

Análise comparativa entre duas diferentes metodologias de pré-processamento de imagens SAR-C aerotransportadas para determinação dos valores de retroespalhamento de plantas aquáticas.

Mauricio A. Noernberg¹
Maycira Pereira de Farias Costa¹
Evlyn M. L. de M. Novo¹
Frank J. Ahern²

¹ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-010 São José dos Campos, SP, Brasil.
malmeida@ltd.inpe.br
maycira@ltd.inpe.br
evlyn@ltd.inpe.br
² CCRS - Canada Center of Remote Sensing.

Abstract. This paper describes a comparison of two different pre-processing methodologies applied to airborne SAR-C images. to calculate backscattering coefficients. The SAR images were radiometrically calibrated and submitted to distinct pre-processing techniques. The study classes (aquatic plants, water, forest and paliteiro) were identified from the aerial photographs and sampled from the SAR images. In order to calculate the backscattering coefficients the mean digital numbers were computed to each SAR image. The result shows that the backscattering values calculated by the distinct methods are very similar. It means that, in the study case, the pre-processing do not interfere seriously in the backscattering values.

Keywords: SAR, Aquatic plants, Amazon.

1- Introdução

As comunidades de plantas aquática estão entre as mais produtivas do planeta. Em alguns reservatórios artificiais são responsáveis pela maior parte da produção primária. Entretanto, seu crescimento rápido e descontrolado pode resultar em indesejáveis problemas, tais como: obstrução do fluxo da água, mudanças na qualidade da água, diminuição nos níveis de oxigênio na água, e a proliferação de insetos vetores de doenças. Por outro lado, as comunidades de plantas aquáticas também possuem um importante papel no ciclo global do Carbono. Elas capturam CO₂ da atmosfera, através da fotossíntese, e o liberam pela respiração. As plantas aquáticas também são importantes fontes de metano (CH₄) para a atmosfera (Morrissey et al., 1994).

O uso de dados de sensoriamento remoto em modelos ecológicos têm aumentado nos últimos anos. Vários autores vêm desenvolvendo trabalhos com o propósito de estimar dados de biomassa, principalmente em florestas, a partir de imagens de radar (Dobson et al., 1992; Le Toan et al., 1992; Pulliainen et al., 1994). O uso de modelos para estimar a biomassa é baseado na relação entre o retroespalhamento do radar e a biomassa. Contudo para testar a viabilidade do uso de dados de radar em modelos ecológicos é importante a confiabilidade nas informações de retroespalhamento.

Os satélites ERS-1 e 2, JERS-1 e RADARSAT, além dos vários SARs aerotransportados, produzem uma

grande quantidade de dados. Esta variedade de dados cria uma certa dificuldade no que diz respeito à comparação das magnitudes desses dados quando utilizados como valores de entradas em modelos ecológicos. Isto devido às diferenças nas características do SAR, nos processos de calibração e no tratamento dos dados.

Este trabalho têm como objetivo avaliar a variação nos valores de retroespalhamento de plantas aquáticas na banda C de um SAR aerotransportado utilizando duas metodologias de pré-processamento de imagens distintas.

2- Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho está situada no reservatório de Tucuruí. A barragem que forma o reservatório de Tucuruí, encontra-se construída no rio Tocantins, no Estado do Pará (Figura 1). A bacia do rio Tocantins estende-se entre os paralelos 2° S e 18° S e entre os meridianos 46° W e 55° W. A área de drenagem total da bacia é de cerca de 767.000km², sendo que desta área cerca de 382.000km² pertencem à bacia do rio Araguaia, que é o principal afluente do rio Tocantins.

A superfície do reservatório é extremamente dendrítica, possuindo um perímetro externo de 7.700km. Este caráter dendrítico cria condições para que apareçam inúmeros compartimentos estanques de água com propriedades limnológicas diversas. Pequenas oscilações no nível da água do reservatório são suficientes para

alterar sua área inundada. A avaliação do efeito que a oscilação do nível da água têm sobre a área inundada do reservatório é dificultada pela ocupação das plantas aquáticas, as quais dificultam o acesso às margens. Esta ocupação das plantas aquáticas é variável ao longo do ano devido às oscilações do nível da água (Novo et al., 1995).

A área de estudo específica para este trabalho é o braço do rio Pucuruí (Figura 1), que corresponde à região onde foi feito levantamento aerofotográfico. Esta área foi escolhida por apresentar uma grande variação da área inundada em função da variação do nível de água do reservatório, apresentando uma grande quantidade e variedade de plantas aquáticas. Estas características prejudicam a definição dos limites terra/água do reservatório.



Figura 1 - Reservatório de Tucuruí.

3- Aquisição dos Dados

Os dados utilizados para este estudo foram obtidos durante a missão SAREX 92. A missão SAREX 92 propiciou a oportunidade de estudo científico do comportamento de alvos tropicais na banda C, visto que esta banda está disponível nos sistemas radar de abertura sintética (SAR) em operação na década de 90, como o SAR do ERS-1 e 2 e o SAR do RADARSAT.

O objetivo geral da missão SAREX no Brasil foi o de compreender a utilidade dos dados de SAR obtidos na banda C, sob diferentes geometria de aquisição e modos de polarização, em relação aos dados disponíveis nas faixas do visível e infra-vermelho próximo. Os resultados da missão também permitiram determinar as melhores configurações de aquisição de dados de sistemas SAR a serem colocadas a bordo de satélites programados para lançamento até o fim desta década (Wooding e Zmuda, 1993; Novo et al., 1995).

O SAR utilizado na missão SAREX 92 foi o C/X SAR de propriedade do Canadian Centre for Remote Sensing (CCRS) o qual operou a bordo de um avião

Convair 580. O sistema C/X SAR-CCRS é um sistema de frequência dupla (bandas C e X) e polarização múltipla (HH, HV, VV, VH). Durante a missão SAREX 92 o avião operou a uma altura de 7 km e com três modos de operação selecionáveis. Contudo neste estudo utilizaram-se apenas os dados obtidos no modo Nadir (Figura 2).

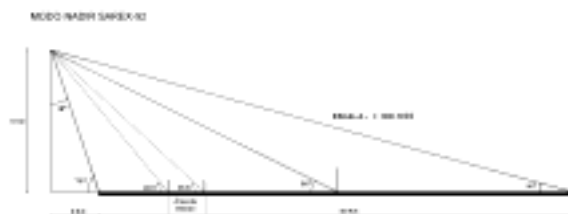


Figura 2 - Modo Nadir de operação do C/X SAR-CCRS.

Os dados da missão SAREX 92 foram processados em tempo real através de um processador que permitiu a obtenção de imagens digitais de 8 bits com 7 looks e também quick-looks em papel.

Os sobrevôos de imageamento foram realizados no dia 14 de abril de 1992, quando foram recobertas 5 faixas com o C/X SAR-CCRS. Concomitantemente, o avião Bandeirante do INPE fez o aerolevanteamento de uma faixa ao longo do braço do rio Pucuruí, permitindo assim, a aquisição de fotografias aéreas coloridas na escala 1:10.000. Este levantamento aerofotográfico fez-se necessário devido a falta de cartografia de detalhe da área (mapas desatualizados) e da complexidade da área, em função da variação do nível do reservatório. Desta forma as fotografias aéreas serviram como suporte de campo na tentativa da localização exata dos alvos de interesse.

4- Formato dos Dados

Os dados obtidos durante a missão SAREX 92, segundo Hawkins e Teany (1993), foram submetidos somente a uma calibração relativa. As constantes de calibração foram determinadas empiricamente usando refletores de canto colocados em uma área teste perto de Ottawa, Canadá. Foram feitos sobrevôos nesta área teste antes e logo após a missão SAREX 92, no sentido de avaliar a estabilidade do sistema. Os dados SAREX 92 foram calibrados em relação a dados do ERS-1.

A equação de calibração sugerida por Hawkins and Teany (1993) é:

$$\sigma_{dB}^o = 10 \log_{10} [DN^2(ij) - DN_n^2(j)] + Fcal(j)$$

onde:

- $DN(ij)$ é o valor do pixel para a linha i e coluna j ;
- $DN_n(j)$ é valor do ruído para a coluna j ;
- $Fcal(j)$ é o fator de calibração para a coluna j .

Nas imagens recebidas pelo INPE foram aplicados os procedimentos e os valores de calibração sugeridos

pelo CCRS, obtendo como produto final uma imagem cujos níveis digitais (DN) correspondem à valores de amplitude (A) do sinal, como mostrado abaixo:

$$A = \sqrt{DN^2(ij) - DN_n^2(j) + 10^{(\frac{F_{cal}(ij) - \overline{F_{cal}}}{20})}}$$

onde:

- F_{cal} é o valor médio do fator de calibração.

Desta forma a equação utilizada para converter os dados de nível digital (DN) para coeficiente de retroespalhamento (σ_{dB}) é mostrada abaixo:

$$\sigma_{dB} = 10 \log_{10} A^2 + \overline{F_{cal}}$$

Os valores de F_{cal} são diferentes para cada polarização, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de F_{cal} .

HH = -48.660118	HV = -45.51140
VV = -48.40868	VH = -45.634056

5- Material Utilizado

O material para este trabalho consistiu em 11 fotografias aéreas coloridas em papel na escala 1:10.000; imagens da área de estudo obtidas pelo SAR nas quatro polarizações com resolução espacial de 6 metros; imagem TM/Landsat (224/64) adquirida em junho de 1992, uma estação de trabalho, o software de tratamento de imagens PCI e o sistemas de informações geográficas SPANS.

Devido às dificuldades de acesso à área de estudo, não se obtiveram dados de campo. Desta forma optou-se por utilizar as fotografias aéreas como verdade terrestre.

No sentido de registrar digitalmente as informações de verdade terrestre com as informações provenientes do SAR, fez-se a transformação para dados digitais das fotografias aéreas, usando o HP SCANJET II CX.

De posse das 12 fotografias aéreas em formato digital, construiu-se um mosaico. No sentido de tentar reduzir o efeito da distorção presente em fotografias aéreas, devido à sua projeção cônica, todas as fotografias tiveram suas bordas cortadas em no mínimo 10%, tentando desta forma concentrar, o máximo possível, o estudo na região central das fotografias a qual possui menor distorção.

As imagens SAR sofreram somente as correções necessárias sugeridas pelo CCRS, permanecendo como imagens de amplitude. Essas imagens foram cortadas, selecionando-se assim somente a área de interesse, coincidente com a das fotografias aéreas. As características das imagens SAR são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do SAR

Frequência	5.3 GHz
Comprimento de onda	5.66 cm
Polarização	HH, VV, HV, VH
Modo	Nadir
Ângulo de incidência na área teste	36.6° a 49.6°
Tamanho do pixel	4m x 4.31m
Resolução	6m x 6m
Número de looks	/

6- Pré-processamento.

Após a calibração radiométrica os dados foram submetidos a diferentes metodologias de pré-processamento.

Tratamento I

O tratamento I foi feito com a intenção de preservar, o máximo possível, as características radiométricas das imagens SAR.

O mosaico das fotografias aéreas foi então registrado tomando como referência as imagens SAR. Foram coletados 47 pontos de controle. No momento da coleta dos pontos de controle tomou-se o cuidado de pegá-los homogeneamente ao longo de toda a imagem. A interpolação dos pixels do mosaico em relação às imagens SAR foi feita pelo método do vizinho mais próximo, e um modelo de 3ª ordem. O erro ficou em 1.95 e 1.91 pixels. O objetivo do registro foi o de permitir coletar amostras nas fotografias aéreas de maneira à estas amostras corresponderem à mesma região nas imagens SAR.

A escolha do interpolador do vizinho mais próximo deve-se à tentativa de alterar o mínimo possível o aspecto do mosaico, uma vez que seria usado para a retirada das amostras. Também não se fez um registro das imagens com carta topográfica para não alterar o aspecto radiométrico das imagens SAR.

Com as imagens registradas iniciou-se a coleta de amostras de cada classe, usando como referência o mosaico das fotografias. As classes amostradas foram: água, água com paliteiros, bancos heterogêneos, *Eichhornia sp.*, floresta, *Pistia sp.*, *Salvinia sp.*, *Scirpus sp.* e *Typha sp.*. O número de amostras (n) de cada classe está relacionado com a abundância de cada classe no reservatório (Tabela 4). Assim as classes mais abundantes possuem um maior número de amostras.

Com o objetivo de estudar o comportamento do retroespalhamento das classes nas quatro polarizações das imagens SAR, cada amostra foi analisada em relação às imagens SAR, onde foram anotadas a média e desvio padrão para as quatro polarizações e calculados os valores do coeficiente de retroespalhamento.

Tratamento II

O tratamento II inicialmente reduziu os efeitos do "speckle" das imagens. Existem diferentes métodos para a redução deste ruído em imagens SAR entre eles pode-se citar o filtro de média (Ulaby e Dobson, 1989) e os filtros adaptativos (Shi e Fung, 1994). Foi selecionado o filtro de média (3x3) para minimizar o efeito do "speckle", pois para calcular os valores de retroespalhamento de diferentes classes é importante que

o mesmo processo de filtragem seja aplicado em toda a imagem.

Após a suavização do ruído “speckle” procedeu-se a correção geométrica da imagem TM/Landsat, das fotografias aéreas no formato digital e das imagens SAR, para manter o conjunto de dados em uma mesma projeção cartográfica. As imagens TM/Landsat e SAR foram orto-retificadas de acordo com o método desenvolvido por Toutin (1994, 1995). Este método pode ser utilizado para correção geométrica de imagens de sensores ópticos ou microondas tanto aero-transportados como de satélites, utilizando dados de elevação do terreno. O modelo integra a geometria de visada, o qual inclui a posição e a velocidade da plataforma, os parâmetros do sensor, as características da Terra e da projeção cartográfica. Como resultado obteve-se uma precisão média do modelo e da restituição de 26,6 e 40,5 metros, respectivamente.

Considerando a precisão do modelo e a resolução das imagens, foi selecionado um tamanho de pixel final para as imagens de 15x15 metros. Para o processo de reamostragem foi utilizado o interpolador por convolução cúbica, por garantir melhor precisão no processo de reamostragem (Shlien, 1979).

Para discriminação entre as diferentes classes de plantas aquáticas, floresta, água e água com paliteiros foram coletadas amostras destas classes nas imagens SAR, utilizando como verdade de campo a interpretação visual (digitalizada no SPANS) do mosaico de fotografias aéreas e o mosaico digital de fotografias aéreas. As nove classes resultantes foram as mesmas resultantes do Tratamento I.

Foi considerado um número mínimo de 30 pixels para cada amostra, o qual corresponde a um número maior de amostra independente de “multi-look” do que o mínimo requerido (Laur et al., 1987; Touzi, 1995) e de acordo com os testes realizados (Tabela 4). Foram determinadas as médias de todas as amostras para cada polarização e calculados os valores do coeficiente de retroespalhamento correspondentes.

7- Discussão

Os valores do σ° (dB) obtidos pelos dois Tratamentos em estudo não apresentaram diferenças significativas em nenhuma das classes de plantas aquáticas, e em nenhuma das diferentes polarizações (Tabela 3).

A variação média dos valores do σ° (dB) ficou por volta de 1 dB (Tabela 5). A máxima variação ocorreu na polarização HV na classe Água, a qual foi de 2.89 dB. A menor variação ocorreu na polarização VH na classe *Typha*, ficando em 0.05 dB. Contudo estas diferenças podem estar associadas a outros fatores, como por

exemplo diferenças na seleção das amostras, e não devido aos processos dos Tratamentos comparados.

Estes resultados indicam que a metodologia utilizada para suavização do “speckle”, a correção geométrica e uma reamostragem dos pixels com interpolador de convolução cúbica ou vizinho mais próximo não alteram, de forma significativa, os valores de retroespalhamento dos alvos em estudo.

Desta forma pode-se afirmar que uma comparação de valores do σ° (dB) entre imagens com tratamentos distintos podem ser feitas com um bom grau de confiabilidade.

9- Referências

Dobson, M.C.; Pierce, L.; Sarabandi, K.; Ulaby, F.T.; Sharik, T. SAR for forest ecosystem studies. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, **30**(2) : 203-211, Mar. 1992.

Hawkins, R.K.; Teany, L.D. SAREX 1992, data calibration. South American Radar Experiment - SAREX-92, Paris, Dec. 6-8, 1993. **Proceedings**. Paris, ESA WPP. 1994. (ESA WPP - 76).

Le Toan, T.; Beaudoin, A.; Riou, J.; Guyon, D. Relating forest biomass to SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, **30**(2) : 403-411, Mar. 1992.

Morrisey, L.A.; Livingston, G.P. Use of SAR in regional methane exchange studies. **International Journal of Remote Sensing**, **15**(6) : 1337-1342, 1994.

Novo, E.M.; Costa, M.P.; Noernberg, M.A. **Relatório preliminar do Projeto SAREX Tucuruí**. São José dos Campos, INPE, 1995. (INPE-5621-RRP/190)

Pullianen, J.T.; Heiska, K.; Hyypä, J.; Hallikainen, M.T. Backscattering properties of Boreal forest at the C- and X-bands. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, **32**(5) : 1041-1049, Sep. 1994.

Shi, Z., Fung, K.B. A comparison of digital speckle filters. IN: IGARSS'94.

Shlien, S. Geometric correction, registration, and resampling of Landsat imagery. **Canadian Journal of Remote Sensing**, **5**(1): 74-89, 1979.

Toutin, T. Cartographie a partir d'images radar. **Canadian Journal of Remote Sensing**, **20**(2):171-179, 1994.

Toutin, T. Multisource data integration with an integrated and unified geometric modelling. In: Sensors and Environment Applications of Remote Sensing. **Proceedings**. Askne (ed.), Balkema, Rotterdam. pp:163-169, 1995.

Wooding, M.G.; Zmuda, A.D. An overview of SAREX-92 data acquisition and analysis of the tropical forest

environment. South American Radar Experiment - SAREX-92, Paris, Dec. 6-8, 1993. **Proceedings**. Paris, ESA WPP. 1994. (ESA WPP - 76).

Tabela 3 - Valores do σ° (dB) das classes estudadas nas quatro polarizações nos Tratamentos I e II.

Classes	Tratamento I				Tratamento II			
	HH	HV	VV	VH	HH	HV	VV	VH
Floresta	-13.06	-10.86	-12.77	-10.90	-11.80	-9.86	-11.97	-9.86
Água	-27.72	-23.48	-26.52	-24.43	-28.37	-26.37	-26.31	-26.39
Paliteiro	-15.95	-19.07	-18.54	-19.31	-16.24	-20.22	-20.01	-20.83
<i>Scirpus</i>	-12.36	-11.27	-13.51	-11.24	-10.96	-9.97	-11.43	-9.87
<i>Eichhornia</i>	-15.24	-13.06	-14.22	-13.08	-15.38	-13.42	-14.64	-13.36
<i>Typha</i>	-13.80	-13.52	-14.20	-13.48	-14.97	-13.61	-16.98	-13.53
<i>Pistia</i>	-15.06	-13.30	-16.57	-13.32	-13.72	-12.15	-13.84	-12.07
<i>Salvinia</i>	-15.61	-15.46	-15.20	-15.66	-15.50	-15.25	-14.99	-14.81
Heterogêneo	-12.43	-11.74	-12.87	-11.72	-11.94	-10.86	-14.39	-10.88

Tabela 4. Número de pixels amostrados para cada tratamento.

Classes	Tratamento I		Tratamento II	
	n	Pixels 4metros		Pixels 15 metros
Floresta	18	243326		269
Água	13	27383		299
Paliteiro	14	33691		100
<i>Scirpus</i>	39	155176		325
<i>Eichhornia</i>	8	14973		339
<i>Typha</i>	8	3496		137
<i>Pistia</i>	5	4078		147
<i>Salvinia</i>	19	26607		151
Heterogêneo	9	69804		345

Tabela 5 - Variação do σ° (dB) das classes estudadas nas quatro polarizações entre os dois Tratamentos.

Classes	HH	HV	VV	VH	Média
Floresta	1.27	1.00	0.80	1.04	1.03
Água	0.65	2.89	0.21	1.96	1.43
Paliteiro	0.29	1.15	1.47	1.52	1.11
<i>Scirpus</i>	1.40	1.30	2.08	1.37	1.54
<i>Eichhornia</i>	0.14	0.36	0.42	0.28	0.30
<i>Typha</i>	1.17	0.09	2.78	0.05	1.02
<i>Pistia</i>	1.34	1.15	2.73	1.25	1.62
<i>Salvinia</i>	0.11	0.21	0.21	0.85	0.34
Heterogêneo	0.49	0.88	1.52	0.84	0.93
Média	0.76	1.00	1.36	1.02	1.03