

## **Razão entre bandas do SIR-C/ X SAR para estimativa de biomassa em áreas de contato floresta e cerrado.**

**Luciana Spinelli de Araujo<sup>1</sup>, João Roberto dos Santos<sup>1</sup>, Manfred Keil<sup>2</sup>, María Silvia Pardi Lacruz<sup>1</sup>, Julia Charlotte Marie Kramer<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 São José dos Campos, SP – Brasil  
Fax: +55 12 3456449 {lucian@ltd.inpe.br}

<sup>2</sup> Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt – DLR  
D-82230 Wessling, Germany Fax: +49 8153 281445 {manfred.keil@dlr.de}

<sup>3</sup> Geographical Institute, University of Mainz, Germany

**Abstract** The objective of this study is to elaborate and analyze a ratio-model ( $L_{HV}/C_{HV}$ ) originated from a band combination with crossed polarization obtained in the experiment SIR-C/X SAR. The final aim of this procedure is to support the estimation of aerial biomass of the vegetation cover in transition areas between the Brazilian tropical forest domain and savanna. This work was conducted in the region of Comodoro (Mato Grosso State), whose vegetation cover is characteristic for this transition zone. Data collected in the ground survey was related to the ratio image by a regression model, where one found out the capacity on the use of these radar images to map the distribution of biomass of the local vegetation cover, taking into account the specific limitations of the multi-frequencies used.

**Keywords:** biomass, tropical forest, cerrado, radar, band ratio, SIR-C/X SAR.

### **Introdução**

O crescente interesse mundial pela Amazônia brasileira, acentuado por problemáticas recentes relacionadas às elevadas taxas de desflorestamento e queimadas, salienta a necessidade de maior conhecimento desta região. As florestas tropicais constituem um grande reservatório de carbono, contando com grande parte do total de biomassa das plantas terrestres. As mudanças no uso da terra são responsáveis por uma parcela percentual da emissão global de CO<sub>2</sub>, contribuindo para o desequilíbrio do teor de gases constituintes na atmosfera. Dessa forma, a determinação da quantidade de biomassa é essencial em estudos dos aspectos funcionais da floresta, além de serem considerados fontes primárias de informação em estudos de modelagem climática global.

A região Amazônica, por estar incluída nessas áreas tropicais úmidas, com constante presença de nuvens, tem seu imageamento otimizado com o emprego de dados de radar que atenuam tal influência atmosférica. Esses dados têm sido explorados para analisar tipologias florestais bem como seus parâmetros biofísicos, particularmente biomassa (Imhoff, 1995; Luckman et al., 1997; Le Toan et al., 1999; Santos et al. 2000). Os melhores desempenhos para estimativa de biomassa arbórea têm sido encontradas com baixas frequências por sua capacidade

de penetração no alvo, bandas L e P (Le Toan et al., 1992; Ferrazzoli et al., 1997), e polarização cruzada - HV (Paolo et al., 1999). Em áreas florestais, o sinal de retorno é maior na polarização vertical (V), porém a polarização horizontal (H) penetra mais profundamente na floresta, interagindo mais com os alvos, principalmente com os troncos, responsáveis por grande parte dessa biomassa (van der Sander, 1997). Em suma, o ponto de saturação é mais alto para comprimentos de onda longos, sendo a polarização HV mais sensível e a VV menos, para análise da biomassa (NASA, 1998).

De acordo com Ranson e Sun (1994), devido às variações no comportamento de espalhamento dos comprimentos de onda curto e longo, razões utilizando polarização cruzada de duas bandas (P/C ou L/C) poderiam aumentar a correlação dos dados de retroespalhamento e biomassa florestal, compensando parte da variação dos valores de retroespalhamento atribuídos ao ângulo de incidência do radar. Além disso, a razão de bandas diminui as diferenças nos valores de dB devido às diferentes espécies (Ranson et al., 1995).

O sistema de antenas do SIR consiste de três componentes individuais que operam em: banda-L (23,5 cm) banda-C (5,8 cm) e banda-X (3 cm). As antenas de banda-L e banda-C coletam dados com polarização vertical e horizontal, enquanto as antenas de banda-X operam em frequência simples.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo avaliar dados do sensor SIR-C/X SAR, utilizando as bandas L e C na forma de razão, para análise do relacionamento com a biomassa em zonas de contato floresta/cerrado. Testes estatísticos para os modelos de regressão foram usados para o entendimento dessa relação. Como objetivo complementar, foi realizada a cartografia da biomassa local utilizando esses dados de radar.

### Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Comodoro, entre as coordenadas geográficas  $59^{\circ} 37' - 60^{\circ} 11' W$  e  $13^{\circ} 02' - 13^{\circ} 48' S$ , no limite dos estados do Mato Grosso e Rondônia (**Figura 1**). A região é caracterizada por ser uma zona de contato entre as formações florestal e savânica, sendo que nessa zona de transição, espécies das duas formações se intercalam na paisagem. O clima da região, de acordo com Köppen, é do tipo Aw, apresentando uma média anual de precipitação da ordem de 1700 mm.

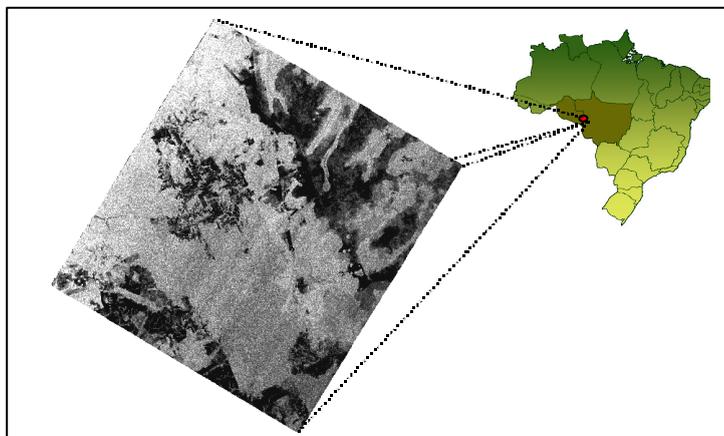


Figure 1. Área de estudo representada na imagem razão de bandas  $L_{HV}/C_{HV}$ .

## Aquisição de dados e metodologia

A imagem SIR-C foi adquirida pela DLR tendo os parâmetros: DT 14.71, GMT no centro da imagem 07:52:59.8 (1994/274). Uma imagem TM-Landsat de 09 de julho de 1997, órbita/ponto 229/69, bandas 3, 4 e 5, foi utilizada como suporte na caracterização da paisagem, bem como na alocação das áreas amostrais. As imagens foram processadas usando os *softwares* ENVI e ERDAS. A **Figura 2** mostra as etapas metodológicas adotadas.

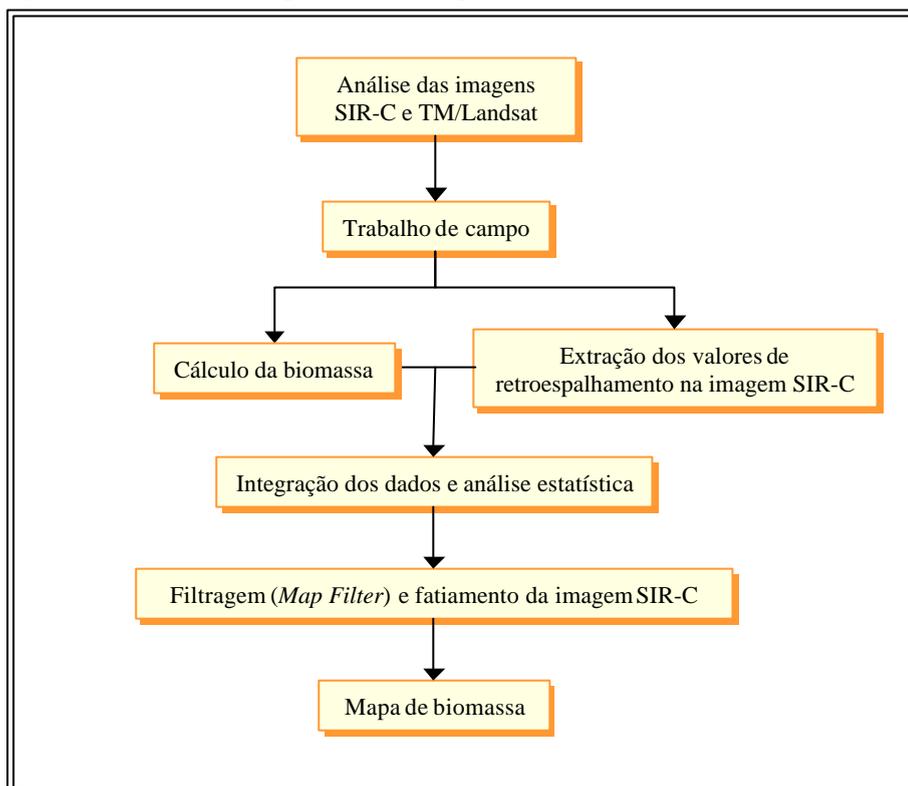


Figura 2. Fluxograma da metodologia adotada.

Inicialmente foi realizado o georeferenciamento das imagens SIR-C e TM/Landsat baseado no método bilinear, com a reamostragem do pixel para 25 m, visando a análise conjunta para seleção dos pontos de campo, bem como para facilitar a posterior alocação desses pontos na imagem. O trabalho de campo foi realizado em período de época seca, correspondente a aquisição dos dados do SIR-C, visando a caracterização dos aspectos fisionômicos-estruturais das classes de florestas e cerrado. Diferentes procedimentos foram empregados para determinar a biomassa das tipologias florestal e de cerrado. Em áreas de floresta, incluindo áreas de transição, a estimativa de biomassa foi realizada a partir do método indireto, com a aquisição de medidas de DAP, altura, porcentagem de cobertura de copa e identificação botânica de todos os indivíduos com DAP acima de 10 cm em floresta primária e 5 cm em sucessão secundária, em parcelas de 2500m<sup>2</sup> e 1000m<sup>2</sup>, respectivamente. A partir dos dados de DAP e altura foi estimada a biomassa através de equações alométricas (Uhl et al., 1988; Brown et al., 1989). Nas áreas de cerrado a metodologia adotada foi de corte raso e pesagem de todos os indivíduos de porte arbustivo e/ou arbóreo em unidades amostrais de 500m<sup>2</sup>. Para análise do estrato herbáceo a pesagem foi realizada em 5 sub-parcelas de 1m<sup>2</sup> cada, para cada uma das unidades amostrais. Em

todas as unidades amostrais foi obtido o posicionamento cartográfico com GPS para a alocação adequada dos pontos na imagem georeferenciada. Durante o campo foram inventariadas 30 áreas, porém apenas 13 estavam inseridas na imagem SIR-C, sendo 3 em floresta, 8 em fâcies de cerrado e 2 amostras em áreas de transição entre as duas tipologias. Além disso foi realizada a verificação da paisagem existente, visando avaliar o mapa final, com a coleta de 70 pontos testes.

No processamento digital da imagem SIR-C foi aplicado um *MAP Filter* (janela 3x3) para a redução do ruído *speckle* da imagem. Os valores de DN da imagem SIR-C foram convertidos em valores de dB através de equações apropriadas (Krämer, 1999), considerando o fator de calibração do sensor. A partir da razão das bandas  $L_{HV}$  e  $C_{HV}$  foi gerada uma imagem sobre a qual foram plotados os pontos de campo para extração dos valores correspondentes à cada área amostral.

Os dados de campo foram relacionados às imagens através de modelos de regressão, considerando os valores de biomassa (x) e os valores extraídos da imagem razão (y). Após a definição da equação apropriada, a imagem razão foi fatiada segundo esses valores encontrados para cada pixel, resultando na definição de intervalos de biomassa e sua distribuição espacial.

## Resultados

O trabalho de campo permitiu a discriminação das seguintes classes: floresta primária, sucessão secundária, cerrado, campo cerrado, além de uma classe de transição entre as duas formações. A tipologia florestal de Comodoro está incluída na categoria semi-decídua, onde as condições climáticas são conceitualmente definidas por 4 a 6 meses secos ou 3 meses abaixo de 15° C, com fisiologia xerófita/hidrófita, incluindo solos álicos e distróficos (FIBGE, 1992). Entre as espécies arbóreas identificadas nas áreas de floresta primária e sucessão secundária, as mais comuns pertencem às famílias Lauraceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Euphorbiaceae, Anonaceae, Guttiferae e Sapotaceae. A biomassa estimada para essas áreas florestais foi de 224 ton ha<sup>-1</sup> (peso seco), chegando a 28 ton ha<sup>-1</sup> em áreas de sucessão secundária em estágio inicial, próximo a dois anos, caracterizadas por baixa diversidade de espécies botânicas. Nas áreas de cerrado os valores de biomassa variam de 12,4 ton ha<sup>-1</sup> para o cerrado *strictu sensu* e 7 ton ha<sup>-1</sup> para o campo cerrado (fâcies com predominância do estrato graminóide, com a presença esparsa de indivíduos arbustivos/arbóreos). Já nas áreas de transição o valor médio de biomassa é de 86 ton ha<sup>-1</sup>, sendo as principais espécies encontradas pertencentes às famílias Lauraceae, Chrysobalanaceae e Burseraceae.

A partir dos dados de campo foi possível a análise do comportamento dos valores extraídos da imagem razão em função da tipologia vegetal (**Figura 3**).

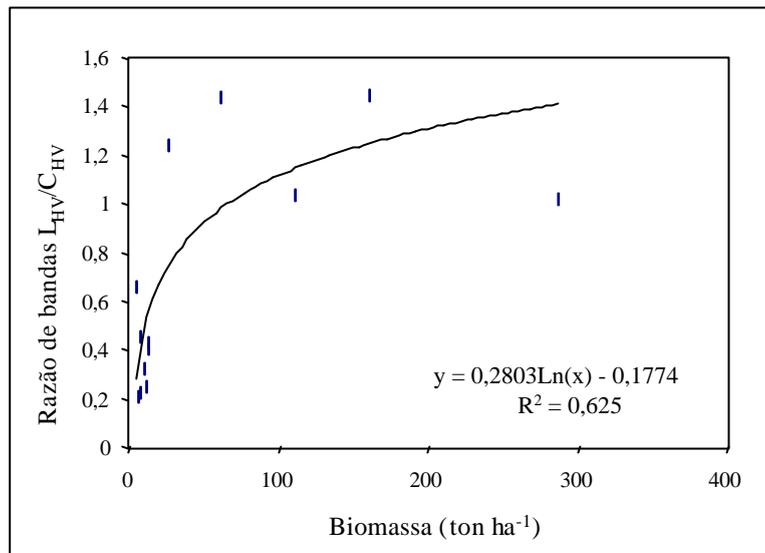


Figura 3. Relação entre biomassa e valores extraídos da imagem razão em formações florestais e de cerrado.

Analisando os valores extraídos da imagem razão, observa-se a possibilidade de discriminação entre as tipologias florestal e de cerrado, sendo que os valores aumentam em função do aumento da biomassa. Utilizando uma função logarítmica nota-se que a razão de bandas apresenta um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,625, significando que 62% das variações encontradas na variável dependente podem ser explicadas pela variável independente referente às informações de biomassa. Considerando apenas a banda isolada L<sub>HV</sub>, o valor de  $r^2$  é de 0,78. Trabalhos realizados em floresta boreal demonstram um melhor desempenho da imagem razão frente à imagem isolada (Ranson et al., 1995). Diferenças estruturais e de florística entre as tipologias florestais e dos cerrados podem, em primeira vista, explicar este menor valor no que se refere ao desempenho da imagem razão.

A partir da regressão encontrada para as variáveis analisadas, foi realizado um fatiamento da imagem razão. Nesse trabalho não houve preocupação em observar o efeito de saturação do sinal de radar em função da variação de biomassa, porém com base em trabalhos já realizados analisando bandas isoladas (Santos et al., 2000), considerou-se o valor limite de 60 ton ha<sup>-1</sup>. Foram selecionados 6 intervalos de biomassa, >10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e > 60 ton ha<sup>-1</sup>, que englobam as classes analisadas e demais usos da terra. O mapa com as respectivas classes de biomassa está apresentado na **Figura 4**.

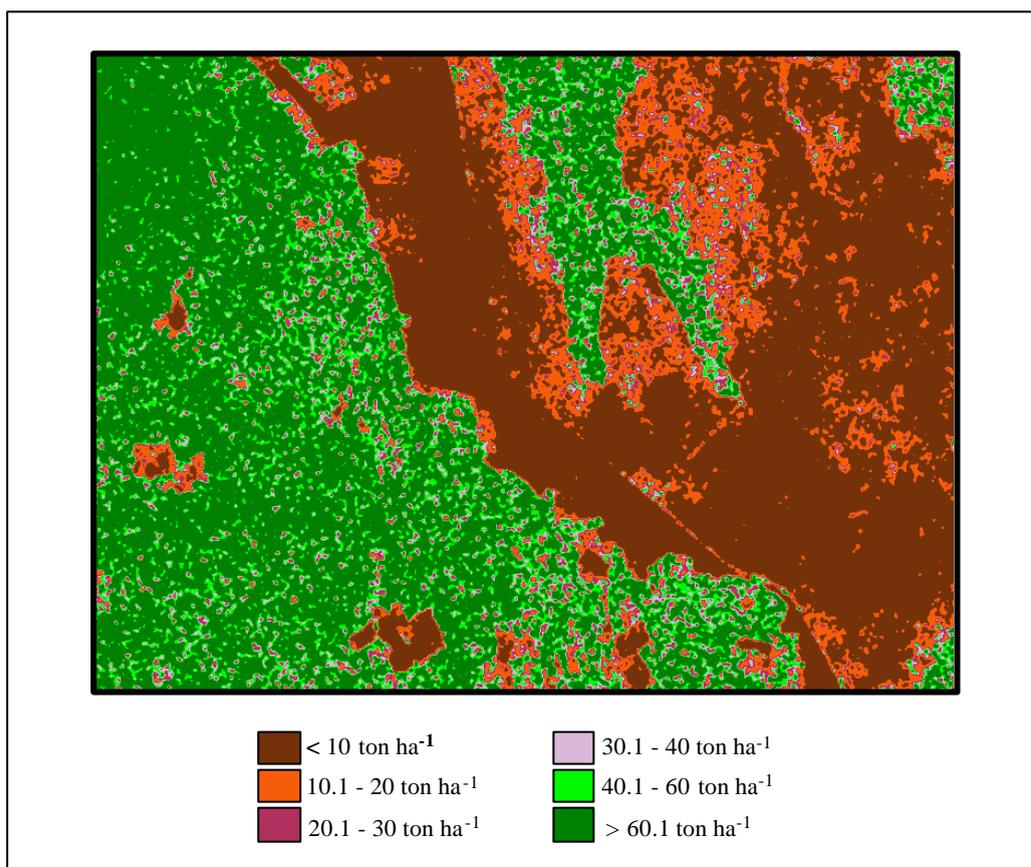


Figura 4. Distribuição espacial da biomassa por intervalo de classe para uma seção da área de Comodoro/MT, em zona de contato floresta/cerrado.

A implementação da equação sobre a imagem razão, modelando a representação espacial da biomassa, demonstra inicialmente o limite de contato entre a formação de floresta e de cerrado. Observa-se um melhor mapeamento das áreas de baixa biomassa, menor que 10 ha<sup>-1</sup>, correspondente à classe de campo cerrado. Nas áreas de floresta ocorre confusão devido a variância dos níveis de cinza da imagem razão, gerada principalmente pelas próprias características dos dados de radar, sendo funções do sensor (comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização), bem como dos parâmetros geométricos, incluindo diferenças estruturais da cobertura vegetal. O emprego da polarização HV possibilita uma maior interação com o alvo, no caso uma floresta tropical particularmente diferenciada pela ocorrência de áreas de transição. De um modo geral, o emprego da imagem razão para estudo da biomassa demonstra grande potencial, devendo-se considerar algumas limitações, principalmente quanto ao efeito da saturação, ainda não devidamente explorado.

### Conclusão

Uma análise do comportamento de dados de radar, através de uma razão de bandas L<sub>HV</sub>/C<sub>HV</sub> do SIR-C/X SAR, em relação a biomassa da vegetação em área de transição floresta/cerrado foi realizada. Medidas de biomassa coletadas em amostras de floresta primária, sucessão secundária, cerrado, campo cerrado e áreas de transição foram utilizadas para gerar uma equação de

regressão. A utilização desses dados mostrou-se adequada para estimar a biomassa, bem como para representar sua distribuição espacial. Estudos complementares devem considerar a análise da sensibilidade desses dados em relação ao efeito de saturação, bem como da diversidade estrutural e florística dessa paisagem.

### **Agradecimentos**

Este projeto foi conduzido dentro da Cooperação de Pesquisa Científica e Desenvolvimento Tecnológico entre Alemanha e Brasil. Os autores agradecem ao CNPq (processos 300677/91, 381246/97-3, 380597/99-3) e ao suporte logístico do INCRA/Vilhena RO).

### **Referências**

- Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. Biomass Estimation Methods for Tropical Forest with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.
- Ferrazzoli, P.; Paloscia, S.; Pampaloni, P.; Schiavon, G.; Sigismondi, S.; Solimini, D. The Potential of Multifrequency Polarimetric SAR in Assessing Agricultural and Arboreous Biomass. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, n. 1, p. 5-17, Jan. 1997.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE)., 1992. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico da vegetação brasileira. 92 p.
- Imhoff, M.L. A Theoretical Analysis of the Effect of Forest Structure on Synthetic Aperture Radar Backscatter and the Remote Sensing of Biomass. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 33, n. 2, p. 341-352, Mar. 1995.
- Krämer, J.C.M. Erfassung von Landbedeckung und Landnutzung und ihrer zeitlichen Veraenderung im Uebergangsbereich von Savanne und Regenwald – Eine fernerkundliche Untersuchung mittels Landsat-TM- und SIR-C/X-SAR-Daten in SW-Amazonien/Brasilien. Thesis for diploma, University of Mainz, Germany, 1999.
- Le Toan T.; Ribbes F.; Floury N. Forest Observations by ERS and JERS Data. [on line]. <<http://florence97.ers-symposium.org/participants/data/letoan>>. Jan. 1999.
- Le Toan, T.; Beaudoin, A.; Riou, J.; Guyon, D. Relating Forest Biomass to SAR Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 30, n. 2, p. 403-411, Mar. 1992.
- Luckman, A.; Baker, J.; Kuplich, T.M.; Yanasse, C.C.F.; Frery, A.C. A Study of the Relationship between Radar Backscatter and Regeneration Tropical Forest Biomass for Spaceborne SAR Instruments. *Remote Sensing of Environment*, v. 60, n. 1, p. 1-13, Apr. 1997.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). Spaceborne Synthetic Aperture Radar: Current Status and Future Directions. [on line]. <[http://southport.jpl.nasa.gov/nrc/nrcT\\_of\\_C.html](http://southport.jpl.nasa.gov/nrc/nrcT_of_C.html)>. Dec. 1998.
- Paolo, P.; Giovanni, M.; Simonetta, P.; Simone, S. The Potential of C- and L- Band SAR in Assessing Vegetation Biomass: the ERS-1 and JERS Experiments. [on line]. <<http://florence97.ers-symposium.org/program-details/data/pampaloni1/index.html>>. Jan. 1999.

- Ranson, K. J.; Sun, G. Mapping Biomass of a Northern forest using Multifrequency Sar Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 32, n. 2, p. 388-395. Mar. 1994.
- Ranson, K. J.; Saatchi, S.; Sun, G. Boreal forest Ecosystem Characterization with SIR-C/XSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 33, n. 4, p. 867-876. July 1995.
- Santos, J.R.; Araujo, L.S.; Pardi Lacruz, M.S. Potential Use of JERS-1 Data for Biomass Estimation of Tropical Forest Environments in Brazilian Amazonia. In: *IGARSS'00*. [CD-ROM]. July 24-28, 2000. Honolulu, Hawaii.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I: Patterns of Plant Sucession. *Journal of Ecology*, v. 76, p. 663-681, 1988.
- van der Sanden, J.J. Radar Remote Sensing to Support Tropical Forest Management. Doctor thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands. *Tropenbos-Guyana Series 5*, 1997.