiência, desempenho e acurácia de tarefas de aprendizado, sendo geralmente feita antes da aplicação de algum algoritmo de aprendizado por máquina (DASH; LIU, 1997; KOHAVI; JOHN, 1997).

Os algoritmos de SA por filtro podem ser divididos em dois grupos: aqueles que procuram um subgrupo ótimo de atributos e aqueles que avaliam individualmente os atributos e os graduam quanto à sua relevância em relação aos conceitos alvos (classes). Quando o número de atributos é muito grande, a seleção por filtro é a escolha mais adequada, devido à sua eficiência computacional e ao menor tempo de processamento (YU; LIU, 2003). A relevância dos atributos para a separação das classes pode ser obtida por diferentes medidas e heurísticas. Assim, como resultado do processo, um subgrupo ótimo (ou próximo de ótimo) é definido quando a operação do algoritmo acaba.

### **2.6.1 Árvores de Decisão**

Segundo Han e Kamber (2001) a árvore de decisão constitui-se em um fluxograma, estruturado como uma árvore, onde cada nó interno (nó que não é folha) denota um teste em um atributo, cada ramo representa um resultado do teste, e cada nó-folha (ou nó terminal) possui um rótulo da classe.

Segundo Goldschmidt e Passos (2005), uma árvore de decisão é um modelo de conhecimento, em que cada nó interno da árvore representa uma decisão sobre um atributo, determinando como os dados estão particionados pelos seus nós filhos, a árvore é construída considerando um único grupo com todos os objetos, sendo o nó superior a raiz da árvore, conforme ilustrado pela Figura 2.4.

Para se definir a Árvore de Decisão, torna-se necessário um conjunto de amostras de treinamento, onde o usuário intérprete define previamente as classes, estruturando a árvore, de tal forma que cada nó interno tenha como rótulo o nome de um dos atributos previsores. Já os ramos (ou arestas) que saem de um nó interno são rotulados com valores do atributo naquele nó, e a folha recebe como rótulo o nome de uma classe, geralmente a classe prevista para exemplos que pertençam àquele nó-folha (NOVACK, 2011).

A construção de uma árvore de decisão a partir do algoritmo C4.5 tem como etapa inicial o exame de todos os atributos previsores candidatos, seguida da escolha daquele que maximiza a taxa de ganho para rotular o nó atual da árvore, processo este que se repete de forma recursiva, até que todas as instâncias do conjunto de treinamento sejam classificadas.

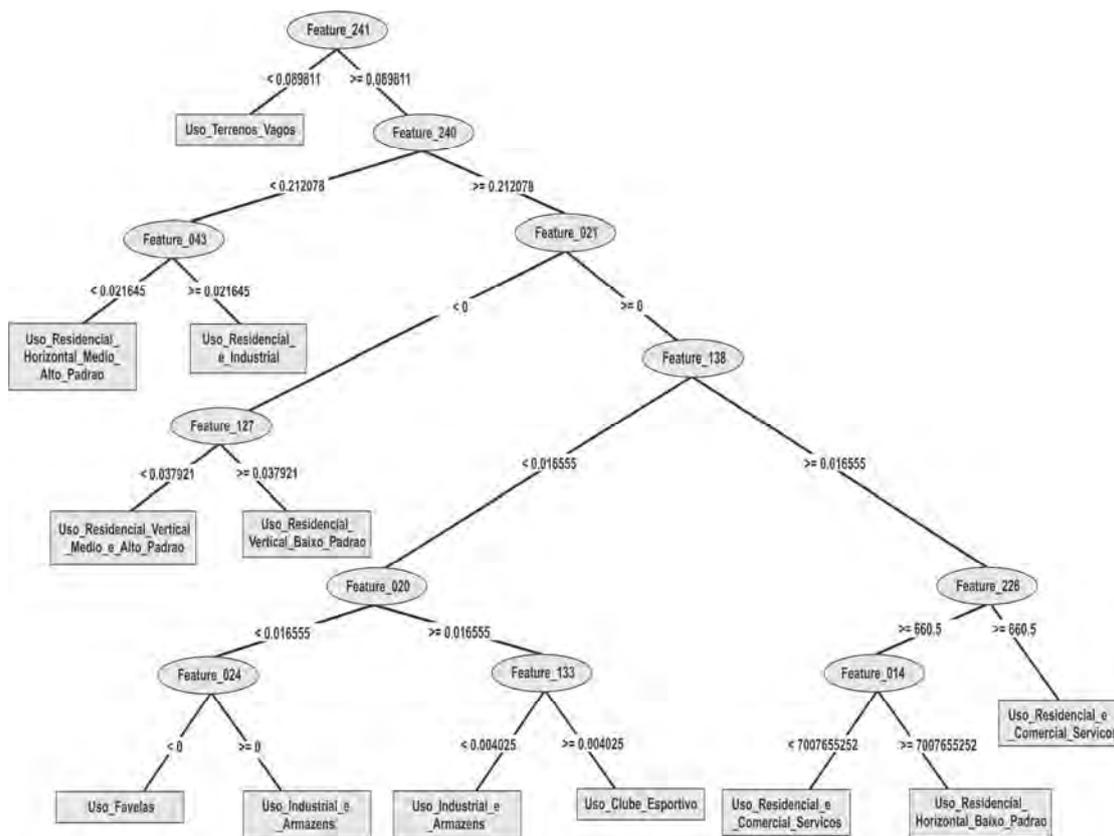


Figura 2.4 – Exemplo de Árvore de Decisão.  
Fonte: Adaptado de Carvalho (2011).



## CAPÍTULO 3

### ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Situação Geográfica e Aspectos Gerais

A área de estudo está inserida na Ilha do Maranhão, situada ao norte do Estado do Maranhão, região Nordeste do Brasil, com uma área total de aproximadamente 831,7 km<sup>2</sup> (ESPIG et al., 2007) e está localizada entre os meridianos W 44°17'55" e W 44°12'18" e os paralelos S 02°30'26" e S 02°27'34". A ilha é composta pelos seguintes municípios: São Luís (capital), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Figura 3.1).

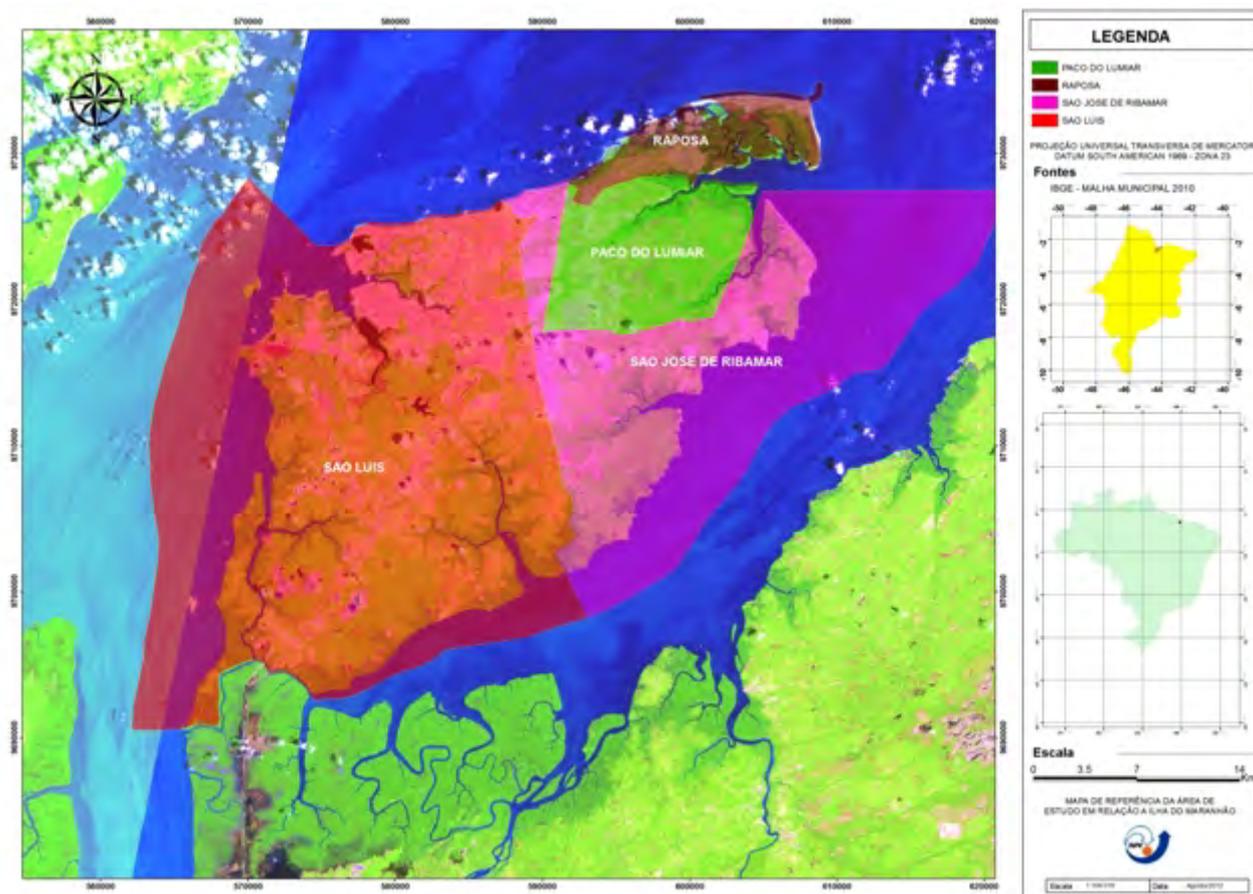


Figura 3.1 – Municípios da Ilha do Maranhão.  
Fonte: Adaptado de Souza et al. (2011).

A Ilha do Maranhão é também definida como Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL) e tem sua primeira aparição jurídico-legal entre os atos das disposições constitucionais transitórias<sup>1</sup> da Carta Magna do Maranhão, sendo que, pela Lei Complementar Estadual (LCE) Nº 38 de 1998, que ganha um corpo institucional, dez anos, portanto após a Constituição Federal ter repassado aos Estados a incumbência de criarem e definirem suas regiões metropolitanas<sup>2</sup>. Em 2003, Alcântara é incorporada à RM, via LCE Nº 69, que deu nova redação à de 1998.

Segundo Cordeiro e Diniz (2009), a chamada Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL) apresenta alterações em sua configuração socioespacial, devido ao grande volume de novos investimentos públicos e privados, fomentando os chamados Grandes Projetos. Destacam-se, neste contexto, a Instalação da VALE (Companhia Vale do Rio Doce) em 1978 com o início da construção da Estrada de Ferro Carajás, concluída quatro anos depois, e a ALUMAR (Consórcio Alumínio Maranhense) inaugurada em julho de 1984.

A RMGSL concentra um grande número de atividades econômicas, além de funções estratégicas no gerenciamento das atividades de exportação dos bens produzidos na região. Essa tendência foi observada pelo IBGE (2008), em estudo intitulado “Regiões de Influência das Cidades”, no qual registra que, apesar de não possuir uma configuração metropolitana, a aglomeração formada pelos quatro municípios da Ilha do Maranhão teve ampliada sua influência.

---

1 - Art. 19 - Fica criada a Região Metropolitana da Grande São Luís, com a abrangência, organização e funções definidas em lei complementar.

2 - Artigo 25 [...] § 3º - Os Estados poderão, mediante lei complementar, instituir regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, constituídas por agrupamentos de municípios limítrofes, para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum.

O crescimento populacional intenso nas décadas de 1960 a 1990 pode ser explicado pelo fato de essa região concentrar as atividades comerciais, de gerenciamento, de produção e qualificação (estudo e pesquisa) do estado. Segundo dados do Levantamento Censitário de 2010, São Luís possui, cerca de 1.011.943 habitantes (habitantes), com um aumento de 141.915 habitantes se comparado ao ano de 2000, quando a população totalizava 870.028 (IBGE, 2010).

Mesmo com as diretrizes que constam no Plano Diretor da cidade de São Luís, instituído pela Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006 e a respectiva Lei 3.253 de 29 de dezembro de 1992 que dispõe sobre o zoneamento, parcelamento e uso e ocupação do solo, houve diversos impactos devidos à instalação de empreendimentos de médio e pequeno porte, além de ocupações irregulares em áreas de preservação ambiental.

Para Feitosa (2007), a instalação dos grandes empreendimentos, ALUMAR e VALE estimulou a ampliação da área portuária do Itaqui, uma iniciativa do projeto Ferro-Carajás, que implicou altos investimentos em infraestrutura para o escoamento da produção, exigindo a construção imediata de uma ferrovia e de um porto. A ferrovia tem cerca de 890 km de extensão, e o porto possui capacidade para receber grandes navios. O início das obras de implantação da Refinaria Premium da Petrobrás tem acelerado a ocupação de algumas áreas da cidade.

Esse fato se torna um agravante, visto que na porção Norte do município de São Luís, há frágeis estruturas geológicas, constituídas essencialmente de coberturas cenozóicas, o que facilita a alteração da paisagem por agentes modeladores do relevo de origem climática, hidrológica e oceanográfica. Vide a respeito Souza e Feitosa (2009); GERCO (1998), Feitosa (1997), Feitosa e Christofolletti (1993), Ab´Saber (1960). Para melhor representatividade das classes de cobertura e uso do solo, a área de estudo foi dividida em duas áreas-testes, conforme ilustrado pela Figura 3.2.



Figura 3.2 - Localização das áreas-testes.  
 Fonte: Adaptado de DigitalGlobe, (2010).

### 3.2 Áreas-Testes

Para delimitar as duas áreas-testes estudadas, foram considerados aspectos como diversidade de alvos urbanos na cena, capazes de serem distinguidos pelo sensor, ou seja, objetos sempre presentes em estudos urbanos a partir de dados de sensoriamento remoto, tais como: piscinas, vegetação rasteira e arbórea, diferentes tipos de telhados (diferentes materiais de cobertura), edifícios com gabaritos de altura diversos, galpões industriais, áreas de solo exposto etc. A presença de tais elementos em uma cena urbana são os motivadores para a construção de uma rede hierárquica e de operadores que contemplem estes diferentes tipos de coberturas (RIBEIRO, 2010).

Ribeiro (2010) e Novack (2009) mostraram que, para analisar o uso e a cobertura do solo, é de fundamental importância escolher áreas-testes com significativa heterogeneidade do uso do solo, onde seja possível identificar tanto áreas residenciais (verticais e horizontais; de alto, médio e baixo padrões) como comerciais, institucionais, de lazer, industriais (principalmente galpões), além das áreas verdes (desocupadas e/ou protegidas).

Na área-teste A, estão localizados os conjuntos residenciais de alto padrão horizontais (Calhau e parte da Ponta do Farol) e verticais (área de interface entre os bairros Calhau e Renascença), e também está contida uma porção de praia, um trecho de unidades de conservação, como a Estação Ecológica do Rangedor, faixas de dunas e de restingas (vegetação rasteira) e pequenas áreas comerciais. Na Figura 3.3, consta a Área-Teste A com maior resolução espacial, onde se identifica com maior detalhe a heterogeneidade da cena.

Na área-teste B, há ocupações espontâneas (palafitas) na área próxima ao manguezal e ao canal de maré, com a presença também de residências horizontais de baixo padrão, verticais de baixo padrão, áreas em construção de novas vias para a cidade (Avenida Quarto Centenário). Dentro dessa área de estudo, encontram-se bairros tradicionais da Ilha, como: Camboa e Liberdade e

parte do Monte Castelo, condomínios verticais para famílias de baixa renda (Figura 3.4).



Figura 3.3 – Área-teste A.  
Fonte: Adaptado de DigitalGlobe (2010).



Figura 3.4 – Área-Teste B.  
Fonte: Adaptado de DigitalGlobe (2010).

## CAPÍTULO 4

### MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.1 Material

Este capítulo descreve os dados matriciais e vetoriais, os *softwares* e equipamentos utilizados e os procedimentos metodológicos executados na realização deste trabalho.

##### 4.1.1 Dados de Entrada

###### a) Dados Matriciais:

Foram selecionados dois conjuntos de imagens WorldView-2 do tipo Standard/O2A obtidas no dia 10 de junho de 2010, disponibilizados pela empresa DigitalGlobe. O sensor orbital WorldView-2 possui resolução espacial de 0,50 m na banda pancromática e 2,00 m nas bandas multiespectrais, além de uma resolução radiométrica de 11 bits (DIGITALGLOBE, 2010b), apresentando quatro bandas adicionais em relação ao sistema anterior QuickBird-2 (faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), a saber: *coastal*, *yellow*, *red edge*, e *near infrared 2* (Figura 4.1).

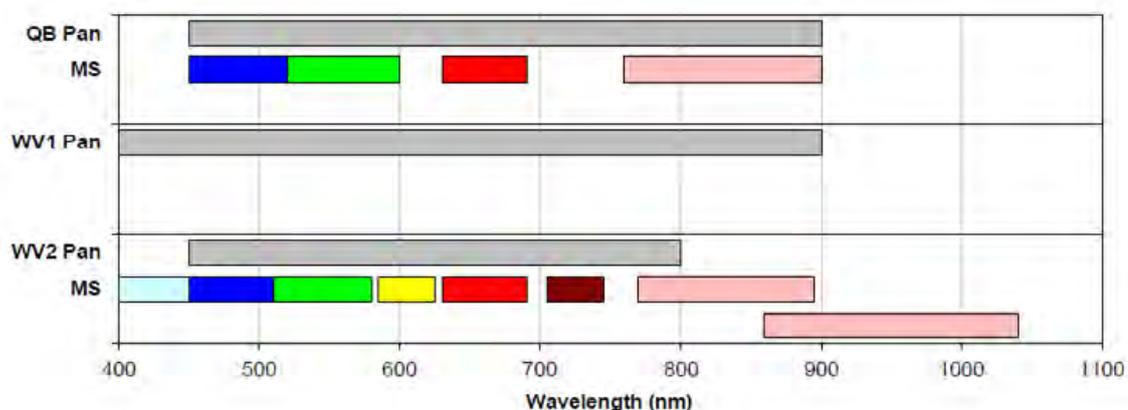


Figura 4.1: Comparação das bandas dos satélites Quickbird, WorldView-1 e 2.  
Fonte: Geoimage (2010).

b) Dados Vetoriais:

- Banco de dados da cidade de São Luís produzidos durante o projeto “São Luís: Uma Leitura da Cidade” (ESPÍRITO SANTO 2006), um estudo técnico coordenado pelo Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade, visando subsidiar estudos para aprovação do Plano Diretor da cidade na escala de 1:10.000.
- Curvas de nível com equidistância de 01 m para a área do município de São Luís, disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Maranhão.
- Limites territoriais do município de São Luís, no formato *ESRI Shapefile* (shp) adaptados da base vetorial disponibilizada pelo IBGE.

#### 4.1.2 Softwares e Aplicativos

- a) Arc GIS 10.0 – Conversão, edição e ajustes topológicos dos dados vetoriais para elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e elaboração dos mapas finais;
- b) ENVI 4.7 (ITT, 2009) - para Mosaicagem, fusão e recorte das áreas-testes a partir das imagens do WorldView-2, elaboração das matrizes de confusão das classificações feitas no InterIMAGE.
- c) Spectrum Survey 4.22 – Utilizado no pós-processamento dos pontos GNSS coletados em campo para a ortorretificação das imagens.
- d) MAPGEO 1.0 – Tratamento e conversão das coordenadas elipsoidais em ortométricas.
- e) PCI Geomática Ortho Engine 10.3 (PCI GEOMATICS, 2010) - Utilizado para a ortorretificação das imagens.

- f) WEKA 3.6.5 – Utilizado na mineração de dados (seleção dos atributos e geração das árvores de decisão).
- g) InterIMAGE v1.24 – Para Elaboração da rede semântica, definição das regras de pertinência, elaboração dos modelos de conhecimento para classificação de cobertura da terra e uso do solo posterior.
- h) Notepad++ 5.8.7 – Preparação dos dados de mineração através da edição e elaboração dos arquivos ARFF para utilizar no *software* WEKA.

#### **4.1.3 Equipamentos**

- a) Câmera Fotográfica Sony para registro do local de coleta dos pontos de controle no terreno;
- b) 02 Receptores GNSS SOKKIA numeração 1904 e 1908 – Modelo: Stratus Básico Estático – coleta de pontos em campo para a ortorretificação;
- c) 02 Receptores GNSS Garmin – Modelo: 12XL – para localização dos pontos pré-definidos, cálculo da distância de um ponto a outro e do tempo em relação à base.
- d) Trena para cálculo da altura da antena;

#### **4.2 Métodos**

A sequência e a organização dos procedimentos metodológicos executados neste trabalho estão contidos no diagrama da Figura 4.2. Os passos metodológicos relativos aos processamentos e avaliações realizados durante o estudo estão descritos nos tópicos seguintes deste capítulo.

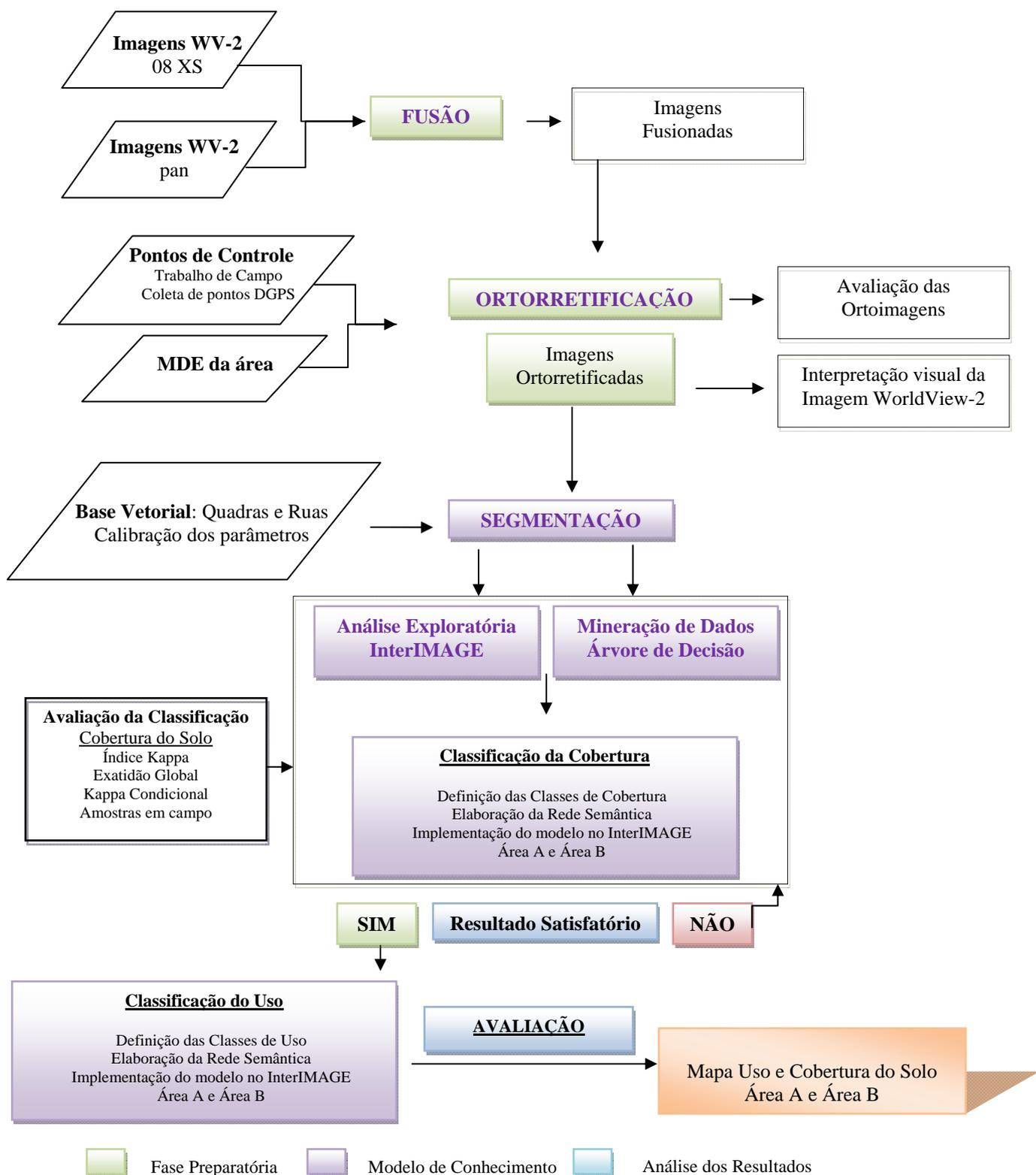


Figura 4.2 – Diagrama dos procedimentos metodológicos.

#### 4.2.1 Preparação dos Dados

Segundo Schowengerdt (2007), esta fase do trabalho está atrelada ao processo de restauração da imagem, na qual operações como: correção de imperfeições geométricas, radiométricas e/ou ruídos podem ser geradas no processo de aquisição da imagem.

Segundo Mather (2005) e Araújo et al. (2007), que realizaram estudos relacionados com a discriminação entre alvos, as correções radiométricas e atmosféricas em produtos obtidos de satélites de alta resolução são desnecessárias, uma vez que estes apresentam boa qualidade radiométrica e geométrica.

Estudos de Boggione et al. (2010) avaliaram que os valores de radiância de imagens do satélite *Quickbird* com e sem correção radiométrica eram muito semelhantes, quando estas imagens não possuíam distorções significativas tais como ruídos, efeito de borramento, etc. Assim, as etapas de correção radiométrica e atmosférica não foram utilizadas neste estudo.

Com base nos estudos de Araújo (2006) e Ribeiro (2010), foram realizados inicialmente os seguintes procedimentos: 1) fusão das imagens combinando assim a informação espectral das oito bandas multiespectrais com a informação geométrica (espacial) da banda pancromática; 2) coleta e pós-processamento dos pontos de controle (*GCPs – Ground Control Points*) coletados em campo utilizando equipamento adequado (*DGPS - Differential Global Positioning System*); 3) elaboração do modelo digital de elevação (MDE); 4) ortorretificação da imagem, corrigindo as distorções geométricas, utilizando o aplicativo OrthoEngine – 5 e validação da ortorretificação.

#### 4.2.1.1 Fusão das Imagens

A fusão de imagens tem por objetivo aumentar a resolução espacial das bandas multiespectrais, fusionando a informação espacial detalhada da banda pancromática com a informação espectral das bandas multiespectrais (DIGITALGLOBE, 2010).

Há vários métodos de fusão de imagens. Pinho et al. (2005) e Novack (2009) testaram métodos de fusão em imagens do sistema sensor orbital com alta resolução espacial Quickbird-2. Padwick et al (2010) fizeram vários testes de fusão de imagens do satélite WorldView-2. Wald et al. (1997) fizeram medidas de avaliação, considerando a diferença das médias das imagens de cada banda antes e depois da fusão (que deve ser 0) e a correlação entre as imagens antes e depois deste procedimento (que deve ser 1).

Assim, os critérios para a seleção dos procedimentos de fusão avaliados foram a acessibilidade do algoritmo e a capacidade de fusionar as oito bandas espectrais simultaneamente, possuir boa capacidade de transferência de detalhes da imagem pancromática para a imagem sintética, preservando a informação espectral da imagem multiespectral original (ZHANG, 2004).

Neste trabalho, a fusão de bandas foi realizada utilizando os métodos e interpoladores disponíveis no software ENVI 4.7 (ITT, 2009), conforme Tabela 4.1 abaixo.

Tabela 4.1 – Métodos e interpoladores avaliados.

Método	Interpolador
Principais Componentes (WELCH; EHLERS, 1987)	Vizinho-mais-Próximo
	Convolução Cúbica
	Bilinear
Gram-Schmidt (LABEN; BROWER, 1996)	Vizinho-mais-Próximo
	Convolução Cúbica
	Bilinear

#### 4.2.1.2 Ortorretificação

Para corrigir distorções geométricas em imagens de sensores remotos utiliza-se o processo de ortorretificação. Para Toutin (2004), as imagens brutas (sem processamento prévio) possuem distorções significativas que impossibilitam seu uso para inferências espaciais a partir do cruzamento de informações com dados cartográficos em Sistemas de Informações Geográficas. Na Tabela 4.2, encontra-se uma descrição das principais fontes de distorções geométricas presentes em imagens de satélite.

TABELA 4.2 – Fontes de distorções geométricas em imagens de satélite

<b>Categoria</b>	<b>Sub-categoria</b>	<b>Descrição da fonte de erros</b>
<b>Observador/ Sistema de Aquisição</b>	Plataforma	Variação de movimento Variação de atitude
	Sensor	Variação na mecânica do sensor Ângulos de visada lateral IFOV/EIFOV
	Instrumento de medição	Variações de tempo Sincronia de tempo
<b>Observado</b>	Atmosfera	Refração Turbulência
	Terra	Curvatura Rotação Topografia
	Mapa	Geóide para Elipsóide Elipsóide para Mapa

Fonte: Adaptada de Toutin (2004).

O processo de ortorretificação utiliza tanto modelos empíricos 2D/3D (como os polinomiais 2D/3D ou funções racionais 3D) ou modelos físicos e determinísticos 2D/3D. Considerando os métodos tridimensionais de correção geométrica, três deles são utilizados em imagens de alta resolução espacial segundo Cheng e Zhang (2003), o racional polinomial em que os parâmetros matemáticos são introduzidos pelo usuário, o racional polinomial onde os parâmetros são fornecidos pelos metadados da imagem, e o rigoroso que modela matematicamente os componentes físicos da geometria de visada.

Para a correção geométrica das imagens do satélite WorldView-2 utilizadas nesta pesquisa, e considerando suas características e trabalhos anteriores realizados por Carvalho (2011), Ribeiro (2010) e Cheng e Zhang (2003), quatro métodos podem ser aplicados para a correção geométrica: correção de imagens *Basic* usando os RPCs (*Rational Polynomial Coefficient*) disponíveis nos metadados, correção de imagens *Basic* usando o modelo rigoroso, correção de produtos *Ortho Ready Standard* usando os RPCs fornecidos e correção de produtos *Ortho Ready Standard* pelo modelo rigoroso.

Quando o usuário dispõe de dados no nível *Ortho Ready Standard2A* (como aqueles utilizados neste trabalho) segundo PCI Geomatics (2010), pode-se utilizar tanto a da modelagem por *RPC* quanto a modelagem rigorosa. Ainda segundo PCI Geomatics (2010), caso opte pelo modelo da Função Polinomial Racional é possível utilizar as RPCs para gerar ortoimagens na ausência de *GCPs* (*Ground Control Points*).

A ortorretificação das imagens WorldView-2 foi realizada utilizando-se o modelo rigoroso, sendo que o aplicativo usado (OrthoEngine – PCI Geomatics v10.3.1) dispõe de um módulo específico para a correção dessas imagens.

Para a ortorretificação das imagens foram utilizados *GCPs* obtidos a partir de levantamento de campo. Este procedimento foi realizado nas seguintes etapas:

- treinamento de 11-15 de julho de 2011 para utilização dos equipamentos e aprimoramento das etapas de campo;
- escolha de possíveis locais para a obtenção de pontos;
- organização de duas equipes dotadas de equipamentos receptores GNSS TOPCON Hiper L1 de dupla frequência, viaturas, cones sinalizadores e máquina fotográfica;
- realização de jornadas de campo no período de 16 a 30 de agosto de 2011, com implantação e determinação das coordenadas de pontos de

controle (*GCP*). Os pontos foram monumentados com informações e a numeração recebida (Figura 4.3);



Figura 4.3 - Placa de monumentação de ponto de controle

- A impressão em papel das imagens do WorldView-2 auxiliou na busca das áreas e feições de fácil visualização para a seleção e coleta dos *GCPs*. Feições como pinturas e sinalizações nas ruas, marcações em calçadas, quintas e jardins, são elementos facilmente identificáveis e geralmente indicados para a tomada de pontos (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Exemplos de locais escolhidos para monumentação.

- Os pontos coletados em campo foram processados em escritório, tendo como estação-base de referência para o processamento a Estação UEMA (SALU), localizada na Universidade Estadual do Maranhão. Durante esta etapa do trabalho, foi preenchido um relatório descritivo do ponto, contendo informações como: nome do projeto, identificador do ponto (ID), nome atribuído ao ponto, equipamento utilizado, data, hora, croqui da localização, condições meteorológicas, observações sobre possíveis obstáculos próximos ao ponto. Segundo Carvalho, (2011), em áreas urbanas, devem ser feitas fotos com as indicações do norte, leste, sul e oeste.
- Outro critério considerado para a escolha dos pontos controle foi a sua distribuição espacial, tentando alcançar o máximo possível de recobrimento de toda a área de estudo, garantindo assim a qualidade do produto cartográfico final. Foram coletados no total de 59 pontos controle (Figura 4.5)

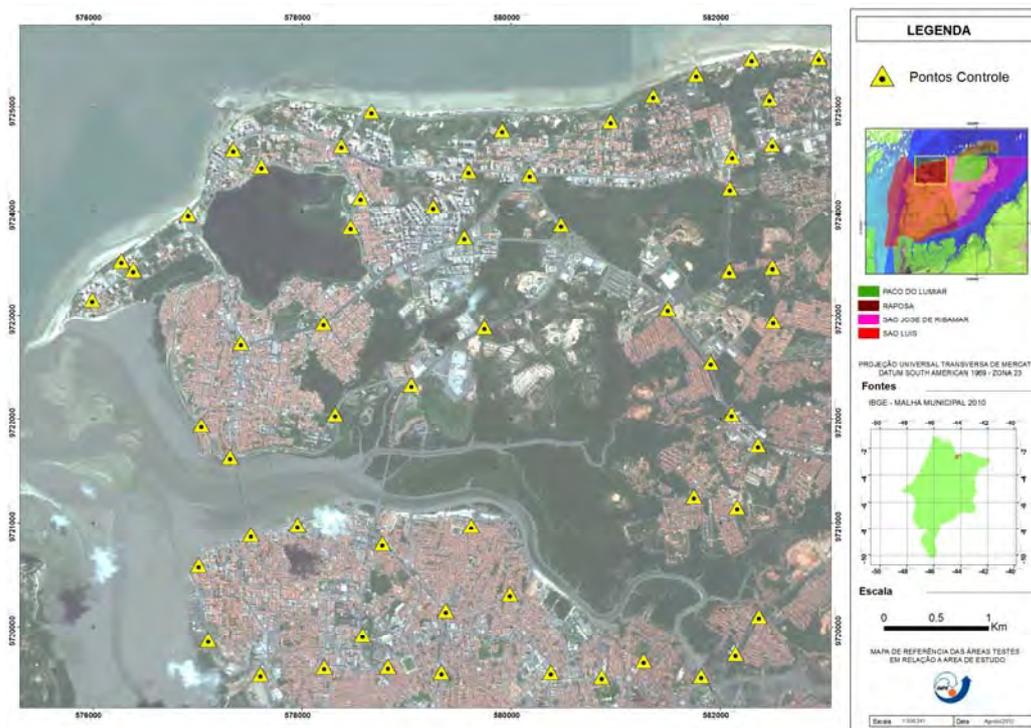


Figura 4.5 - Localização geográfica dos 59 pontos de controle na área de estudo.

Para Araújo (2006) a coleta de pontos controle de forma correta e seguindo os procedimentos anteriormente descritos auxilia na qualidade geométrica das imagens ortorretificadas. Segundo Toutin (2004), pontos de controle coletados de forma irregular podem ser responsáveis pela propagação de erros e pelo erro no final do processo de correção.

Neste trabalho, os pontos de controle GNSS foram adquiridos através do método de posicionamento relativo estático, uma vez que, se a localização de um receptor for conhecida, comparam-se os valores obtidos com os valores teóricos, e assim calculam-se os erros, corrigindo as medições naquele ponto.

Para a ortorretificação, foram utilizados todos os 59 GCPs, sendo 22 GCPs (*Ground Control Points*) e 37 pontos independentes de verificação (ICPs – *Independent Check Points*). Os ICPs foram utilizados para calcular os valores do RMSE (*Root Mean Square Error* – raiz quadrada do erro médio quadrático), que indica a qualidade estatística da ortorretificação (Figura 4.6).

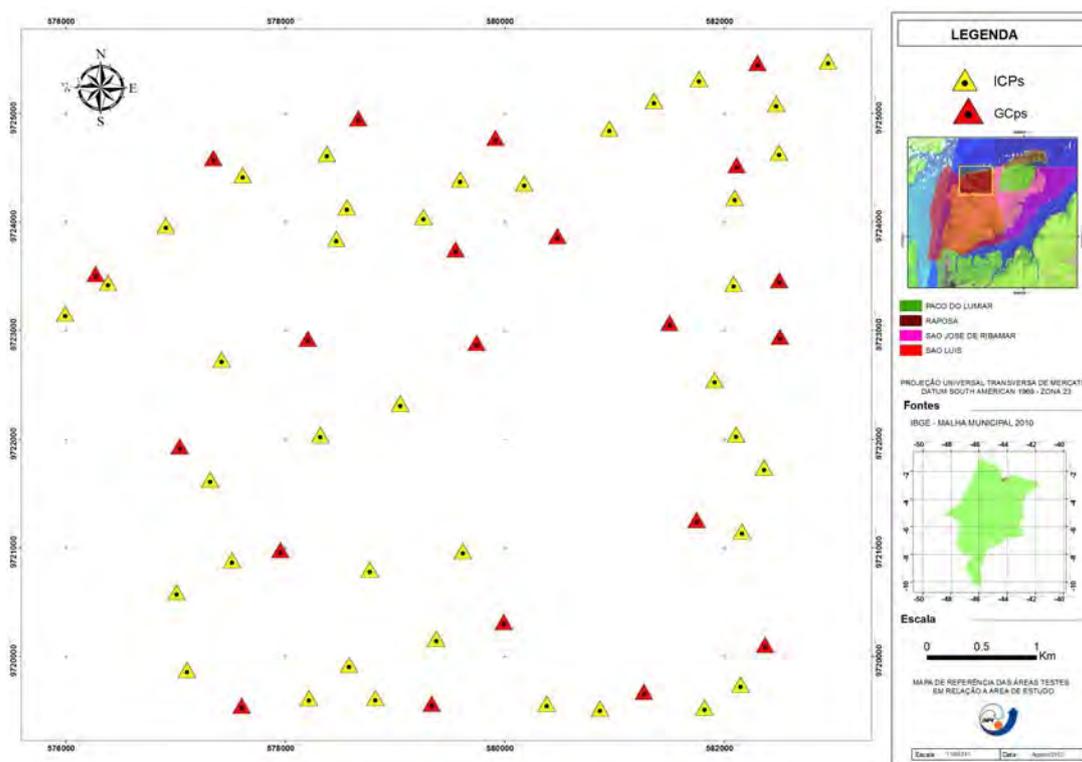


Figura 4.6 – GCPs e ICPs distribuídos espacialmente na área a ser corrigida.

Para Costa e Magalhães (2003), o modelo digital de elevação (MDE) é a parte fundamental do processo de ortorretificação das imagens, sem o qual não seria possível a correção devido ao relevo. O MDE utilizado nesta pesquisa foi gerado a partir de dados altimétricos disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFMA. Os arquivos disponibilizados estavam em formato vetorial *ESRI Shapefile* (shp), facilitando a importação para o *software* ArcGIS 10.0, no qual onde foram realizadas edições e ajustes e posterior conversão de dados no que tange as informações relativas à projeção, DATUM e altimetria.

A partir do arquivo disponibilizado, foram extraídas as curvas-mestras e intermediárias, utilizando-se o módulo 3D para extrair os pontos cotados. A seguir os dados foram ajustados para a projeção dos dados orbitais e de GNSS, UTM, WGS 84 – 23S. Para a geração do MDE, foi utilizado o aplicativo OrthoEngine do *software* PCI Geomatics v10.3.1, com interpolação por convolução cúbica, resultando em um produto com espaçamento de pixel de 1 m (Figura 4.7).

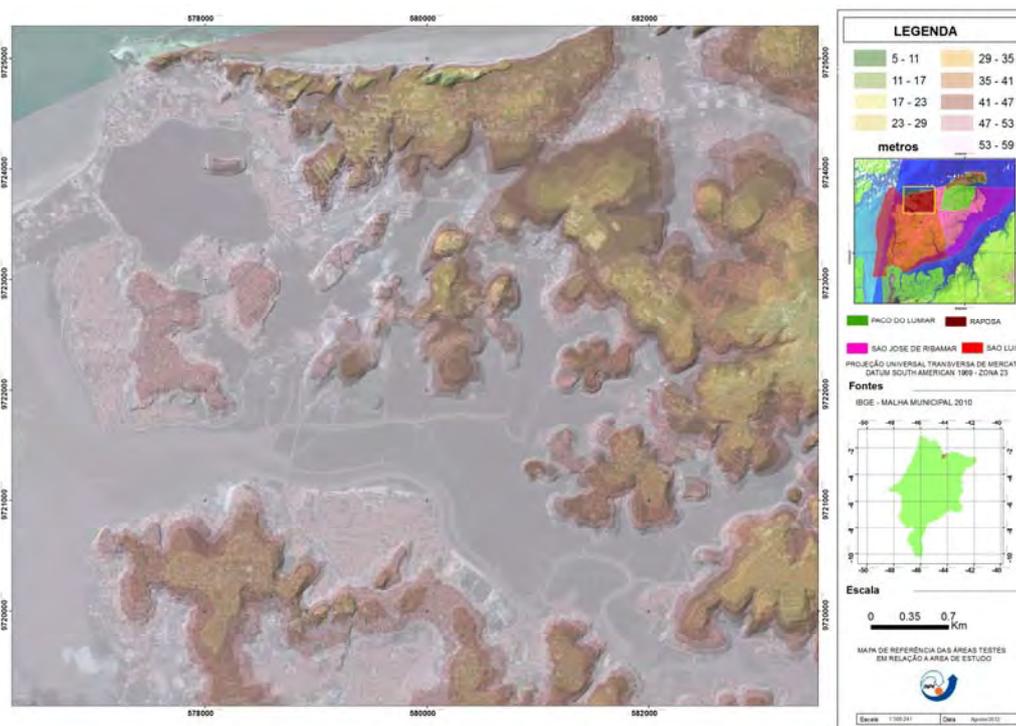


Figura 4.7 – Modelo em 3D com base no MDE da área de estudo.

Após o processamento dos pontos de controle e a elaboração do MDE, foi usado o modelo rigoroso através do aplicativo PCI Geomatics, que possui um módulo de correção geométrica específico para o satélite WorldView-2 desenvolvido a partir de uma parceria com a empresa DigitalGlobe e o Centro Canadense para Sensoriamento Remoto (CCRS).

Vários autores indicam que o processo de correção rigoroso é o mais preciso (Cheng; Zhang, 2003; PCI Geomatics, 2010; Toutin, 2004). O modelo rigoroso é também conhecido como modelo físico, conforme informa Araújo (2006), por modelar todas as distorções decorrentes do movimento da plataforma (posição, velocidade, atitude), do sensor (ângulos de visada, efeitos panorâmicos), da Terra (elipsóide e topografia) e da projeção cartográfica.

A implementação no aplicativo PCI de um módulo de correção pelo modelo rigoroso em imagens *ORStandard*, anteriormente possível somente de se aplicar em imagens do tipo *Basic*, tornou possível alcançar a precisão nos resultados, com a vantagem de se utilizar em cenas no tamanho necessário e com um certo nível de processamento (PCI Geomatics, 2010). Araújo et al. (2008) utilizaram o modelo rigoroso em imagens *ORStandard 2A* e conseguiram resultados satisfatórios para o uso dos produtos em inferências espaciais visando ao planejamento territorial.

Na avaliação das imagens, foram utilizados como referência os critérios estabelecidos pelas Normas Técnicas da Cartografia Nacional: as classes de exatidão por escala, o Erro Padrão (EP) e o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Assim, as avaliações das ortoimagens foram realizadas seguindo duas abordagens: (1) o uso da raiz do erro médio quadrático (*RMSE*) e (2) cálculo da análise de tendência (“t” de *Student*) e precisão (Qui-quadrado) proposta por Galo e Camargo (1994). Ambos levam em consideração os valores de discrepâncias ( $\Delta$ ) entre as coordenadas dos produtos gerados e as coordenadas de referência (base cartográfica e/ou pontos *GNSS*), Galo e Camargo (1994).

## **4.2.2 Classificação da Cobertura**

Após a ortorretificação das imagens, efetuou-se a classificação da cobertura do solo urbano utilizando o InterIMAGE, um *software* baseado em conhecimento Carvalho (2011) e Ribeiro (2010) utilizaram imagens do WorldView-2 para classificar a cobertura do solo urbano usando a abordagem de análise de imagens baseada em objetos geográficos (*GEOBIA*). Com base nesta abordagem, consideraram-se na área de estudo feições urbanas e feições típicas de áreas costeiras, como dunas, manguezais, canais de maré e faixas de areia (praia) não analisadas em trabalhos anteriores.

Os procedimentos considerados no mapeamento da cobertura do solo foram: 1) definição das classes de cobertura; 2) construção da rede hierárquica e da rede semântica; 3) segmentação; 4) análise exploratória (definição de atributos); 5) mineração de Dados (definição de parâmetros); e 6) elaboração do modelo de classificação.

A implementação do modelo de classificação da cobertura do solo foi realizada utilizando o *software* InterIMAGE v1.24 (LVC – PUC-RJ, 2010). Foram organizados projetos independentes para cada área-teste, importando dados matriciais e vetoriais preparados nas etapas anteriores.

### **4.2.2.1 Definição das classes**

A definição das classes de cobertura seguiu a metodologia com base na análise visual das imagens do WorldView-2, conforme descrição por Carvalho (2011), Ribeiro (2010), e com imagens do QuickBird-2 por Araújo (2006) e Novack (2009). O conhecimento da área de estudo auxiliou na interpretação visual e na identificação das principais feições e dos alvos a serem mapeados na cena.

A qualidade das imagens do WorldView-2 e os métodos de processamento de imagens disponíveis permitem ao intérprete distinguir os alvos urbanos, porém existem situações em que as tonalidades de cor não são distinguíveis, o que demonstra limitações em determinados casos.

Ribeiro (2010) relata que em estudos de áreas urbanas, não é possível discernir objetos de comportamento espectral muito semelhante e em diferentes estados de conservação, mesmo usando atributos de forma e contexto na classificação. Assim, a autora abrangeu na classe “Telha Cerâmica”, os diversos tipos de telhas com este material, a saber: romana, francesa, clara, escura, entre outras.

As imagens de sensoriamento remoto caracterizam-se por apresentarem os elementos básicos de análise e interpretação (tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização), que possibilitam a extração de informações dos objetos, áreas ou fenômenos. Jensen (2009) ilustra a ordem sequencial dos elementos de interpretação da imagem (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Ordem sequencial de análise de interpretação da imagem.  
Fonte: Adaptado de Jensen (2009).

Com base nos critérios de Florenzano (2002) e Jensen (2009) e nos exemplos de Carvalho (2011), foram definidas 15 classes de cobertura do terreno

apresentadas por sua nomenclatura, amostra visual e chaves de interpretação na Tabela 4.3

Tabela 4.3 - Chaves de interpretação das classes de cobertura do solo.

<b>Classe</b>	<b>Cor e Tons</b>	<b>Localização/ Contexto</b>	<b>Forma, Tamanho e Textura</b>	<b>Imagem WorldView-II R(5) G(3) B(2)</b>
Canal de Maré	Cinza muito escuro a preto. Tons claros na banda coastal, blue e Green, e tons escuros nas bandas red edge, NIR-1 e 2	Ocorre na área-teste II com vegetação de mangue nas suas bordas e palafitas	Forma alongada, tamanho grande, textura lisa.	
Dunas	Amarelo claro a branco tons muito claros nas bandas yellow, red e red-edge; tons médios e escuros nas bandas coastal, NIR 1 e 2, blue e green	Em áreas próximas à praia com classes de vegetação rasteira em suas proximidades	Forma irregular alongada, tamanho variável, textura lisa.	
Praia	Amarelo de claro a médio. Tons claros na banda coastal, blue e green e tons escuros nas bandas red edge, NIR 1 e 2.	Área localizada na área-teste I entre a avenida, classe asfalto e o mar.	Forma estreita com tamanho bem definido, coincidente com a zona de estirâncio, textura lisa (área seca) e pouco rugosa (área úmida).	
Piscina	Azul claro ciano com tons brilhantes nas bandas coastal e blue	Localizada próxima a residência, dentro das quadras	Forma retangular, tamanho entre 10 e 30m <sup>2</sup> , textura lisa	
Solo Exposto	Amarelo claro a laranja, com tons muito claros a branco nas bandas yellow, red e red-edge, tons médios e escuros nas bandas coastal e blue	Dentro das quadras em construções, próximo a praia e ruas não pavimentadas	Forma irregular; alongada em ruas não pavimentadas. tamanho variável, textura lisa	

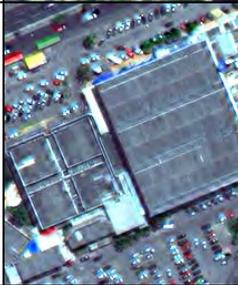
Continua

Tabela 4.3 - Chaves de interpretação das classes de cobertura do solo. (Continuação)

Vegetação Arbórea	Verde (verde médio a escuro), tons muito claros nas bandas NIR 1 e 2, tons escuros nas bandas (coastal, blue, red, yellow).	Dentro das quadras, mas suas copas cobrem parcialmente ou totalmente algumas ruas.	Forma irregular, tamanho variável, textura rugosa devido a sombra	
Vegetação Rasteira	Variação de verde claro a médio com tons muito claros nas bandas NIR 1 e 2 tons escuros nas bandas (coastal, blue, green, red, yellow).	Dentro das quadras em áreas de parques, condomínios, campos de futebol.	Forma irregular: alongada em canteiros centrais; retangular em jardins. Textura lisa e pouco rugosa	
Sombra	Escura a preto total. Os tons dependem da superfície sobre a sombra	Vizinha às edificações, árvores e pontes.	Textura lisa, forma e tamanhos variados.	
Telhado Cerâmico	Laranja médio a marrom escuro (cores avermelhadas) Tons muito claros nas bandas NIR 1 e 2; claros nas bandas yellow, red e red edge e escuros nas bandas coastal, blue, green	Dentro das quadras. Na área de estudo, característicos de áreas de médio e alto padrão presente em condomínios fechados	Forma retangular (unidades), tamanho variável, textura lisa e pouco rugosa	
Cobertura Metálica	Variando do azul claro ao branco, geralmente cinza claro azulado	Dentro das quadras. Telhados de indústrias e galpões de serviços.	Forma retangular e tamanhos variados. Textura lisa a pouco rugosa.	

Continua

Tabela 4.3 - Chaves de interpretação das classes de cobertura do solo. (Conclusão)

Cobertura de Cimento Claro	Cinza claro a branco com tons mais brilhantes na banda Green. Obs: Intensidade brilho inferior se comparado à classe Cobertura Metálica	Dentro das quadras (partes de telhados e geralmente coberturas de concreto claro).	Forma retangular e trapezoidal, Tamanho variável, Textura lisa (cobertura) rugosa (laterais de edifícios) variados.	
Cobertura de Cimento Médio	Cinza em tons médios, tons brilhantes nas bandas coastal e green.	Dentro das quadras.	Forma retangular Tamanho variável. Textura lisa (laje plana) a pouco rugosa (telhas de fibrocimento de perfil ondulado)	
Cobertura de Cimento Escuro	Cinza escuro com tons escuros nas bandas red e NIR-1	Dentro das quadras. Telhados de indústrias e serviços.	Forma retangular Tamanho retangular Textura lisa a meio rugosa	
Asfalto	Cinza escuro com tons cinza médios na banda red-edge e escuros nas bandas red, NIR-1e 2	Ocorre em ruas pavimentadas e dentro das quadras em estacionamentos	Forma alongada (ruas) e retangular (estacionamentos). Tamanho variável, textura lisa	
Mangue	Verde escuro com tons brilhantes na banda red-edge.	Próximo ao canal de maré	Forma irregular. Tamanho variável textura rugosa.	

As classes de cobertura de cimento médio e escuro foram criadas para agrupar certos objetos, tais como telhas de fibrocimento com e sem amianto, telhas de cimento pigmentado, cobertura de lajes planas de concreto e pavimentação em concreto, como em Ribeiro (2010) e Carvalho (2011).

#### 4.2.2.2 Elaboração da Rede Semântica

Segundo Costa et al. (2007) a rede de estruturação das classes é ao mesmo tempo hierárquica e semântica. Assim, os operadores são inseridos no nó-pai, que tem por função gerar os segmentos que correspondem ao conceito do nó e que, por procedimento do *software* é transmitido para ser processado pelo seu nó-filho.

O papel da rede hierárquica nessa concepção do InterIMAGE é representar a estratégia sequencial e organizacional da classificação. O processo de classificação a partir de uma organização hierárquica subdivide a interpretação da cena em subproblemas de resolução mais simples. A estratégia seguida para a construção das redes hierárquicas foi elaborada com base nos estudos de Pinho (2005), Novack (2009) e Ribeiro (2010), nos quais, para facilitar a implementação do modelo, são colocadas nos níveis superiores as classes mais facilmente separáveis, deixando para os níveis inferiores aquelas com maior confusão entre si.

As redes aqui elaboradas possuem tão-somente dois nós-pais (Quadras e Ruas) e diversos nós-folhas. Este procedimento levou em consideração principalmente o custo computacional, o que é facilitado quando há uma rede com poucos níveis e muitos nós-folhas. Desta forma, adaptou-se a rede proposta por Ribeiro (2010), visto que os trabalhos de Pinho (2005), Araújo (2006) e Novack (2009) possuem nós intermediários, o que aumenta o custo computacional (Figura 4.9).



Figura 4. 9 – Rede semântica com nós-pais e nós-folhas.

#### 4.2.2.3 Segmentação

Segundo Pal (1993), a segmentação é definida como um processo de agrupamento de pixels de uma imagem em regiões, de modo que os elementos pertencentes a cada região sejam similares em relação a uma ou mais propriedades. Essas propriedades são consideradas nos métodos de segmentação baseados em objeto, Pinho (2005) relata que esses métodos de segmentação consideram, além de informações espectrais, as informações espaciais, como forma, tamanho, cor e contexto.

A segmentação divide a imagem em segmentos (polígonos), que constituem os menores elementos sobre os quais se desenvolve a análise. Uma segmentação é qualificada como “boa”, quando consegue gerar polígonos que correspondam, o máximo possível, a objetos da cena real, levando em

consideração as limitações impostas principalmente pela imagem utilizada (RIBEIRO, 2010).

O *software* InterIMAGE, permite que as segmentações de um mesmo nível da rede semântica sejam independentes, pois são geradas por programas executáveis que operam nos nós da rede, de modo externo ao sistema.

Com o objetivo de alcançar segmentos que possuam correspondência com os objetos da cena, a etapa de segmentação foi realizada de maneira interativa, avaliando os segmentos gerados e calibrando os parâmetros para obter uma segmentação adequada à aplicação.

Cuidados com a segmentação da imagem são necessários, uma vez que, o resultado desta etapa repercute tanto positiva quanto negativamente nas posteriores (ARAÚJO, 2006).

A segmentação foi separada em níveis, para se utilizar as funcionalidades do aplicativo InterIMAGE. Em um primeiro nível de segmentação foram separadas as quadras limitadas por ruas, utilizando o segmentador *TerraAida\_Shapefile\_Import* e os dados vetoriais com os limites das quadras de cada área-teste, editados a partir dos dados fornecidos pelo Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural.

Após a separação entre quadras e ruas, utilizou-se o segmentador *TerraAida\_Baatz\_Segmenter* em um segundo nível de segmentação. Este segmentador foi usado por apresentar um bom desempenho quanto à velocidade de execução e capacidade de extração de objetos homogêneos em uma mesma escala (BAATZ; SCHAPE, 2000). Este segmentador utiliza parâmetros como escala, cor, forma, compacidade, suavidade. A Tabela 4.4 abaixo apresenta a resposta da segmentação para cada parâmetro considerado.

Tabela 4.4 – Métodos e parâmetros avaliados

Parâmetro	Função	Condição	Resultado (segmentos)
Fator de Escala	Controla a máxima heterogeneidade permitida por segmento	Maior Fator de escala	Segmentos maiores
		Menor Fator de escala	Segmentos menores
Forma	Considerada aspectos de compacidade e suavidade	Alto valor de compacidade	Segmentos menores e mais compactos
		Alto valor de suavidade	Segmentos otimizados e com bordas suaves

Fonte: Baatz e Schape (2000).

As classes de cobertura do solo estão destacadas no segundo nível da rede hierárquica. Ribeiro (2010) utilizou o segmentador *TerraAida\_Baatz\_Segmenter* optando por uma super-segmentação, resultando em maior número de segmentos para um mesmo alvo, porém não incluiu partes de alvos distintos dentro de um segmento .

A Figura 4.10 mostra uma imagem segmentada de uma seção da área teste definida a partir dos testes realizados, considerando os parâmetros anteriormente citados.

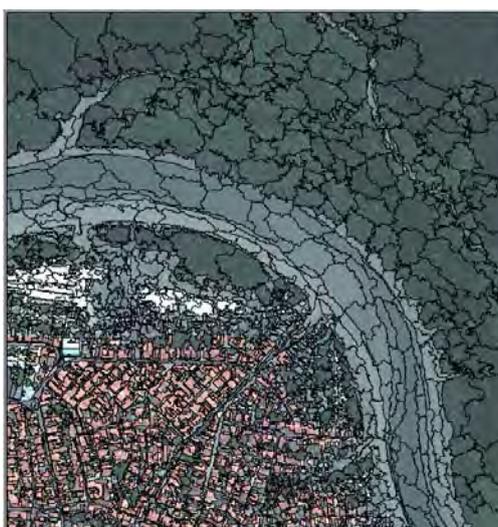


Figura 4. 10 – Imagem segmentada.

#### 4.2.2.4 Análise Exploratória

A análise exploratória consistiu na definição dos atributos e possíveis regras de pertinência a partir da avaliação do comportamento de cada classe, para facilitar a classificação da cobertura do solo, conforme a rede hierárquica elaborada.

A análise foi realizada de forma supervisionada, visualizando-se os atributos espacializados em níveis de cinza. Como resultado desta análise foi possível obter o valor de todos os atributos de cada objeto sob forma de tabela e a visualização de um dado atributo, relacionando-o a níveis de cinza. Esse procedimento auxilia na identificação de *clusters* (agrupamentos) de objetos com níveis de cinza semelhantes e/ou diferentes, permitindo a escolha dos atributos e respectivos limiares mais pertinentes para a separação de cada classe (Figura 4.11).



Figura 4.11 – Visualização do atributo em nível de cinza para Área A.

#### 4.2.2.5 Mineração de Dados: Definição dos parâmetros

As técnicas de mineração de dados auxiliaram na verificação de quais atributos dentre os disponíveis no conjunto de imagens utilizados são mais relevantes para descrever as classes de cobertura do solo de forma automática em imagens WorldView-2. A exemplo dos trabalhos de Pinho et al. (2008), Novack (2009), Leonardi (2010), Vieira (2010) e Carvalho (2011) que utilizaram a técnica de árvore de decisão em suas aplicações e alcançaram bons resultados, optou-se pelo uso do C4.5 renomeado como J48 (WITTEN; FRANK, 2005) e que se encontra implementado no software WEKA.

De acordo com Carvalho (2011) o software WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*), utilizado nesta pesquisa, contém uma coleção de algoritmos de aprendizagem de máquina para tarefas de mineração de dados, contendo ferramentas para o pré-processamento, classificação, regressão, *clustering*, regras de associação, e visualização dos dados. O Weka é gratuito e encontra-se disponível na Internet em <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.

Assim, para a determinação do que foi denominado de “Teste II” nesta pesquisa buscou-se a elaboração de uma árvore de decisão compacta, de fácil entendimento e que atendesse aos objetivos desta aplicação, podendo ser replicada para áreas que tivessem características semelhantes e apresentasse uma boa exatidão.

Assim, partindo dos resultados obtidos por Carvalho (2011) e Novack (2009), definiu-se para o Teste II uma árvore de decisão com o mínimo número de objetos por folha, ou seja, dois, sendo avaliados critérios como: o tamanho total das árvores de decisão dentro das redes (número de nós de todas as árvores de decisão dentro da rede hierárquica), o número total de folhas das árvores de decisão, a quantidade e a diversificação de atributos usados na classificação e, por fim, o índice *Kappa* calculado na validação cruzada das amostras (cálculo realizado pelo próprio WEKA ao gerar o modelo).

#### 4.2.4 Classificação do Uso do Solo

A etapa de classificação do solo tenta adaptar a subjetividade do especialista humano à descrição das classes de uso do solo. Novack (2009) descreve que, enquanto a interpretação da cobertura é realizada a partir de procedimentos que consideram atributos físicos e objetivos, a interpretação do uso do solo se caracteriza por práticas culturais que se materializam no espaço, muitas vezes através de atributos e características que são incertas ou imprecisas, em outras palavras, subjetivas.

Aplicações que utilizaram técnicas de *GEOBIA* para a classificação do uso do solo por quadras, tais como: Carvalho (2011), Stow et al. (2007), Wu et al. (2006) e Herold et al. (2003), tiveram como base atributos relacionados à composição e estrutura geométrica dos objetos de cobertura do solo (subobjetos) presentes no interior das quadras (super-objetos), as classes. Nesta pesquisa, a classificação de uso do solo considerou os resultados da cobertura do solo presentes no Teste II a partir da aplicação de mineração de dados, por ter obtido um melhor índice *Kappa* e Exatidão Global.

Novack (2009) utilizou dois níveis de segmentação: um relativo ao limite das quadras fiscais e outro relativo aos objetos de interesse (cobertura do solo), e a definição das classes de uso do solo foi feita a partir da inspeção e interpretação visual da imagem, tendo como base o mapa de uso do solo por quadra da área de estudo feito pela Prefeitura Municipal de São Paulo para o ano de 2005.

Com base em estudos anteriores citados acima e na descrição dos atributos físicos da classe de cobertura do solo, foi elaborado um estudo das possíveis classes a serem definidas para a aplicação específica deste trabalho, que contém alguns alvos distintos dos apresentados nas aplicações anteriores.

#### **4.2.4.1 Definição das Classes**

Baseado no estudo técnico coordenado pelo Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade em estudos para aprovação do Plano Diretor da cidade conforme descritos em Espírito Santo (2006) e após processo de interpretação visual das áreas testes deste trabalho, foram definidas nove classes de uso presentes em uma ou outra área-teste, sendo assim caracterizadas (Tabela 4.5).

a) Galpões e Serviços – Onde predominam telhados com tons claros e/ou escuros, com área e forma grande e retangular, com diferentes tonalidades de cinza, tendo pouca ou nenhuma ocorrência de telhados de cerâmica e com pouca ou nenhuma vegetação.

b) Ocupações Espontâneas – Grande número de telhados claros com área bem pequena. O mesmo procede para telhados escuros de amianto, com diferentes tonalidades de cinza e formas assimétricas. Geralmente próximas a canais de maré e áreas de manguezais. Possui rugosidade e textura bastante características.

c) Residencial Horizontal de Médio e Alto Padrão – Destaca-se pela presença de telhados de cerâmica, de piscinas em grande quantidade e pela presença de vegetação arbórea e rasteira.

d) Residencial Horizontal de Baixo Padrão – Caracteriza-se pela elevada área relativa de telhados de cerâmica, geralmente em conjuntos com o aspecto de ocupação densa. A área de vegetação é baixa e a presença de piscinas, rara.

e) Residencial Vertical de Médio e Alto Padrão – Existência de objetos grandes e retangulares (prédios), adjacentes a sombras também com o formato semelhante ao do prédio. Presença de piscinas e de uma área com vegetação rasteira e arbórea.

f) Residencial Vertical de Baixo Padrão – Possuem prédios com altura abaixo dos de alto padrão característica percebida pelo tamanho das sombras, não apresentam piscinas e quadras esportivas no entorno, o que mostra outro padrão de edificação sem área de lazer.

g) Residencial e Comercial/Serviços - Presença de objetos grandes e retangulares (prédios), telhados cerâmicos e escuros de concreto de diferentes tonalidades. Área relativa de vegetação baixa e o aspecto da ocupação é relativamente mais denso.

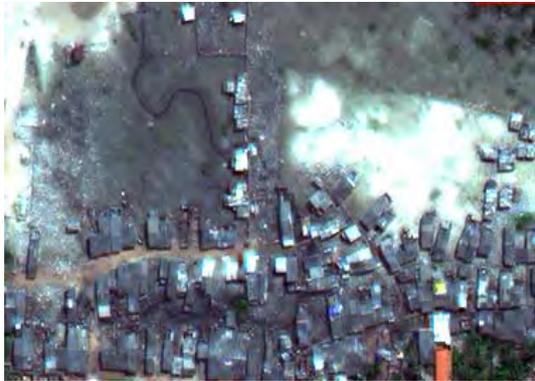
h) Terrenos Parcialmente Desocupados – Possui alta área relativa e/ou absoluta de vegetação tanto arbórea como rasteira. Podem também ocorrer nestas quadras manchas de solo exposto, e presença de caminhos trilhas utilizadas nestas áreas.

i) Clubes Desportivos – Presença de piscinas com grandes áreas, assim como campo de futebol, playgrounds, de quadras de tênis em grande número. Geralmente com a presença de estruturas com telhados grandes e retangulares similares a galpões, com cobertura metálica, mas de uso certamente recreativos.

j) Unidades de Conservação e/ou áreas de preservação – Presença de extensa área de vegetação arbórea e ou rasteira bem delimitada pelo limite da quadra, com pouca ou nenhuma presença de telhados cerâmicos próximos, presença de dunas.

l) Area litorânea e de Lazer – Presença da classe praia, pequenas edificações com telhado cinza com tonalidades de claro a médio com uma relativa distância uma das outras com formas radiais seqüenciadas (quiosques).

Quadro 4.2: Classes de uso do solo na Imagem WorldView-2.

	
Galpões e Serviços	Ocupações Espontâneas
	
Residencial Horizontal de Médio e Alto Padrão	Residencial Horizontal de Baixo Padrão
	
Residencial Vertical de Médio e Alto Padrão	Residencial Vertical de Baixo Padrão

Quadro 4.2: Continuação.

	
<p>Clubes Desportivos</p>	<p>Residencial e Comercial/Serviços</p>
	
<p>Terrenos Parcialmente Desocupados</p>	<p>Area Litorânea e de Lazer</p>
	
<p>Unidades de Conservação e/ou Áreas de Preservação</p>	

Na classificação do uso do solo, foram desenvolvidas as etapas de interpretação da imagem WorldView-2, tendo assim a definição das classes de uso do solo, com posterior coleta de amostras das classes no InterIMAGE 1.24, visando mineração de dados e transposição da árvore de decisão para a forma de rede semântica no InterIMAGE, para então se avaliar em classificações.

#### **4.2.5 Modelo de Classificação**

A classificação de uma imagem no conceito do *software* InterIMAGE é determinada através de duas abordagens: *Top-Down* (TD) e/ou *Bottom-Up* (BD). De acordo com estudos anteriores, a estratégia de implementação que explora de modo mais amplo a etapa *Top-Down*, resulta em um desempenho computacional melhor. Assim, os nós-folhas segmentam a imagem e fazem as seleções lógicas, transmitindo ao nó-pai um número reduzido de hipóteses.

A segmentação realizada na etapa *Top-Down* dos nós-folhas gerou agrupamentos de hipóteses para cada classe de cobertura do solo, sendo que a classificação dos objetos ocorreu na etapa *Bottom-Up*, por meio da resolução de conflitos entre as classes. Utilizando-se o operador *Generic\_BottomUp* e atribuições de valores de pertinência a cada uma das classes, priorizam-se aquelas cujos atributos utilizados as definam melhor, com menos erros de omissão e comissão.

As relações semânticas entre algumas classes de cobertura da terra foram estabelecidas previamente à etapa de criação de atributos que serviriam para a formalização do conhecimento humano na descrição das classes de uso do solo. Assim, os atributos relacionados aos objetos das classes geradas nesta etapa puderam ser usados na identificação do tipo de uso do solo predominante dentro das quadras. As classes de uso do solo estão relacionadas à estrutura geométrica dos objetos das classes de cobertura do solo dentro das quadras urbanas. Os atributos gerados representam a chave de interpretação do uso do solo aplicada na interpretação visual para o modelo heurístico sendo convertido para a concepção de análise do InterIMAGE.

#### 4.2.6 Avaliação das Classificações

A análise visual dos mapas temáticos em comparação com a imagem original foi inicialmente utilizada para verificar se a identificação das classes pela hierarquia proposta é coerente com sua real existência. A avaliação das classificações foi realizada por meio de um dado de referência que traduzisse o conhecimento do especialista sobre a área em estudo. Por meio da interpretação das imagens WorldView-2 para a área-teste A e área-teste B, determinou-se a que classe pertenciam cada uma das amostras aleatórias coletadas para cada área-teste, tendo-se em vista o não contato do especialista com os mapas temáticos produzidos nas classificações.

Para verificar a acurácia dos resultados obtidos na classificação da cobertura do solo, foram construídas matrizes de confusão e calculados os índices *Kappa* (COHEN, 1960) e *Kappa-condicional* proposto por Rosenfield e Fitzpatrick-Lins, (1986), com a finalidade de comparar a exatidão entre duas classes em classificações distintas. A partir do cálculo da matriz de confusão, é possível calcular também medidas descritivas, como a exatidão global.

A partir da variância do índice *Kappa*, é possível a realização de dois testes de significância a partir das estatísticas Z. O primeiro teste permite definir se a classificação realizada é melhor do que uma classificação aleatória, o segundo teste determina se a diferença entre as duas matrizes de confusão é significativa. Os testes de significância da classificação e o teste de significância para determinar a diferença entre os mapas temáticos resultantes da classificações da Área A (Teste I) e Área A (Teste II) assim como Área B (Teste I) e Área B (Teste II) eram significativamente diferentes foram realizados, considerando-se um nível de significância de 5%.



## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, são apresentados os resultados dos métodos, técnicas e procedimentos utilizados no estudo, a saber: Fusão de imagens, ortorretificação, segmentação, técnicas de mineração de dados e classificações de cobertura e uso do solo a partir do uso de imagens do satélite WorldView-2.

#### **5.1 Fusão de imagens**

Os resultados da fusão de imagens devem garantir o aumento da resolução espacial das bandas multiespectrais a partir da informação espacial detalhada da banda pancromática com a informação espectral das bandas multiespectrais deste sistema sensor (DIGITALGLOBE, 2010).

Durante o processo de fusão foram avaliados a acessibilidade do algoritmo e a sua capacidade de fundir as oito bandas espectrais simultaneamente, possuir boa capacidade de transferência de detalhes da imagem pancromática para a imagem sintética, preservando a informação espectral da imagem multiespectral original. Cabe ressaltar que o resultado obtido nesta etapa pode influenciar no desenvolvimento das demais etapas como: ortorretificação e as classificações de cobertura e uso do solo.

Considerando os critérios expostos na seção 4.2.1.1 e avaliando visualmente os seis procedimentos de fusão realizados, verifica-se que o procedimento que menos alterou a informação multiespectral e manteve uma ótima qualidade visual dos alvos urbanos e das feições costeiras a serem mapeadas, foi a combinação do método de fusão por Principais Componentes com o uso do interpolador vizinho-mais-próximo. Este foi o procedimento de fusão utilizado no tratamento das imagens. (Figura 5.1).

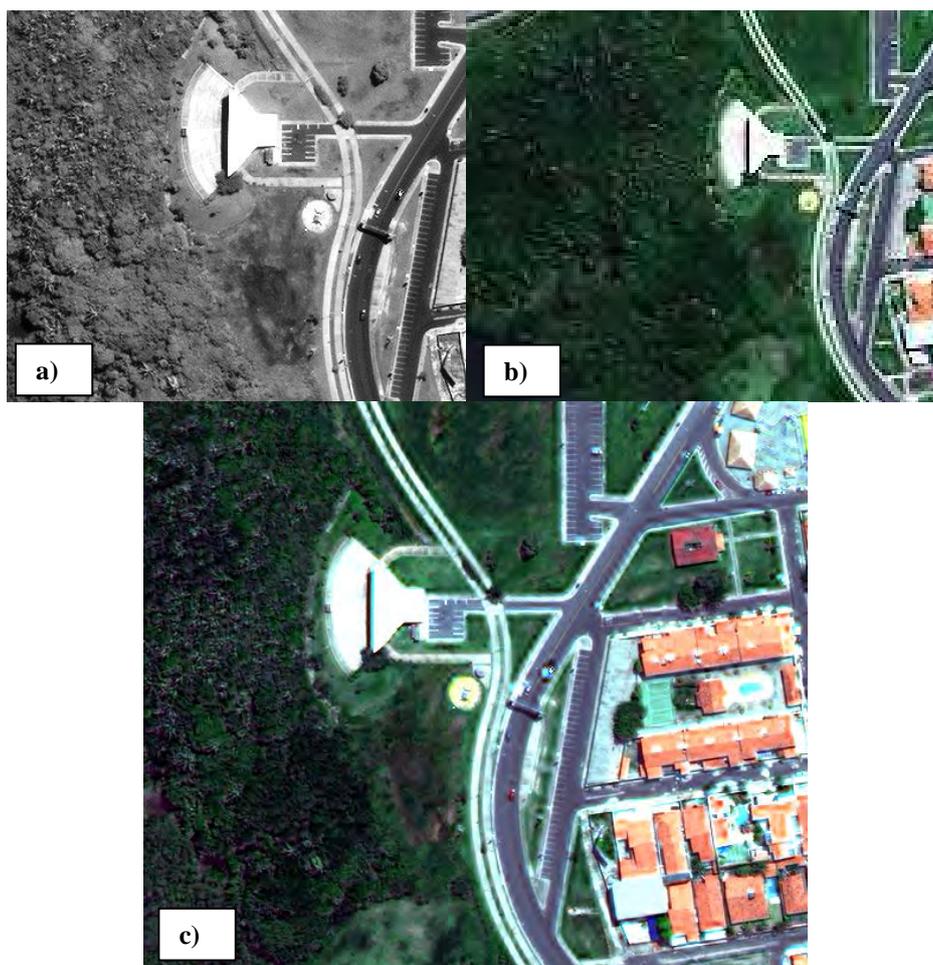


Figura 5.1 – (a) Imagem Pancromática. (b) Imagem Multiespectral. (c) Imagem Fusionada

## 5.2 Ortorretificação

Para o processo de correção das imagens WorldView-2, conforme descrito a seção 4.2.1.2, foram realizados vários testes para verificar a acurácia das correções realizadas.

Utilizando o módulo de correção geométrica implementado no aplicativo PCI pelo modelo rigoroso em imagens ORStandard observou-se, conforme proposto por Cheng et al., (2003), que recomenda, para fazer a correção a partir deste modelo, utilizar no mínimo oito pontos de controle. Assim, Cheng et al.(2003) e Toutin (2004) afirmam ser possível fazer a reconstrução da

geometria física do processo de aquisição da imagem, com imagens ORStandard, mesmo quando não há disponibilidade dos metadados originais.

No Apêndice A, são apresentadas as tabelas contendo as coordenadas e respectivas discrepâncias dos pontos utilizados como ponto de controle e das ortoimagens na ortorretificação.

### 5.3 Avaliação das Ortoimagens

O Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que indica as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, foi a base para avaliar a exatidão posicional das ortoimagens avaliadas, visto que ele define o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

Para a avaliação, foi usada a metodologia de análise de tendência e precisão do produto cartográfico proposta por Galo e Camargo (1994), sendo calculadas as estatísticas amostrais para cada componente (E e N), a saber: erro mínimo, erro máximo, média, desvio padrão e a raiz do erro médio quadrático em função das discrepâncias entre coordenadas homólogas obtidas com o aparelho GNSS e nas ortoimagens. Os resultados destas estatísticas serviram de base para as análises de tendência e precisão.

Estas análises estatísticas foram realizadas tanto na imagem *WorldView-2* ortorretificada sem a inserção de *GCPs* como na imagem ortorretificada com a inserção de *GCPs*, conforme valores indicados na Tabela 5.1

Tabela 5.1 – Estatística das ortoimagens *WorldView-2* sem e com *GCPs*.

Pontos Controle Estatística	Sem <i>GCPs</i>		Com <i>GCPs</i>	
	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)
<b>Valor Mínimo</b>	0,449	-1,985	0,062	-0,792
<b>Valor Máximo</b>	2,259	1,551	0,925	0,924
<b>Média</b>	1,324	-0,046	0,489	0,332
<b>Desvio Padrão</b>	0,368	0,780	0,221	0,258
<b>RMSE</b>	1,421	0,954	0,580	0,496

Usando o método de análise de tendência através da estatística *t-Student* para a componente N e E com a aplicação posterior da estatística qui-quadrado, considerando 30 amostras, confirmou-se a hipótese de que as ortoimagens geradas sem a inserção de pontos controle atendem aos requisitos do PEC na escala 1:5.000 – Classe A. Porém, as mesmas estatísticas aplicadas às ortoimagens corrigidas com a inserção dos pontos de controle (*GCPs*) enquadram os produtos obtidos na escala 1:2.500 - Classe A do PEC.

#### **5.4 Análise de Imagem Baseada em Objetos Geográficos**

Os resultados da metodologia de análise baseada em objeto serão discutidos a partir da abordagem das etapas que compõem esta metodologia e com base no processo de segmentação das imagens.

##### **5.4.1 Segmentação**

Os segmentadores implementados no *software* InterIMAGE permitem ao usuário do sistema definir os pesos para cada banda da imagem, o valor da escala, os parâmetros de forma e compacidade que devem auxiliar na caracterização dos objetos do mundo real, podendo definir mais de um nível de segmentação.

O algoritmo *TerraAida\_Baatz\_Segmenter* usa o conceito de crescimento de regiões, sendo que o analista ajusta o parâmetro de escala, os pesos de cada banda espectral da imagem a ser segmentada, os pesos de cor e de compacidade.

A Figura 5.2 mostra os parâmetros utilizados para a segmentação das imagens do WorldView-2 de cada área-teste. Na coluna “Pesos: Bandas” estão inseridos os pesos relativos das oito bandas deste sistema sensor, a saber: *coastal, blue, green, yellow, red, red-edge, near infra-red 1* e *near infra-red-2*.

Área-teste: A		WorldView-II				
Nível -1	Nível - 2 Classes	Pesos: Bandas	Peso: Compacidade	Peso: Cor	Escala	
QUADRAS	VEG. RASTEIRA	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	15	
	VEG. ARBÓREA	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	15	
	SOLO EXPOSTO	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20	
	TELHA CERÂMICA	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20	
	TELHA METÁLICA	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20	
	COB.CIM.CLARO	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20	
	COB.CIM.MÉDIO	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20	
	ASFALTO	1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20	
SOMBRA	1;1;1;1;1;1;1	0.1	0.4	10		

Figura 5.2 – Exemplo de parâmetros utilizados para a segmentação da área teste A da imagem do satélite WorldView-2, com base em Ribeiro (2010).

#### 5.4.2 Mineração de Dados: Definição dos Parâmetros

O objetivo dessa etapa do trabalho foi encontrar uma árvore de decisão com tamanho e complexidade indicativos dos melhores parâmetros para a classificação da cobertura do solo. Para tanto, a partir do algoritmo J48, foram geradas 07 árvores de decisão modificando-se o parâmetro referente ao número mínimo de objetos por folha.

A árvore de decisão escolhida para ser utilizada como base para implementação do modelo no software InterIMAGE levou em consideração a complexidade e exatidão do modelo. Na sua escolha, foram observados os seguintes critérios: 1) número de nós, 2) número de folhas, 3) número de atributos (sem repetição), e 4) índice *Kappa*. A Tabela 5.3 apresenta os resultados das análises para a seleção do modelo.

Com base nos critérios anteriores, foi escolhida a árvore de número 04, por apresentar 21 objetos como o número mínimo de instâncias por folha. A árvore 04, apesar de possuir a mesma quantidade de número de nós e folhas da árvore 05, apresenta um índice *Kappa* maior e, por isso, foi escolhida.

Tabela 5.2 – Critérios avaliados para a seleção do modelo de classificação.

Numero	Árvores		Critérios		
	Número mínimo de instâncias por folha	Número de nós#	Número de folhas	Número de atributos (sem repetição)	Índice <i>Kappa</i>
01	4	52	51	40	0,8456
02	11	27	29	24	0,8305
03	17	21#	22#	18	0,8154
04	21	15	17	12	0,8178
05	22	15	17	15	0,8119
06	30	16	18	15	0,8010
07	35	16	18	15	0,7901

Dentre os atributos considerados pela árvore 04 para a separação das classes de cobertura do solo, destacam-se: Mínimo valor do pixel na banda red edge, desvio padrão da banda azul, desvio padrão da banda coastal, razão banda azul pelo verde, entre outros.

#### 5.4.3 Modelos de Classificação da Cobertura da Terra

A partir da definição dos parâmetros utilizando técnicas de mineração de dados e com base nas características e especificidades do *software* interIMAGE, foram estruturados modelos com a finalidade de explorar a sua flexibilidade e a potencialidade, além de registrar alguns aspectos importantes, como tempo de processamento dos dados, dificuldade para a implementação do modelo e melhoria de resultados do índice *Kappa* nas classificações.

Os modelos estruturados para a classificação da cobertura do solo resultaram em duas redes semânticas e em um conjunto de regras e operadores associados a cada um desses modelos para cada área teste.

As etapas *Top-Down* (TP) e *Bottom-Up* (BU) foram utilizadas durante a estruturação da rede semântica (Figura 5.3), e as regras de decisão para cada classe definidas através da análise dos parâmetros definidos durante a mineração de dados, buscando-se a melhor separação das classes aplicadas aos operadores *Top-Down* para cada uma das quinze classes de cobertura do solo utilizadas neste trabalho (Figura 5.4).

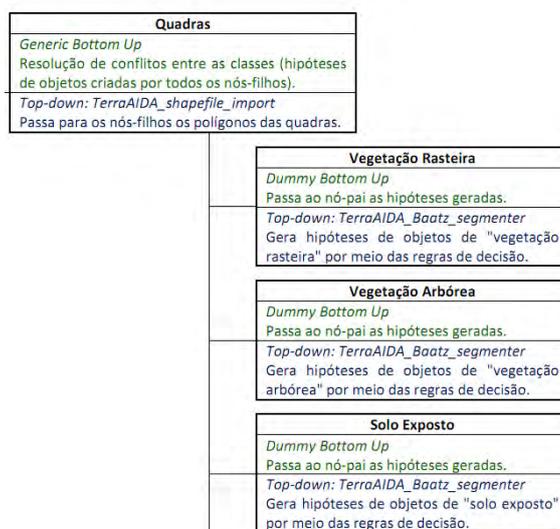


Figura 5.3 – Estruturação da rede semântica  
Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2010.

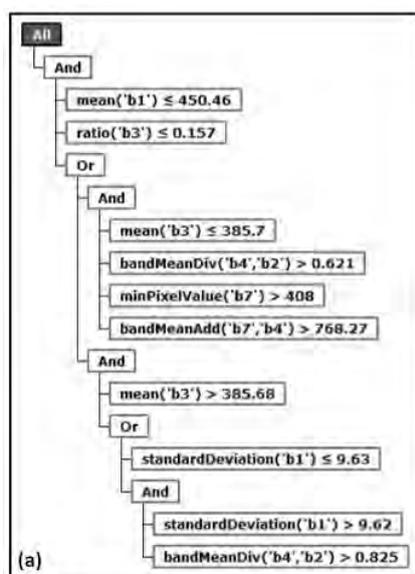


Figura 5.4 – Regras de decisão para a classe de vegetação rasteira (Área-Teste 1).

#### 5.4.4 Modelos de Classificação do Uso do Solo

Para a elaboração do modelo de classificação do uso do solo, foi utilizado como base o modelo de classificação de cobertura com os melhores resultados quanto a exatidão global e ao índice *Kappa*, sendo realizados ajustes na descrição das classes e em parâmetros.

Durante a elaboração do modelo, na etapa TD, o nó 'Quadras' contém o operador `Import_Shapefile`, que importa o vetor das quadras urbanas da área de estudo. Os nós-filhos de 'Quadras', que são os nós das diferentes classes de uso do solo consideradas neste trabalho, assim como os nós-netos de 'Quadras', que não são nós-folhas, contêm o operador `Dummy_Top-Down` que apenas transmite no sentido descendente da rede as máscaras recebidas do nó-pai.

Segundo Novack (2009), este processo é facilitado, porque em todos os nós-folhas há um operador de importação de resultados 'Import MAP-INET', que gera como hipóteses do nó em questão, as instâncias validadas pelo modelo de classificação da cobertura da terra. Assim, o nó 'Vegetação' importará as instâncias de 'Arbórea' e 'Rasteira' validadas no modelo de classificação da cobertura da terra. O mesmo ocorre para as demais classes que necessitam importar instâncias (Figura 5.5).

Os nós das classes de uso do solo, portanto, fazem pela regra BU as seguintes tarefas: (a) validação das hipóteses dos nós-filhos, visto que não deve haver conflitos espaciais entre as hipóteses, por se tratar de instâncias de outra classificação, (b) cálculo dos atributos utilizados na descrição da classe de uso do solo correspondente, e (c) transmissão dos valores dos atributos calculados para o nó 'Quadras'. Este nó, que é o nó pai dos nós das classes de uso do solo, decidirá qual uso do solo é considerado em cada quadra a partir da regra BU inserida neste nó (Figura 5.6).

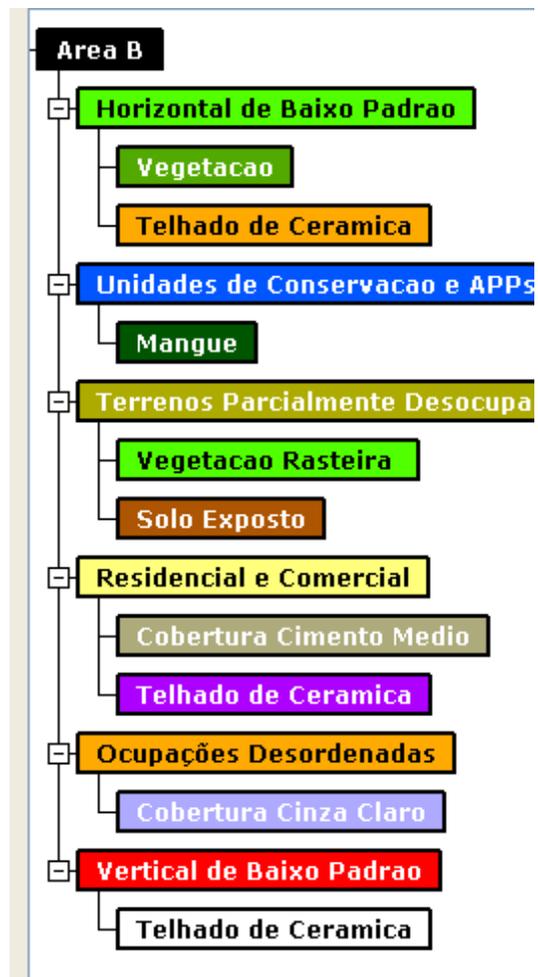


Figura 5.5– Rede semântica para classificação de uso do solo Área B

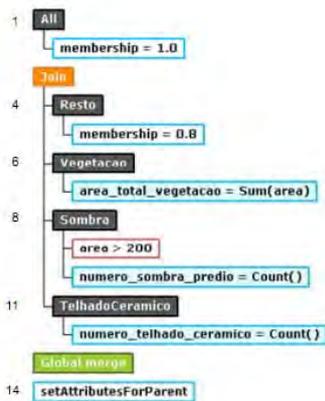


Figura 5. 6 – Regra BU inserida no nó ‘Residencial Horizontal de Alto Padrão’.

#### 5.4.5 Avaliação das Classificações

Nesta seção, são apresentados, avaliados e comparados os resultados das classificações da cobertura dos modelos gerados. Inicialmente, realizou-se uma análise visual dos mapas temáticos em comparação com a imagem original, para verificar se a identificação das classes pela hierarquia proposta é coerente.

O resultado das classificações de cobertura do solo foi avaliado pelo teste estatístico *Z* quanto à importância de suas diferenças, que foram significativamente melhores do que em uma classificação aleatória.

A interpretação visual, a matriz de confusão, o índice *Kappa* e a exatidão global foram utilizados para verificar a qualidade das classificações. Para a distinção entre as classes de cobertura do solo, foi utilizado o índice *Kappa* condicional e exatidão global (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Estatísticas das classificações da cobertura para as áreas-testes.

ID	Área - Teste	Exatidão Global	Índice <i>Kappa</i>	Variância - <i>Kappa</i>	Teste Z
01	A - I	0,8467	0,8245	0,000542	5,542
02	A - II	0,8645	0,8354	0,000431	
03	B - I	0,8432	0,8232	0,000324	5,154
03	B - II	0,8678	0,8446	0,000365	

##### 5.4.5.1 Classificações da Cobertura e do Uso do Solo

Os quatro mapas temáticos para os dois experimentos de classificação da Cobertura das Áreas-Testes A e B constam nas Figuras 5.7 a 5.10 respectivamente. As tabelas contendo as matrizes de confusão referentes às classificações de cobertura constam nas tabelas de 5.4 a 5.7.

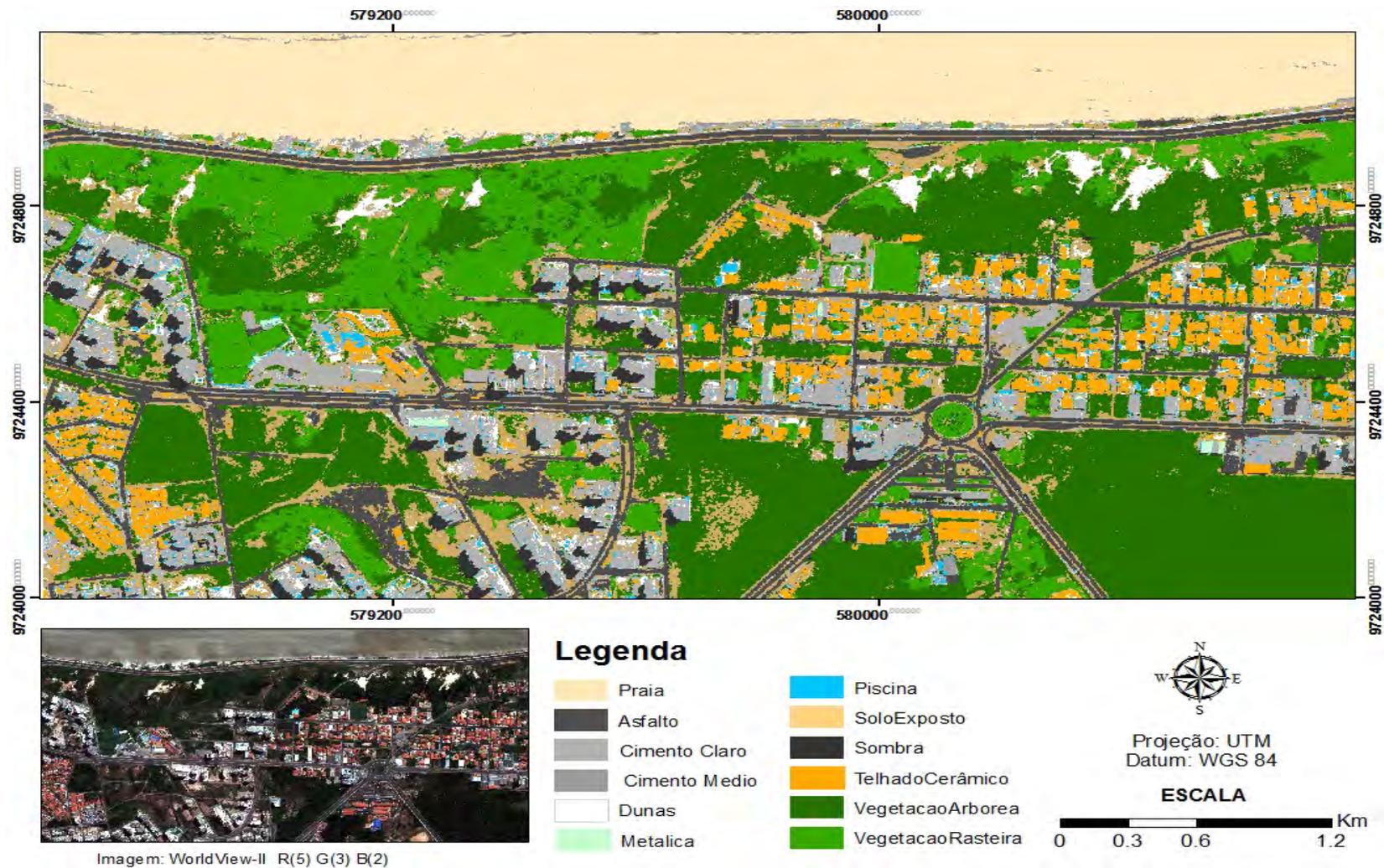


Figura 5.7 - Mapa temático de cobertura do solo: Área A-Teste I (Mapa A1).

Tabela 5.4 - Matriz de confusão para a classificação da Área A elaborada pelo modelo proposto pelo intérprete (Teste I).

CLASSES		REFERÊNCIA												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	TOTAL
CLASSIFICAÇÃO	A - Praia	39	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	43
	B - Asfalto	0	44	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	46
	C - Cobertura de Cimento Claro	0	0	32	3	0	0	0	3	0	0	0	0	38
	D - Cobertura de Cimento Medio	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	E - Dunas	5	0	0	0	34	0	0	3	0	2	0	0	44
	F - Cobertura Metálica	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	6
	G - Piscina	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	22
	H - Solo Exposto	1	0	2	1	3	0	0	41	0	1	0	2	51
	I - Sombra	0	3	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	21
	J - Telhado Cerâmico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	54
	K - Vegetação Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	3	50
	L - Vegetação Rasteira	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	54	56
	TOTAL	45	47	34	29	39	4	24	50	20	57	48	59	456
EXATIDÃO GLOBAL: 0,8467		ÍNDICE KAPPA: 0,8245				VARIÂNCIA DO KAPPA: 0,000542								

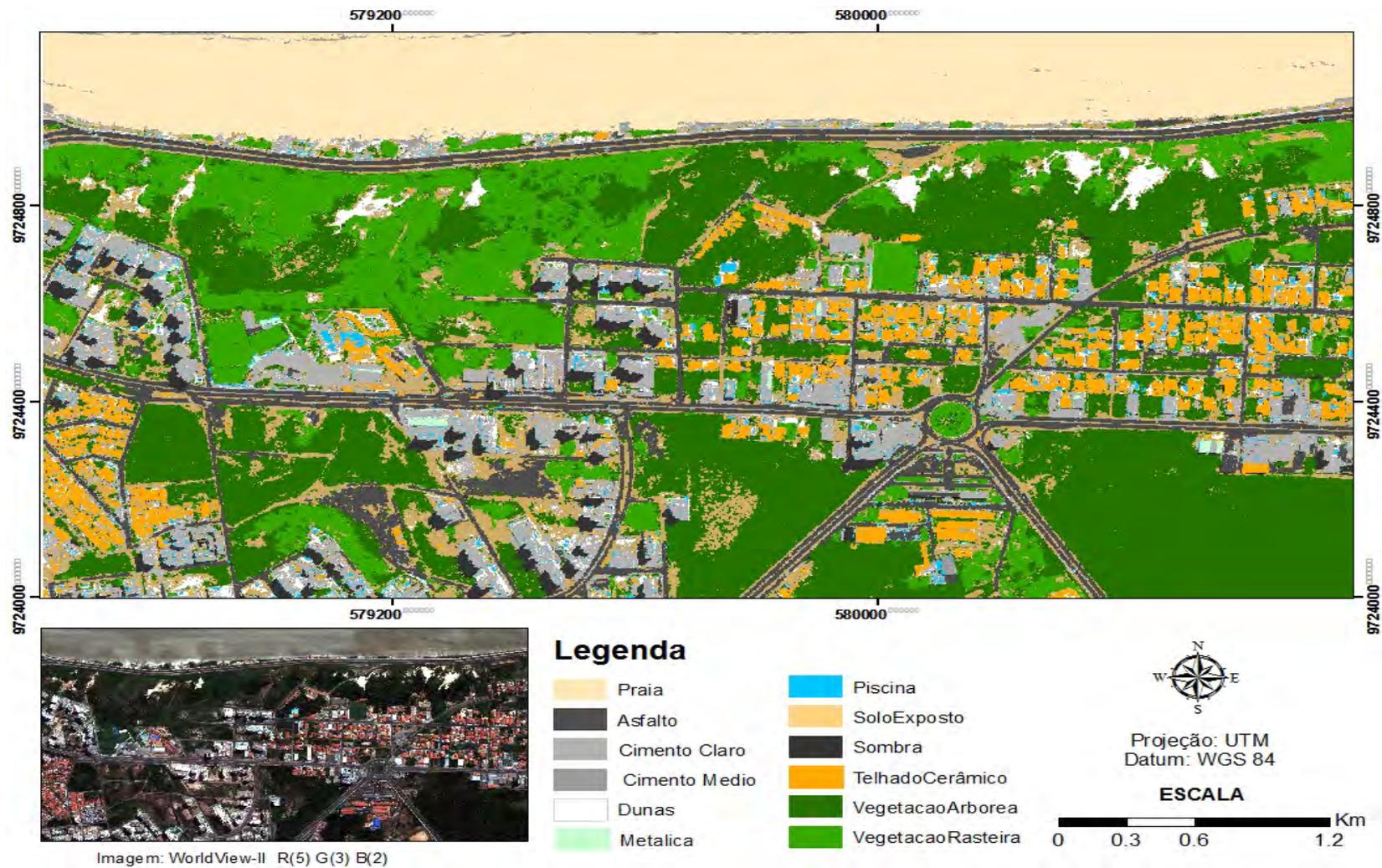


Figura 5.8 - Mapa temático de cobertura do solo: Área A-Teste II (Mapa AII).

Tabela 5.5 - Matriz de confusão para a classificação elaborada para Área A usando técnicas de *Data Mining* (Teste II).

CLASSES		REFERÊNCIA												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	TOTAL
C L A S S I F I C A Ç Ã O	A - Praia	41	0	0	0	3	0	0	3	0	2	0	0	49
	B - Asfalto	0	40	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	41
	C – Cobertura de Cimento Claro	0	0	30	2	0	1	0	4	0	0	0	0	37
	D - Cobertura de Cimento Medio	0	4	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	30
	E - Dunas	2	0	0	0	31	0	0	4	0	2	2	0	41
	F – Cobertura Metálica	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
	G - Piscina	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	24
	H – Solo Exposto	1	0	4	1	5	0	0	38	0	1	0	3	53
	I - Sombra	0	4	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	23
	J – Telhado Cerâmico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	52
	K – Vegetação Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	4	49
	L – Vegetação Rasteira	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	52	54
	TOTAL	44	48	34	29	39	4	24	50	20	57	48	59	456
EXATIDÃO GLOBAL: 0,8645		ÍNDICE KAPPA: 0,8354				VARIÂNCIA DO KAPPA: 0,000431								

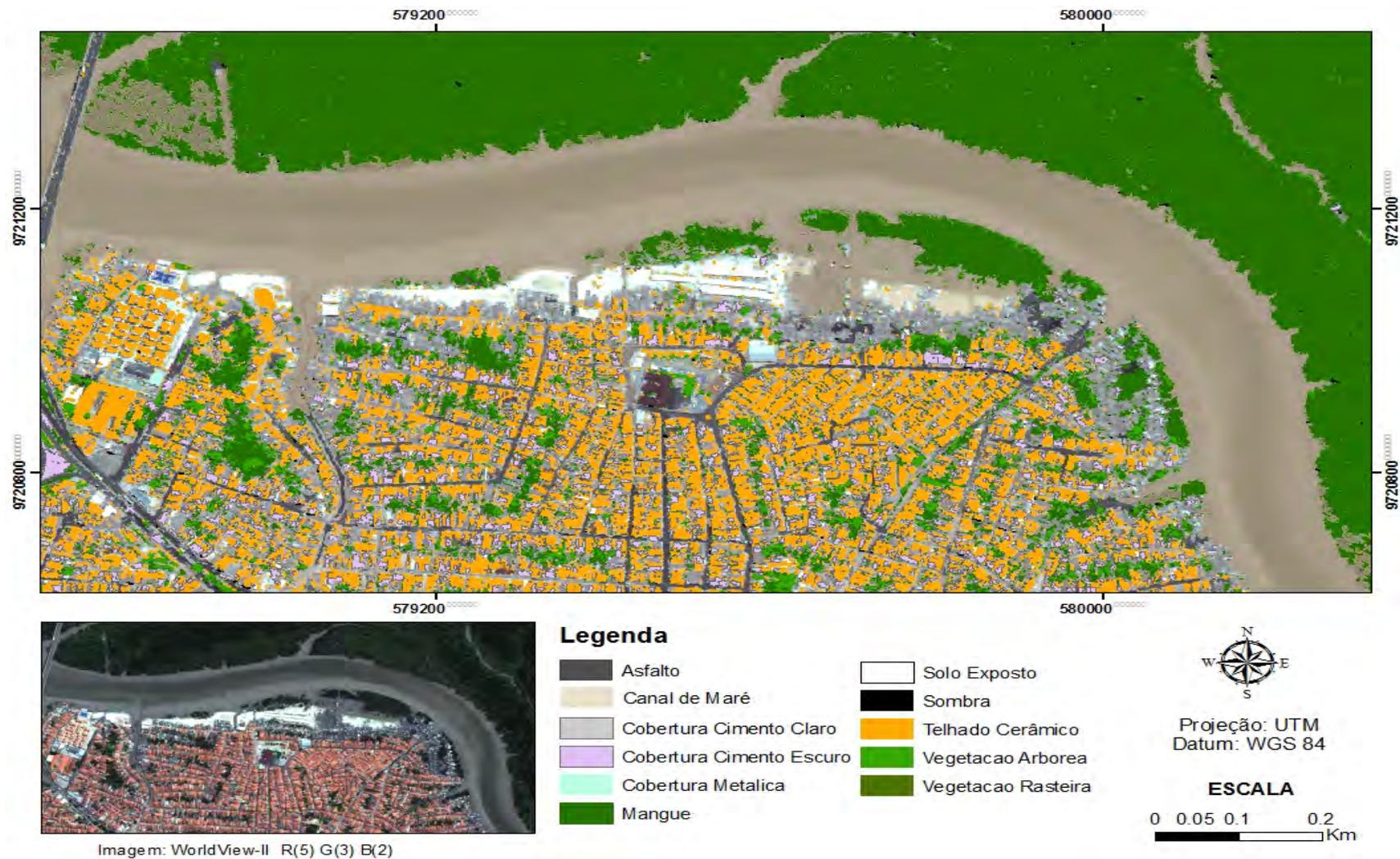


Figura 5.9 - Mapa temático de cobertura do solo: Área B-Teste I (Mapa BI).

Tabela 5.6 - Matriz de confusão para a classificação da Área B elaborada pelo modelo proposto pelo intérprete (Teste I).

CLASSES		REFERÊNCIA											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	TOTAL
C L A S S I F I C A Ç Ã O	A - Asfalto	34	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	35
	B – Canal de Maré	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
	C – Cobertura de Cimento Claro	0	0	40	1	0	0	2	0	2	0	0	45
	D - Cobertura de Cimento Escuro	2	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	24
	E – Cobertura Metálica	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
	F – Mangue	0	0	0	0	0	56	0	0	0	4	0	60
	G – Solo Exposto	0	0	1	0	0	0	40	0	0	0	0	41
	H –Sombra	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	6
	I – Telhado Cerâmico	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	64
	J – Vegetação Arbórea	0	0	0	0	0	5	0	0	0	22	2	29
	K – Vegetação Rasteira	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	14	15
	TOTAL	38	32	41	24	3	61	43	4	66	26	16	354
EXATIDÃO GLOBAL: 0,8432		ÍNDICE KAPPA: 0,8232					VARIÂNCIA DO KAPPA: 0,000324						

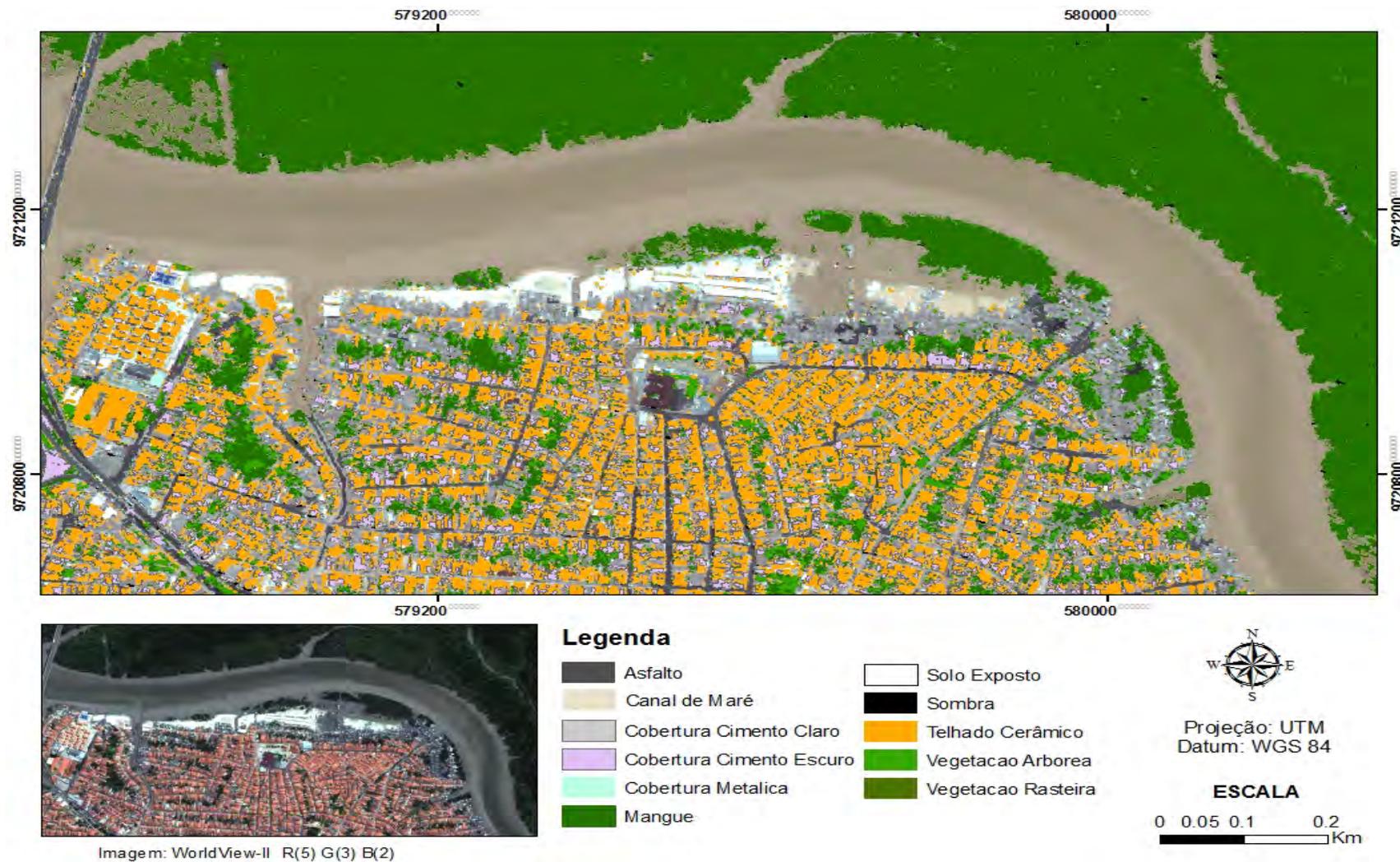


Figura 5.10- Mapa temático de cobertura do solo: Área B-Teste II (Mapa BII).

Tabela 5.7 - Matriz de confusão para a classificação elaborada para a Área B usando técnicas de *Data Mining* (Teste II).

CLASSES		REFERÊNCIA											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	TOTAL
C L A S S I F I C A Ç Ã O	A - Asfalto	35	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	40
	B – Canal de Maré	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
	C – Cobertura de Cimento Claro	0	0	34	1	0	0	3	0	1	0	0	39
	D - Cobertura de Cimento Escuro	1	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	21
	E – Cobertura Metálica	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
	F – Mangue	0	2	0	0	0	54	0	0	0	2	0	58
	G – Solo Exposto	0	0	4	0	0	0	38	0	0	0	0	42
	H –Sombra	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4
	I – Telhado Cerâmico	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	0	65
	J – Vegetação Arbórea	0	0	0	0	0	7	0	0	0	24	4	35
	K – Vegetação Rasteira	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	12	16
	TOTAL	38	32	38	24	4	63	43	4	66	26	16	354
EXATIDÃO GLOBAL: 0,8678		ÍNDICE KAPPA: 0,8446					VARIÂNCIA DO KAPPA: 0,000365						

Os gráficos nas Figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14 apresentam os valores obtidos para o índice *Kappa* condicional das classes de cobertura do solo para cada área-teste de estudo.

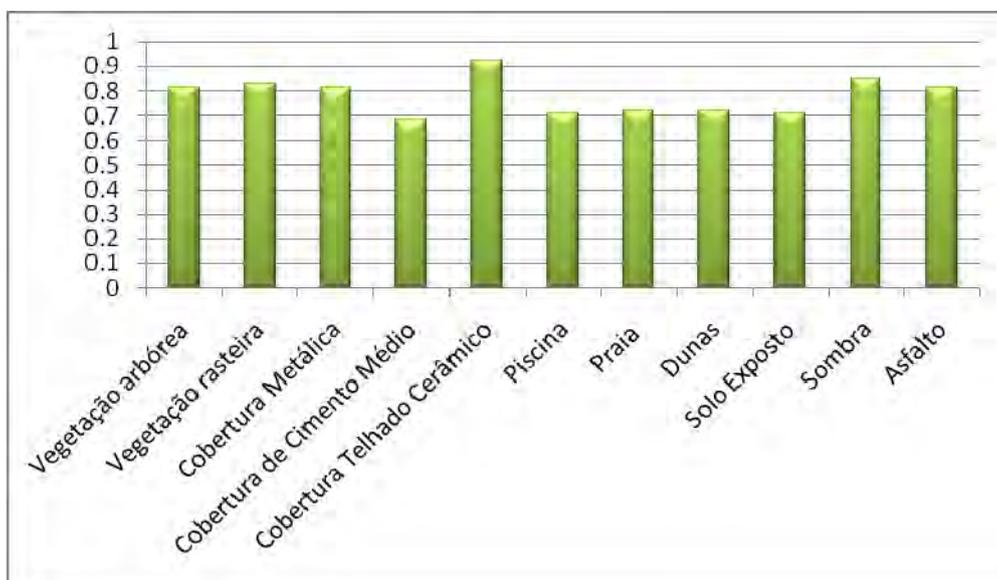


Figura 5.11 - Gráfico dos índices *Kappa* condicional para as classes de cobertura do solo da Área A-Teste I.

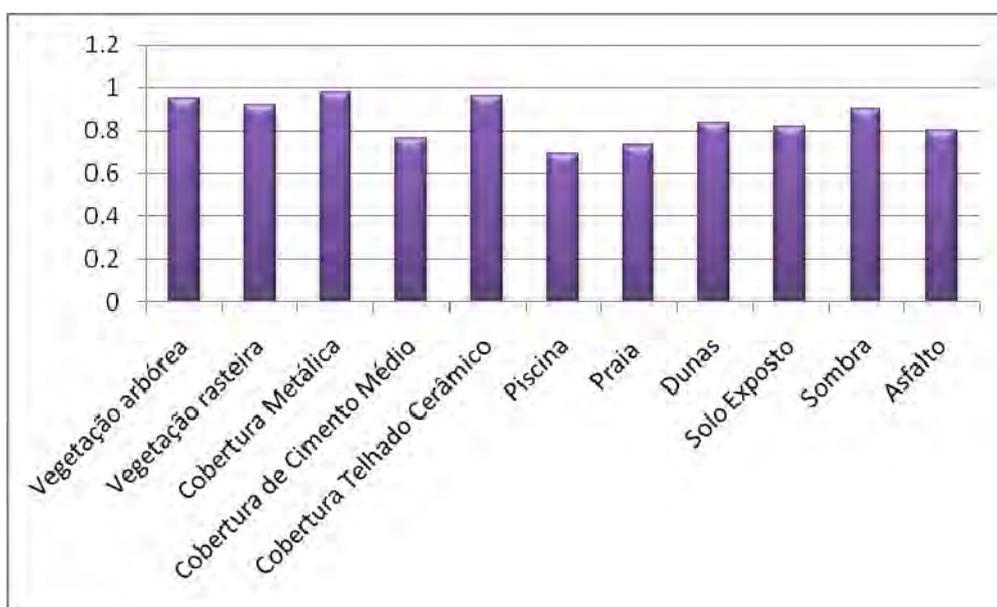


Figura 5.12 - Gráfico dos índices *Kappa* condicional para as classes de cobertura do solo da Área A-Teste II.

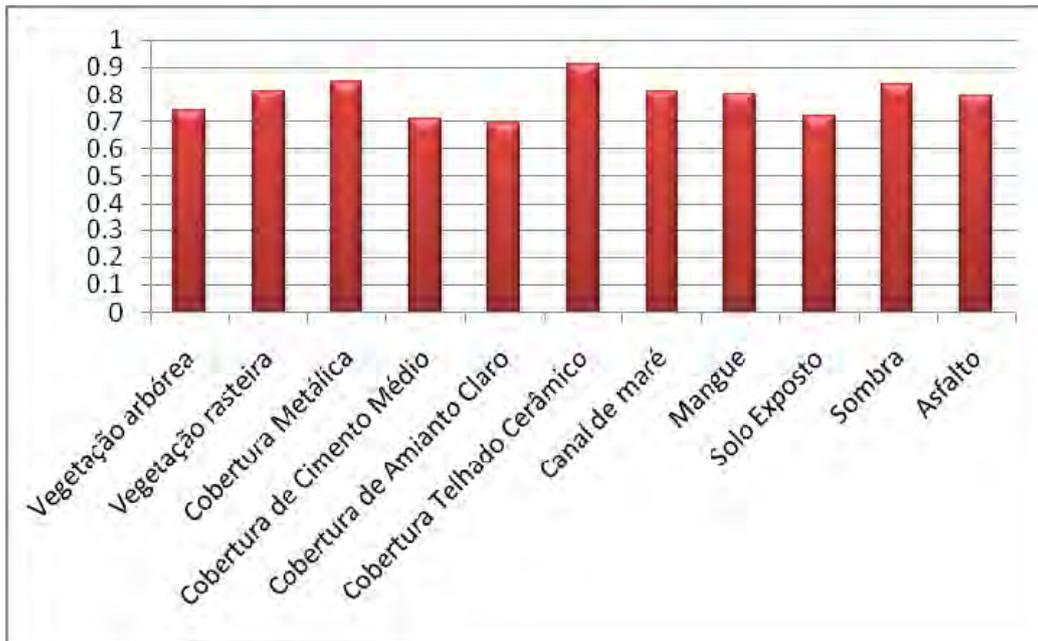


Figura 5.13 - Gráfico dos índices *Kappa* condicional para as classes de cobertura do solo da Área B-Teste I.

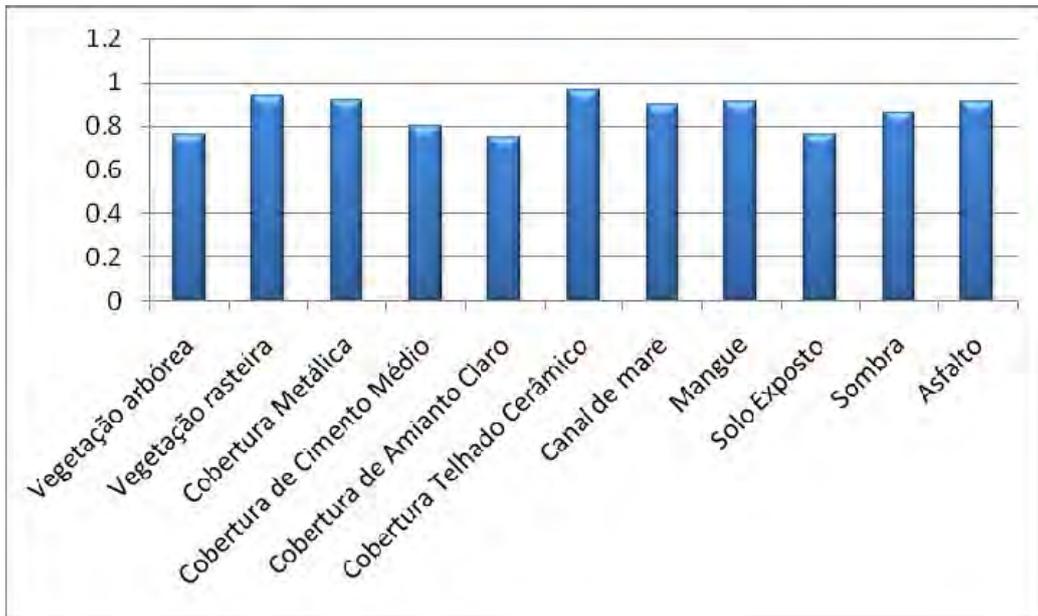


Figura 5.14 - Gráfico dos índices *Kappa* condicional para as classes de cobertura do solo da Área B-Teste II.

De um modo geral para ambas as áreas, os Testes II (no qual foram inseridos os parâmetros de mineração de dados com intervenção do intérprete) obtiveram melhores valores para o índice *Kappa* condicional do que os modelos AI e BI (modelo gerado pelo intérprete com base nos atributos extraídos da análise exploratória simples). Segundo Carvalho (2011), as classes “vegetação arbórea” e “vegetação rasteira”, em relação às demais, caracterizam-se por sua fácil distinção, devido aos altos valores de NDVI, apesar da confusão entre ambas.

Esta capacidade de discriminação vegetal também transparece na extração dos níveis de cinza da imagem para cada um dos tipos de vegetação. Observa-se que os níveis de cinza desses alvos são muito semelhantes, exceto na banda *red edge*, possivelmente pela sutil diferença de absorção da radiação solar pelas diferentes espécies vegetais, refletida no comportamento desta banda espectral.

A banda *Red Edge* (705-745 nm), por estar situada na porção do espectro correspondente ao final da absorção dos comprimentos de onda na faixa do vermelho e no início da reflexão da faixa do infravermelho próximo pela vegetação, é sensível ao diferente comportamento espectral das unidades de vegetação. Portanto, é interessante realizar o cálculo do NDVI utilizando esta banda em substituição à banda do vermelho, normalmente usada em estudos de vegetação.

A classificação dos alvos que consistem de ruas e pontes com asfalto sobre canais de maré, apresentou bons resultados, quando nas regras de decisão foram atribuídos os valores dos limiares referentes à razão contendo a banda *coastal* e atributos contendo a banda *red edge*. A seguir, é apresentado um exemplo dos dois alvos que podem ser confundidos em função da tonalidade em determinados locais de estudo (Figura 5.15).

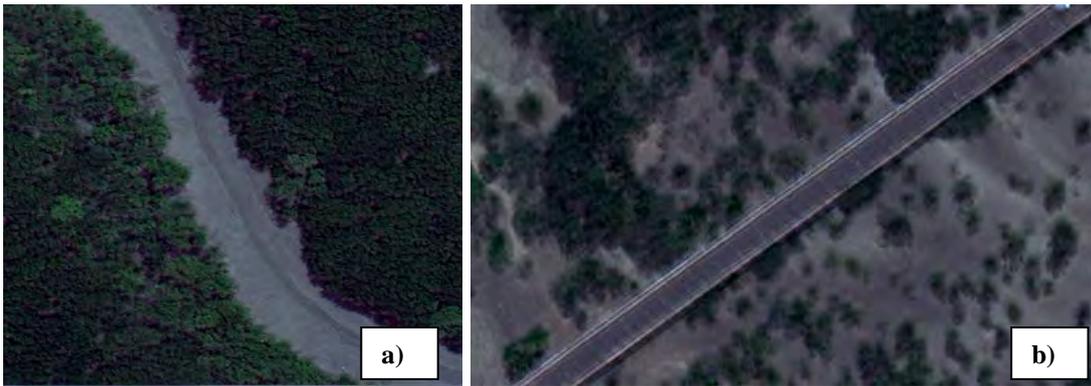


Figura 5.15 – (a) Canais de maré. (b) Ponte com revestimento de asfalto sobre o canal de maré.

As duas áreas classificadas permitiram perceber que as confusões estabelecidas em outras áreas de estudo, tais como: telha cerâmica e solo exposto como Ribeiro (2010) relatou, não foram recorrentes neste estudo de forma específica, tendo a banda *yellow* contribuído para a boa separabilidade do solo exposto, composto de material arenítico e geralmente presente em áreas desmatadas ou preparadas para o início de obras da construção civil.

As áreas de manguezais, ambientes típicos de áreas costeiras e presentes na Área B foram classificadas satisfatoriamente, conforme Figura 5.16, tendo o atributo de textura contribuído na definição das regras de decisão para a identificação de pequenos fragmentos de manguezais separado das demais áreas, onde são encontrados com maior facilidade.



Figura 5.16: Mangue na Área B.

As classificações de uso do solo obtiveram bons índices (Figuras 5.17 e 5.18).

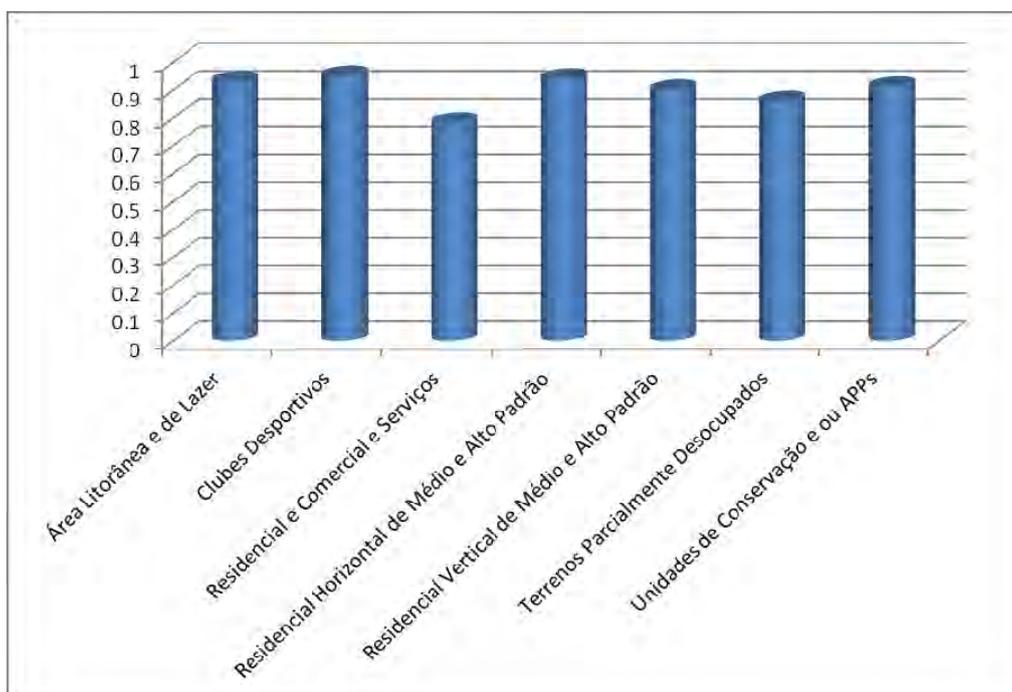


Figura 5.17 - Gráfico dos índices *Kappa* condicional para as classes de uso do solo na Área A.

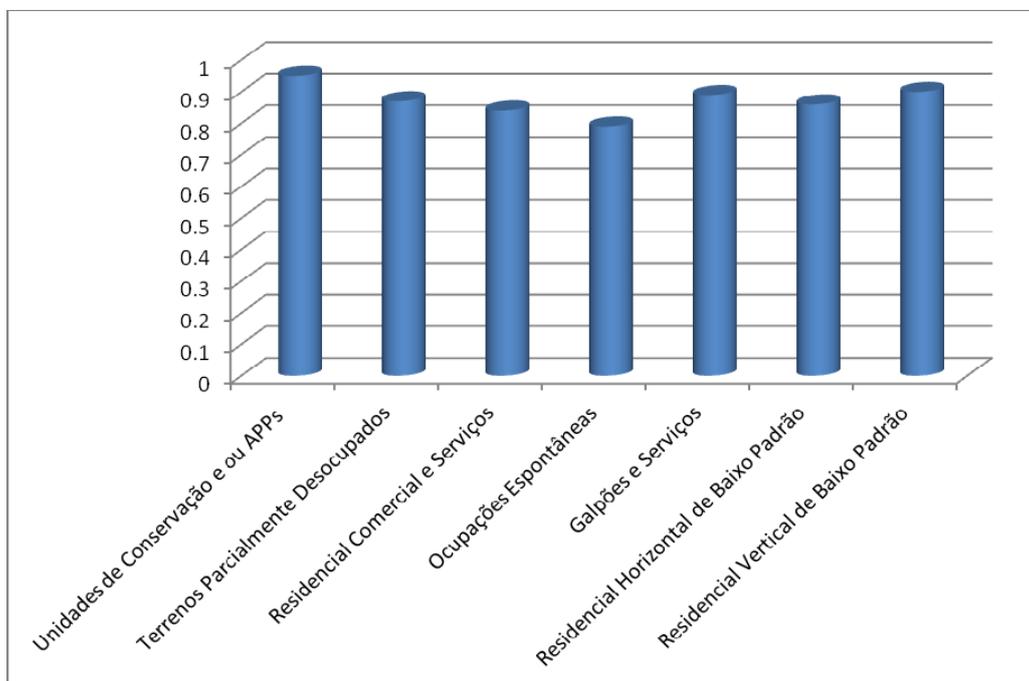


Figura 5.18- Gráfico dos índices *Kappa* condicional para as classes de uso do solo na Área B.

As demais áreas, apesar de não possuírem índices estatísticos de concordância tão elevados se comparadas às demais, também possuem índices aceitáveis. Destaca-se a classe “ocupações espontâneas”, em que, em determinadas circunstâncias torna-se difícil a sua separação, por não estarem em uma quadra enquanto limite definido pelo minerador. Nestes casos, foram utilizados atributos de contexto, como a proximidade com a classe de áreas de proteção “mangue” sendo delimitadas pelo canal de maré, conforme Figuras 5.19 e 5.20. Esta classe apresenta uma maior subjetividade em sua descrição, o que pode ter favorecido tal desempenho (Figuras 5.21 e 5.22).



Figura 5.19: Ocupações próximas ao canal de maré.



Figura 5.20: Ocupações na área de manguezal.

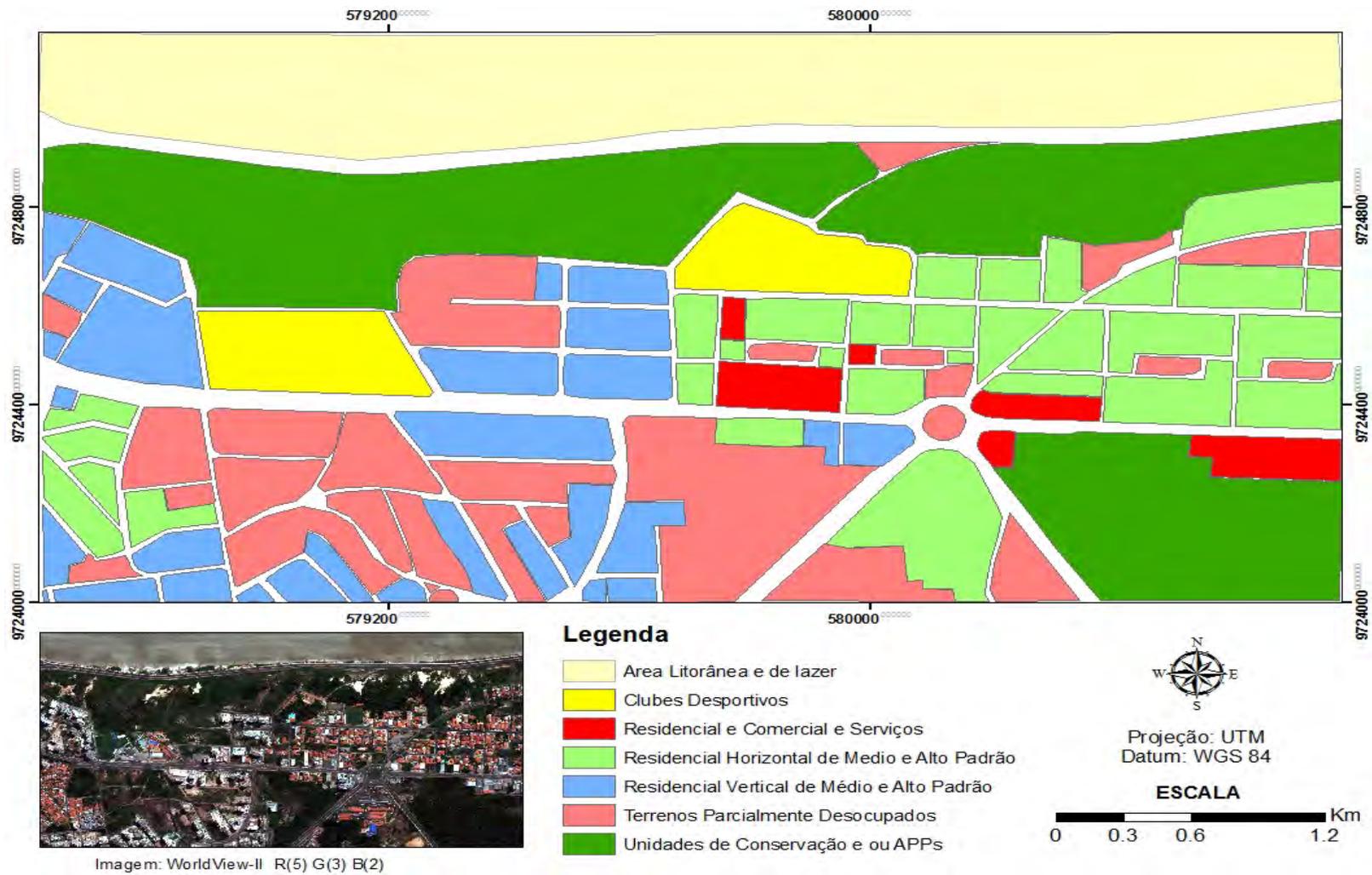


Figura 5.21 - Mapa temático de uso do solo por quadra (Área-Teste A).

Tabela 5.8 - Matriz de confusão para a classificação do uso do solo (Área A).

CLASSES		REFERÊNCIA						TOTAL	
		ALL	CD	RCS	RHMA	RVMA	TPD		UC e APPs
<b>C L A S S I F I C A Ç Ã O</b>	ALL – Área Litorânea e de Lazer	25	0	0	0	0	4	0	29
	CD – Clubes Desportivos	0	4	0	1	0	0	0	5
	RCS - Residencial e Comercial e Serviços	0	0	5	0	0	0	0	5
	RHMA - Residencial Horizontal de Médio e Alto Padrão	0	0	1	5	0	0	0	6
	RVMA- Residencial Vertical de Médio e Alto Padrão	0	0	0	0	10	0	0	10
	TPD – Terrenos Parcialmente Desocupados	4	0	0	0	0	18	0	22
	UC e APPs – Unidades de Conservação e ou APPs	0	0	0	0	0	0	14	14
	<b>TOTAL</b>	29	4	6	6	10	22	14	91
<b>EXATIDÃO GLOBAL: 0,7362 ÍNDICE KAPPA: 0,7924 VARIÂNCIA DO KAPPA: 0,002345</b>									

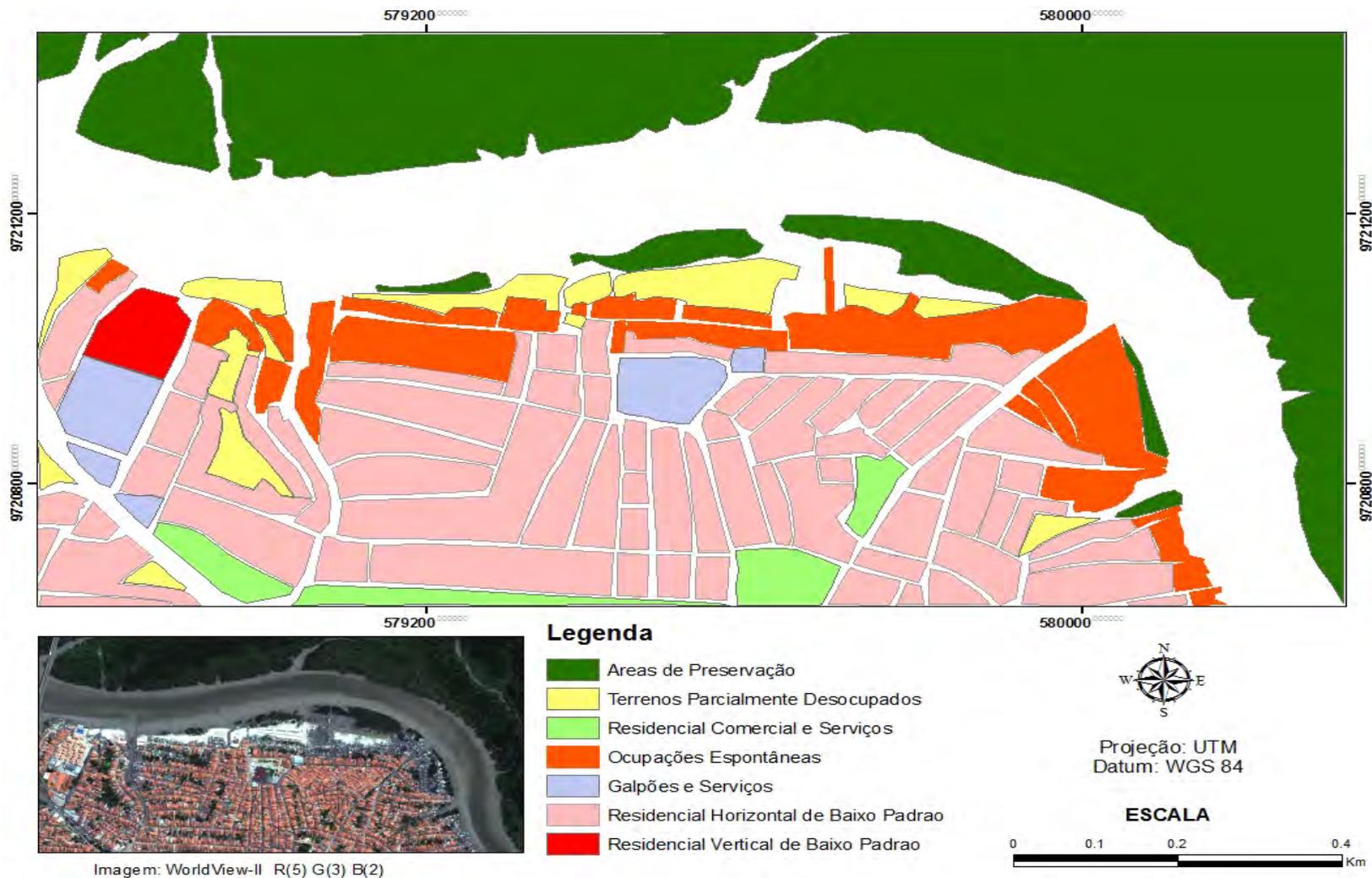


Figura 5.22 - Mapa temático de uso do solo por quadra (Área-Teste B).

Tabela 5.9 - Matriz de confusão para a classificação do uso do solo (Área B).

CLASSES		REFERÊNCIA							TOTAL
		APPs	TPD	RCS	OD	GS	RHBP	RVBP	
C L A S S I F I C A Ç Ã O	APPs – Unidades de Conservação e ou APPs	13	0	0	0	0	0	0	13
	TPD – Terrenos Parcialmente Desocupados	0	6	0	0	0	0	0	6
	RCS – Residencial Comercial e Serviços	0	1	9	0	0	0	0	10
	OD – Ocupações Espontâneas	0	0	0	22	0	5	0	27
	GS - Galpões e Serviços	0	0	0	0	11	0	3	14
	RHBP – Residencial Horizontal de Baixo Padrão	0	0	2	3	0	46	0	51
	RVBP – Residencial Vertical de Baixo Padrão	0	0	0	0	1	3	5	9
	TOTAL	13	7	11	25	12	54	8	130
EXATIDÃO GLOBAL: 0,7116 ÍNDICE KAPPA: 0,7631 VARIÂNCIA DO KAPPA: 0,002148									

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

Um dos objetivos deste trabalho foi a avaliação do desempenho das imagens do satélite WorldView-2 através de técnicas de mineração de dados para o mapeamento da cobertura e do uso do solo urbano em área costeira, utilizando o *software* InterIMAGE, explorando as potencialidades e os métodos da análise baseada em objetos geográficos.

Avaliou-se o uso do modelo de conhecimento elaborado somente pelo especialista, e o modelo com base em técnicas de mineração de dados e intervenção do especialista. Esta hipótese foi testada a partir da avaliação comparativa das classificações das imagens WorldView-2 no *software* InterIMAGE, com a implementação dos parâmetros de mineração de dados gerados a partir do *software* WEKA.

A avaliação do uso do Modelo Rigoroso para a ortorretificação das imagens comprovou a eficiência do modelo e a importância da realização de trabalhos de campo para a coleta de pontos de controle, bem como o uso de um Modelo Digital de Elevação refinado e de modelos que permitam a correção dos aspectos físicos.

A ortoimagem gerada a partir do modelo utilizado sem a inserção de *GCPs* atendeu aos requisitos do PEC na escala 1:5.000 - Classe A. A ortoimagem gerada a partir dos da inserção de *GCPs* atendeu aos requisitos do PEC na escala 1:2.500 - Classe A.

A implementação dos modelos I (geração do modelo de classificação por análise exploratória no *software* InterIMAGE) e II (uso da técnica de mineração de dados por árvores de decisão, buscando um número mínimo de instâncias por folha) demonstrou uma maior otimização e potencialidade na ampliação do conhecimento por parte do modelo em relação ao modelo da análise

exploratória convencional para a classificação de cobertura do solo urbano. Os melhores resultados para a classificação da cobertura foram obtidos com os Testes All e Bll, que utilizaram parâmetros a partir de técnicas de mineração de dados.

As novas bandas do satélite WorldView-2 tornaram a tarefa de encontrar os atributos, limiares e a estruturação da rede mais custosa, recomendando-se a utilização de técnicas de mineração de dados por árvores de decisão para agilizar o descobrimento deste conhecimento e, assim, otimizar o processo de elaboração do modelo e posterior classificação. Na avaliação dos modelos, os bons resultados obtidos podem ser atribuídos às bandas *yellow* e *red-edge*, que permitiram melhorar as regras de decisão e, em consequência, discriminar várias classes.

Conclui-se que as novas bandas espectrais do sensor WorldView-2 auxiliam na discriminação de alvos típicos de áreas urbanas, mesmo quando estes estão situados em áreas costeiras e constituam diferentes “objetos” como dunas, mangues e canais de maré, melhorando a classificação da cobertura do solo de um modo geral e possibilitando a classificação de uso de forma mais rápido e eficaz.

Quanto ao uso do sistema InterIMAGE para a classificação da cobertura e do uso do solo urbano em áreas costeiras, este aplicativo mostrou-se eficiente e uma alternativa eficaz, livre e gratuita para análises de imagens baseadas em objeto. Seus recursos de segmentação permitem a divisão de cenas aproveitando os atributos, de forma que auxiliaram na redução de algumas confusões entre classes de cobertura do solo, porém, o tamanho da área suportada por projeto precisa ser ampliado. Neste trabalho, foram testadas as versões 1.24 e 1.27, tendo a versão 1.24 se apresentado mais estável. Optou-se em determinados momentos por utilizar o *software* no sistema Linux, com apoio do Laboratório de Computação da UFMA, o que permitiu um ritmo mais rápido ao trabalho no que tange ao processamento.

A implementação de uma rede semântica que já considerava uma série de parâmetros obtidos a partir do *software* para mineração de dados *WEKA*, permitiu uma economia de tempo para a análise exploratória dos atributos e limiares, permitindo a sua criação e aplicação neste trabalho.

Os atributos de textura, implementados no *software* InterIMAGE, auxiliaram na separação de algumas classes de cobertura do solo, como o mangue, que possui características espectrais semelhantes a outros tipos de vegetação. Os atributos contextuais auxiliaram na descrição de classes de solo exposto e telhado cerâmico que possuem características semelhantes em determinados pontos da cena.

A técnica de mineração de dados por árvores de decisão facilitou alcançar o principal objetivo deste trabalho, ou seja, a classificação da cobertura e uso do solo urbano, visto que permitiu obter os principais parâmetros que foram incorporados às regras de decisão do *software* InterIMAGE.

Para a Área-Teste B da classificação de cobertura do solo, o uso da banda *costal* foi importante, visto que auxiliou na determinação da regra de decisão que permitiu classificar os Canais de Maré, indicando as áreas alagáveis e servindo de máscara para a classificação de uso do solo da mesma área-teste. Essa banda também auxiliou na separação das classes: “Cobertura Metálica”, “Cobertura de Cimento Escuro” e “Solo Exposto”.

A banda *red-edge* contribuiu nas regras que permitiram a separação dos manguezais de áreas de apicuns classificados como vegetação rasteira na Área-Teste B. Elementos da paisagem, como dunas e áreas de solo exposto, foram identificados a partir de limiares da banta *yellow* em conjugação com atributos de contexto presentes nas regras de decisão.

## 6.1 Recomendações

- a) Utilização dos atributos existentes e proposição de novos atributos, regras de decisão e customização do sistema para outras áreas da Ilha do Maranhão.
- b) Exploração de outros algoritmos disponíveis no *software WEKA* e testes com o *software* livre GEODMA para aplicação em áreas-testes maiores do que aquelas utilizadas neste trabalho.
- d) Ortoretificação das imagens a partir da construção de um modelo de terreno baseado em pares estereoscópicos fornecidos pela empresa DigitalGlobe.
- e) Ampliação e otimização das ferramentas de *display* do *software* InterIMAGE, assim como a elaboração de manual que possua o passo-a-passo, permitindo que a linguagem de interpretação de imagens fornecida pelo sistema possa se expandir ainda mais entre os que estão se iniciando em suas aplicações.
- f) Aplicar o modelo de conhecimento formatado neste trabalho para cenas com datas diferentes, aplicando técnicas de inferência espacial no intuito de indicar o quantitativo de perdas de determinadas classes em um determinado período temporal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB´SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do Estado do Maranhão. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v.3, n. 5, p. 35-45, abr. 1960.
- ALMEIDA, C.M.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (Org(s)). **Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.368p.
- ALMEIDA, C. M. ; SOUZA, I. M. E. ; ALVES, C. D. ; PINHO, C. M. D. ; PEREIRA, M. N.; FEITOSA, R. Q. Multilevel object-oriented classification of quickbird images for urban population estimates. In: ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (ACM GIS 2007), 15., 2007, Seattle, Washington, EUA. **Proceedings...** Miami, Florida, EUA : University of Florida, 2007.
- ALVES, C. D. PEREIRA, M. N. ALVES, H. P. F. MONTEIRO, A. M.V. Caracterização intra-urbana das áreas de expansão periféricas e periurbanas da Região Metropolitana de São Paulo com o uso de imagens de alta resolução espacial visando espacializar as áreas de vulnerabilidade socioambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 561-568. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15805-PRE/10415). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.01.13>>. Acesso em: 07 ago. 2012
- ANDRADE, A. F.; BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S. Classificação de imagens de alta resolução integrando variáveis espectrais e forma utilizando redes neurais artificiais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 265-272. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.14.55>>. Acesso em: 18 out. 2012.
- ANTUNES, A. F. B.; CORTESE, S. C. Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de análise orientada a objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 481-487. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.14.10>>. Acesso em: 18 out. 2012.

ARAÚJO, E. H. G. **Análise multi-temporal de cenas do satélite quickbird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais. Estudo de caso:** Belo Horizonte, MG. 2006. 175 p. (INPE-13956-TDI/1062). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.24.19.43>>. Acesso em: 18 out. 2012.

ARAÚJO, E. H. G.; KUX, H. J. H.; FLORENZANO, T. G. Ortoretificação de imagens do satélite QuickBird para aplicações urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60/02, n. 2, p. 205-213. Agosto de 2008.

ARAÚJO, E.H.G.; IBANEZ, D.M.; FONSECA, L.M.G.; KUX, H.J.H. Método de correção do efeito flare em imagens do satélite QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos; INPE, 2007. P.5561-5568. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16252-PRE/10832). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.09.11.50>. Acesso em: 03 abril 2012.

BAATZ, M.,HOFMANN, C., WILLHAUCK, G. Progressing from object-based to object-oriented image analysis. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J. (Eds.), **Object based image analysis**. Berlin: Springer, Heidelberg, 2006. p. 29-42.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. GRIESEBNER, G. (orgs.) **Angewandte geographische Informationsverarbeitung XII**. Beiträge zum AGIT Symposium Salzburg 2000. Wichmann Verlag, 2000. p. 12 – 23.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. (eds.). **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**. Beiträge zum AGIT Symposium Salzburg 2000. Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12 – 23.

BARNESLEY, M. J.; MOLLER-JENSEN, L.; BARR, S. L. Inferring urban land use through spatial and structural pattern recognition. In: DONNAY, J. P.; BARNESLEY, M. J.; LONGLEY, P. A. (eds.). **Remote Sensing and Urban Analysis -GISDATA 9**. Londres: Taylor and Francis, 2001. p. 115-144.

BENZ, U. C.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 58, n. 3-4, p. 239-258, 2004.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 65, p. 2-16, ago 2010.

BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2ª ed. 303 p.

BOGGIONE, G.A.; FONSECA, L.M.G.; CARVALHO, L.A.S.; PONZONI, F.J. Image restoration and its impact on radiometric measurements. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 20. (IGARSS), 25-30 jul 2010, Honolulu, Hawaii, EUA. **Proceedings...** 2010. CD-ROM.

BRATASANU, D. Bridging the gap between research and operations - a worldview of the environment. In: GEOSPATIAL WORLD FORUM 2011 - DIMENSIONS AND DIRECTIONS OF GEOSPATIAL INDUSTRY, 18-21 January 2011, Hyderabad, India. **Proceedings...** Disponível em: [http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge\\_winners.jsp](http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge_winners.jsp) . Acesso em 10 de Abril de 2012.

BÜCKNER, J.; STAHLHUT, O.; PAHL, M.; LIEDTKE., C.-E. GeoAIDA - A knowledge based automatic image data analyzer for remote sensing data. In: INTERNATIONAL ICSC CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE: METHODS & APPLICATIONS, 2. 2001, Bangor, Wales, United Kingdom. **Proceedings...** Millet, Alberta: ICSC, 2001. p.19-22

CAMARGO, F. F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/TERRA**. 2008. 171 p. (INPE-15253-TDI/1339). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.17.19.50>>. Acesso em: 18 out. 2012.

CARVALHO, M. V. A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens Worldview-2 utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. 2011. 201 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/09.05.20.27-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3ACT3BL>>. Acesso em: 18 out. 2012.

CHEN, C. RINSURONGKAWONG, V, CHRISTOPH, F.; MICHAEL, D. Change analysis in spatial data by combining contouring algorithms with supervised density functions. In: ADVANCES IN KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING – 13TH PACIFIC-ASIA CONFERENCE (PAKDD 2009). **Proceedings...** (LNAI 5476), p. 907–914, 2009.

CHENG, P.; T, T.; ZHANG, Y.; W, M. QuickBird – geometric correction, path and block processing and data fusion. **EOM**, v. 12, n. 3, p. 24-30, May 2003.

COHEN, J.A. Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, n. 20, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G.; GREEN, R. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. 137 p.

CORDEIRO, E.C; DINIZ, J. Região metropolitana da Grande São Luís: sua(s) constituição(ões) e atuais dilemas para gestão intergovernamental. **Ciências Humanas em Revista**, v.7, n.2, São Luis/MA, 2009 - ISSN 1678-81.

COSTA, G. A. O. P. **A knowledge-based approach for automatic interpretation of multirate remote sensing data**. 2009. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, R. F., MAGALHÃES, A. M. W. Avaliação de imagem IKONOS GEO ortorretificada para utilização do cadastro técnico municipal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. InterIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA E V COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 24-27 jul 2007, Presidente Prudente, Brasil. **Anais...**Presidente Prudente: UNESP, 2007. 2. ed. p. 735-739. Disponível em: <[http://www.lvc.ele.puc-rio.br/users/raul\\_feitosa/publications/2007/InterIMAGE.pdf](http://www.lvc.ele.puc-rio.br/users/raul_feitosa/publications/2007/InterIMAGE.pdf)> . Acesso em: 21 fev 2012.

COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B.; FERREIRA, R. S.; CASTEJON, E. F. Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the interimage system: major characteristics and recent developments g. In: GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS CONFERENCE (GEOBIA 2010), 2010, Gent. **Proceedings...** 2010. v. 38-4/C7. ISSN 1682-1777.

DASH, M.; LIU, H. Feature selection for classifications. **Intelligent Data Analysis: An International Journal**, v.1, p.131–156, 1997.

DEÁK, C. **À busca das categorias da produção do espaço**. 289 p. 2001.

Tese (Doutorado em Filosofia) – Cambridge University, Cambridge, 1985.

Disponível em:

[http://www.usp.br/fau/docentes/deprojeto/c\\_deak/CD/3publ/01LD-categ/MC5-esp.pdf](http://www.usp.br/fau/docentes/deprojeto/c_deak/CD/3publ/01LD-categ/MC5-esp.pdf). Acesso em: 22 dez. 2011.

DEFINIENS Imaging GMBH. **Definiens developer 7** - reference book.

München, Alemanha: Definiens (The Imaging Intelligence Company), 2007. 195 p.

DI GREGORIO, A. **Land cover classification system (LCCS), version 2** –

classification concepts and user manual. Rome: FAO, 2005. 208 p. ISBN 92-05-10-5327-8.

DIGITAL GLOBE. **WhitePaper** – the benefits of the 8 spectral bands of WorldView-II. Março, 2010a. Disponível em:

[http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2\\_8-Band\\_Applications\\_Whitepaper.pdf](http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf) . Acesso em: 20 de Agosto de 2010.

DIGITAL GLOBE. **Spectral response for digitalglobe worldview 1 and worldview 2 earth imaging instruments**. 2010b. Disponível em:

[http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WV1\\_WV2\\_SpectralResponse.pdf](http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WV1_WV2_SpectralResponse.pdf) Acesso em: 19 Out 2011.

EHLERS, M. Sensoriamento remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (eds.) **Sensoriamento remoto e SIG avançados** -novos sistemas sensores: métodos inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2ª ed. 303 p. Cap. 2, p. 19-38.

ESPIG, S. A.; REIS, I. A.; ARAÚJO, E. P. Identificação do ecossistema mangue na Ilha do Maranhão através de técnicas de classificação utilizando imagens do sensor CCD-CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5731-5737. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16352-PRE/10930). Disponível em:

<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.34>>. Acesso em: 19 out. 2012.

ESPÍRITO SANTO, M. (Org). **São Luís**: uma leitura da cidade. Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade, São Luís: IPPC, 2006. 259 p.

FEITOSA, A. C. O programa Grande Carajás como indutor de processos de Globalização na Amazônia Oriental. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA (EGAL), 12., 2007, Bogotá. **Anales...** EGAL, 2007.

Trabalhos completos, p. 2415-2430. CD-ROM, Online. ISBN 78-14-00012-3. Disponível em:<http://www.egal2007.com/> .Acesso em: 03 abr. 2012.

FEITOSA, A. C. **Morfodinâmica da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão**. In: In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 7., 1997, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: UNESP, v. 1: 45-47. 1997.

FEITOSA, A.C.; CHRISTOFOLETTI, A. C. F. E. A. Caracterização geomorfológica das praias do litoral norte do município de São Luís Ma. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1993. v. 1: 231-236. 1993.

FEITOSA, R. Q.; MATTOS, C.; SANTOS, R. V.; REGO, L. F. G.; PEREIRA, A. A. C. Impacto de técnicas baseadas em conhecimento na análise de imagens de média resolução para mapeamento do desflorestamento na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4065-4072. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.18.14>>. Acesso em: 22 out. 2012.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de carta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

Geographical Data Mining Analysis (GEODMA). Desenvolvido por Thales Korting. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geodma/?lingua=portugues> . Acesso em: 02 nov 2011

GEOIMAGE. **See the world as never before: WorldView-2 satellite imagery in 8 bands**. 2010. Disponível em: [www.geoimage.com.au](http://www.geoimage.com.au)

GERCO. GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense** – diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís: estudo sócio-econômico e cultural. São Luís: Coordenadoria de Programas Especiais/Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro, 1998.

GERÇEK, D. **Object-based classification of landforms based on their local geometry and geomorphometric context**. 2010, 202 p. Tese de doutorado in Geodetic and Geographic Information (Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University).

GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E. **Data mining** - um guia prático. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 257 p. ISBN (85-352-1877-7).

HALL, M.; FRANK, E.; HOLMES, G.; PFAHRINGER, B.; REUTEMANN, P.; WITTEN, I. H. The WEKA Data mining Software: An Update; **SIGKDD Explorations**, v. 11, n. 1, 2009.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Object-based image analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats 1<sup>st</sup> (SWOT). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA'06), 4-5 July 2006, Salzburg, Austria. **Proceedings...** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVI-4/C42. Salzburg: Universität Salzburg, 2006. (CD-ROM).

HEROLD, M.; SCEPAN, J.; MÜLLER, A.; GÜNTHER, S. Object-oriented mapping and analysis of urban land 22nd use/cover using IKONOS data. In: EARSEL SYMPOSIUM GEOINFORMATION FOR EUROPEAN-WIDE INTEGRATION, 4-6 June 2002, Prague, República Tcheca. **Proceedings...** Praga: Mill Press, 2002. Disponível em: [http://www.eo.uni-jena.de/~c5hema/pub/earsel\\_herold\\_mueller\\_guenther\\_scepan.pdf](http://www.eo.uni-jena.de/~c5hema/pub/earsel_herold_mueller_guenther_scepan.pdf). Acesso em: 3 fev 2012.

HEROLD, M.; GOLDSTEIN, N. C.; CLARKE, K. C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 286-302, 2003.

HOFMANN, P.; STROBL, J.; KUX, H. J. H. Detecting Informal Settlements From Quickbird Data In Rio De Janeiro Using An Object Based Approach. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.) **Object-based image analysis – spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications**. Berlin: Springer- Verlag, 2008. 817 p. Cap. 6.1, p. 531-553.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Regiões de Influência das Cidades 2007**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 jan 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2010 - resultados iniciais**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm> Acesso em: 10 jan 2012.

INTERIMAGE. **InterIMAGE – Interpreting images freely**. Desenvolvido por Laboratório de Visão Computacional da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.lvc.ele.pucRio.br/projects/interimage/> Acesso em 15 jan 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraLib. Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Divisão de Processamento de Imagens). São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terralib/> Acesso em: 22 jan 2012.

ITT Visual Information Solutions. **ENVI 4.7, version 4.7**. Boulder, Colorado, EUA, 2009.

JACQUIN, A.; MISAKOVA, L.; GAY, M. A hybrid object-based classification approach for mapping urban sprawl in periurban environment. **Landscape and Urban Planning**, v. 84, n. 2, p. 152-165, fev 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p. Tradução do original inglês: Remote Sensing of the Environment: an Earth resource perspective.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socioeconomic attributes. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 65, n. 5, p. 611-622. Mai 1999.

KERR, J.M. Worldview-02 offers new capabilities for the monitoring of threatened coral reefs. In: GEOSPATIAL WORLD FORUM 2011 - DIMENSIONS AND DIRECTIONS OF GEOSPATIAL INDUSTRY, 18-21 January 2011, Hyderabad, India. **Electronic Proceedings...** Disponível em: [http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/\\_8bandchallenge\\_winners.jsp](http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/_8bandchallenge_winners.jsp) .

KOHAVI, R.; JOHN, G. Wrappers for feature subset selection. **Artificial intelligence, special issue on relevance**, v. 97, n.2, p. 273–324, 1997.

KONG, C., XU, K., WU, C. Classification and extraction of urban land-use information from high-resolution image based on object multi-features. **Journal of China University of Geosciences**, v. 17, n. 2, p.151-157. 2006.

KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S.; CÂMARA, G. GeoDMA: um sistema para mineração de dados de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7813-7820. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.17/doc/7813-7820.pdf>. Acesso em: 02 Fev 2011.

KUX, H. J. H.; ARAÚJO, E. H. G. Object-based Image Analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil). In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.) **Object-based image analysis – spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 817 p. Cap. 6.3, p. 571-588.

KUX, H. J. H.; NOVACK, T.; FERREIRA, R. OLIVEIRA, D. A. Urban land cover classification using optical vhr data and the knowledge-based system InterIMAGE. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. 2010. Vol. XXXVIII-4/C7.

LEONARDI, F.. **Abordagens cognitivas e mineração de dados aplicadas a dados ópticos orbitais e de laser para a classificação de cobertura do solo urbano**. 2010. 164p. (INPE-16708-TDI/1648). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/376H8M2>>. Acesso em: 02 jan. 2012.

LIEDTKE, C. E.; BÜCKNER, J.; GRAU, O.; GROWE, S.; TÖNJES, R. AIDA: a system for the knowledge based interpretation of remote sensing data. In: INTERNATIONAL AIRBORNE REMOTE SENSING CONFERENCE & EXHIBIT, 3., 1997, 7-10 July 1997, Copenhagen, Denmark. **Proceedings...** Willow Run, ERIM -Environmental Research Institute of Michigan, AGU, 1997. p. 313-320. Disponível em: <ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/pub/papers/1997/IARSC-CELJBOGSGRT.pdf>. Acesso em: 10 dez 2011.

MARANHÃO. **Lei Complementar Nº69**. Diário Oficial [do] Estado do Maranhão. 2003.

MARCELHAS E SOUZA, I.; PEREIRA, M.N.; FONSECA, L.M.G.; KURKDJIAN, M.L.N.O. Mapeamento do uso do solo urbano através da classificação por regiões baseada em medidas texturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (CBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. P.1967-1968. CD-ROM. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16180-PRE/10783). Disponível em:<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.15.20>. Acesso em: 20 de mar de 2012.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: na introduction**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. 3242 p.

NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quickbird**. 2009. 214p. INPE-16594-TDI/1580. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18%4080/2009/08.31.21.23/doc/publicacao.pdf> Acesso em: 15 fev 2012.

NOVACK, T; KUX, H.J. Urban land cover and land use classification of an informal settlement area using the open-source knowledge-based system InterIMAGE. **Journal of Spatial Science**, v. 55, n. 01, 2010. p. 33-41.

NOVACK, T.; ESCH, T.; KUX, H.J.H.; STILLA, U. **Machine Learning Comparison between WorldView-2 and QuickBird-2 simulated imagery regarding object-based urban land cover classification**. Remote Sensing, v. 3, p. 2263-2282, 2011.

PADILHA, R. C. B. L. A.; KURKDJIAN, M. L. N. O. Aplicação da Técnica de Segmentação em Imagens HRV/SPOT para a Discriminação dos Vazios Urbanos. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14-19 abr 1996, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1978. p. 241-246. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.28.10.29/doc/T80.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2012.

PADWICK, C.; DESKEVICH, M.; PACIFICI, F. SMALLWOOD, Scott. Worldview-2 Pan Sharpening. In: ASPRS Annual Conference, 2010, San Diego. **Proceedings...** San Diego, California, 2010.

PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 2003. Dissertação (Doktor-Ingenieur em Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação). Universidade de Hannover, Hannover, Alemanha, 2003. Tradução: KUX, H. J. H.; FEITOSA, R. Q. 2008. 93 p. INPE-15211-TAE/71. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm17%4080/2008/03.07.18.31/doc/publicacao.pdf> . Acesso em: 16 out 2011.

PAL, N.; PAL, S. A review on image segmentation techniques. **Pattern Recognition**, v. 26, n.9, p.1277-1294, 1993.

PCI GEOMATICS ENTERPRISES INC. **PCI Geomatica-10, version 10.3.1**. Richmond Hill, Ontário, Canadá, 2010.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intraurbano: o caso de São José dos Campos**. 2005. 180 p. INPE-14183-TDI/1095. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/MTCm13@80/2005/11.23.13.40> . Acesso em: 15 jan 2012.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21 abr 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4225-4232. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.20.14/doc/4225.pdf> . Acesso em: 10 out 2011.

PINHO, C. M. D.; KUX, H.; ALMEIDA, C. M. Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos -SP, Brasil. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 21-26 abr 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 637-644. Disponível em: <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.54.40/doc/637-644.pdf> Acesso em: 10 de fev de 2012.

PINHO, C. M. D.; CASTEJON, E. F.; KORTING, T. S.; OLIVEIRA, D. A. B.; COSTA, G. A. O. P.; FONSECA, L. M. G.; FEITOSA, R. Q. Caracterização de bairros urbanos em imagens de alta resolução espacial utilizando sistema de classificação baseado em conhecimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7885-7892. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15985-PRE/10594). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.15.53>>. Acesso em: 22 out. 2012..

PINHO, C.M.D.; FONSECA, L.M.G.; KORTING, T.S.; ALMEIDA, C.M.; KUX, H.J.H. Land-cover classification of an intra-urban environment using high-resolution images and object-based image analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, p. 5973-5995, 2012.

PRADO, F.A. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. 2009. 167 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), . Presidente Prudente, 2009.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Estatuto da Cidade**. Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 9 fev 2012.

QUINLAN, R. **C4.5: programs for machine learning**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993. 316p.

REIS, N. G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Via das Artes, 2009. 201p.

RIBEIRO, B.M.G. **Avaliação de Imagens Worldview-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 2010. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19%4080/2010/08.03.12.52.20/doc/publicacao.pdf> Acesso em: 21 de Mar 2012.

RIBEIRO, B.M. G.; FONSECA, L.M.G. ; KUX, H.J.H. . **Mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando imagens WorldView-II e o Sistema InterIMAGE**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 63, p. 51-63, 2011.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, p.223–227. 1986.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006. 520 p.

SANTOS, R. **Weka na munheca**: um guia para uso do weka em scripts e integração com aplicações em Java. Disponível em: <<http://www.lac.inpe.br/~rafael.santos/Docs/CAP359/2005/weka.pdf>>. 2005 Acesso em 10 fev 2012.

SÃO LUÍS. Lei Nº 4.669. Diário Oficial do Município, 2006

\_\_\_\_\_. Lei Nº 3.253. Diário Oficial do Município, 1992.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote Sensing**: models and methods for image processing. 3. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515 p.

SILVA, C. DELVALLSC, T.A. MARTÍN-DÍAZC, M.L. Environmental monitoring and mapping in a tidal salt marsh creek affected by fish aquaculture using Worldview-2 multispectral imagery. In: GEOSPATIAL WORLD FORUM 2011, 2011, Hyderabad, India. **Electronic Proceedings...** Dimensions and Directions of Geospatial Industry, 18-21 January 2011,. Disponível em: [http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge\\_winners.jsp](http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge_winners.jsp)

SOUZA, M. L. **Um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 368p.

SOUZA, U.D.V.; FEITOSA, A.C. Ocupação e uso da zona costeira do Estado do Maranhão. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA (EGAL), 12.,2009, Montevideu. **Anais...** 2009. Trabalhos completos, p. 2415-2430. CD-ROM, On line. ISBN 78-14-00012-3. Disponível em:<<http://www.egal2009.com/>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

SOUZA, U. D. V.; ALFAYA, F. A. V. S.; KUX, H. J. H. Contribuição das novas bandas espectrais do satélite Worldview-II para a classificação de tipos vegetais em habitats costeiros: resultados iniciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 9040-9047. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFRTRW/3A58J35>>. Acesso em: 22 out. 2012.

SOUZA, I. M. E. ; ALVES, C. D. ; ALMEIDA, C. M. ; PINHO, C. M. D. Caracterização socioeconômica do espaço residencial construído utilizando imagens de alta resolução espacial e análise orientada a objeto. **Geografia** (Londrina), v. 16, p. 119-142. 2007.

STOW, D.; LOPEZ, A.; LIPPITT, C.; HINTON, S.; WEEKS, J. Object-based classification of residential land use within Accra, Ghana based on QuickBird satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 5167–5173, 2007.

TAUBENBÖCK, H.; ESCH, T.; WURM, M.; DECH, S. Object-based feature extraction using high spatial resolution satellite data of urban areas. **Journal of Spatial Science**, v. 55, n. 01, p. 117-132. 2010.

TERRAIDA. TerraAIDA - InterIMAGE Operators. 2010. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terraida>

TOMÁS, L. R. **Inferência populacional urbana baseada no volume de edificações residenciais usando imagens IKONOS-II e dados LiDAR**. 2010. 130p. (INPE-16712-TDI/1651). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2010. Disponível em:< <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/03.18.18.21/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em 15 nov 2011.

TOUTIN, T.; Review article: geometric processing of remote sensing images: models, Algorithms and Methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1893-1924, May 2004.

VADUVA, C. Latent dirichlet allocation for spatial analysis of very high resolution satellite images. In: GEOSPATIAL WORLD FORUM - DIMENSIONS AND DIRECTIONS OF GEOSPATIAL INDUSTRY, 2011, 18-21 January 2011, Hyderabad, India. Disponível em: [http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge\\_winners.jsp](http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge_winners.jsp).

WALD, L.; RANCHIN, T.; MANGOLINI, M. Fusion of satellite images of different spatial resolutions: assessing the quality of resulting images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, n. 6, pp. 691-699, 1997.

WELCH, R.; W. EHLERS. Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 53 n.3, p. 301-303, 1987.

WEKA. **Data mining software in java**. 2011. Desenvolvido pela Universidade de Waikato. Disponível em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> . Acesso em 5 dez 2011.

WENG, Y. C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. **Landscape and Urban Planning**. v. 81, n.4, p.341-353, jul. 2007.

WITLOX, F. Expert systems in land-use planning: an overview. **Expert Systems with Applications**, v. 29, n. 2, p. 437-445, 2005.

WITTEN, I.; FRANK, E. **Data mining**: practical machine learning tools and techniques. 2. Ed. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2005. 524 p.

WU, Q.; LI, H.; WANG, R.; PAULUSSEN, J.; HE, Y.; WANG, M.; WANG, Z. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. **Landscape and Urban Planning**, v. 78, p. 322-333, 2006.

YU, L.; LIU, H. Feature selection for high-dimensional data: a fast correlation based filter solution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING (ICML-2003), 20., 2003, Washington. **Proceedings...** Washington DC: [s.n.], 2003. Disponível em: <http://www.hpl.hp.com/conferences/icml2003/papers/144.pdf> Acesso em: 03 Ago de 2011

ZHANG, Y. J. Understanding image fusion. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 70, n.6, p. 657-661, 2004.

## APÊNDICE A

A Tabela A1 - Resultado dos pontos GNSS pós-processados após a etapa de campo e utilizados como ICPs na validação da ortorretificação.

Número	Coordenadas			Precisão		Tempo de Coleta	PDOP	RMS
	Lat	Long	Alt Elip (m)	horizontal	vertical			
01X	2°30'13,18361"S	44°19'03,80622"W	-20,158	0,016	0,027	01:00:15	2,292	0,031
05	2°29'59,61622"S	44°18'36,88779"W	-20,217	0,015	0,025	01:02:15	1,721	0,030
07X	2°29'29,24636"S	44°18'21,00646"W	-17,938	0,022	0,054	01:00:15	2,447	0,058
09	2°29'17,21228"S	44°17'33,46366"W	-18,468	0,017	0,028	00:54:30	2,082	0,033
11	2°29'20,61860"S	44°16'18,61824"W	0,434	0,011	0,025	01:00:30	2,493	0,027
12	2°29'10,99889"S	44°16'04,15267"W	-10,379	0,014	0,030	00:50:00	2,092	0,033
02	2°30'09,08855"S	44°18'49,67211"W	-19,075	0,017	0,032	00:51:15	1,967	0,036
06	2°29'49,92197"S	44°18'29,79552"W	-19,567	0,021	0,036	01:00:00	2,510	0,042
08	2°29'28,25399"S	44°17'42,04711"W	-14,817	0,013	0,029	00:57:00	2,250	0,031
10X	2°29'23,47567"S	44°16'52,32477"W	4,762	0,010	0,021	01:12:45	2,634	0,023
13	2°29'05,67545"S	44°15'52,36708"W	-14,523	0,013	0,027	00:54:30	2,161	0,030
16X	2°28'58,30861"S	44°14'43,56927"W	-17,869	0,013	0,028	00:51:45	2,148	0,030
17	2°30'07,83646"S	44°18'18,78046"W	-17,019	0,014	0,032	00:51:00	2,537	0,035
20	2°29'47,05906"S	44°17'14,04328"W	-3,389	0,013	0,019	01:14:45	2,515	0,022
21	2°29'52,39360"S	44°16'35,29762"W	-9,349	0,010	0,025	00:59:15	2,387	0,027
22	2°29'37,91398"S	44°15'42,33861"W	-11,450	0,013	0,027	00:50:45	2,262	0,030
27	2°30'24,48691"S	44°17'47,26527"W	-11,179	0,016	0,029	00:50:15	1,970	0,033
14X	2°29'00,76196"S	44°15'08,13634"W	-18,140	0,013	0,028	00:51:00	2,894	0,031
18	2°29'53,82158"S	44°17'39,19410"W	-21,123	0,016	0,027	00:54:00	1,806	0,032
21X	2°29'37,16453"S	44°16'43,90047"W	9,304	0,015	0,028	00:51:30	2,193	0,032
25	2°30'30,16909"S	44°18'13,00197"W	-8,174	0,014	0,030	00:50:45	2,457	0,033
32	2°29'18,50841"S	44°14'49,55321"W	-1,372	0,014	0,026	00:51:00	1,990	0,030
32X	2°29'24,82553"S	44°15'17,19653"W	-9,607	0,011	0,028	00:51:30	2,411	0,030
104	2°29'27,40629"S	44°13'48,29149"W	-5,914	0,011	0,025	00:52:30	2,411	0,027
23	2°29'19,95541"S	44°14'22,03420"W	-10,778	0,013	0,027	00:50:15	2,559	0,030

Número	Coordenadas			Precisão		Tempo de Coleta	PDOP	RMS
	Lat	Long	Alt Elip (m)	horizontal	vertical			
105	2°31'02,62280"S	44°13'32,46215"W	6,587	0,013	0,021	00:46:45	2,003	0,025
34	2°31'06,01407"S	44°18'16,78322"W	- 19,513	0,015	0,028	00:50:45	1,767	0,032
35	2°30'52,80635"S	44°17'44,82898"W	- 20,194	0,014	0,028	00:49:45	2,071	0,032
36	2°30'43,12900"S	44°17'20,24497"W	- 13,633	0,014	0,028	00:49:45	2,543	0,031
74	2°31'57,63911"S	44°18'24,65287"W	- 19,722	0,011	0,022	01:02:00	1,966	0,025
75	2°31'35,83076"S	44°18'25,04728"W	- 19,501	0,014	0,029	00:49:45	2,422	0,032
78	2°31'31,17748"S	44°18'10,27807"W	- 20,607	0,015	0,027	00:50:30	2,739	0,031
68	2°32'35,20975"S	44°17'58,97723"W	- 17,870	0,012	0,024	00:52:45	2,135	0,026
69	2°33'02,75543"S	44°17'07,80232"W	- 19,900	0,009	0,023	00:47:00	2,776	0,025
70	2°32'30,92044"S	44°17'24,74972"W	- 21,284	0,012	0,022	00:51:00	1,786	0,025
72	2°32'14,02887"S	44°18'07,30779"W	- 19,236	0,012	0,026	00:51:30	2,553	0,028
87	2°32'33,31442"S	44°16'27,79750"W	0,426	0,013	0,024	00:41:00	2,050	0,027
88	2°32'15,17163"S	44°16'19,59533"W	- 19,553	0,010	0,021	00:49:00	2,421	0,023
94X	2°33'28,31947"S	44°15'30,60847"W	- 18,148	0,010	0,017	00:41:30	2,030	0,020
42	2°29'54,50240"S	44°14'47,95977"W	-0,992	0,012	0,024	00:52:00	2,181	0,027
47	2°30'13,16491"S	44°14'23,77495"W	19,287	0,013	0,021	00:52:45	1,959	0,025
52	2°30'41,85241"S	44°14'28,37731"W	12,906	0,012	0,021	00:50:00	2,123	0,024
60	2°31'28,71684"S	44°14'36,74161"W	6,341	0,009	0,021	00:46:00	2,664	0,023
102	2°33'10,17388"S	44°13'13,29401"W	16,316	0,007	0,018	00:31:15	3,003	0,019
103	2°32'51,66746"S	44°14'07,12771"W	- 12,432	0,008	0,015	00:43:45	2,038	0,017
61	2°32'49,89934"S	44°15'28,30227"W	-1,907	0,010	0,019	00:42:00	1,875	0,022
65	2°32'58,23868"S	44°15'13,34015"W	-0,038	0,009	0,014	00:51:00	1,942	0,017
81	2°31'32,98637"S	44°17'29,08398"W	- 19,610	0,013	0,025	00:51:15	2,137	0,028
90	2°32'48,32420"S	44°15'19,69807"W	4,649	0,008	0,017	00:48:15	2,252	0,019
93	2°33'32,79868"S	44°16'24,87804"W	-7,294	0,009	0,021	00:43:30	2,550	0,023
11	2°29'20,61893"S	44°16'18,61761"W	0,415	0,010	0,025	01:01:00	2,709	0,027
20	2°29'47,05876"S	44°17'14,04223"W	-5,241	0,016	0,027	00:54:15	2,026	0,031
43	2°30'15,77931"S	44°16'03,03148"W	-6,738	0,012	0,025	00:51:30	2,102	0,028
44	2°31'02,11032"S	44°15'33,04854"W	-1,150	0,012	0,021	00:51:15	1,778	0,024
55	2°31'39,22521"S	44°15'11,32897"W	2,955	0,014	0,022	00:42:00	1,975	0,026





## APÊNDICE C

### Parâmetros utilizados para segmentação

#### Área A

<b>2º Nível Classes</b>	<b>Pesos: bandas</b>	<b>Peso: Compacidade</b>	<b>Peso: Cor</b>	<b>Escala</b>
A - Praia	1;1;1;1;1;1;1;1	0.7	0.7	20
B - Asfalto	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.3	15
C – Cobertura de Cimento Claro	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.8	20
D - Cobertura de Cimento Médio	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.8	20
E - Dunas	1;1;1;1;1;1;1;1	0.6	0.6	20
F – Cobertura Metálica	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.8	20
G - Piscina	1;1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.3	10
H – Solo Exposto	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.7	20
I - Sombra	1;1;1;1;1;1;1;1	0.1	0.8	5
J – Telhado Cerâmico	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.3	20
K – Vegetação Arbórea	1;1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.3	20
L – Vegetação Rasteira	1;1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.3	20

## APÊNDICE C (Continuação)

### Parâmetros utilizados para segmentação

#### Área B

<b>2º Nível Classes</b>	<b>Pesos: bandas</b>	<b>Peso: Compacidade</b>	<b>Peso: Cor</b>	<b>Escala</b>
A - Asfalto	1;1;1;1;1;1;1;1	0.7	0.7	20
B – Canal de Maré	1;1;1;1;1;1;1;1	0.1	0.6	5
C – Cobertura de Cimento Claro	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.8	20
D - Cobertura de Cimento Escuro	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.8	20
E – Cobertura Metálica	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.8	20
F – Mangue	1;1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.4	20
G – Solo Exposto	1;1;1;1;1;1;1;1	0.7	0.8	15
H – Sombra	1;1;1;1;1;1;1;1	0.1	0.7	5
I – Telhado Cerâmico	1;1;1;1;1;1;1;1	0.1	0.8	5
J – Vegetação Arbórea	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.3	20
K – Vegetação Rasteira	1;1;1;1;1;1;1;1	0.9	0.3	20
A - Asfalto	1;1;1;1;1;1;1;1	0.8	0.3	15

## ANEXO A



Diretoria de Geociências  
Coordenação de Geodésia

RBMCI - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS  
Relatório de Informação de Estação  
Estação São Luis - SALU

### 0. Formulário

Preparado por - Equipe Técnica da RBMC - "Centro de Controle Engª. Kátia Duarte Pereira"  
Data - 23 - maio - 2007  
Atualização - 01 - julho - 2010 / Atualização da Alt. Orto. (MAPGEO2010).

### 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - São Luis  
Ident. da Estação - SALU  
Inscrição no Monumento - Chapa cravada onde consta o código internacional da estação  
Código Internacional - 93950  
Informações Adicionais -

### 2. Informação sobre a localização

Cidade - São Luis do Maranhão  
Estado - Maranhão

Informações Adicionais - Cilindro de concreto, medindo 1,20m de altura e 0,30m de diâmetro, construído sobre uma base de 0,95m x 0,95m x 0,40m de altura, dotado de dispositivo de centragem forçada padrão IBGE. Possui em sua face NE chapa padrão IBGE estampada SAT 93950. A estação está nas dependências da UEMA (Universidade Estadual do Maranhão), próxima ao prédio do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em São Luis/MA.

### 3. Coordenadas oficiais

#### 3. SIRGAS2000 (Época 2000,4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	02° 35' 36,4541" S	Sigma:	0,001 m
Longitude:	44° 12' 44,9241" W	Sigma:	0,001 m
Alt.Elíp.:	18,98 m	Sigma:	0,004 m
Alt.Orto.:	43,73 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2010
Coordenadas Cartesianas			
X	4.586.947,903 m	Sigma:	0,003 m
Y	-4.443.098,495 m	Sigma:	0,003 m
Z	-286.674,811 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	9.713.315,815 m		
UTM (E):	587.544,988 m		
MC:	- 45		

### 4. Informações do Equipamento GPS

#### 4.1 Receptor

4.1.1 Tipo do Receptor - NetR5  
Número de Série - 4651K03649  
Versão do Firmware - 4.05  
Data de Instalação - 26 - maio - 2010

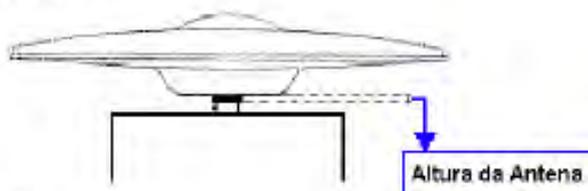
4.1.2 Tipo do Receptor - NetR5  
Número de Série - 4651K03530  
Versão do Firmware - 3.84  
Data de Instalação - 20 - outubro - 2009

4.1.1 Tipo do Receptor - NetR5  
Número de Série - 4651K03530  
Versão do Firmware - 3.50  
Data de Instalação - 23 - maio - 2007

**4.2 Antena**

4.2.1 Tipo de Antena - ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2  
Número de Série - 30336650  
Altura da Antena (m) - 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)  
Data de instalação: - 23 - maio - 2007

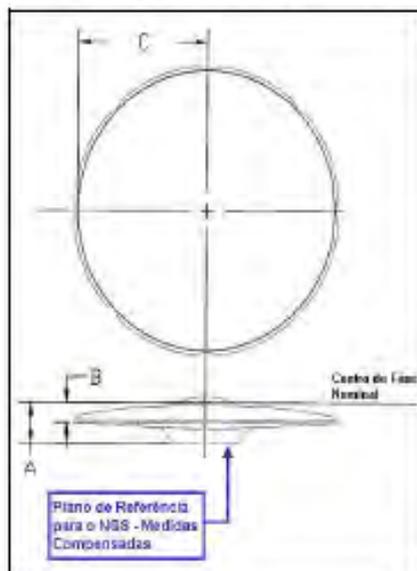
**4.3 Esquema da Altura da Antena**



**4.4 Esquema da Antena**

**4.4.1 Esquema da Antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM 55971.00)**

Diagrama do plano de referência da antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2  
Identificação IGS: TRM 55971.00



## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

Teses e Dissertações (TDI)

Manuais Técnicos (MAN)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e Experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

Publicações Didáticas (PUD)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

Programas de Computador (PDC)

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.

