

**Análise dos mecanismos de espalhamento utilizando dados ALOS/PALSAR Polarimétricos, em diferentes estágios de cobertura florestal na Região do Tapajós-Brasil.**

Igor da Silva Narvaes<sup>1</sup>  
João Roberto dos Santos<sup>1</sup>  
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça<sup>2</sup>  
Fábio Guimarães Gonçalves<sup>3</sup>

(1) INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Av. dos Astronautas, 1758 CEP.:12.227-010 São José dos Campos – SP., Brasil  
Email: {jroberto,igor}@dsr.inpe.br

(2) INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
Av. André Araujo, 2936 CEP.: 69060-001 Manaus – AM., Brasil  
Email: pmlag@inpa.gov.br

(3) Oregon State University  
Department of Forest Science, Corvallis, OR 97331- EUA,  
Email: Fabio.Goncalves@oregonstate.edu

**Abstract:** In this paper we analyze the PALSAR scattering mechanisms of tropical forest typologies based on target decomposition. The analysis of scattering mechanisms was done by the association of entropy and mean alpha angle values for each sample, introduced to the bi-dimensional classification space. Some results can be mentioned: the pixel distribution in the  $(H,\alpha)$  bi-dimensional space was more frequent at zones 4, 5 and 9 for forest with or without timber exploitation and for the advanced secondary succession. This study improves the understanding of the interaction mechanisms between L-band PALSAR signals and structural parameters, subsidizing the forest inventory in the Brazilian Amazon region.

**Keywords:** tropical forest, PALSAR, inventory, monitoring.

**Palavras-chave:** floresta tropical, PALSAR, inventário, monitoramento.

## **1. Introdução**

A necessidade de estimativas confiáveis a respeito da estrutura florestal ao longo de áreas extensas tem aumentado atualmente, devido ao reconhecimento do potencial das florestas na ajuda a mitigação dos efeitos de mudanças climáticas localizadas e globais. Muitos estudos já têm sido realizados utilizando sistemas SAR aerotransportados, assim como sistemas orbitais (SIR-C/X SAR, ERS e JERS-1). Em particular, já foi observado que o coeficiente de espalhamento na banda L possui correlação com o volume e biomassa de floresta, principalmente na polarização VH (ou HV) do que nas polarizações HH ou VV (Ranson e Sun, 1994), embora a razão de polarização cruzada tenha também sido mais útil para a estimação dos parâmetros florestais. Outras técnicas têm sido utilizadas com sucesso tanto para estimativa da biomassa e volume quanto para a estimação de parâmetros florestais, como a introdução da coerência interferométrica combinada com estes parâmetros biométricos com o intuito de melhorar os níveis de estimação de biomassa e sua acurácia (Schmullius et al., 2001). Todavia, o problema do nível de saturação do sinal SAR, na estimação da biomassa fica abaixo de 40-60 tons/ha para a banda L (Imhoff, 1995). Como forma de resolver tal problema, Cloude e Papathanassiou (1998); Papathanassiou e Cloude (2001) publicaram uma nova metodologia para extrair a altura de florestas a partir de aquisições repetidas de dados

SAR polarimétricos e interferométricos (POLInSAR). Deste modo, a biomassa florestal pode então ser estimada sem saturação utilizando a altura da árvore e alguns modelos de crescimento florestais conhecidos (Papathanassiou et al., 2005). Aplicações florestais são o mais importante e próspero campo na aplicação de técnicas POLInSAR, especialmente em banda L. O mais importante é que para os dados PALSAR, mesmo em observações interferométricas com polarização dual, os modelos POLInSAR podem ainda ser aplicados para a inversão da altura das árvores, embora com redução da acurácia (Papathanassiou e Cloude (2001); Papathanassiou et al. (2005)). Seguindo o escopo deste trabalho Rauste et al. (1994) e Henderson e Lewis (1998) estudaram o retroespalhamento de dados SAR multi-polarimétricos para a discriminação de tipologias florestais, discutindo os seus aspectos de espalhamento e atenuação do sinal SAR em diferentes frequências. Saatchi et al. (1997); Hoekman e Quiñones (2000); Santos et al. (2003) estimaram especificamente a biomassa florestal por dados SAR polarimétricos e/ou interferométricos, discutindo a saturação do espalhamento devido a alta densidade de florestas tropicais. ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) é o primeiro satélite construído com sensor SAR em banda L com ambos os modos de aquisição de dados em duas (dual) e quatro polarizações (quad). Polarimétricos, a bordo da plataforma ALOS desenvolvida pela Agência Espacial Japonesa (JAXA). Por isso, é importante investigar e avaliar a capacidade e limitações deste sensor, de tal forma a fornecer melhores ferramentas de análise via sensoriamento remoto e informação de produtos florestais para o manejo e proteção tanto em escala local quanto em escala regional.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar os mecanismos de espalhamento dos dados PALSAR em floresta primária, sucessão secundária (inicial, intermediária e avançada) e florestas com exploração madeireira em floresta tropical em acordo com o procedimento alternativo de classificação de imagens SAR baseado na decomposição de alvos.

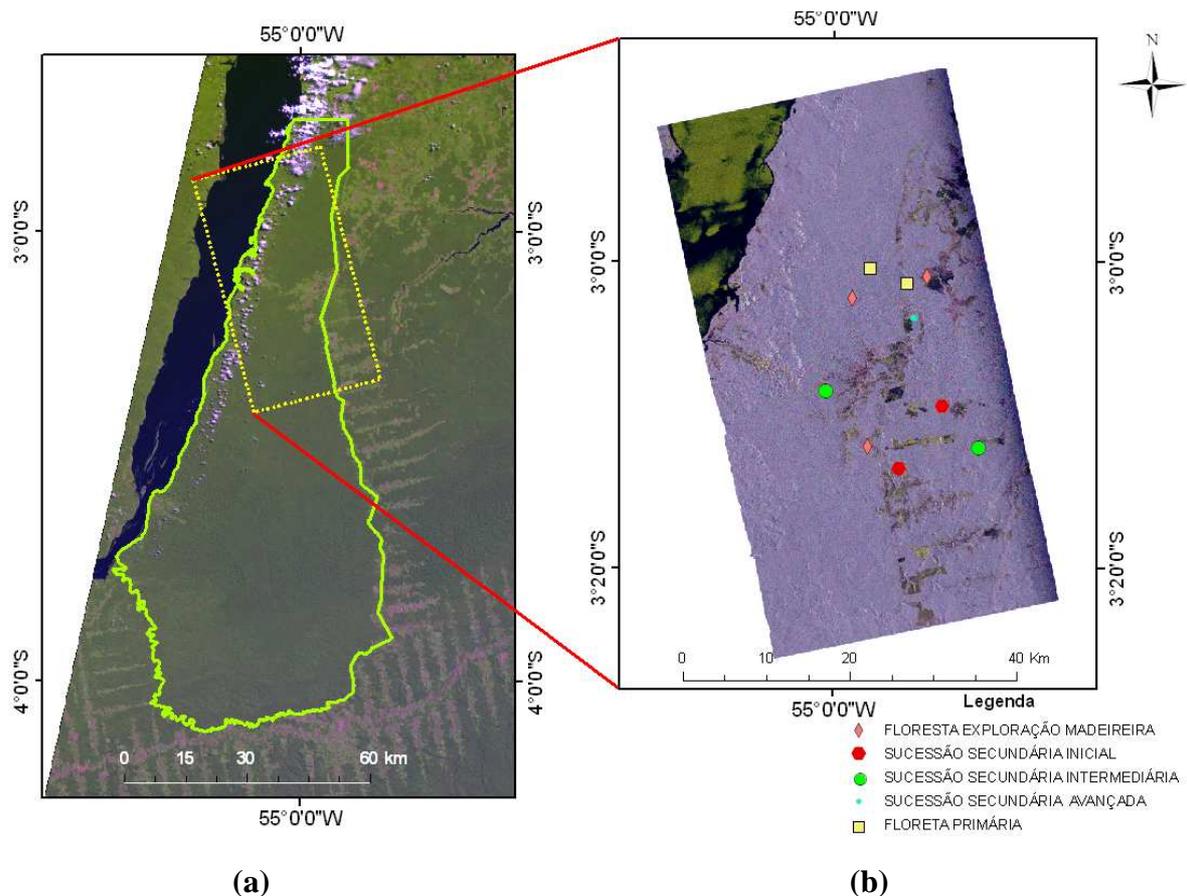
## **2. Área de Estudo**

A área de estudo está localizada na região do Tapajós (NW do Estado do Pará, Brasil) compreendida pelas coordenadas geográficas Lat 3° 01' 59.85" (S), Long 54° 59' 53.08" (W) e Lat 3° 10' 39.33" (S) e Long– 54° 52' 44.96" (W), conforme a Figura 1. Esta região é caracterizada por um relevo pouco ondulado, constituindo o baixo platô Amazônico e o platô superior Xingu-Tapajós. Esta área é dominada pela contínua cobertura de floresta tropical primária exibindo no platô árvores emergentes e uma cobertura uniforme de vegetação (Floresta Ombrófila Densa) e seções de platô baixos a dissecados com poucos indivíduos emergentes e uma alta densidade de palmeiras (Floresta Ombrófila Aberta).

## **3. Metodologia de Trabalho**

### **3.1. Aquisição dos dados ALOS/PALSAR**

O ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), foi lançado em Janeiro de 2006, tendo a bordo o sensor radar de abertura sintética PALSAR (Phased array L-band Synthetic Aperture Radar), desenvolvido pela Agência Espacial Japonesa (JAXA), com uma estratégia de imageamento multi-temporal nos níveis regional e global. Os modos de imageamento do PALSAR, como FBS (*Fine Beam Single*), FBD (*Fine Beam Dual*), SCANSAR, DSN (*Direct Transmission*) e POL (*Polarimetric*), foram calibrados e validados utilizando uma quantidade de 500 pontos bem distribuídos ao redor do globo (Shimada et al., 2007). Para este estudo foi utilizada uma imagem PALSAR polarimétrica, nas quatro polarizações (POL), adquirida em órbita ascendente em 23 de Abril de 2007, com uma resolução espacial de 4,5 m em range e 9,50 m em azimute e ângulo de incidência de 24,333°.



**Figura 1.** Localização da área de estudo: (a) Mosaico de Imagens Landsat ETM+ R(5), G(4), B(3), órbita 227, pontos 62 e 63 de 30/07/2001; (b) Imagem Sigma-0 ALOS/PALSAR R(HH), G(HV), B(VV) adquirida em 23/04/2007.

### 3.2 Análise dos dados PALSAR e dados de campo

No presente estudo uma análise exploratória foi conduzida para avaliar a sensibilidade de duas técnicas polarimétricas para avaliar variações estruturais de algumas classes de cobertura: floresta primária (*PF*), floresta com exploração madeireira (*SL*) e também, inicial (*ISS*), intermediária (*IntSS*), e sucessão secundária avançada (*ASS*). Foram realizados Inventários florestais em Agosto/Setembro de 2007 (mesmo ano de aquisição do dado PALSAR) para a caracterização da fisionomia estrutural destas tipologias. A razão da escolha desta decomposição deve-se principalmente pelo fato de que para aplicações florestais a densidade de tais espalhadores pode ser baixa e a onda resultante desta interação sofrerá despolarização. Uma forma eficaz para ajudar a isolar diferentes mecanismos de espalhamento ambientais dos alvos em questão é por meio da utilização da decomposição nos planos de entropia/anisotropia/ângulo alfa (Cloude et al., 2008).

Foram gerados os valores de entropia e o ângulo alfa médio (resultante da decomposição dos autovalores e autovetores da matriz de covariância) das ROIS onde foram realizados os inventários, plotadas no espaço de classificação bidimensional ( $H, \alpha$ ) em acordo com o procedimento introduzido por Cloude e Pottier (1997). Este procedimento de classificação por decomposição de alvos, os mecanismos de espalhamento são definidos em 9 zonas distintas, nomeadas: Z1 – Espalhamento Múltiplo e Alta Entropia; Z2 - Espalhamento Vegetação e Alta Entropia; Z3 – Espalhamento Superficial e Alta Entropia; Z4 – Espalhamento Múltiplo e Média Entropia; Z5 – Espalhamento da Vegetação e Média Entropia; Z6 – Espalhamento Superficial e Média Entropia; Z7 – Espalhamento de Eventos Múltiplos e Baixa Entropia; Z8 – Espalhamento de Dipolos e Baixa Entropia; Z9 – Espalhamento Superficial e Baixa

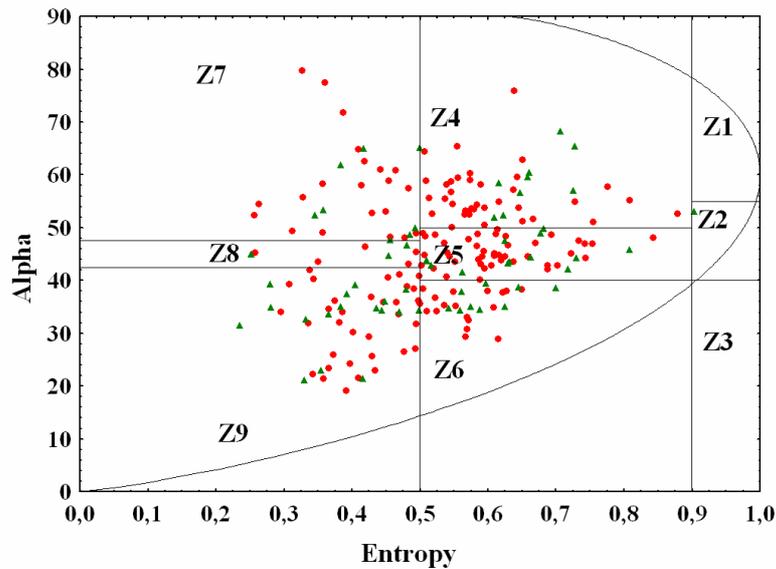
Entropia. Após a inclusão da resposta dos dados SAR de cada ROI em uma classificação espacial bidimensional ( $H, \alpha$ ), um teste estatístico baseado em um modelo de regressão linear (teste F de  $b_1 = 0$  versus  $b_1 \neq 0$ ,  $b_0$  e  $b_1$  são os coeficientes da regressão) foi aplicado para verificar a existência de diferenças significativas entre classificações (combinação de todos os possíveis pares de classificação derivados de cada ROI). O resultado da classificação é um conjunto de 9 valores em percentagem, presentes em uma determinada ROI, apresentando o montante de pixels classificado em cada zona do plano ( $H, \alpha$ ).

É importante ressaltar que para a geração desses planos, construídos de cada ROI (área amostral incluem uma quantidade representativa de *pixels* do tema, reduzindo as incertezas estatísticas e a influência do ruído *speckle*) da imagem SAR. As superfícies resultantes foram comparadas entre eles por intermédio da análise visual, baseados na informação estrutural obtidas durante o inventário florestal. Os posicionamentos da representação das ROIs das diferentes tipologias estudadas correspondem a estes locais (corretamente georreferenciado) onde os inventários florestais foram realizados.

#### 4. Resultados e Discussão

Na Figura 2 a distribuição de *pixels* das onze ROIs pode ser visto no espaço de classificação bidimensional, o qual os resultados da classificação e o respectivo número de *pixels* por zona de espalhamento, podem ser observados na Tabela 1. É observado que todas as 7 ROIs representativas de floresta primária, floresta com exploração madeireira e sucessão secundária avançada, mostram uma distribuição de *pixels* concentradas (valor médio de 72%) nas zonas Z4, Z5 e Z9. Isto indica que tais classes de uma estrutura florestal já definida (contém 3 ou 4 estratos) e está baseado principalmente nas zonas de espalhamento múltiplo e volumétrico de média entropia.

Adicionalmente existe também alguma influência do espalhamento superficial mas derivado de uma zona de baixa entropia. As duas amostras representativas das classes intermediárias (*IntSS*) tem uma maior distribuição de *pixels* (>60%) na zona de média entropia (Z5), devido ao espalhamento proveniente de objetos em forma de dipolo e em zonas de baixa entropia (Z9, Z7), com espalhamento de objetos regularmente distribuídos no espaço, e também como uma consequência do efeito *double-bounce* causado pelo espalhamento de objetos tais como ramos-tronco-solo-tronco. A sucessão secundária inicial (*ISS*) é posicionada preferencialmente no espaço de atributos de baixa entropia (Z9) e também configurado pelos mecanismos de interação *double-bounce* (média entropia e espalhamento múltiplo -Z4), afetado pela propagação do dossel, como um resultado do crescimento uniforme de espécies pioneiras onde existe o predomínio de somente um estrato superior homogêneo, e um estrato inferior disperso e desuniforme, formado por plântulas e regenerações incipientes o qual germinaram e iniciaram um processo de sucessão tardia, sombreadas pelas espécies pioneiras.



**Figura 2.** Banda L PALSAR distribuição H- $\alpha$  dos mecanismos de espalhamento: verde representa os *pixels* de floresta primária, floresta com exploração madeireira e sucessão secundária avançada; vermelho os *pixels* de sucessão secundária inicial e intermediária.

**Tabela 1-** Distribuição de *pixels* de cada ROI nas zonas do espaço de classificação bidimensional (H- $\alpha$ ).

Zones	ROIS (Tipos vegetais)										
	FP		FEM			SSA		SSInt		SSI	
	p1	p2	p36	p25	p23	p27	p35	p12	p14	p24	p4
Z1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Z3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z4	4	10	18	12	7	8	12	5	0	9	3
Z5	23	13	11	7	14	10	5	4	13	1	8
Z6	4	5	6	5	5	6	1	3	3	4	4
Z7	5	9	9	9	5	5	2	2	3	5	4
Z8	6	2	2	1	0	0	0	2	2	0	2
Z9	7	10	5	15	16	4	8	11	5	7	9

O teste estatístico utilizado para detectar variações entre para de classificações das ROIs, ao nível de significância de 5%, indicou que não houve diferenças significativas. Baixos valores de  $p$  foram observados quando comparados SL/ASS, PF/ASS e SL/IntSS com valores de 0.1725, 0.2661 e 0.2754 respectivamente, o qual correspondem as maiores diferenças encontrada nas respostas polarimétricas entre pares de ROIs, porém ainda não significantes. Desde que não haja diferenças fisionômico-estruturais em alvos florestais (com ou sem exploração madeireira) e em seus estágios iniciais de sucessão secundária, pode-se inferir que ao nível de significância de 5% este procedimento de classificação (H,  $\alpha$ ) por decomposição de alvos utilizando dados PALSAR não foi suficientemente robusto para detectar tais variabilidades.

## 5. Conclusões

A análise dos dados PALSAR (Banda L) baseado na classificação por decomposição de alvos apoiado na informação derivada de inventários florestais, permitiram as seguintes conclusões: (a) em vários tipos de paisagens estudadas possuem a predominância de processos de espalhamento com média entropia, com espalhamento volumétrico e múltiplo

influenciado principalmente por estas estruturas com mais espalhadores florestais; (b) áreas sob cobertura natural (inicial ou intermediária) apresentam mecanismos do tipo superficial (baixa entropia) e *double-bounce* afetado pela propagação do dossel (média entropia); (c) o método de classificação por decomposição de alvos baseado nos valores de entropia e ângulo alfa médio não foi suficientemente robusto para detectar a variabilidade florístico-estrutural entre certas classes de cobertura.

Uma análise mais detalhada da composição de espécies e seu arranjo estrutural, bem como a sua proporção como dominante e co-dominante na estrutura vertical de povoamentos florestais tem que ser realizada, em ordem de melhorar o entendimento da interação dos mecanismos que comandam o sinal do radar e o alvo de interesse. Atualmente, nós estamos analisando as assinaturas polarimétricas co e cross polarizadas dos dados PALSAR objetivando uma melhor acurácia da classificação temática e como consequência, esperamos com isso que haja melhora na modelagem da biomassa em florestas tropicais.

## Referências Bibliográficas

- Cloude, S. R.; Papathanassiou, K. P. Polarimetric SAR Interferometry. **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 5, p. 1551-1565, 1998.
- Cloude, S. R.; Pottier, E. An entropy based classification scheme for land application of polarimetric SAR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 1, p. 68-78, 1997.
- Cloude, S.; Chen, E.; Li, Z.; Tian, X.; Pang, Y.; Li, S.; Pottier, E.; Ferro-Famil, L.; Neumann, M.; Hong, W.; Cao, F.; Wang, Y. P.; Papathanassiou, K. P. **Forest Structure Estimation Using Space Borne Polarimetric Radar: An ALOS-PALSAR Case Study**, Proceedings Dragon 1 Programme Final Results 2004-2007 (ESA SP-655), Beijing, P. R. China, April 2008.
- Henderson, F.M.; Lewis, A.J. Radar fundamentals: The geoscience perspective. In: Ryerson, R.A. ed., Principles & Applications of Imaging Radar. Manual of Remote Sensing, 3. ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., v.2, cap.3, p.131-181, 1998. [CD ROM].
- Hoekman, D. H.; Quinones, M. J. Land cover type and biomass classification using AirSAR data for evaluation of monitoring scenarios in the Colombian Amazon, **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n. 2, p. 685– 696. 2000
- Imhoff, M. L. Radar backscatter and biomass and biomass saturation – ramifications for global biomass inventory. **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 511-518, 1995.
- Papathanassiou, K. P.; Cloude S. Single-baseline polarimetric SAR interferometry. **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 6, p. 2352-2363, 2001.
- Papathanassiou, K. P.; Cloude S.; Liseno, A.; Mette, T.; Pretzsch, H. **Forest Height Estimation by means of Polarimetric SAR Interferometry: Actual Status and Perspectives**, *Proceedings of 2<sup>nd</sup> ESA POLInSAR Workshop*, Frascati, Italy, 2005.
- Ranson, K. J.; Sun, G. Mapping Biomass of Northern Forest Using Multi-frequency SAR Data. **IEEE Transactions. Geoscience and Remote Sensing**, v. 32, n. 2, p. 388-396, 1994.
- Rauste, Y.; Hame, T.; Pulliainen, J.; Heiska, K.; Hallikainen, M.. Radar based forest biomass estimation, **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 14, p. 2797-2808, 1994.
- Saatchi, S. S.; Soares, J. V.; Alves, D. S. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C Imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 2, p. 191-202, 1997.
- 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 aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest, **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p.482-493, 2003.
- Schmullius, C. E. et al. **SIBERIA – SAR Imaging for Boreal Ecology and Radar Interferometry Applications**, EC-Center for Earth Observation, Project Reports, Contract N° ENV4-CT97-0743-SIBERIA, Final Report, 2001.
- Shimada, M.; Isoguchi, O; Tadono, T., Higuchi, R.; Isono, K. PALSAR CALVAL – Summary and Update 2007. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, p. 3593-3596, 2007.