

## PARAMETRIZAÇÃO DA BIOMASSA EM ÁREA DE FLORESTA TROPICAL A PARTIR DE DADOS SAR AEROTRANSPORTADO DE BANDA P.

JOÃO ROBERTO DOS SANTOS  
LUCIANA SPINELLI DE ARAUJO  
LUCIANO VIEIRA DUTRA  
CORINA DA COSTA FREITAS  
LUCIANA DE SOUZA SOLER

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

**Abstract.** This study analyses the biomass variation of primary forest and secondary succession (site: Tapajós National Forest and surroundings) and its influence on the response of backscatter values in the P-band polarimetric images. This research has the purpose the understanding of the structural variables behavior of the forest types (collected in the field campaign) and its correlation with the  $P_{HH}$ ,  $P_{HV}$  and  $P_{VV}$  backscatter data. Then, a statistical regression model was used to verify the relationship between biomass (estimated by different allometric equations) and P-band polarimetric data. Based on the regression equation that best fits these datasets, a biomass map was elaborated. This was done using the segmentation technique applied to backscatter image through the Caesar 3.0 rwseg algorithm. The backscatter signals of each resulting segment was convert into biomass values using the best fit equation. The final goal of this P-band experiment is to improve the regional inventory and monitoring biomass dynamics, as well as landscape changes, due to human action in Amazon.

**Keywords:** biomass, P-band data, inventory, tropical rain forest, secondary succession, Amazon.

### 1. Introdução

As atividades humanas na região Amazônica tem ocasionado uma taxa de desflorestamento da ordem de 15.800 Km<sup>2</sup>/ano, onde essa conversão de florestas primárias para implantação de áreas de pastagem e, em menor escala, para cultivos agrícolas, têm ocasionado pela extensão dessa degradação, significativos prejuízos ambientais, como excessiva fragmentação, perda de biodiversidade e redução da fertilidade do solo. A política de controle e fiscalização vem sendo efetivamente exercida com suporte de dados de sensoriamento remoto orbital, com produtos derivados de sensores ópticos que, por sua vez, têm limitações pela constante cobertura de nuvens em determinadas áreas da Amazônia. Imagens de radar, nesse caso, vêm sendo paulatinamente empregadas como maneira de complementar as informações necessárias. Assim, dados de radar em banda X, C e L têm mostrado potencialidade de uso em mapeamentos temáticos, porém apresentam certas limitações específicas, pelas características da região em que operam no espectro eletromagnético, quando se trata de estimativa de biomassa florestal, por problemas de saturação de sinal. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma análise das variações da biomassa de floresta primária e de sucessões secundárias (derivada de distintos modelos alométricos) e seus efeitos nos dados-radar polarimétricos de banda P.

### 2. Material e métodos

#### 2.1 Aquisição de dados de banda P e de inventário florestal.

A área de estudo corresponde a região sob influência da Floresta Nacional do Tapajós (PA), de coordenadas W 58° 50' 41.6'' - 59° 07' 57.18'' e S 3° 15' 19.4'' - 3° 15' 16.99'', em trecho da BR-167 Cuiabá-Santarém. A missão com radar aerotransportado obteve imagens interferométrica em banda X e polarimétrica em banda P, dentro de um acordo de cooperação

do INPE com a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) e executado pela empresa alemã AeroSensing Radar Systeme GmbH Company. Dentre as características técnicas desse imageamento com dados de banda P tem-se: comprimento de onda de 72 cm; frequência média de 415 MHz; ângulo de depressão de 45°; resolução no terreno de 1,5m e resolução azimutal de 0,7m para imagens de 1 *look slant range*, o que preserva as características estatísticas dos alvos, facilitando a orientação visual e integração com informações de campo. Simultaneamente a fase de aquisição de dados sensorizados nessa área do Tapajós, um trabalho de campo foi executado, para o reconhecimento temático da paisagem e também para a coleta de parâmetros biofísicos da cobertura vegetal em amostras previamente selecionadas, para um melhor entendimento das características fisionômico-estruturais e de composição florística de florestas primárias e estádios de sucessão secundária. Baseado em experiências que lidam com dados ópticos e SAR (Santos et al., 2002b) e informações de inventários de campo foram levantados 45 *transectos*, limitados cada um em parcelas de 10m x 250 m ou 10m x 100m, para representar áreas de floresta primária e de regeneração, respectivamente. Em todos esses *transectos*, foram medidos os parâmetros biofísicos de DAP (maior que 5cm) e altura total; foi também feita a identificação botânica e verificado o posicionamento dos indivíduos arbóreos em cada parcela. No caso específico das áreas de sucessão secundária, foram definidos os estádios de regeneração “inicial”, “intermediário” e “avançado”, considerando a idade da sucessão, as características estruturais e de composição florística.

## 2.2. Tratamento dos dados de banda P e de inventário florestal.

As imagens-radar que integram as várias linhas de vôo dessa missão de banda P foram radiométricamente corrigidas em acordo com o padrão de antena e a calibração polarimétrica foi executada por formulação específica [equações descritas em Santos et al. (*in press*)] baseada em *corners reflectors* devidamente posicionados na área sensoriada, que permitiram posteriormente, a partir de um fator de correção médio (fm) para cada uma das polarizações HH, HV e VV, obter os valores de *backscatter* ( $\sigma^\circ$ ) na imagem de banda P, como segue:

$$\sigma^\circ = 20 \log [ f_m \times (\text{valor amplitude medida na imagem} / \text{pixel}) ]$$

Uma análise de correlação foi aplicada para analisar a relação entre os valores de *backscatter* com alguns parâmetros estruturais da tipologia vegetal encontrados nas áreas amostradas, tais como: altura média; frequência de árvores com altura <10m e com altura >10m; percentual de árvores com 5<DAP>15cm, 15<DAP>30cm e DAP>30cm. Posteriormente, *scatterplots* mostrando os resultados de um modelo de regressão entre os valores de *backscatter* e de biomassa foram elaborados. No presente estudo, a variável biomassa foi estimada por duas equações alométricas específicas para floresta primária e outras duas para sucessão secundária, como seguem:

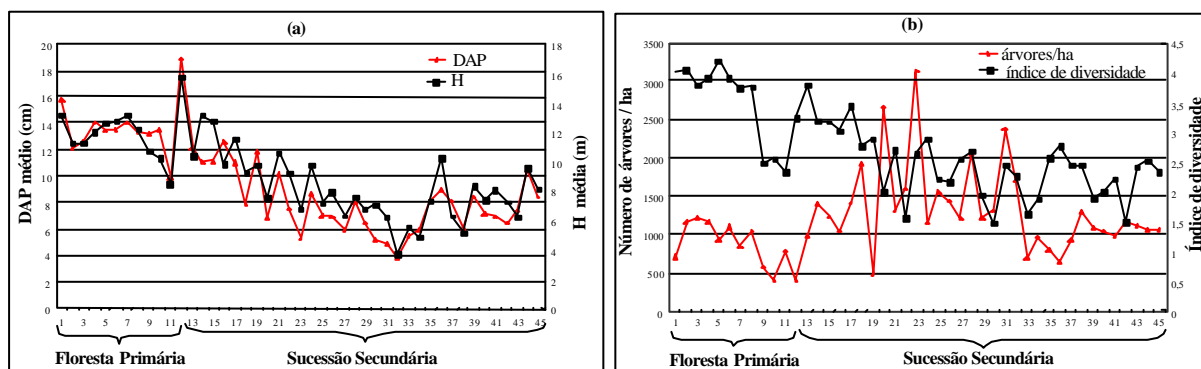
biomassa = 0,044 * (DBH <sup>2</sup> * height) <sup>0,9719</sup>	Brown et al. (1989)
ln (biomassa) = -0,370 + 0,333 ln (DBH) + 0,933 [ln (DBH)] <sup>2</sup> - 0,122 [ln (DBH)] <sup>3</sup>	Chambers et al. (2001)
ln (biomassa) = - 1,9968 + 2,1428 ln (DBH)	Nelson et al. (1999)
ln (biomassa) = -2,17 + 1,02 ln (DBH) <sup>2</sup> + 0,39 ln height	Uhl et al. (1988)

O cálculo de biomassa por meio de formulações alométricas, utilizando combinação ou não dos parâmetros de DAP e/ou altura, permite verificar qual dessas formulações deve ser considerada para o melhor ajustamento aos dados de banda P, perante a polarização utilizada

em que se está gerando um mapeamento temático. A partir da equação de regressão que melhor ajusta a série de dados tratados, um mapa de biomassa da tipologia florestal foi elaborado, tendo como ponto de partida uma segmentação da imagem de banda P no modo *backscatter*, usando o algoritmo Caesar 3.0 rwsseg (NASoftware, 2002). Para cada segmento resultante, um valor de  $\sigma^{\circ}$  médio foi calculado, que depois foi convertido em valor de biomassa através dessa equação com melhor ajuste. Uma aplicabilidade prática, inclusive com a descrição de parâmetros que definem tal procedimento de segmentação pode ser observado em Santos et al., (2002a), cujos primeiros resultados serviram de base para a implementação desse atual trabalho.

### 3. Resultados

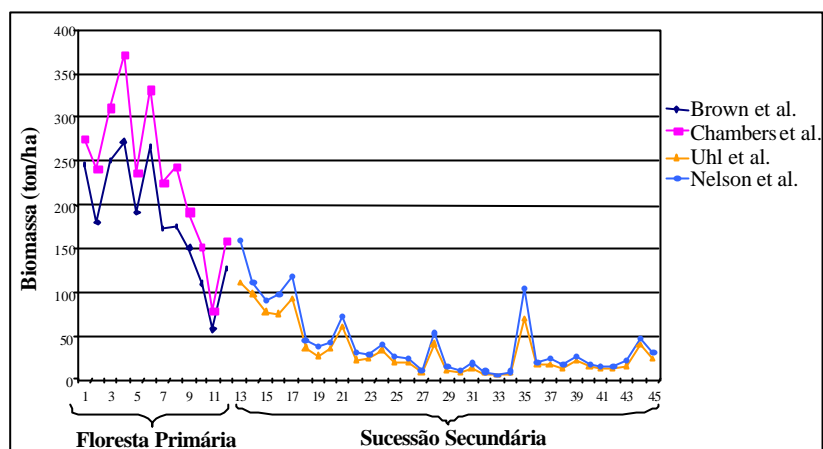
Durante a fase de inventário florestal 2.824 árvores foram efetivamente mensuradas para representar as características das formações primárias e 4.350 árvores para os estádios de sucessão secundária. A análise das características estruturais da cobertura florestal, definidas por medidas de DAP, de altura total e número de indivíduos/ha, aliadas até mesmo às informações de composição florística derivadas de índice de diversidade, como exemplo empregado, o de Shannon (Kent e Cooler, 1994), facilita o entendimento pormenorizado das respostas de  $\sigma^{\circ}$  encontrados nas distintas tipologias, em acordo com as polarizações da banda P utilizadas. Na **Figura 1 (a, b)** pode-se verificar a representação de parâmetros biofísicos das tipologias primária e secundária investigadas. Em resumo, frente a essa série de dados fisionômico-estruturais levantados, cita-se que as áreas de floresta primária geralmente apresentam uma certa regularidade quanto aos valores médios de DAP e altura, com exceção daquelas áreas onde ocorre processo de extração madeireira, de valores médios inferiores. No caso das faciações de regeneração, não há esse padrão regular, pois os valores médios de DAP e altura variam conforme a idade da sucessão e sobretudo, com o tipo e forma de uso da terra anterior ao processo de rebrota natural. Fato também evidenciado é a diferenciação quanto ao maior número de indivíduos e baixo índice de diversidade florística das áreas de capoeiras, em relação àquelas de floresta primária.



**Figura 1.** Diagrama com valores médios de DAP *versus* altura média (a) e número de árvores *versus* índice de diversidade (b) para amostras de floresta primária e sucessão secundária.

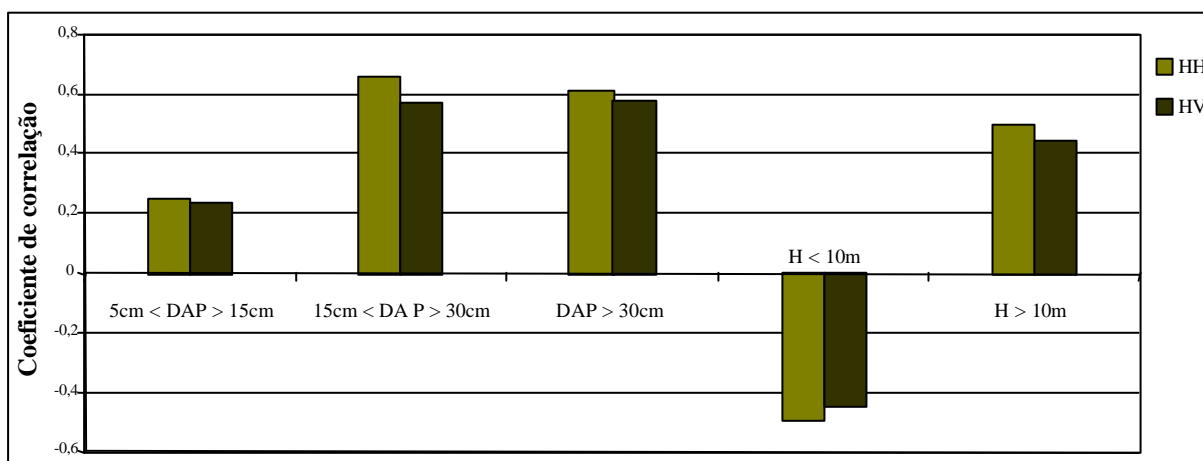
Na **Figura 2** pode-se perceber a variabilidade de biomassa para áreas de floresta primária e sucessão secundária, resultante do emprego de diferentes equações alométricas, guardando é lógico, a especificidade de cada tipologia. A equação de Chambers et al. (2001) utilizada para estimativa em floresta primária apresenta valores de biomassa 20% superiores aqueles encontrados por Brown et al. (1989); a equação alométrica de Nelson et al. (1999) apresenta também idêntico incremento em biomassa quando comparada ao modelo empírico de Uhl et

al. (1988) ao tratar estádios sucessionais. É importante destacar que as equação de Chambers e aquela de Nelson, têm em suas formulações apenas o DAP como parâmetro de entrada.



**Figura 2.** Diagrama mostrando a variabilidade de valores de biomassa derivada de modelos alométricos específicos para floresta primária e fácies de regeneração.

Toda essa variabilidade de informações resultantes de parâmetros biofísicos para áreas de formações primárias e secundárias e que influenciam, em distintos graus e magnitudes, os sinais de retorno-radar para as diferentes polarizações pode ser observada na **Figura 3**. Independente do tipo de formação, a presença de árvores com DAP superior a 15 cm parece dispor de melhor correlação positiva com os valores de *backscatter*, seja na polarização HH ou HV. No caso da variável altura, apenas a magnitude da correlação é diferenciada, considerando-se os intervalos de classe maior ou menor de 10m.



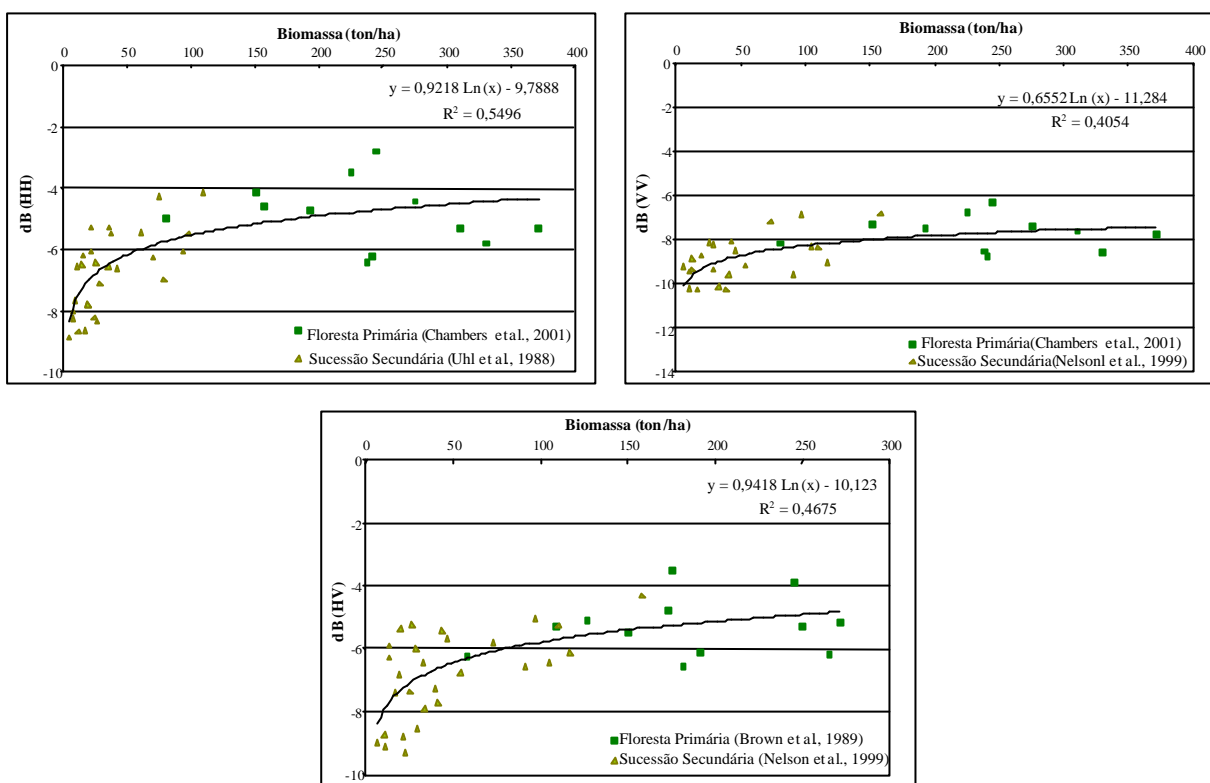
**Figura 3.** Representação gráfica da correlação entre valores de backscatter ( $P_{HH}$  e  $P_{HV}$ ) e parâmetros biofísicos para formações primária e secundária na região do Tapajós.

Na **Figura 4** pode-se perceber a relação entre os valores de biomassa, derivados dos diferentes e específicos modelos alométricos, e aqueles de *backscatter* para a banda P, cujo desempenho é traduzido pelos coeficientes de determinação do modelo de regressão ajustado. Sumarizando a análise, caso se esteja, por exemplo, utilizando a imagem de polarização HH para a estratificação de biomassa, é recomendado o uso conjunto das equações de Chambers et al., (2001) e de Uhl et al., (1988), respectivamente para a floresta primária e regeneração. Isso parece indicar que a variável DAP em floresta primária é suficiente para representar as variações do sinal-radar nessa polarização HH, contudo deve-se acrescentar no modelo

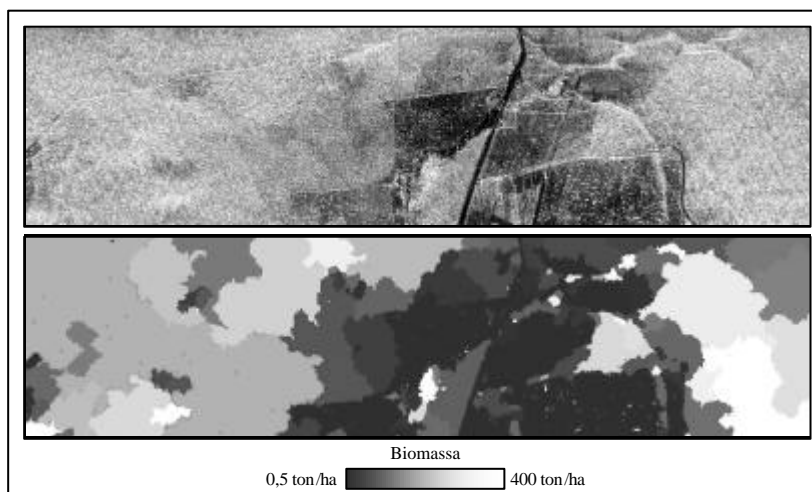
alométrico a variável altura, quando a tipologia investigada pertence a categoria de sucessão secundária. Diferentemente acontece no caso da polarização cruzada (HV), onde há uma necessidade de informações sobre a altura dos estratos da floresta primária, para ter um adequado relacionamento da biomassa com os dados de *backscatter*, enquanto para a sucessão secundária não se torna necessária a entrada de tal variável, talvez aí explicado por uma certa uniformidade de crescimento das espécies pioneiras nos momentos iniciais e intermediários do processo sucessional. Baseado na equação de melhor ajuste, traduzida empiricamente pelo uso da polarização HH como exemplo, foi gerado um mapa da distribuição de biomassa (**Figura 5**) em um trecho parcial da região sensoriada pelo experimento com banda P. A imagem-backscatter segmentada através do algoritmo Caesar 3.0 *rwseg*, com procedimento baseado em detecção de bordas e crescimento de regiões, teve em cada particionamento da cena um valor médio de  $\sigma^0$  para entrada na equação e geração dos delineamentos que representam as variações temáticas das classes de uso e cobertura do terra em termos de biomassa. O desempenho dessa estratificação temática foi subsidiado com uma série de pontos observacionais e de inventário na fase de campo.

#### 4. Conclusões

Considerando que há um interesse da comunidade científica em estimar biomassa florestal através de imagens-radar, procurando ampliar a série de discussões metodológicas, inclusive com a disponibilização de novos sensores, é evidente que o presente trabalho incorpora tal linha de pensamento com o objetivo ora alcançado. A importância de alguns parâmetros biofísicos, em acordo com determinados modelos alométricos de estimativa empírica da biomassa, deve ser considerada quando se utilizam individualmente imagens de diferentes polarizações. A sequência metodológica adotada, com calibrações radiométrica e polarimétrica das imagens, com a extração de backscatter em pontos amostrais suportados com informações de inventário florestal devidamente georeferenciadas em campo, chegando ao objetivo de modelar a distribuição espacial da biomassa florestal que se inicia com a aplicação do segmentador Caesar 3.0 *rwseg*, atestam a capacidade desse procedimento em contribuir com os estudos de inventário e monitoramento dessa vasta região Amazônica.



**Figura 4.** Relação entre valores de biomassa e dados polarimétricos de banda P.



**Figura 5.** Trecho de imagem (P<sub>HH</sub>) e mapa da distribuição de biomassa da cobertura vegetal.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro do Programa de C&T para Gestão de Ecossistemas (MCT), ao Projeto LBA (LC-11) e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa (processos n<sup>os</sup> 300677/91-0, 380597/99-3, 300927/92-4), FAPEMIG (CRA 00054/00). Esse trabalho está inserido no acordo de cooperação científica do INPE com a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. Os autores agradecem ao IBAMA/MMA e ao apoio técnico de José C. Mura, Fábio F. Gama, Paulo Honda e Paulo César G. Amaral (OBT/INPE) na parte de calibração radiométrica e cartográfica das imagens-radar.

## Referências

- Brown, S., Gillespie, A. J. R., and Lugo, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, v.35, p.881-902, 1989.
- Chambers, J.Q.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Higuchi, N. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, v.152, p. 73-84, 2001.
- Kent, M.; Coker, P. Vegetation Description and Analysis – A Pratical Approach. 1994, John Wiley & Sons Ltd. London, Great Britain. 363 p.
- NASoftware, 2002, CAESAR Technical Reference: Standalone Executables. [on line]. <<http://www.nasoftware.co.uk/caesar-docs/refprog/rwseg.html>>.
- Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; Souza, S.G.A.; Batista, G.T.; Couto, L.B. Allometric regressions for improved estimate of secondary biomass in central Amazon. *Forest Ecology and Management*, v.117, p. 149-167, 1999.
- Santos, J.R.; Araujo, L.S.; Freitas, C.C.; Soler, L.S.; Gama, F.F.; Dutra, L.D. Analysis of forest biomass variation in the Amazon and its' influence on the response of Pband SAR polarimetric data. In: SPIE'02 - International Symposium on Remote Sensing, 9., Sept., 23-27th, 2002. Crete, Greece. 2002a . Proceedings. [CDROM].
- Santos, J.R.; Pardi Lacruz, M.S.; 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, 2002b. Special Issue of GRFM Project.
- Santos, J.R.; Freitas, C.C.; Araujo, L.S.; Dutra, L.D. Mura, J.C.; Gama, F.F.; Soler, L.S.; Sant'Anna, S.J.S. Airborne P-band SAR applied to the above ground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest *Remote Sensing of Environment*. Special Issue of LBA (*in press*).
- Uhl, C., Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. Abandoned pastures in eastern Amazonia, I: patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, v.76, p. 663-681, 1988.