

## **AVALIAÇÃO DE IMAGENS ALOS PARA MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA - INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL DO BRASIL**

### **ALOS IMAGERY EVALUATION FOR MAPPING LAND USE AND LAND COVER - BRAZILIAN NATIONAL FOREST INVENTORY**

Samuel Martins da Costa Coura<sup>1</sup>, Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>, Flávio Jorge Ponzoni<sup>1</sup>, Gabriel Pereira<sup>1</sup>,  
Andre Lima<sup>1</sup>, Ivan Dornelas Falcone de Melo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, {samuel,yosio,flavio,gabriel,andre}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Serviço Florestal Brasileiro — SFB. Sede do IBAMA SCEN, Av: L4, Trecho 02 - Bloco G 70.818-900 Brasília, DF, Brasil, ivan.melo@florestal.gov.br

#### **RESUMO**

O mapeamento da vegetação constitui um dos componentes mais importantes no Inventário Florestal Nacional do Brasil (INF-BR), que visa fornecer informações sobre as florestas naturais e plantadas, sua composição florística, extensão, distribuição espacial, estoque florestal, diversidade e dinâmica estrutural. Imagens dos sensores AVNIR e PRISM do satélite ALOS foram avaliadas para o mapeamento do uso e cobertura da terra em seis Unidades de Amostra de Paisagem (UAP) representativas dos biomas estudados neste trabalho. As imagens foram sistematicamente classificadas aplicando os algoritmos MaxVer, Isepeg, Bhattacharya e K-Médias. O classificador MaxVer apresentou melhor desempenho quando comparado aos demais algoritmos de classificação. A metodologia de mapeamento foi avaliada tomando como referência a UAP localizada na Mata Atlântica no Estado de São Paulo, que apresentou concordância de 0,81 (índice Kappa) entre as amostras do mapa e as de campo. Os resultados obtidos confirmam o potencial das imagens ALOS para mapeamento da vegetação em escala local, sendo dessa forma, plenamente aplicáveis para o objetivo do IFN-BR.

*Palavras-chave:* Sensoriamento remoto, SIG, ALOS, mapeamento, vegetação, inventário florestal.

#### **ABSTRACT**

Vegetation mapping is usually an important component in the Brazilian National Forest Inventory which aims to provide information regarding the native and planted forests, its composition, extension, spatial distribution, biodiversity and dynamics. AVNIR and PRISM images from ALOS satellite were evaluated for land use and land cover mapping in six Landscape Sample Units (UAP) representing the biomes studied here. The images were systematically classified applying MaxVer, Isepeg, Bhattacharya and K-Mean algorithms. The Maxver algorithm presented the best performance comparing to the other classification algorithms. Landscape Sample Unity (UAP) in the Atlantic Rain Forest, in São Paulo State was used as reference to evaluate the methodology mapping which presented a Kappa Index of 0.81 between the reference map and ground truth. The results confirmed the potential of ALOS images for mapping vegetation in a local scale, being fully applicable for the Brazilian National Forest Inventory proposals.

*Keywords:* Remote sensing, GIS, ALOS, mapping, vegetation, forest inventory.

#### **INTRODUÇÃO**

O último inventário florestal nacional (IFN) foi realizado na primeira metade da década de 80. Entre os anos 1980-82 foi feito o inventário dos reflorestamentos em âmbito nacional, e entre 1981-84 realizou-se o inventário das florestas nativas. A ênfase deste IFN foi dada ao conhecimento dos estoques florestais de madeira existentes nas regiões inventariadas. Porém, neste IFN a região Amazônica não foi contemplada, já

que um levantamento minucioso de seus recursos naturais havia sido realizado pelo projeto RADAM Brasil na década de 70.

Transcorridos mais de 30 anos do último IFN, a ocupação urbana, a expansão da fronteira agrícola e a exploração dos recursos naturais mudaram a paisagem florestal de forma significativa, tanto na sua área de ocupação quanto em sua composição e estrutura florística. Por outro lado, no decorrer deste tempo obtiveram-se grandes avanços técnicos e metodológicos para o mapeamento e o monitoramento da cobertura da superfície terrestre baseados em ferramentas como o sensoriamento remoto e a geomática (DEFRIES, 2002).

O Brasil possui extensão territorial de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais se estima que 4,8 milhões de km<sup>2</sup> são cobertos por florestas. Mesmo que a importância dos recursos florestais seja reconhecida, os inventários florestais de âmbito nacional estão defasados em uma ordem de décadas. É premente a necessidade de um novo inventário florestal nacional, visto que a importância ambiental das florestas brasileiras ultrapassa os seus limites, assumindo um papel em escala global. Consequentemente, apenas com a implantação de um inventário florestal nacional é que existirão subsídios para a formulação de políticas públicas que considerem tanto o uso quanto a conservação desses recursos para as gerações futuras.

O sensoriamento remoto tem sido ferramenta amplamente utilizada na identificação, no mapeamento e no monitoramento das diferentes formações vegetais. Tais atividades são relevantes por várias razões, especialmente porque constituem informação essencial para o estudo dos ciclos biogeoquímicos globais e do impacto resultante das atividades antropogênicas (ZHANG *et al.*, 2003). Desta forma, o sensoriamento remoto se apresenta como uma técnica fundamental para a elaboração de um novo Inventário Florestal Nacional.

Assim, com o objetivo de desenvolver uma metodologia de mapeamento facilmente replicável, de baixo custo e capaz de gerar resultados consistentes, este trabalho foi desenvolvido para avaliar o potencial das imagens dos sensores AVNIR (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer*) e PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) usando os classificadores MaxVer, Ioseg, Bhattacharya e K-Médias do aplicativo livre SPRING para o mapeamento do uso e cobertura da terra.

## MATERIAL E MÉTODOS

As imagens orbitais utilizadas são oriundas dos sensores AVNIR e PRISM presentes no satélite ALOS, lançado pela Agência Espacial Japonesa (JAXA), <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/avnir2.htm> e <http://www.ibge.gov.br/alos/sensores.php>. Este satélite tem como principais missões obter imagens de todo o planeta para fins de monitoramento de desastres ambientais naturais, levantamentos de recursos naturais, entre outros.

O ALOS possui órbita heliosíncrona, a 692 km de altitude com revisita de 46 dias. O sensor AVNIR possui resolução espacial de 10 m (nadir), resolução radiométrica de 8 bits e resolução espectral representada por 4 bandas: 1) 0,42-0,50µm (azul); 2) 0,52-0,60µm (verde); 3) 0,61-0,69µm (vermelho), e 4) 0,76-0,89 µm (infra-vermelho médio). Já a imagem pancromática do sensor PRISM compreende o seguinte intervalo espectral (0,52-0,77 µm), com resolução espacial de 2,5m e radiométrica de 8bits (IBGE, 2010).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) possui a autorização para comercialização das imagens ALOS no Brasil, tendo constituído banco de dados com inúmeras cenas. O preço da cena ALOS é US\$ 125,00 <http://www.ibge.gov.br/alos/faq.php> (IBGE, 2010). Sendo a faixa imageada correspondente a 70 km de largura.

Neste trabalho os biomas representados no mapeamento foram Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. Para cada bioma foram utilizados dois conjuntos de cenas AVNIR+PRISM situados em localizações distintas, perfazendo um total de seis conjuntos de imagens.

Os conjuntos de imagens foram georreferenciados usando como referência o produto orto-retificado da base Geocover (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>). Após esta etapa, seguiu-se com a interpretação visual das cenas visando à identificação de regiões com maior proporção de vegetação de porte florestal remanescente, as quais foram recortadas em quadrados de 10x10 km, denominadas Unidades de Amostras de Paisagem (UAP)

Um banco de dados geográficos referente a cada UAP foi elaborado no aplicativo SPRING. Em seguida, cada um dos conjuntos de cenas foi classificado utilizando os algoritmos MaxVer, Iseseg, Bhattacharya e K-médias. Esses algoritmos foram aplicados de forma sistemática ao conjunto de imagens referentes às UAPs estabelecidas. As classes mapeadas em cada UAP foram provenientes da legenda proposta pelo Manual Técnico da Vegetação (IBGE, 1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados das classificações realizadas a partir de diferentes algoritmos, supervisionados (MAXVER e Bhattacharya) e não-supervisionado (Iseseg) a partir da imagem ALOS (Figura 1a) para a região de Campinas (SP) e para a região de Jati (CE), respectivamente. Percebe-se pelo resultado da interpretação visual da imagem ALOS que a região de Campinas apresenta grande quantidade de áreas de reflorestamento, bem destacadas na imagem pelos elementos interpretativos de textura e forma. Já a imagem no Bioma Caatinga apresenta áreas agrícolas bem definidas, com algumas cicatrizes de queimada e áreas de solo exposto (Figura 2a).

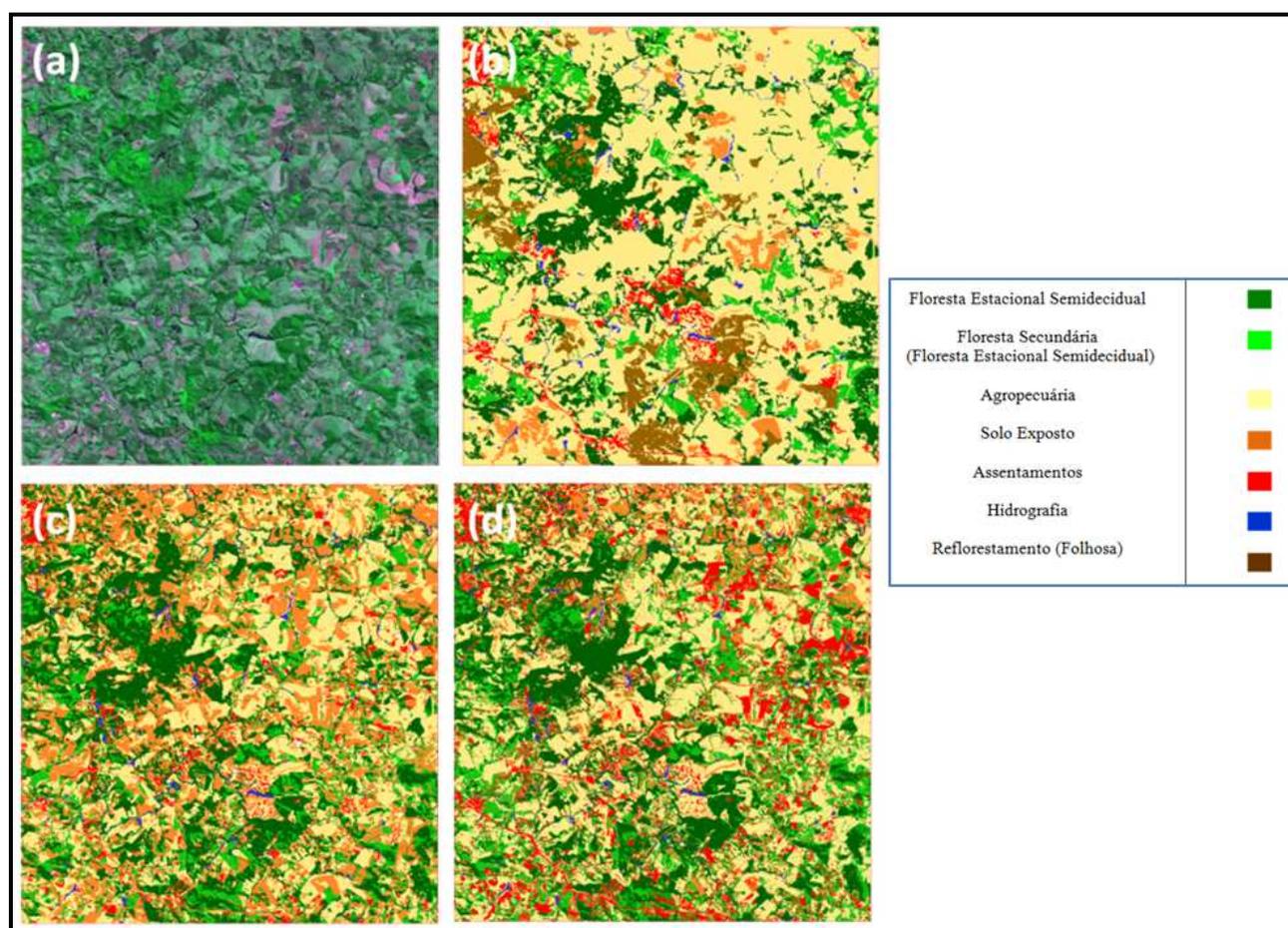


Figura 1. (a) Imagem ALOS (10m) composição 2B3R4G; (b) Classificação MAXVER; (c) Classificação Bhattacharya; (d) Classificação ISOSEG para o bioma Mata Atlântica.

Figure 1. (a) ALOS (10m) Imagery composition 2B3R4G; (b) MAXVER classification; (c) Bhattacharya classification; and (d) ISOSEG classification for the Atlantic Forest biome.

Uma análise preliminar das imagens classificadas permite inferir que embora o classificador MaxVer utilize um algoritmo de agrupamento pixel a pixel, na qual a classificação baseia-se na avaliação das distâncias

entre as médias dos níveis de cinza da imagem, este apresenta os melhores resultados no mapeamento de áreas de reflorestamento, assim como, áreas de Floresta Estacional Semidecidual e Decidual. Neste caso, pode-se dizer que o conjunto de amostras do treinamento, que fornecem informações para compor o diagrama de dispersão de cada classe de uso e cobertura da terra e sua distribuição de probabilidade, foi suficiente eficaz para gerar resultado de classificação consistente. Ainda, percebe-se que o classificador não-supervisionado ISOSEG, que utiliza regiões ao invés de estatísticas pixel a pixel, apresentou baixo desempenho de distinguir áreas de reflorestamento e tendeu a classificá-las como Floresta Estacional Semidecidual, bem como, classificar áreas de solo exposto como áreas agrícolas.

O classificador ISOSEG baseia-se apenas em estatísticas obtidas a partir da segmentação da imagem. Neste caso, a separabilidade das classes é realizada automaticamente a partir de parâmetros como tamanho da área, matriz de covariância e média.

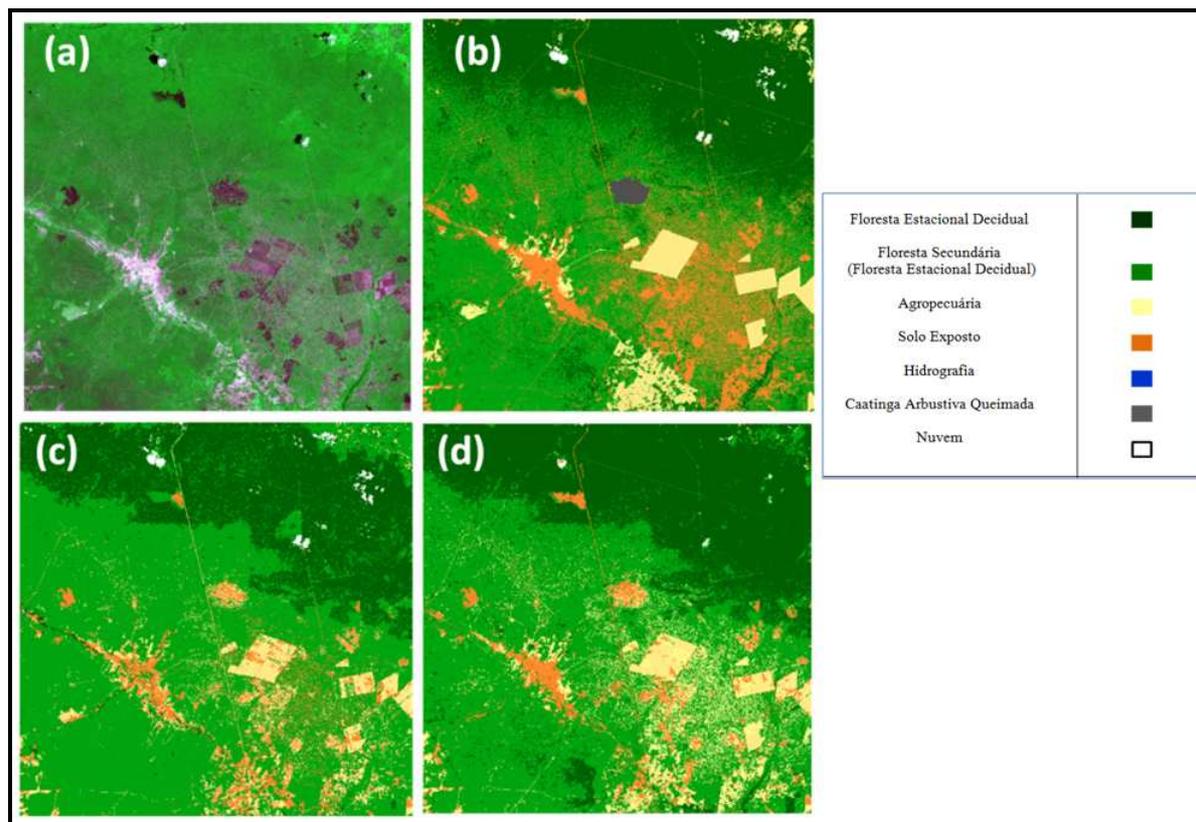


Figura 2. (a) Imagem ALOS/AVNIR (10m) composição 2B3R4G; (b) Classificação MAXVER; (c) Classificação Bhattacharya; (d) Classificação ISOSEG para o Bioma Caatinga

Figure 2. ALOS/AVNIR Imagery (10m) composition 2B3R4G; (b) MAXVER Classification; (c) Bhattacharya Classification; and (d) ISOSEG Classification for the Deciduous Forest.

O algoritmo Bhattacharya é um classificador por regiões supervisionado que ao invés de utilizar a distância de Mahalanobis para agrupar as regiões a partir da medida de similaridade entre elas, emprega a distância de Bhattacharya para estimar a diferença estatística entre um par de classes espectrais. Desta forma, devem-se selecionar as amostras de cada classe de uso e cobertura da terra com base na imagem segmentada. Percebe-se que neste caso, a classificação apresentou uma tendência a subestimar as áreas de reflorestamento. Este fato pode estar relacionado aos limiares de similaridade e área mínima adotados como parâmetros de entrada para a geração da imagem segmentada, visto que esta metodologia propõe o mapeamento sistemático de todo o território nacional e este processamento requer um custo computacional muito elevado. Ressalta-se que as amostras deste classificador foram selecionadas tendo como base as amostras do classificador Maxver.

A Figura 3 ilustra a imagem ALOS/AVNIR da região de Campinas, localizada no Estado de São Paulo, onde foi realizado o trabalho de campo visando validar o resultado obtido para a cena em questão. Os pontos inseridos no quadrado (em preto) referem-se aos pontos (amostras) coletados ao longo da região de interesse,

na Unidade de Amostra de Paisagem (UAP). Conseqüentemente foi realizada uma missão de campo em Janeiro de 2010, com a finalidade de se conhecer e observar *in situ* as condições e características das diferentes fitofisionomias presentes na Unidade de Amostra de Paisagem selecionada.

Estes dados permitiram a identificação de regiões a serem usadas como verdade terrestre nos procedimentos de classificação e interpretação das imagens e a avaliação da acurácia do mapa gerado no mapeamento da Unidade de Amostra de Paisagem (UPA) para o Bioma Mata Atlântica. Desta maneira, o trabalho de campo foi direcionado para melhorar a precisão do mapa a ser gerado, a partir da coleta de 32 (trinta e dois) pontos amostrais com o GPS (Sistema de Posicionamento Global) em áreas homogêneas e representativas de todas as fitofisionomias e áreas antropizadas. Os dados/pontos foram coletados, principalmente, ao longo de rodovias secundárias e rurais. Uma descrição de cada ponto visitado foi feita.

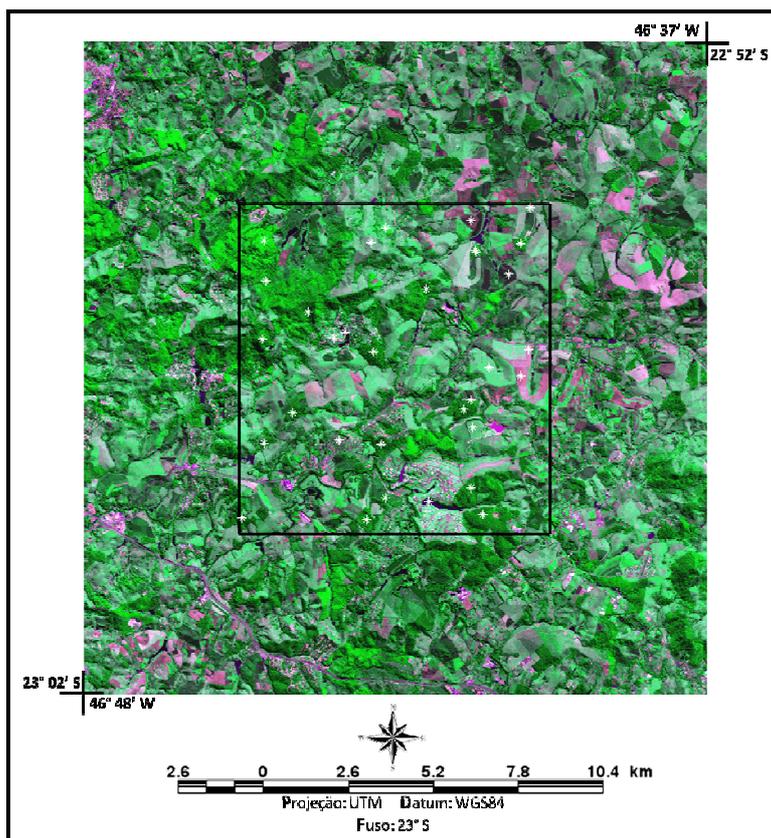


Figura 3. (a) Imagem AVNIR/ALOS (10m) composição 2B3R4G região de Campinas- SP em 20/06/2008.

Figure 3. (a) ALOS/AVNIR Imagery (10m) composition 2B3R4G in Campinas, São Paulo State in 06/20/2008.

A dinâmica do mapeamento das classes e a confusão entre as mesmas podem ser mais bem compreendidas através da análise da Tabela 1, que ilustra a matriz de confusão para os pontos coletados em campo para o mapa de referência obtido pelas imagens ALOS.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que o maior grau de confusão ocorreu entre as classes A e C, ou seja, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Semidecidual Secundária. Tal resultado pode ser explicado em função da grande similaridade no comportamento espectral de ambas as classes em questão, em função, principalmente pelas variações sutis na composição estrutural das classes em questão e bem como suas características fitossociológicas intrínsecas. A estatística Kappa apresentou um índice de exatidão de 0,81, que segundo a literatura é considerado como ótimo.

Ressalta-se que em função do custo muito inferior às imagens existentes com as mesmas características, excelente qualidade de posicionamento anunciada, o interesse pelas imagens do ALOS, especificamente do sensor PRISM, tem sido intenso por uma grande parcela da comunidade do sensoriamento remoto, incluindo o próprio IBGE. As imagens PRISM apresentam grande potencial de uso para mapeamento topográfico,

tanto devido a sua alta resolução espacial (2,5 metros) quanto a sua capacidade estereoscópica, que torna possível a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

Tabela 1. Matriz de Confusão.

Table 1. Confusion Matrix.

	A	B	C	D	E	F	G
A	7		2				
B		2					
C			6				
D				4			
E					2		2
F	1					4	
G							2

Note que: A (Floresta Estacional Semidecidual), B (Hidrografia), C (Floresta Estacional Secundária), D (Agropecuária), E (Assentamentos), F (Reflorestamento), G (Solo Exposto).

Para mapeamentos de uso e cobertura da terra, as bandas multiespectrais AVNIR são importantes para um melhor delineamento de classes no processo de classificação. No processo de classificação o aplicativo (qualquer que seja não se restringindo ao SPRING que foi aqui utilizado), processa diversas bandas espectrais nos algoritmos de classificação. Dessa forma, quanto mais bandas maiores as quantidades de informação espectral presente.

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que o método de classificação de imagens que melhor atendeu às expectativas do mapeamento foi o MAXVER. Este algoritmo apresentou os melhores agrupamentos de classes em relação aos demais testados. Neste sentido, com a utilização do SPRING 4.3 (DPI-INPE), é o método recomendado para classificação/ mapeamento do uso e cobertura da terra nas imagens ALOS, na abordagem em questão.

No entanto, cabe salientar que diversos outros aplicativos de processamento digital de imagens estão disponíveis no mercado. Em função disso, vários outros algoritmos de classificação de imagens podem ser utilizados. Especificamente para imagens de alta resolução, como ALOS, os aplicativos que executam algoritmos orientados a objetos são os mais recomendados, pois utilizam não somente a informação espectral (reflectância presente no pixel) e suas vizinhanças, mas variáveis como forma, textura, tamanho, largura, altimetria etc. Resultando assim em extração mais detalhada das informações presentes nas imagens.

## REFERÊNCIAS

Defries, R.S. *et al.* Carbon Emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for 1980s and 1990s. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**. V.99, n.22, p. 14256-14261.2002

Divisão de Processamento de Imagens – DPI - <http://www.dpi.inpe.br/spring/> - Acessado em 10/06/10 IBGE. <http://www.ibge.gov.br/alos/faq.php>

IBGE. **Manual técnico da vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992, 97p.

Zhang, X. A. *et al.* Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003.