



Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/3: 433-450
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

GEOBIA E MINERAÇÃO DE DADOS NA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO URBANO EM SÃO LUÍS (MA) COM IMAGENS WORLDVIEW-2 E O SISTEMA INTERIMAGE

GEOBIA and Data Mining for the Classification of Urban Land Use in São Luís City (Maranhão – State- Brazil) using WorldView-II images and InterIMAGE System

Ulisses Denache Vieira Souza & Hermann Johann Heinrich Kux

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR**

Av. dos Astronautas, 1758 – 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
ulissesdenache@hotmail.com; hermann@dsr.inpe.br

*Recebido em 01 de Agosto, 2012/ Aceito em 09 de Dezembro, 2012
Received on August 01, 2012/ Accepted on December 09, 2012*

RESUMO

As áreas urbanas caracterizam-se por ser um espaço em transformação. Quando estão localizadas em ambientes costeiros, tornam-se ainda mais frágeis pela presença de ecossistemas como os manguezais e as dunas. Para o processamento e a avaliação de dados dos novos sensores orbitais utiliza-se o paradigma de GEOBIA. Neste trabalho foram usadas imagens do satélite WorldView-II de alta resolução espacial com 0,50m de resolução e oito bandas multiespectrais. O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade do uso dessas imagens aliadas a técnicas de mineração de dados, para a classificação da cobertura do solo urbano em áreas urbanas costeiras. Os testes foram realizados em duas áreas-piloto no setor norte da cidade de São Luís - MA (Ilha do Maranhão). Inicialmente foram realizados testes com um modelo de classificação para as áreas-piloto, considerando somente uma análise exploratória a partir das ferramentas implementadas no software InterIMAGE (Teste AI e BI). Para efeito de comparação, foi elaborado um modelo de conhecimento que, 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. Este modelo foi adaptado a 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). Desta forma foi possível customizar os atributos anteriormente validados na classificação de cobertura da terra, obtendo-se índices Kappade 0,7924 para área A e 0,7631 para área B.

Palavras chaves: WorldView-2, Mineração de Dados, GEOBIA, Mangues, Dunas, São Luis.

ABSTRACT

Urban areas are characteristic spaces under dynamic changes. Such areas are especially fragile when they are located in coastal regions with mangrove vegetation and dune ecosystems. Data processing of the new high resolution remote sensing satellite systems considers the GEOBIA paradigm. In this study, the following multispectral data from the WorldView-II satellite were used: bands Red, Green and Blue in the visible spectrum and a near infrared band. 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 for image classification. This model was adapted to the concept of the InterIMAGE software (Tests AII and BII). After a statistical evaluation, those classifications with highest Kappa indices were considered, namely: test AII (0.8354) and BII (0.8446). So it was possible to customize the attributes validated earlier at 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.

Keywords: WorldView-2, Data Mining, GEOBIA, Mangroves, Dunes, São Luís city.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e a maior disponibilidade de sistemas sensores expandiram as opções para o uso de produtos orbitais, devido principalmente à significativa melhoria nas resoluções espaciais e espectrais, contrapondo com fotografias aéreas adquiridas por sensores aerotransportados em baixa altitude (Ehlers, 2007). Com a disponibilidade de novos sistemas sensores de alta resolução e SIG a partir do início deste século, tornou-se possível a obtenção de imagens com grande detalhe.

As informações obtidas por tais sensores permitem estudos e análises de grande interesse para o planejamento bem como para o monitoramento ambiental. Além disso, dados de imagens de sensoriamento remoto apresentam melhor relação custo-benefício em comparação com as fotografias aéreas, principalmente devido ao aumento da disponibilidade de dados de sensoriamento remoto por satélite, associado à elevada taxa de revisita de tais sistemas, e devido à melhoria nas resoluções espaciais, espectrais e radiométricas dos dados de sensoriamento remoto orbital Jensen (2009).

Foram realizados estudos em áreas urbanas para a discriminação do uso e cobertura do solo utilizando imagens de alta resolução, destacando-se Ribeiro (2010), Novack (2009), Araújo (2006) e Pinho (2005), Souza (2011) e Meneghetti (2013) que desenvolveram metodologias usando o paradigma da classificação orientada a objeto.

Em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagem, Taubenböck et al. (2010) e Blaschke (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 et al., (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 em cooperação com o INPE (DSR e DPI) desenvolveu 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 e COSTA et al., 2010).

A área de estudo localiza-se na Ilha do Maranhão, no setor norte do município de São Luís, caracterizando-se por apresentar uma diversidade de habitats costeiros como: dunas, praias e manguezais que necessitam de um monitoramento freqüente por serem áreas de proteção ambiental sensíveis a alterações devido à ocupação humana.

Este trabalho apresenta um modelo de conhecimento para o mapeamento da cobertura do solo, no contexto de uma área urbana costeira (São Luís, Maranhão), classificando imagens do satélite *WorldView-II* utilizando o paradigma de análise de imagens baseada em objeto e técnicas de mineração de dados (*Data Mining*).

2. O SATÉLITE WORLVIEW-II

Lançado em Outubro de 2009, o sistema sensor orbital *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 (Digital Globe, 2010a), 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 1). A disponibilidade de quatro novas bandas no *Worldview-2*, localizadas em faixas específicas do espectro eletromagnético, aumentam a capacidade de discriminação e análise dos alvos em estudo.

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

A inserção de conhecimento do intérprete na construção de regras para a classificação a partir de procedimentos semi automáticos, além de elementos como cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização e contexto, são importantes na estruturação de um modelo de conhecimento para a classificação de uma cena urbana, facilitando a distinção dos alvos com razoável complexidade.

3. INTERIMAGE

O InterIMAGE é um software livre para a interpretação de imagens baseado em conhecimento. Foi 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

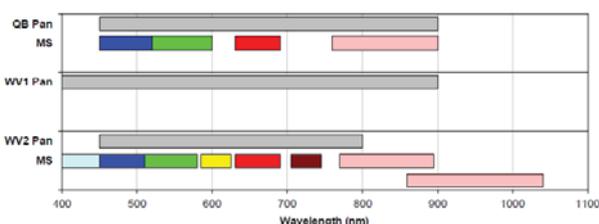


Fig. 1 - Comparação das bandas pancromática e multiespectrais dos satélites Quickbird, WorldView-I e II.

de conhecimento, design e os mecanismos de controle do sistema alemão GeoAIDA (BÜCKNER *et al.*, 2001), que constitui um desenvolvimento do AIDA (Automatic Image Data Analyser) (LIEDTKE *et al.*, 1997)

Quanto a estratégia de interpretação de uma imagem, o InterIMAGE baseia-se numa rede semântica, que representa a relação semântica dos objetos que se espera encontrar na imagem, bem como a descrição hierárquica da resolução do problema de sua interpretação. Cada nó da rede semântica representa um conceito do mundo real e cada arco representa a relação entre os nós. Possui uma arquitetura flexível, além de permitir a implementação de habilidades multitemporais (COSTA *et al.*, 2007; COSTA, 2009) Figura 2.

3.1 Rede Semântica

Quanto a estratégia de interpretação de uma imagem, o InterIMAGE baseia-se numa 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).

Ele dispõe de 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 e atributos topológicos que podem ser utilizados nas regras de decisão dos operadores *Top-Down* e *Bottom-Up* (COSTA *et al.*, 2010; TERRAIDA, 2010).

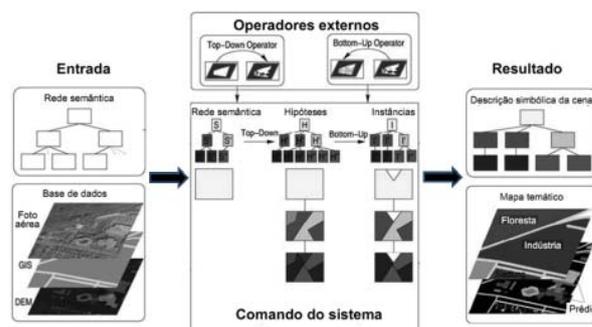


Fig. 2 - Componentes do Processo de Análise.

3.1.2 Operadores

As etapas *Top-Down* (01) e *Bottom-Up* (02) comandam o processo de interpretação no InterIMAGE. Na etapa *Top-Down* o sistema percorre a rede semântica de cima para baixo, e executa 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).

3.1.3 Etapas *Top-down* e *Bottom-up*

Na Figura 3, Ribeiro (2010) apresenta os níveis e os nós de uma rede e regras associadas a operadores *Top-Down* e *Bottom-Up* implementadas no InterIMAGE a saber: (a) Rede com poucos níveis e muitos nós-folha, (b) Rede com mais níveis e menos nós-folha 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., (2011); NOVACK e KUX (2010); PINHO et al., (2009 e 2012).

Para Ribeiro (2010) a flexibilidade e a classificação de imagens multissensores e a redução do tempo gasto na interpretação do conhecimento são importantes características do InterIMAGE.

4. MINERAÇÃO DE DADOS

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 *et al.* (2011) relatam que estes algoritmos fundamentam-se em técnicas que procuram, segundo determinados paradigmas, explorar os dados de forma a produzir modelos de conhecimento que expressam padrões de comportamento dos dados que podem ser extrapolados para a classificação.

Modelos de conhecimento expressam padrões de comportamento nos dados, que podem ser considerados para a classificação ou tomada de decisão em dados diferentes daqueles



Fig. 3 – Rede semântica e regras elaboradas no InterIMAGE.

usados na tarefa de aprendizado, formalizando assim um conhecimento real sobre certo fenômeno (WITTEN *et al.* (2011).

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, para 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 estes autores, existem diferentes métodos de Mineração de Dados (*Data mining*), destacando-se: aqueles 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 informa o, detec o de padrões nos dados e, finalmente, obtenção de conhecimento exportável (GOLDSCHMIDT & PASSOS, 2005) (Figura 4).

5. ÁREA DE ESTUDO

Para a execu o do estudo tornou-se necessário   defini o de uma área de aplica o da metodologia que atendesse as características que se desejava mapear a partir das imagens, tais como: presença de feições costeiras e urbanas. Assim se relata abaixo a situa o, caracteriza o e defini o das áreas testes.

5.1 Situa o Geográfica e Aspectos Gerais

A  rea 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 Km² (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   composta pelos seguintes municípios: São Luís (capital), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Figura 5).

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

Este fato se torna um agravante, visto

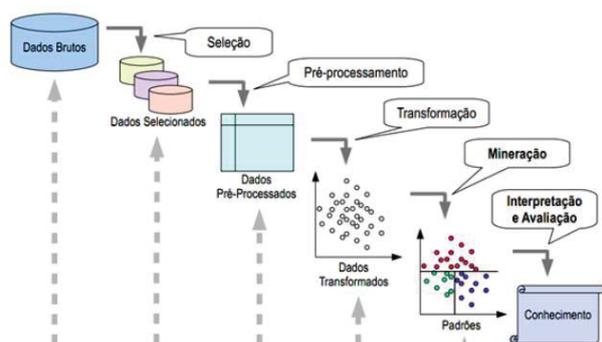


Fig. 4 - Processo de minera o de imagens.

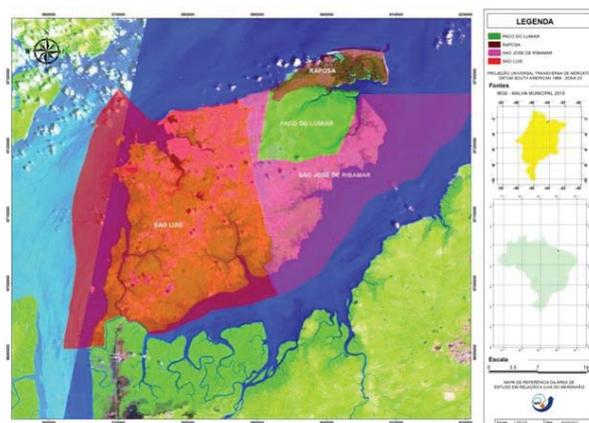


Fig. 5 – Ilha do Maranhão.

que, na porção Norte do município de São Luís, há frágeis estruturas geológicas, constituídas essencialmente de coberturas cenozóicas, o que facilita a altera o da paisagem por agentes modeladores do relevo. Vide a respeito Souza e Feitosa, (2009); GERCO, (1998); Feitosa, (1997); Feitosa & Christofolletti, (1993); Ab’Saber, (1960). Para melhorar a representatividade das classes de cobertura e uso do solo, a região em estudo foi dividida em duas áreas-testes, conforme ilustrado pelas Figuras 6 e 7 abaixo.

5.2  reas-testes

Para delimitar as duas áreas-teste estudadas, consideramos os seguintes parâmetros: a variedade de alvos tipicamente urbanos na cena, que possam ser discriminados pelo sistema sensor, ou seja, elementos sempre presentes em áreas urbanas, tais como: piscinas, vegeta es rasteira e arbórea, diferentes tipos de telhados (indicando diferentes materiais de cobertura), edifícios com gabaritos de altura diversos, galpões industriais, áreas de solo exposto, etc. A presença destes elementos numa cena urbana são os motivadores para a constru o de uma rede hierárquica e de operadores que contemplem os diferentes tipos de usos (RIBEIRO, 2010).

Na  rea-teste A, estão localizados conjuntos residenciais de alto padrão horizontais (Bairros Calhau e parte da Ponta do Farol) e verticais, ( rea de interface entre os bairros Calhau e Renascent a). Está contida a seção de uma praia, um trecho de unidades de conserva o (a Esta o Ecológica do Rangedor), faixas de dunas e de restingas (vegeta o rasteira) e pequenas áreas comerciais. A Figura 06 corresponde   área teste A com maior resolu o 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 7).

6. MATERIAL E MÉTODOS

As técnicas de GEOBIA estão sendo amplamente utilizadas para o mapeamento de diversos tipos de alvos, requerendo a inserção de alguns tipos de materiais e de procedimentos metodológicos específicos, nesse intuito foram separados em itens os materiais e os procedimentos utilizados nesta pesquisa.

6.1 Material

Nesta seção são descritos os dados matriciais e vetoriais, os softwares, aplicativos e equipamentos utilizados bem como a metodologia aplicada na realização deste trabalho.

6.1.1 Dados de Entrada

a) Dados Matriciais:

Dois conjuntos de imagens *WorldView-II* do tipo Standard/O2A obtidas em 10.06.2010, disponibilizados pela empresa *DigitalGlobe*. O sistema sensor orbital *Worldview-II* possui resolução espacial de 0,50 m na banda pancromática e 2,00 metros nas bandas multiespectrais.

b) Dados Vetoriais:

Banco de Dados da cidade de São Luís produzidos durante o projeto “São Luís: Uma



Fig. 6 – Área-teste A.



Fig. 7 – Área-teste B.

leitura da Cidade” (ESPÍRITO SANTO (Org.) 2006), um estudo técnico coordenado pelo Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade, visando subsidiar estudos para a aprovação do Plano Diretor da cidade na escala de 1:10.000.

Curvas de nível com equidistância de 01 metro 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.

6.1.2 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 dos mapas finais;

b) ENVI 4.7 (ITT, 2009), para mosaicagem, fusão e recorte das áreas testes a partir das imagens do *WorldView-II*, 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 - Para 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.

6.1.3 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 Est tico - coleta de pontos em campo para a ortorretificação;

c) 02 Receptores GPS Garmin - Modelo: 12XL - para localização dos pontos pr definidos, cálculo da distância de um ponto a outro e do tempo em relação   base.

d) Trena para cálculo da altura da antena;

6.2 Métodos

A seq ncia e a organização da metodologia usada neste trabalho constam no fluxograma da Figura 8. Os passos metodológicos relativos aos processamentos e avaliações realizadas durante este estudo, estão descritos a seguir.

6.2.1.1 Fusão das imagens

A fusão de imagens teve 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).

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

6.2.1.2 Ortorretificação

A ortorretificação   executada para corrigir as distorções geométricas em imagens de sistemas sensores remotos. Segundo Toutin (2004) as imagens brutas (sem processamento prévio) possuem distorções significativas que impossibilitam o seu uso para inferências espaciais a partir do cruzamento de informações com dados cartográficos em Sistemas de Informações Geográficas.

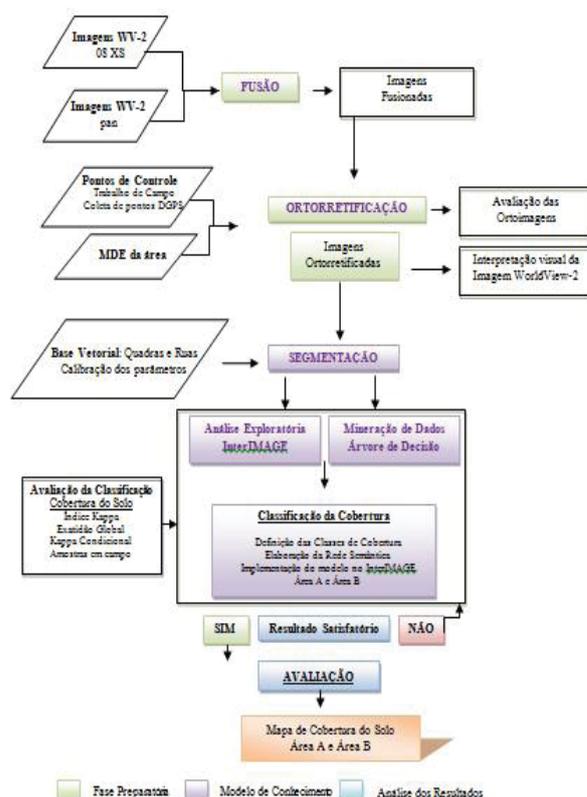


Fig. 8 – Fluxograma da metodologia.

Quando o usuário dispõe de dados no nível *Ortho Ready Standard2A* com RPCs (como aqueles utilizados neste trabalho), PCI Geomatics (2010), recomenda o uso da modelagem RPC ao invés da Modelagem Rigorosa. Ainda segundo PCI Geomatics (2010), no modelo da Função Polinomial Racional   possível utilizar as RPCs para gerar ortomagens na ausência de GCPs (*Ground Control Points*).

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

Na ortorretificação foram utilizados GCPs obtidos a partir do levantamento de campo. Este procedimento foi realizado nas seguintes etapas:

Treinamento, durante vários dias, para a utilização dos equipamentos e aprimoramento da etapa de campo;

Escolha de possíveis locais para a obtenção de pontos GCPs;

Organização de duas equipes dotadas de equipamentos receptores GNSS TOPCON Hiper L1 de dupla freq ncia, 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). Estes pontos foram monumentados com informações e a uma numeração (Figura 4.3);

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 precisam ser feitas fotos com as indicações do Norte, Leste, Sul e Oeste.

Outra característica considerada 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 totalmente 59 pontos controle. A Figura 9 mostra a sua localização.

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* - Erro Médio Quadrático) que indica a qualidade estatística da ortorretificação.

6.3 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), Ribeiro (2010) e Meneghetti (2013) utilizaram imagens do *WorldView-II* para classificar a cobertura do solo urbano usando a abordagem de análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA). Nesta concepção consideraram-se na área de estudo feições urbanas e aquelas típicas de áreas costeiras como: dunas, manguezais, canais de maré e faixas de areia (praia) não analisadas em trabalhos anteriores.

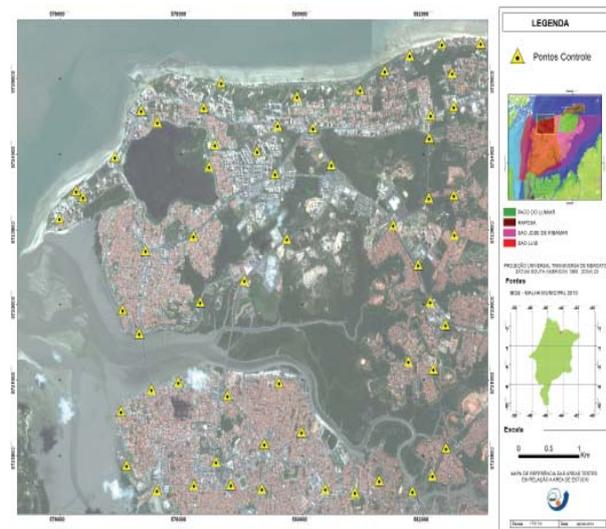


Fig. 9 – Localização geográfica dos 59 pontos de controle na área de estudo.

Os procedimentos considerados no mapeamento da cobertura do solo foram: 1) Definição das classes de cobertura; 2) Construção das redes hierárquica e 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.

6.3.1 Definição das classes

A definição das classes de cobertura seguiu a metodologia com base na análise visual das imagens do *WorldView-II* conforme descrito por Carvalho (2011), Ribeiro (2010), e com imagens do *QuickBird-II* 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 mapeados na cena.

A qualidade das imagens do *WorldView-II* 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.

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

6.3.2 Segmentação

Segundo Pal & 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 objetos. Pinho *et al.* (2005) relatam que os 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, ao 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.

Para a obtenção de 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 seu resultado pode repercutir tanto positiva quanto negativamente nas etapas posteriores do trabalho (ARAÚJO, 2006).

A segmentação foi separada em níveis para poder utilizar as funcionalidades do aplicativo InterIMAGE. No 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.

No segundo nível de segmentação, foi utilizado o segmentador *TerraAida_Baatz_Segmenter*. Ele foi usado por apresentar um bom desempenho quanto à velocidade de execução e capacidade de extração de objetos homogêneos na mesma escala (BAATZ; SCHÄPE, 2000). Este segmentador utiliza parâmetros como escala, cor, forma, compacidade e suavidade.

6.3.3 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 utilizadas, são mais relevantes para descrever as classes de cobertura do solo de forma automática em imagens do *WorldView-2*. A exemplo dos trabalhos de Pinho *et al.* (2008), Novack (2009), Leonardi (2010), Vieira (2010) e Carvalho (2011) que utilizaram a técnica da Árvore de Decisão em seus estudos e alcançaram bons resultados, optou-se pelo uso do C4.5 renomeado como J48 (WITTEN *et al.*, 2011), implementado no software WEKA.

De acordo com Carvalho (2011) o software WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) utilizado nesta pesquisa, contém um conjunto 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 está disponível no site <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.

Para a determinação do que foi denominado de “Teste II” neste estudo, foi elaborada uma árvore de decisão compacta, de fácil entendimento que atendesse aos objetivos desta aplicação, podendo ser replicada para áreas com características semelhantes, apresentando uma boa exatidão.

6.3.4 Modelo de Classificação

A classificação de uma imagem pelo software aplicativo InterIMAGE é realizada por duas abordagens: *Top-Down* e/ou *Bottom-Up*. De acordo com estudos anteriores, a estratégia para executar a classificação que explora de modo mais amplo a etapa *Top-Down*, resulta num 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 nas etapas *Bottom-Up*, pela resolução de conflitos entre as classes. Utilizando o operador *Generic_BottomUp* e atribuições de valores de pertinência a cada uma das classes, foram priorizadas aquelas classes cujos atributos utilizados as definam melhor, com menos erros de omissão e comissão.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados dos métodos, técnicas e procedimentos utilizados no estudo, a saber: Fusão de imagens, Ortoretificação, Segmentação, Técnicas de mineração de dados, e Classificações de cobertura e uso do solo a partir do uso de imagens do satélite *WorldView-II*.

7.1 Ortoretificação

Inicialmente a correção das imagens *WorldView-II*, conforme descrito no item 4.2.1.2, consistiu de vários testes para verificar a acurácia das correções realizadas.

Conforme descrito por Araújo (2006) e Carvalho (2011), a ortoretificação é essencial em estudos a partir de imagens de alta resolução espacial, pois válida a sua utilização em aplicações nas quais o posicionamento de determinado alvo é primordial, como nos trabalhos com informações cartográficas num Sistema de Informações Geográficas.

A correção geométrica foi executada utilizando o módulo de correção geométrica implementado no aplicativo PCI pelo modelo rigoroso, em imagens ORStandard. Cheng *et al.*, (2003) recomendam que, para fazer a correção

a partir deste modelo, sejam utilizados pelo menos oito pontos de controle. Assim, segundo estes autores, é possível fazer a reconstrução da geometria física do processo de aquisição da imagem, com imagens ORStandard, mesmo quando não há disponibilidade dos metadados originais.

Na geração das ortoimagens do *WorldView-II* pelo Modelo Rigoroso, foram utilizados dois receptores GNSS geodésicos de uma frequência com coordenadas métricas e elevação, sendo obtidos 59 GCPs. Os GCPs podem ser facilmente reconhecidos na imagem, estando distribuídos de forma regular na área de estudo.

7.2 Avaliação das Ortoimagens

O Decreto-Lei nº 89.817 de 20.06.1984, que apresenta as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, foi a base para avaliar a exatidão posicional das ortoimagens avaliadas, visto que este decreto-lei 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 equipamento receptor GPS e nas ortoimagens. Os resultados destas estatísticas serviram de base para as análises de tendência e precisão.

As análises estatísticas foram realizadas tanto na imagem *WorldView-II* ortoretificada sem e com a inserção de GCPs. Os valores, desvio padrão e RMSE constam na Tabela 1 abaixo.

7.3 Mineração de dados: Definição dos Parâmetros

Para auxiliar na elaboração dos modelos de classificação da cobertura do solo foi utilizada a técnica de árvores de decisão (mineração de dados) a partir do algoritmo J48, que se encontra no aplicativo WEKA. Segundo Carvalho (2011), experimentos com a intervenção do usuário na configuração de parâmetros melhoram o modelo gerado.

Nesta etapa do trabalho obteve-se uma

Tabela 1: Estatística das ortoimagens WORLDVIEW-II sem e com GCPs

Pontos Controle	Sem GCPs		Com GCPs	
	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
Valor Mínimo	0,449	-1,985	0,062	-0,792
Valor Máximo	2,259	1,551	0,925	0,924
Média	1,324	-0,046	0,489	0,332
Desvio Padrão	0,368	0,780	0,221	0,258
RMSE	1,421	0,954	0,580	0,496

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 como base para a implementação do modelo no software InterIMAGE, levou em consideração a complexidade e exatidão do modelo. Para a 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 2 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, apresenta um índice *Kappa* mas próximo de 01 por isso foi escolhida.

Dentre os atributos considerados pela árvore 04 para a separação das classes de cobertura do solo, destacam-se: *Ratio Yellow*, *Min. Pixel value Red Edge*, *Standard deviation Blue*, *Standard deviation Coastal*, *Ratio Blue by Green*, entre outros.

7.3.5 Avaliação das Classificações

Neste item 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 numa 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.

7.3.5.1 Classificações da Cobertura

De um modo geral, 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.

Araújo (2006) destacou que a vegetação arbórea possui um número maior de subobjetos pela presença de sombra entre as folhas. Assim estas duas classes podem ser discriminadas utilizando atributos de contexto implementados no software InterIMAGE.

A 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 classificação de alvos como 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 com a banda *Red Edge*. Abaixo é apresentado um exemplo de dois alvos que podem ser confundidos em função da tonalidade em determinados locais da área de estudo (Figura 10).

A banda *Red Edge* (705-745 nm), por estar situada na porção do espectro correspondente

Tabela 2: Critérios avaliados para a seleção do modelo de classificação

Nº	Árvores		Critérios		
	Nº mínimo de instâncias por folha	Nº de nós	Nº de folhas	Nº 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

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 aos diferentes comportamentos espectrais das unidades de vegetação. Portanto é interessante realizar o cálculo do NDVI utilizando esta banda em substituição a banda do vermelho, normalmente usada em estudos de vegetação.

O gráfico na Figura 11 apresenta os valores obtidos para o índice *Kappa*-Condicional das classes de cobertura do solo para a Área teste A.

As Figuras 12 e 13 apresentam os Mapas de Cobertura do Solo das áreas-teste A e B

respectivamente.

8. CONCLUSÕES

Um dos objetivos deste trabalho foi a avaliação do desempenho das imagens do satélite *WorldView-II* 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 por parte do 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-II* obtidas pelo 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 ortoretificação das imagens, comprovou a eficiência do modelo e a importância da realização de trabalhos de campo para a coleta de pontos de controle (GCPs), 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 não atendeu aos requisitos do PEC na escala 1:5.000 - Classe A. A ortoimagem gerada a partir do modelo rigoroso com a 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,

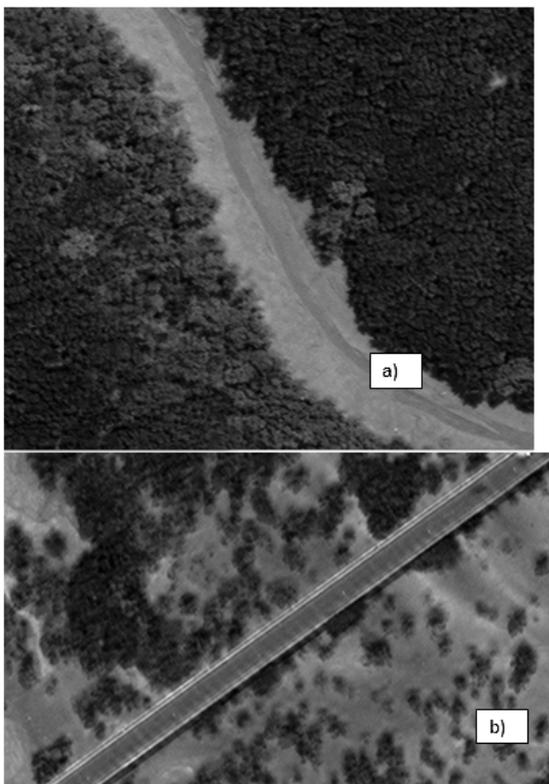


Fig. 10 - (a) Canais de Maré. (b) Ponte com revestimento de asfalto sobre o canal de maré.

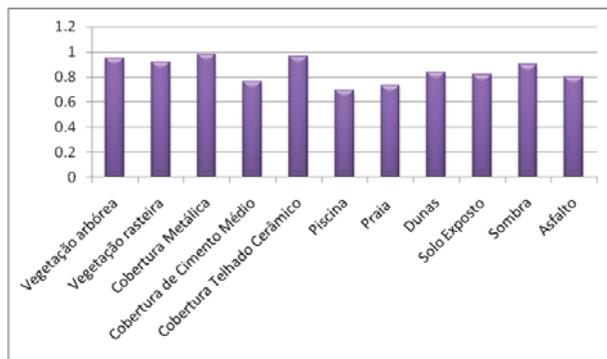


Fig. 11 - Gráfico dos índices *Kappa*-condicional para as classes de cobertura do solo da Área teste A .

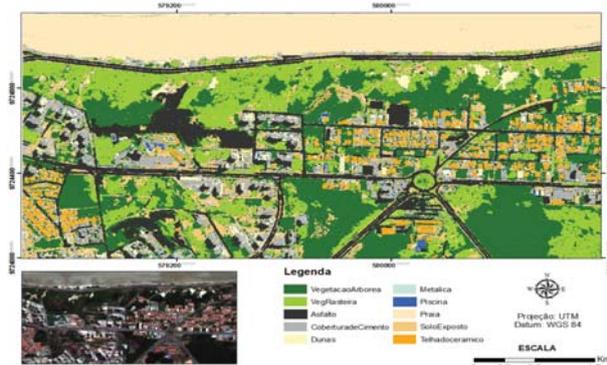


Fig. 12 - Mapa temático de cobertura do solo Área A.

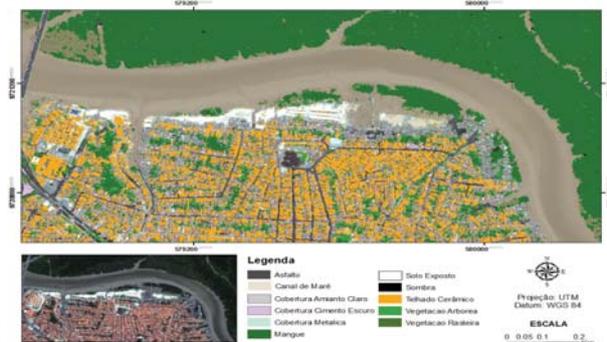


Fig. 13 - Mapa temático de cobertura do solo Área B.

buscando um número mínimo de instâncias por folha) indicou uma maior otimização e potencialidade na ampliação do conhecimento 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 o modelo AII e BII que utilizaram parâmetros a partir de técnicas de mineração de dados. A exatidão global obtida neste modelo foi de 0,87, e o índice de concordância *Kappa*, de 0,8585. O índice *Kappa* obtido para mapear o uso do solo por quadras das

áreas testes foi de 0,8452.

As novas bandas do satélite *WorldView-II* tornou a tarefa de encontrar os atributos, limiares e a estruturação da rede bem mais demorada e lenta, recomendando-se a utilização de técnicas de mineração de dados por árvores de decisão para agilizar a obtenção deste conhecimento e assim otimizar a 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-II* auxiliam na discriminação de alvos típicos de áreas urbanas mesmo quando estes estão situados em áreas costeiras e constituem diferentes “objetos” como dunas, mangues e canais de maré, melhorando a classificação da cobertura do solo de um modo geral.

Quanto ao uso do sistema *InterIMAGE* para a classificação da cobertura e do uso do solo urbano em áreas costeiras, este software aplicativo comprovou ser 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 auxiliam na redução de algumas confusões entre classes de cobertura do solo.

A implementação de uma rede semântica, que 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.

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 aplicativo *InterIMAGE*.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa *DigitalGlobe* pela disponibilização das imagens do *Worldview-2* e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Maranhão, *FAPEMA*, pela bolsa de estudos disponibilizada,

e ao Eng. Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque da DSR/INPE pelo importante auxílio na jornada de campo no Maranhão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB´SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do Estado do Maranhão. **Notícia Geomorfológica**. Campinas: 3(5): 35-45, abr. 1960.

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: 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2007), 2007, Seattle, Washington, EUA. **Proceedings...** Miami, Florida, EUA: University of Florida, 2007. 08 p.

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. 159 p. INPE-13956-TDI/1062. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC13%4080/2006/07.24.19.43/doc/publicacao.pdf> > . Acesso em: 30 abril 2012

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.

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

BRATASANU, D. Bridging The Gap Between Research and Operations – **A WorldView Of The Environment**. **Geospatial World Forum 2011** - Dimensions and Directions of Geospatial Industry, 18-21 January 2011, Hyderabad, India. Disponível em: http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/_8bandchallenge_winners.jsp. Acesso em 10 mar 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

CARVALHO, M. V. A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens Worldview-2 utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2011, disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm18@80/2009/08.31.21.23/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2012.

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

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, 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. Presidente Prudente: UNESP, 2007. 2^a ed. p. 735-739. Disponível em: <http://www.lvc.ele.pucRio.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.; FERREIRA, R. S.; CASTEJON, E. F. Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the InterIMAGE system: major characteristics and recent developments. In: GEOGRAPHIC OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS (GEOBIA), 29 June - 2 July 2010,

- Ghent, Belgium. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVIII-4/C7. Ghent: Ghent University, 2010. CD-ROM.
- DIGITAL GLOBE. **WhitePaper – The benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-II**. March, 2010a. Disponível em: http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf . Acesso em: 20 de Agosto de 2010.
- 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: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 21-26 abr 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5731-5737.
- 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. **Anais...** XII EGAL, 2007. Trabalhos completos, p. 2415-2430. CD-ROM, Online. ISBN78-14-00012-3. 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: VII Simpósio de Quantificação em Geociências, 1997, Rio Claro. VII Simpósio de Quantificação em Geociências - 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: V Simpósio de Geografia Física Aplicada, São Paulo. V Simpósio de Geografia Física Aplicada - Anais. São Paulo: USP, 1993. v. 1: 231-236. 1993.
- 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. p. 41 – 48.
- GEOIMAGE. **See The World as Never Before: WorldView-2 Satellite Imagery in 8 bands**. 2010. Disponível em: www.geoimage.com.au. 22 p.
- 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. 142 p.
- GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E. **Data mining – um guia prático**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 257 p. ISBN (85-352-1877-7).
- 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.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010 - Resultados iniciais. Rio de Janeiro, 2001. 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.

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

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 ingles: Remote Sensing of the Environment: an Earth resource perspective.

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. Disponível em: http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/_8bandchallenge_winners.jsp. Acesso em 10 fev de 2012.

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.

LIEDTKE, C. E.; BÜCKNER, J.; GRAU, O.; GROWE, S.; TÖNJES, R. AIDA: a system for the knowledge based interpretation of remote sensing data. In: 3rd International Airborne Remote Sensing Conference & Exhibit, 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/IARSCCELJBOGSGRT.pdf>. Acesso em: 10 dez 2011.

MENEGHETTI, G. T. **Classificação da Cobertura da Terra do Município de Raposa (MA) com Imagens Worldview-2 Utilizando o Aplicativo InterIMAGE e Mineração de Dados**. 2013. 114 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.09.12.17-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <http://>

urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DSF9PP <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP7W/3DSF9PP?languagebutton=pt-BR>>>. Acesso em: 27 set. 2013.

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**, vol. 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.

PADWICK, C.; DESKEVICH, M.; PACIFICI, F. SMALLWOOD, Scott. Worldview-2 Pan Sharpening. In: **Proceedings...** ASPRS 2010 Annual Conference, San Diego, California. April 26-30, 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.; RENN , C. D.; KUX, H. Avalia o de técnicas de fusão aplicadas   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.; CASTEJON, E. F.; K RTING, T. S.; OLIVEIRA, D. A. B., COSTA, G. A. O. P.; FONSECA, L. M. G.; FEITOSA, R. Q. Caracteriza o de bairros urbanos em imagens de alta resolu o espacial utilizando sistema de classifica o baseado em conhecimento. In: (a ser apresentado) XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 25-30 abr 2009, Natal, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7885-7892. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.15.53/doc/7885-7892.pdf>. Acesso em: 29/05/2014
- 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.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. ESTATUTO DA CIDADE. LEI N  10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm. Acesso em: 9 fev 2012.
- RIBEIRO, B.M.G. **Avalia o de Imagens Worldview-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE. 2010.** Disserta o (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.
- SANTOS, R. Weka na munheca: um guia para uso do Weka em scripts e integra o com aplica es em Java. Disponível em: <http://www.lac.inpe.br/~rafael.santos/Docs/CAP359/2005/weka.pdf>. 2010. Acesso em 10 fev 2013.
- SILVA, C. DELVALLSC, T.A. MARTÍN-D AZC, 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 - Dimensions and Directions of Geospatial Industry, 18-21 January 2011, Hyderabad, India. Disponível em: <http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallengewinners.jsp>. Acesso em 10 fev de 2012.
- SOUZA, U.D.V.; FEITOSA, A.C. Ocupa o e uso da zona costeira do Estado do Maranhão. In: Encontro de Geógrafos da América Latina (EGAL), 12., 2009, Montevideu. **Anais...** XII EGAL, 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. Contribui o das novas bandas espectrais do satélite *WorldView-II* para a Classifica o de Tipos Vegetais em Habitats Costeiros: Resultados Iniciais. In (a ser apresentado). XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 01 a 05 de maio 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.20.14.11/doc/p0824.pdf> Acesso em: 03 de abr 2012.
- SOUZA, U. D. V. **Classifica o da cobertura e do uso do solo urbano de São Luís (MA), com imagens Worldview-2 utilizando minera o de dados e o sistema interimage***. 2012. 132 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.17.17.34-TDI). Disserta o (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8> <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8?languagebutton=pt-BR>>>. Acesso em: 27

set. 2013.

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*, vol. 55, n. 01, p. 117-132. 2010.

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

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**. *Geospatial World Forum 2011 - Dimensions and Directions of Geospatial Industry*, 18-21 January 2011, Hyderabad, India.

Disponível em: http://dgl.us.neolane.net/res/dgl/survey/8bandchallenge_winners.jsp. Acesso em 25 jan de 2012.

VIEIRA, I.M. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos. 1993. 142p, (INPE-13043-TDI/1019). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.02.14>>. Acesso em: 29 jun.2012.

WEKA. Data Mining Software in Java. Desenvolvido pela Universidade de Waikato. Disponível em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>. Acesso em 5 dez 2011.

WITTEN, I; FRANK, E.; HALL, M. A. **Data Mining: practical machine learning tools and techniques**, 3rd ed., San Francisco, CA: Morgan Kaufman Publishers, 2011. 629 p.