

## **Avaliação do potencial de discriminação de classes de cobertura da terra utilizando dados ALOS/PALSAR e classificador polarimétrico**

Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1</sup>  
Bruno Rodrigues do Prado<sup>2</sup>  
Rogério Galante Negri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de São Paulo – UNESP/Rio Claro  
Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente  
Av. 24A, 1515 – Bela Vista – 13506-900 - Rio Claro - SP, Brasil  
agomes@rc.unesp.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
prado@dsr.inpe.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Pós-Graduação em Computação Aplicada  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
rogerio@dpi.inpe.br

**Abstract.** Monitoring land cover and land use for tropical environment is important and necessary to know the land use patterns and to identify the agents of change detection. The mapping of tropical forests from polarimetric radar images is a useful tool for identifying different targets, facilitated because the penetration through clouds and the different polarizations of these kind of data. This work aim to test the application of polarimetric classifier (with Maximum Likelihood and Interated Conditional Modes) when applied to the ALOS/Palsar image (polarimetric scene of mode FBD, 1.5 level) for the discrimination of the following classes: primary forest, degraded forest, secondary forest, and agriculture (agriculture, bare soil and pasture). PRODES, DETER, and Landsat Thematic Mapper (TM) data covering the study area were used to evaluate the performance of the classification. The confusion matrix was used to assess the classification accuracy using Kappa coefficient values of agreement. This technique was tested in an area from the tropical forest region in Mato Grosso State, Brazil. The MaxVER-ICM classifier showed an efficient result for discrimination of land cover classes in study area. The best polarization to identify the primary forest, secondary forest and agriculture was HH+HV and the class degraded forest was not good discriminate in any classification results.

**Palavras-chave:** ALOS/PALSAR image, polarimetric classifier, tropical forest, imagens ALOS/PALSAR, classificador polarimétrico, floresta tropical.

### **1. Introdução**

O mapeamento de florestas tropicais utilizando dados de radar tem se tornado bastante comum devido ao diferencial de mapeamento dessas imagens, não afetadas pela cobertura de nuvens. Com o surgimento dos radares polarimétricos, como RADARSAT-2, ALOS, COSMO e TerraSAR-X, as diferentes polarizações podem contribuir para a melhor diferenciação de alvos. Imagens coletadas em diferentes estruturas de dossel, de acordo com a frequência que define o poder de penetração de cada sensor, geram um grande intervalo de valores de retroespalhamento, o que também facilita a classificação dos tipos florestais. (Kuplich, 2003). No entanto, em imagens com polarização cruzada (HV ou VH), por exemplo, os tipos florestais apresentam potencial para uma melhor discriminação em todas as frequências, segundo Saatchi et al. (1997), pois a interação das microondas no dossel, troncos e galhos é um dos mecanismos que ocasiona a despolarização das microondas incidentes, facilitando sua interpretação.

As imagens ALOS/PALSAR têm se mostrado uma importante ferramenta para a discriminação de dados florestais, principalmente em trabalhos desenvolvidos em regiões tropicais (Narvaes et al, 2007; Watanabe et al, 2007) onde fácil acesso a esse tipo de dado tem permitido realizar alguns testes.

Por conta disso, este trabalho procura avaliar o resultado das classificações de dados polarimétricos de uma imagem ALOS/PALSAR no modo FBD 1.5 (dados em amplitude) da região amazônica, definindo o potencial de discriminação das classes de cobertura da terra definidas: floresta primária, floresta secundária, floresta degradada e agricultura. Pretende-se avaliar a separabilidade das classes utilizando os dados vetoriais disponibilizados pelo Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia – PRODES (Câmara et al, 2006) e pelo Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER (INPE, 2008).

## 2. Área de estudo

A área de estudo está localizada na porção norte do Estado de Mato Grosso, correspondendo a uma pequena porção dentro do município União do Sul. A área está compreendida entre as coordenadas oeste  $54^{\circ}05'5''$  e  $54^{\circ}26'20''$  de longitude e  $11^{\circ}27'06''$  e  $11^{\circ}40'32''$  de latitude, apresentada pela Figura 1.

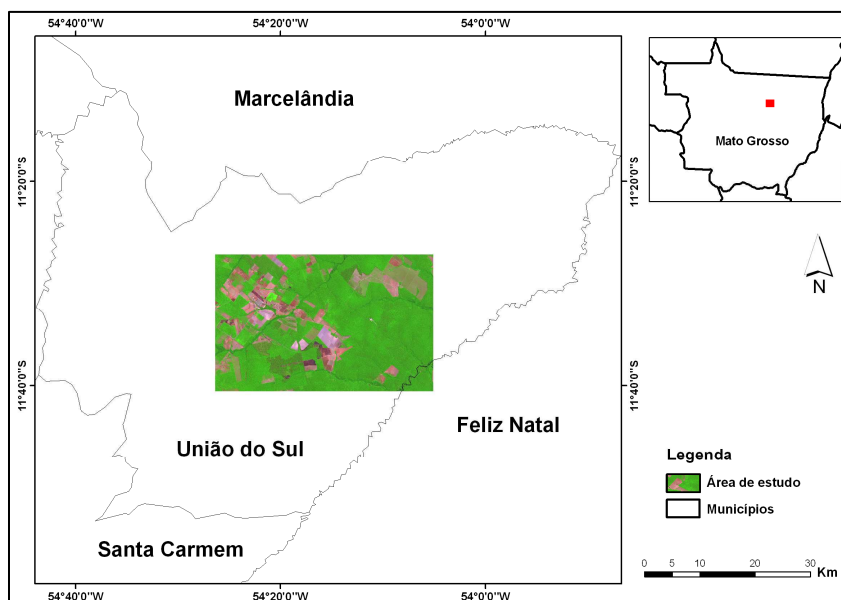


Figura 1. Localização da área de estudo.

As principais atividades econômicas da região estão centradas no setor primário da economia, com destaque para a agricultura e pecuária extensiva (IBGE, 2008). Esta área foi selecionada por possuir classes representativas que permitissem a identificação de uso e cobertura da terra, além de dados referentes aos projetos PRODES e DETER, permitindo uma análise coerente dos resultados encontrados.

## 3. Materiais e Métodos

Para a execução do trabalho foram empregadas imagens ótica e de radar. Com relação à imagem de radar, utilizou-se um recorte da cena ALOS/PALSAR, adquirida em 03 de agosto de 2007 no modo FBD (*Fine Beam Dual*), com polarizações HH e HV, nível 1.5 de processamento, geocodificada. A imagem dispõe de 4 looks, 16 bits de resolução radiométrica e espaçamento de pixel de 12,5 x 12,5m, sendo adquirida via ALOS User Interface Gateway (AUIG), serviço integrado da Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). O sensor ALOS/PALSAR é um instrumento SAR multipolarizado que opera em banda L

(comprimento de onda de 23,5cm) e possui três modos de imageamento: Fine, ScanSAR e Polarimétrico (JAXA, 2007). Como apoio na identificação das classes de cobertura e uso da terra foi utilizada uma cena Landsat/TM5, órbita-ponto 226/068, adquirida em 17 de agosto de 2007. Dados vetoriais referentes ao ano base de 2007, produzidos pelo PRODES e DETER também foram utilizados. O PRODES disponibiliza a estimativa anual do desflorestamento (do tipo corte raso) na Amazônia Legal, enquanto o DETER mapeia o processo de desmatamento por degradação florestal (INPE, 2008; Câmara et al., 2006).

Para visualização das etapas empregadas na realização deste trabalho, foi elaborado um fluxograma, apresentado na Figura 2.

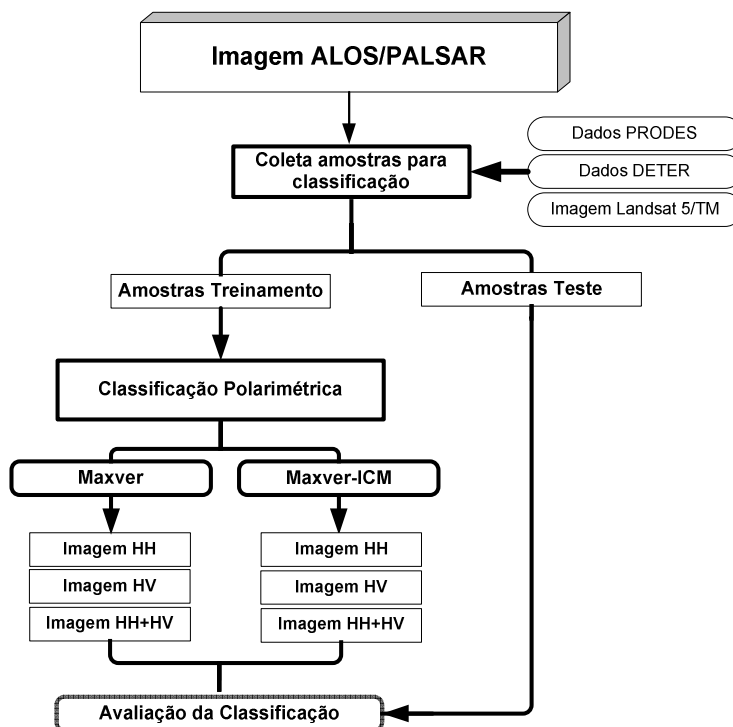


Figura 2. Etapas de trabalho desenvolvidas.

Baseado em padrões de fotointerpretação, na imagem Landsat/TM5 e em dados pré-existent (PRODES e DETER) foram estabelecidas as seguintes classes de cobertura da terra: floresta primária, floresta degradada, floresta secundária e agricultura.

A classe floresta primária consiste na formação vegetal arbórea original que não sofreu interferência ou degradação por uso antrópico. A classe floresta degradada abrange as formações florestais que estão sendo submetidas a diferentes níveis de degradação devido a fatores como exploração madeireira ou fogo. A classe floresta secundária se refere às formações florestais resultantes de processos naturais de sucessão, ocorrendo em áreas que sofreram supressão total ou parcial da vegetação primária pela intervenção humana para uso da terra, descaracterizando a vegetação original.

As formações (floresta secundária) desenvolvem-se em áreas abandonadas após usos diversificados ou em áreas naturais submetidas a variados níveis de degradação. O processo de sucessão permite o surgimento da vegetação secundária e é condicionando por diferentes padrões de regeneração. E a classe agricultura engloba a porção da superfície utilizada para práticas agrícolas. Contemplam as áreas com lavouras temporárias, de curta ou média duração ou lavouras permanentes. Nessa classe são incluídas também as lavouras de subsistência, as pastagens e o solo exposto (geralmente caracterizado por reduzida cobertura vegetal, encontrada em períodos de preparo do solo para plantio).

Foi delimitado um conjunto de 6 amostras para cada classe (duas amostras de teste e quatro amostras de treinamento), totalizando 24 amostras de tamanho e forma variáveis para representar as classes e sua localização é apresentada na Figura 3.

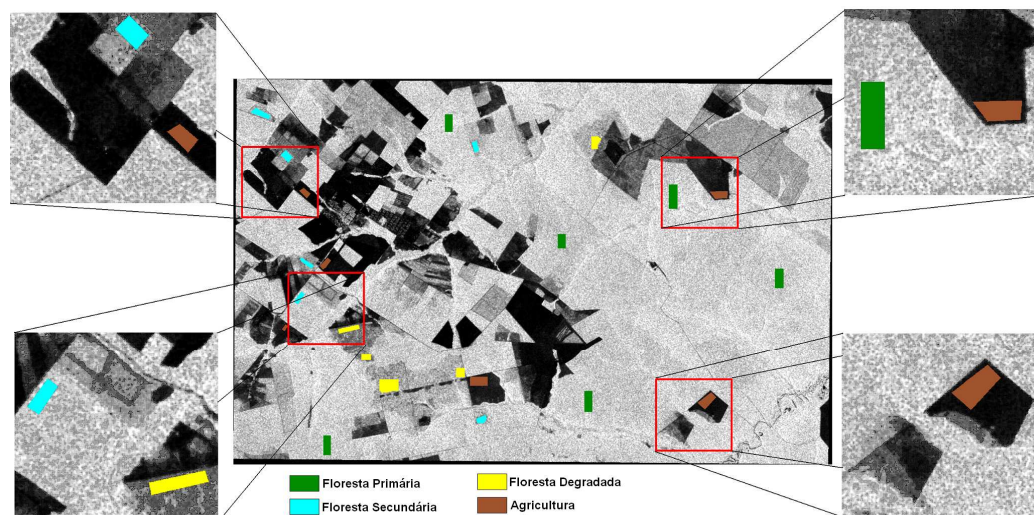


Figura 3. Localização de amostras coletadas.

O classificador utilizado para os resultados foi desenvolvido por Correia (1999) que realiza as classificações MaxVER e ICM.

O classificador MAXVER é um classificador supervisionado pontual (*pixel a pixel*). Nesse processo de classificação as informações proporcionadas pelos *pixels* vizinhos não são consideradas, e o processo utiliza apenas a informação existente em um único elemento. O classificador apresenta bom desempenho e implementação, sendo amplamente adotado nas classificações de imagens de sensoriamento remoto (Mather, 1999). O algoritmo ICM (*Interactive Conditional Mode*) é um classificador *pixel a pixel* contextual que considera as informações da vizinhança do *pixel* classificado. O classificador MaxVER, utilizado no algoritmo MaxVER-ICM inicia o processo de classificação, e o processo tem prosseguimento substituindo, a cada interação, a classe atribuída a cada *pixel* pela classe maximiza a distribuição em relação aos níveis de cinza (valores de radiometria considerados no algoritmo MaxVER) e as informações existentes nas classes vizinhas (informação de contexto considerada pelo algoritmo ICM) (Vieira, 1996).

O algoritmo de classificação estatístico polarimétrico desenvolvido em Vieira (1996) e posteriormente aperfeiçoado por Correia (1999) foi implementado no *software* ENVI (RSI, 2005) em linguagem IDL (*Interactive Development Language*) e diversos estudos mostraram sua eficácia na classificação de imagens SAR (Frery et al., 2007; Silva, 2007; Gaboardi, 2002). Este classificador polarimétrico possibilita a modelagem estatística dos dados de SAR para distribuições apropriadas às imagens de radar, inclusive para a própria distribuição Normal.

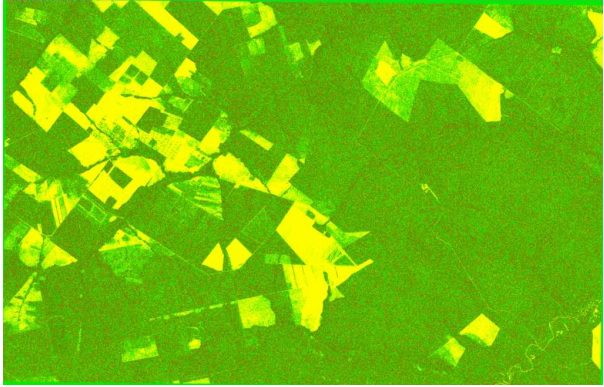
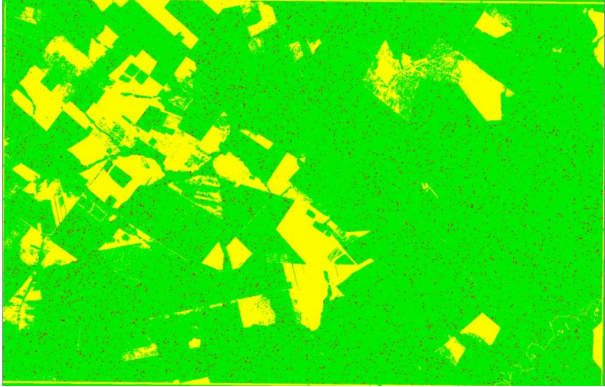
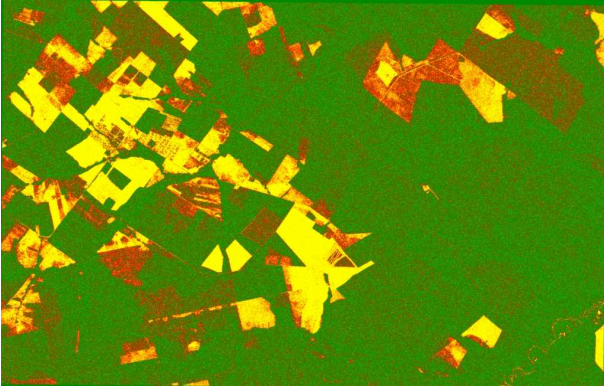
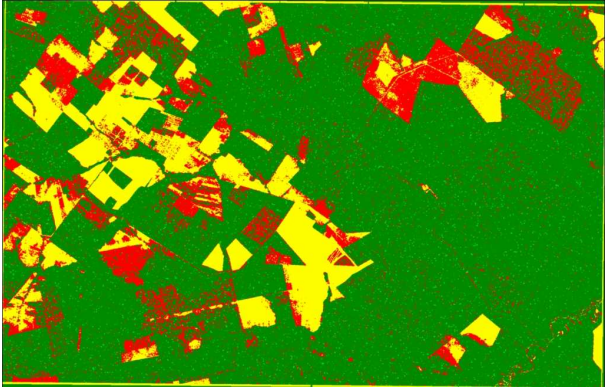
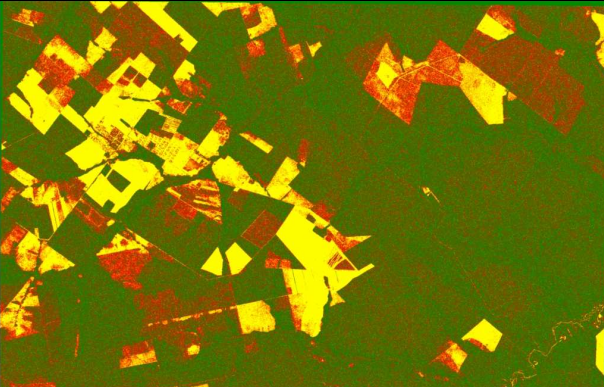
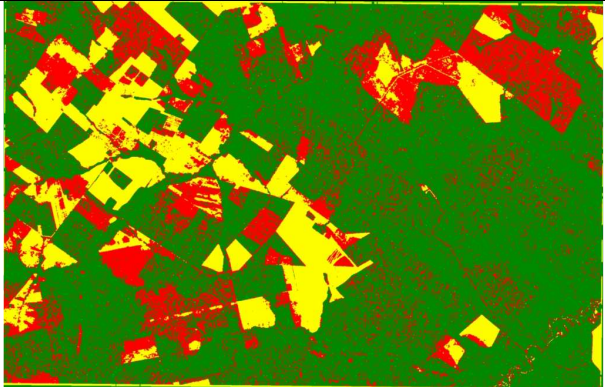

A classificação MaxVER-ICM assumiu um limiar de aceitação de 100% em todas as classificações, atribuindo todos os *pixels* a uma determinada classe. Como critério de parada foi assumido o valor 0.1% de trocas de classes e número de interações igual a 20. O nível de convergência definido pelo usuário de 0,1% define a quantidade de *pixels* que serão modificados na última interação (menor que a determinada porcentagem) e o valor 20 define o número máximo de interações previamente estabelecidas.

As classificações foram avaliadas pelo índice de concordância *Kappa* (Hudson e Ramm, 1987) que é gerado a partir da construção da matriz de confusão e os valores produzidos são comparados a tabelas de referência que definem a qualidade dessa classificação.

### 3. Resultados e Discussão

O resultado visual das classificações assim como os valores dos coeficientes *kappa* para cada imagem gerada pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das classificações MaxVER e MaxVER-ICM do classificador polarimétrico.

Imagem Classificada - MaxVER	Imagem Classificada – MaxVER-ICM
 <p style="text-align: center;"><b>HH</b> <i>Kappa</i> = 0.3058</p>	 <p style="text-align: center;"><b>HH</b> <i>Kappa</i> = 0.3625</p>
 <p style="text-align: center;"><b>HV</b> <i>Kappa</i> = 0.4280</p>	 <p style="text-align: center;"><b>HV</b> <i>Kappa</i> = 0.6370</p>
 <p style="text-align: center;"><b>HH + HV</b> <i>Kappa</i> = 0.4884</p>	 <p style="text-align: center;"><b>HH + HV</b> <i>Kappa</i> = 0.6746</p>
	

Foram classificadas as seguintes polarizações separadamente: HH, HV e HH+HV (imagem de polarização HH juntamente com a imagem de polarização HV) para a verificação de possíveis diferenças entre resultados.

As classificações que utilizaram o algoritmo MaxVER-ICM apresentaram os maiores valores de concordância *Kappa*, tendo a combinação da imagem HH e da imagem HV o maior potencial para a discriminação das classes de cobertura consideradas na área de estudo.

De uma forma geral, o desempenho das classificações esteve diretamente relacionado às polarizações da imagem ALOS/PALSAR. As imagens classificadas a partir da polarização HH apresentaram resultados de *kappa* inferiores a 0.5, evidenciando a dificuldade em se obter informações sobre a estrutura da vegetação neste tipo de polarização mas, com resultados expressivos para a classe agricultura. Em algumas áreas não houve separação entre agricultura e floresta secundária o que se percebe também no resultado para o classificador MaxVER, onde ocorre uma grande confusão entre a floresta primária e floresta degradada, chegando à inversão de classes no classificador MaxVER-ICM. O resultado dos classificadores, quando aplicado à imagem HH evidencia a pouca quantidade de informação registrada sobre a floresta secundária nesta polarização.

Os resultados das imagens classificadas a partir da polarização HV já apresentaram resultados mais coerentes, evidenciando o espalhamento volumétrico registrado pela interação com a vegetação, que é captado pela imagem HV. Este espalhamento permite obter maiores informações sobre a estrutura da vegetação e permite melhores resultados na classificação. Tanto no classificador MaxVER quanto no MaxVER-ICM, as classes de floresta primária, floresta secundária e agricultura puderam ser bem discriminadas. A classe floresta degradada, no entanto, bastante heterogênea em seu padrão, não pôde ser claramente evidenciada.

Por último, a junção das polarizações (HH+HV) permitiu a melhor discriminação dos alvos, baseada nas informações contidas nessas componentes de espalhamento. A classe floresta primária foi bastante confundida com a classe floresta secundária no resultado apresentado pelo classificador MaxVER, com redução desta confusão no resultado do classificador MaxVER-ICM, que melhor preservou a informação contextual. As classes de floresta secundária e agricultura também foram bem distinguidas porém, a classe floresta degradada não foi discriminada com exatidão.

Os maiores valores de coeficiente *kappa* foram observados nos resultados da classificação MaxVER-ICM da imagem HH+HV ( $kappa = 0.6746$ ), seguido pela imagem HV ( $kappa = 0.6370$ ), o que é esperado para este tipo de estudo (Saatchi et al, 1997). O diferencial entre os resultados com a imagem polarizadas foi que na HH a região de floresta primária, mais rugosa, foi melhor delimitada enquanto na HH+HV a classificação de superfícies mais lisas, como é o caso das áreas de agricultura, foi facilitada.

#### 4. Conclusões

Pode-se concluir que as imagens polarimétricas se mostram uma importante ferramenta para o mapeamento da floresta em suas diferentes estruturas e permite a geração de resultados de classificação bastante coerentes com os encontrados em literatura para as classes agricultura, floresta primária e floresta secundária.

O classificador MaxVER-ICM apresentou um maior potencial na discriminação das classes de cobertura da terra definidas na área de estudo. A melhor polarização identificação foi a combinação da polarização HH e HV, permitindo as maior separabilidade entres as classes.

Os baixos valores de *kappa* podem indicar a necessidade da coleta de uma maior quantidade de amostras de teste o que também poderia melhorar os resultados para a classe floresta degradada pois, devido ao “diferencial” de padrão observado nestas áreas seu mapeamento se tornou limitado.

Estudos posteriores devem também considerar imagens das quatro polarizações, avaliando a imagem de polarização VV e o potencial da combinação dessa banda com outras polarizações para os objetivos do trabalho.

O classificador polarimétrico desenvolvido por Correia (1999) se mostrou bastante útil para se trabalhar com imagens polarimétricas e pode ser aplicado para qualquer área, tomando os mesmos cuidados para a aquisição e seleção de amostras representativas de cada classe e à preparação dos dados. Esta replicabilidade torna todo o procedimento recomendável em pesquisas semelhantes.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem às agências financiadoras CNPq e CAPES pelo suporte financeiro dos autores em suas pesquisas de doutorado e mestrado.

### **Referências Bibliográficas**

Câmara, G.; Valeriano, D. M.; Soares, J. V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 2006. 24 p.

Correia, A. H. **Projeto, desenvolvimento e avaliação de classificadores estatísticos pontuais e contextuais para imagens SAR polarimétricas**. 1998. 271 p. (INPE-7178-TDI/679). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999.

Frery, A. C.; Correia, A. H.; Freitas, C. C. Classifying multifrequency fully polarimetric imagery with multiple sources of statistical evidence and contextual information. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 10, p. 3098-3109, 2007.

Gaboardi, C. **Utilização de imagem de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional do Tapajós**. São José dos Campos, 139 p. (INPE-9612-TDI/842). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

Hudson, W. D.; Ramm, C. W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, n. 4, p. 421-422, 1987.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Banco de Dados Agregados**. 2008. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/territorio>>. Acesso em: 02 jun. 2008.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia - DETER: Aspectos gerais, metodológicos e plano de desenvolvimento**. 2008. 16 p.

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Earth Observation Research Center. **ALOS User Handbook**. NDX-070015. 2007.

Kuplich, T. M. Estudos florestais com imagens de radar. **Espaço & Geografia**, vol. 6, n.1, p.65-90, 2003

Mather, P. M. **Computer processing of remotely sensed images: an introduction**. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

Narvaes, I. S.; Silva, A. Q.; Santos, J. R. Evaluation of the interaction between SAR L-band signal and structural parameters of forest cover. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. **Proceedings**. Barcelona, p.1607-1610, 2007.

Research Systems Inc. (RSI). **The Environment for Visualizing Images - ENVI**. Boulder, CO, USA, 2005.

Saatchi, S. S.; Soares, J. V.; Alves, D. S. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 191-202, 1997.

Silva, W. F. **Imagens polarimétricas em banda L do SAR-R99B e do MAPSAR (simuladas) para distinguir culturas agrícolas.** São José dos Campos, 145 p. (INPE-14821-TDI/1261). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.

Vieira, P. R., **Desenvolvimento de classificadores de máxima verossimilhança e ICM para imagens SAR.** São José dos Campos, 251 p. (INPE 6124-TDI/585). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

Watanabe, M.; Shimada, M.; Ouchi, K.; Wang, H.; Matsuoka, M.; Sato, M. Forest monitoring with JERS-1/SAR and ALOS/PALSAR. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. **Proceedings.** Barcelona, p. 2326-2329, 2007.