

# Utilização de Dados do SAR JERS-1 em Modelos Preditivos de Umidade do Solo e Coeficiente de Retroespalhamento

ORLANDO ALVES MÁXIMO<sup>1</sup>

HERMANN H. KUX<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IEAv- CTA - Instituto de Estudos Avançados, Centro Técnico Aeroespacial

Rod. Tamoios, Km 5,5 - 12.228-840 São José dos Campos, SP, Brasil

E-mail: maximo@ieav.cta.br

<sup>2</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515 - 12.227-010 São José dos Campos, SP, Brasil

E-mail: hermann@ltid.inpe.br

**Abstract.** The objective of this paper is to evaluate the feasibility on the use of JERS-1 SAR data for soil moisture retrieval based on two predictive models presented by Oh et al. (1992) and Dubois et al. (1995), comparing the results obtained with field measurements. The model from Oh et al. could not be inverted. Dubois's model was inverted, but required the insertion of estimated values of roughness to be used with mono-polarized SAR data such as JERS-1 data. The results were very satisfactory. The inversion model is quite sensitive to the precision of the estimated roughness.

**Keywords:** soil moisture, predictive models, radar

## 1 Introdução

Nos últimos anos tem havido um grande desenvolvimento nos métodos para o monitoramento dos recursos naturais da Terra. Sendo os recursos hídricos um daqueles que mais influenciam na vida de uma população, eles têm sido alvo contínuo de pesquisas.

Na agricultura, por exemplo, a presença de água no solo assume importância vital, pois sem ela não há condições para a produção de alimentos. Além disso, ela desempenha papel importante no processo de germinação e maturação das sementes (Idso et al., 1975).

Assim sendo, o monitoramento eficaz e em larga escala da umidade do solo constitui-se em um fator de grande importância para a previsão de safras.

Para este fim, o sensoriamento remoto por microondas vem sendo uma ferramenta bastante estudada nos últimos anos (Chang et al., 1981; Dobson e Ulaby, 1981; Soares e Renó, 1997).

Essa tendência baseia-se nas grandes alterações termais e dielétricas que ocorrem no solo seco ao se adicionar água.

## 2 Modelamento do Coeficiente de Retroespalhamento ( $\sigma^o$ )

Analisando as relações existentes entre as características do alvo, do radar e do sinal recebido, percebemos que as variações na potência de retorno devem-se, primordialmente, a variações nos valores de  $\sigma^o$ .

Assim, se o coeficiente de retroespalhamento de um alvo puder ser modelado a partir de alguns de seus parâmetros, pode-se criar uma ligação entre os dados do radar e estes parâmetros.

No intuito de modelar o  $\sigma^o$  a partir de características do alvo, duas abordagens vêm sendo utilizadas: uma teórica e outra empírica. Segundo Dubois et al. (1995), a abordagem teórica, muito embora seja útil para explicar diversos fenômenos, inclui modelos de complicada implementação computacional, baseados em parâmetros difíceis de serem conseguidos e possuem um intervalo de validade muito restrito (ex: Modelo de Pequenas Perturbações, Modelo de Óptica Física e Modelo de Óptica Geométrica).

Quando se utiliza uma abordagem empírica, pode-se modelar  $\sigma^o$  em função de parâmetros mais fáceis de serem obtidos, bem como há uma grande redução no número destes parâmetros.

Oh et al. (1992) e Dubois et al. (1995) apresentaram modelos para o cálculo do  $\sigma^o$  de solos expostos em função da rugosidade e da permissividade complexa do alvo.

Para o modelo de Oh et al. as equações são:

$$\mathbf{s}_{vv}^o = \frac{g \cos^3 \mathbf{q}}{p^{1/2}} [\Gamma_v(\mathbf{q}) + \Gamma_h(\mathbf{q})] \quad (1)$$

$$\mathbf{s}_{hh}^o = p \mathbf{s}_{vv}^o \quad (2)$$

$$\mathbf{s}_{hv}^o = q \mathbf{s}_{vv}^o \quad (3)$$

$$p = \left[ 1 - \left( \frac{2q}{p} \right)^{[0.314/\Gamma_o]} \cdot \exp(-ks) \right]^2 \quad (4)$$

$$q = 0.25(\Gamma_o)^{1/2} (0.1 + \sin^{0.9} \mathbf{q}) \cdot [1 - \exp[-(1.4 - 1.6\Gamma_o)ks]] \quad (5)$$

$$g = 0.7 [1 - \exp(-0.65(ks)^{1.8})] \quad (6)$$

Para o modelo de Dubois et al. as equações são:

$$\mathbf{s}_{hh}^o = 10^{-2.75} \frac{\cos^{1.5} \mathbf{q}}{\sin^5 \mathbf{q}} 10^{0.028e \tan \mathbf{q}} (ks \sin \mathbf{q})^{1.4} \mathbf{I}^{0.7} \quad (7)$$

$$\mathbf{s}_{vv}^o = 10^{-2.35} \frac{\cos^3 \mathbf{q}}{\sin^3 \mathbf{q}} 10^{0.046e \tan \mathbf{q}} (ks \sin \mathbf{q})^{1.1} \mathbf{I}^{0.7} \quad (8)$$

onde o subscrito (vv, hh e hv) corresponde à polarização,  $\theta$  é o ângulo de incidência,  $\epsilon$  é a parte real da permissividade complexa,  $k$  é o número de onda,  $s$  é a altura rms e  $\Gamma$  é o coeficiente de reflexão de Fresnel.

### 3 Testando os Modelos com Dados Monopolarizados

Para avaliar a possibilidade da utilização destes modelos em imagens de radar monopolarizadas, foi realizado um experimento usando imagens do SAR a bordo do JERS-1.

A região de estudo escolhida foi o pivô 162, localizado na Fazenda Cachoeirinha, município de Guaíra, estado de São Paulo (**Figura 1**). Foram selecionadas duas áreas, uma de milho com 5 dias de germinação (representando solo exposto) e outra de milho com 20 dias de germinação.



Fig. 1 – Localização da região escolhida.

O experimento foi executado em duas etapas. Na primeira, foi realizado um trabalho de campo ao mesmo tempo em que a região era imageada pelo JERS-1. Nesta ocasião foram coletadas amostras de umidade, rugosidade e constituintes do solo. Esses dados foram usados como parâmetros de entrada nos modelos para o cálculo do coeficiente de retroespalhamento. De posse da imagem obtida pelo sensor, foi realizada a extração do valor digital dos pixels das áreas selecionadas e, posteriormente, a conversão dos mesmos para  $\sigma^0$  usando as relações descritas por Shimada e Nakai (1994) e Shimada (1996). Estes resultados foram comparados com aqueles obtidos pelos modelos.

A **Figura 2** apresenta um resumo dos resultados. Nota-se que, em ambas as áreas, o modelo de Dubois et al. apresenta uma maior correlação com os dados derivados da imagem.

Na segunda etapa, foi realizada a inversão dos modelos, e, usando os valores de  $\sigma^0$ , obtidos através da imagem, como parâmetros de entrada, foi efetuado o cálculo da permissividade complexa. A partir destes dados, a umidade volumétrica foi estimada através da inversão das equações sugeridas por Hallikainen et al. (1985).

O modelo de Oh et al. apresentou uma impossibilidade de inversão direta ao incorporar a função de módulo de números complexos. Segundo Oh et al. (1992), a inversão matemática do modelo exigiria dados de 3 imagens polarimétricas (HH, VV e HV) e a resolução iterativa de uma equação não-linear derivada das Equações 1 a 6, o que impossibilitaria a utilização deste modelo com imagens do JERS-1. Oh et al. (1994) e Ulaby e Siquiera (1995) apresentaram sugestões de inversão gráfica, mas ambas exigiam pelo menos duas imagens polarimétricas (HH e VV).

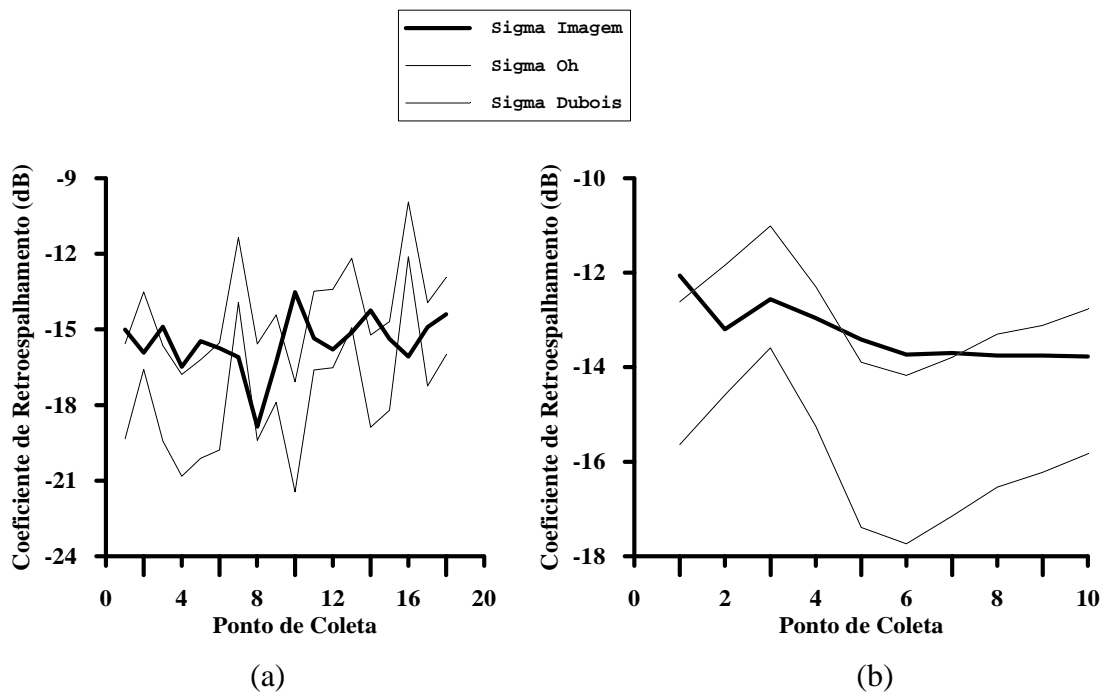


Fig. 2 – Comparação entre os valores de  $\sigma^0$  obtidos através da imagem e através dos modelos para a) área de milho com 5 dias e b) área de milho com 20 dias.

O modelo de Dubois et al. não apresentou estes problemas e foi invertido, porém exigiu a inserção de valores estimados de rugosidade para o cálculo da permissividade. Foram inseridos os valores de rugosidade obtidos durante o trabalho de campo.

A **Figura 3** traz a comparação entre os valores de umidade obtidos através destes cálculos e aqueles coletados no trabalho de campo.

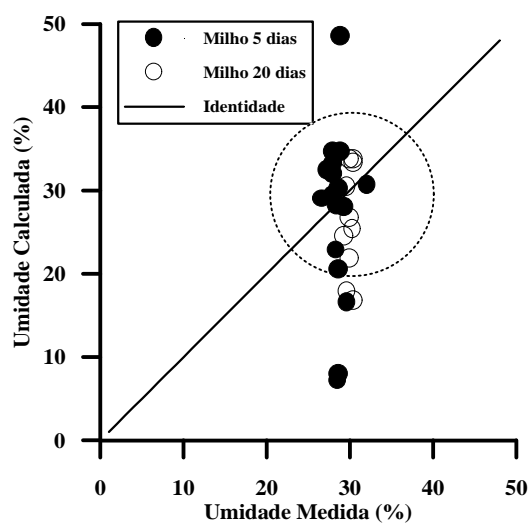


Fig. 3 – Umidade medida versus umidade calculada.

Nota-se uma grande concentração de pontos próximos à reta de identidade, demonstrando que a técnica é exequível. Porém, o aparecimento de alguns pontos discrepantes indica que ela ainda precisa ser mais testada para uma análise acurada dos parâmetros que influenciam na sua precisão. Principalmente com relação à precisão dos valores inseridos de rugosidade e à presença de vegetação, uma vez que a precisão dos resultados foi menor na área de milho com 20 dias.

Uma primeira abordagem foi realizada para avaliar a influência da precisão dos valores de rugosidade estimados que são inseridos durante o cálculo. Foram calculados inicialmente os valores que garantiriam um acerto de 100% e, depois, inseridos erros nestes valores, comparando os resultados obtidos com estes valores modificados e os originais.

Um resumo destes cálculos, para a área de milho com 5 dias, é apresentado na **Figura 4**, onde vê-se uma rápida perda de correlação com a inserção dos erros evidenciando uma grande sensibilidade do modelo invertido à precisão dos valores de rugosidade inseridos.

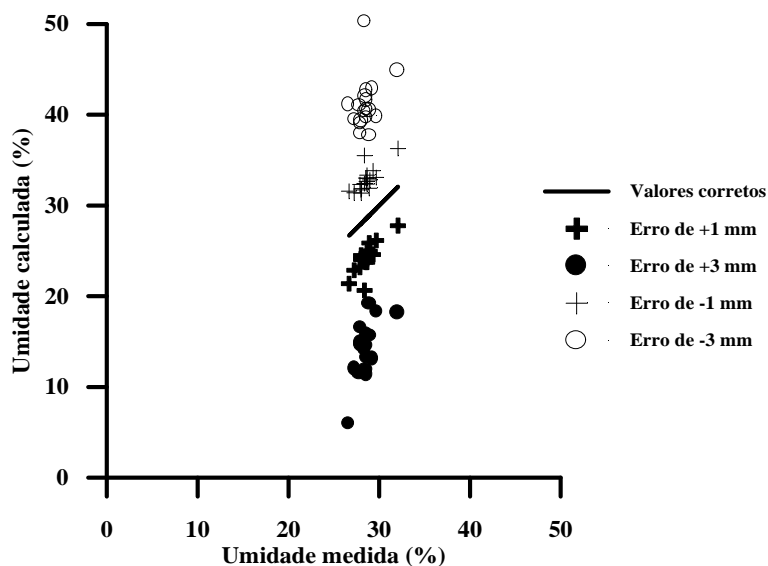


Fig. 4 - Influência dos erros de altura rms na correlação dos valores calculados e medidos de umidade volumétrica

#### 4 Conclusões

Os resultados deste trabalho permitem concluir que a técnica de estimação da umidade do solo utilizando imagens de radar é física e matematicamente viável. No entanto, a utilização de imagens monopolarizadas obriga a inserção de valores estimados de rugosidade.

A precisão dos resultados mostrou-se fortemente dependente da precisão dos valores inseridos.

Novos estudos deverão ser conduzidos com o intuito de avaliar com precisão a influência da rugosidade e da vegetação na correlação dos resultados.

## Referências

- Chang, A.T.C.; Atwater, S.G.; Salomonson, V.V.; Estes, J.E.; Simonett, D.S.; Bryan, M.L. L-Band radar sensing of soil moisture. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-18(4):303-310, Oct., 1980.
- Dobson, M.C.; Ulaby, F.T. Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and texture: Part III - soil tension. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-19(1):51-61, Jan., 1981.
- Dubois, P.C.; Zyl, J.; Engman, T. Measuring soil moisture with imaging radars. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 33(4):915-926, July, 1995.
- Hallikainen, M.T.; Ulaby, F.T.; Dobson, M.C.; El-Rayes, M.A. Microwave dielectric behavior of wet soil - Part I: Empirical models and experimental observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-23(1):25-34, Jan., 1985.
- Idso, S.B.; Jackson, R.D.; Reginato, R.J. Detection of soil moisture by remote surveillance. **American Scientist**, 63(5):549-557, Sept/Oct, 1975.
- Oh, Y.; Sarabandi, K.; Ulaby, F.T. An empirical model and an inversion technique for radar scattering from soil surfaces. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-30(2):370-381, Mar., 1992.
- Oh et al. An inversion algorithm for retrieving soil moisture and surface roughness from polarimetric radar observation.[CD-ROM] In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Pasadena, CA, Aug. 8-12, 1994. **Proceedings**. p. 2053-2055.
- Shimada, M.; Nakai, M. Inflight evaluation of L band SAR of Japanese earth resources satellite - 1. **Advanced Space Research**, 14(3):231-240, 1994.
- Shimada, M. Radiometric and geometric calibration of JERS-1 SAR. **Advanced Space Research**, 17(1):79-88, 1996.
- Soares, J.V.; Rennó, C.D. Soil moisture retrieval from active microwave remote sensing. In: First Latino-American Seminar on Radar Remote Sensing. Buenos Aires, Argentina, 1996. **Proceedings**, ESA, Noordwijk, 1997. p. 195-203.
- Ulaby, F.T.; Siquiera, P. **Polarimetric SAR soil moisture inversion algorithms**. University of Michigan, Mar., 1995. (Technical Memorandum 95-12).