

INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS DISPONIBILIZADOS PARA PRODUTORES RURAIS DO OESTE DA BAHIA

Janice Freitas Leivas

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Antônio Heriberto de Castro Teixeira

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Celina Maki Takemura

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Edlene Aparecida Monteiro Garçon

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Julio Cesar Bogiani

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Davi de Oliveira Custódio

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Elio Lovisi Filho

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

RESUMO

Objetivo: O objetivo deste estudo é disponibilizar informações sobre o desenvolvimento do aplicativo (app) MonitoraOeste, desenvolvido pela Embrapa Territorial, para produtores do oeste da Bahia. **Métodos:** A metodologia utilizada foi o algoritmo SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) para obtenção de indicadores agrometeorológicos espectrais. Para a aplicação do modelo são necessários dados de estações meteorológicas, disponibilizados pelo INMET, e imagens do satélite MODIS, com resolução espacial de 250m e temporal de 16 dias. **Resultados:** Nesse aplicativo, são disponibilizadas informações sobre a dinâmica da vegetação natural e das culturas irrigadas ao longo do ciclo da cultura, como Evapotranspiração (ET), biomassa (BIO), produtividade da água (PA) e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), visando acompanhar a dinâmica da vegetação natural e culturas irrigadas ao longo do ciclo agrícola, e disponibilizar essas informações de maneira rápida e prática aos produtores do oeste da Bahia, através de aplicativo mobile (app) , disponibilizado em sistema Android e IOS. **Conclusão:** Conclui-se que a metodologia aplicada constitui uma ferramenta eficaz no monitoramento das culturas agrícolas, utilizando imagens de satélite e dados de estações meteorológicas. O modelo SAFER mostrou-se eficaz para estimar parâmetros biofísicos como evapotranspiração e produção de biomassa em áreas irrigadas no oeste da Bahia, diferenciando as fases e o vigor das culturas de acordo com as características espectrais observadas na aplicação do modelo agrometeorológico espectral. Os resultados deste estudo podem auxiliar no monitoramento das culturas, auxiliando na tomada de decisões sobre o vigor das culturas (soja, milho e algodão e outros).

Palavras-chave: evapotranspiração; biomassa; aplicativo de celular.

INTRODUÇÃO

O oeste da Bahia se destaca por sua atividade agrícola em larga escala, utilizando tecnologia avançada, proporcionando altos rendimentos de soja, milho e algodão. Ações como correção do solo, características geográficas e políticas públicas transformaram o agronegócio da região, tornando-a uma das regiões mais produtivas do país, consolidando agroindústria e exportação, sendo considerado o maior aglomerado de grãos do nordeste brasileiro. Esta região tem a soja como principal atividade agrícola, ocupando 69% das áreas agrícolas. Embora culturas como milho e algodão complementem a matriz produtiva local, a soja movimentou a economia vendendo 50% de soja fresca para indústrias da região e exportando 47% da produção para países como China (66%), Japão (11%) e Países Baixos (8%) (Aiba, 2016).

O clima do oeste da Bahia possui estações bem definidas, topografia plana e índices de chuva que contribuem para a definição de limites territoriais, além de uma extensa bacia hidrográfica com rios perenes sobre o aquífero de Urucuaia, melhorando a irrigação. Com uma estação chuvosa bem definida, esse trecho de grandes extensões permitiu o desenvolvimento de várias atividades agrícolas. Índices de chuva de até 1800 mm e outras condições climáticas e de características do solo favoráveis contribuem para o sucesso do agronegócio na região.

O monitoramento dos parâmetros biofísicos em larga escala tem fundamental importância na tomada de decisão para o uso racional da água. Uma das grandes dificuldades desse monitoramento é a necessidade de algoritmos biofísicamente realísticos, mas que sejam simples para a sua operacionalização. O modelo agrometeorológico espectral Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving (SAFER) foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo e imagens Landsat, envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas nas condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA, 2010). A vantagem da aplicação do modelo é a não obrigatoriedade de utilizar imagens de satélite com a banda termal, além da possibilidade de utilização de dados de estações agrometeorológicas (automáticas ou convencionais), possibilitando avaliar a série histórica de parâmetros como biomassa e evapotranspiração, em larga escala.

A tendência de escassez de recursos hídricos, em contraponto à sua demanda crescente, causam sérios conflitos sobre o uso da água. Nos últimos

anos, a supervisão da Agência Nacional de Águas (ANA) tem sido mais rigorosa, fazendo com que os irrigadores interrompam novas plantações em áreas irrigadas devido à escassez de água.

Nos últimos anos, no oeste da Bahia, as culturas irrigadas substituíram a vegetação natural rapidamente. Essa mudança no uso da terra destaca a importância do desenvolvimento e ferramentas para quantificação de aplicações de parâmetros de produtividade da água em larga escala, permitindo a análise dinâmica de agro-ecossistemas mistos (Teixeira *et al.*, 2015).

Considerando os efeitos das mudanças no uso da terra nos perímetros de irrigação, é importante o desenvolvimento e a aplicação de ferramentas para quantificar parâmetros agrometeorológicos, avaliando a dinâmica de sistemas agrícolas, acompanhando o desenvolvimento das lavouras, como as áreas irrigadas no oeste da Bahia.

Os métodos de estimativa de evapotranspiração geralmente permitem obter dados em escala local. Entretanto, regiões com superfícies heterogêneas com diferentes tipos de solo e vegetação apresentam taxas de evaporação bastante diferentes, o que não pode ser percebido nos métodos tradicionais de estimativa. O sensoriamento remoto permite estimar a evapotranspiração em grandes áreas, em função das características biofísicas obtidas em cada pixel. Outra grande vantagem do uso de imagens de satélite na estimativa de indicadores agrometeorológicos espectrais em escala regional é que a quantidade de água consumida no processo de evapotranspiração pode ser detectada sem a necessidade de quantificação de outros parâmetros hidrológicos, como a umidade do solo.

Por técnicas de sensoriamento remoto, é possível obter informações de superfície sem medições diretas obtidas por captura de energia convertida em informações digitais. Assim, as informações das culturas obtidas a partir de imagens de satélite podem ser acopladas aos dados das estações meteorológicas, para a estimativa de parâmetros como evapotranspiração (ET) e biomassa (BIO) em larga escala. Para obter os parâmetros agrometeorológicos, foi aplicado o modelo agrometeorológico-espectral SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) utilizando imagens de satélite MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (Teixeira *et al.* 2013). O algoritmo SAFER foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo e imagens Landsat envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas no semi-árido brasileiro.

O monitoramento da evapotranspiração real por sensoriamento remoto nas lavouras de irrigação é uma ferramenta importante para aplicações como gerenciamento agrícola, monitoramento de recursos hídricos, análise da produtividade da água, estimativas de biomassa e produção agrícola (Morris *et al.*, 2013).

O modelo proposto para estimar a BIO com base na radiação solar global (RG) e no desenvolvimento de coberturas de plantas tem precisão aceitável e pode ser usado remotamente com qualquer satélite em diferentes ecossistemas (Bastiaanssen, 2003). Embora vários estudos já tenham sido realizados em larga escala, ainda são necessárias pesquisas sobre o uso de modelos para a combinação de ET e BIO, especialmente para aplicações que operam em diferentes superfícies com condições de escassez de água e uso racional dos recursos hídricos.

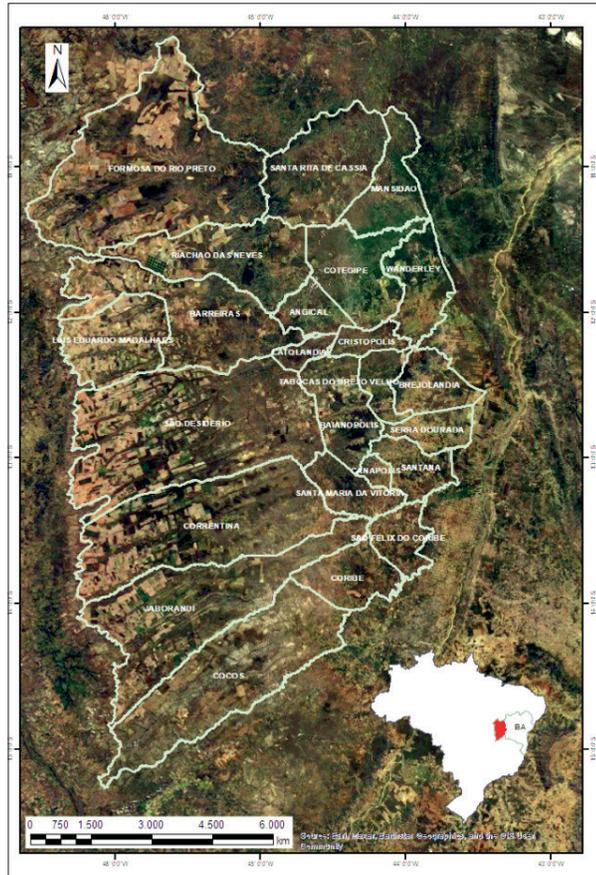
O objetivo deste estudo foi aplicar o SAFER juntamente com imagens de satélite e dados meteorológicos, disponíveis pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para quantificar a evapotranspiração (ET), a biomassa (BIO) e a produtividade da água (PA), em larga escala em área irrigada do oeste da Bahia, analisar a dinâmica da vegetação natural e culturas irrigadas ao longo do ciclo agrícola, e disponibilizar essas informações de maneira rápida e prática aos produtores do oeste da Bahia, através de aplicativo mobile (app), disponibilizado em sistema Android e IOS.

MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende o oeste da Bahia (Figura 1). Segundo a classificação de Koeppen, o clima da área de estudo é Aw, típico da savana, com inverno seco e temperatura média do ar no mês mais frio acima de 18 ° C e precipitação de 1800 mm.

Figura 1 - Localização da área de estudo, microrregião de Barreiras, no oeste da Bahia, Brasil.



Dados utilizados

São utilizados dados meteorológicos diários, disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), de radiação solar global (R_g), temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (v). As médias são calculadas a partir de 16 dias para corresponder à resolução temporal das imagens MODIS com o objetivo de obter parâmetros de evapotranspiração (ET), biomassa (BIO) e produtividade da água (PA), em larga escala.

Metodologia

Os parâmetros calculados por sensoriamento remoto para entrada nos modelos foram o albedo da superfície (α_0), a temperatura da superfície (T_s) e o NDVI. A ET é obtida pela aplicação do algoritmo SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) (Teixeira, 2012). A linguagem de programação Python é usada para processar o modelo.

Para os cálculos do albedo superficial (α_0) são utilizados os valores de refletância das bandas 1 e 2, extraídos do produto MODIS/MOD13Q1, com uma escala de tempo de 16 dias, garantindo uma resolução espacial de 250 m para todos os parâmetros de produtividade da água (Valiente *et al.*, 1995):

$$\alpha_0 = a + b\alpha_1 + c\alpha_2$$

Onde α_1 e α_2 são os valores de refletância para as bandas 1 e 2 das medições de satélite MODIS, e a, b e c são coeficientes de regressão obtidos comparando essas medições com dados de campo (Teixeira *et al.*, 2014a), incluindo os efeitos atmosféricos através do caminho da radiação. Seus valores encontrados para as condições semiáridas brasileiras foram, respectivamente, 0,08, 0,41 e 0,14.

Para a temperatura da superfície (T_s), foi aplicada a equação do balanço de radiação (Teixeira *et al.*, 2014b):

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \varepsilon_A \sigma T_a^4 - R_n}{\varepsilon_s \sigma}}$$

Onde R_G e T_a são, respectivamente, os valores diários da radiação solar incidente e a temperatura média do ar nas estações agrometeorológicas, R_n é a radiação líquida diária, ε_s e ε_A são respectivamente as emissividades atmosférica e de superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$). ε_s e ε_A são calculados da seguinte forma (Teixeira, 2010), (Teixeira *et al.*, 2014a) :

$$\varepsilon_s = a_s \ln NDVI + b_s$$

$$\varepsilon_A = a_A + (\ln \tau_s)^{b_A}$$

Onde τ_s é a transmissividade de ondas curtas calculada como a razão de R_G para a radiação solar incidente no topo da atmosfera, e a_S , b_S , a_A e b_A são coeficientes de regressão tomados como 0,06, 1,00, 0,94 e 0,10.

R_n diário pode ser descrito pelos valores de 24 horas da radiação líquida de ondas curtas, com um termo de correção para a radiação líquida de ondas longas na mesma escala de tempo:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_1 \tau_{sw}$$

Onde α_1 é o coeficiente de regressão da relação entre a radiação líquida de ondas longas e τ_{sw} em uma escala diária. Devido à influência térmica na radiação de ondas longas através da equação de Stephan Boltzmann, um estudo anterior investigou se as variações do coeficiente α_1 da Eq. 6 pode ser explicado por variações em 24 horas T_a :

$$a_1 = dT_a - e$$

Onde d e e são coeficientes de regressão encontrados foram 6,99 e 39,93, respectivamente, para as condições do nordeste brasileiro. O algoritmo SAFER é usado para modelar os valores instantâneos da relação ET / ET_0 , que é então multiplicada pelo ET_0 das estações meteorológicas para estimar os valores diários de larga escala do ET :

$$\frac{ET}{ET_0} = \left\{ \exp \left[f + g \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \right\}$$

Onde ET_0 é o mapa da evapotranspiração de referência de estações meteorológicas calculado pelo método de Penman-Monteith e f e g são os coeficientes de regressão, 1,9 e 0,008, respectivamente.

A fração evaporativa (E_f) é incluída para levar em conta os efeitos da umidade do solo e é definida como o fluxo de calor latente (λE) dividido pela energia disponível, que por sua vez é a diferença entre R_n e o fluxo de calor do solo (G):

$$E_f = \frac{\lambda E}{R_n - G}$$

Onde λE é obtido transformando ET em unidades de energia, com todos os termos de energia considerados em MJ m⁻² d⁻¹ no algoritmo SAFER.

Para os valores diários de G, foi utilizada a equação:

$$\frac{G}{R_n} = a_G \exp(b_G \alpha_0)$$

Onde a_G e b_G são coeficientes de regressão considerados 3,98 e -25,47, respectivamente.

Os valores diários de RG são utilizados para estimar a radiação fotossinteticamente ativa em grande escala (PAR) para a escala de tempo diária:

$$PAR = hR_G$$

Onde h = 0,44 é a constante da equação de regressão encontrada nas condições brasileiras que reflete a porção de GR que pode ser utilizada pela clorofila foliar para fotossíntese.

Os valores da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) são obtidos diretamente do PAR:

$$APAR = f_{PAR} PAR$$

O fator f_{PAR} é estimado a partir dos valores de NDVI (Teixeira *et al*, 2009), (Khandelwal, 1991):

$$f_{PAR} = iNDVI + j$$

Os coeficientes i e j são 1.257 e -0.161, respectivamente, foram relatados para uma mistura de tipos de culturas e a BIO é quantificada como:

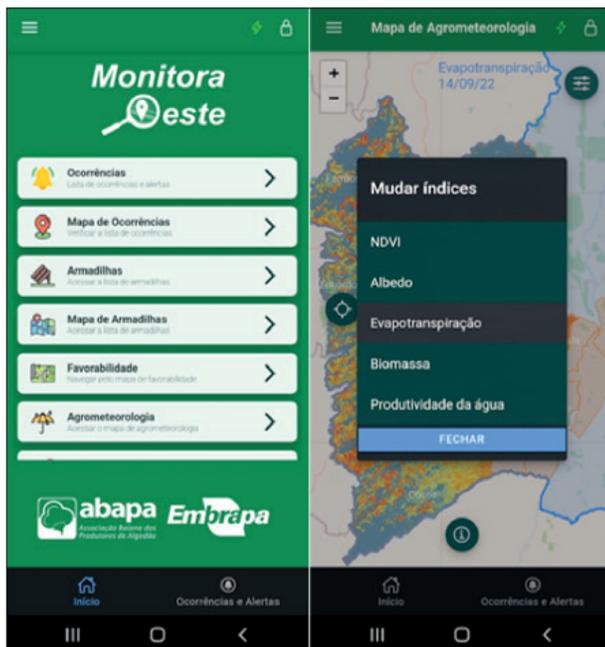
$$BIO = \varepsilon_{max} E_f APAR 0.864$$

Onde ε_{max} é a eficiência máxima de uso da luz, que depende se a vegetação e das espécies c3 ou c4 e 0,864 é um fator de conversão unitário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, é apresentado o layout inicial do AppMobile MonitoraOeste, disponível para plataformas Android e IOS.

Figura 2 - Layout do app Monitora Oeste (a) e suas funcionalidades (b).

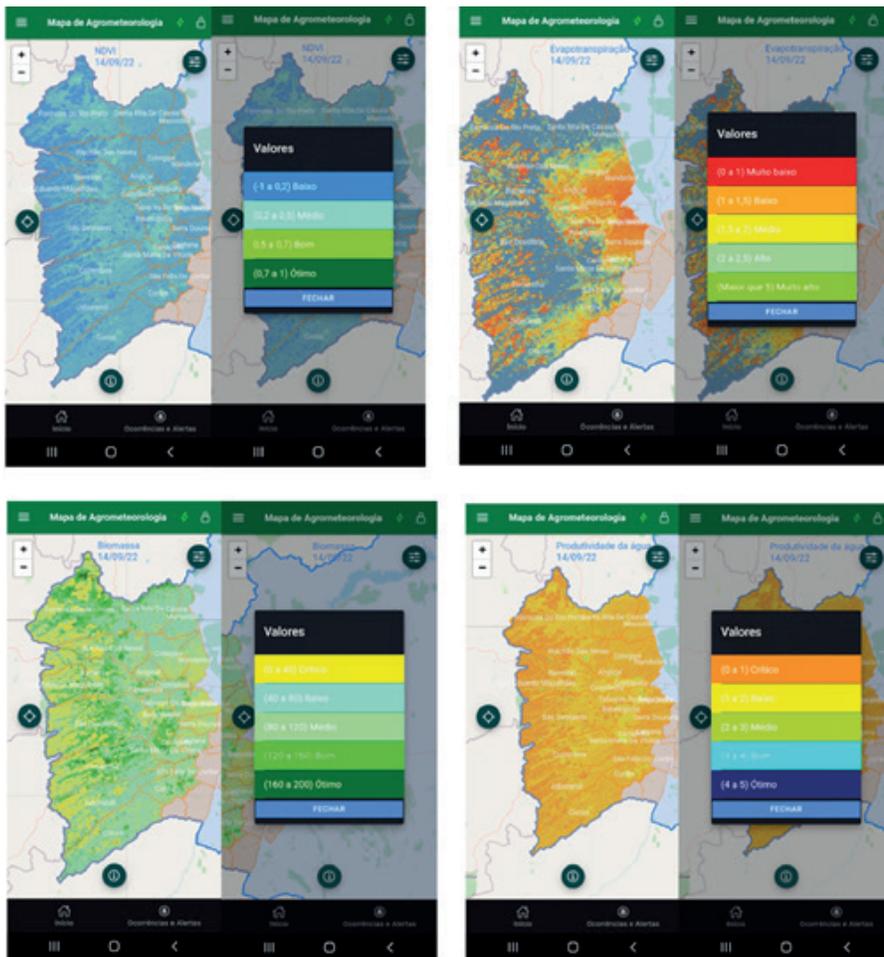


Na Figura 3, são apresentados os índices agrometeorológicos espectrais obtidos através do processamento do modelo SAFER, junto com imagens do satélite MODIS e dados meteorológicos do INMET, como o NDVI, evapotranspiração (mm), biomassa (Kg.ha-1.d-1) e produtividade da água (kg.m-3), no oeste da Bahia. Observa-se que os indicadores agrometeorológicos apresentam valores baixos, devido ao início do ciclo das culturas, com período de plantio e emergência das culturas NDVI, sendo observado que os valores do índice variam de baixo ($NDVI < 0,2$) a médio ($0,2$ a $0,4$), indicando baixa cobertura vegetal, devido ao período de plantio e emergência das culturas de verão (predominantemente soja).

A vantagem de usar imagens de satélite é que o produtor pode acompanhar o desenvolvimento das lavouras, em larga escala, podendo avaliar o vigor e uniformidade das plantas, de maneira remota, através de app, com facilidade de uso e de transporte, via telefone celular. Com isso, o produtor pode realizar

inferências sobre o pleno desenvolvimento das culturas, quanto à programação de fertilizantes, necessidades de irrigação, visando a produtividade potencial da cultura.

Figura 3 - Layout dos indicadores agrometeorológicos espectrais obtidos como NDVI, ET (mm), biomassa (Kg.ha⁻¹.d⁻¹) e produtividade da água (kg.m⁻³), no oeste da Bahia.



O NDVI é um indicador da quantidade e condição da vegetação verde, portanto seu valor representa o vigor da cultura. Nas áreas de pivô central, o NDVI, assim como a biomassa, apresentam valores maiores que nas áreas de sequeiro e de transição cerrado/caatinga.

Nas áreas de vegetação natural (transição entre cerrado e caatinga), foram observados os menores valores de ET contrastando com as áreas irrigadas,

com ET superiores a 5 mm (Figura 2). Isso se deve ao fato de que a energia disponível no sistema é utilizada para aquecimento do ar, enquanto que nas áreas irrigadas essa energia é dispendida para o processo evapotranspiratório. Durante a época seca, a Caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET (TEIXEIRA *et al.*, 2008).

Muitas aplicações de imagens de satélite MODIS combinadas com dados meteorológicos foram usadas para obter a BIO. No rio da bacia do Submédio São Francisco, foram obtidas estimativas da biomassa, através de imagens Landsat, obtendo produtividade hídrica em larga escala (Teixeira, 2009).

De acordo com as consistências espaciais e temporais, e após comparação com estudos anteriores de ponto e de larga escala com condições climáticas e térmicas semelhantes, o modelo SAFER, processado para disponibilização no aplicativo MonitoraOeste, mostrou-se eficaz em diferenciar os parâmetros de superfície como evapotranspiração, biomassa e produtividade da água, em larga escala, no oeste da Bahia. Os resultados são importantes para o monitoramento do desenvolvimento das culturas, assim como planejamento de próximos plantios, auxiliando no planejamento de uso da água em tempos de escassez hídrica.

Este estudo preliminar faz parte de um projeto de pesquisa Monitora Oeste, que visa atualizar as informações agrometeorológicas espectrais para os produtores do oeste da Bahia, com indicadores disponíveis a cada 16 dias, permitindo que os agricultores monitorem o desenvolvimento das culturas e auxiliando na tomada e gestão das decisões.

CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados no aplicativo MonitoraOeste, pode-se concluir que a metodologia aplicada constitui uma ferramenta eficaz no monitoramento das culturas agrícolas, utilizando imagens de satélite e dados de estações meteorológicas. O modelo SAFER mostrou-se eficaz para estimar parâmetros biofísicos como evapotranspiração e produção de biomassa em áreas irrigadas no oeste da Bahia, diferenciando as fases e o vigor das culturas de acordo com as características espectrais observadas na aplicação do modelo agrometeorológico espectral. Os resultados deste estudo podem auxiliar no monitoramento

das culturas, auxiliando na tomada de decisões sobre o vigor das culturas (soja, milho e algodão e outros). Os resultados podem contribuir com o uso racional dos recursos hídricos para fins de irrigação e manejo das culturas de sequeiro, de maneira prática e ágil, para a tomada de decisão, dos produtores do oeste da Bahia.

REFERÊNCIAS

AIBA, Crop 2015/2016 **Agricultural yearbook of western Bahia region**, Bahia Farmers and Irrigators Association, 68p, 2016.

Bastiaanssen, W.G.M., Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.94, n.3, p.321-340, Mar.2003.

Khandelwal, M.K. Meteorological aspects of wet season rice cultivation in Sunderbans region, India. **International Rice Research Newsletter** , v.16, p.25-26, 1991.

Morris, S.W.; Rodrigues, L.N. Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto: procedimento e aplicação em pivô central , ISSN 2176-509X, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 35p., 2013.

Teixeira, A. H. de C. "Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation," **Remote Sensing**, 2, 1287-1319 (2010).

Teixeira, A. H. de C. **Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agro-meteorological stations**. In: Remote Sensing and Hydrology (ed. by C. M. U. Neale & M. H. Cosh), 154-157. IAHS Publ. 352. IAHS Press, Wallingford, UK (2012).

Teixeira, A. H. de C., Bastiaanssen, W. G. M., Ahmad, M-ud-D, Bos, M. G. "Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale," **Agric. For. Meteorol.** 149, 477-490 (2009).

Teixeira, A.H. de C. **Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region**; LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 226p. (2009).

Teixeira, A.H. de C., Andrade, R.G., Leivas, J.F., Victoria, D.C., Bolfe, E.L. "Balanço de energia e produtividade da água em larga escala: caracterização, modelagem e aplicação no norte de Minas Gerais" **Informe Agropecuário**, v.36, n. 285, p.101-108, 2015.0100-3364, 2015.

Teixeira, A.H. de C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Moura, M.S.B., Bos, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystem of semi-arid Brazil, **Journal of Hydrology**, v.362, p. 110-127, 2008.

Teixeira, A.H. de C., Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v.2, n.5, p.1287-1319, May 2010.

Teixeira, A.H. de C., Hernandez, F.B.T., Andrade, R.G., Leivas, J.F., Victoria, D. de C., Bolfe, E.L. **Irrigation performance assessments for corn crop with Landsat images in the São Paulo state, Brazil**. Proc. INOVAGRI 739-748 (2014b).

Teixeira, A.H. de C., Hernandez, F.B.T., Lopes, H.L., Scherer-Warren, M., Basso, L.H. **A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil.** In: George G. Petropoulos. (Org.). Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content. 1ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 169-191 (2014a).

Teixeira, A.H. de C., Hernandez, F.B.T., Lopes, H.L., Scherer-Warren, M., Basso, L.H. **A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil.** In: George G. Petropoulos. (Org.). Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content. 1ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 169-191 (2014a).

Teixeira, A.H. de C., Scherer-Warren, M., Hernandez, F.B.T., Andrade, R.G., Leivas, J.F. "Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study," **Remote Sensing.** 55783-5804 (2013).

Valiente, J. A., Nunez, M., Lopez-Baeza, E., Moreno, J. F. "Narrow-band to broad-band conversion for Meteosat visible channel and broad-band albedo using both AVHRR-1 and -2 channels" Int. J. Remote Sensing. 16, 1147-1166 (1995).