

## Avaliação da aplicação de classificadores pontuais e por regiões para imagem JERS-1 em ambiente SPRING

Alessandra Rodrigues Gomes  
Corina da Costa de Freitas  
Sidnei João Siqueira Sant'Anna  
Luciano Vieira Dutra

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{agomes, corina, sidnei, dutra}@dpi.inpe.br

**Abstract.** The objective of this study is to present several digital processing techniques using L-band JERS-1/SAR image in the SPRING GIS environment. 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 Bhattacharyya distance. The kappa coefficient of agreement was used to compare the twelve different classification results. The performance of the classification increases when filtering tools are applied to the images. The best classification result was obtained using ICM classifier over the mean filtered image.

**Palavras-chave:** JERS-1/SAR, segmentation images, classification, SPRING, National Tapajós Forest (FLONA), JERS-1, segmentação de imagens, classificações, SPRING, Floresta Nacional do Tapajós (FLONA)

### 1. Introdução

A maioria dos estudos para mapeamento de florestas tropicais se baseia em imagens ópticas que são muito susceptíveis a condições atmosféricas adversas. Para auxiliar mapeamentos e monitoramentos deste tipo de florestas, as imagens de radar têm sido utilizadas, pois não são afetadas com a cobertura de nuvens, tão comuns nessas regiões. 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.

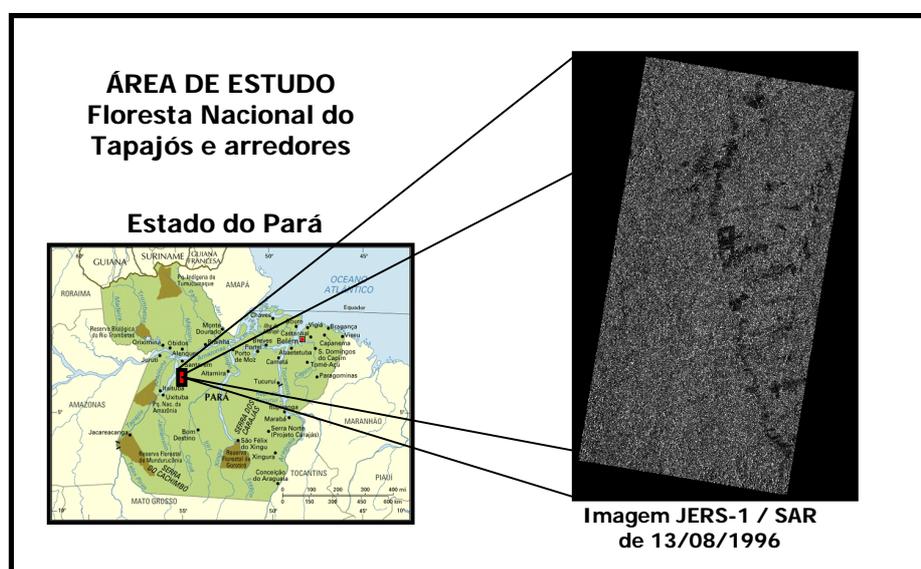
Para a adequada extração de informações de imagens de radar torna-se necessária a aplicação de técnicas de processamento digital específicas para imagens de radar. Muitas destas técnicas tais como filtros, segmentadores e classificadores, têm sido incorporadas aos vários *softwares* de processamento de imagens e aos sistemas de informações geográficas (SIG) disponíveis para a comunidade de usuários. Entretanto, a maior parte dos *softwares* que possuem diversos recursos específicos para imagens de radar são geralmente onerosos, dificultando a ampla utilização destas imagens. O uso de um SIG *freeware* como, por exemplo, o SPRING, (Software para Processamento de INformações Georreferenciadas) desenvolvido pela DPI/INPE, que possui várias técnicas de processamento de imagens, das quais algumas são específicas para dados de radar, vem de encontro à essa necessidade, já que visa difundir novos trabalhos e aumentar o número de usuários destas imagens.

Portanto, este trabalho tem por objetivo apresentar diferentes processamentos digitais realizados para classificações de imagens JERS-1/SAR em ambiente SPRING e avaliar os resultados obtidos através do coeficiente de concordância Kappa, calculados a partir das matrizes de confusão. O efeito da aplicação de filtros específicos para radar anteriormente ao processo de segmentação e classificação sobre o resultado final foi também avaliado.

## 2. Área de estudo

A Floresta Nacional do Tapajós (FLONA) está localizada ao sul da cidade de Santarém, no Estado do Pará, entre as latitudes Sul 02° 56' 28" a Sul 03° 40' 14" e longitude Oeste 54° 43' 13" a Oeste 55° 10' 34". A FLONA faz fronteira a leste com a Rodovia Cuiabá-Santarém e a oeste com o Rio Tapajós. Esta área apresenta alterações dinâmicas resultantes da ocupação humana e essa característica possibilitou identificar diferentes usos do solo para as classificações.

A **Figura 1** apresenta a localização da área estudada, e a imagem JERS-1 utilizada. Esta imagem, com 3222 x 2020 *pixels*, foi adquirida em 13/08/1996 e possui as seguintes características: órbita/ponto 405/306, banda L, polarização HH, amplitude, 3 *looks*, resolução de 12,5m, e ângulo de incidência de 35°.

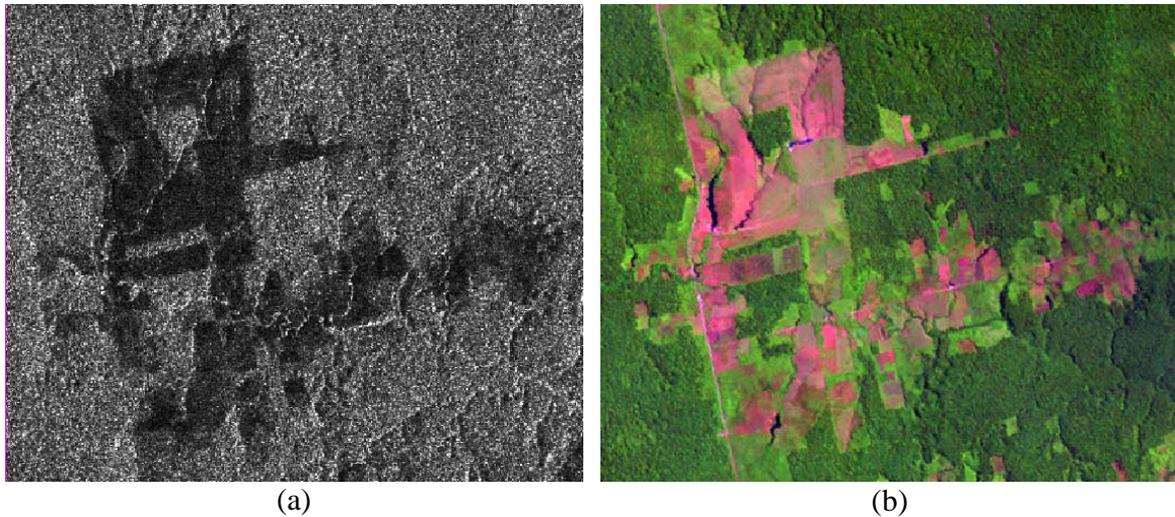


**Figura 1** - Localização da área de estudo e a imagem JERS-1.

A **Figura 2a** mostra a imagem JERS-1 de uma parte da área de estudo. Através da imagem Landsat/TM (**Figura 2b**) de 25/08/1996 pode-se observar a presença de diversos usos do solo, tais como floresta primária, florestas secundárias em diferentes estágios de regeneração e solo exposto. A identificação de cada uma das classes baseou-se em critérios de interpretação de imagens que podem ser observados na **Tabela 1**.

**Tabela 1** – Padrões de interpretação de imagens definidos para as classes utilizadas neste trabalho.

Classes	Cor	Tonalidade	Textura	Forma	Contexto
Floresta primária	Verde	Baixa	Rugosa	Irregular	Predomina na região, onde se encontra a FLONA ou em áreas sem acesso observado pela imagem
Regeneração	Verde claro	Média alta	Levemente rugosa	Regular e irregular	Localizada próxima às áreas de pastagem, com acesso facilitado. Consideradas, em sua maioria, áreas antrópicas abandonadas
Solo exposto / Pastagem	Magenta claro e escuro	Alta	Lisa	Regular	Áreas de fácil acesso, representadas por regiões regulares, distribuídas ao longo da Rodovia Cuiabá-Santarém



**Figura 2** - Parte da área de estudo: (a) Imagem JERS-1 e (b) Imagem Landsat/TM na composição colorida 5R-4G-3B.

### 3. Metodologia

A imagem JERS-1 foi registrada sobre uma imagem georreferenciada Landsat/TM de 25/08/1996 da mesma área de estudo, utilizando a operação Registro encontrada no SIG SPRING. Durante esta etapa, foram coletados 13 pontos correspondentes entre as duas imagens, com erro de 3,41 *pixels* com relação à imagem JERS-1.

A imagem JERS-1, no entanto, se encontrava com resolução de 12,5 metros e foi reamostrada para 25 metros, através da operação Mosaico, em que outro plano de informação é criado com a resolução desejada (no caso, 25 metros). A imagem Landsat/TM também foi utilizada como auxílio na coleta de amostras para as classificações. As classes definidas para a classificação foram floresta primária, regeneração e pastagem/solo exposto. Para cada classe foram coletadas 18 amostras de 10 x 10 *pixels* utilizadas na fase de treinamento (aquisição) dos classificadores, e 11 amostras de teste usadas para a obtenção das matrizes de confusão empregadas na avaliação dos resultados das classificações.

Para alcançar o objetivo proposto, a imagem JERS-1 foi submetida à aplicação dos seguintes filtros:

- **Filtro de Frost:** filtro convolucional linear, específico para imagens de radar para diminuir o ruído *speckle*, onde a dependência estatística do sinal original é incorporada, uma vez que se supõe uma função de correlação espacial exponencial entre *pixels*.

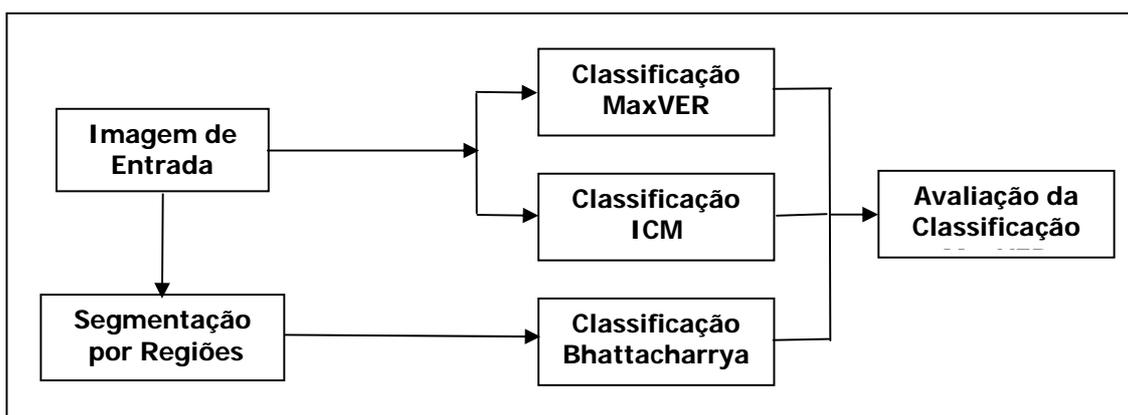
- **Filtro de Lee:** filtro local, específico para imagens de radar, que utiliza estatísticas locais do *pixel* a ser filtrado, considerando a não estacionaridade da média e da variância do sinal. É um filtro linear que pode ser adaptativo.

- **Filtro da média:** filtro passa-baixa que substitui o valor do *pixel* original pela média aritmética do *pixel* e seus vizinhos. É um filtro que suaviza indiscriminadamente toda a imagem.

Foram utilizadas janelas de processamento de tamanho 5 x 5 *pixels* para as filtragens com os algoritmos de Frost e de Lee, e janelas de tamanho 3 x 3 *pixels* para a filtragem da média.

A imagem JERS original e as três imagens obtidas através das filtragens foram utilizadas com imagem de entrada para os procedimentos de segmentação e de classificação, como apresentados na **Figura 3**. As imagens de entrada foram classificadas utilizando três diferentes

classificadores: de Máxima Verossimilhança (MaxVer), de Máxima Verossimilhança e Modas Condicionais Iterativas (MaxVer-ICM), e por distância de *Bhattacharrya*. Este último, por ser um classificador por regiões, necessita também de uma imagem segmentada. Com estes procedimentos foram geradas doze diferentes classificações. Os resultados das classificações foram avaliados partir de amostras de teste, pelo coeficiente de concordância *Kappa* e de sua variância, tendo sido aplicado testes de hipóteses para igualdade destes coeficientes.



**Figura 3** - Esquema da metodologia aplicada.

Descrevem-se, a seguir, os procedimentos de segmentação e classificação utilizados.

- **Segmentação por crescimento de regiões:** A técnica de segmentação particiona a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Estas regiões são consideradas um conjunto de *pixels* contíguos, distribuídos bidirecionalmente e 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 *pixel* como uma região distinta e um critério de similaridade é calculado para cada par de regiões. O critério de similaridade baseia-se em um teste estatístico de hipótese entre as médias das regiões. Para realizar este processo de segmentação no SPRING é necessária a definição de um limiar de similaridade e um limiar de área. Este último define o tamanho mínimo dos segmentos finais. Neste trabalho utilizaram-se os limiares de 30 para similaridade e de 10 para área, em todas as segmentações. Mais detalhes sobre o processo de segmentação por crescimento de regiões implementado no SPRING podem ser encontrados em INPE (2004).

- **Classificação MaxVer:** Método supervisionado *pixel-a-pixel*, 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.

- **Classificação MaxVer-ICM:** Método supervisionado pontual/contextual que considera também a dependência espacial (contexto) na classificação. Em uma primeira fase, a imagem é classificada pelo algoritmo MaxVer atribuindo classes aos *pixels* considerando apenas os valores de níveis de cinza. Na fase seguinte, leva-se em conta a informação contextual da imagem, ou seja, a classe atribuída depende tanto do valor observado no *pixel*, quanto das classes atribuídas aos seus vizinhos. Outras informações referentes ao ICM (*Iterated Conditional Modes*) podem ser encontradas em Correia et al. (1998) e nas referências nela contidas.

- **Classificação pela distância de Bhattacharyya:** Método supervisionado, implementado no SPRING, que utiliza a distância de *Bhattacharyya* 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.

Vale ressaltar que na implementação dos classificadores incorporados ao SPRING foram admitidas as hipóteses de que tanto os dados quanto as classes provêm de uma distribuição Gaussiana.

#### 4. Resultados e Conclusões

A **Tabela 2** mostra, para cada imagem de entrada utilizada, os respectivos resultados dos diferentes tipos de classificação. Nesta tabela é apresentada, na primeira coluna, a imagem de entrada da mesma região ilustrada na **Figura 2**. Pelos resultados das classificações pode-se observar a grande confusão entre as classes de floresta primária e regeneração. De acordo com alguns trabalhos já realizados com classificações de imagens JERS, tais como Angelis et al. (2002) e Freitas et al. (1999), já era esperada uma certa dificuldade na discriminação destas duas classes. A classe de pastagem/solo exposto foi relativamente bem classificada, exceto pelo classificador de *Bhattacharyya* aplicado à imagem original, apresentando alta confusão entre as três classes.

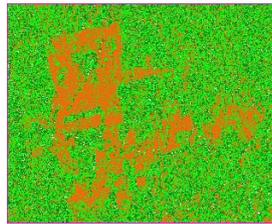
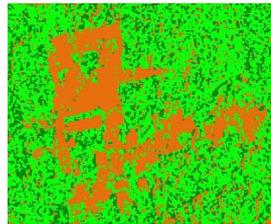
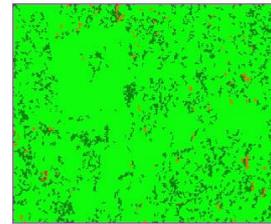
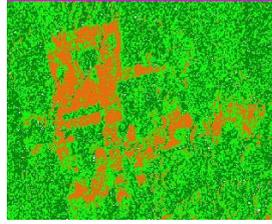
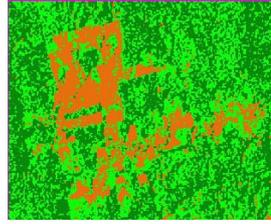
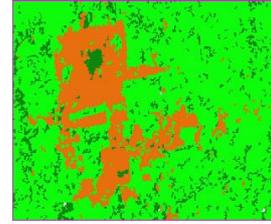
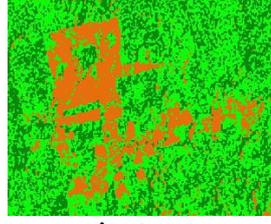
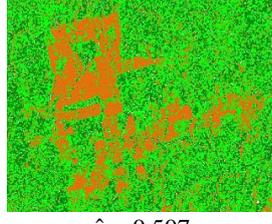
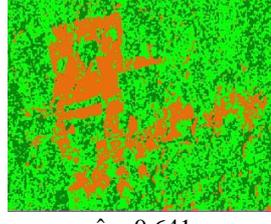
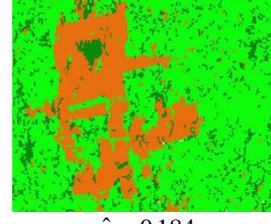
O teste Z para a igualdade dos coeficientes de concordância Kappa foi efetuado para todos os pares de imagens classificadas. As classificações MaxVer-ICM da imagem original, MaxVer das imagens filtradas pelos filtros de Frost e de Lee, e *Bhattacharyya* da imagem filtrada pelo filtro de Frost foram consideradas estatisticamente iguais ao nível de confiança de 99%. As classificações MaxVer-ICM das imagens filtradas pelos filtros de Frost e de Lee foram consideradas estatisticamente iguais ao nível de confiança de 90%. As demais classificações foram consideradas estatisticamente diferentes a níveis de confiança utilizados na prática.

A filtragem da imagem original acarretou em resultados diferenciados de classificação, os quais sempre se apresentaram melhores do que aqueles atingidos com a imagem original. Os resultados obtidos na classificação da imagem filtrada com o algoritmo de Lee são os piores dentre aqueles alcançados a partir de imagens filtradas. De maneira geral, o filtro da média proporcionou melhores resultados de classificação. Isto talvez possa ser explicado pelo tipo de classificação utilizada, que considera a distribuição Gaussiana, visto que o filtro da média normaliza e diminui a variância interna dos dados. Convém observar que o processo de filtragem, e em particular o filtro de média, melhora a classificação a custo de uma perda de resolução o que deveria provocar uma indefinição nas bordas das classes o que, contudo, não foi avaliado neste trabalho. O melhor desempenho de classificação foi obtido quando se classificou a imagem filtrada pelo filtro da média usando-se o classificador MaxVer-ICM.

Quanto aos classificadores, para uma mesma imagem de entrada, pode-se observar que o classificador MaxVer/ICM produz classificações com valores de coeficiente de concordância Kappa superiores às dos demais classificadores. Em comparação ao MaxVer, este era um resultado esperado, uma vez que o ICM parte da classificação MaxVer e utiliza conjuntamente as informações radiométrica e contextual do *pixel* a ser classificado. Portanto, a tendência é a melhora do resultado final da classificação. O classificador de *Bhattacharyya*, de maneira geral, produziu os menores valores de Kappa. Entretanto, este classificador, com a utilização da imagem filtrada pelo filtro de Frost, foi o que melhor classificou a classe de floresta primária. Deve-se observar que o baixo desempenho deste classificador pode estar associado à imagem

segmentada utilizada, a qual foi proveniente de um segmentador não específico para dados de radar. Pretende-se no futuro, também, utilizar outros segmentadores por regiões como, por exemplo, o SegSAR (Sousa Júnior et al., 2003) para diferentes tipos de uso do solo.

**Tabela 2** - Resultado das classificações e respectivos coeficientes de concordância Kappa e suas variâncias.

<i>Imagens utilizadas para as classificações</i>	<i>Classificação MaxVER</i>	<i>Classificação MaxVER-ICM</i>	<i>Classificação Bhattacharrya</i>
 <i>JERS original</i>	 $\hat{\kappa} = 0,407$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,474 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,533$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,126 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,052$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 5,002 \times 10^{-5}$
 <i>JERS (filtro da média)</i>	 $\hat{\kappa} = 0,601$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,334 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,714$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,055 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,462$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,129 \times 10^{-4}$
 <i>JERS (filtro de Frost)</i>	 $\hat{\kappa} = 0,546$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,406 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,663$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,129 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,515$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,031 \times 10^{-4}$
 <i>JERS (filtro de Lee)</i>	 $\hat{\kappa} = 0,507$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,441 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,641$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 1,139 \times 10^{-4}$	 $\hat{\kappa} = 0,184$ $\sigma_{\hat{\kappa}}^2 = 8,531 \times 10^{-5}$

Ainda considerando o classificador de *Bhattacharrya*, a classificação a partir da filtragem Frost obteve o melhor resultado seguido da filtragem pela média, filtragem Lee e a imagem original. Deve-se observar, no entanto, que foi usado o mesmo limiar em todas as segmentações o que pode ter ocasionado baixos valores de Kappa. Poder-se-ia eventualmente estudar diferentes limiares de segmentação para os diferentes tipos de filtros o que conduziria, provavelmente a resultados diferentes.

Como uma conclusão final, constatou-se que o uso do SPRING forneceu resultados satisfatórios, apesar de possuir poucas ferramentas específicas para o processamento de imagens de radar. Os classificadores presentes no SPRING não são específicos para imagens de radar, pois sua aplicação pressupõe que os dados sejam provenientes de uma distribuição gaussiana. Contudo, o uso de filtragens espaciais, em particular o filtro da média, tornou as imagens mais apropriadas à aplicação destes classificadores. Provavelmente a utilização de ferramentas específicas conduziria a resultados melhores de classificação, já que a adequada extração de informações de imagens de radar é fortemente dependente dessas ferramentas.

### Agradecimentos

Os autores reconhecem e agradecem o suporte financeiro do CNPq pelos processos (380587/02-5; 309922/03-8; 300927/92-4) 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.
- 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**, 2004.
- 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.
- 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)