

# ANÁLISE DE IMAGENS POLARIMÉTRICAS DO SENSOR ALOS/PALSAR-2 PARA DISCRIMINAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM REGIÃO DE INFLUÊNCIA DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS

N. C. Wiederkehr<sup>1</sup>, F. F. Gama<sup>1</sup>, J. R. Santos<sup>1</sup>, J. C. Mura<sup>1</sup>, P. C. Bispo<sup>2</sup>, V. Liesenberg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

<sup>2</sup>University of Leicester, Reino Unido

<sup>3</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil

**Comissão de Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens**

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a capacidade dos dados do ALOS/PALSAR-2 para discriminar classes de uso e cobertura da terra em uma região de influência da Floresta Nacional do Tapajós (FNT) e áreas adjacentes. Neste estudo, utilizou-se uma imagem SAR composta por quatro polarizações no formato complexo SLC (*Single Look Complex*) de onde foram geradas as matrizes de Covariância [C3] e Coerência [T3] e aplicados os teoremas de decomposição de alvos de Cloude-Pottier, Freeman-Durden e Yamaguchi. Na classificação da imagem foi empregado o classificador estatístico pontual por Máxima Verossimilhança (MAXVER) integrado ao algoritmo *Iterated Conditional Modes* (ICM). Os resultados das classificações do mapeamento temático foram avaliados através da matriz de confusão e pelo Índice *Kappa*. De maneira sintetizada pode-se afirmar que as classificações derivadas dos atributos polarimétricos dos teoremas das decomposições de alvos apresentaram bom desempenho, especialmente a de Cloude-Pottier, com Índice *Kappa* de 0,70 e exatidão global de 0,73.

**Palavras chave:** ALOS/PALSAR-2, Floresta Nacional do Tapajós, Mapeamento de uso e cobertura da terra

## ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the capability of SAR full polarimetric data from ALOS/PALSAR-2 to discriminate different land use and land cover classes in a region of influence of the Tapajós National Forest (FNT) and its adjacent areas. We generate both Co-variance [C3] and Coherence [T3] matrices as well as target decomposition theorems from Cloude-Pottier, Freeman-Durden and Yamaguchi. The classification scheme was based on punctual statistical classifier of the maximum likelihood (MAXVER) coupled with the *Iterated Conditional Modes* (ICM) algorithm. The thematic mapping results from classifications were evaluated by both error matrices and *Kappa* Indexes. Our results showed that the classifications derived from the polarimetric attributes of the theorems of the target decompositions showed good performance, specially the Cloude-Pottier decomposition, whose performance reached 0.70 of *Kappa* Index and 0.73 of Global Accuracy.

**Keywords:** ALOS/PALSAR-2, Tapajós National Forest, Mapping land use and land cover

## 1- INTRODUÇÃO

A FNT é uma importante Unidade de Conservação (UC) da natureza, com aproximadamente 572.000 ha. Localiza-se a Oeste do Estado do Pará, delimitada a Oeste com o Rio Tapajós, Leste e Norte com a Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) e ao Sul com os rios Tinga e Cupari (MMA, 2010).

Para monitorar o uso e cobertura da terra em paisagens tropicais com grande extensão territorial, tais

como a FNT, o uso de ferramentas de sensoriamento remoto torna-se essencial por permitir uma visão sinóptica dos processos de degradação.

Considerando a constante presença de nuvens e condições atmosféricas adversas nas áreas tropicais (Asner, 2001), torna-se difícil à aquisição periódica de dados sensorizados na região do espectro do visível objetivando a análise e monitoramento do uso e cobertura da terra. Diante disso, a comunidade científica tem ampliado o quadro de produtos

sensoriados na região de microondas, tais como os dados SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Algumas das aplicações destes dados - podem ser observadas em diversos trabalhos relacionados à análise e caracterização de áreas na Floresta Amazônica. Os produtos SAR mais utilizados em tais estudos têm sido derivados dos satélites: TerraSAR-X/TanDEM e Cosmo-Skymed, em banda X; RADARSAT-1 e RADARSAT-2, em banda C; ALOS/PALSAR 1 e -2 em banda L; e alguns estudos usando sensores aerotransportados em banda X e P.

Santos et al., (2003) utilizaram dados polarimétricos do sensor aerotransportado alemão AES banda P, para estudos de biomassa em florestas primárias e em estádios de sucessão secundária. Garcia et al., (2012) utilizaram imagens polarimétricas dual do TerraSAR-X para identificação de classes de uso e cobertura da terra; Azevedo et al., (2014) para monitorar do uso e cobertura da terra, utilizaram dados polarimétricos derivados do satélite Cosmo-Skymed, banda X; Martins et al., (2016) avaliaram a sensibilidade do ALOS/PALSAR-1 para a detecção da degradação florestal causada por incêndios.

As principais técnicas SAR utilizadas para estudos florestais e caracterização do uso e cobertura da terra são a polarimetria e interferometria. O presente estudo focará na aplicação da polarimetria para a caracterização da paisagem. Os radares imageadores polarimétricos registram a informação de amplitude e fase que possibilitam um maior conhecimento sobre as características físicas e elétricas dos alvos e facilitam a representação e discriminação desses alvos na superfície terrestre. Permitindo também, efetuar uma análise e identificação dos tipos de mecanismos de espalhamento que ocorre durante o processo de interação entre o alvo e a radiação eletromagnética na faixa das microondas (Boerner et al., 1998).

Diversos radares imageadores em nível orbital estão operantes atualmente, dentre os quais o RadarSat-2, Cosmo-Skymed, TerraSAR-X, TanDEM-X e o Sentinel-1A/B. Um dos mais recentes em disponibilidade de dados, que está no contexto deste trabalho, é o sensor *Phase Array L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) a bordo do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS-2). O ALOS/PALSAR-2 apresenta uma capacidade resolutiva significativamente melhorada, comparada àquela da missão do ALOS-1.

A resolução espacial do ALOS/PALSAR-2 no modo Strip Map é de 1m x 3m nas direções de azimute e *range*, respectivamente, enquanto que no ALOS/PALSAR-1 a resolução era de 10m, e o tempo de revisita foi melhorado de 46 dias para 14 dias. O imageamento pode ser realizado com a visada lateral à direita ou esquerda, enquanto que o ALOS-1, o imageamento era realizado somente com a visada lateral à direita (Jaxa, 2014).

O ALOS/PALSAR-2 opera na banda L sendo, capaz de fornecer medidas de interação do sinal com o interior do dossel e até da superfície do terreno, sendo

sensível às variações da estrutura vertical do alvo, o que permite discriminar diferentes classes de uso e cobertura da terra em áreas tropicais.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo geral analisar a capacidade dos dados *full* polarimétricos do ALOS/PALSAR-2 para a discriminação temática de uso e cobertura da terra em uma porção da FNT e áreas adjacentes.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A área sob investigação se localiza entre as latitudes 3°05'05" e 3°17'78" Sul e longitudes 54°91'28" e 55°04'68" Oeste (Figura 1), situada em uma porção que abrange parte da FNT, e áreas adjacentes próximas a BR-163.

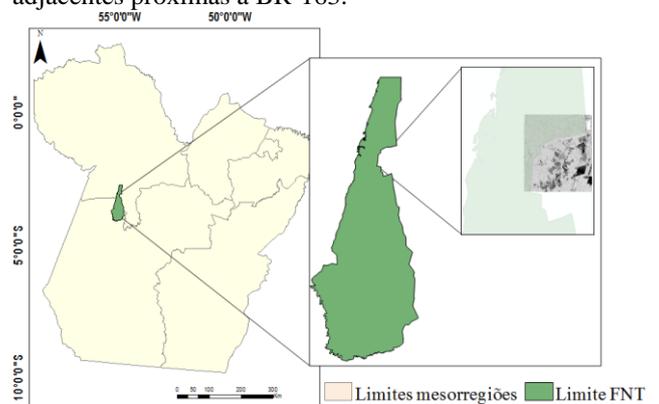


Fig. 1 – Localização da área de estudo

O recorte espacial do sítio de investigação tem aproximadamente 212,653km<sup>2</sup> compreendendo porções de remanescentes das florestas ombrófilas densa e aberta em diferentes estágios sucessionais, além de áreas com exploração madeireira sustentável. Adicionalmente, na área perimetral dessa UC, na margem esquerda da BR-163, a paisagem é constituída por extensas áreas de agricultura mecanizada (arroz, soja, milho,) e de pastagens, encontrando-se ainda áreas de agricultura familiar e fragmentos de floresta degradada.

### 2.2 Base de dados e processamento SAR

Foi utilizada uma imagem do ALOS/PALSAR-2 com data de imageamento realizado no dia 03 de maio de 2015. As características do dado SAR utilizados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do dado SAR

Modo de operação	<i>Polarimetry</i> (PLR)
Polarizações	<i>Quad-pol</i> (HH, VV, HV, VH)
Órbita	Ascendente
Espaçamento entre pixel	3,13 m ( <i>Range</i> ) 2,86 m ( <i>Azimuth</i> )
Ângulo de incidência	31, 104°

A imagem ALOS/PALSAR-2 *quad-pol* foi processada no *software Sentinel Application Platform*

5.0 (SNAP). Inicialmente geraram-se as matrizes de Covariância [C3] e Coerência [T3]. Estas matrizes foram submetidas a um procedimento de reamostragem através da média espacial denominada de *multilook* 3x3 pixels. Assim, o espaçamento entre os pixels foi convertido para 8,5 x 9,5m nas direções em range e azimute, respectivamente.

Com o objetivo de reduzir o ruído *speckle* e preservar as bordas das feições, as matrizes foram filtradas com o filtro *Refined Lee* (Lee et al. 1999). Foram realizados testes com tamanho de janelas de 5x5 e 7x7 pixels e considerando o desempenho dos mesmos, sem comprometer a resolução espacial, foi definido o tamanho de janela de 5x5 pixels. Após a filtragem, realizaram-se as decomposições polarimétricas de Cloude-Pottier (Cloude; Pottier, 1996), a fim de extrair os atributos de entropia (H), anisotropia (A) e ângulo alfa ( $\alpha$ ) e a de Freeman-Durden (Freeman; Durden, 1998) para a extração dos atributos de espalhamento superficial, *double bounce* e volumétrico. Também foi utilizada a decomposição de Yamaguchi (Yamaguchi et al., 2005), que é fundamentada no modelo de Freeman-Durden, com a introdução de um quarto componente, denominado de espalhamento do tipo hélice. Finalmente, o último procedimento da etapa do processamento consistiu na correção geométrica dos atributos através da geocodificação.

### 2.3 Classificação e validação dos resultados

As imagens decorrentes das decomposições foram classificadas pelo algoritmo MAXVER, cujo procedimento estatístico considera as distâncias médias, utilizando parâmetros estatísticos de distribuição dos pixels dentro de uma determinada classe (Crósta, 1992). Com o intuito de refinar a classificação inicial, foi utilizado o algoritmo ICM, que consiste em uma técnica de classificação contextual que incorpora a dependência espacial (Freitas, et al., 2007).

Para subsidiar o treinamento do classificador e a validação da classificação, utilizou-se um conjunto de 90 amostras de referência e de teste. Este conjunto amostral foi devidamente georreferenciado em trabalhos de campo realizados durante o mês de setembro de 2015.

Os atributos polarimétricos foram associados com as seguintes tipologias de uso e cobertura da terra: Floresta Primária (FP); Sucessões Secundárias Avançada (SSA); Intermediária (SSInt); Inicial (SSI); Solo em Pousio ou Preparado (SP); Pasto Limpo (PL); Pasto Sujo (PS); Agricultura (AC) e Corpos d'água (CA).

A partir das classificações, foram geradas as matrizes de confusões, sendo possível realizar a validação do desempenho do classificador, através do cálculo do *Índice Kappa* e exatidão global.

## 3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A decomposição de Freeman-Durden apresentou exatidão global de 0,70 e *Índice Kappa* de 0,51. Este resultado é considerado bom, segundo os valores de referência da “escala de importância” elaborado por Landis e Koch (1977).

Como podem ser observados na Tabela 02, os melhores resultados desta classificação foram obtidos para as classes de Pasto Limpo com 97% de acurácia, seguido pelas classes de Solo em Pousio ou Exposto e Agricultura, ambas com 96% de acerto. As classes que apresentaram maior confusão foram Sucessão Secundária Intermediária 19% e Sucessão Secundária Avançada com 38%. As confusões que ocorreram nas classes SSInt e SSA podem ser decorrentes da complexidade estrutural própria nessas fases de regeneração natural e a notada predominância de um único mecanismo de espalhamento que condiciona as respostas polarimétricas desses dois tipos de alvos.

Tabela 2 – Matriz de Confusão – a partir dos atributos extraídos da decomposição de Freeman-Durden

	FP	SSA	SSInt	SSI	PL	PS	SP	AC	CA
FP	45,42	35,40	38,30	0	0	0	0	0	0
SSA	24,25	38,50	17,00	0	0	0	0	0	0
SSInt	25,15	10,40	19,80	0	0	0	0	0	0
SSI	5,18	15,70	24,90	91,30	0	28,60	0	0	0
PL	0	0	0	0	97,80	9,50	0	2,30	0
PS	0	0	0	2,17	2,20	61,90	0	1,70	0
SP	0	0	0	0	0	0	96,20	0	18,20
AC	0	0	0	6,53	0	0	0	96,00	0
CA	0	0	0	0	0	0	3,80	0	81,80
<b>Exatidão global: 0,70 Kappa: 0,51 Variância: 0,0002738</b>									

A classificação decorrente da decomposição de Yamaguchi apresentou *Índice Kappa* de 0,58 e exatidão global de 0,69 (Tabela 03). As classes que apresentaram maior percentual de acerto foram AC com 97%, seguido por PL 96% e CA com 92%. A classe que apresentou maior confusão durante o processo de classificação foi SSInt, com 34%, seguido pela classe SP com 36% de acerto.

Tabela 3 – Matriz de Confusão – a partir dos atributos extraídos da decomposição de Yamaguchi

	FP	SSA	SSInt	SSI	PL	PS	SP	AC	CA
FP	51,26	22,72	34,56	0	0	0	0	0	0
SSA	25,58	60,14	24,46	0	0	0	0	0	0
SSInt	20,51	15,70	34,10	12,50	0	0	0	0	0
SSI	2,65	1,44	6,88	87,50	0,90	20,00	0	0	0
PL	0	0	0	0	96,00	7,50	0	2,47	0
PS	0	0	0	0	1,00	72,50	0	0,53	0
SP	0	0	0	0	0	0	36,36	0	7,69
AC	0	0	0	0	2,10	0	0	97,00	0
CA	0	0	0	0	0	0	63,6	0	92,30
<b>Exatidão global: 0,69 Kappa: 0,58 Variância: 0,0001791</b>									

A decomposição de Cloude-Pottier, apresentou exatidão global de 0,73 e Índice *Kappa* de 0,70 (Tabela 04). Ainda segundo Landis e Koch (1977) este resultado é considerado muito bom em face de complexidade de temas que envolvem a conversão florestal e sua dinâmica, quer seja no interior da UC ou nas áreas limítrofes destinadas a expansão agrícola.

Dentre as classes discriminadas, os melhores desempenhos classificatórios foram: AC e PL, ambos com 98% de acerto; seguidos pelas classes CA 84%, SP 81% SSI com 80% de acerto. As classes que apresentaram maior dificuldade de distinção polarimétrica foram: SSInt com 18% e PS com 57% de acerto (Tabela 4).

Em uma análise visual, como pode ser observado na Figura 2, áreas com a intensa presença de vegetação apresentaram maior confusão, principalmente entre as classes SSInt e SSA. Tal confusão indica a presença de múltiplos mecanismos de espalhamento, ou seja, não há um único mecanismo de espalhamento dominante.

Tabela 4 – Matriz de Confusão – a partir dos atributos extraídos da decomposição de Cloude-Pottier

	FP	SSA	SSInt	SSI	PL	PS	SP	AC	CA
FP	75,76	13,71	42,75	0	0	0	0	0	0
SSA	11,92	64,22	25,32	10,87	0	0	0	0	0
SSInt	12,32	16,39	18,33	2,17	0	14,28	0	0	0
SSI	0	5,68	13,60	80,44	0	0	0	0	0
PL	0	0	0	0	98,79	28,57	0	0,75	0
PS	0	0	0	0	0	57,15	0	1,25	0
SP	0	0	0	0	0	0	81,25	0	15,39
AC	0	0	0	6,52	1,21	0	0	98,00	0
CA	0	0	0	0	0	0	18,75	0	84,61
Exatidão global: 0,73 Kappa: 0,70 Variância: 0,0001974									

Áreas de SP e CA são caracterizadas pelo espalhamento superficial, assim, podem apresentar certa confusão entre sim devido ao comportamento similar, como pode ser observado na matriz de confusão (Tabela 4).

#### 4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de investigação apresenta alta fragmentação da paisagem, o que sugere uma menor precisão na confiabilidade da classificação automatizada. Apesar disso, os resultados das classificações derivadas dos atributos polarimétricos constantes do teorema das decomposições de alvos apresentaram bom desempenho.

De maneira sintetizada, pode se afirmar que as decomposições de Cloude Pottier e Yamaguchi apresentaram maior capacidade para discriminar alvos florestais de múltiplos espalhamentos, exceto a classe SSInt que não apresentou bons resultados da classificação a partir das decomposições.

A classe PL, AC e CA apresentaram bons resultados de classificação nas três classificações, assim como a classe PS apresentou resultados satisfatórios. Já a classe SP apresentou certa confusão principalmente com o tema CA, especialmente na decomposição de Yamaguchi.

O uso do solo nas áreas adjacentes da FNT é dinâmico, principalmente com cultivos de ciclos curtos, sendo alterados constantemente ao longo de um ano, ou ainda com o acréscimo de novas áreas para entrada no processo produtivo, face conversão de antigas capoeiras.

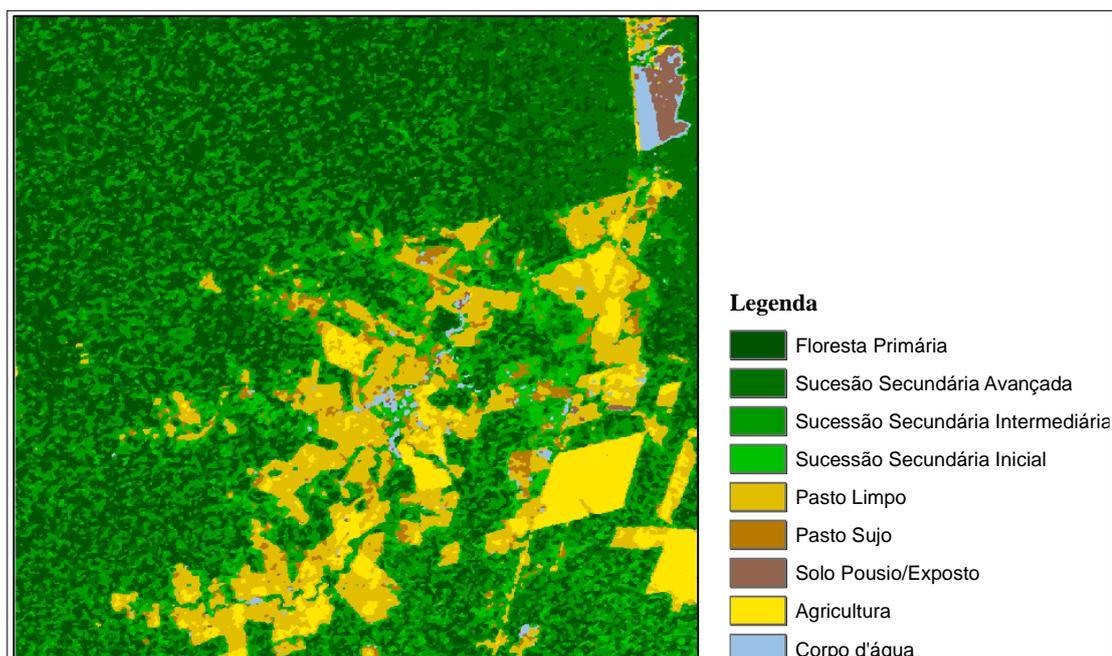


Fig. 2 – Imagem classificada através do classificador MAXVER-ICM

Ocasionalmente, por conseguinte, pressões sobre os recursos naturais, tornando extremamente importante a necessidade de sistemáticos estudos da dinâmica da paisagem nessa região, como forma de acompanhar e permitir uma prognose de causas e efeitos do processo de antropização como diretrizes que visem à preservação edáfica, hídrica e da biodiversidade local.

Os resultados sugerem um bom desempenho do ALOS/PALSAR-2 e confirmam a potencialidade dos algoritmos de decomposição de alvos aplicados aos procedimentos classificatórios de uso e cobertura da terra em regiões tropicais. Estes dados também podem ser utilizados de maneira complementar ou integrados a outros dados SAR de diferentes frequências, ou mesmo com dados ópticos, na busca de uma operacionalização no processo de monitoramento e inventário dos recursos dessa vasta região tropical.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao INPE, bem como ao ICMBio (Processo 38157-5) e ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA/Santarém.

Bispo, P.C. agradece o suporte da European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement n° 660020. Os dados ALOS/PALSAR foram obtidos via JAXA, RA 1090.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asner, G.P., 2001. Cloud cover in Landsat observations of Brazilian Amazon. International Journal of Remote Sensing, Vol. 22, N° 18, pp.3855-3862.
- Azevedo, A.R.; J.R. Santos.; F.F. Gama.; P.M.L.A. Graça.; J.C. Mura, 2014. Caracterização de uso e cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens duais multitemporais do COSMO-SkyMed. Acta Amazonica, Vol. 44, N° 1, pp.87-98.
- Boerner, W.; H. Mott.; E. Lunenburg.; C. Livingstone.; B. Brisco.; J.R. Brown.; S. Paterson, 1998. Polarimetry in Radar Remote Sensing: Basic and Applied Concepts, em Principles and applications of imaging radar, manual of remote sensing (eds) Henderson, F.M.; LEWIS, A.J, New York, pp.271-357.
- Cloude, S.R.; E.A. Pottier, 1996. Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 34, N° 2, pp.498-518.
- Crósta, A.P., 1992. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. SP-IG/UNICAMP, Campinas, 170 páginas.
- Freeman, A.; S.L. Durden, 1998. A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, N° 3, pp.963-973.
- Freitas, C.; S.J. Sant'anna.; C.D. Renno.; A.H. Correa, 2007. Utilização de imagens de radar de abertura sintética na classificação de uso e ocupação do solo. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/08.10.18.200>>. Acesso em 09 fev. 2017.
- Garcia, C.E.; J.R. Santos.; J.C. Mura.; H.J.H. Kux, 2012. Análise do potencial de imagem TerraSAR-X para mapeamento temático no sudoeste da Amazônia brasileira. Acta Amazonica, Vol. 42, N° 2, pp.205-214.
- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). ALOS-2 Project: PALSAR-2, 2014. Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm>. Acesso em 15 jun. 2017.
- Landis, J.R.; Koch, G.G, 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. International Biometric Society, Vol. 33, N° 1, pp.159-174.
- Lee, J.S.; M.R. Grunes.; G. De Grandi, 1999. Polarimetric SAR speckle filtering and its implication for Classification. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 37, N° 5, pp.2363-2373.
- Martins, F.S.R.V.; J.R. Santos.; L.S. Galvão.; H.A.M. Xaud, 2016. Sensitivity of ALOS/PALSAR imagery to forest degradation by fire in northern Amazon. ITC Journal, Vol. 49, pp.163-174.
- Ministério do Meio Ambiente: Plano de Manejo da Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: MMA, 2010. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/image/Sotries/imgs-unidades-conservacao/flona\\_tapajos.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/image/Sotries/imgs-unidades-conservacao/flona_tapajos.pdf). Acesso em 20 jul. 2017.
- Santos, J.R.; C.C. Freitas.; L.S. Araújo.; L.V. Dutra.; J.C. Mura.; F.F. Gama.; L.S. Soler.; S.J.S. Sant'anna, 2003. Airborne P-band SAR applied to the above ground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. Remote Sens. Environ., Vol. 87, N° 4, pp.482-493.
- Yamaguchi, Y, 2005. Four-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Image Decomposition. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, Vol. 43, N° 8, pp.1699-1706.