

# Imagens polarimétricas RADARSAT-2 na discriminação de coberturas da terra na Floresta Nacional do Tapajós

Emerson Luiz Servello<sup>1</sup>  
Tatiana Mora Kuplich<sup>2</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Edson Eyji Sano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{servello, yosio}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/ INPE  
Av. Roraima 1000 – 97105-970 – Santa Maria - RS, Brasil  
tmk@dsr.inpe.br

<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Cerrados  
Caixa Postal: 08223 - 73310-970, BR 020 Km 18. Planaltina, DF - Brasil  
sano@cpac.embrapa.br

**Abstract.** Radarsat-2 polarimetric data were acquired over Tapajos National Forest and surroundings in September 2008. A field campaign was planned for acquisition of ground truth points with the help of a GPS. The objective of this work was to assess the potential of polarimetric C band data on land use/land cover mapping. Complex polarimetric data were first corrected from slant to ground range, followed by the conversion of the data in the correspondent coherence and covariance matrix. These matrices were used for the Freeman-Durden decomposition, which intends to decompose the image targets according to the main scattering mechanisms in the study area. Finally, the new data representing the scattering mechanisms – corner reflection, volumetric and superficial – were classified by a k-means-Wishart classification. Results indicated the dominant scattering mechanisms for the study area and confirmed the importance of volumetric and superficial scattering for the discrimination between vegetated and non-vegetated areas. Classification accuracy reached around 80% for forest and pasture/bare soil classes. The presence of dense forest in most of the study area did not allow the observation of all the mechanisms of scattering in SAR data, but confirmed the volumetric and surface scattering as responsible for discrimination between plants and areas of pasture/exposed soil. Future work will evaluate different classification schemes, along with different approaches for interpreting polarimetric SAR data.

**Palavras-chave:** remote sensing, tropical land use, polarimetry, sensoriamento remoto, polarimetria, uso do solo, Floresta Amazônica.

## 1. Introdução

A utilização de dados SAR polarimétricos apresenta uma importante contribuição a classificação de uso e ocupação do solo em dados orbitais. O estudo do comportamento da onda espalhada propicia informações sobre as coberturas da terra de maneira eficaz, podendo haver melhora nos resultados de classificações (Li-wen et al., 2007). A polarimetria teve início com a instalação em plataformas de radares aerotransportados. No plano orbital, são poucos os sensores que possuem a capacidade de imageamento polarimétrico e multipolarizado, dentre eles destacamos o RADARSAT-2, lançado em setembro de 2007. A disponibilização das imagens, com informações de fase em diferentes modos de polarização, abre espaço para um conjunto de aplicações (van der Sanden, 2004).

Comumente empregam-se as bandas L, P e X em estudos de mapeamento de uso e cobertura do solo (Santos et al., 2003). No entanto, estudos pioneiros com informações polarimétricas na banda C apresentam bons resultados quando aplicados à áreas agrícolas (MacNaim e Brisco, 2004). Tais resultados, quando usados em polarizações simples,

apresentam resultados pouco significativos, sobretudo quando as classes de interesse são florestas, devido à complexidade dos mecanismos de espalhamento (Hoekman e Quiñones, 2000).

O comportamento da onda eletromagnética ao atingir um alvo é complexo. Alvos semelhantes podem apresentar espalhamentos distintos em função de sua geometria em relação ao dispositivo RADAR no momento do imageamento. A identificação dos mecanismos de espalhamento em uma imagem SAR pode ser feita através de ferramentas de decomposição de alvos. A classificação dos alvos “decompostos” pode ser refinada usando um classificador complexo modelado por uma distribuição de Wishart (Lee et al., 2004).

Identificar os mecanismos de espalhamento é um passo inicial na inferência dos alvos que constituem a cena. Freeman-Durden propuseram um algoritmo de decomposição baseado em três componentes:

- ✓ Volumétrico: Um modelo de espalhamento aleatório comum em dosséis vegetais;
- ✓ Reflexão de canto: modelado por um refletor de canto como construções prediais, árvores isoladas, etc. e
- ✓ Superficial ou reflexão simples: modelado por um espalhamento superficial em direção oposta à antena, como corpos d’água.

A dedução de Freeman-Durden, baseada na modelagem dos mecanismos de espalhamento descritos em Cloude e Pottier (1996), supõe que a matriz de espalhamento do alvo pode ser representada pela soma coerente da matriz de covariância [C] de cada mecanismo de espalhamento (Li-wen et al., 2007), como mostra a equação (1).

$$\langle [C] \rangle = f_v [C_v] + f_s [C_s] + f_d [C_d] \quad (1)$$

sendo eles:

- [C<sub>v</sub>] : matriz de covariância do espalhamento volumétrico;
- [C<sub>s</sub>] : matriz de covariância do espalhamento de superfície;
- [C<sub>d</sub>] : matriz de covariância do espalhamento de canto.

Com isto, podemos definir a seguinte pergunta: a identificação de mecanismos de espalhamento em dados complexos possibilitaria a classificação de uso e cobertura do solo? A hipótese é que o acréscimo de informações trazido pelas bandas polarimétricas possibilitaria uma modelagem estatística para a classificação eficaz do mapeamento da cobertura do solo.

Como objetivo, busca-se classificar o uso e cobertura do solo na Floresta Nacional do Tapajós a partir da decomposição de imagens SAR polarimétricas na banda-C, RADARSAT-2, em seus mecanismos de espalhamento, usando a decomposição de Freeman-Durden.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo inclui a Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós, que está ao sul da cidade de Santarém, no Pará. Suas coordenadas são: 55° 30’W a 54° 36’ W, e 2° 30’ S a 4° 18’S, cujos limites são definidos pelo rio Tapajós, a oeste, rodovia Belém-Cuiabá (BR 163), a leste, e a Transamazônica no limite Sul. Esta FLONA possui regiões de floresta primária e outras já em sucessão secundária, afetadas por ação antrópica, autorizada no plano de manejo.

A região apresenta um relevo predominante suave ondulado com a ocorrência de planícies às margens do rio Tapajós, e relevo acidentado ao sul. O solo é predominantemente arenoso com uma cobertura de material orgânico decomposto proveniente da deposição de serrapilheira.

O clima é característico de uma floresta tropical chuvosa, com temperatura média de 26°C e chuvas distribuídas ao longo do ano (regime pluviométrico anual de 1700 a 2000 mm).

A estação seca vai de julho até dezembro e durante o mês de realização do trabalho de campo e aquisição das imagens ocorreram pancadas de chuva isoladas ao norte da FLONA.

No interior da FLONA do Tapajós está presente uma comunidade tradicional (vila São Jorge) cujos habitantes, assegurados pelo plano de manejo, realizam o corte seletivo da floresta, agricultura e pecuária. O entorno da FLONA é caracterizado pela agricultura (soja, milho, sorgo e arroz) e pecuária com extensas áreas de pastagem. Podemos observar a localização da área de estudos conforme a Figura 1. Em visita a área de estudos foi observada a ocorrência de áreas dominadas por babaçu (*Orbignya phalerata*), tucum (*Astrocaryum vulgare*), e paliteiros em áreas de pastagem.

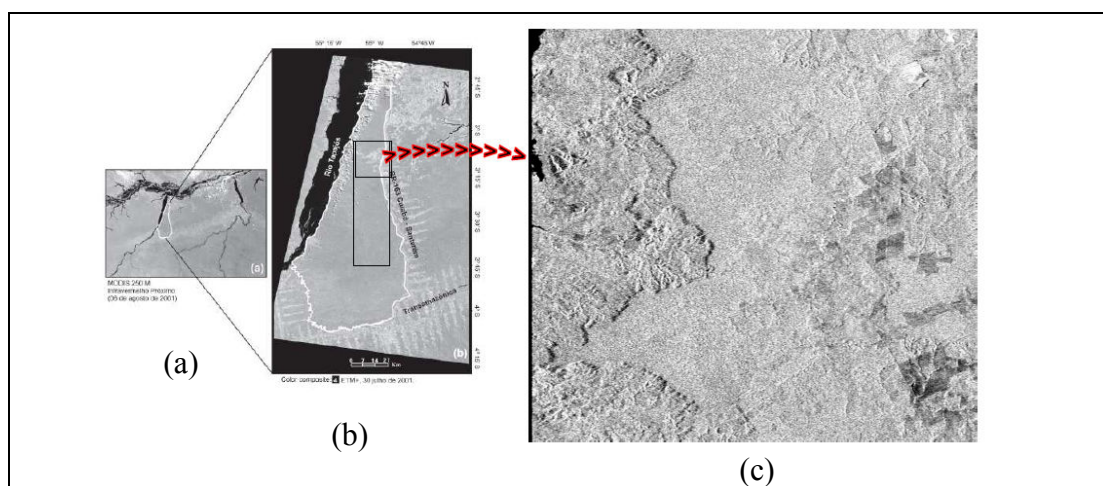


Figura 1. Área de estudo. Em (a), vista geral da FLONA do Tapajós em imagem MODIS; em (b), detalhe da FLONA em cena ETM+ de julho de 2007; e em (c), detalhe da imagem RADARSAT-2, banda HH.

Da área total amostrada selecionamos o trecho inicial da cena para realizar o processamento da imagem. Esta região foi selecionada por apresentar um uso intenso do solo e ser área já estudada em outros trabalhos científicos.

## 2.2 Materiais e processamentos iniciais

### 2.2.1 Imagens

Utilizou-se neste experimento uma imagem banda C (5,3 cm), RADARSAT-2, no modo Standard Quad-Pol, sendo este um modo completo em polarizações, HH + HV + VH + VV, juntamente as informações de fase do sinal (eco). A cena foi adquirida no dia 24 de setembro de 2008, com ângulo de incidência de  $27,07^\circ$ , recobrindo uma área aproximada de 25 km x 25 km, e resolução de 25 m x 28 m (resolução em solo x resolução em azimuth). A imagem é complexa, pois possui as informações de fase e amplitude do sinal para cada polarização.

Na etapa de pré-processamento, a imagem, georreferenciada e apresentando correções de sistema (como padrão de antena), foi convertida de slant-range para ground-range no software gratuito, Radar Tool - RAT (disponível em: <http://www.cv.tu-berlin.de/rat/>). O programa RAT desenvolve parte de suas operações de classificação realizando a conversão de dados complexos vetoriais para matriciais, sendo a matriz de covariância ou coerência requeridas nos processos de classificação e decomposição de uma imagem.

### 2.2.2 Matriz de covariância (C) e matriz de coerência (R)

As matrizes de covariância e coerência são comumente utilizadas para definir os efeitos de espalhamento (Cloude e Pottier, 1996), e a base para decomposição de alvos em imagens

polarimétricas (Lee et al., 199). A matriz de covariância (C) é gerada a partir da média entre a vetorização da matriz de espalhamento ( $\bar{k}_B$ ) e sua forma conjugada complexa transposta ( $\bar{k}_B^{*T}$ ). Estes passos são mostrados nas equações (2) e (3).

$$(C) = \langle \bar{k}_B \cdot \bar{k}_B^{*T} \rangle \quad (2)$$

$$\bar{k}_B = [S_{hh} \quad S_{vh} \quad S_{hv} \quad S_{vv}]^T \quad (3)$$

A matriz de coerência é empregada na decomposição de alvos incoerentes (cujo mecanismo de espalhamento dos difusores em uma célula de resolução são aleatórios) e reflete o espalhamento dos alvos. É deduzida a partir do vetor de coerência ( $\bar{k}_P$ ) apresentado na equação (4) e de modo similar a matriz de covariância, obtêm-se a matriz de coerência expressa pela equação (5).

$$\bar{k}_P = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{hh} + S_{vv} \quad S_{hh} - S_{vv} \quad S_{hv} + S_{vh} \quad i(S_{hv} - S_{vh})]^T \quad (4)$$

$$(R) = \langle \bar{k}_P \cdot \bar{k}_P^{*T} \rangle \quad (5)$$

A matriz de covariância ou de coerência são parâmetros de entrada para a decomposição de Freeman-Durden, e, posteriormente são empregadas na classificação da imagem. Ambas carregam as mesmas informações em representações diferentes e possuem uma distribuição de Wishart.

### 2.3 Decomposição de alvos e classificação polarimétrica

Obtidas as matrizes de covariância e coerência, iniciamos no software RAT, o processo de decomposição de alvos e classificação polarimétrica dos dados. A decomposição realizada foi a de Freeman-Durden, que decompõe a imagem segundo os mecanismos de espalhamento dominantes. Esta etapa é realizada, pois a célula de resolução é maior que o comprimento de onda empregado (5,3 cm), portanto, uma célula de resolução apresenta inúmeros espalhadores (Cloude e Pottier, 1996). A decomposição busca, portanto, identificar o espalhamento dominante na célula de resolução.

As componentes resultantes da decomposição foram filtradas aplicando-se o filtro de Lee em uma janela 7 x 7. Este filtro suaviza as bordas e reduz o ruído *speckle* presente na imagem. A redução do ruído evidencia as classes de modo a facilitar o algoritmo classificador em uma classificação.

A imagem foi classificada utilizando-se o classificador k-médias-Wishart. O algoritmo seleciona amostras nos mecanismos de espalhamento identificadas na imagem de forma aleatória. Foi necessário informá-lo o número de classes a ser gerado (8), e o número de interações a serem realizadas, definido como 4. A quantidade de classes é um número *default* do sistema (8), e o número de interações foi definido após um teste com diferentes limiares selecionados visualmente. O número de interações a ser realizada pelo classificador é determinado pelo usuário em função de sua aplicação. O que determina o número ideal de interações é a acuidade visual estabelecida pelo intérprete.

Por meio das relações métricas entre as classes, o algoritmo determina critérios de estabilidade, interrompendo a classificação quando se depara com algum critério de rescisão (média, variância, distância). As relações métricas são definidas em função da distribuição dos dados na matriz de covariância ou coerência, que apresenta uma distribuição de Wishart. Conhecida esta distribuição, o classificador K-médias emprega a distância de Wishart para delimitar as classes. Os classificadores polarimétricos implementados no RAT são descritos por Karathanassi e Daboor (2004) e Neumann et al. (2007).

## 2.4 Campanha de campo

Entre os dias 27 de setembro e 5 de outubro foi realizada uma campanha de campo na região da FLONA de Tapajós. Nesta campanha, realizou-se a coleta de 30 pontos amostrais em áreas com classes homogêneas de uso do solo, identificados em uma imagem Landsat/ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) em composição 3R4G5B de julho de 2008. Os pontos foram localizados em campo utilizando um receptor GPS (Global Positioning System) de navegação. A caracterização dos pontos foi realizada com auxílio de uma câmera digital, registrando a informação presente.

A validação da imagem classificada foi realizada através do registro no software ENVI com dados desta campanha de campo. A classificação foi validada estatisticamente através de uma análise dos pontos de erros e acertos, unidos em uma matriz de classificação. A acurácia no mapeamento foi definida na análise da diagonal principal da matriz, gerada através de uma planilha EXCEL<sup>TM</sup>.

## 3. Resultados

### 3.1 Decomposição

A decomposição de Freeman-Durden gerou as componentes de espalhamento reflexão de canto, volumétrico, e superficial, apresentadas na figura 2.

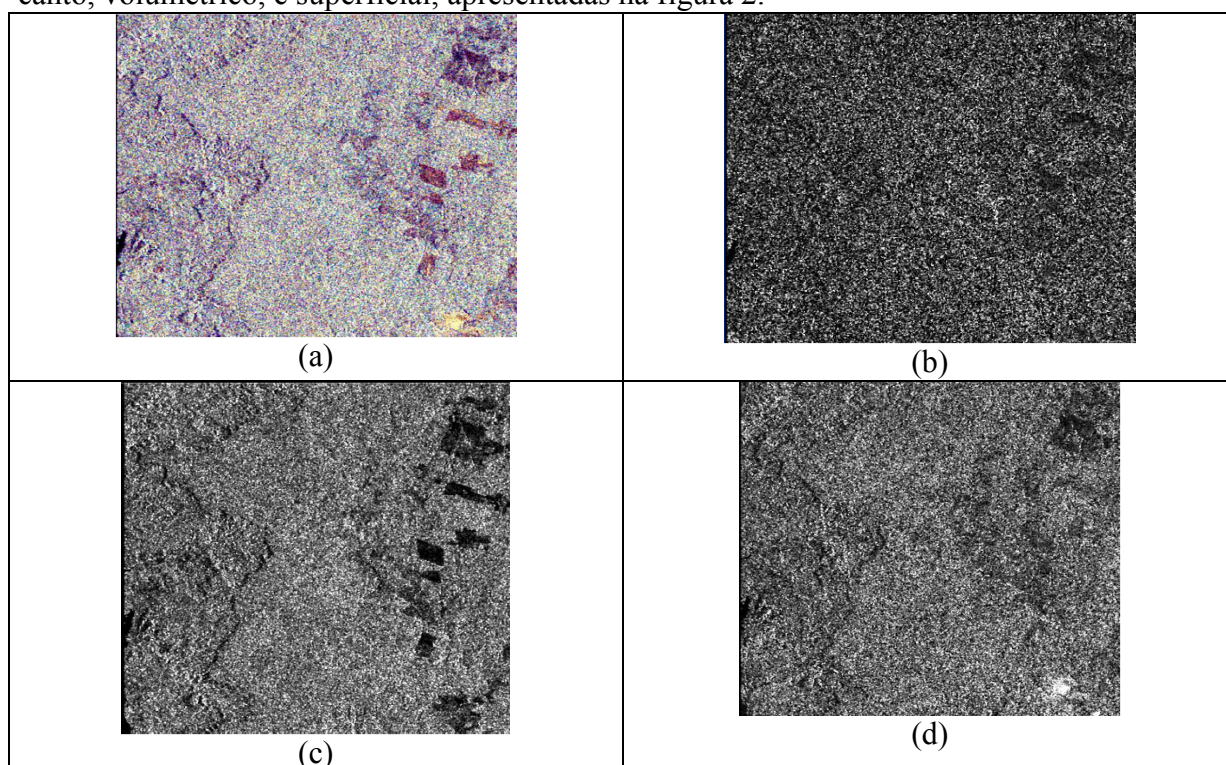


Figura 2. Imagens resultantes da decomposição de Freeman-Durden, (a) composição colorida HH-R VV-G HV-B; (b) Componente do espalhamento por reflexão de canto; (c) volumétrico; (d) superficial.

Como mostra a Figura 2, os alvos apresentam comportamentos característicos em função de sua geometria e interação com a onda. Regiões claras determinam o tipo de espalhamento dominante, e regiões escuras a ausência do mesmo. Regiões em tons intermediários podem apresentar mecanismos de espalhamento secundários, sendo necessários processamentos adicionais que não condizem com o escopo deste trabalho, mas podem ser observados no trabalho de Krauss e Fernandes (2007).

A Figura 3 apresenta uma classificação dos mecanismos dominantes nas frações resultantes da decomposição de Freeman. Estas figuras nos permitem visualizar claramente onde de fato os mecanismos de espalhamento estão agindo.

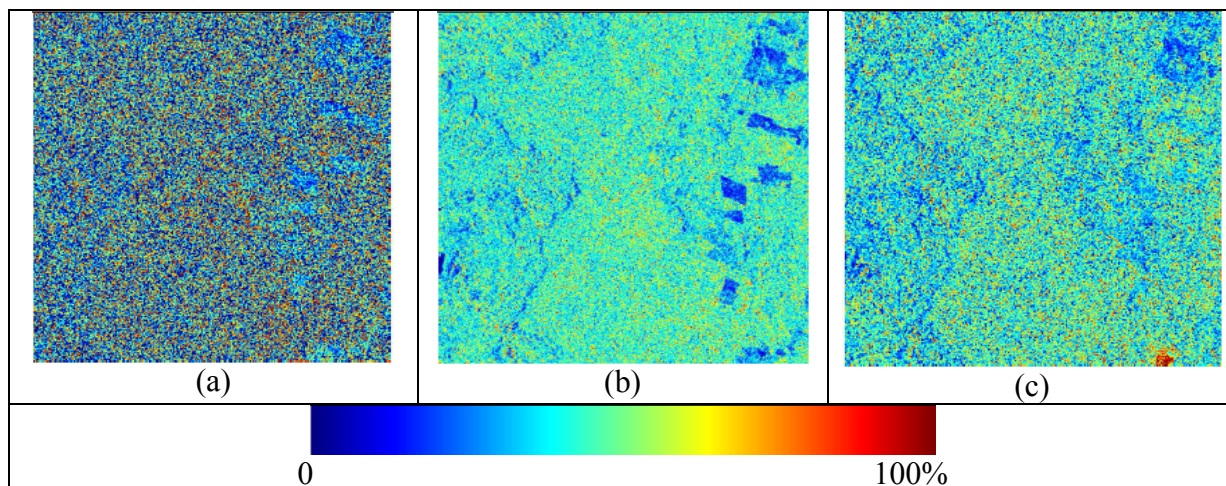


Figura 3. Escala de cores em função da predominância dos mecanismos de espalhamento de canto (a), volumétrico (b) e superficial (c).

Áreas cujo solo apresenta uma superfície lisa são favoráveis à ocorrência do espalhamento superficial na banda C, apresentando forte coloração avermelhada (Figura 3b). Tal efeito não pode ser observado em regiões cobertas por vegetação onde a geometria do dossel contribui para um espalhamento volumétrico, atribuindo um aspecto homogêneo em tons de amarelo e azul claro (Figura 3c). Árvores isoladas, construções e áreas alagadas, podem contribuir para a ocorrência do espalhamento por reflexão de canto que ocorre em pontos isolados na Figura 3a, representado por pontos avermelhados.

É importante ressaltar a importância dos mecanismos de espalhamento secundários que certamente ocorrem nas imagens, principalmente em áreas com vegetação e cultivos agrícolas em diferentes estágios de desenvolvimento. Esta decomposição representa uma aproximação dos mecanismos de espalhamento, indicando assim prováveis contribuições ao sinal SAR finalmente detectado.

### 3.2 Classificação e validação dos dados

A classificação gerada pelo algoritmo K-médias-Wishart identificou cinco classes de uso dominantes, definidas como:

- Solo agrícola em pousio: solo exposto preparado para implantação de cultura agrícola;
- Floresta: formação florestal, podendo ter sofrido variação em seus estratos iniciais por corte seletivo ou qualquer outra intervenção humana;
- Capoeira: vegetação geralmente densa, com altura ente 1,5m e 3m, composto por espécies pioneiras, gramíneas de grande porte e arbustos;
- Agricultura: área agrícola com algum tipo de cultura implantada (soja, milho, sorgo);
- Pastagem: porção de solo empregado para a prática da pecuária, coberto por vegetação rasteira, podendo apresentar arbustos ou árvores isoladas dispersas na área.

As classes podem ser observadas na Figura 4, que mostra o mapa de cobertura do solo gerado com a classificação.

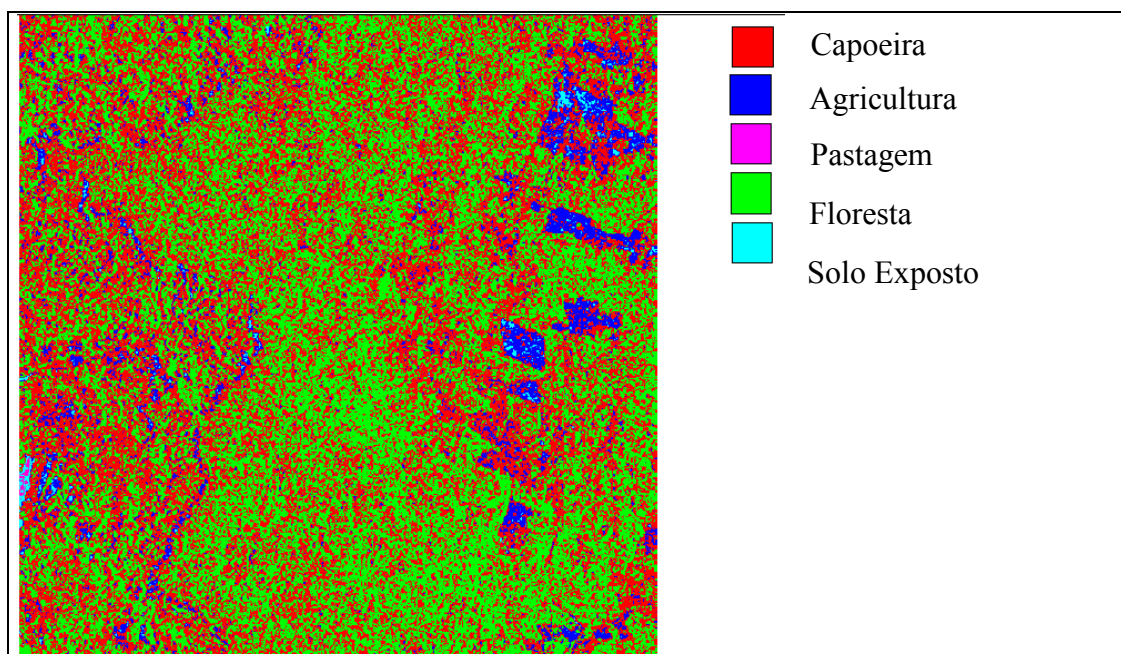


Figura 4. Imagem classificada, através do classificador K-médias, e geração de classes de uso do solo.

Em uma análise visual podemos observar a confusão apresentada em regiões que não apresentam um único mecanismo de espalhamento dominante, como as classes capoeira e floresta. Áreas cuja rugosidade da cobertura observada no campo é lisa, apresentando um comportamento de espalhamento superficial, são bem definidas nas áreas classificadas. A comprovação estatística se dá na análise da matriz de classificação apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Matriz de classificação de uso do solo na FLONA do Tapajós e entorno.

Classificação	Referência					
	Capoeira	Floresta	Pastagem	Agricultura	Solo	
Capoeira	42,86	28,57	28,57	0,00	0,00	
Floresta	20,00	80,00	0,00	0,00	0,00	
Pastagem	12,50	0,00	87,50	0,00	0,00	
Agricultura	16,67	0,00	16,67	50,00	16,67	
Solo	0,00	0,00	0,00	25,00	75,00	

As classes floresta e pastagem apresentaram uma porcentagem de classificação em torno de 80% de acerto na imagem classificada (acurácia do produtor). Classes como capoeira e agricultura apresentaram uma acurácia de classificação abaixo de 50%. Para a classe capoeira, as principais confusões encontradas foram com relação à classe pastagem e floresta, pois em determinadas regiões as pastagens apresentavam a ocorrência de espécies arbustivas e capim acima de 1,30 m de altura. A classe agricultura, que em campo apresentava diferentes cultivares e com estados fenológicos e de colheita variados, mostrou variações que podem ser fatores influentes na resposta polarimétrica dos alvos.

#### 4. Considerações finais

A classificação gerada proporciona um mapa de uso e ocupação do solo que demonstra o potencial de aplicações de dados polarimétricos para este fim. Dos mecanismos de espalhamento pesquisados, o de reflexão de canto é que menos acrescentou informações para o classificador, já que os alvos responsáveis pela sua formação são variados e de difícil

discriminação. A presença de floresta densa na maior parte da área de estudo não permitiu a observação de todos os mecanismos de espalhamento em dados SAR, mas confirmou os espalhamentos volumétrico e superficial como responsáveis pela discriminação entre áreas vegetadas e de solo exposto/pastagens. A aplicação de filtros redutores do ruído *speckle* é fundamental para redução de confusão entre classes nas classificações.

Atualmente a literatura apresenta um conjunto de classificadores para imagens SAR que consideram diferentes parâmetros como entrada de modelos. A definição de um classificador ideal poderá ser atingida após testes e estudos na região. Neste aspecto, este trabalho contribui com informações a respeito do classificador k-médias-Wishart aplicado à uma decomposição incoerente de Freeman-Durden, demonstrando um desempenho de 87,5% de acerto à classe Pastagem.

## 5. Agradecimentos

Ao Cnpq, INPE e Embrapa Cerrados pelo apoio ao desenvolvimento do projeto.

## 6. Referências

Cloude, S. R.; Pottier, E. A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 34, n. 2, p. 498–518, 1996.

Hoekman, D. H., Quiñones, M. J. Land cover type and biomass classification using AirSAR data for evaluation of monitoring scenarios in the Colombian Amazon. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 2, n° 38, p. 685–696, 2000.

Jong-Sen Lee, J. S.; Grunes, M. R.; Ainsworth, T. L.; Du, L. J.; Schuler, D. L.; Cloude, S. R. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex wishart classifier. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 37, n. 5, p. 2249-2258, 1999.

Karathanassi; V.; Dabboor, M. Land cover classification using E-sar polarimetric data. 2007. Disponível em: <[www.cv.tu-berlin.de/publications/pdf/paper\\_ratmb.pdf](http://www.cv.tu-berlin.de/publications/pdf/paper_ratmb.pdf)>. Acesso em: 15.nov.2008.

Krauss, C. V. M.; Fernandes, D. Realce na detecção de espalhadores secundários em imagens polarimétricas SAR através do cálculo da anisotropia modificada. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007**, INPE, p. 4919-4926, 2007.

Lee, J. S.; Grunes, M. R.; Pottier, E. Unsupervised terrain classification preserving polarimetric scattering characteristics”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, p. 722-731, 2004.

Li-wen, Z.; Xiao-guang, Z.; Yong-mei, J.; Gang-yao, K. Iterative classification of Polarimetric SAR image based on the Freeman decomposition and scattering entropy. **Synthetic Aperture Radar, 2007. APSAR 2007. 1st Asian and Pacific Conference on**. p.473-476, 5-9 Nov. 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4418653&isnumber=4418537>> Acessado em outubro de 2008.

McNairn, H.; Brisco, B.. The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: a review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, vol. 30, n°. 3, p. 525–542, 2004.

Neumann, M.; Reigber, A.; Jäger, M.; Stéphane, G.; Hellwich, O. Multibaseline polinsar module for SAR data processing and analysis in RAT (Radar Tools). 2004. Disponível em: <[www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm7/papers/55.pdf](http://www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm7/papers/55.pdf)> Acesso em: 15 nov. 2008.

Radar Tools homepage: <<http://www.cv.tu-berlin.de/rat/>> Acesso em outubro de 2008.

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**, n° 87, p. 482–493, 2003.

van der Sanden, J. J. Anticipated applications potential of RADARSAT-2 data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, vol. 30, n°. 3, p. 369–379, 2004.