



Uso do sensoriamento remoto para estimar a umidade do solo na zona radicular do cafeeiro⁽¹⁾.

Bruno Montoani Silva⁽²⁾; Walbert Junior Reis dos Santos⁽³⁾; Aline Martineli Batista⁽⁴⁾; Geraldo César de Oliveira⁽⁵⁾; João José Marques⁽⁶⁾; Nilton Curi⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq, Fapemig e CAPES.

⁽²⁾ Professor; Universidade Federal de São João Del-Rei; Sete Lagoas, MG; montoani@ufsj.edu.br ⁽³⁾ Professor; Instituto Federal do Sul de Minas Gerais; Muzambinho, MG; walbert.santos@muz.ifsuldeminas.edu.br ⁽⁴⁾ Graduanda em Engenharia Agrônoma / Bolsista Pet-Agronomia; Universidade Federal de São João Del-Rei; martineli.aline@gmail.com

⁽⁵⁾ Professor; Universidade Federal de Lavras; Lavras, MG; jmarques@dcs.ufla.br ⁽⁶⁾ Professor; Universidade Federal de Lavras; Lavras, MG; niltcuri@dcs.ufla.br.

RESUMO: A umidade do perfil do solo é um fator significativo no controle do vigor das plantas, mas a sua medida para grandes áreas e com frequência temporal é difícil, portanto, torna-se atraente o uso de dados de sensores remotos. Neste contexto, os objetivos deste trabalho foram verificar a relação entre a umidade no perfil do solo e o vigor da planta, medido pelo Índice de Vegetação EVI-2 e identificar, com o auxílio do EVI-2, a profundidade do solo que pode ser considerada a profundidade efetiva de extração de água pelas plantas. Os dados foram coletados em uma área de cultivo de café em São Roque de Minas - MG, na Bacia do Alto Rio São Francisco. A umidade do solo foi medida com uma sonda de multi-sensores de capacitância (MCP), de março a dezembro de 2010, nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm, e do vigor das plantas de café foi avaliado pelo índice de vegetação EVI-2. Verificou-se correlação entre o vigor vegetativo das plantas de café e a umidade do solo na zona radicular. Existe um atraso de resposta do vigor das plantas de café à umidade do solo, que varia de acordo com a profundidade e com o conteúdo de água no perfil do solo. A maior correlação foi obtida a uma profundidade de 60 cm, o que sugere que esta região é a que melhor reflete a situação hídrica da planta.

Termos de indexação: EVI-2, relação solo-água-planta, manejo da água no solo.

INTRODUÇÃO

O conteúdo de água no perfil do solo varia ao longo do tempo, sendo resultado da distribuição das chuvas, capilaridade e drenagem do solo, escoamento, evapotranspiração e irrigação (Silva, 2012). E este é um dos principais fatores que afetam o crescimento e vigor das plantas (Magagi e Kerr, 2001; Wang et al., 2007).

Para cafeeiros cultivados em solos profundos, como é o caso da maioria dos solos da região do Cerrado brasileiro, o principal fator limitante é a água, devido aos longos períodos de seca e

constantes veranicos no período chuvoso (Evangelista et al., 2002). Como estes solos apresentam baixos teores de Ca^{2+} e elevada saturação por Al^{3+} , isto impede que o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, mesmo em camadas onde a umidade é adequada (Silva, 2012).

Embora os dados de detecção remota para estimar a umidade próximo da superfície do solo tenham sido utilizados com sucesso (Mulder et al., 2011), esta informação é limitada a alguns centímetros abaixo da superfície e não permite o acesso a toda a zona radicular (Liu et al., 2012). Além disso, a vegetação diminui a sensibilidade desses sensores (Narayan et al., 2004). Assim, Crow et al. (2008), Liu et al. (2012), Schnur et al. (2010) e Wang et al. (2007) utilizaram índices de vegetação, obtidos por sensoriamento remoto, para medir o vigor da planta e compará-lo com a umidade do solo na zona radicular.

Os índices de vegetação combinam dados de satélite em diferentes comprimentos de onda para separar padrões de vegetação em uma única imagem (Rouse et al., 1973); estes índices são utilizados para uma grande variedade de estudos envolvendo vegetação (Jiang et al., 2008). Exemplos de índices de vegetação amplamente utilizados em estudos ambientais são NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index), ambos disponíveis no satélite Terra/MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). O NDVI utiliza as bandas referentes ao infra-vermelho próximo e ao vermelho e, apesar da utilidade desse índice para estudos de vegetação, ele ainda mostra algumas limitações, tais como a alta influência do solo no índice e saturação do índice em áreas com elevada biomassa (Jiang et al., 2008). Devido a estas limitações, o EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação com aumento da sensibilidade em regiões com alta biomassa e reduzir as influências atmosféricas e do solo sobre os valores do índice. Além das bandas do vermelho e do infra-vermelho próximo, o EVI usa também a banda do



azul (Méndez-Barroso et al., 2009). Jiang et al. (2008) desenvolveram o EVI-2, que produz resultados muito semelhantes aos do EVI. No entanto, o EVI-2 não usa os dados no comprimento de onda azul, que é originado a partir do satélite Terra/MODIS, mas é gratuito no laboratório virtual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para qualquer coordenada geográfica da América do Sul (<<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>).

Os índices de vegetação quantificam a evolução da área foliar, sanidade e vigor da vegetação, que são influenciados, entre outros fatores, pelo clima e pelo teor de umidade do solo (Liu et al., 2012). Isso acontece porque as plantas ajustam seus processos biológicos para coincidir com a condição local de clima e com a disponibilidade de água no solo (Schnur et al., 2010). No entanto, tal como observado por Liu et al. (2012), Méndez-Barroso et al. (2009), Schnur et al. (2010) e Wang et al. (2007), as plantas precisam de um tempo para responder às mudanças das condições atmosféricas, que é chamado de "tempo de atraso de resposta" no presente trabalho.

Neste contexto, os objetivos do trabalho foram verificar a relação entre a umidade no perfil do solo e o vigor da planta, medido pelo índice de vegetação EVI-2 e identificar, com o auxílio do EVI-2, a profundidade do solo que pode ser considerada como profundidade efetiva de extração de água pelas plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada em São Roque de Minas - MG, na Bacia do Alto São Francisco, com coordenadas de 20°15'S e 46°22'WGr e altitude média de 900 m. O clima nesta região é Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.344 mm e possui uma estação seca bem definida nos meses de maio a setembro; temperatura média anual de 20,7°C e umidade relativa média de 60%.

Este estudo foi realizado em uma área de cultivo de *Coffea arabica* L., cultivar Catucaí, com dois anos de idade e espaçamento de 2,5 m entre linhas e 0,65 m entre plantas. O solo é um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2013).

A umidade do solo foi medida com sonda de multi-sensores de capacitância (MCP), de março a dezembro de 2010, nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60, e 100 cm. O vigor das plantas de café foi avaliado pelo índice de vegetação EVI-2 (3 pixels de 17 imagens).

Os coeficientes de correlação de Pearson (r) foram calculados entre a média dos três pixels do

EVI-2 de cada imagem e relacionados com o conteúdo de água no solo para as profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm com 10, 5 e 0 dias de atraso em relação à data da imagem do EVI-2. Esta metodologia foi proposta por Wang et al. (2007) e Schnur et al. (2010) para avaliar o tempo de resposta do vigor da planta à umidade do solo.

Mais detalhes sobre a metodologia estão descritos em Santos et al. (2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação temporal do EVI-2 foi diretamente relacionada às condições hidropedológicas da área (Figuras 1 e 2), o que também foi observado por Méndez-Barroso et al. (2009). Os maiores valores de EVI-2 foram observados em momentos de maior teor de precipitação e conteúdo de água no solo (Figuras 1 e 2), indicando alta atividade fotossintética e acúmulo de biomassa, semelhante ao que acontece em áreas de cerrado nativo durante os meses chuvosos de verão (Ferreira et al., 2006). Por outro lado, os menores valores ocorreram durante o período de seca, devido ao menor vigor fotossintético das plantas de café, causado pelo déficit hídrico (Sims & Gamon, 2002), resultando em menor vigor vegetativo medido pelo EVI-2. Isto também foi observado por Ferreira et al. (2006), tanto em ecossistemas naturais, quanto agrícolas, na região do Cerrado.

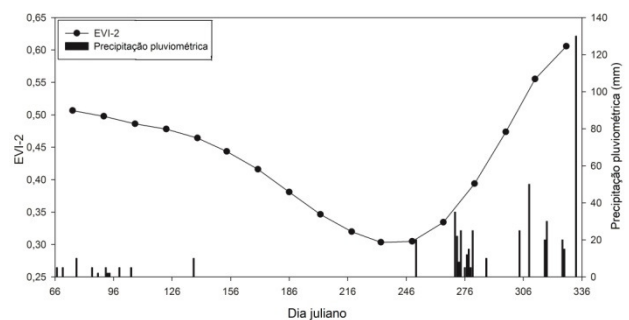


Figura 1 - Comportamento temporal do índice de vegetação EVI-2 médio e precipitação média da área de estudo (Santos et al., 2014).

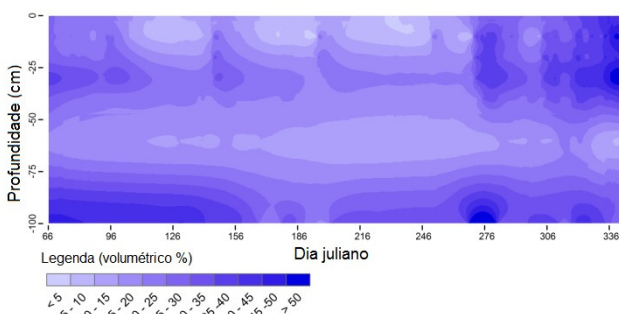


Figura 2 - Superfície contínua profundidade X tempo para umidade do solo da área de estudo no período avaliado. Fonte: Silva (2012).

Em todas as situações, os maiores coeficientes de correlações envolvendo o EVI-2 e a umidade do solo ocorreram com atraso de 5 ou 10 dias (**Figura 3**). Isso pode estar relacionado com o teor de clorofila e com a taxa de crescimento, influenciado pelas condições climáticas de alguns dias ou semanas anteriores (Liu et al., 2012). Tal comportamento também foi observado por outros autores (Liu et al., 2012; Méndez-Barroso et al., 2009; Schnur et al., 2010; Wang et al., 2007).

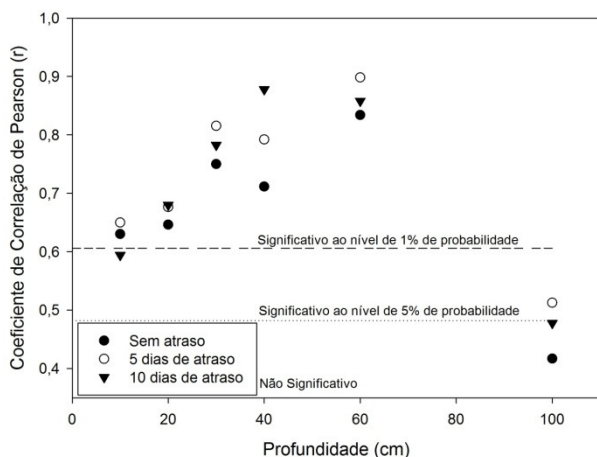


Figura 3 - Correlação de Pearson entre EVI-2 e umidade do solo em diferentes profundidades do perfil do solo e diferentes tempos de atraso do EVI-2 (valores acima da linha tracejada são significativos ao nível de 1% de probabilidade, valores entre a linha pontilhada e tracejada são significativos ao nível de 5% de probabilidade, os valores abaixo da linha pontilhada não são significativos) (Santos et al., 2014).

O maior tempo de atraso de resposta (10 dias) do vigor da planta para a umidade do solo a 40 cm de profundidade (**Figura 3**) pode ser explicado pela evaporação inferior - nenhuma radiação solar e influência eólica - em comparação com as camadas

superiores e, além disso, nesta profundidade o teor de água era maior do que em 60 cm (**Figura 2**). De acordo com Wang et al. (2007), em condições de umidade mais elevadas, o tempo de resposta do vigor vegetativo tem um atraso mais longo.

O menor atraso do tempo de resposta na profundidade de 60 cm (5 dias) é devido ao seu menor teor de água, como observado durante todo o estudo (**Figura 3**). Pequenas mudanças de umidade nessa profundidade são mais rapidamente detectadas pelas plantas, resultando em uma resposta mais rápida. O mesmo comportamento foi observado por Wang et al. (2007), quando ao compararem áreas regiões de clima mais seco com regiões mais úmidas.

A alta correlação entre o vigor da planta e a umidade do solo a 60 cm de profundidade pode estar associada à maior absorção de água pela planta do café naquela profundidade, tal como observado por Silva (2012) utilizando o mesmo banco de dados (**Figura 2**). Ele observou uma frente de secamento nessa camada (**Figura 2**) que coincide com a maior densidade de raízes.

A menor correlação entre a umidade e o vigor vegetativo da planta foi encontrada a 100 cm de profundidade (**Figura 3**). Poucas raízes nessa profundidade indicam menor absorção de água pelas plantas (Silva, 2012), mostrando pouco ou nenhum efeito sobre o vigor das plantas.

Uma baixa correlação da umidade do solo com o maior vigor da planta também foi observado na camada superficial (0 a 20 cm). Neste caso, há elevada variabilidade temporal do conteúdo de água nessa camada (**Figura 3**). A camada superficial do solo é mais suscetível às alterações climáticas, podendo secar rapidamente pela ação da radiação solar e do vento, que aceleram o processo de evaporação, mas umedece rapidamente também, devido a ocorrência de chuvas (Hu et al., 2010).

As significativas e elevadas correlações encontradas (**Figura 3**) indicam o potencial do uso de dados de sensoriamento remoto para avaliar a umidade na zona radicular, em uma escala de manejo ou cultivo, como já foi proposto por Wang et al. (2007) e Schnur et al. (2010) para grandes áreas situadas em condições climáticas muito diferentes da região do Cerrado brasileiro.

Futuros estudos envolvendo uma grande variedade de culturas, em diferentes climas e solos são estimulados.



CONCLUSÕES

A maior correlação entre o conteúdo de água no solo e EVI-2 foi observada a 60 cm, o que sugere que essa região é a que melhor reflete a situação hídrica da planta.

Existe um atraso de resposta do vigor do café à umidade do solo, e esse tempo varia de acordo com a profundidade e conteúdo de água no perfil do solo.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro; à Embrapa Café e à FAPEMIG pelo financiamento do projeto; e à EPAMIG e ao Grupo AP pelo apoio logístico e assistência no trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

- Crow, W.; Kustas, W.; Prueger, J. Monitoring root-zone soil moisture through the assimilation of a thermal remote sensing-based soil moisture proxy into a water balance model. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1268–1281, 2008.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 2 ed. Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, 2013.
- Evangelista, A. W. P.; Carvalho, L. G. de; Sedyama, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6: 445-452, 2002.
- Ferreira, M. E.; Ferreira, L. G.; Huete, A. R.; Peccinini, A. A. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma cerrado. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24: 251–260, 2006.
- Hu, W.; Shao, M.; Han, F.; et al. Watershed scale temporal stability of soil water content. *Geoderma*, 158: 181-198, 2010.
- Jiang, Z.; Huete, A.; Didan, K.; et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3833–3845, 2008.
- Liu, S.; Roberts, D. A.; Chadwick, O. A.; et al. Spectral responses to plant available soil moisture in a Californian grassland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9: 31–44, 2012.
- Magagi, R. D.; Kerr, Y. H. Estimating surface soil moisture and soil roughness over semiarid areas from the use of the copolarization ratio. *Remote Sensing of Environment*, 75: 432–445, 2001.
- Méndez-Barroso, L. A.; Vivoni, E. R.; Watts, C. J.; et al. Seasonal and interannual relations between precipitation, surface soil moisture and vegetation dynamics in the North American monsoon region. *Journal of Hydrology*, 377: 59–70, 2009.
- Mulder, V. L.; Bruin, S. de; Schaepman, M. E.; et al. The use of remote sensing in soil and terrain mapping — A review. *Geoderma*, 162: 1–19, 2011.
- Narayan, U.; Lakshmi, V.; Njoku, E. G. Retrieval of soil moisture from passive and active L/S band sensor (PALS) observations during the Soil Moisture Experiment in 2002 (SMEX02). *Remote Sensing of Environment*, 92: 483–496, 2004.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM*, Washington. Proceedings. Washington: NASA, 1: 309-317, 1973.
- Santos, W. J. R.; Silva, B. M.; Oliveira, G. C.; et al. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. *Geoderma (Amsterdam)*, 21: 91-95, 2014.
- Schnur, M. T.; Xie, H.; Wang, X. Estimating root zone soil moisture at distant sites using MODIS NDVI and EVI in a semi-arid region of southwestern USA. *Ecological Informatics*, 5: 400–409, 2010.
- Silva, B. M. Dinâmica espaço – temporal da água no solo cultivado com cafeeiro nas condições climáticas do Alto São Francisco (MG). Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras. 2012. 78 p.
- Sims, D. A.; Gamon, J. A. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 84: 526–537, 2003.
- Wang, X.; Xie, H.; Guan, H., et al. Different responses of MODIS-derived NDVI to root-zone soil moisture in semi-arid and humid regions. *Journal of Hydrology*, 340: 12–24. 2007.