

ESTIMATIVA REMOTA DE UMIDADE SUPERFICIAL DE SOLOS DO CERRADO: POSSIBILIDADES E FUTURO

Angélica Giarolla¹ & Edson E. Sano²

RESUMO – A umidade de solos é um parâmetro hidrológico importante que controla o fluxo de água e energia entre a atmosfera e a superfície terrestre, o particionamento da precipitação em infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração, a atividade fotossintética da vegetação e a respiração dos microorganismos presentes nos solos. Métodos convencionais de medição de umidade de solos são demorados e correspondem a dados essencialmente pontuais. Estudos recentes têm demonstrado que radiômetros passivos e orbitais que operam na faixa de microondas, como é o caso da plataforma Aqua/AMSR-E, podem estimar umidade volumétrica de solos com um erro médio quadrático da ordem de 1 a 2 %, porém, com uma resolução espacial relativamente grosseira de aproximadamente 40 km. Essas pesquisas foram conduzidas pela NASA, USDA e colaboradores em condições temperadas dos Estados Unidos. Esse presente trabalho apresenta os primeiros resultados da análise da variação espaço-temporal dos dados do Aqua/AMSR-E para a região do Cerrado. Possibilidades de melhoria na acurácia das estimativas de umidade de solos do Cerrado num futuro próximo também são apresentadas no final desse estudo.

ABSTRACT – The soil moisture is one of the key hydrological parameters that controls the water and energy flows between atmosphere and land surface, the partitioning of rainfall into infiltration, runoff and evapotranspiration, the photosynthetic activities of vegetation and the respiration of soil microorganisms. Conventional methods of measuring soil moisture are time-consuming and the data are essentially point-based estimations. Recent studies have demonstrated that passive and satellite-based radiometers operating at microwave spectral region, which is the case of Aqua/AMSR-E, can estimate volumetric soil moisture at a root mean square error of about 1 to 2 %, however, with a coarse spatial resolution of approximately 40 km. This research was conducted under coordination of NASA, USDA and collaborators under United States temperate conditions. This article presents the first results of spatial and temporal variation analyses of Aqua/AMSR-E data from the Brazilian tropical savanna. Possibilities of improvement in the accuracy of Cerrado's soil moisture estimates in a near-future are also presented at the end of this paper.

Palavras-Chave: umidade de solos, microondas, Aqua/AMSR-E.

INTRODUÇÃO

A possibilidade de estimar remotamente a umidade superficial de solos foi intensamente investigada principalmente na década de 1990, como consequência do lançamento de três satélites que transportavam radares de abertura sintética (SAR – *synthetic aperture radar*) pelo Canadá, Europa e Japão: RADARSAT, ERS-1 e JERS-1, respectivamente. Dados SAR possuem potencial para estimar umidade de solos devido à capacidade de penetração de pulsos eletromagnéticos de

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DSA/ INPE/CPTEC, Rod. Presidente Dutra, Km 40, CEP 12630000, Cachoeira Paulista, SP. Tel: (12) 3186-9457, e-mail: angelica@cptec.inpe.br

² Embrapa Cerrados - BR-020 km 18 Cx. Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF. Tel: (61) 3388-9904, e-mail: sano@cpac.embrapa.br

radar nos solos. Estudos empíricos (Moran et al., 2000), semi-empíricos (Prevot et al., 1993) e teóricos (Altese et al., 1996) mostraram que os resultados são promissores, com coeficientes de correlação entre umidade de solos modelados ou medidos e sinais de radar superiores a 0,90, desde que os solos estejam expostos, os efeitos da rugosidade de solos e da vegetação (estrutura e umidade das plantas) sejam negligenciáveis ou sejam corrigidos de alguma forma, o que se constitui freqüentemente numa tarefa bastante árdua. Uma outra conclusão importante obtida desses estudos é a necessidade de dados obtidos simultaneamente com múltipla polarização (HH, VV, VH e HV) (Magagi e Kerr, 2001).

Uma outra linha de pesquisa para estimar remotamente a umidade de solos é a que vem sendo coordenada pelos cientistas Thomas J. Jackson da USDA e Eni G. Njoku da NASA/JPL (e.g., Jackson, 2001; Njoku, 1999). Nesse caso, a umidade de solos é estimada através da análise de dados de temperaturas de brilho (Tb), obtidas por sensores passivos que operam na faixa de microondas e que possuem relação direta com umidade e temperatura superficial de solos. Nesse caso, sabe-se que os efeitos da rugosidade de solos é menor em comparação com os dados SAR. Dados orbitais na região de microondas passivo são atualmente obtidos pelo satélite Aqua/AMSR-E. Estudos envolvendo desenvolvimento e validação de algoritmos para recuperar dados de umidade de solos a partir de dados de Tb obtidos pela referida plataforma estão concentrados em algumas áreas dos Estados Unidos, notadamente, nos estados de Alabama, Geórgia, Oklahoma e Arizona, onde foram conduzidos uma série de experimentos denominados de SMEX em 2002, 2003 e 2004 (Soil Moisture Experiment; Jackson et al., 2005; Njoku e Li, 1999). Esse artigo apresenta os principais resultados obtidos da análise espaço-temporal de dados de Tb do Aqua/AMSR-E do bioma Cerrado, além de perspectivas futuras para estimar, de forma remota, a umidade de solos desse bioma.

2. ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE Tb

Um conjunto com quatro áreas de estudo foram selecionadas para analisar a variação espaço-temporal de Tb no Cerrado (Figura 1): Parque Nacional das Emas, Goiás (PNE, 18°09' de latitude sul; 52°53' de longitude oeste); Centro de Instrução de Formosa, Goiás (CIF, 15°48' de latitude sul; 47°14' de longitude oeste); Lucas do Rio Verde, Mato Grosso (LRV, 12°54' de latitude sul; 56°09' de longitude oeste); e Barreiras, Bahia (BAR, 12°05' de latitude sul; 45°20' de longitude oeste). As duas primeiras áreas correspondem a áreas com preservação permanente da vegetação natural do Cerrado. Nelas, são encontradas fitofisionomias representativas do referido bioma: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerradão, conforme sistema de classificação proposto por Ribeiro e Walter (1998), além da Mata de Galeria. As duas últimas áreas correspondem a regiões com intensa produção agrícola de sequeiro, notadamente, soja, milho e, mais recentemente, algodão. Como área-controle, foi incluída, nesse estudo, a Floresta Nacional de

Tapajós, Pará (FNT, 03°08' de latitude sul; 55°02' de longitude oeste), por apresentar áreas com floresta tropical densa e com variação temporal menos acentuada durante o ano em termos de biomassa verde.

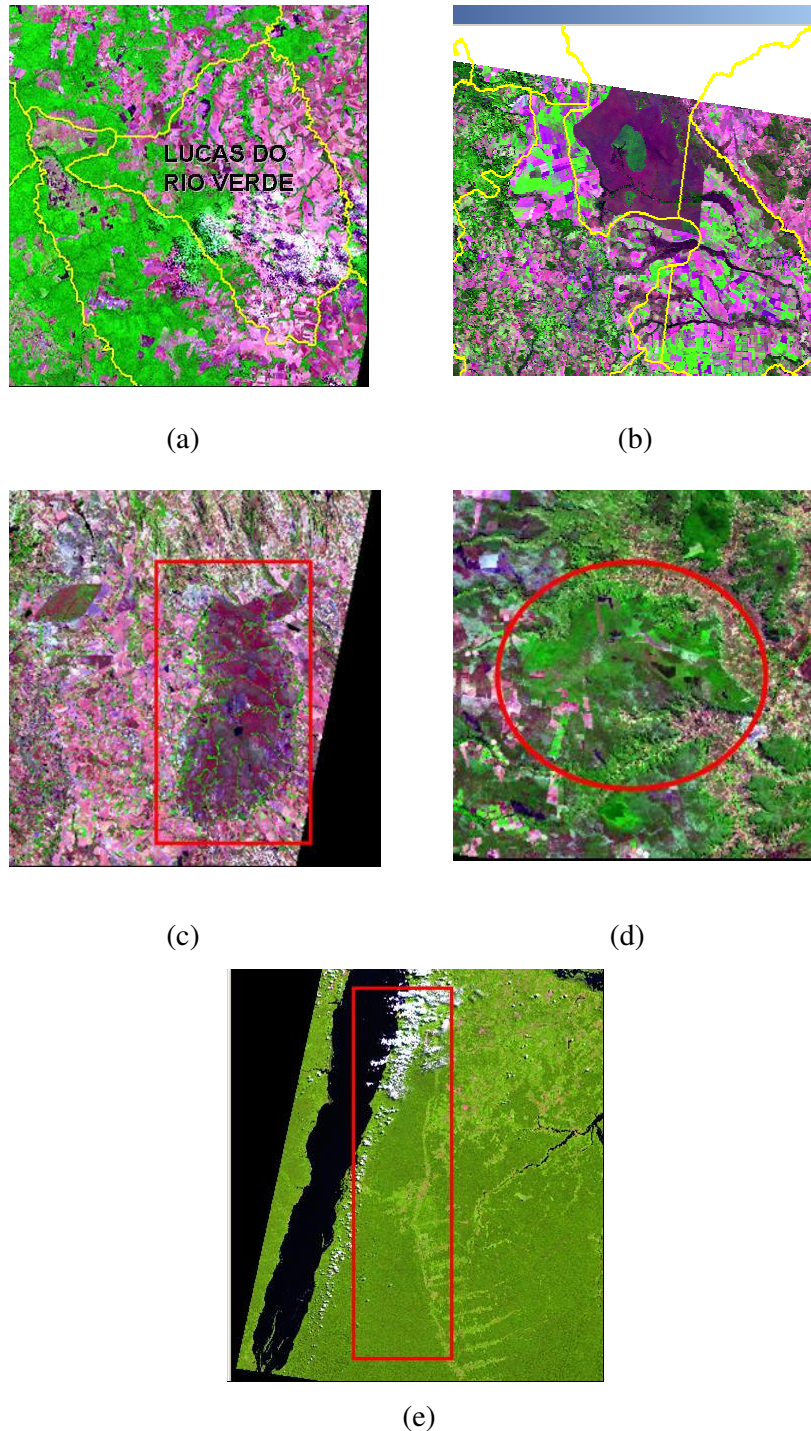


Fig. 1. Áreas de estudo selecionadas para extração e análise de dados diários de temperatura de brilho (K) nos biomas Cerrado e Amazônia (esse último, na função de área-controle). (a) Lucas do Rio Verde, Mato Grosso; (b) Parque Nacional das Emas, Goiás; (c) Centro de Instrução de Formosa, Goiás; (d) Barreiras, Bahia; e (e) Floresta Nacional de Tapajós, Pará.

Os arquivos contendo imagens de temperatura de brilho (Kelvin) provenientes do sensor Aqua/AMSR-E, em escala diária, foram fornecidos pela NASA (National Aeronautics and Space Administration). O período considerado foi o ano de 2004 e utilizou-se a faixa espectral de 6,9 GHz, com polarização vertical para cada arquivo. O formato fornecido foi o HDF e a passagem original considerava toda a América do Sul em resolução espacial de 56 km. As imagens foram então processadas, georreferenciadas e recortadas para cada região de estudo pelo software ENVI 4.0™. Posteriormente, as temperaturas de brilho de cada polarização foram coletadas em função das coordenadas geográficas e montou-se um banco de dados para todas as áreas representativas.

A Tabela 1 e a Figura 2 mostram, respectivamente, os valores médios e as variações temporais de Tb de 2004 para as cinco áreas de estudo. A Floresta Nacional de Tapajós, como era de se esperar, apresentou os valores de Tb mais baixos e mais estáveis (Tb médio = 279 °K; desvio-padrão: 2,04 °K). Todas as outras áreas apresentaram valores de Tb significativamente maiores (Tb médio ~ 286,5 °K) e com desvios-padrões também superiores (entre 2,45 a 4,11 °K), indicando a existência de variações temporais mais acentuadas nos dados de Tb ao longo do ano. Para todas as áreas, agosto e setembro, que correspondem ao pico da estação seca no Cerrado, foram os meses que apresentaram valores de Tb mais altos. LRV, CIF e BAR apresentaram valores médios de Tb equivalentes, porém, o desvio-padrão de Barreiras foi significativamente mais baixo. Índices multitemporais de vegetação, registrados pelo Aqua/MODIS e dados de precipitação obtidos de estações pluviométricas localizadas nas áreas-teste estão sendo obtidos e processados com o intuito de obter maiores explicações sobre as tendências mostradas pelos valores de Tb.

Tabela 1. Valores médios de temperatura de brilho (Kelvin) na polarização vertical da plataforma Aqua/AMSR-E em 2004 e seus correspondentes desvios-padrões para o Parque Nacional das Emas, Centro de Instrução de Formosa, Lucas do Rio Verde, Barreiras e Floresta Nacional de Tapajós.

Área de Estudo	Média (K)	Desvio-Padrão
Floresta Nacional de Tapajós	279	2,04
Barreiras	287	2,45
Lucas do Rio Verde	287	4,08
Centro de Instrução de Formosa	286	4,11
Parque Nacional das Emas	286	3,24

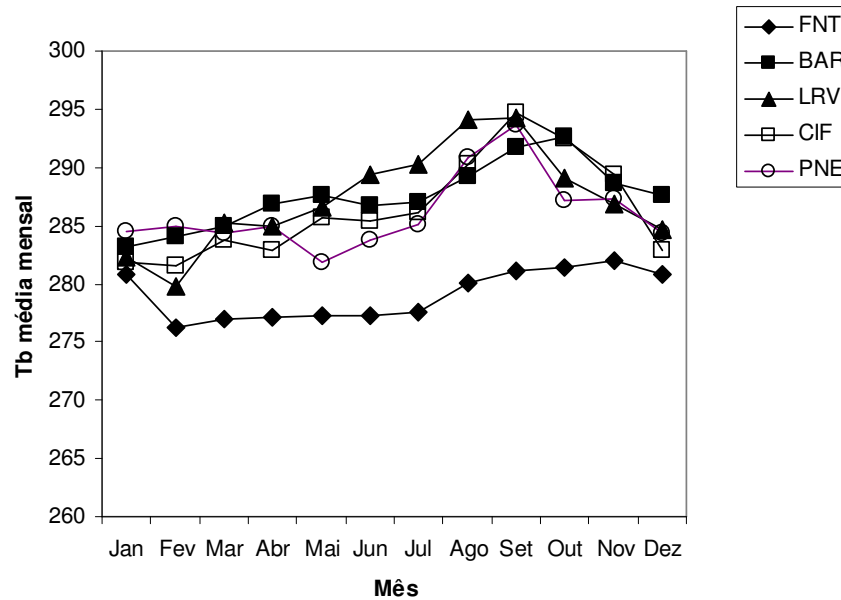


Fig. 2. Variação mensal da temperatura do solo em cinco estações (permanentes) sobre cinco áreas de estudo selecionadas sobre os biomas Cerrado e Amazônia. FNT: Floresta Nacional de Tapajós; BAR = Barreiras; LRV = Lucas do Rio Verde; CIF: Centro de Instrução de Formosa; e PNE = Parque Nacional das Emas.

4. FUTURO PRÓXIMO

Com relação ao futuro de estimativa remota de umidade de solos do Cerrado, o lançamento previsto do novo satélite HYDROS - NASA Earth System Science Pathfinder Hydrospheric States - com configuração mais moderna em relação ao seu antecessor, isto é, o Aqua/AMSR-E, e as plataformas de coleta de dados (PCDs) do INPE são os dois sistemas que podem contribuir de forma decisiva na estimativa regional desse parâmetro físico no Cerrado, com melhores resolução espacial e acurácia. Para isso, a missão HYDROS está propondo combinar as vantagens dos sensores passivos (elevada acurácia em detrimento de perdas na resolução espacial) e ativos (resolução espacial mais fina, porém, acurácia menor) numa única plataforma. O HYDROS irá utilizar simultaneamente um radiômetro passivo que operará na banda L (comprimento de onda de ~ 23 cm) e resolução espacial de ~ 40 km e um sistema de radar com 3 km de resolução espacial para fornecer estimativas globais de umidade de solo com uma periodicidade de três dias e três níveis de detalhamento (resoluções espaciais de 3 km 10 km e 40 km) (Entekhabi et al., 2004; Zhan et al., 2006).

As plataformas de coletas de dados (PCDs) são estações automáticas que operam em superfície para coleta de dados meteorológicos e fazem parte do complexo Sistema de Coleta de Dados, atualmente em operação no INPE. Esse sistema é constituído pelos satélites SCD1, SCD2 e

CBERS2, pelas diversas redes de PCDs distribuídas em território nacional, pelas Estações de Recepção de Cuiabá e de Alcântara, e pelo Centro de Missão Coleta de Dados. Os satélites funcionam como retransmissores de mensagens e a comunicação entre uma plataforma e as estações de recepção é estabelecida através dos satélites. As informações são enviadas para o Centro de Missão de Coleta de Dados em Cachoeira Paulista (SP), onde são feitas análises e distribuição aos usuários. A combinação entre informações de superfície e de sensoriamento remoto é um importante avanço para o aprimoramento da pesquisa nessa área promissora no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTESE, E.; BOLOGNANI, O.; MANCINI, M.; TROCH, P.A. 1996. Retrieving soil moisture over bare soil from ERS-1 synthetic aperture radar data: sensitivity analysis based on a theoretical surface scattering model and field data. **Water Resources Research**, vol. 32, n. 3, p. 653-661.
- ENTEKHABI, D.; NJOKU, E.; HOUSER, P.; SPENCER, M.; DOIRON, T.; SMITH, J.; GIRARD, R.; BELAIR, S.; CROW, W.; JACKSON, T.; KERR, Y.; KIMBALL, J.; KOSTER, K.; MacDONALD, K.; O'NEILL, P.; PULTZ, T.; RUNNING, S.; SHI, J.C.; WOOD, E.; VAN ZYL, J. 2004. An earth system pathfinder for global mapping of soil moisture and land freeze/thaw: The Hydrosphere State (HYDROS) Mission Concept, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 42, p. 2184-2195.
- JACKSON, T.J. 2001. Multiple resolution analysis of L-band brightness temperature for soil moisture. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 39, no. 1, p. 151-164.
- JACKSON, T.J.; BINDLISH, R.; GASIEWSKI, A.J.; STANKOV, B.; KLEIN, M.; NJOKU, E.G.; BOSCH, D.; COLEMAN, T.L.; LAYMON, C.A.; STARKS, P. 2005. Polarimetric scanning radiometer C- and X-band microwave observations during SMEX03. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 43, n. 11, p. 2418-2430.
- MAGAGI, R.D.; KERR, Y.H. 2001. Estimating surface soil moisture and soil roughness over semiarid areas from the use of the copolarization ratio. **Remote Sensing of Environment**, vol. 75, p. 432-445.
- MORAN, M.S.; HYMER, D.C.; QI, J.; SANO, E.E. 2000. Soil moisture evaluation using multi-temporal synthetic aperture radar (SAR) in semiarid rangeland. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 105, p. 69-80.
- NJOKU, E.G.; LI, L. 1999. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18 GHz. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 37, n. 1, p. 79-93.
- PREVOT, L.; CHAMPION, I.; GUYOT, G. 1993. Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using a dual-frequency (C and X bands) scatterometer. **Remote Sensing of Environment**, vol. 46, p. 331-339.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 3, p. 89-152.
- ZHAN, X.; HOUSER, P.R.; WALKER, J.P.; CROW, W.T. 2006. A method for retrieving high resolution surface soil moisture from Hydros L-band radiometer and radar observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 44, n. 6, p. 1534-1544.