

MODELAGEM DA UMIDADE DO SOLO POR MEIO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL E NDVI EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

César de Oliveira Ferreira Silva ¹, Rodrigo Lilla Manzione ²

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, Brasil. cesaroliveira.f.silva@gmail.com

² 2 Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, SP, Brasil. manzione@tupa.unesp.br

Palavras-Chave: armazenamento de água no solo; krigagem; geoprocessamento

INTRODUÇÃO

O conhecimento da umidade do solo é de fundamental importância devido ao seu papel ambiental em processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos no ambiente superficial e subterrâneo, sendo assim um importante componente do ciclo hidrológico. O teor de água do solo afeta uma variedade de processos físicos e biológicos na biosfera e liga a superfície e a atmosfera da Terra através da sua influência na energia superficial e nos fluxos de umidade. Além disso, as condições reinantes de umidade do solo afetam o comportamento hidrológico das superfícies terrestres, controlando, em parte, a capacidade de infiltração dos solos e a divisão das precipitações em termos de escoamento e armazenamento (MONTENEGRO, MONTENEGRO, 2006; MONTENEGRO et al., 2013).

No entanto, descrever e mapear as condições de umidade do solo em grandes áreas geográficas é difícil pela variabilidade espacial e temporal natural dos solos, topografia, uso da terra e padrões de precipitação (CARLSON et al., 2007). Geralmente, a umidade do solo é medida no campo em pontos específicos e, por meio da interpolação espacial, essas medidas pontuais são usadas para criar superfícies de umidade contínuas. No entanto, essa abordagem é demorada e não é ideal para o monitoramento rápido e contínuo da umidade do solo na escala regional (SANTOS et al., 2011).

Diversos pesquisadores vêm utilizando dados espectrais terrestres e orbitais para determinação espacial da umidade do solo. De acordo com Zhan et al. (2004), variações na umidade do solo produzem mudanças significativas no balanço da energia da superfície.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar a modelagem espacial da umidade do solo a partir do método trapezoidal de proposto por Carlson (2007) para obtenção do conteúdo volumétrico de água no solo, comparado com amostras in situ de umidade do solo, em área do Cerrado paulista.

METODOLOGIA

As bacias hidrográficas estudadas estão localizadas no município de Águas de Santa Bárbara, SP. O uso da terra dessas bacias hidrográficas é variado: vegetação natural (Cerrado), reflorestamento comercial (eucalipto), canaviais, área urbana, áreas úmidas e estradas (MANZIONE, 2018). Foram coletadas 70 amostras de solo entre 10 e 12 de dezembro de 2015 utilizando uma sonda TDR 100, da Campbell Scientific. Foi realizada interpolação espacial da umidade do solo por meio de krigagem ordinária.

Foi utilizada, para obtenção do índice NDVI e temperatura superficial, uma imagem digital do satélite Landsat-8 de 13 de dezembro de 2015. A modelagem envolveu as bandas da região do visível (azul, verde e vermelho) e infravermelho próximo, com resolução espacial de 30 metros. Utilizou-se dados agrometeorológicos (radiação solar global e temperatura do ar) de estações automáticas do INMET e da Estação Ecológica de Santa Bárbara. A temperatura de superfície (LST) foi obtida pelo método residual (TEIXEIRA, LEIVAS e SILVA, 2016). O Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI) tratou-se da razão entre a diferença entre o valor da banda do infravermelho e do vermelho e a soma dessas duas bandas, por pixel. O método proposto por Carlson (2007) utilizou a temperatura de superfície e o normalizados através das equações 1 e 2, respectivamente, permitindo a construção de um gráfico em formato trapezoidal.

$$T_0^* = \frac{T_0 - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad (1)$$

$$NDVI^* = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

Os dados normalizados permitem isolar pixels com nuvens e água que tendem a estar fora do triângulo e a comparação de dados ou pixels de diferentes datas e estações do ano dentro da mesma estrutura. O método geométrico desenvolvido por Carlson (2013) apresenta uma solução geométrica simples, porém embasada em argumentos físicos, onde a disponibilidade de umidade no solo, ou armazenamento de água no solo, (M_0) é definida pela equação 3 e 4:

$$M_0^* = \frac{\theta_{solo}}{\theta_{cc}} \quad (3)$$

$$M_0^* = 1 - \frac{T_0^*}{T_{NDVI}^*} \quad (4)$$

Onde θ_{solo} é o conteúdo volumétrico de água atual no solo, θ_{cc} é a capacidade de campo, T_0^* é a temperatura de superfície normalizada, que é obtida a partir da temperatura de superfície escalonada entre as temperaturas mínima e máxima no trapézio e T_{NDVI}^* é uma função interpolada, a partir dos pontos que compõem a borda quente ou a faixa de terreno onde a disponibilidade hídrica é nula ($M_0 = 0$), que tem como variável independente $NDVI^*$. As variáveis T_0^* e T_{NDVI}^* , variam de 0 a 1.

As análises estatísticas e modelagem espacial foram realizadas com o software R (R CORE TEAM, 2018). A confecção de mapas foi realizada com o software ArcGIS 10.4.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de umidade de solo foram interpolados através de krigagem ordinária, por meio de um modelo esférico ajustado de acordo com o variogramada da Figura 1 (lado esquerdo), com resultado exposto na Figura 2 (canto inferior esquerdo). Os parâmetros variográficos do teor de umidade do solo utilizados foram: efeito pepita de 4,5, patamar de 12 e alcance de 0,015. Os valores de LST e NDVI (expostos nos mapas da fileira superior da Figura 2) foram normalizados e plotados de acordo com a Figura 1 (lado direito).

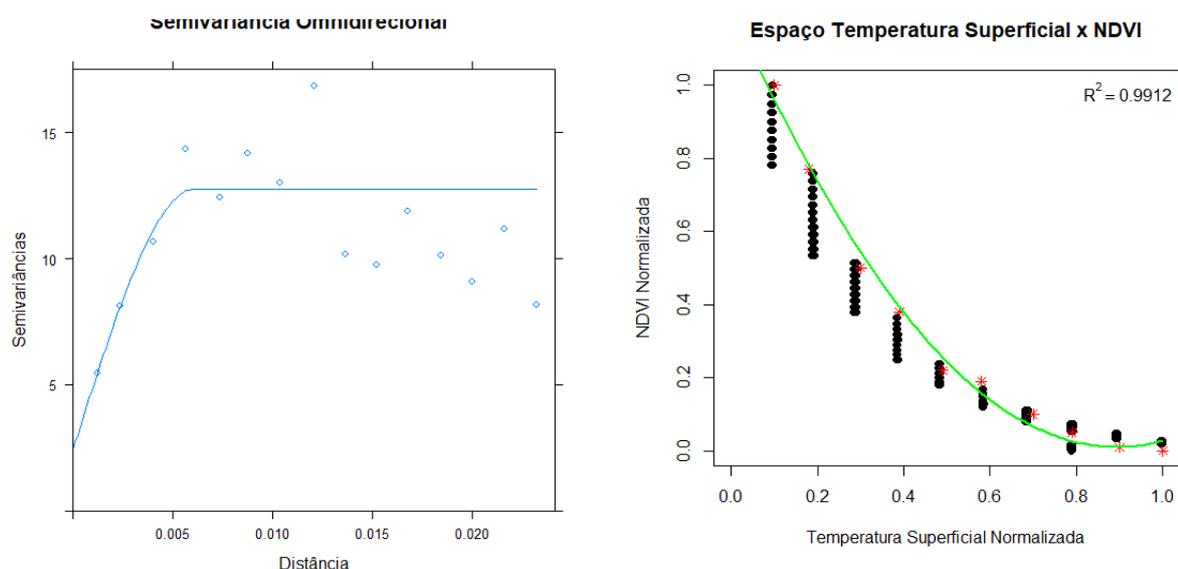


Figura 1. Variograma anisotrópico da umidade à base de peso (%) na direção 0° com modelo esférico ajustado (esquerda) e espaço LST vs. NDVI normalizados e ajuste de curva (direita)

A curva ajustada para a relação entre a temperatura de superfície normalizada e o NDVI normalizado obteve valor de R^2 de 0,9912 com valor-p nulo a 1% de significância, indicando que a curva se ajustou bem à nuvem de pontos situada na borda quente do trapézio formado pelo espaço Temperatura Superficial x NDVI. A equação calibrada para (4) foi $T_{NDVI}^* = 0,0149 \cdot NDVI^{*2} - 0,2694 \cdot NDVI^* + 1,2308$.

Com a aplicação da Equação 4 foi obtido o armazenamento de água no solo (Figura 2), que variou de 18 a 91%. A capacidade de campo, obtida pela aplicação dos valores medidos de umidade do solo e valores modelados de conteúdo de água no solo na Equação 3, convergiu para o valor de $0,19 \pm 0,06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

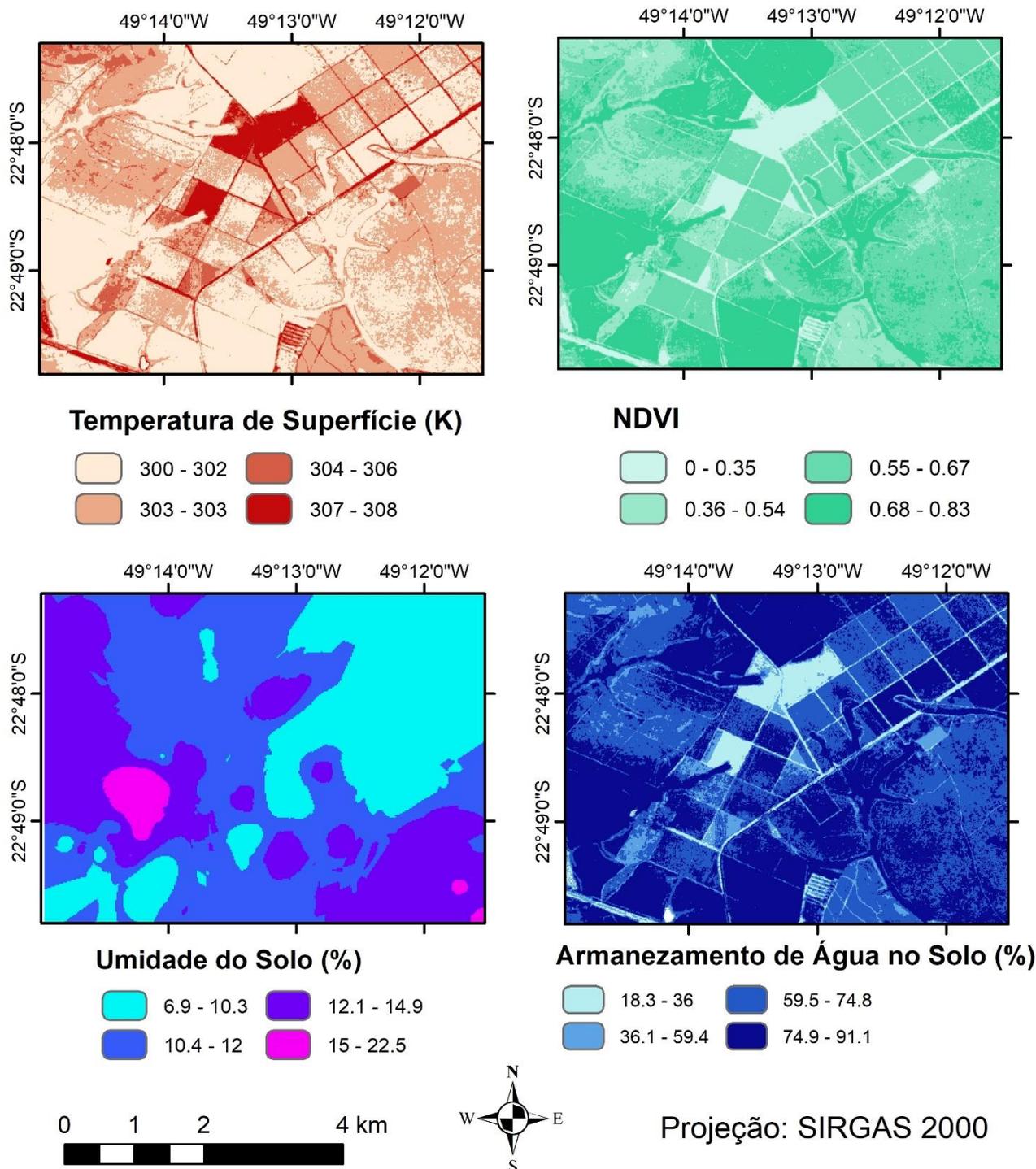


Figura 2. Temperatura superficial (em Kelvin), NDVI, umidade do solo interpolada através de krigagem (em porcentagem volumétrica) e armazenamento de água no solo através do modelo trapezoidal (em porcentagem volumétrica)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de krigagem para interpolação foi eficiente, com ajuste de curva esférica se adequando ao conjunto de dados de umidade do solo. A utilização do modelo trapezoidal para modelagem foi adequada, pois, a modelagem do armazenamento de água no solo em comparação aos valores medidos de umidade do solo convergiram à um valor de umidade a capacidade de campo, como suposto inicialmente pelo modelo.

A espacialização desses componentes do balanço hídrico e balanço de energia são essenciais aos estudos subsuperficiais, com aplicações na área de drenagem subsuperficial e subterrânea, manejo de irrigação assim como estudos sobre recarga de aquífero.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa através da bolsa de mestrado concedida ao autor principal (Processo 143127/2017-9).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARLSON, T. An Overview of the "Triangle Method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. **Sensors**, v.7, p.1612-1629, 2007.

MONTENEGRO, A.A.A. & MONTENEGRO, S.M.G.L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 30-37, 2006.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P.; SINGH, V.P. & SANTOS, T.E.M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139-149, 2013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em 15 jun. 2018.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A. & SILVA, D.D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 670-679, 2011.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F. ; SILVA, G. B. Options for using Landsat and RapidEye satellite images aiming the water productivity assessments in mixed agro-ecosystems. **Proceedings of SPIE**, v. 9998, p. 99980A-1-99980A-11, 2016.

ZHAN, Z.; QIN, Q.; WANG, X. The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid area. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v.3, p. 1551-1554, 2004.