

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N° 64/4: 517-530
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA DA APA PETRÓPOLIS/ RJ UTILIZANDO ANÁLISE BASEADA EM OBJETO NO SISTEMA INTERIMAGE

*Land cover Mapping of APA Petrópolis/RJ Using Object-Based Image Analysis
with InterIMAGE System*

**Gustavo Mota de Sousa^{1,2}, Fábio Ventura dos Santos¹
& Manoel do Couto Fernandes¹**

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Instituto de Agronomia – Departamento de Geociências
BR-465, Km 7 – 23890-000 – Seropédica – RJ, Brasil
gustavoms@ufrj.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro
Departamento de Geografia – Laboratório de Cartografia (GEOCART)
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – 21941-916 – Cidade Universitária – RJ, Brasil
fabio.ventura.santos@gmail.com, manoj.fernandes@ufrj.br

Recebido em 30 Março, 2011/ Aceito em 02 Junho, 2012
Received on March 30, 2011/ Accepted on June 02, 2012

RESUMO

A modelagem do conhecimento é obtida a partir da interpretação de especialistas de diversas áreas que propõem um modelo de representação da paisagem através da análise de dados de diferentes fontes. Essa técnica se baseia no conhecimento do intérprete sobre determinada cena que propõe um conjunto de regras inseridas em uma rede semântica que realiza uma análise baseada em objeto. Atualmente, os softwares que trabalham com essas técnicas possuem alto custo, podendo inviabilizar seu uso para a execução de projetos. Neste sentido, buscando a disseminação e acessibilidade das técnicas de modelagem do conhecimento um software gratuito e de código aberto (InterIMAGE) vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Visão Computacional - LVC/PUC-Rio e a Divisão de Processamento de Imagens - DPI/INPE, e testado por uma série de parceiros. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia utilizando dados e software de custo baixo para elaboração de mapas de cobertura da terra por meio de técnicas de modelagem do conhecimento realizada pelo software InterIMAGE. Este estudo foi conduzido em uma área de aproximadamente 25 km², que é representativa da paisagem da APA Petrópolis – RJ. Para a geração do modelo proposto foram utilizados dados do sensor AVNIR-2/ALOS, dados vetoriais e produtos extraídos de Modelos Digitais de Elevação (MDE). As classes extraídas para o mapeamento de cobertura da terra foram vegetação arbórea e rasteira, área urbana, água, afloramento rochoso, sombra e nuvem. Os resultados apontaram, a partir da validação do mapeamento, uma acurácia global de 80% e índice kappa de 0,76, que são indicam resultados promissores e que apontam a eficácia da metodologia aplicada.

Palavras chaves: InterIMAGE; Análise de imagem baseada em objeto; ALOS-AVNIR.

ABSTRACT

The modeling of knowledge is obtained from the interpretation of experts in various fields who propose a model of representation of landscape through the analysis of data from different sources. This technique is based on knowledge of the interpreter on a particular scene that proposes a set of rules embedded in a semantic network that performs an analysis based on the object. Currently, the software that working with these techniques are expensive and may derail its use for the execution of projects. In this direction, searching for the dissemination and accessibility of knowledge modeling techniques free software and open source (InterIMAGE) has been developed by the Computer Vision Lab - LVC / PUC-Rio and Image Processing Division - DPI / INPE and tested by a variety of partners. In this context, this paper aims to develop a methodology using data and low-cost software for land cover mapping using knowledge modeling techniques held by InterIMAGE system. This study was conducted in an area of approximately 25 km², which is representative of the landscape of the APA Petropolis - RJ. To generate of the proposed model were used AVNIR-2/ALOS sensor data, vector data and products extracted from Digital Elevation Models (DEM). The classes extracted to the land cover mapping were forest tree, grass fields, urban areas, water, rocky outcrop, shadow and cloud. The results showed, from the mapping validation, an overall accuracy of 80% and kappa index of 0.76, which indicates promising results and indicate the effectiveness of the methodology applied.

Keywords: InterIMAGE; Object-based image analysis, ALOS-AVNIR.

1. INTRODUÇÃO

As Áreas de Preservação Ambiental (APA) são categorias de Unidade de Conservação (UC) criadas a partir de 1982 e caracterizadas pela presença de ocupação humana em áreas que apresentam elementos bióticos, abióticos, estéticos e culturais fundamentais para a qualidade de vida e bem estar da população. Em 2000, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) inseriu as APA's no grupo de uso sustentável, visando ainda o concílio dos processos produtivos e da proteção da biodiversidade, atualmente comprometida devido ao processo de ocupação histórica do país e intensificada nos últimos 40 anos com a urbanização desordenada e a expansão de atividades agrícolas (IBAMA, 2007).

A delimitação desse tipo de território impõe uma série de desafios aos órgãos gestores, uma vez que esta se sobrepõe a territórios e interesses já existentes. Assim, a interpretação dessas unidades ultrapassa o mero entendimento de um território, mas de uma paisagem que é fruto de uma série de inter-relações, caracterizando um sistema geoecológico (HUGGETT, 1995). Entre as responsabilidades cabíveis aos gestores, estão a regulamentação de atividades e monitoramento da paisagem.

Nesse sentido, o uso de dados dos sensores de alta resolução e das novas técnicas de análise de imagens pode contribuir para o monitoramento dessas unidades de conservação. Porém, os elevados custos de imagens de satélite e *softwares*

usados para suas interpretações podem se tornar restritivos, diante da falta de recursos.

Buscando criar alternativas para esse tipo de problema, este trabalho tem como objetivo aprimorar o conhecimento necessário para desenvolver um método de mapeamento da cobertura da terra da APA Petrópolis (RJ) a partir de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS e com o suporte de bases cartográficas e Modelos Digitais de Elevação – MDE por meio da utilização do *software* gratuito e de código aberto InterIMAGE (COSTA *et al.*, 2008), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens - DPI/INPE e pelo Laboratório de Visão Computacional - LVC/PUC-Rio.

Nos procedimentos metodológicos são utilizados materiais de baixo custo ou disponíveis gratuitamente, apresentando uma opção economicamente viável para monitorar essas unidades de conservação e subsidiar análises espaciais que contemplem as diversas interações entre elementos físicos, bióticos e antrópicos em dada porção da superfície terrestre.

2. SENSORIAMENTO REMOTO E MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA

O Sensoriamento Remoto é definido como o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato físico entre o objeto e o equipamento sensor. Em outras

palavras, é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (MOREIRA, 2001). Neste sentido, esta tecnologia assume grande importância no mapeamento da cobertura da terra, contribuindo decisivamente na interpretação da estrutura horizontal de uma paisagem.

Diversos avanços são verificados nos últimos anos que vão desde o desenvolvimento de satélites com instrumentos sensores com resoluções espacial, espectral e temporal cada vez melhores ao desenvolvimento de *softwares* com novas concepções metodológicas de interpretação de imagens (BLASCHKE & KUX, 2007). Isso é importante na produção de mapas temáticos utilizando técnicas de modelagem do conhecimento relacionados ao controle do uso e cobertura da terra (CRUZ *et al.*, 2007; CINTRA *et al.*, 2010), expansões urbanas (PINHO, 2005; NOVACK, 2009; RIBEIRO, 2010), identificação de estágios sucessionais da vegetação (VICENS *et al.*, 2009; ROSÁRIO *et al.*, 2009) e estudos geomorfológicos (CAMARGO, 2008) de maneira que sejam proporcionadas respostas mais rápidas para tomadas de decisão em diversas esferas públicas.

O mapeamento da cobertura da terra é entendido como a caracterização dos objetos da superfície terrestre em termos de suas propriedades biofísicas, físicas e químicas que exibem uma relação própria de interação energia-matéria, ou seja, um padrão mais ou menos definido de reflectância (BARNESLEY *et al.*, 2001; PRADO, 2009). Em face ao exposto não se propõe o mapeamento do uso do solo, que de acordo com Novo (1992), refere-se à utilização cultural, ou a forma como o espaço está sendo ocupado pelo homem, como define Rosa (2009), e sim identificar a estrutura dos objetos na paisagem em análise, ou seja, sua distribuição espacial.

Na identificação de classes de cobertura da terra por meio de imagens de sensoriamento remoto a classificação digital se caracteriza como uma das principais etapas do processamento de imagens. Esse processo pode ser totalmente manual, o que demanda muito tempo de execução e cuidados com a padronização e uniformização de critérios; automático de acordo com o método utilizado, bastante questionado pela baixa precisão dos

resultados; ou ainda, semi-automático, que busca agregar vantagens dos dois processos anteriores, sendo necessário uma pós-classificação dando-se, normalmente, um aporte significativo para a etapa de edição manual (ROSÁRIO *et al.*, 2009).

Buscando atender a demanda de classificação de imagens de novos sensores com maior detalhamento espectral e espacial surge a classificação baseada em objeto, que por meio da modelagem do conhecimento insere a participação do intérprete no processo de identificação de feições utilizando interpretação visual e características do objeto a ser classificado. Nesse processo podem ser utilizados modelos descritores que vem alcançando bons resultados na análise da paisagem através da inserção de dados espaciais diversos.

2.1. Sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento

Os sistemas baseados em conhecimento são definidos por Feitosa *et al.* (2005) como aqueles que modelam em um ambiente computacional o conhecimento do fotointérprete emulando a sua capacidade de combinar dados de diferentes fontes e formatos na análise de imagens de sensores remotos. A abordagem baseada em conhecimento tem como objetivo a identificação de objetos que têm uma existência concreta no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura, padrão e contexto na imagem analisada (PINHO, 2005).

O funcionamento desses sistemas baseia-se na introdução do conhecimento do analista a respeito da cena, ou seja, é uma formalização da visão de um determinado indivíduo sobre uma paisagem específica (PINHO, 2005). Dessa maneira, o resultado da classificação depende da área de formação, do conhecimento e da capacidade de interpretação do analista.

Isso é observado no estudo da paisagem na Geoecologia em que geógrafos e biólogos apresentam visões diferenciadas mostrando a complexidade existente no conceito de paisagem. Através disso, os sistemas baseados em conhecimento são de excelente utilização pelos diversos profissionais existentes na área ambiental, principalmente os que estudam a paisagem como unidade de análise através do Sensoriamento Remoto.

Bock & Lessing (2000) abordam a existência de diversos sistemas baseados em conhecimento

utilizados na interpretação de fotografias aéreas e em imagens orbitais de média resolução espacial, como o SPAM (McKcOWN *et al.*, 1985); SIGMA (MATSUYAMA & HYANG, 1990); MESSIE (CLÉMENT *et al.*, 1993); ERNEST (NIEMANN *et al.*, 1990); AIDA (LIEDTKE, 1997) e o GEOAIDA (BÜCKNER *et al.*, 2001).

No Brasil um dos sistemas mais conhecidos é o Definiens Developer, que foi criado, prioritariamente, para atender à classificação de imagens de alta resolução em abordagem orientada a objetos. Este *software* comercial apresenta ambiente para a classificação de imagens através da adoção de segmentação em diferentes níveis de escala, todos hierarquizados por meio de diferentes descritores disponíveis ou construídos. Além disso, o software tem a possibilidade da elaboração de uma modelagem que propicia uma maior participação do intérprete, através da definição dos melhores descritores e tipos de modelos. Os modelos utilizados podem ser de origem booleana e/ou fuzzy que também contam com a relação entre níveis, garantindo a hereditariedade entre classes (ROSÁRIO *et al.*, 2009).

Outro sistema que vem sendo desenvolvido no Brasil é o InterIMAGE (COSTA *et al.*, 2008), trata-se de um *software* gratuito e de código aberto que será apresentado na seção 2.1.2 deste artigo.

2.1.1. Análise orientada a objeto

A classificação da cobertura da terra em Sensoriamento Remoto passou por inúmeras fases que ocorreram de acordo com o desenvolvimento dos instrumentos sensores a bordo de plataformas orbitais e aéreas.

Com a evolução dos sensores tornou-se necessário o avanço nas técnicas empregadas que utilizam os classificadores pixel a pixel que evoluíram com a chegada das técnicas de segmentação multiresolução e rede semântica (PINHO, 2005; NAVULUR, 2006; CRUZ *et al.*, 2007; BLASCHKE *et al.*, 2008; NOVACK, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2009). Neste tipo de classificação é realizado um processo de segmentação das imagens que realiza o agrupamento de pixels adjacentes com atributos semelhantes formando os chamados segmentos.

Esses segmentos são identificados de acordo com as características dos objetos que o compõem proporcionando a inclusão do conhecimento do

intérprete por meio da construção de procedimentos operacionais durante o processo de classificação automático.

Dessa forma, a análise orientada a objeto tem se mostrado a forma mais completa e integrada de se representar em termos computacionais ao conhecimento de um especialista humano para a interpretação automática de imagens de Sensoriamento Remoto (NOVACK, 2009). Segundo Almeida (2010), tal análise permite a simulação da visão contextual de um intérprete humano por meio de múltiplos níveis de classificação interligados e redes semânticas.

A rede hierárquica opera através do relacionamento entre as classes que vão desde uma classe geral até chegar a classes mais específicas. Neste caso, o processo segue a lógica da hereditariedade que envolve a adoção das características das classes gerais relacionadas as classes específicas que encontram-se em partições mais simples através de regras do tipo – ‘Se, Então’ (RUMBAUGH *et al.*, 1991). No caso da rede semântica (Figura 1) são observadas relações entre as classes gerais e específicas que podem ser tanto hierárquicas quanto topológicas (MOORE, 2000; BITTENCOURT, 2006).

Desse modo, Pahl (2008) define os sistemas baseados em conhecimento como aqueles que armazenam o conhecimento específico da aplicação de modo explícito e de modo separado da estratégia geral de solução de problemas. Para diferentes tarefas troca-se apenas a base de conhecimento.

Ribeiro (2010) ressalta que se faz necessário a intervenção do intérprete em todo o processo de análise dos dados. O resultado da classificação é um reflexo do conhecimento do intérprete e da capacidade de compreensão do

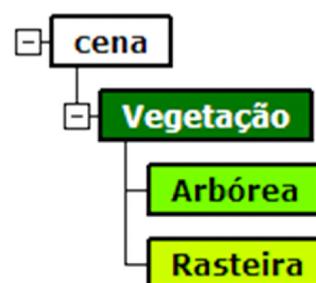


Fig. 1 – Exemplo de rede semântica.

analista (fortemente influenciada por sua formação profissional e experiência) a respeito de uma determinada área de estudo ou especialidade da pesquisa em questão.

2.1.2. Software InterIMAGE

O InterIMAGE é uma iniciativa de desenvolvimento de software de código aberto que faz parte de um projeto de cooperação científica internacional liderada pelo Laboratório de Visão Computacional (LVC) do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) e Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Trata-se de um sistema multi-plataforma baseado no aplicativo GeoAIDA (BÜCKNER *et al.*, 2001), desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia da Informação da Universidade de Hannover, Alemanha, e que herdou deste sistema a sua característica funcional básica, além de estruturas de conhecimento e mecanismos de controle. Uma nova interface gráfica e funcionalidade de representação de conhecimento e operadores de processamento de imagem foram posteriormente adicionados ao sistema (InterIMAGE, 2011).

No InterIMAGE foi implementada uma estratégia específica de interpretação de imagens, baseada e guiada por uma descrição hierárquica do processo de interpretação, estruturado em uma rede semântica (COSTA *et al.*, 2008).

A medida que a interpretação dos dados progride, podem surgir conflitos para um mesmo objeto. Esses conflitos podem ser resolvidos recorrendo a alguma forma de conhecimento prévio que é codificado em regras de decisão também associadas aos nós da rede semântica. Além disso, como os diferentes operadores podem processar dados de diversos formatos, o sistema permite a análise integrada de imagens e de dados de SIG múltiplos. Um exemplo é que o pacote básico do InterIMAGE oferece um conjunto de operadores com as funções e classes obtidas da biblioteca TerraLib, mais especificamente do TerraAIDA (InterIMAGE, 2011).

Os componentes do processo de interpretação do InterIMAGE são apresentados na figura 2. O sistema implementa uma estratégia de controle de interpretação específica, direcionada por um modelo de conhecimento estruturado através da

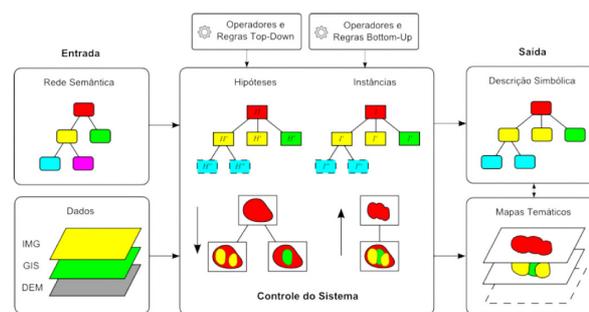


Fig. 2 – Componentes do processo de interpretação (InterIMAGE, 2011)

rede semântica. Na interpretação da imagem, os dados de entrada são processados com ajuda de programas externos, denominados operadores *top-down* e *bottom-up*.

Os operadores *top-down* são responsáveis pela partição da cena em regiões, consideradas como hipóteses de objetos. Trata-se de uma classificação preliminar, que identifica segmentos com o potencial de pertencer a cada uma dessas classes. Os operadores *bottom-up* refinam as classificações produzidas na etapa *top-down*, confirmando-as ou rejeitando-as e resolvendo eventuais conflitos espaciais entre elas. No final do processo de interpretação, as hipóteses validadas tornam-se instâncias de objetos (InterIMAGE, 2011).

Ribeiro (2010) destaca que a comunicação entre projetos distintos no software pode ser realizada por meio de operadores de importação de resultados (formato InterIMAGE) e exportação de resultados (*shapefile*). A nova interface apresentada a partir da versão 1.0 conta com ambientes de coleta e edição de amostras (*Samples Editor*), edição de polígonos (*Shapefile Editor*) e visualização de espaço de atributos (*Analysis Manager*).

O resultado do processo de interpretação é a descrição simbólica da cena, consistindo principalmente de uma rede de instâncias de objetos e de imagens rotuladas que correspondem às regiões associadas às classes de objetos. A partir das imagens rotuladas o sistema permite a criação de diferentes mapas temáticos representando os diferentes níveis de conceitos na rede semântica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos aplicados são esquematizados na figura 3 que apresenta os materiais utilizados e a classificação realizada através

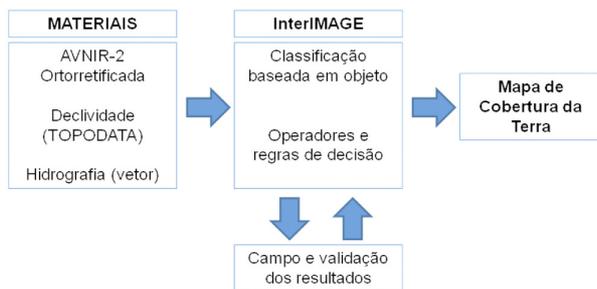


Fig. 3 – Procedimentos metodológicos

dos operadores e regras de decisão posteriormente validada em campo para avaliação e conclusão do mapa de cobertura da terra.

A metodologia utilizou uma imagem do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*) que era transportado pelo satélite japonês ALOS. Este foi lançado em 1996 e permaneceu em funcionamento até o início de 2011. Esse sensor tem quatro bandas espectrais (três visíveis e uma infravermelho), resolução radiométrica de 8 bits e resolução espacial de 10 metros.

Foram selecionados esses dados por possibilitarem a geração de produtos temáticos de cobertura da terra atendendo a escala de 1:50.000 (EMBRAPA, 2010) e o baixo custo, enquanto distribuídas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Devido a ausência dos parâmetros RPC's (*Racional Polynomial Coefficients*) característicos do nível de processamento das imagens adquiridas (1B2-G), optou-se pela adoção do modelo de Toutin (*Toutin's Model*) – disponível no software PCI Geomatics.

Durante o processo de correção geométrica da imagem foram utilizados 34 pontos de controle, extraídos das ortofotos disponibilizadas pelo IBGE na escala de 1:25.000 (IBGE, 2006). Deste total de pontos foram usados 15 para realização da modelagem matemática e 18 para validação, privilegiando feições comuns às ortofotos da área como cruzamento de vias, bifurcação de vias e pontes.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) usado como parte do processo de ortorectificação foi adquirido no Projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008), que de acordo com Miceli *et al.* (2011), é o mais adequado, entre os disponíveis, para a área de estudo que possui relevo forte ondulado e montanhoso.

Na construção do modelo de conhecimento foram utilizados também dados de declividade extraídos do TOPODATA e dados vetoriais de hidrografia, representados por polígonos de corpos d'água, oriundos da base cartográfica do Plano de Manejo da APA Petrópolis, na escala de 1:10.000 (ESTRUTURAR, 2005).

A área teste definida para a aplicação do método possui aproximadamente 25 km² (Figura 4). O critério adotado para o recorte dessa área foi a representatividade das classes encontradas na unidade de conservação, que são listadas na tabela 1 e destacadas na figura 5.

Os dados, operadores, atributos e parâmetros foram selecionados de acordo com as características de cada classe. A tabela 1 mostra qual o tipo de dado e operador foi utilizado, para cada classe definida neste trabalho, e o respectivo atributo e parâmetro.

As classes de vegetação (arbórea e rasteira) foram selecionadas utilizando o segmentador com base no NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), denominado TA_NDVI_Segmenter (ROUSE *et al.*, 1973), com diferentes limiares (0.23 e -0.01, respectivamente) com peso maior (confiança) para as áreas classificadas como arbórea.

As áreas urbanas e de rocha foram classificadas a partir de regras de decisão inseridas nos segmentos extraídos pelo segmentador Baatz (BAATZ & SCHAPE, 2000). A distinção entre essas classes se deu através das propriedades de entropia da banda 1 (0.42-0.50 μm) e declividade obtida por meio do MDE TOPODATA.

A classe nuvem foi identificada pela coleta de amostras através da ferramenta *Samples Editor* e classificação supervisionada pelo operador *C4.5 Classifier* (KORTING *et al.*, 2011) que resultou em arquivo vetorial (*shape*) que foi incorporado a classificação como um todo através do operador de importação de *Shapefile* (InterIMAGE, 2012). De forma análoga, um vetor de hidrografia, em formato de polígono, elaborado por Estruturar (2005), foi inserido ao projeto para a identificação da água.

As áreas de sombra foram extraídas a partir das características de brilho (média aritmética das quatro bandas) usando operador TA_Arithmetic (InterIMAGE, 2012) com limiar entre 0 e 38.

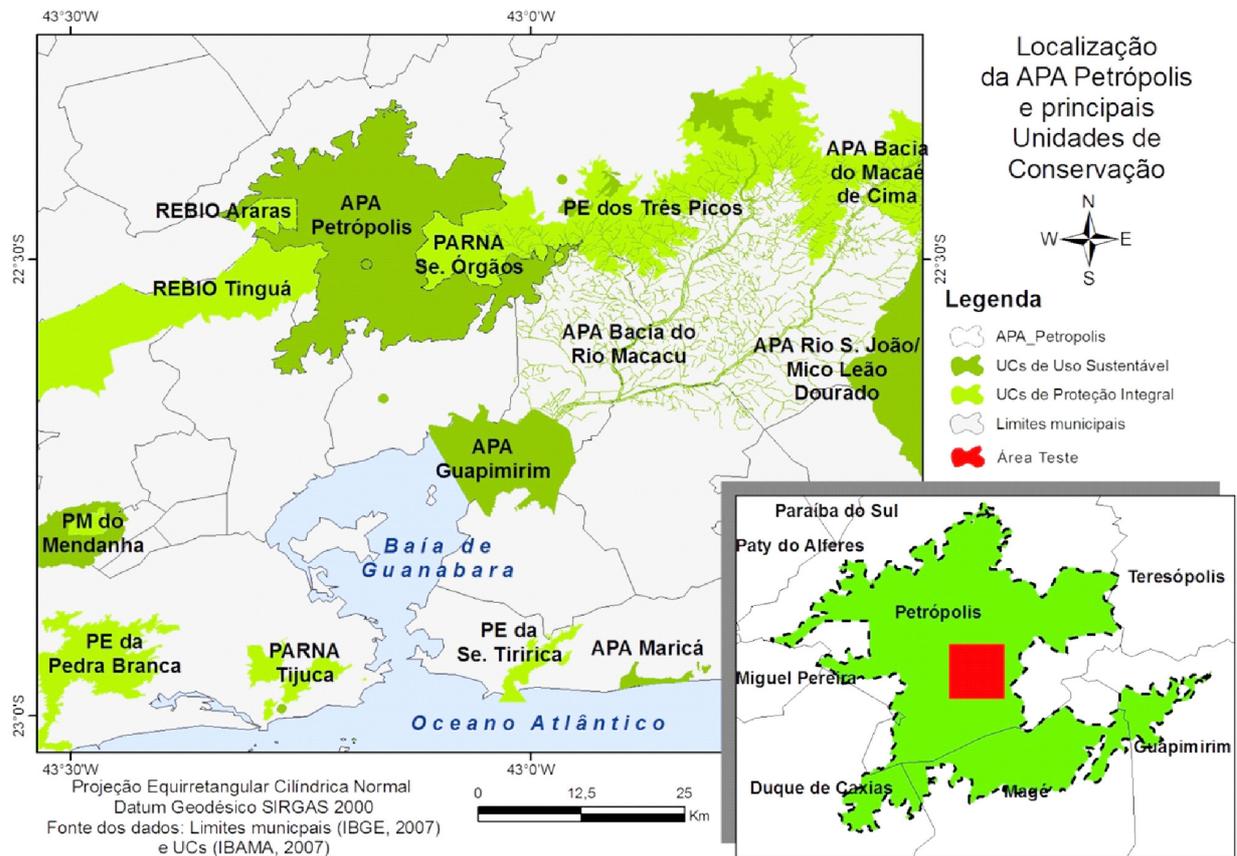


Fig. 4 – Localização da APA Petrópolis e da área teste do estudo

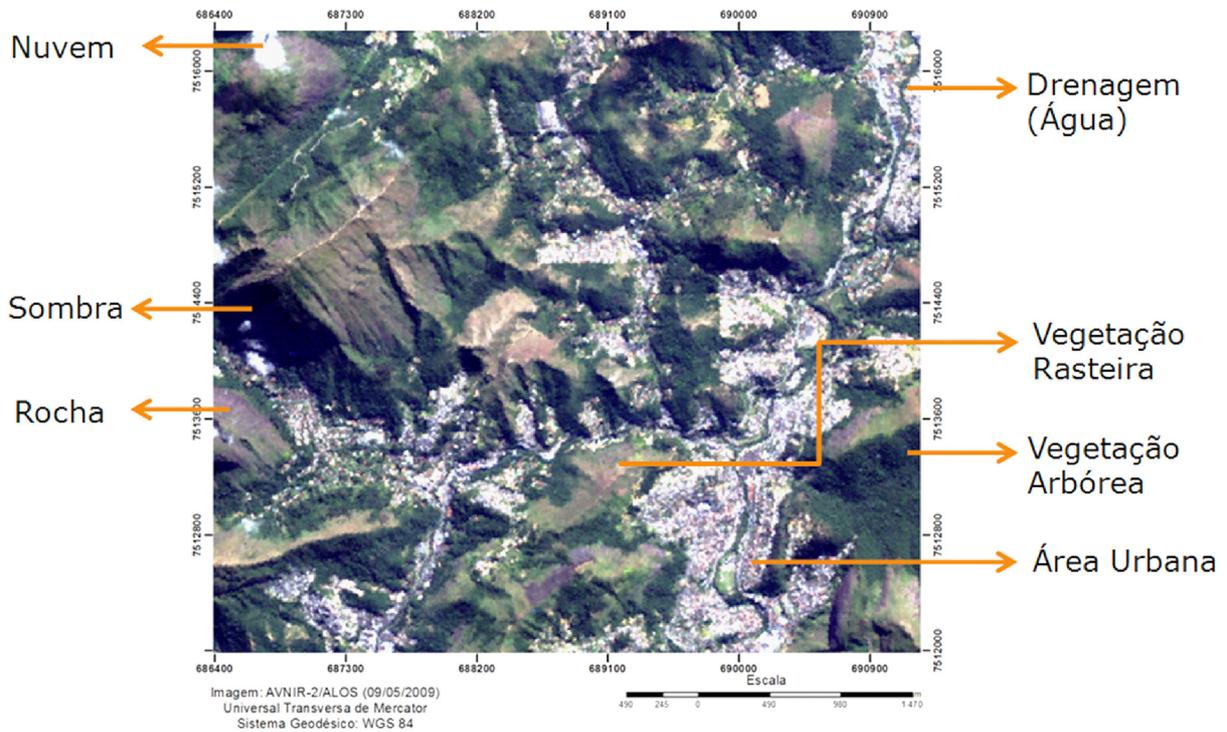


Fig. 5 – Exemplos das classes de cobertura da terra representadas na imagem AVNIR-2

Tabela 1 – Dados, operadores e atributos/parâmetros utilizados na classificação.

Classe	Dados	Operadores	Atributos/Parâmetros
Arbórea	AVNIR-2	<i>NDVI Segmenter</i>	Limiar: 0,23
			Maior confiança
Rasteira	AVNIR-2	<i>NDVI Segmenter</i>	Limiar: -0,01
			Menor confiança
Sombra	AVNIR-2	<i>Arithmetic</i>	Média aritmética das 4 bandas e limiar entre 0 e 38
Urbana	AVNIR-2	<i>Baatz Segmenter</i>	Escala: 20;
	e		Entropia Banda 1 ≥ 3.551309
	TOPODATA		Declividade $< 45^\circ$
Rocha	AVNIR-2	<i>Baatz Segmenter</i>	Escala: 20;
	e		Entropia Banda 1 < 3
	TOPODATA		Declividade $> 45^\circ$
Água	Vetor de hidrografia	<i>Shapefile Import</i>	Nome do atributo
Nuvem	AVNIR-2	<i>C4.5 Classifier</i>	Amostras adquiridas na imagem

Em relação a água que pode ser observada na imagem AVNIR-2 através de mata ciliar que acompanha a rede de drenagem houve a adoção de critério que verificou a utilização do vetor de hidrografia resultando na identificação dessa classe.

A etapa de validação dos resultados encontrados consistiu em compará-los com a realidade de campo e com a percepção de um fotointérprete classificando pontos da imagem manualmente.

Os resultados foram exportados para o formato vetorial *shapefile* e inseridos num computador de mão com receptor GPS acoplado (Mio 550B). Desta maneira foi possível comparar os resultados obtidos com a realidade de campo para correções e discussões sobre a classificação realizada em gabinete.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapa de cobertura da terra gerado a partir do modelo de conhecimento descrito anteriormente no software InterIMAGE é apresentado na figura 6.

Os resultados foram validados inicialmente com a realização de duas etapas: (1) comparação dos resultados com a realidade de campo e (2) interpretação de um fotointérprete.

Para a avaliação em campo, o resultado da classificação foi inserido em computadores de mão que possuem receptor GPS. As observações realizadas durante a navegação pela área-teste

possibilitaram o levantamento de hipóteses a cerca dos conflitos existentes na classificação decorrentes de áreas de transição como é o caso dos limites entre classes de vegetação arbórea, rasteira e rocha. Entre estas a possibilidade da influência da reflectância de bromélias localizadas nos afloramentos rochosos que, em função de suas dimensões, não são passíveis de serem representadas, uma vez que cada *pixel* abrange áreas de 15 metros.

Diferentemente da navegação em campo, a segunda validação teve um caráter mais quantitativo, buscando uma aproximação com os métodos amplamente utilizados em trabalhos de mapeamento de cobertura da terra. Esta contou com a participação de um fotointérprete que, visualmente, classificou 206 amostras bem distribuídas ao longo da área teste. Para auxiliar sua interpretação, foram utilizadas a imagem AVNIR-2/ALOS e ortofotos (IBGE, 2006).

A partir da comparação entre os resultados obtidos pela classificação no InterIMAGE e pela interpretação visual, foi elaborada a matriz de confusão (tabela 2) que fornece os dados necessários para o cálculo dos índices de acurácia global e *kappa* (CONGALTON & GREEN, 1999). O valor do índice global foi de 80%, enquanto o índice *kappa* atingiu o valor de 0,76, que de acordo com a proposta de classificação sugerida por Landis & Kock (1977), é considerado como “muito bom”.

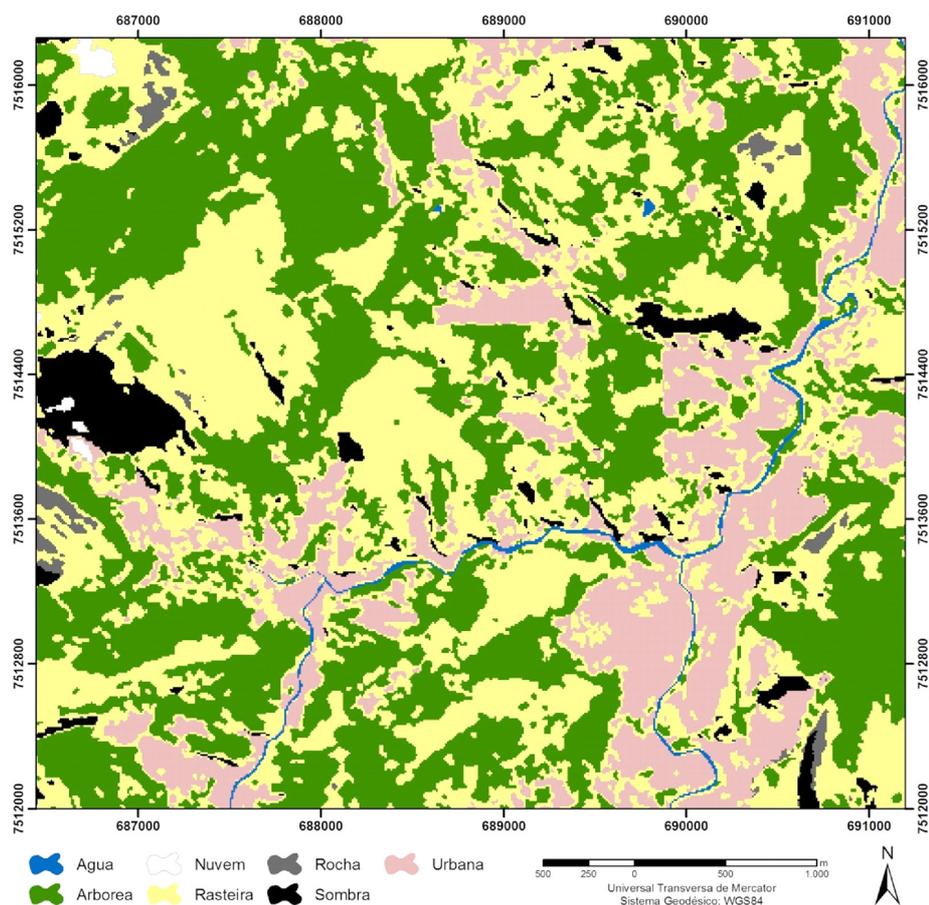


Fig. 6 – Mapa de cobertura da terra da área teste, resultante do método utilizado

Ainda baseado na matriz de confusão, foi construída uma segunda tabela contendo o percentual de acertos por classe (tabela 3). Dessa forma é verificado o comportamento entre as classes para a análise dos resultados. Os resultados percentuais auxiliam na comparação entre classes e tornam possível a realização de alguns ajustes no modelo de conhecimento.

As classes que apresentaram os melhores resultados foram sombra (86,2%), nuvem (96,8%) e área urbana (100%). Enquanto que as classes de vegetação arbórea (65,5%) e rasteira (62,1%) apresentaram maior confusão entre si e com outras classes. As classes de rocha e água tiveram resultado percentual semelhante de 73,5% e 73,1% respectivamente.

Pela análise individual das Classes nas tabelas 2 e 3 com base na metodologia empregada verificou-se que a coleta de amostras (*C4.5 Classifier*) apresentou bons resultados como foi o caso das áreas de nuvem.

A água apresentou confusão com as classes de área urbana e vegetação arbórea. Isso ocorreu

porque se trata de um rio que atravessa uma área urbanizada e que possui vegetação em suas margens. Além disso, a decisão de utilizar a base vetorial, em escala 1:10.000, acrescentou a classificação de um elemento de difícil identificação na cena de maneira espectral. Isso é interessante porque mostra a junção de dados de diferentes escalas que possibilitam a identificação de classes pouco identificadas na imagem.

Os parâmetros definidos no operador aritmético (equação de brilho e limiar) apresentaram resultados satisfatórios para a classe de sombra, que teve uma sobreposição com a classe de água de apenas 3,4% e, também com a vegetação arbórea que está em 10,3%. A confusão com a classe de vegetação arbórea ocorre principalmente em áreas com grande declividade que possuem vegetação e estão sombreadas na imagem.

As amostras de áreas urbanas classificadas automaticamente não apresentaram confusão, mas pode-se observar que ocorreram sobreposições em relação a classificação dessa classe pelo

Tabela 2 – Matriz de confusão.

Classes geradas manualmente	Água	Arbórea	Nuvem	Rasteira	Rocha	Sombra	Urbana	Total
Classes geradas automaticamente	Água	Arbórea	Nuvem	Rasteira	Rocha	Sombra	Urbana	Total
Água	19	2					5	26
Arbórea		19		10				29
Nuvem			30			1		31
Rasteira		2	1	18	2		6	29
Rocha				8	25		1	34
Sombra	1	3				25		29
Urbana							28	28
Total	20	26	31	36	27	26	40	206

Tabela 3 – Matriz de percentual de acerto por classe.

Classes geradas manualmente	Água	Arbórea	Nuvem	Rasteira	Rocha	Sombra	Urbana
Classes geradas automaticamente	Água	Arbórea	Nuvem	Rasteira	Rocha	Sombra	Urbana
Água	73,1	7,7					19,2
Arbórea		65,5		34,5			
Nuvem			96,8			3,2	
Rasteira		6,9	3,4	62,1	6,9		20,7
Rocha				23,5	73,5		2,9
Sombra	3,4	10,3				86,2	
Urbana							100

fotointérprete. As classes que indicadas visualmente apresentaram confusão com as áreas urbanas foram de vegetação rasteira, água e rocha.

As classes de vegetação rasteira (62,1%), vegetação arbórea (65,5%) e rocha (73,5%) apresentaram sobreposição entre si conforme pode ser observado na matriz de confusão (tabela 2) e na tabela 3. Isso se deve as áreas de transição existentes e a utilização dos diferentes limiares de NDVI que não eliminaram a confusão entre classes. Neste caso, trata-se de um problema observado em campo que não costuma ser resolvido pelos classificadores em geral.

No caso das áreas de rocha ocorreu durante a elaboração das regras de decisão a necessidade

de distinção com a área urbana. Por isso utilizou-se regras booleanas de entropia da banda do azul (banda 1) e declividade verificadas na tabela 1. A existência de vegetação rasteira (denominada comunidade relíquia) e a época do ano da aquisição da imagem, no período seco, propiciaram a confusão entre as áreas de rocha e vegetação rasteira.

Uma limitação encontrada no software refere-se ao processamento dos dados que encontra-se em desenvolvimento. Devido a isso, optou-se pelo tamanho de imagem 900 x 900 *pixels* utilizado em versões anteriores. Na versão 1.27 do InterIMAGE é possível processar imagem com o tamanho de 3000 x 3000 *pixels*. Os desenvolvedores

pretendem melhorar essa demanda de processamento com versão para 64 bits.

Em relação a imagem AVNIR-2 deve-se ressaltar que sua resolução espectral não dá muitas possibilidades de operações aritméticas em imagens para identificação de classes. Optou-se pela utilização do NDVI devido a disponibilidade de segmentador específico no InterIMAGE além de ser amplamente utilizado no meio científico. É importante observar outros índices existentes, assim como a inclusão de alguns fatores limitantes como a interferência atmosférica para que sejam filtrados de maneira coerente.

Os resultados mostram que o modelo de conhecimento aplicado para a classificação de cobertura da terra da área estudada atingiu o objetivo. Porém, outros dados como a inclusão de novas bandas espectrais, parâmetros, etc. poderão ser testados e avaliados posteriormente visando o refinamento dos resultados e inserção de modelos *fuzzy* que estão disponíveis no *software* e não foram explorados neste estudo.

5. CONCLUSÕES

A metodologia utilizada na geração do mapeamento da cobertura por meio da plataforma InterIMAGE obteve bons resultados. É provável que com pequenos ajustes, o mesmo tipo de procedimento poderá ser aplicado para toda a APA Petrópolis. Acredita-se também que o modelo gerado possa ser replicável para outras áreas com características semelhantes.

A verificação dos resultados obtidos através dos índices *kappa* e acurácia global mostra que a metodologia foi capaz de gerar um produto aceitável e que pode ser aprimorada com novas fontes de dados.

A análise baseada em objeto possui alguns exemplos de aplicações em dados de média e até baixa resolução (ALVES *et al.*, 2010; ALVES, 2011) que mostram a viabilidade e importância deste tipo de classificação.

A plataforma InterIMAGE encontra-se em desenvolvimento e possui algumas limitações que estão sendo superadas a cada nova versão. Além disso, o *software* pode ser mais explorado no módulo *Analysis Explorer* em que é possível a inserção de regras *fuzzy* que serão exploradas em estudos futuros.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. Raul Feitosa do Laboratório de Visão Computacional (LVC-PUC Rio) e ao Dr. Gilson Costa e MSc. Rodrigo Ferreira por todo apoio prestado no desenvolvimento do *software* InterIMAGE e pela parceria e ao Laboratório Espaço/UFRJ pela disponibilização do *software* PCI Geomatics.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano e regional. **Arq.Urb. – Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT)**, V.3, 2010. p.98-123.

ALMEIDA, C. M.; SOUZA, I. M. E.; ALVES, C. D.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q. Métodos Cognitivos de Classificação Aplicados a Imagens QuickBird para a Detecção de Áreas Residenciais Homogêneas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 1-12, 2009.

ALVES, C.D., FLORENZANO, T. G., PEREIRA, M. N.. Mapeamento de áreas urbanizadas com imagens Landsat e classificação baseada em objeto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 2, p. 189-198, jun. 2010.

ALVES, C. D. **Mudanças da cobertura e uso da terra decorrentes da expansão da cana-de-açúcar utilizando dados TM MODIS com análise orientada a objeto**. São José dos Campos: INPE, Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

BAATZ, M.; SCHÄPE. A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. **XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung**, Wichmann Verlag, Heidelberg., 2000.

BARNSLEY, M. J.; MOLLER-JENSEN, L.; BARR, S. L. Inferring urban land use by spatial and structural pattern recognition. In: DONNAY, J.; BARNSLEY, M. J.; LONGLEY, P. A. (Eds). **Remote sensing and urban analysis**. London: Taylor & Francis. cap. 7, p. 115- 144., 2001.

- BITTENCOURT, G. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. Florianópolis/SC: Editora da UFSC. 371 p., 2006.
- BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados – novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos. 2ª Ed. 303 p., 2007.
- BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G.J. **Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer. 828p., 2008.
- BOCK, M.; LESSING, R. Remote Sensing, Formation of Objects and Determination of Quality, In: Internationales Symposium “Informatik für den Umweltschutz” der Gesellschaft für Informatik (GI), 14, 2000, Bonn. **Proceedings...** Marburg: Metropolis Verlag. p. 581-594., 2000. Disponível em: <<http://enviroinfo.isep.at/UI%20200/BockM300700.el.hsp.pdf>>. Acesso em: 23 de novembro de 2003.
- BÜCKNER, J.; STAHLHUT, O.; PAHL, M.; LIEDTKE, C. E. GEOAIDA - A knowledge based automatic image data analyser for remote sensing data. In: International ICSC Congress on Computational Intelligence: Methods & Applications, 2., 2001, Bangor, Wales, United Kingdom. **Proceedings...** Millet, Alberta: ICSC. p.19-22., 2001.
- CAMARGO, F.F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/Terra**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos/SP, 2008.
- CINTRA, D. P. ; NOVACK, T. ; REGO, L. F. G. ; COSTA, G. A. O. P. ; FEITOSA, R. Q. . PIMAR Project - Monitoring the atlantic rainforest remnants and the urban growth of the Rio de Janeiro city (Brazil) through remote sensing. In: GEOBIA 2010, Ghent, Belgium. **Proceedings...**, 2010.
- CLÉMENT, V., GIRAUDON, G., HOUZELLE, S., SANDAKLY, F. Interpretation of Remotely Sensed Images in a Context of Mutsensor Fusion Using a Multispecialist Archtecture. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, 31(4), pp. 779-791., 1993.
- CONGALTON, R. G., GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**, Lewis Publishers, New York., 1999.
- 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: Uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. In.: **Revista Brasileira de Cartografia – RBC**, nº 60/4, p.331-337, 2008.
- CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B.; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E.; ARAÚJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p. 5691-5698., 2007.
- EMBRAPA – Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial. Disponível em: <<http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/alos.htm>>. Acesso em 11 de Nov.2010.
- ESTRUTURAR. **Programa de monitoramento da Mata Atlântica da APA Petrópolis: Mapeamento de vegetação e uso do solo**. Setembro de 2005.
- HUGGETT, R. J. **Geocology an Revolutionary Approach**. Routledge. London. 1995.
- 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 pp. 4065-4072. , 2005.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE **Imagens do Satélite Alos**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/alos/sensores.php>>. Acesso em 11 nov.2010.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Projeto RJ25 – Ortofotomosaico**. Disponível em ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/ortofoto/Projeto_RJ25/. Acesso em 20 nov 2010.

- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis**. Brasília, 489 p., 2007.
- INTERIMAGE. **Interpreting images freely**. <<http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/>>. (Accessed 03 nov.2011).
- INTERIMAGE. **DPI wiki** <<http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=interimage>>. (Accessed 11 feb. 2012).
- KORTING, T. S.; CASTEJON, E. F.; FONSECA, L. M. G. A first step towards a detector of ceramic roof. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE. pp. 7822-7827, 2011.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. In.: **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174., 1977
- LIEDTKE, C.E. AIDA: a system for the knowledge based interpretation of remote sensing data. In: International Airborne Remote Sensing Conference & Exhibit, 3., 1997, Copenhagen, Denmark. **Proceedings...** Copenhagen, Denmark. p. 313-320., 1997.
- MATSUYAMA, T.; HWANG, V. **SIGMA, a knowledge-based aerial image understanding system**. New York: Plenum, 296 p., 1990.
- McKEOWN, D. M., HARVEY, W. A., McDERMOTT, J. Rule Based interpretation of aerial imagery. In.: **IEEE Transactions in Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 7(5), pp. 570- 585., 1985,
- MICELI B. S., DIAS, F. M., SEABRA, F. M., SANTOS, P. R. A., FERNANDES, M. C. Avaliação Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. In.: **RBC - Revista Brasileira de Cartografia**, nº 63/1, março 2011. P. 191-201., 2011.
- MOORE, T. Geospatial expert systems. In: OPENSHAW, S.; ABRAHART, R. J. (Ed.). **Geocomputation**. London: Taylor & Francis, cap. 6, p.p. 132 – 159., 2000.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE. 250 p., 2001.
- NAVULUR, K. **Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 165p., 2006.
- NIEMANN, H; SAGERER, G.; SCHRÖDER, S.; ERNEST, F.K. A semantic network system for pattern understanding. In.: **IEEE Transactions PAMI**, v. 12, n. 9, p. 883-905, Sep. 1990.
- NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quickbird**. (INPE-14183-TDI/1095). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 214 p., 2009.
- NOVO, E.M.L. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. 308 p. 1992.
- PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 95 p. (INPE-15211-TAE/71). PhD Thesis - Universidade de Hannover, São José dos Campos. 2008.
- 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 intra-urbano: o caso de São José dos Campos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 180 p., 2005.
- PRADO, F.A. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas: UNESP Presidente Prudente, 168 f., 2009.
- RIBEIRO, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 177 p., 2010.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia: EDUFU, 7ª Ed. 264 p., 2009.

ROSÁRIO, L. S.; CRUZ, C. B. M.; OLIVEIRA, L. M. T.; SANTOS, P. R. A. Análise Orientada a Objeto no Mapeamento dos Estágios Sucessionais da Vegetação na Escala 1:25.000 – um Estudo de Caso da REBIO União, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p. 7119-7126., 2009.

ROUSE, J.W., Haas, R.H. Schell, J.A., Deering, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium**, NASA SP-351. pp. 309-317., 1973.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **Object-oriented and design.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 500p., 1991.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfométricos locais.** São José dos Campos: INPE., 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 03 de nov. 2011.

VICENS, R. S.; CRONEMBERGER, F. M.; CRUZ, C. B. M. Análise multi-resolução e modelagem do conhecimento na diferenciação de fisionomias de florestas em remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 4519-4526, 2009.