

ESPACIALIZAÇÃO DA ÁREA BASAL DE FLORESTA PRIMÁRIA E SUCESSÃO SECUNDÁRIA A PARTIR DE IMAGENS-RADAR EM BANDA P

LUCIANA SPINELLI ARAUJO
JOÃO ROBERTO DOS SANTOS
CORINA DA COSTA FREITAS
LUCIANO VIEIRA DUTRA
FÁBIO FURLAN GAMA

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{lucian,jroberto}@ltid.inpe.br; {corina,dutra,fabio}@dpi.inpe.br

Abstract: The objective of this work is to evaluate the potential of P-band polarimetric images to stratify the primary forest and secondary succession, through the analysis of the relationship between backscatter and basal area data. A test site located in the Tapajós region (Pará State) was selected. Statistical regression model was used to verify the spatial configuration of P-band backscatter from primary and secondary vegetation types, considering the intrinsic variations of these formations in terms of basal area. For this thematic mapping, a contextual Markovian classification technique (ICM) was used in these airborne SAR images, to delineate primary forest and secondary succession, associating them to the basal area intervals. The advance that was reached in the P-band airborne data processing can improve the monitoring approach of the land cover change, a process whose speed was accelerated as a result of human action in the Amazon during the last two decades.

Keywords: SAR data, P-band images, tropical rain forest, secondary succession, basal area, Amazon.

1. Introdução

No Brasil, dados de sensoriamento remoto obtidos na faixa óptica têm sido tradicionalmente utilizados como fonte primária de informações para subsidiar planos de controle e fiscalização do meio ambiente. A disponibilização de imagens-radar de bandas X, C e L tem facilitado a aquisição de informações em áreas onde é frequente a ocorrência de elevados percentuais de cobertura de nuvens, como acontece em determinadas partes da Amazônia. Monitorar a cobertura vegetal, indicando áreas onde essa vegetação sofre profundas transformações fisionômico-estruturais, é uma tarefa que pode ser realizada com o uso de imagens-radar, apesar de certas limitações apresentadas por essas bandas espectrais, quando da capacidade de interação do sinal com a estrutura da cobertura vegetal e os baixos pontos de saturação resultantes dessa interação. Isso é muito evidente quando se deseja avaliar a possibilidade de relacionamento dos *backscatter* com parâmetros biofísicos da cobertura florestal. Nesse contexto, uma missão com radar aerotransportado em bandas X e P foi formalizada, dentro de uma cooperação científica entre o INPE e o Serviço Geográfico do Exército, com execução da AeroSensing Radar Systeme GmbH Company (Alemanha), numa área da floresta tropical do Tapajós (Pará). Portanto, o objetivo desse trabalho é demonstrar a potencialidade das imagens em banda P na estratificação das variações de área basal de floresta primária e secundária, ilustrando o seu relacionamento com valores de backscatter e também, a possibilidade de mapeamento temático através de uma técnica de classificação contextual.

2. Metodologia

A área investigada corresponde a região sob influência da Floresta Nacional do Tapajós (PA), de coordenadas geográficas 58° 50' 41.68" a 59° 07' 57.18" de longitude oeste e 3° 15' 19.4" a 3° 15' 16.99" de latitude sul, em trecho da BR-167 Cuiabá-Santarém. A missão com radar

aerotransportado obteve imagens interferométrica em banda X e polarimétrica em banda P. Dutra et al.,(2002) cita algumas características técnicas desse imageamento com dados de banda P, como o comprimento de onda de 72 cm, a frequência média de 415 MHz, o ângulo de depressão de 45°, com uma resolução no terreno de 1,5m e resolução azimutal de 0,7m.

Na abordagem metodológica, as imagens em banda P nos modos complexo e amplitude foram inicialmente comparadas às cartas topográficas e imagem TM/Landsat para orientação das faixas correspondentes às linhas de voo e também, para uma melhor visualização das diferentes categorias temáticas de uso e cobertura da terra registradas nessas imagens-radar. Os diversos *tracks*-radar foram radiometricamente corrigidos pelo padrão de antena e a calibração polarimétrica foi executada conforme mencionado em Santos et al.,(*in press*), baseada em 8 *corner reflectors*, permitindo-se dessa forma, a aquisição de imagens-backscatter. Durante a fase desse levantamento aéreo, foi também realizado um inventário florestal, em áreas previamente selecionadas (43 amostras) , representativas das classes de floresta primária e de estádios de sucessão secundária. Durante essa fase de campo, uma série de parâmetros dendrométricos foi medida para todas as árvores com DAP>5cm em transectos de 2.500m² e 1.000m² , respectivamente de floresta primária e regeneração. Em todas as amostras demarcadas, um total de 7.774 árvores foram medidas, servindo de estimadores para o cálculo da área basal média em cada *transecto*. Assim, tais valores de área basal (variável y) obtidos no decorrer do inventário e os valores de *backscatter* (variável x), derivados das imagens de banda P, foram investigados por análise de regressão, para verificar o grau de relacionamento dessas variáveis no modelo. Posteriormente, uma classificação temática das imagens polarimétricas de banda P foi realizada, empregando uma técnica contextual de Markov, denominada ICM (Iterated Conditional Modes), conforme detalhadamente descrita em Frery et al., (1997) e Freitas et al., (2001) e que tem como base nessa abordagem contextual, um sistema de classificação padrão através de máxima verossimilhança. No mapeamento assim resultante foi associado, para cada tema de interesse, valores médios de área basal encontrados para as classes de floresta e de sucessão secundária.

3. Resultados

Fazendo-se uma simples estratificação por tipologia vegetal pode-se registrar que: (a) as áreas de sucessão secundária na região do Tapajós apresentam valores médios de 4,75 m²/ha, 7,84 m²/ha e 16,95 m²/ha de área basal para as classes de sucessão secundária inicial, intermediária e avançada, respectivamente (**Figura 1**). Independente do estágio de sucessão, foram encontrados em média 1.326 árvores/ha. As diferenciações quantitativas de área basal estão relacionadas com os vários estádios de desenvolvimento da sucessão secundária, refletidos pelo tipo e intensidade de uso anterior dado à área, o grau de compactação do solo e capacidade regenerativa das espécies pioneiras; (b) as áreas de floresta primária apresentam valores médios de 22,04 m²/ha de área basal, para uma média de 970 árvores/ha. Houve ocorrência também de áreas onde a floresta está sendo manejada, através de corte seletivo, apresentando assim, valores bem reduzidos de área basal (~10,14 m² /ha).

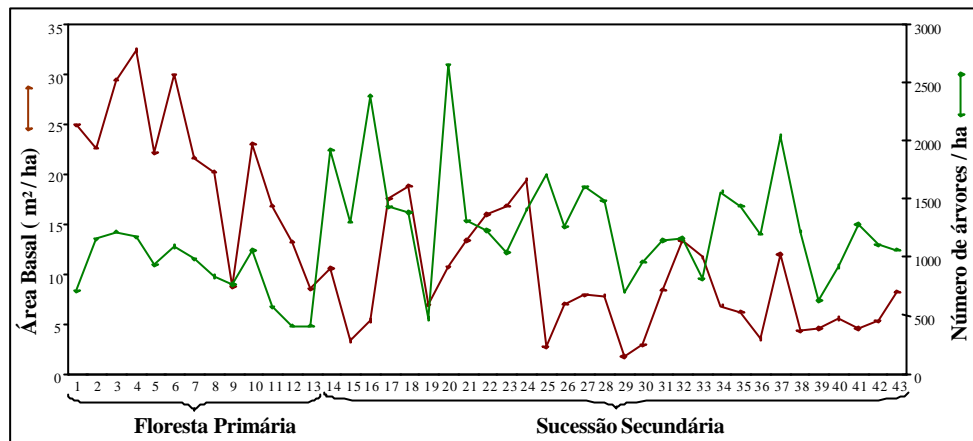


Figura 1. Histograma das variações de área basal e do número de árvores/há para as amostras de floresta primária e de sucessão secundária na região do Tapajós (PA).

Como a área basal tem como parâmetro de estimação o valor diamétrico, pode-se perceber na **Figura 2**, a representação gráfica da análise de correlação entre tais valores e aqueles de backscatter (σ°), tomando-se como exemplo apenas, as polarizações HH e HV. Uma estratificação diamétrica por intervalos de classe foi elaborada, no conjunto de dados de floresta primária e secundária, para poder ilustrar quais desses intervalos respondem melhor às variações de *backscatter* encontrados. De uma maneira geral, a correlação é positiva, tendo valores bem mais acentuados para as classes diamétricas superiores a 15 cm, que por esse resultado, devem influenciar bem acentuadamente o espalhamento volumétrico na interação do sinal de radar com a estrutura de troncos e galhos da cobertura vegetal. Na **Figura 3** pode-se perceber o comportamento entre as variáveis área basal e *backscatter*, gerado por um modelo de regressão, com uma função do tipo exponencial, cujas formas apresentam diferenciações entre as polarizações. Numa primeira análise, não parece existir uma adequada relação entre as variáveis, ficando contudo a polarização HH com um coeficiente de determinação levemente superior às polarizações HV e VV perante os dados de área basal.

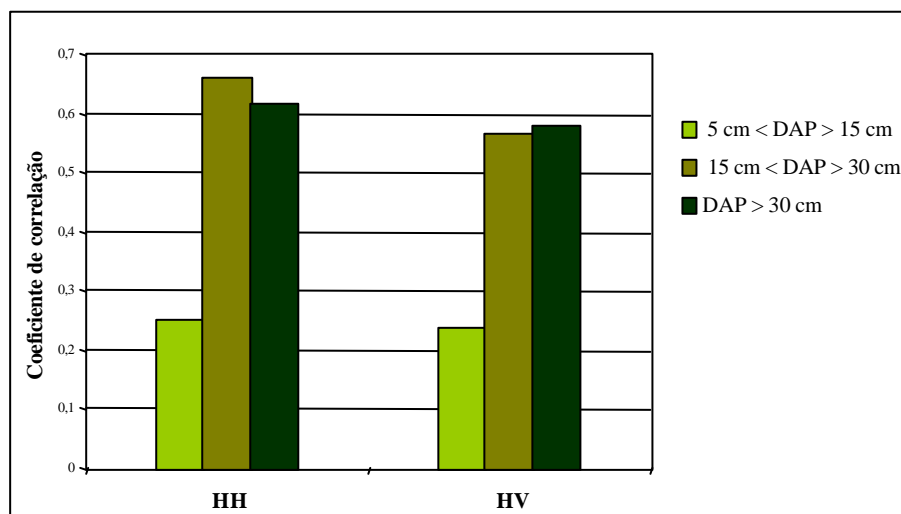


Figura 2. Valores de correlação entre número de árvores por classe diamétrica e valores de σ° nas polarizações P_{HH} e P_{HV} .

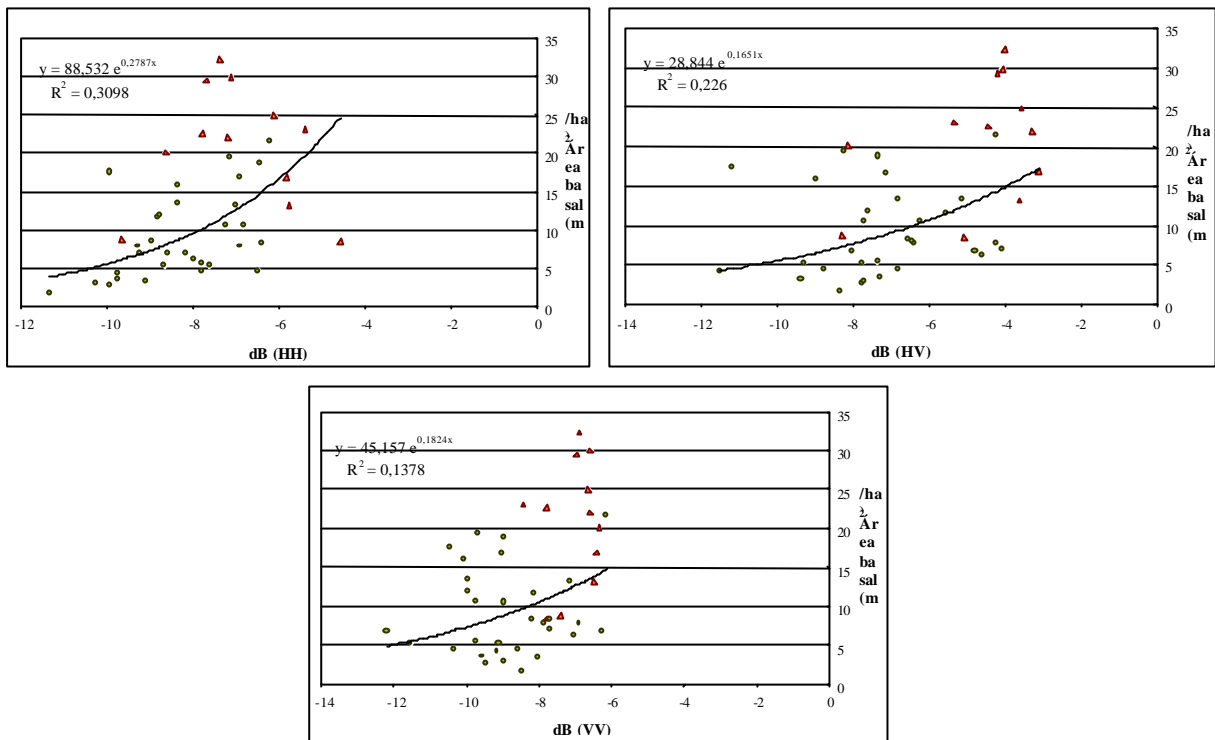


Figura 3. Relacionamento entre valores de área basal de floresta tropical primária (■) e de sucessão secundária (▲) e valores de banda P nas polarizações HH, HV e VV.

O tratamento classificatório dos dados polarimétricos da banda P através do algoritmo contextual ICM permitiu estratificar seis classes, cujo delineamento calibrado com informações de campo permitiu obter 0,8343 de valor Kappa, o que representa um significativo grau de acurácia na representação temática. Para cada um dos temas de interesse desse trabalho, floresta primária, sucessão secundária em níveis inicial, intermediário e avançado, foi associado o valor médio de área basal encontrado nos inventários de campo, com suas respectivas variabilidades amostrais (**Figura 4**).

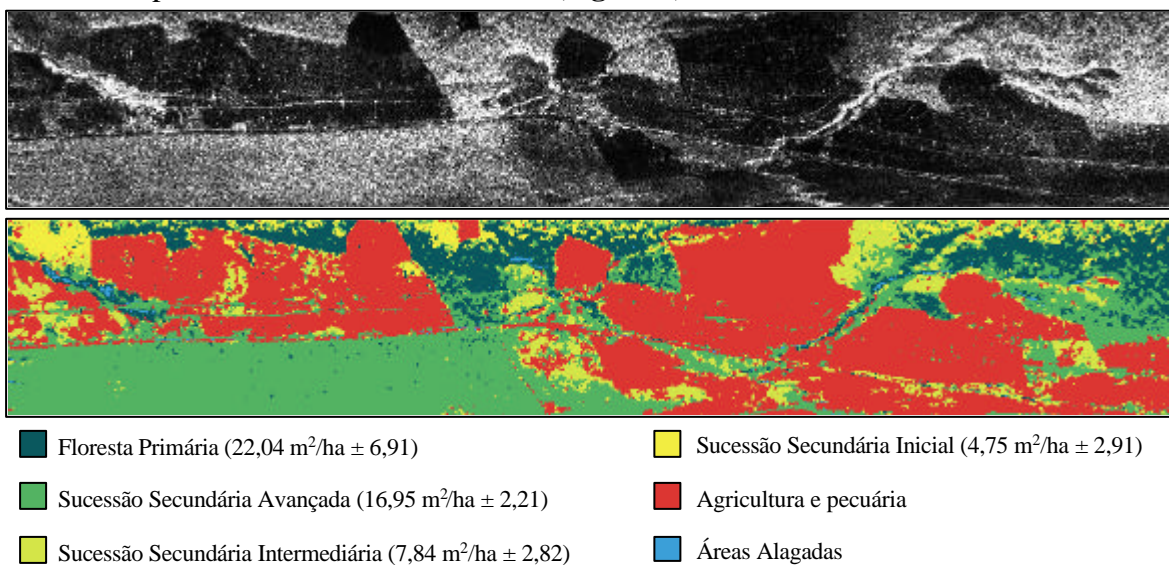


Figura 4. Mapa temático de uso e cobertura da terra com associação de valores de área basal para distintas fisionomias florestais. Modificado de Freitas et al., (2001).

4. Conclusões

A variabilidade de resposta em termos de backscatter para os alvos florestais estudados pode ser explicada pela acentuada influência dos indivíduos arbóreos com DAP maior de 15 cm, sobretudo para aqueles estágios sucessionais intermediário e avançado, além é claro, da classe floresta primária. Era esperado um melhor relacionamento entre as variáveis área basal e backscatter, sobretudo nas polarizações HH e HV. A formulação diamétrica com o somatório das áreas transversais de todas as árvores do transecto que modelam esta variável área basal parece indicar ser necessário o uso conjugado de algum outro parâmetro dendrométrico auxiliar para melhor definição estrutural das fácies florestais investigadas. Numa primeira aproximação, a abordagem classificatória via ICM dessas imagens-radar em banda P, associadas de forma simplista com valores de área basal, oferece uma visão sinóptica da distribuição madeireira e sua capacidade regenerativa, cujas informações podem subsidiar estudos de emissão e re-absorção de carbono e mesmo, o acompanhamento de planos de manejo em determinadas áreas.

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 nºs 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, Paulo Honda e Paulo César.G. Amaral (OBT/INPE) na parte de calibração radiométrica e cartográfica das imagens-radar.

Referências

- Dutra, L.V.; Elmiro, M.T.; Soares, B.S.; Mura, J.C.; Santos, J.R.; Freitas, C.C.; Araujo, L.S.; Albuquerque, P.C.G.; Vieira, P.R.; Gama, F.F. Assessment of digital elevation models obtained in Brazilian Amazon based on P and X band airborne interferometric data. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – IGARSS'02. Toronto, Canada. Jun., 24–28th, 2002. Proceedings. [CDROM].
- Frery, A.C.; Yanasse, C.C.F.; Vieira, P.R.; Sant'Anna, S.J.S.; Rennó, C.D. A user-friendly system for synthetic aperture radar image classification based on grayscale distributional properties and context. In: Brazilian Symposium of Computer Graphic and Image Processing, 10. Campos de Jordão, Brasil. 1997. Proceedings. p. 211-218.
- Freitas, C.C.; Sant'Anna, S.J.S.; Soler, L.S.; Santos, J.R.; Dutra, L.V.; Araujo, L.S.; Mura, J.C.; Hernandez Filho, P. The use of airborne P-band radar data for land use and land cover mapping in Brazilian Amazonia. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – IGARSS'01. Sydney, Australia. Jul., 9-13th, 2001. Proceedings. [CD-ROM].
- Santos, J.R.; Freitas, C.C.; Araujo, L.S.; Dutra, L.V.; 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. (in press).