

## Influência do georreferenciamento na classificação de imagem JERS-1

Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1,2</sup>  
Corina da Costa Freitas<sup>2</sup>  
Sidnei João Siqueira Sant'Anna<sup>2</sup>  
Luciano Vieira Dutra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP/Rio Claro  
Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – IGCE / DGA  
Caixa Postal 178 - 13416-900 – Rio Claro - SP, Brasil  
agomes@rc.unesp.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Divisão de Processamento de Imagens - DPI  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{agomes, corina, sidnei, dutra}@dpi.inpe.br

**Abstract.** The objective of this study is to evaluate the geometric correction effect over JERS-1 SAR image statistical classification results. An image from the surroundings of the Tapajós National Forest, Brazil was used for this purpose. The JERS-1 image and three other images formed by filtering the original one by mean, Frost and Lee filters, were used as input images for three different classifiers: Maximum Likelihood, Maximum Likelihood – Iterated Conditional Modes (ICM), and *Bathcharrya* distance. The georeference of images didn't affect the results of Maximum Likelihood, Maximum Likelihood – ICM classifiers. However *Bathcharrya* classifier produced different statistical results.

**Palavras-chave:** JERS-1 image, SPRING, geometric correction, image classification, imagem JERS-1, SPRING, correção geométrica, classificação de imagem.

### 1. Introdução

As imagens de radar têm sido bastante utilizadas para mapeamento e monitoramento de florestas tropicais, pois são pouco afetadas pela cobertura de nuvens, comuns nestas áreas. Exemplos de uso de dados de radar para o mapeamento da floresta tropical amazônica podem ser vistos em Hernandez Filho et al. (1997), Dutra et al. (1999), Freitas et al. (1999) e Santos et al. (2002), entre outros. Este tipo de imagem apresenta peculiaridades com relação à sua aquisição e processamento, exigindo algumas especificidades na sua utilização.

O georreferenciamento ou transformação geométrica define uma nova relação entre os diversos sistemas de coordenadas e a imagem, interpolando-a para novos valores de níveis de cinza (Gonzalez e Woods, 2000). Estes novos valores, aliados aos processamentos digitais, podem ocasionar diferenças significativas à estatística da imagem.

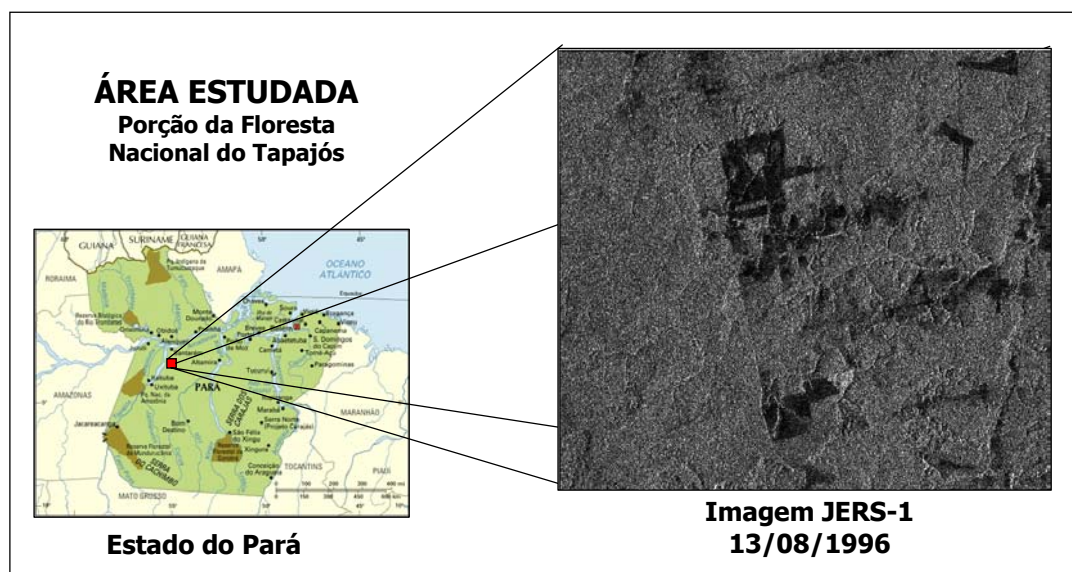
A filtragem espacial transforma o nível de cinza dos *pixels* de uma imagem de acordo com o tipo de filtro e a máscara aplicada (INPE, 2006). A classificação, por sua vez, extrai informação a partir de características espectrais dos *pixels*. Os classificadores são divididos em dois grandes grupos: *pixel-a-pixel* ou por regiões. O primeiro utiliza apenas a informação espectral para encontrar regiões homogêneas e o segundo analisa também a relação entre os *pixels* e seus vizinhos, definida a partir de um conjunto de regiões de uma imagem segmentada (INPE, 2006; Schowengerdt, 1997).

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da correção geométrica sobre as classificações da imagem JERS-1. O efeito da aplicação de filtros específicos para radar anteriormente ao processo de segmentação e classificação sobre o resultado final foi também avaliado. O Sistema de Informação Geográfica SPRING (INPE, 2006) foi utilizado para processamentos digitais. As comparações entre as classificações foram efetuadas através dos coeficientes de concordância *kappa* (global e por classe) e do teste estatístico Z de igualdade desses coeficientes.

## 2. Área estudada

A área selecionada corresponde a uma porção da área da Floresta Nacional do Tapajós (FLONA) e está localizada ao sul da cidade de Santarém, no Estado do Pará, entre as latitudes Sul 03° 23' 1,69" a Sul 03° 11' 10,41" e longitude Oeste 55° 01' 1,40" a Oeste 54° 47' 58,45". Esta região faz fronteira a leste com a Rodovia Cuiabá-Santarém e a oeste com o Rio Tapajós. Apresenta alterações dinâmicas resultantes da ocupação humana e essa característica possibilitou identificar diferentes usos do solo: pastagem/solo exposto, floresta e vegetação secundária.

A **Figura 1** apresenta a localização da área estudada, e a imagem JERS-1, com 1931 colunas e 1744 linhas, adquirida em 13/08/1996 com as seguintes características: órbita/ponto 405/306, banda L, polarização HH, amplitude, 3 *looks*, resolução de 12,5m e ângulo de incidência de 35°.



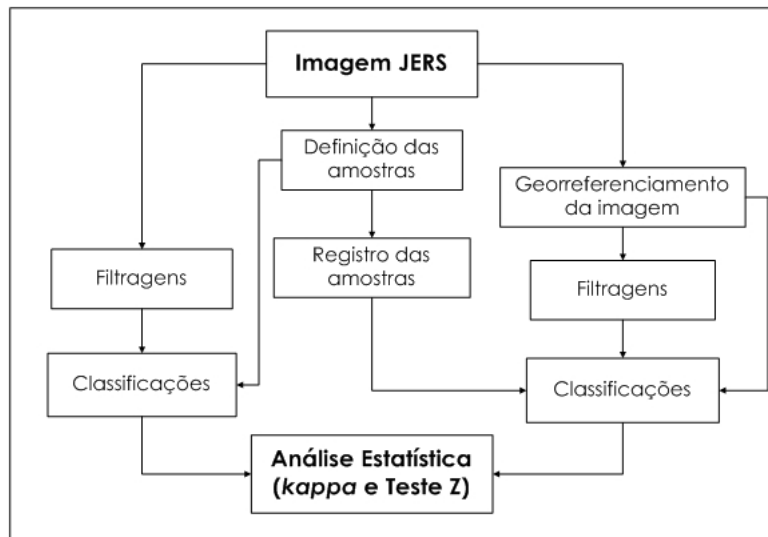
**Figura 1** – Localização da área de estudo.

## 3. Método

A **Figura 2** apresenta um esquema dos processamentos realizados com a imagem JERS-1 até a análise estatística dos resultados.

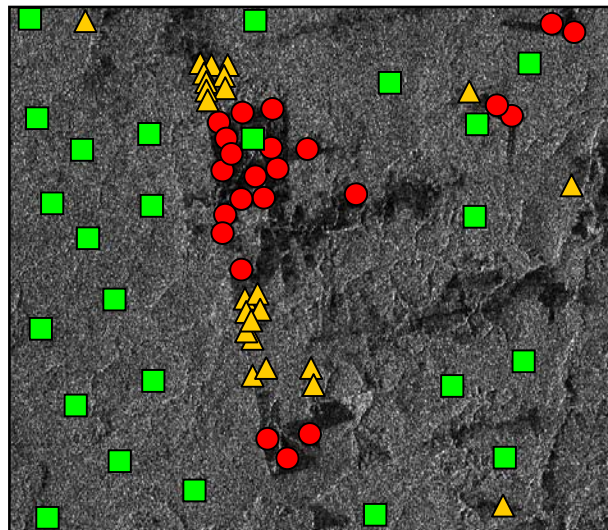
A imagem JERS-1 foi submetida à mesma seqüência de processamentos digitais, antes e após o georreferenciamento, definindo as novas características cartográficas (projeção, datum, longitude de origem) da imagem. Em uma primeira etapa, a imagem é importada ao SPRING, onde são definidas as amostras. Foram definidas as classes *floresta* primária, floresta secundária em diferentes estágios de *regeneração* e *pastagem*/solo exposto, baseadas em critérios de

interpretação visual da imagem Landsat/TM de 25/08/96, e em outros trabalhos realizados na mesma área de estudo (Gaboardi, 2003; Angelis et al., 2002).



**Figura 2** – Representação esquemática dos procedimentos metodológicos.

A **Figura 3** apresenta a imagem Landsat/TM com a localização das amostras de treinamento e teste. Para cada classe foram coletadas 24 amostras de tamanho  $10 \times 10$  pixels, dentre as quais 16 amostras foram utilizadas na fase de treinamento (aquisição) dos classificadores, e 8 amostras de teste usadas para a obtenção das matrizes de confusão empregadas na avaliação dos resultados das classificações.



**Figura 3** – Localização das amostras de treinamento.  
( ■ floresta - ● pastagem - ▲ regeneração)

A imagem foi submetida aos processamentos de filtragem, segmentação e classificação, descritos na **Tabela 1**.

**Tabela 1 – Processamentos realizados na imagem JERS-1.**

<b>FILTROS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Frost	Filtro convolucional linear, específico para imagens de radar, que minimiza o ruído <i>speckle</i> , supondo uma função de correlação espacial exponencial entre <i>pixels</i> .
Lee	Filtro local, específico para imagens de radar, que utiliza estatísticas locais do <i>pixel</i> a ser filtrado, considerando a não estacionaridade da média e da variância do sinal.
Média	Filtro passa-baixa que substitui o valor do <i>pixel</i> original pela média aritmética do <i>pixel</i> e seus vizinhos.
<b>SEGMENTADOR</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Crescimento por regiões	Particiona a imagem em regiões que são consideradas um conjunto de <i>pixels</i> contíguos que apresentam uma certa uniformidade. No caso do processo por "crescimento de regiões" ocorre o agrupamento de dados, no qual somente as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas. Inicialmente há uma rotulação de cada <i>pixel</i> como uma região distinta e um critério de similaridade é calculado para cada par de regiões.
<b>CLASSIFICADORES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Maxver	Método supervisionado <i>pixel-a-pixel</i> , onde amostras previamente selecionadas são utilizadas para o treinamento do classificador. Esta classificação é oriunda do método estatístico de Máxima Verossimilhança e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes.
Maxver-ICM	Método supervisionado pontual/contextual que considera também o contexto na classificação. Em uma primeira fase, a imagem é classificada pelo algoritmo Maxver e na fase seguinte, leva-se em conta a informação contextual da imagem, ou seja, a classe atribuída depende tanto do valor observado no <i>pixel</i> , quanto das classes atribuídas aos seus vizinhos.
<i>Batthacharrya</i>	Método supervisionado que utiliza a distância de <i>Batthacharrya</i> para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. A separabilidade é calculada através da distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais.

Fonte: INPE (2006), Gonzalez e Woods (2000); Correia et al. (1998), Schowengerdt (1997).

À imagem JERS-1, sem correção geométrica, foram aplicados os processamentos descritos na **Tabela 1**. Em um outro momento, a imagem foi corrigida geometricamente sobre uma imagem georeferenciada Landsat/TM de 25/08/1996 da mesma área de estudo. Durante esta etapa, foram coletados 15 pontos de controle correspondentes entre as duas imagens, com erro residual médio de 1,75 *pixels*. Os mesmos pontos utilizados para o georreferenciamento da imagem JERS-1 foram utilizados para o registro das amostras de treinamento e teste. A interpolação através do vizinho-mais-próximo foi escolhida por alterar menos os dados corrigidos com relação aos dados originais.

As filtrações das imagens georeferenciadas foram realizadas anteriormente ao processo de segmentação e classificação, com janela de processamento 5x5 *pixels*. A segmentação realizada no SPRING exigiu a definição de valores de similaridade e de área de *pixel* (INPE, 2006) de acordo com as características estatísticas de cada uma das imagens. O valor de similaridade foi calculado, estatisticamente, variando de 11 a 20.

Foram geradas, desta forma, 12 classificações com imagens sem georreferenciamento ([1 original + 3 filtradas] x [3 classificadores]) e 12 classificações com as imagens georeferenciadas. Para facilitar a identificação de cada uma das classificações realizadas, a **Tabela 2** apresenta o conjunto de siglas utilizada neste trabalho.

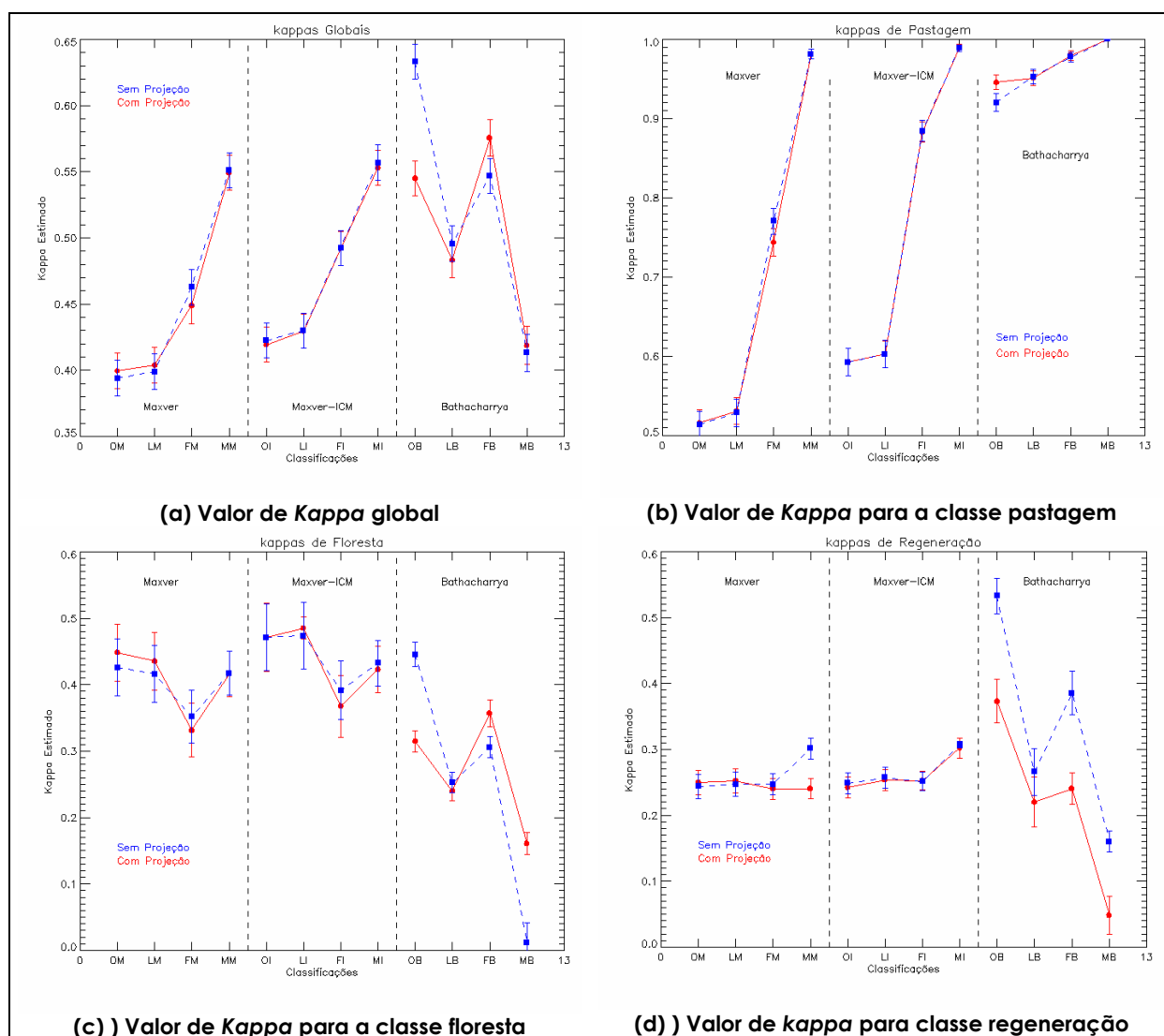
**Tabela 2 – Siglas utilizadas para a identificação das imagens classificadas**

<b>Imagem</b>	<b>Classificador</b>	<b>Siglas</b>	<b>Imagem</b>	<b>Classificador</b>	<b>Siglas</b>
Original	<i>Batthacharrya</i>	<b>OB</b>	Filtrada Lee	<i>Batthacharrya</i>	<b>LB</b>
Original	<i>Maxver</i>	<b>OM</b>	Filtrada Lee	<i>Maxver</i>	<b>LM</b>
Original	<i>Maxver-ICM</i>	<b>OI</b>	Filtrada Lee	<i>Maxver-ICM</i>	<b>LI</b>
Filtrada Frost	<i>Batthacharrya</i>	<b>FB</b>	Filtrada Média	<i>Batthacharrya</i>	<b>MB</b>
Filtrada Frost	<i>Maxver</i>	<b>FM</b>	Filtrada Média	<i>Maxver</i>	<b>MM</b>
Filtrada Frost	<i>Maxver-ICM</i>	<b>FI</b>	Filtrada Média	<i>Maxver-ICM</i>	<b>MI</b>

Os resultados das classificações foram avaliados a partir de amostras de teste, pelo coeficiente de concordância *kappa* e de sua variância, tendo sido aplicado testes de hipóteses para igualdade destes coeficientes.

#### 4. Resultados

A **Figura 4** apresenta os valores de *kappa* com seus respectivos desvios-padrões, sendo os 4 primeiros valores para as classificações *Maxver*, os 4 seguintes valores para as classificações *Maxver-ICM* e os últimos 4 valores para as classificações *Bathacharrya*. A **Figura 4a** são apresentados os valores de *kappas* globais e nas **Figuras 4b, 4c, 4d** os valores de *kappa* para as classes pastagem, floresta e regeneração respectivamente.



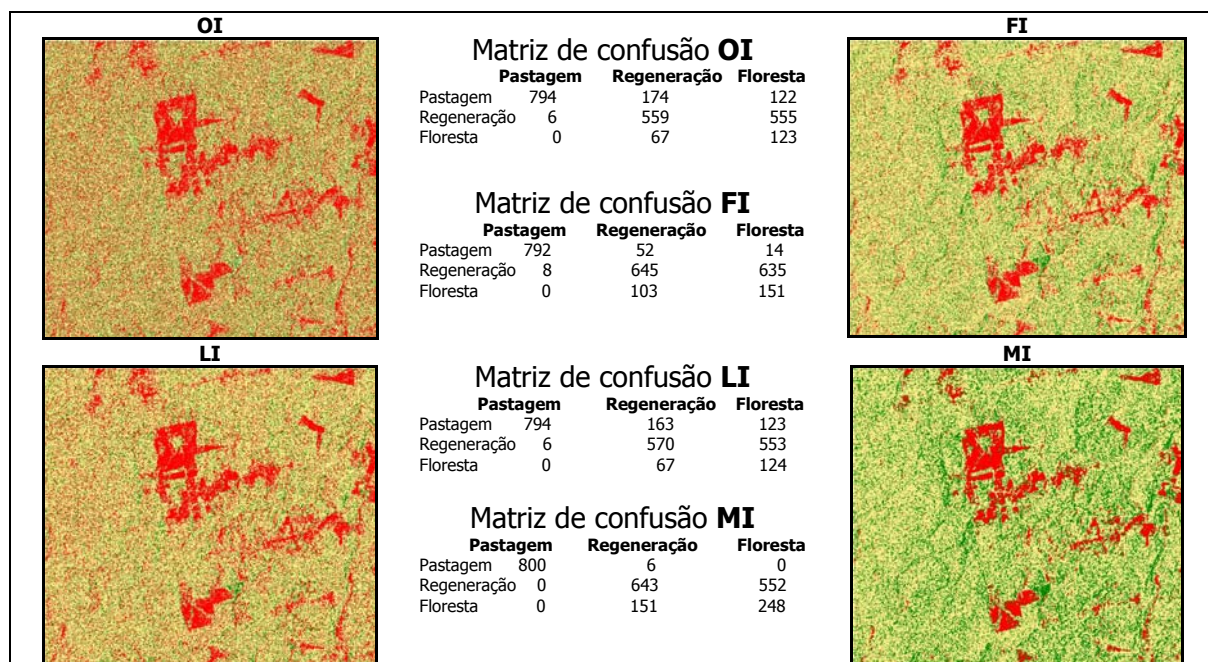
**Figura 4** – Valores estimados do coeficiente *kappa* para as classificações.

#### 4.1 – Resultados das classificações *Maxver* e *Maxver-ICM*

Pode-se observar, pela **Figura 4**, que o desempenho das classificações *Maxver* e *Maxver-ICM* em geral não é significativamente alterado com o processo de georreferenciamento da imagem. Apesar do classificador *Maxver-ICM* incorporar a informação contextual, diminuindo a quantidade de *pixels* classificados isoladamente, os resultados deste classificador não foram estatisticamente diferentes do classificador *Maxver*, ao nível de confiança de 95%. Provavelmente um número maior de iterações do algoritmo *Maxver-ICM* seja necessário para aumentar o seu desempenho.

Por este motivo, apenas serão feitas considerações sobre os resultados das classificações *Maxver-ICM* realizadas sobre as imagens não georreferenciadas, mas essas considerações são válidas para todas as classificações *Maxver* e *Maxver-ICM* georreferenciadas. Na **Figura 5** são apresentadas as imagens não georreferenciadas classificadas pelo *Maxver-ICM* juntamente com as respectivas matrizes de confusão. Pode-se notar que grande parte das áreas de *floresta* foi classificada como *regeneração*, enquanto a classe *pastagem* apresentou boa discriminação. A confusão das classes *floresta* e *regeneração* já era esperada e foi relatada em outros trabalhos (Angelis et al., 2002; Freitas et al., 1999).

Pode-se observar pela **Figura 4a** que a utilização do filtro de Lee (**LI**) não ocasionou resultados significativamente melhores com relação à imagem original (**OI**). No entanto, a aplicação dos filtros de Frost (**FI**) e, em especial, o da média (**MI**) melhorou o resultado das classificações. Este bom desempenho do filtro da média pode ser observado também nas **Figuras 4b** e **4d**, onde os valores estimados de *kappa* para as classes *pastagem* e *regeneração* são superiores aos demais valores de *kappa* para as outras imagens. De qualquer maneira, pela **Figura 5**, observa-se que ainda permanece a grande confusão entre as classes *regeneração* e *floresta* mesmo após a aplicação qualquer um dos filtros.



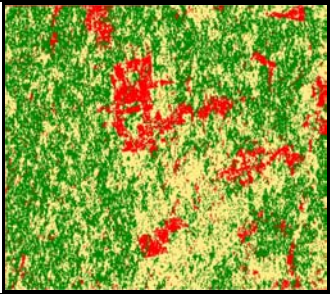
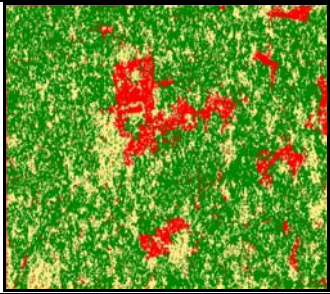
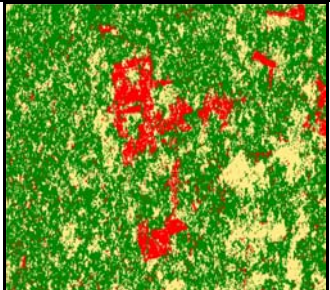
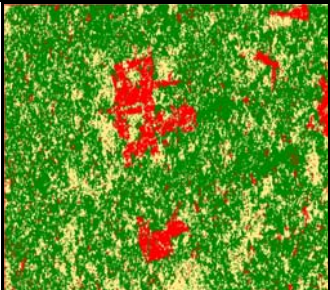
**Figura 4** – Classificações *Maxver-ICM* em imagens sem correção geométrica

#### 4.2 – Resultados das classificações *Bathacharrya*

Os resultados do classificador *Bathacharrya* aplicado às todas imagens são apresentados na **Figura 6**. Pode-se notar a melhor separação das classes quando comparadas às classificações *Maxver-ICM*. Isto se deve, principalmente, às regiões geradas no processo de segmentação que determinam a área a ser classificada.

Pela análise da **Figura 4a**, as classificações *Bathacharrya* não foram influenciadas pelo georreferenciamento no resultado global das classificações, com exceção da classificação da imagem original. No entanto, pela **Figura 6**, pode-se notar, tanto visualmente quanto pelas matrizes de confusão, a influência do georreferenciamento nos resultados das classificações. Pelas **Figuras 4b, 4c, e 4d**, esta influência foi maior para as classes *regeneração e floresta*. Como este classificador utiliza uma imagem segmentada, a alteração acarretada pelo georreferenciamento modificou os critérios para a extração das regiões, produzindo imagens segmentadas bem diferentes antes e após o georreferenciamento. O posicionamento das amostras também deve ser levado em conta, uma vez que o deslocamento ocasionado após o registro das amostras pode ter modificado a região onde esta se encontrava, modificando os resultados das classificações.

Com relação às classificações as classes *regeneração e floresta* foram melhores discriminadas utilizando as imagens originais sem georreferenciamento (**OB**), e para a classe *pastagem*, a classificação da imagem filtrada pela média (**MB**) apresentou melhor desempenho.

Não georreferenciada	Matrizes de confusão (NG – não georreferenciada e G – georreferenciada)	Georreferenciada																																
	<p><b>OBNG</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pastagem</th> <th>Regeneração</th> <th>Floresta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Pastagem</th> <td>800</td> <td>45</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>Regeneração</th> <td>0</td> <td>389</td> <td>176</td> </tr> <tr> <th>Floresta</th> <td>0</td> <td>366</td> <td>624</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>OBG</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pastagem</th> <th>Regeneração</th> <th>Floresta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Pastagem</th> <td>810</td> <td>28</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>Regeneração</th> <td>0</td> <td>247</td> <td>178</td> </tr> <tr> <th>Floresta</th> <td>0</td> <td>525</td> <td>622</td> </tr> </tbody> </table>		Pastagem	Regeneração	Floresta	Pastagem	800	45	0	Regeneração	0	389	176	Floresta	0	366	624		Pastagem	Regeneração	Floresta	Pastagem	810	28	0	Regeneração	0	247	178	Floresta	0	525	622	
	Pastagem	Regeneração	Floresta																															
Pastagem	800	45	0																															
Regeneração	0	389	176																															
Floresta	0	366	624																															
	Pastagem	Regeneração	Floresta																															
Pastagem	810	28	0																															
Regeneração	0	247	178																															
Floresta	0	525	622																															
	<p><b>LBNG</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pastagem</th> <th>Regeneração</th> <th>Floresta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Pastagem</th> <td>800</td> <td>11</td> <td>15</td> </tr> <tr> <th>Regeneração</th> <td>0</td> <td>192</td> <td>184</td> </tr> <tr> <th>Floresta</th> <td>0</td> <td>597</td> <td>601</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>LBG</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pastagem</th> <th>Regeneração</th> <th>Floresta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Pastagem</th> <td>810</td> <td>11</td> <td>16</td> </tr> <tr> <th>Regeneração</th> <td>0</td> <td>160</td> <td>174</td> </tr> <tr> <th>Floresta</th> <td>0</td> <td>629</td> <td>610</td> </tr> </tbody> </table>		Pastagem	Regeneração	Floresta	Pastagem	800	11	15	Regeneração	0	192	184	Floresta	0	597	601		Pastagem	Regeneração	Floresta	Pastagem	810	11	16	Regeneração	0	160	174	Floresta	0	629	610	
	Pastagem	Regeneração	Floresta																															
Pastagem	800	11	15																															
Regeneração	0	192	184																															
Floresta	0	597	601																															
	Pastagem	Regeneração	Floresta																															
Pastagem	810	11	16																															
Regeneração	0	160	174																															
Floresta	0	629	610																															

**Figura 6** – Classificações *Bathacharrya* em imagens com e sem georreferenciamento.

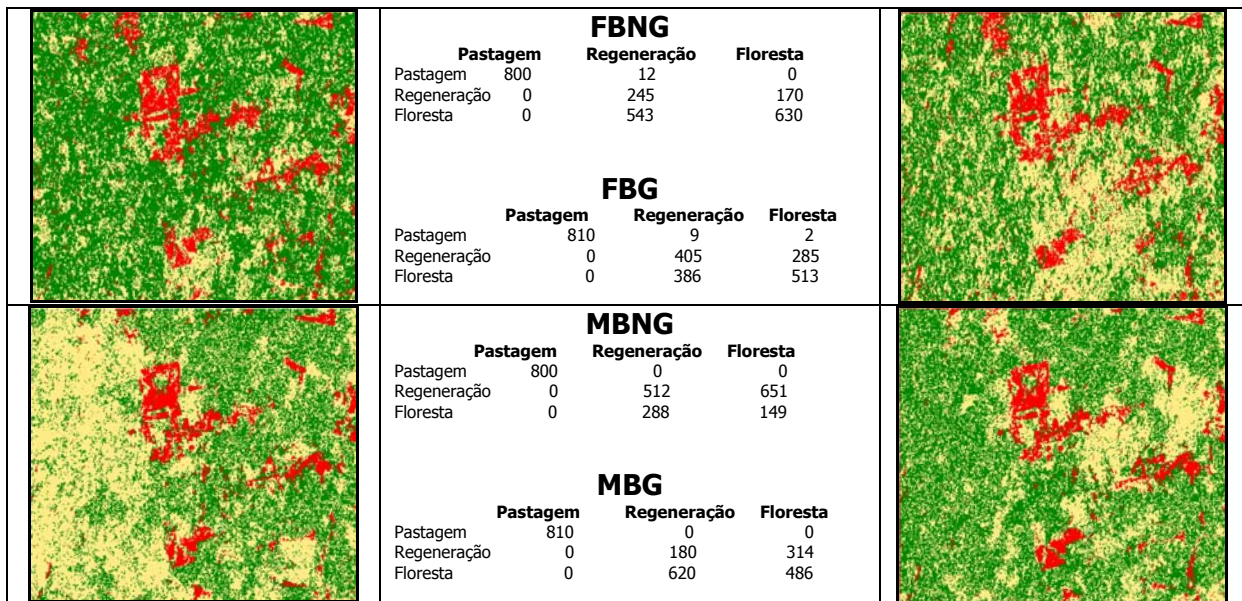


Figura 6 – Continuação...

## 5. Conclusões

De maneira geral, o georreferenciamento não afetou os resultados dos classificadores *Maxver* e *Maxver-ICM* porém, o classificador por região *Bathacharrya* produziu resultados estatisticamente diferentes influenciados pelo georreferenciamento (interpolador vizinho-mais próximo). Para se ter uma análise mais detalhada da influência do georreferenciamento seria necessária a utilização de outros interpoladores, como o bilinear ou convolução cúbica.

Analisando os resultados dos classificadores, o *Bathacharrya* teve um desempenho melhor que o *Maxver* e *Maxver-ICM* quando são usadas as imagens originais, filtradas com o filtro de Frost e Lee. Para as imagens com filtro da média, o *ICM* se mostrou mais eficiente.

A superioridade do *Bathacharrya* é observada quando se utiliza imagem original, sem georreferenciamento, principalmente, para a discriminação da classe *regeneração*. A utilização de segmentadores específicos para radar, como o SegSAR (Sousa Júnior et al., 2003), poderiam melhorar os resultados do classificador para as outras classes.

## Agradecimentos

Os autores reconhecem e agradecem o suporte financeiro do CNPq pelos processos (380587/02-5; 305546/2003-1 e 304274/2005-4) e o INPE pelo suporte logístico e operacional.

## Referências Bibliográficas

Angelis, C.F.; Freitas, C.C.; Valeriano, D.M.; Dutra, L.V. Multitemporal analysis of land use/land cover JERS-1 backscatter in the Brazilian Tropical Rainforest. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.7, p.1231-1240, 2002.

Correia, A.H.; Freitas, C.C.; Frery, A.C.; Sant'Anna, S.J.S. A user friendly statistical system for polarimetric SAR image classification. **Revista de Teledetección**, n.10, p.79-93, 1998.



Dutra, L.V.; Hernandez Filho, P.; Mazzocato, M.E.; Souza, R.C.M.; Oliver, C. Land cover classification based on multi-date JERS-1 imagery as a basis for deforestation detection. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg. **Proceedings**, v.5, p. 2759-2760, 1999.

Freitas, C.C.; Sant'Anna, S.J.S.; Rennó, C.D. The use of JERS-1 and RADARSAT images for land use classification in the Amazon region. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. **Proceedings**. Hamburg, v.3, p. 1649-1651, 1999.

Gaboardi, C. Utilização de imagem de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional do Tapajós. **Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto**, 2003 (INPE – 9612 – TDI/842). São José dos Campos, SP.

Gonzalez, R. C., Woods, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. Editora Edgard Blücher, 2000. 509 p.

Hernandez Filho, P.; Dutra, L.V.; Kuntschik, G.; Soares, S.M. **Processamento e Análise de dados JERS com ênfase em Floresta e Uso da Terra: Floresta Nacional do Tapajós**. 1997 (INPE – 6387-RPQ/678).

INPE. SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. **Manual de ajuda**, 2006.

Santos, J.R.; Lacruz, M.S.P.; Araujo, L.S.; Keil, M. Savanna and tropical rainforest biomass estimation and spatialization using JERS-1 data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n.7, p.1217-1229, 2002.

Schowengerdt, R.A. **Remote sensing, models and methods for image processing**. Academic Press, 522p. 1997

Sousa Júnior, M.A., Dutra, L.V.; Freitas, C.C. Desenvolvimento de um segmentador incremental multi-nível (SIM) para imagens ópticas e de radar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Técnica Oral. p. 2293-2300. Repositório da URLib: [http://lagavulin.ltid.inpe.br:1905/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.27.11.57/doc/16\\_325.PDF](http://lagavulin.ltid.inpe.br:1905/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.27.11.57/doc/16_325.PDF)