

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS IMAGENS RADAR DA AERONAVE DE SENSORIAMENTO REMOTO DO SIVAM E ÓTICA DO LANDSAT 7 ETM+

MELCHIOR CARLOS DO NASCIMENTO¹
PÉRICLES CARDIM DA SILVA²

¹Mestrando, Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Engenharia Florestal
Rua Pedro Gomide Filho, 108, Apto. 401, Clélia Bernardes, Cep 36.570.000 – Viçosa – MG, Brasil
mgeop@bol.com.br

²CCSIVAM/SIPAM – Comissão para Coordenação do Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia
Setor Policial Sul Quadra 05, Bloco J, Cep 70.610.000 – Brasília – DF, Brasil
cardim@sipam.gov.br

Abstract. The present study analyzed the synergy between SAR – Synthetic Aperture Radar and Landsat 7 ETM+ data for land use planning and occupation. Individual and composite bands of both sensors were analysed and the results were evaluated both qualitatively and quantitatively. Results indicated that the SAR data were effective in the discrimination of several cover types, especially XL, LHH e LHV polarizations and Landsat TM data or well.

Keywords: polarizations, analyzed the synergy, composite bands.

1. Introdução

As imagens de radar têm se mostrado cada vez mais úteis na caracterização remota de determinadas grandezas físicas dos mais diversos ambientes, objetos de investigação científica nos últimos anos. A capacidade de operação de imageadores ativos que operam na faixa de microondas, em particular o sensor Sistema de Abertura Sintética – SAR, no mapeamento da superfície terrestre em áreas com coberturas de nuvens, como por exemplo a região amazônica, tem sido de grande importância, haja vista as limitações ao emprego dos sensores multiespectrais óticos sob tais condições meteorológicas.

Com o aumento do uso do SAR, muito se tem empenhado no desenvolvimento de novas técnicas de processamento de imagens radar, para fins de uso, ocupação e mapeamento do solo. Além disso, a necessidade de minimizar os fatores limitantes na distinção dos alvos, frente às imagens óticas, incentiva a pesquisa para um melhor refinamento dos resultados a serem gerados, a partir da interpretação de tais imagens.

Por outro lado, a utilização de imagens óticas, já consagradas em inúmeras aplicações, por vezes é limitada por condições adversas do tempo e de visibilidade mencionadas, particularmente, na delimitação do uso da terra entre as áreas urbanas e rurais.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a interação entre as informações adquiridas pelo Radar de Abertura Sintética embarcado na Aeronave EMB 145 SR e uma composição de imagem LANDSAT 7 ETM+, visando subsidiar o planejamento de uso e ocupação.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo tem aproximadamente 48 km² (6 x 8 km) e está localizada na cidade de Guaratinguetá-SP, na região do Vale do Paraíba Sul. O polígono limitante da região tem forma retangular e está inserido entre as coordenadas geográficas 22° 45' 11" a 22° 48' 59" de latitude sul e 45° 10' 50" a 45° 13' 52" de longitude oeste.

O clima é quente com inverno seco, com temperaturas médias variando entre a máxima de 35°C e mínima de 4°C. A maior incidência de chuva ocorre durante o período de março a

junho, sendo sua precipitação anual da ordem de 1260 mm. A sua altitude varia de aproximadamente 100 m, nas margens do rio Paraíba do Sul, a 1.250 m, nos topos das cristas.

A cobertura vegetal primitiva de floresta ombrófila densa, hoje se acha descaracterizada pela ocupação humana, que passou a utilizar a maior parte da região para pastagens, culturas permanentes e cíclicas, bem como reflorestamento; há ainda setores de vegetação secundária sem palmeiras.

Foram utilizadas imagens do sensor SAR da aeronave de sensoriamento remoto do SIVAM, adquiridas na banda L, com combinações polarimétricas HH e HV, e na banda X, com polarização HH. As composições XL (L_HV – X_HH – L_HH) e L_HH,HV, todas com resolução espacial de 6 metros, foram adquiridas em março de 2001, tomadas simultaneamente com ângulo de incidência 12 graus rasante em relação à pista de pouso, a uma distância média de 40Km entre a plataforma e a cena imageada, e a uma altitude de vôo de 10.800 metros em relação ao nível médio do mar.

A imagem ETM7 usada constitui de uma composição 5-4-3, com resolução espacial de 30 metros, tendo sido coletada em março de 2001.

A base cartográfica empregada foi a Carta Topográfica Digitalizada de 1:50.000, IBGE, 1982, Folha SF.23-Y-B-VI-4, Guaratinguetá-SP, assim como arquivos vetoriais digitais do Programa de Observação Espacial (POESIA/IBAMA), contendo dados de drenagem, malha urbana e estradas.

A análise e o tratamento das imagens ETM7 e SAR foram realizados com uso do software ENVI 3.1/3.4. O acabamento e impressão do trabalho foram elaborados com o uso do software Arcview 3.2.

O método utilizado contempla duas análises distintas, uma visual e outra estatística. Em cada uma delas os resultados relevantes são extraídos e ao final são comparados, visando evidenciar a sinergia entre as imagens SAR e ETM7. O Esquema da **Figura 1** resume o método que foi usado.

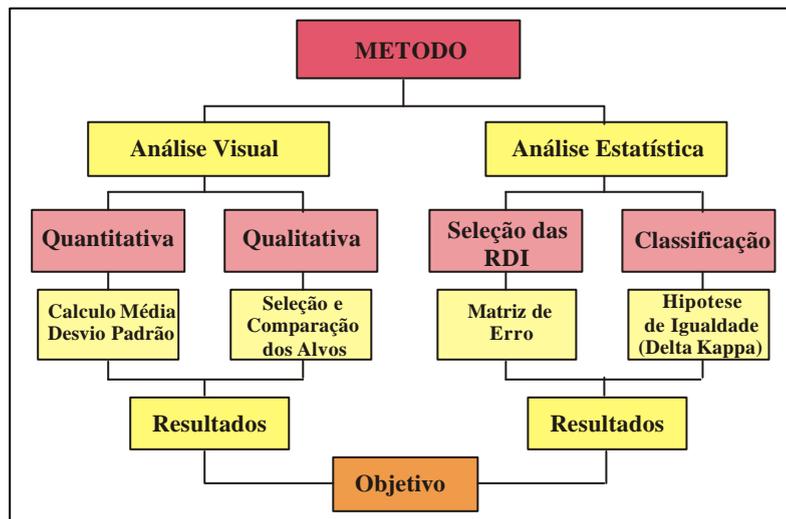


Figura 1 – Síntese dos métodos de análises.

A análise visual envolveu a seleção e comparação de um grupo de alvos de naturezas diferentes, buscando identificar a nitidez de cada alvo, em cada imagem radar e ótica analisada.

A análise estatística foi dividida em três etapas. Na primeira etapa foi realizado o cálculo da média e do desvio padrão, exclusivamente nas imagens SAR e nas suas composições, com objetivo de identificar a que apresentou melhor resultado entre elas, relativo à resolução

radiométrica. Na segunda etapa, foi feita uma classificação temática por pixel, em uma mesma área de interesse, nas imagens ótica e radar, visando calcular a acurácia da classificação em cada imagem, por meio de uma matriz de erros.

Finalmente, a terceira etapa objetivou comparar os parâmetros que quantificam os resultados das classificações da etapa anterior (Kappa), visando evidenciar o nível de confiança dos classificadores e suas repercussões para extração da informação em cada imagem (Delta Kappa). Para representar em valores absolutos de acurácia das classificações foi automaticamente calculado o valor do Kappa da seguinte forma:

$$\kappa = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad \text{onde } \theta_1 = \sum_{i=1}^I \frac{x_{ii}}{N} ; \text{ e } \theta_2 = \sum_{i=1}^I \frac{x_{i+} + x_{+i}}{N^2} \quad \text{onde } x_{ii}, \dots, x_{i+}, \dots, x_{+i}, \dots \text{ e } N \text{ e } I \text{ é o}$$

O critério para avaliação da classificação por meio do estimador de acerto Kappa pode ser assim mensurado: $K \leq 0,2$ Ruim; $0,2 < K \leq 0,4$ Razoável; $0,4 < K \leq 0,6$ Boa; $0,6 < K \leq 0,8$ Muito Boa; e $0,8 < K \leq 1,0$ Excelente.

O parâmetro para verificar a igualdade ou não entre os Kappas é denominado Delta Kappa. O critério estabelecido indica que para um nível de confiança de 95% o Delta Kappa deverá ser maior ou igual a 1,96 ($\Delta K > 1,96$). Quando isto ocorrer, pode-se afirmar que os Kappas das imagens comparadas são diferentes. Caso contrário, ou seja, abaixo de 1,96, os Kappas são iguais.

Inicialmente, é necessário se ter o conhecimento da variância do estimador do coeficiente Kappa. Esta variância pode ser calculada da seguinte forma:

$$S_k^2 = \frac{1}{N} \left[\frac{q(1-q)}{(1-q)^2} + \frac{2(1-q)(2q_1q_2 - q)}{(1-q)^3} + \frac{(1-q)^2(q_1 - 4q_2)}{(1-q)^4} \right], \quad q = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I \frac{x_{ij}(x_{j+} + x_{+i})}{N^3} \quad \setminus \quad q_3 = \sum_{i=1}^I \frac{x_{ii}(x_{i+} + x_{+i})}{N^2}$$

Sendo k_1 e k_2 os estimadores dos Kappas (k_1 e k_2 , respectivamente) de duas classificações diferentes, o teste de hipótese de igualdade de Kappas

$$H_0 : k_1 = k_2$$

$$H_1 : k_1 \neq k_2$$

é efetuado calculando-se a estatística

$$\Delta k = \frac{|k_1 - k_2|}{\sqrt{\hat{S}_{k_1}^2 + \hat{S}_{k_2}^2}}$$

3. Resultados e discussões

3.1. Análise Visual

A análise comparativa da nitidez dos alvos foi feita com cada imagem isolada ou composta, incluindo a ETM 7. O **Quadro 1** consolida os resultados obtidos, considerando o critério crescente de 1 a 6 pontos para os alvos que aparecem menos e mais nítidos, respectivamente.

Quadro 1 – Resultado da análise comparativa da textura dos alvos

ALVO/IMAGM	XHH	LHH	LHV	LHH_HV	XL	ETM7
Aeroporto	5	2	4	3	6	1
Meandros dos Rios	1	4	5	4	6	2
Edificações	2	3	4	5	6	1
Corpos d'águas	6	1	3	2	4	5
Rede de Alta Tensão	2	5	3	6	4	1
TOTAL	16	15	19	20	26	10

Como pode ser observado a composição XL obteve melhor resultado global, com destaque para a identificação do Aeroporto, dos Meandros e das Edificações. A composição LHH_HV foi a que obteve o segundo melhor resultado global, com destaque para identificação da Rede de Alta Tensão. (**Figuras: 2, 3, 4, 5 e 6**).

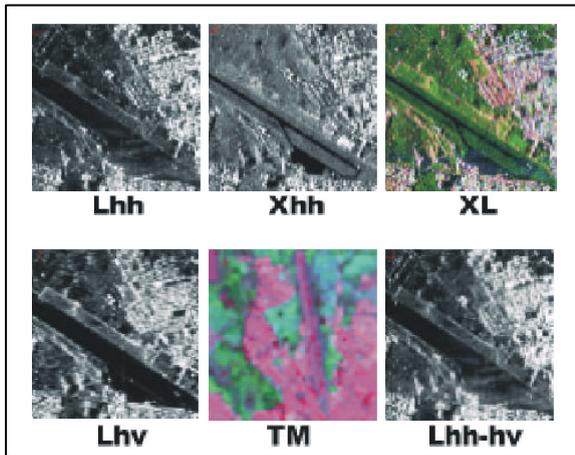


Figura 2 – Cena do Aeroporto

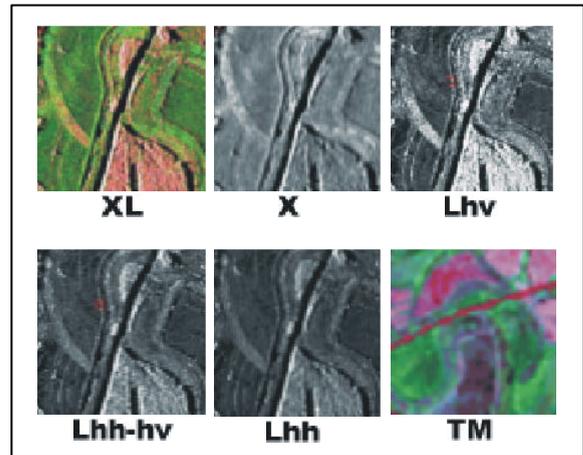


Figura 3 – Cena dos Meandros

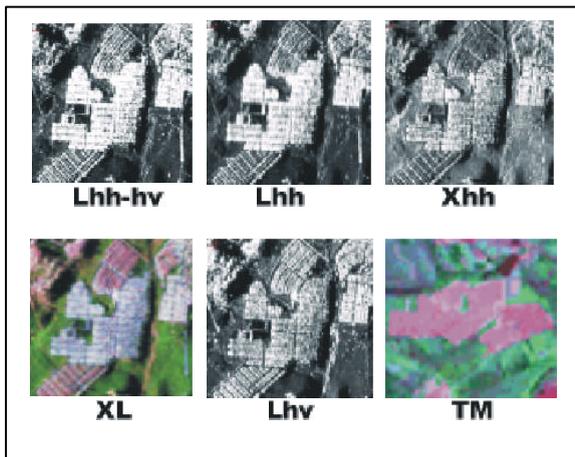


Figura 4 – Cena das Edificações

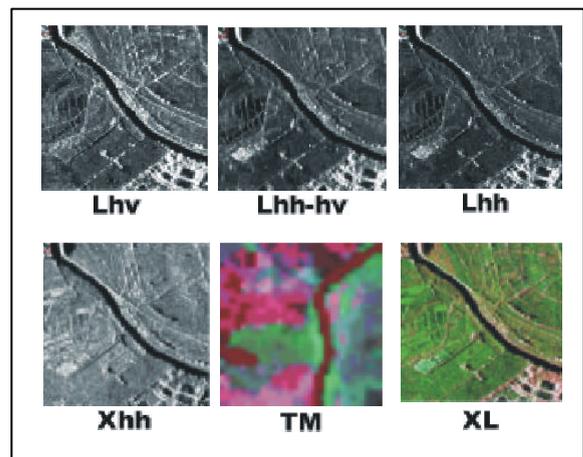


Figura 5 – Cena dos Cursos D'águas

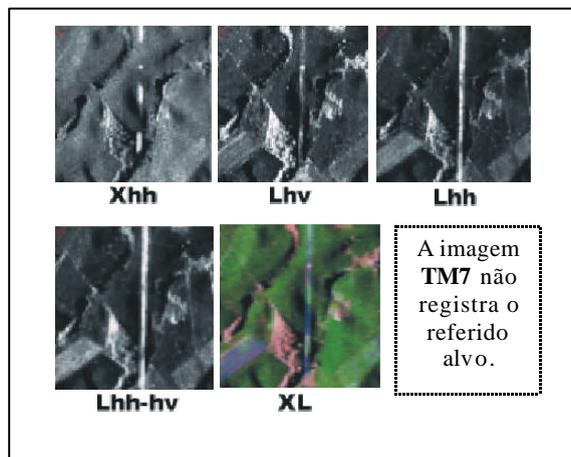


Figura 6 – Cena da Rede de Alta Tensão**3.2. Análise estatística****3.2.1. Cálculo do Desvio Padrão**

De acordo com os resultados obtidos, a Banda L com polarização HV (**Quadro 2**) apresentou o maior desvio padrão e, portanto, mais riqueza de detalhes nas informações adquiridas. Da mesma forma, a composição LHH_HV apresentou um bom resultado. As imagens que obtiveram os três melhores resultados nesta etapa da análise estatística foram as mesmas da análise visual, ou seja, XL, LHH_HV e LHV.

Ressalta-se que foram considerados, exclusivamente, os atributos radiométricos das imagens radar analisadas, sem levar em conta o potencial informativo associados às propriedades geométricas dos alvos, sobre as quais os parâmetros considerados nada podem informar.

Quadro 2 – Resultado da média e desvio padrão das imagens Sar

BANDAS	X	L		Multibandas	
	HH	HH	HV	(XL) LHV+XHH+LHH	LHH + LHV
POLARIZAÇÃO					
Média	92	65	91	82	77
Desvio Padrão	48	54	63	55	58

3.2.2. Classificação e Avaliação das Áreas de Uso e Ocupação

Nesta etapa da análise estatística foram realizados recortes em todas as imagens comparadas. Em seguida, e com base na imagem ETM7, os temas foram classificados da seguinte forma: Água (AGUA); Área Urbana e Degradada (AUD); Área de Florestas, Pastagens e Reflorestamentos (AFPR); e Áreas Alagadas (ALA).

Posteriormente, foram selecionadas as regiões de interesse (RDI) em cada imagem, observando uma proximidade de média de pixels para cada classe, visando evitar resultados discrepantes.

O **Quadro 3** consubstancia a classificação das imagens por tema, segundo os percentuais obtidos de acurácia (pixels classificados corretamente em cada tema). A classificação de 1 a 6 indica que a imagem que obteve melhor resultado é listada na linha 1 e o pior na linha 6.

Quadro 3 – Classificação das imagens por tema, segundo percentuais de acurácia

TEMA/Classificação	AGUA	AUD	AFPR	ALA
<i>1</i>	ETM7	ETM7	ETM7	ETM7
<i>2</i>	LHH_HV	XL	LHH	XL
<i>3</i>	XHH	LHH	XHH	LHH_HV
<i>4</i>	LHV	LHH_HV	LHH_HV	LHV
<i>5</i>	LHH	LHV	XL	LHH
<i>6</i>	XL	XHH	LHV	XHH

As imagens assinaladas em cinza atenderam ao percentual mínimo de 60% de acurácia, para cada tema, identificando os resultados mais significativos.

Verifica-se que, para visualização de corpos d' água, de área urbana e degradada e de áreas alagadas, a classificação nas imagens SAR e ETM7 apresentaram percentuais aceitáveis

de acurácia, o que significa que nessas classes as informações podem ser comparadas com menor discrepância, para extração de informações. Já no caso das áreas de florestas, pastagens e reflorestamentos, a composição ETM7 contribui isoladamente, em bases aceitáveis, para melhor identificação dessas classes. Os resultados obtidos estão consolidados no **Quadro 4**.

Quadro 4 – Resultado geral da classificação obtidos da matriz de confusão.

CLASSIFICAÇÃO	IMAGEM	ACURÁCIA	COEFICIENTE DE KAPPA
1	ETM 7	96,96%	0,9595
2	XL	64,66%	0,5306
3	LHH_HV	60,91%	0,4795
4	LHH	54,25%	0,3901
5	LHV	51,60%	0,3568
6	XHH	50,77%	0,3415

Estes resultados comprovam, inicialmente, que a classificação na imagem ETM 7 obteve um resultado excelente, o que é natural, haja vista que nas imagens óticas a interação ocorre a nível molecular, fornecendo uma resposta de pixel mais homogênea para uma mesma classe de alvos.

Desta forma, aplicando os conceitos acima formulados pode-se observar no **Quadro 5** o resultado das comparações realizadas.

Quadro 5 – Cálculo da hipótese de igualdade (Delta Kappa).

CLASSIFICAÇÃO	KAPPA	VAR. KAPPA	COMPARAÇÕES	DELTA KAPPA
LHH	0,390111	2,86E-04	LHH / LHV	1,3916
LHV	0,356788	0,000286954		
LHH	0,390111	2,86E-04	LHH / XHH	2,0334
XHH	0,341501	0,000285033		
XHH	0,341501	0,000285033	XHH / LHV	0,6392
LHV	0,356788	0,000286954		
LHH_HV	0,479536	1,53E-04	LHH_HV / LHV	5,8531
LHV	0,356788	0,000286954		
LHH_HV	0,479536	1,53E-04	LHH_HV / LHH	4,2664
LHV	0,390111	2,86E-04		
LHH_HV	0,479536	1,53E-04	LHH_HV / XHH	6,5965
XHH	0,341501	0,000285033		
LHH_HV	0,479536	1,53E-04	XL / LHH_HV	2,5457
XL	0,530551	2,49E-04		
XL	0,530551	2,49E-04	XL / LHV	7,5076
LHV	0,356788	0,000286954		
XL	0,530551	2,49E-04	XL / LHH	6,0705
LHH	0,390111	2,86E-04		
XL	0,530551	2,49E-04	XL / XHH	8,1828
XHH	0,341501	0,000285033		
ETM	0,959535	3,78E-05	ETM / LHH	31,6223
LHH	0,390111	2,86E-04		
ETM	0,959535	3,78E-05	ETM / LHV	33,4480
LHV	0,356788	0,000286954		

ETM	0,959535	3,78E-05	ETM / XHH	34,3983	diferentes
XHH	0,341501	0,000285033			
ETM	0,959535	3,78E-05	ETM / LHH-LHV	34,7648	diferentes
LHH-LHV	0,479536	1,53E-04			
ETM	0,959535	3,78E-05	ETM / XL	25,3435	diferentes
XL	0,530551	2,49E-04			

Na primeira etapa da análise estatística as imagens radarmétricas que obtiveram os melhores resultados foram a XL, a LHH_HV e a LHV, com destaque para esta última.

Na segunda etapa a análise das classificações evidenciou que a imagem ETM apresentou superior grau de acurácia em comparação às imagens de radar. Ainda nesta etapa, verificou-se que entre as imagens de radar, as que obtiveram bons resultados foram as composições XL e LHH_HV.

Para avaliar a consistência dos resultados da segunda etapa foi realizado, na terceira etapa, o teste de hipótese de Kappa. Dos resultados obtidos verificou-se que as comparações isoladas na banda L, utilizando imagens com polarizações diferentes, e entre as bandas LHV e XHH, indicaram que suas classificações são similares, pois o Delta Kappa ficou abaixo do nível de confiança de 95%. Isto significa que pode-se utilizar qualquer uma dessas polarizações, e que o resultado, em termos de potencial informativo, será bem próximo.

No entanto, todas as demais comparações apresentaram um Delta Kappa acima de 1,96, indicando que, a despeito dos Kappas serem diferentes, o teste de igualdade para um nível de confiança de 95%, apresentou resultados acima de 1,96, o que significa que as classificações foram diferentes.

Portanto, o resultado estatístico apresentado ratifica a contribuição e a sinergia entre imagens radar e ótica, constatadas anteriormente na análise visual.

Com isso, os analistas em geoprocessamento engajados em projetos ou pesquisas de uso e ocupação poderão extrair mais informações na medida em que dispuserem de imagens de radar e óticas, bastando, para tanto, combinar as respostas espectrais de cada tipo de imagem.

4. Conclusão

Na análise visual, constatou-se que as imagens SAR foram efetivas na discriminação de alvos presentes nas áreas urbanas, de corpos d'água e do relevo em geral, com a composição XL obtendo o melhor resultado entre as composições SAR.

Na primeira etapa da análise estatística, no que tange ao potencial informativo associado unicamente à análise radiométrica, não-espacial das imagens, verificou-se que a banda L, com polarização horizontal-vertical, apresentou maior nível de contraste, indicando ter maior riqueza de detalhes.

Na segunda etapa da análise estatística constatou-se que a composição XL, seguida da composição Lhh-hv, obteve o melhor resultado entre as imagens SAR, haja vista que sua classificação obteve o maior coeficiente de Kappa. Este resultado respalda o resultado obtido na análise visual.

Nesta mesma etapa, constatou-se que a imagem ETM7 obteve o melhor resultado global, o que já era previsto, devido ao fato do classificador utilizado ser próprio para imagens óticas, o que maximiza o seu desempenho.

Finalizando, na análise estatística das classificações, ficou evidenciado, na terceira etapa, que não há contribuição relevante de informações quando compara-se, de forma isolada, as imagens LHH - LHV e XHH - LHV, pois o Delta Kappa ficou abaixo de 1,96, para um nível de confiança de 95%.

O estudo realizado demonstrou que há uma repercussão positiva na quantidade e qualidade de informações extraídas, a partir da combinação de uma composição da imagem ETM 7 com as composições XL e Lhh-hv, das imagens do Radar de Abertura Sintética Aerotransportado do SIVAM.

5. Referências Bibliográficas

- Raytheon Company. *Optical and infrared sensor*. Lexington, Raytheon Company, 15 jan. 1998. G628677 Alt. 1. Rev. A.
- Raytheon Company. *Critical item specification for multi-spectral scanner*. Lexington, Raytheon Company, 04 fev. 1999. G628700 Alt. 1. Rev. A.
- Allen, C. Interferometry Synthetic Aperture Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, *Newsletter*, Sept., 1995, pp. 6-13.
- Carrara, W.; Goodman, R. S.; Majewski, M. *Spotlight Synthetic Aperture Radar: signal processing algorithms*. Artech House, Boston, 1995.
- Fernandes, D.; Mascarenhas, N. D. A.; Sakane, F. T. Função espalhamento pontual em imagens de um radar de abertura sintética (SAR). V Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagem (SIBGRAPI'92), Águas de Lindóia, 1992, *Anais*, pp. 47-54.
- Fernandes, D. Segmentation of SAR images with Weibull distribution. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'98), Seattle, 1998, *Proceedings*.
- Fernandes, D.; Sakane, F. T.; Mascarenhas, N. D. A. Caracterização do "speckle" em imagens amplitude de um SAR. VI SIBGRAPI, Recife, 1993, *Anais*, pp. 155-163.
- Fernandes, D.; Waller, G.; Moreira, J. R. Registration of SAR images using the chirp scaling algorithm, *IGARSS'96*, Nebraska, 1996, *Proceedings*, pp. 799-801.
- Fonseca, J. S. Criação do Centro de Sensoriamento Remoto da Defesa. Monografia. Rio de Janeiro, Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, 28 ago. 2000.
- Fonseca, J. S. Ver o que não pode ser visto. In: *Zoom. Revista do 1º/4º GAv*. Fortaleza, 1º Esquadrão do 4º Grupo de Aviação, dez. 2001. a. XXIII, nº 26, pp. 40-45.
- Lee, J. S.; Jurkevich, I.; Dewaele, P.; Wambacq, P.; Oosterlinck, A. Speckle filtering of synthetic aperture radar: a review. *Remote Sensing Reviews*. Vol. 8, 1994, pp. 313-340.
- RAYTHEON COMPANY. Airborne synthetic aperture radar subsystem specification. Lexington, Raytheon Company, 26 jan. 1998. G628676. Rev. M.
- Sant'Anna, S. J. S. Avaliação do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens de radar de abertura sintética. Tese de Mestrado, INPE, 1995. Tauk, S. M.. Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. Editora da UNESP, São Paulo, 1995.
- Tomiyasu, K. Tutorial review on synthetic aperture radar (SAR) with application to imaging of the ocean surface. *Proceedings of the IEEE*. V. 66, No. 5, 1978, pp. 563-584.
- BRASIL/MME/PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SC. 24/25 Espírito Santo/Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: MME/RADAMBRASIL, 1983. p. 347-443 (Levantamento de Recursos Naturais. Vol. 30).
- Ahern, F. Conceitos fundamentais do radar imageador, nível básico: Curso Pro RADAR. São José dos Campos, 1995. 91p.
- Hudson, W. D.; Ramm, C. W. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 53, n. 4, p. 421-422, Apr. 1987.
- Foody, G. M. On the compensation for change agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 6, n. 10, p. 1459-1460, Oct. 1992.