

IDENTIFICAÇÃO DE FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS CONTÍGUAS A FRAGMENTOS DE CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO COM IMAGENS JERS-1/SAR

HUMBERTO NAVARRO DE MESQUITA JR
MARISA DANTAS BITENCOURT

LEPaC - Depart. de Ecologia - IB/Universidade de São Paulo
Rua do Matão, Travessa 14, 321, Cidade Universitária
CEP:05508-900 - São Paulo
{beto, tencourt}@ib.usp.br

Abstract: The orbital radar sensors images can successfully be used to classify the vegetation at large areas and complement the information derived from optical systems, widely used for ecological studies. The objective of this study is to improve the discrimination of seasonal semideciduous forests and cerrado in São Paulo State. The study area is the most southern region of the cerrado domain. This area is bounded by seasonal semideciduous forest with some spots of it within the cerrado. This work was carried out in 22 priority areas for Cerrado conservation in areas with Cerrado remnants spots in private properties. These areas can have seasonal semideciduous forests and various physiognomies of cerrado, including Cerradão (forest type of Cerrado). JERS-1/SAR images (L band) were digitally processed to allow separation of seasonal semideciduous forest from cerrado. The digital processing yield backscatter values that resulted to be quite specific for each forest type, allowing thus to separate seasonal semideciduous forest from cerrado quite well.

Keywords: JERS-1/SAR, L band, cerrado, seasonal semideciduous forest

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto é frequentemente utilizado para a classificação dos tipos de vegetação. Embora as faixas do óptico sejam as mais utilizadas para sensoriamento remoto deste tipo de alvo, o uso de outros sensores tem sido feito para evitar erros de classificação, pois as faixas do óptico são sensíveis as folhas verdes.

No estado de São Paulo, as fisionomias de cerrado, que vão de campestres à florestais, podem ocorrer contíguas às florestas estacionais semidecíduas. A floresta estacional e o cerrado (fisionomia florestal do Cerrado) apresentam algumas características que dificultam a classificação das mesmas nas imagens na faixa do óptico, pois ambas apresentam dossel contínuo, as copas das árvores unem-se formando uma cobertura contínua de folhas verdes. Além das diferenças na composição de espécies esses tipos de vegetação diferem estruturalmente (Batalha 1997 e Batalha et al. 2000). No cerrado o dossel é baixo (10 a 15 metros) e regular e na floresta estacional o dossel varia de 15 a 25 metros é mais rugoso e apresenta espécies emergentes. As florestas estacionais possuem espécies emergentes geralmente dominantes (área de cobertura da copa) que podem ser semidecíduas ou decíduas. Nos períodos de estiagem e pré-estiagem a resposta integrada da cobertura vegetal na faixa do óptico pode ser igual ou inferior a do Cerradão (Mesquita 1998).

Desta diferença estrutural resulta diferença na biomassa aérea das duas coberturas, sendo geralmente a floresta estacional a que possui maior biomassa aérea. Esta diferença

pode ser quantificada pela resposta dos sinal na faixa das microondas (Kasischke, 1997, Santos et al. 1998).

Problemas físicos como a saturação dos índices de vegetação em coberturas densas (muitas camadas de folhas) podem ser resolvidos com as imagens de radar que penetram a cobertura vegetal. Na faixa L das microondas o sinal penetra o dossel e interage com galhos e troncos tendo mostrado efetiva correlação com a biomassa lenhosa das florestas.

O objetivo deste estudo foi utilizar as propriedades físicas dos sistemas radar na faixa L, e suas relações diretas com a biomassa lenhosa, para aumentar a discriminação das florestas estacionais semidecíduais e o Cerrado (principalmente o cerradão, forma florestal do Cerrado).

2. Material e Métodos

Foram adquiridas 44 imagens JERS-1 da área de domínio do cerrado no estado de São Paulo (**fig. 1**). As imagens JERS-1 são dos anos de 1994 a 1997, na medida do possível foram escolhidas as datas mais recentes.

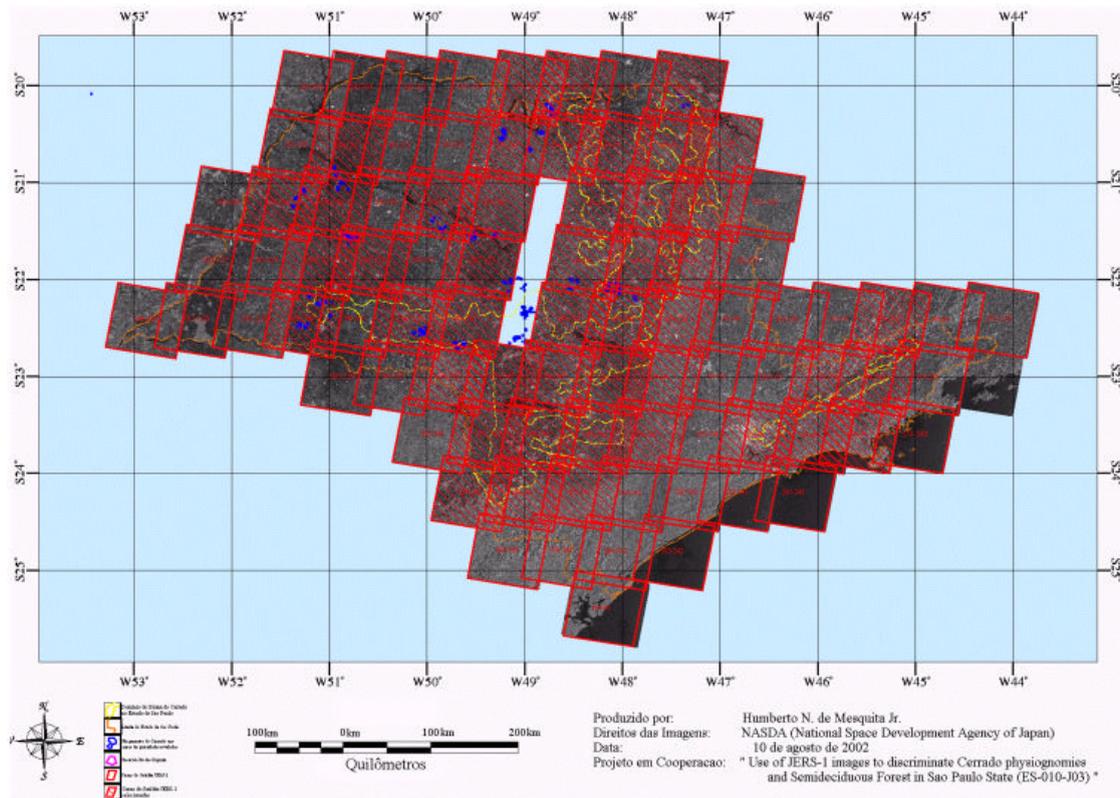


Figura 1 - Mosaico de cenas de imagens SAR do satélite JERS-1 no estado de São Paulo com os limites do Estado e área do domínio de cerrado no estado de São Paulo.

O Satélite JERS-1, com o sensor SAR (“*Synthetic Aperture Radar*”) trabalha na banda L (comprimento de onda $\lambda = 23\text{cm}$). A imagem produzida a partir da relação entre o sinal de radio enviado e recebido pela antena, o sensor pode produzir imagens com resolução de

12,5 metros x 12,5 metros. Este satélite tem órbita polar. O ângulo de depressão da antena SAR do JERS-1 é de aproximadamente 35°. O ruído equivalente σ^0 (σ^0) é de aproximadamente -18dB.

A radiação nas microondas é transmitida a partir da antena de radar do JERS-1 que em seguida recebe os sinais refletidos pela superfície da terra. O valor do σ^0 é a razão das energia recebida espalhada em relação ao sinal enviado. Usualmente os valores de σ^0 , por serem razões de potência, são expressas em decibéis (dB). Os valores dB (imagem amplitude) são obtidos a partir da conversão dos números digitais (DN) da imagem intensidade (Rosenqvist, 1997; Shimada,2001) segundo a **equação 1**.

$$s^o = 10 \log 10 \left\{ \frac{(\sum ND^2)}{n} \right\} + FC \quad \text{Equação 1}$$

ND = número digital de uma cela da imagem 16bits

σ^0 = (σ^0) é a razão das energia recebida espalhada em relação ao sinal enviado

n = número de celas amostradas

FC = constante do fator de calibração

Em geral, o valor σ^0 depende da geometria do sinal enviado e da natureza da reflexão das ondas de radio a partir dos alvos. Devido a antena do JERS-1 ser de faixa L ($\lambda=23$ cm) este sinal é mais sensível a estruturas da ordem de tamanho de 23cm (até metade deste valor) e orientadas segundo a polarização do sinal (VV, por exemplo troncos das árvores). Os sinais podem penetrar as camadas de folhas do dossel e os troncos são bons refletores (alto brilho). Os valores de σ^0 geralmente variam de -18dB até maiores de 0db. Assim, em áreas com pouca vegetação, grande parte dos sinais é perdido (pouco espalhamento do sinal) e como resultado os valores de σ^0 são baixos (escuro). Pela mesma razão rios, lagos são difusamente refletidos e são extremamente escuros na imagem (alta reflexão especular, baixo retroespalhamento do sinal). As áreas com florestas tem alto retroespalhamento e consequentemente altos valores de σ^0 .

Alguns parâmetros importantes na análise do sinal na imagem são os de geometria do satélite e sensor (efemérides do satélite e ângulo da visada) em relação a superfície e o alvo (dupla reflexão de canto e refletores especulares). Quando o satélite tem órbita descendente (Norte para Sul) a antena fica direcionada para Oeste (sinal emitido de Leste para Oeste) e na órbita ascendente ocorre o inverso. Com as datas de aquisição das imagens é possível determinar a órbita e o ângulo de visada (<http://eus.eoc.nasda.go.jp/euswww/>). Estas informações em conjunto com informações sobre o relevo permitem identificar padrões de sombra e dupla reflexão das faces das vertentes.

No caso das imagens em órbita descendente, regiões com relevo acidentado terão maior brilho nas faces voltadas para leste (devido ao baixo valor do ângulo de incidência e dupla reflexão em superfícies de geometria côncava). A umidade pode afetar o sinal recebido pela antena aumentando o brilho do alvo (exceto em áreas completamente inundadas, onde os valores serão mais escuros devido a reflexão especular). Estas considerações foram apontadas como importantes na análise de imagens do JERS-1 (Luckman et al., 1999).

Outro parâmetro da imagem é o coeficiente de calibração do sensor, que depende da data que a imagem foi processada, os valores dos coeficientes para as imagens JERS-1/SAR estão na **tabela 1**.

Tabela 1 - Coeficientes de calibração nos diferentes intervalos de processamento das imagens produtos JERS-1/SAR.

Data de processamento	Fator de Calibração (dB)
até 14 de fevereiro de 1993	-70,00
depois de 15 de fevereiro de 1993	-68,50
depois de 01 de novembro de 1996	-68,20
depois de 01 abril de 2000	-85,34

Fonte: dados fornecidos pela NASDA (EORC - Orderdesk)

Nas análises preliminares foram realizadas com a imagem de Radar através da extração dos valores de σ^0 para as fisionomias de cerrado em uma área de conservação. Os valores de espalhamento foram extraídos da imagem a partir das áreas de probabilidade de ocorrência de fisionomias na área de estudo a partir do estudo realizado por (Mesquita Jr, 1998) e comparados com os valores obtidos na unidade de conservação.

As áreas de prioridade com grupos de fragmentos de cerrado em propriedades particulares foram localizadas 23 cenas foram utilizadas onde ocorrem. Desse conjunto foram selecionadas 22 áreas contendo um total 206 polígonos (fragmentos) com cobertura vegetal de cerrado (**fig. 2**). Os polígonos com ocorrência de cerrado - originalmente do inventário do estado de São Paulo de Kronka et al. 1993 - foram delimitados nas imagens e localizados em campo por grupos de trabalho dentro do projeto *The Conservation Feasibility of the Cerrado Remnants in São Paulo State* (FAPESP processo nº 98/05251-0).

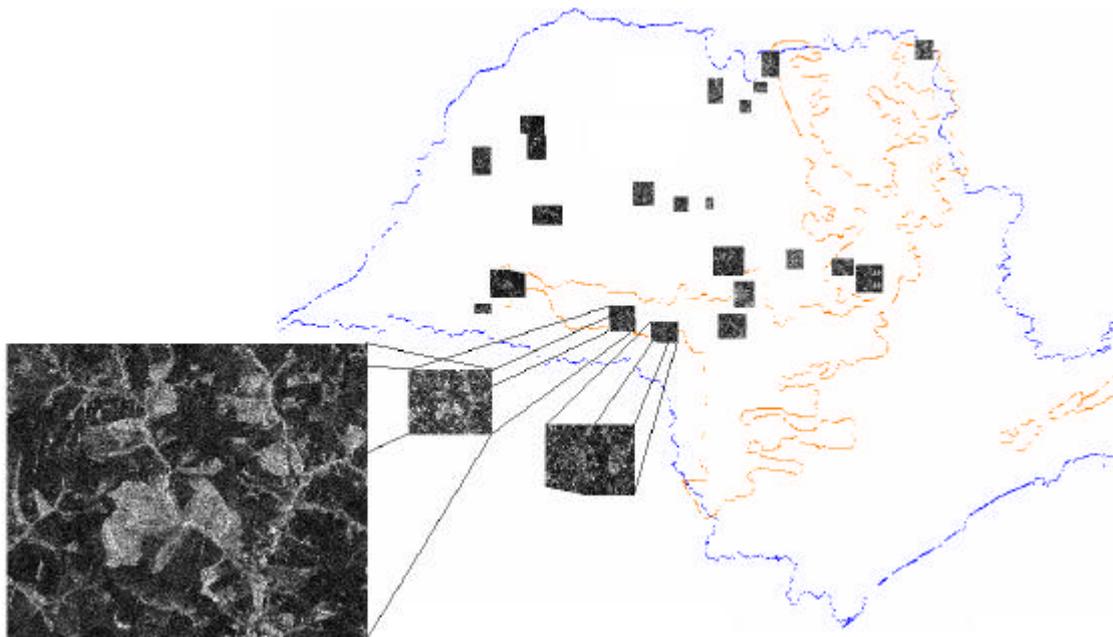


Figura 2 - Imagens JERS-1/SAR com resolução de 12m metros das 22 áreas de prioridade de conservação do Cerrado no estado de São Paulo estudadas no projeto *The Conservation Feasibility of the Cerrado Remnants in São Paulo State* (FAPESP processo nº 98/05251-0).

Os intervalos de variação de retroespalhamento (dB) obtidos para as fisionomias de cerrado foram utilizados para a classificação das áreas de cerrado.

3. Resultados

As imagens JERS-1/SAR foram transformadas em valores de σ^0 os valores médio de cada uma dos fragmentos foi comparada com os valores médios de imagens IVDN derivadas das imagens do sensor MODIS obtidos no período de novembro 2000 a junho de 2002 (fig. 3).

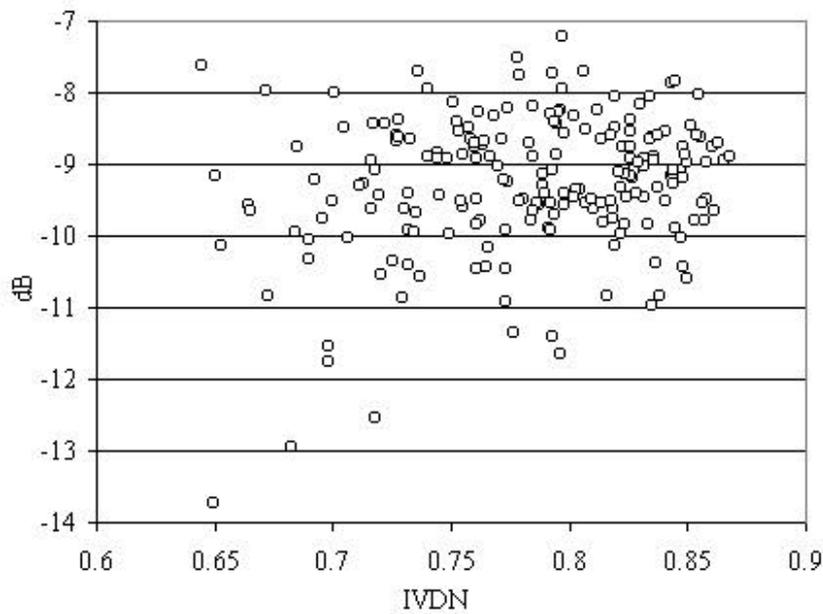


Figura 3 - Gráfico de dispersão dos valores médios de IVDN (imagens MODIS) em relação aos valores de σ^0 de cada fragmento de cerrado.

Os valores de espalhamento (fig. 4) foram extraídos da imagem a partir das áreas de probabilidade de ocorrência de fisionomias na área de estudo a partir do estudo realizado por (Mesquita Jr, 1998).

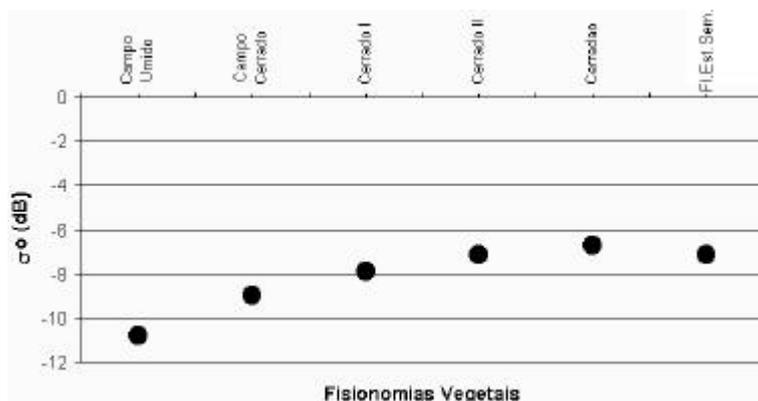


Figura 4 - Diagrama dos valores de espalhamento de fundo da fisionomias de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual na área de estudo.

Os valores σ^0 obtidos para as 22 áreas de prioridade (fig. 5) foram comparados com os com os intervalos de valores σ^0 obtidos para cada fisionomias na unidade de conservação a reserva Pé-de-gigante.

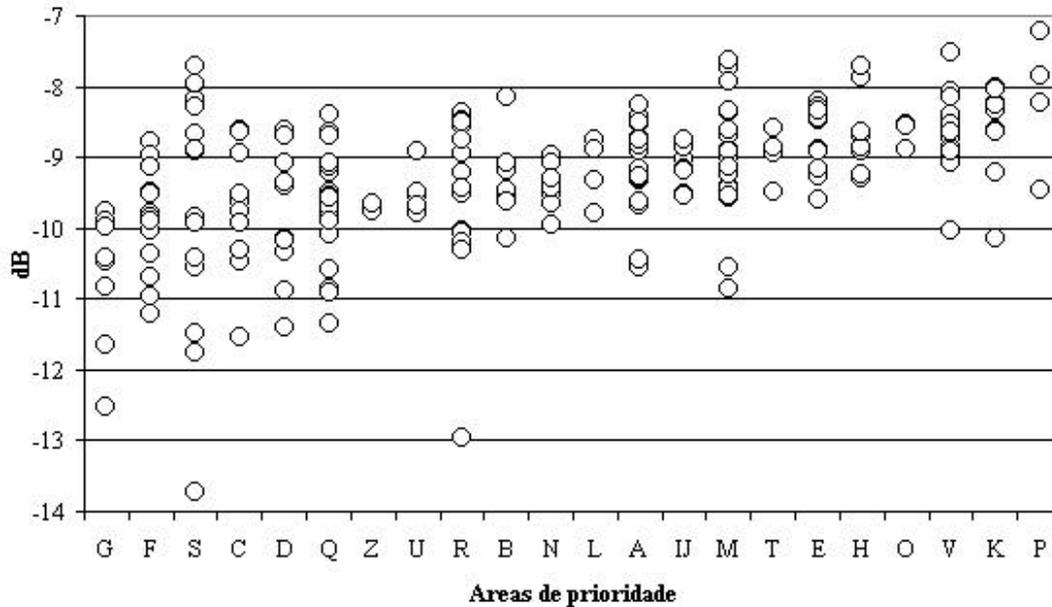


Figura 5 - Valores de retroespalhamento (dB) médios ordenado das áreas de prioridade em linha contínua e os pontos indicando os valores médios de cada fragmento.

4. Discussão

Os altos valores de retroespalhamento das médias de alguns fragmentos são indicativos da presença de florestas estacionais.

A análise detalhada de uma transeção dentro da reserva demonstrou que os altos valores de retroespalhamento de cerrado na reserva estão com o fato de parte desta fisionomias ocorrer próxima as encostas íngremes - aumentando os valores de retroespalhamento devido a dupla reflexão com a superfície do terreno.

Assim para melhoras a análise seria importante obter os modelos numéricos do terreno para cada uma das áreas de prioridade em conjunto com os dados das efemérides do satélites no momento da aquisição de cada imagem.

Outra aspecto importa é que as variações de valores absolutos de retroespalhamento foram mais altos para a Floresta Estacional.

Os resultados obtidos estão dentro dos limites para as savanas e florestas tropicais obtidos em outros trabalhos (Santos et al. 1998, Luckman et al. 1999).

5. Conclusões

As imagens JERS-1 mostraram ser bons indicadores de presença de florestas com maior biomassa (neste caso as florestas estacionais). Os dados obtido com as imagens JERS são adequados para análise em escala local e podem complementar as imagens Landsat na

obtenção de dados sobre a cobertura vegetal, principalmente os dados sobre as estrutura florestal no que refere ao incremento de biomassa aérea lenhosa.

6. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FAPESP no âmbito do BIOTA/FAPESP “*The Biodiversity Virtual Institute Program*” (www.biota.org.br) and CAPES. Agradecemos o apoio da Universidade de São Paulo e a NASDA (*National Space Development Agency of Japan*). Agradecemos à Dr. João Roberto dos Santos pelo incentivo, apoio e orientações nas fases iniciais deste trabalho.

7. Referencias Bibliográficas

- Batalha M. 1997, *Análise da Vegetação da ARIE Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro - SP)*, Dissertação defendida no Depto. de Ecologia Geral do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em ciências.
- Batalha, M. A.; Mantovani, W.; Mesquita Júnior, H. N. de. (2001) Vegetation structure in cerrado physiognomies in South-Eastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 61 (3): 475-483. 2001.
- Kasischke, E. S.; Melack, J. M.; Dobson, M. C. The use of image radars for ecological applications – A Review. *Remote Sensing of the Environment*. 59:141-156, 1997.
- Kronka, F.; Matsukuma, C. K.; Nalon, M. A.; Del Cali, I. H.; Rossi, M.; Mattos, I. F. A.; Shin-Ike-Ywane, M. S.; Pontinhas, A. A. S. *Inventário florestal do Estado de São Paulo. Instituto Florestal do Estado de São Paulo/SEMA*. 1993.
- Luckman A., Baker, J.R., Honzák M., Lucas R., 1998, Tropical Forest Biomass Density Estimation using JERS-1 SAR: Seasonal Variation, Confidence Limits and Application to Image Mosaics. *Remote Sensing of Environment* 63:126-139.
- Mesquita Jr, H. N. *Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga – SP)*. MSc Dissertation submitted to the Institute of Biological Sciences, University of São Paulo. 118p, 1998.
- Rosenqvist, A. *Analysis of the backscatter characteristic of rubber, oil palm and irrigated rice in multiband polarimetric synthetic aperture radar imagery*. Thesis submitted to the Institute of Industrial Science University of Tokyo. 114p. 1997
- Santos, J. R.; Xaud, M. R.; Lacruz, M. S. P. Analysis of backscattering signals of JERS-1 image from savanna and tropical rainforest biomass in Brazilian Amazônia. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. VolXXXII, Part 7. Budapest, 1998.
- Shimada, M. *User's Guide to NASDA's SAR products. Ver.2*. Tokyo. 23p, 2001.