

Avaliação das imagens simuladas do MAPSAR para distinguir culturas agrícolas

Wagner Fernando da Silva¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹
Antonio Roberto Formaggio¹
José Cláudio Mura²
Waldir Renato Paradella¹

^{1,2} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
¹{wagner, bernardo, formag, waldir}@dsr.inpe.br ²mura@dpi.inpe.br

Abstract: A technical-scientific cooperation between Brazil and Germany through INPE and DLR, respectively, was established to evaluate the feasibility of building a polarimetric orbital SAR in band L, the Multi-Application SAR – MAPSAR. In 2005, orbital MAPSAR images were simulated with the polarimetric SAR-R99B sensor from SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia) on board of the EMB-145 airplane. The present work reports the evaluation of a MAPSAR simulated image to identify different crop types in an intense cultivated agricultural region in the western part of Bahia State. The study showed that the simulated MAPSAR image presented potential to discriminate among cotton, coffee and pasture, especially with the use of multi-polarization. The best result was obtained from the combination VV, HV and HH polarizations. For two polarizations the best result was VV and HV combination and for a single polarization HV showed to be useful, mainly to discriminate pasture fields.

Palavras-chave: MAPSAR, crop discrimination, cluster analysis, distinção de culturas, análise de agrupamento.

1. Introdução

O Brasil e a Alemanha mantêm um acordo intergovernamental de cooperação técnico-científica há 20 anos. No ano de 2001 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e a Agência Aeroespacial da Alemanha – DLR iniciaram estudos de viabilidade de construção de um SAR (*Synthetic Aperture Radar*) orbital polarimétrico de banda L, o *Multi-Application Purpose SAR* - MAPSAR. Esse sensor foi concebido com grande participação dos usuários potenciais dos dois países quanto à definição dos requisitos da missão, tais como os parâmetros do sensor (comprimento de onda, polarização, resolução espacial, ângulo de incidência, faixa de imageamento), configuração de órbita (tipo de órbita, inclinação, tempo de revisita, controle) e outras características (Schröder et al., 2005). Ficou acordado que o INPE seria responsável pela plataforma e integração do satélite e a DLR pela concepção da carga útil e análise de órbita.

Atualmente, a missão encontra-se na fase de viabilidade detalhada (Fase A), em que pesquisadores de vários segmentos estudam a viabilidade de aplicação das imagens do MAPSAR nas respectivas áreas de atuação. O término da Fase A está previsto para 2006 (Paradella e Silva, 2005). Neste contexto, no ano de 2005, foram obtidas imagens sobre áreas com diferentes temas de estudo utilizando o sensor SAR-R99B do Sistema de Vigilância da Amazônica – SIVAM, a bordo da aeronave EMB-145. As imagens adquiridas seguiram as especificações do imageamento orbital e foram utilizadas para a confecção de mosaicos que simulam as imagens do MAPSAR. Para os estudos da viabilidade de aplicação das imagens na agricultura, a simulação foi realizada em uma área de intensa atividade agrícola no oeste do estado da Bahia.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as imagens do sensor MAPSAR, utilizando os mosaicos derivados da simulação, quanto à capacidade de distinguir diferentes culturas agrícolas.

confeccionado a partir de uma imagem do sensor TM do Landsat-5 adquirida em 11 de abril de 2005. Devido à proximidade entre as datas de aquisição das imagens SAR e TM admitiu-se que as culturas permaneceram praticamente inalteradas entre os dias 5 e 11 de abril de 2005.

Para o registro das imagens, utilizou-se o aplicativo específico do ENVI 4.1 e tomaram-se como base os mosaicos das imagens do sensor ETM+ do Landsat-7 (GeoCover), ortorretificados e disponibilizados pela NASA (NASA, 2005). Para redução do *speckle* utilizou-se o filtro FEFROST (*Enhanced Frost Filtering*) com dimensão 3 x 3, disponível no software Geomática, versão 10.0. A **Figura 2** apresenta uma parte da imagem simulada do sensor MAPSAR na composição VV(R)HV(G)HH(B) e o mapa de referência correspondente.

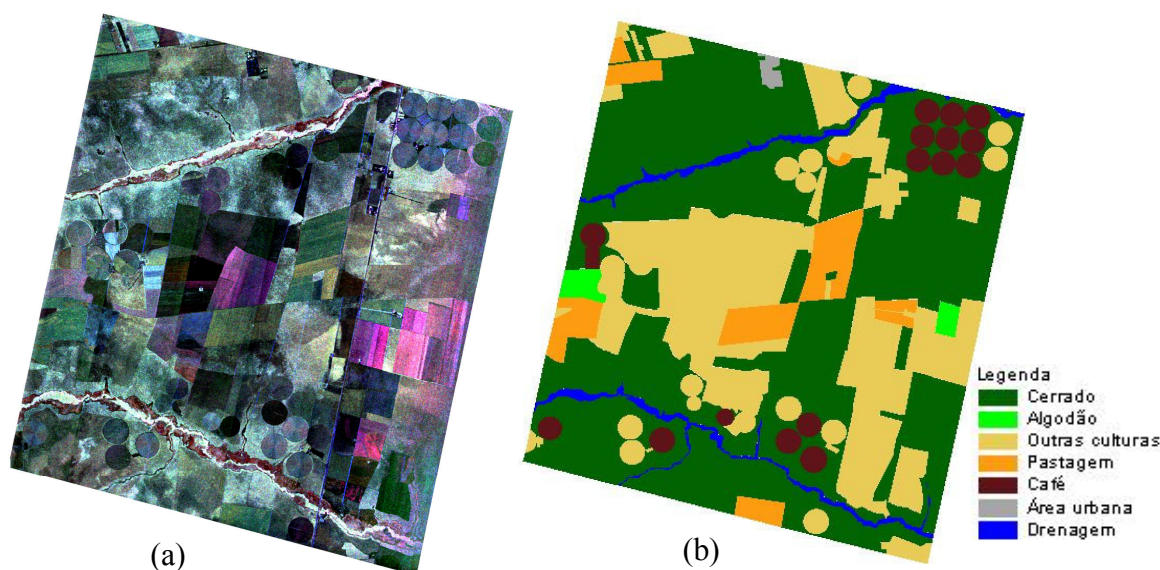


Figura 2 – (a) Parte da imagem simulada do sensor MAPSAR na composição VV(R)HV(G)HH(B). (b) Mapa de referência das culturas.

O cultivo do café, na região de estudo, encontra-se quase em sua totalidade em áreas irrigadas por pivô central, com linhas de plantio em círculos concêntricos (**Figura 3**). Dessa forma, partes das linhas de plantio tendem a ser ou paralelas à direção de visada do sensor (café paralelo) ou perpendiculares à direção de visada (café perpendicular).

Como discutido por Formaggio et al. (2001), a direção das linhas de plantio é um fator importante a influenciar o retroespalhamento. Nesse contexto, realizou-se o teste *t* para amostras coletadas considerando as duas direções. Verificou-se que, ao nível de significância de 5%, o retroespalhamento médio dos campos difere em função da direção de plantio. Dessa forma, para as análises posteriores a cultura do café foi dividida em duas classes: café perpendicular e café paralelo.

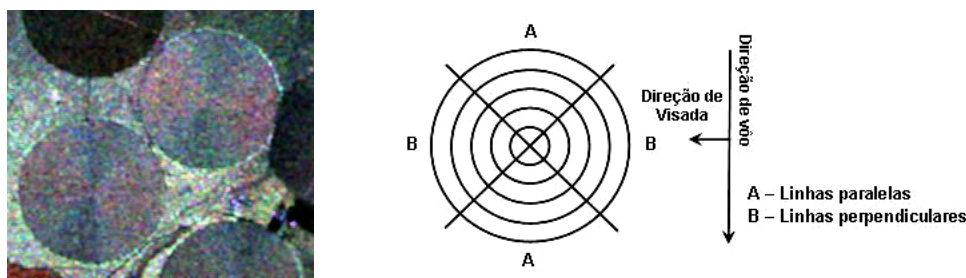


Figura 3 – Imagem simulada do sensor MAPSAR, composição VV(R)HV(G)HH(B), com lavouras de café em áreas irrigadas por pivô central e uma ilustração esquemática da influência das linhas de plantio na direção de visada.

A fim de reduzir a influência do ângulo de incidência no retroespalhamento das lavouras (Brisco e Brown, 1998), as áreas de interesse foram selecionadas no alcance distante das faixas que compõem o mosaico. Coletaram-se amostras (valores de pixels) de forma a garantir a condição de aleatoriedade e não correlação espacial entre os pixels.

Geralmente, os dados de imagens SAR não possuem distribuição normal (Oliver e Quegan, 1998). Entretanto, gráficos do tipo *box-plot* e testes estatísticos garantiram a normalidade dos dados ao nível de 5% de significância. Acredita-se que a normalidade dos dados foi ocasionada pelo aumento do número de *looks* (3 *looks*) e pelo processo de filtragem (Oliver e Quegan, 1998). Assim, assumiu-se que os dados apresentam distribuição normal e adotou-se a média amostral como um estimador para as análises posteriores.

Análises gráficas foram realizadas juntamente com a análise de variância e o teste de Tukey (Tukey, 1977). A análise de agrupamento foi empregada para uma polarização e para a combinação de duas e três polarizações. Essa técnica permite particionar um conjunto de dados em grupos relativamente homogêneos, mas com grande variação entre grupos (Hair Jr. et al., 1998). A análise tem por base os coeficientes de similaridade entre os objetos para posteriormente agrupá-los com o uso de um algoritmo ou método de agrupamento. Os agrupamentos foram realizados no software Statistica 6.0 e como coeficiente de similaridade utilizou-se a distância métrica de Chebychev, que adota como medida a máxima distância entre dois objetos encontrada em uma das dimensões. O agrupamento pareado proporcionalmente ponderado (*weighted pair-group method*, WPGM) foi o algoritmo utilizado, cuja distância entre dois grupos é calculada como a distância média entre todos os pares de objetos e o número de componentes é utilizado como peso.

Segundo Hair Jr. et al. (1998) a análise de agrupamento é sensível à inclusão de variáveis irrelevantes e *outliers* que podem ocasionar distorções no processo e gerar grupos não representativos da verdadeira estrutura da população. Assim, se algum *outlier* é identificado no processo de agrupamento ou em etapas anteriores, deve-se eliminá-lo e reiniciar a formação dos grupos. Seguindo essa regra, cinco campos, do total de 46, foram identificados como *outliers* e eliminados da análise.

Uma questão importante referente às técnicas de agrupamento é a definição da distância ótima de corte para a formação dos grupos. Essa decisão envolve, além de outros critérios, o conhecimento adquirido a priori pelo utilizador (Hair Jr et al., 1998). O critério adotado fundamentou-se na identificação de um platô no sentido vertical. Esse platô indica que muitos grupos foram formados e que no passo seguinte grupos com características diferentes foram agrupados pelo algoritmo (**Figura 4**).

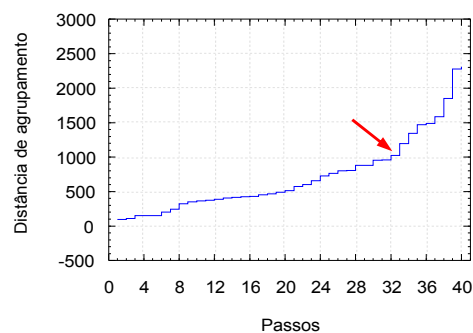


Figura 4 – Critério para estabelecimento do ponto ótimo de corte. Identificação de um platô vertical. Polarizações VV, HV e HH.

Os grupos formados foram nomeados de acordo com a predominância de culturas. Dessa forma, campos de outras culturas encontravam-se erroneamente no referido grupo. Quando

mais de um grupo de uma mesma cultura foi gerado, na etapa seguinte, todos foram agrupados em um único grande grupo, obtendo novamente as quatro classes iniciais, semelhante a um critério de classificação não supervisionada. Em seguida, os resultados foram avaliados por meio de matriz de confusão e dos índices de Exatidão Global e Kappa.

4. Resultados e discussões

A análise gráfica do retroespalhamento médio das culturas para as polarizações individuais VV, HV e HH está ilustrado na **Figura 5**. Para as três polarizações percebe-se grande variação e sobreposição de valores entre as culturas, demonstrando a dificuldade ou a baixa capacidade de distinção ao utilizar apenas uma polarização. A análise de variância e o teste de Tukey comprovaram que as médias de alguns campos de diferentes culturas não diferem ao nível de 5% de significância, corroborando com essas afirmações.

Nas polarizações VV e HV, a maior dispersão de retroespalhamento foi atribuída à cultura do algodão e na polarização HH o café perpendicular apresentou maior dispersão. Os campos de pastagem tiveram valores de retroespalhamento maiores na polarização HV. O dossel dessa cultura caracteriza-se por não apresentar direção preferencial de folhas e ramos e direção de linhas de plantio não definidas. Dessa forma, o retroespalhamento se dá em grande parte pelo espalhamento volumétrico, característico dessa polarização (Ulaby et al., 1982).

As análises de agrupamentos foram expressas por meio de dendogramas. A **Figura 6** ilustra o resultado para a combinação das polarizações VV, HV e HH. A distância de agrupamento está representada em valores de amplitude e a linha tracejada indica a distância ótima de corte estabelecida para a formação dos grupos.

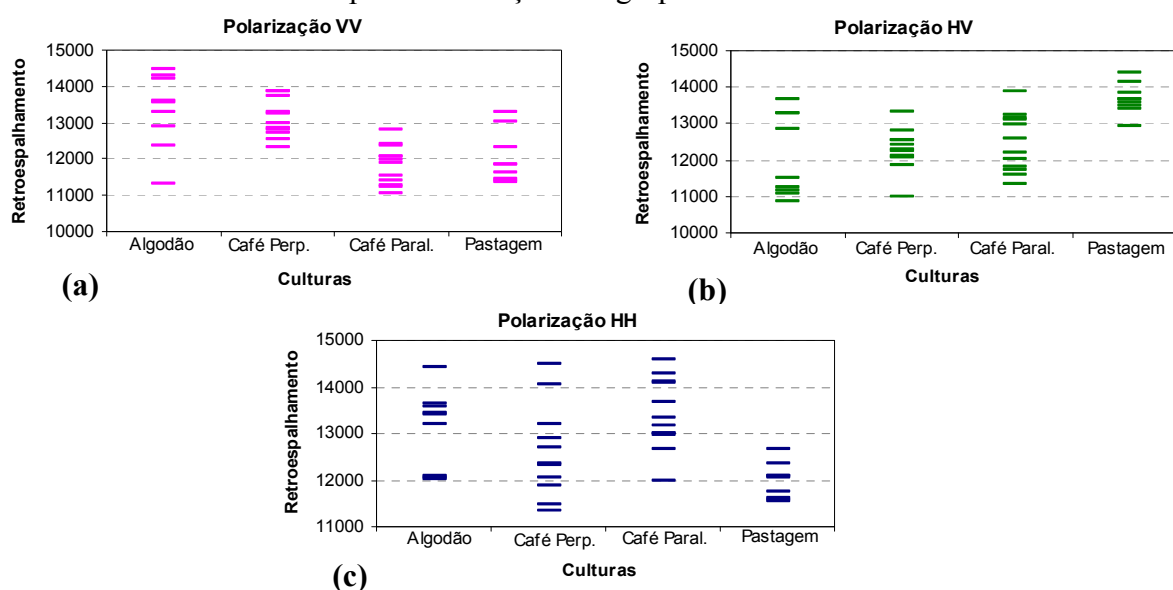


Figura 5 - Retroespalhamento médio em amplitude (A) dos campos de algodão, café perpendicular, café paralelo e pastagem para as três polarizações (a) VV (b) HV (c) HH.

A combinação das três polarizações gerou o maior número de grupos (nove), denotando a sensibilidade às variações dos valores médios de retroespalhamento dos campos. Grupos com 6 a 8 componentes e pouca confusão foram formados para cada uma das classes, o que evidencia a capacidade dessa combinação de polarizações em distinguir as culturas estudadas.

Pequenos grupos foram gerados, o que indicou que os campos tinham características peculiares ao utilizar essa combinação. Os campos 4P e 5P apresentaram os maiores retroespalhamentos na polarização VV. Percebeu-se que o 4P possuía grande heterogeneidade

da vegetação ao longo do campo e o 5P possuía a menor altura do dossel. Esses fatores podem ter contribuído para aumentar a influência do solo no retroespalhamento dessa polarização.

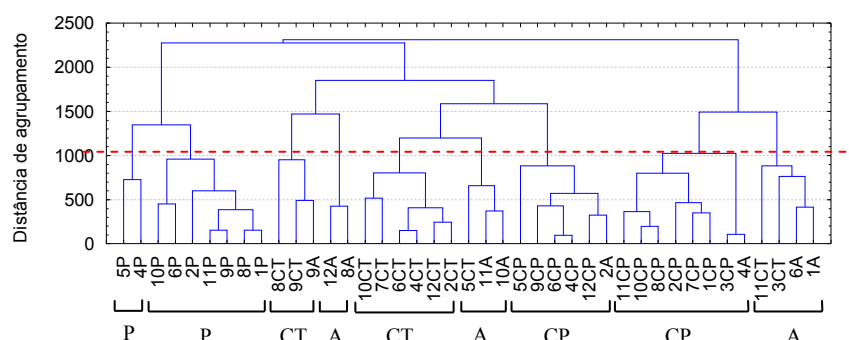


Figura 6 – Dendrograma resultante da análise de agrupamento ao utilizar a combinação das polarizações VV, HV e HH. Grupos formados: algodão (A), café perpendicular (CT), café paralelo (CP) e pastagem (P). A linha tracejada indica a distância de corte.

Os campos 8A e 12A estão localizados na mesma propriedade, receberam os mesmos tratos culturais e, portanto possuíam características semelhantes, mas que os diferiram dos demais campos. Eles apresentaram o maior retroespalhamento na polarização VV em relação aos outros campos de algodão. Portanto, essa polarização contribuiu para que estes campos se agrupassem ao utilizar a combinação das três polarizações.

O **Quadro 1** demonstra a matriz de confusão gerada após definir os grupos ao utilizar a combinação das polarizações VV, HV e HH. As colunas indicam os erros de inclusão e as linhas os erros de omissão.

Quadro 1 – Matriz de confusão da análise de agrupamento ao utilizar as polarizações VV, HV e HH. Precisão do Produtor (P.P), Precisão do Usuário (P.U.) e Exatidão Global (E.G.).

Culturas	A	P	CP	CT	Total	P. P.
A	6	-	2	1	9	0,67
P	-	9	-	-	9	1,00
CP	-	-	12	-	12	1,00
CT	3	-	-	8	11	0,73
Total	9	9	14	9	41	
P. U.	0,67	1,00	0,86	0,89	E.G.	0,854

A discussão campo a campo está além do objetivo principal desse trabalho. Dessa forma, de maneira geral, a maior confusão ocorreu entre as culturas do algodão e do café, indicando que alguns campos dessas culturas apresentaram característica de retroespalhamento semelhante. Devido à altura, a alta densidade entre plantas e o baixo ângulo de incidência, o retroespalhamento dessas culturas foi dominado pela interação com o dossel. As duas culturas apresentam um caule principal com predominância vertical e grande quantidade de galhos com ligeira inclinação. Acredita-se que a baixa frequência da banda L foi capaz de penetrar no dossel dessas culturas, ultrapassando as folhas e interagindo diretamente com o caule e galhos, provocando os retroespalhamentos direto e múltiplo.

A melhor distinção ocorreu para os campos de pastagem, já que todos os nove campos foram separados e não houve nenhuma confusão dessa classe com as outras culturas. Isso indica que a cultura apresenta padrão de retroespalhamento bastante característico. Como discutido anteriormente, esse resultado foi influenciado principalmente pela polarização HV. Essa informação é corroborada com a **Figura 5b** e com os resultados da combinação das polarizações HH e HV que também permitiu separar os nove campos de algodão.

As combinações de polarizações VV e HV, VV e HH distinguiram corretamente onze dos doze campos de café paralelo. Entretanto, a segunda combinação teve um campo a mais no erro de inclusão.

A **Tabela 1** resume os resultados encontrados na análise de agrupamento. Os resultados estão em ordem decrescente do índice Kappa e de Exatidão Global. O conceito do índice Kappa foi atribuído segundo Landis e Koch (1977). A melhor distinção entre as culturas estudadas foi encontrada para a combinação das polarizações VV, HV e HH, com índice Kappa de 0,804, considerado excelente. McNairn et al. (2000) e Stankiewicz (2006) também obtiveram melhores resultados ao utilizar imagens multipolarizadas para distinguir culturas agrícolas.

Ao considerar combinações de duas polarizações, o melhor resultado foi obtido com as polarizações VV e HV e para as polarizações individuais o melhor resultado foi obtido com a polarização HV. As polarizações paralelas são dominadas pela interação direta com os alvos com predominância vertical ou horizontal e as polarizações cruzadas são caracterizadas pela depolarização da radiação de microondas e dominada pelo espalhamento volumétrico (Brisco e Brown, 1998). Dessa forma, a união dessas polarizações tem grande potencial para distinção de culturas.

Tabela 1 – Resultado da análise de agrupamento com uma polarização e com a combinação de duas e três polarizações.

Polarizações	Ex. Global	Kappa	Conceito
VV-HV-HH	0,854	0,804	Excelente
VV-HV	0,780	0,701	Muito bom
VV-HH	0,707	0,604	Muito bom
HH-HV	0,610	0,479	Bom
HV	0,585	0,438	Bom
VV	0,512	0,346	Razoável
HH	0,488	0,323	Razoável

Cinco campos foram identificados como *outliers* e retirados da análise (3A, 5A, 7A, 3P e 7P). Os campos 3A e 5A estão localizados em uma área topograficamente mais baixa e por esse motivo sofrem alagamentos. Devido ao excesso de água a cultura não se desenvolveu como nos outros campos da mesma cultura e apresentou baixa densidade de plantas, expondo o solo inundado e conseqüentemente aumentando o retroespalhamento especular. O baixo ângulo de incidência contribui ainda mais para a ocorrência desse tipo de retroespalhamento (Ulaby et al., 1986). Esse comportamento foi descrito também por Simões (1999) ao analisar campos de pastagem, entre os quais um deles encontrava-se inundado.

O campo 3P apresentou grande heterogeneidade de retroespalhamento. Acredita-se que o mesmo foi invadido por ervas daninhas ou atacado por pragas, fazendo com que a densidade da cultura variasse ao longo do campo. A grande variação de retroespalhamento intra-campo também foi verificado por McNairn et al. (2004) ao avaliar a sensibilidade da radiação de microondas em campos de trigo não homogêneos.

Infelizmente, para o campo 7P e 7A não foi possível explicar a diferença de retroespalhamento, mas acredita-se que algum parâmetro relacionado ao solo causou esse comportamento.

5. Considerações finais

O estudo demonstrou que as imagens simuladas do sensor MAPSAR apresentam potencial para a distinção das culturas do algodão, café e pastagem, sobretudo com a utilização das multipolarizações. O melhor resultado foi encontrado para a combinação das polarizações

VV, HV e HH. As combinações de polarizações VV e HV, VV e HH mostraram-se úteis para a distinção da cultura do café paralelo e a polarização HV evidenciou potencial para distinguir pastagem das outras culturas.

As imagens simuladas do sensor MAPSAR não puderam ser completamente exploradas nessa única campanha. Provavelmente, as imagens desse sensor podem fornecer muito mais informações relacionadas à agricultura quando adquiridas em diferentes períodos do crescimento das culturas. A característica de multipolarização do MAPSAR é importante para aplicações na agricultura. Por esse motivo recomenda-se que outros estudos com as imagens MAPSAR sejam realizados na área agrícola considerando também o aspecto multitemporal.

Agradecimentos

Ao Dr. Camilo Daleles Rennó pelas contribuições e auxílio referentes às análises estatísticas.

Referências Bibliográficas

- Brisco, B.; Brown, R.J. Agricultural applications with Radar. In: Henderson, F. M.; Lewis, A. J. **Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing**. (3 ed.). New York: John Wiley & Sons, 1998. cap. 7, p. 381- 406.
- Brown, R. J.; Manore, M. J.; Poirier, S. Correlations between X-,C-, and L-band imagery within an agricultural environment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 9, p. 1645 – 1661, 1992.
- Formaggio, A. R.; Epiphanyo, J. C. N.; Simões, M. S. Radarsat backscattering from an agricultural scene. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 823 – 830, maio 2001.
- Hair Jr, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. **Multivariate data analysis**. Upper Sanddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1998. 742 p.
- Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.
- McNairn, H.; Van der Sandem, J. J.; Brown, R. J.; Ellis, J. The potencial of Radarsat-2 for crop mapping and assessing crop condition. In: International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, 2., 10 – 12 Jan. 2000, Lake Buena Vista, Florida. **Proceedings...** Lake Buena Vista, 2000.
- McNairn, H; Hochheim, K.; Rabe, N. Applying polarimetric radar imagery for mapping the productivity of wheat crops. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 3, p. 517-524, June 2004.
- NASA. Applied Sciences Directorate. Disponível em < <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>>. Acesso em: 16 ago. 2005.
- Oliver, C.; Quegan, S. **Understanding synthetic aperture radar images**. Norwood, MA: Artech House, 1998. 478 p.
- Paradella, W. R.; Silva, M. M. Q. MAPSAR: um radar orbital para aplicações na Amazônia. **InfoGeo**, ano 7, v. 36, p. 34 – 36, 2005.
- Schröder, R.; Puls, J.; Hajnsek, I.; Jochim, F.; Neff, T.; Kono, J.; Paradella, W. R.; Silva, M. M. Q.; Valeriano, D. M.; Mayeira, P. F. C. MAPSAR: a small L-band SAR mission for land observation. **Acta Astronautica**, v. 56, p. 35 – 43, 2005.
- Simões, M. S. **Análise de dados multitemporais Radarsat-1 para o sensoriamento remoto de culturas agrícolas**. 1999. 147 p. (INPE-7299-TDI/711). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.
- Stankiewicz, K. A. The efficiency of crop recognition on ENVISAT ASAR images in two growing seasons. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 4, p. 806 – 814, April 2006.
- Tukey, J. W. **Exploratory data analysis**. Reading, MA: Addison Wesley , 1977, 506 p.
- Ulaby, F.T.; Moore, R.K.; Fung, A . K. **Microwave remote sensing: active e passive**: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. 2 ed. v. 2. Norwood, MA: Artech House, 1982. 1064 p.
- Ulaby, F. T.; Moore, R. K.; Fung, A. K. **Microwave Remote Sensing: active and passive**: From theory to application. 2 ed. v. 3. Norwood, MA. Artech House, 1986. 2162 p.