

## **EIXO TEMÁTICO: Engenharia Agrônômica**

### **MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DA SOJA, EM DUAS SUB-REGIÕES PRODUTORAS DO OESTE BAIANO, USANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO.**

**Clara L. da S. Faustino<sup>1</sup>**

**Marcos A. V. Silva<sup>2</sup>**

**Jhonatas N. Silva<sup>3</sup>**

#### **RESUMO**

Este estudo mapeou a produtividade da água e evapotranspiração da soja no Oeste Baiano nas safras 2019/2020 e 2020/2021, utilizando imagens Sentinel-2A e 2B. O mapeamento da produtividade da água e evapotranspiração da soja foi realizado por meio de técnicas de sensoriamento remoto utilizando o algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving). Na safra 2019/2020, a maior evapotranspiração ocorreu entre 70 e 75 dias após a emergência, com alta demanda atmosférica (ET<sub>0</sub> média de 5,92 mm/dia e radiação de 26 MJ). A maior produtividade da água foi aos 70 dias após a emergência, com biomassa alta e menor evapotranspiração, resultando em valores 14% superiores ao dia 75. Com 199,6 mm de água de irrigação, a produtividade da água da irrigação (PA<sub>i</sub>) foi de 2,51 kg/m<sup>3</sup>. Os resultados demonstram a eficácia do algoritmo SAFER para monitoramento hídrico e manejo da irrigação, promovendo o uso sustentável da água na agricultura regional.

**Palavras-chave: Sentinel 2; SAFER; Glycine max**

#### **1 INTRODUÇÃO**

O setor agrícola é um motor essencial para o desenvolvimento econômico global e brasileiro. Na região do extremo oeste da Bahia, a soja domina a paisagem, ocupando cerca de 77% das áreas cultivadas (CONAB, 2020). As projeções para a safra 2023/2024 no Brasil indicam recordes históricos de área plantada, com uma produção estimada em 154,81 milhões de toneladas. A contribuição da produção de grãos é notável, com as tecnologias aplicadas desempenhando um papel crucial no aumento da produtividade (CEPEA, 2018).

O setor irrigado tem sido um impulsionador fundamental desse crescimento. A região estudada é reconhecida como o principal polo nacional de irrigação por Pivôs Centrais, com

---

<sup>1</sup> Eng. Agr. em andamento (UNEB). Discente da Universidade do Estado da Bahia (UNEB Campus IX), Barreiras, BA, E-mail: [clarafaustino250@gmail.com](mailto:clarafaustino250@gmail.com);

<sup>2</sup> DSc em Meteorologia Agrícola (UFV). Docente Universidade do Estado da Bahia (UNEB-PPGADT/PPGMSB), Barreiras, BA. E-mail: [maavsilva@uneb.br](mailto:maavsilva@uneb.br)

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção (Faculdade Santíssimo Sacramento). Mestrando da Universidade do Estado da Bahia (UNEB-PPGMSB), Barreiras, BA. E-mail: [jhonlimasilva@outlook.com](mailto:jhonlimasilva@outlook.com)

uma média de 147.087 mil hectares de áreas irrigadas e um grande potencial de expansão (ANA, 2017).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem se tornado cada vez mais relevante para quantificar a evapotranspiração da água. Imagens de satélite são convertidas em informações digitais e, combinadas com dados de estações meteorológicas, permitem uma análise mais complexa, quantificando não apenas a evapotranspiração (ET), mas também a produção de biomassa (BIO), essencial para determinar os componentes da produtividade da água (PA) (Teixeira e Leivas, 2017; Leivas et al., 2016; Miralles et al., 2011).

A produtividade da água (PA) é um dos indicadores mais utilizados para avaliar a eficiência do uso da água na produção agrícola, definida como o rendimento da cultura por unidade de consumo de água. O modelo SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving), desenvolvido por Teixeira (2010), destaca-se pela sua simplicidade e por não exigir a classificação de culturas para a aquisição de  $E_{Tr}$ , que se baseia na razão  $ET / ET_0$ .

Dessa forma, este estudo teve como objetivo mapear a produtividade da água e a evapotranspiração da cultura da soja em uma área produtora no Oeste Baiano, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para os anos agrícolas de 2019/2020 e 2020/2021.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo sobre a soja no Oeste Baiano, inicialmente mais abrangente, focou na Fazenda SAMA, em Luís Eduardo Magalhães (BA), devido à falta de dados de outros produtores. A fazenda, com 12 pivôs centrais cobrindo 1221,33 hectares, teve os pivôs P4 e P16 selecionados para a safra 2019/2020 e o P8 para 2020/2021. A área está no bioma Cerrado, com clima tropical  $A_w$  e estações chuvosa e seca bem definidas.

Dados agrometeorológicos de uma estação do INMET próxima forneceram informações sobre temperatura, umidade, vento e radiação solar, essenciais para calcular a Evapotranspiração de Referência ( $ET_0$ ) pelo método Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A fenologia da soja (cultivar MONSOY 8349IPRO) foi monitorada quinzenalmente, com coleta de plantas para medição de altura, matéria seca e área foliar, usadas para calcular o Índice de Área Foliar (IAF).

A Evapotranspiração Real ( $E_{Tr}$ ) foi modelada usando imagens Sentinel-2A e 2B. O processamento no software R, com o modelo SAFER (Teixeira, 2010), permitiu calcular o albedo superficial, o Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI) e a temperatura

da superfície. A fração evapotranspirativa ( $E_{Tr} / E_{T0}$ ), ou coeficiente de cultura ( $k_C$ ), e a  $E_{Tr}$  foram então determinadas.

Por fim, a biomassa (BIO) e a produtividade da água (PA) foram quantificadas. A BIO foi calculada com base na massa seca e a Eficiência Máxima de Uso da Luz (EUR) pela relação entre massa seca e radiação PAR interceptada. A Produtividade da Água baseada na  $E_{Tr}$  (PAET) e a Produtividade da Água da Cultura (PAC), esta última considerando o índice de colheita, foram os principais indicadores de eficiência hídrica avaliados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a safra 2019/2020, as variações temporais e espaciais de  $E_{Tr}$  estão representadas na área cultivada ao longo do ciclo da cultura na Figura 1a. Os valores máximos foram verificados do DAE 70 a 75, aliado a alta demanda atmosférica, com  $E_{T0}$  e RG, em média, 5,92 mm dia<sup>-1</sup> e 26 MJ, respectivamente. Nesse sentido, observa-se também, que os valores de  $E_{Tr}$  durante o ciclo produtivo foram subestimados, considerando os valores altos de  $E_{T0}$ . A variação espacial dentro da máscara de cultivo, se manteve, em média, 0,44 mm dia<sup>-1</sup> a partir de V4, indicando baixa uniformidade.

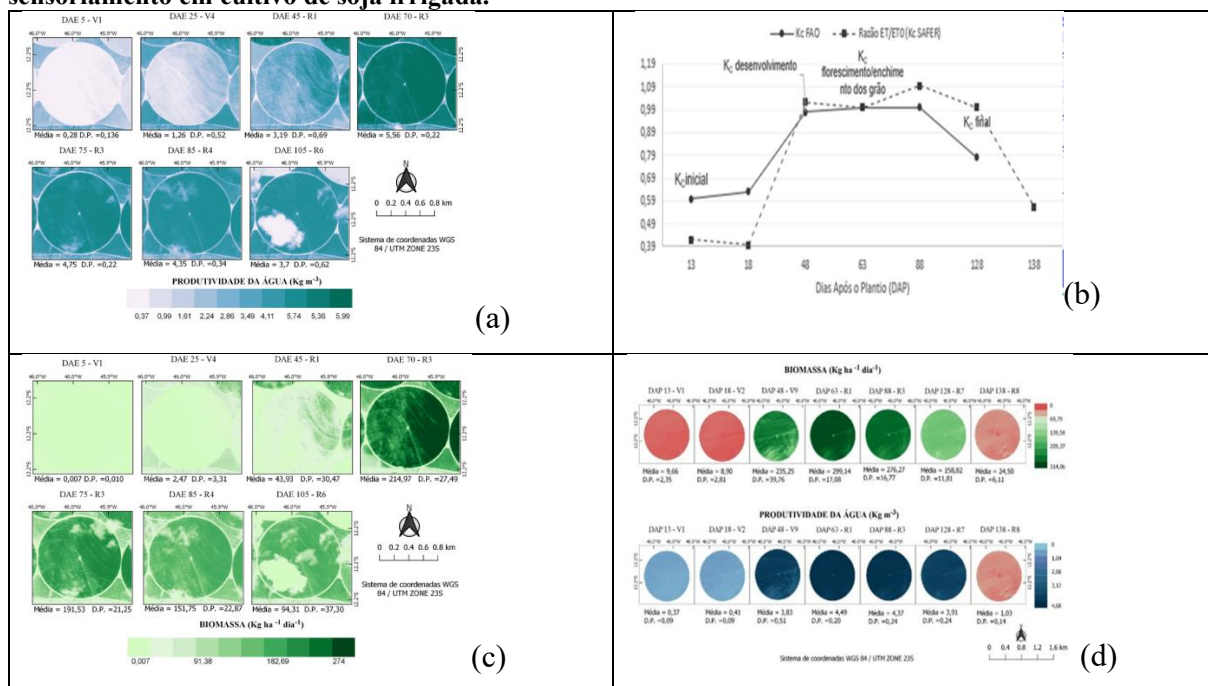
Para a safra de 2020/2021, observou a evolução entre o  $K_c$  utilizando a metodologia FAO (MFAO) e o  $K_c$  obtido pelo algoritmo SAFER ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja como mostra a Figura 1b. Os valores de  $K_c$  usados com a MFAO para a soja são derivados de valores recomendados pela FAO-56 considerando a cultura da soja (Allen et al., 1998). Os resultados apresentam uma boa relação na tendência em acompanhar as fases de desenvolvimento da cultura. Foi observado que o algoritmo subestimou o  $K_c$  na fase inicial de desenvolvimento em DAP 13 e 18 em relação a metodologia padrão, uma redução de 30% e 40% respectivamente.

A produção de biomassa é dependente da RG, vegetação local e água disponível no solo (Silva et al., 2018). Considerando que os valores da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) é estimado a partir do NDVI, os períodos com maiores valores de BIO (Figura 1c) foram similares aos NDVI. A irrigação de 8,79 mm no DAE 70, proporcionou bons níveis de umidade na zona radicular, juntamente com elevados níveis de RG, aumentaram a atividade fotossintética e favoreceram altas taxas de produção de biomassa. À medida que a cultura avança no período reprodutivo ocorre a desaceleração das taxas de acúmulo de biomassa, pela redução do crescimento exponencial do dossel vegetativo, para deposição da biomassa nos

grãos. Nota-se ainda, DP elevado nos dias avaliados. Podendo estar ligado à variação nos níveis de adubação, cobertura do solo, e devido a sensibilidade do modelo (Teixeira et al., 2023).

A eficiência do uso da água é a relação entre a produtividade da planta e o uso da água, uma medida da quantidade de biomassa ou grãos produzida por unidade de água usada por uma planta (transpiração ou evapotranspiração). Assim, observou que os maiores valores de biomassa foram encontrados na fase de pleno desenvolvimento da cultura (R1 a R3), sendo o período que a cultura se encontrou com maiores valores de ETR e NDVI, evidenciando a eficiência na conversão de energia em matéria seca (Figura 1d). A produtividade da soja obtida na colheita foi de 5,42 t ha<sup>-1</sup> correspondendo a 90,3 sc ha<sup>-1</sup>. A produtividade da água apresentou valores máximo em DAP 63 (4,49±0,20 km m<sup>-3</sup>), na medida que a cultura avança no ciclo com direcionamento de fotoassimilados para o enchimento dos grãos (Figura 1d). Considerando a fase final da cultura em que a soja se encontrava em maturação plena (R8), a produtividade da água foi de 1,03±0,14 km m<sup>-3</sup>, relação a produtividade de grão, aplicando um índice de colheita de 0,30, resultaram em valores médio de produtividade da água da cultura baseada na ETR de 0,30 km m<sup>-3</sup>.

**Figura 1. a) Distribuição espacial e temporal da Produtividade da Água, obtidos via sensoriamento remoto e imagens Sentinel-2, em cultivo de soja irrigada via pivô central; b) Evolução do kc estimado via algoritmo SAFER e o método FAO para o ano agrícola; c) Distribuição espacial e temporal da Produção de Biomassa, obtidos via sensoriamento remoto e imagens Sentinel-2, em cultivo de soja irrigada via pivô central; d) Distribuição espacial e temporal da produção de Biomassa e Produtividade da água, obtidas via sensoriamento em cultivo de soja irrigada.**



Fonte: Autores (2025)

## 4 CONCLUSÕES

Na safra 2019/2020, a maior evapotranspiração ocorreu entre 70 e 75 dias após a emergência, com alta demanda atmosférica (ET<sub>0</sub> média de 5,92 mm/dia e radiação de 26 MJ). A maior produtividade da água foi aos 70 dias após a emergência, com biomassa alta e menor evapotranspiração, resultando em valores 14% superiores ao dia 75. Com 199,6 mm de água de irrigação, a produtividade da água da irrigação (PA<sub>i</sub>) foi de 2,51 kg/m<sup>3</sup>.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 pp, 1998.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Irrigação por Atlas: Uso da Água na Agricultura Irrigada**; Ministério de Meio Ambiente: Brasília, Brasil, 2017.

CEPEA. Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada. Boletim Cepea do agronegócio brasileiro. Piracicaba: Cepea, v.2, n.5, 2018a.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acomp. safra bras. grãos, v. 7 Safra 2019/20 - Nono levantamento, Brasília, p. 1-113. Junho, 2020.

LEIVAS, Janice F. et al. **Biophysical indicators based on satellite images in an irrigated area at the São Francisco River Basin, Brazil**. In: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII. International Society for Optics and Photonics, 2016.

MIRALLES, D. et al. Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. **Hydrology and Earth System Sciences**, p. 453-469, 2011.

SILVA, César de Oliveira Ferreira. **Modelagem espacial da recarga das águas subterrâneas sob diferentes usos e coberturas da terra**. 2019. Dissertação de mestrado - Unesp, Botucatu, 2019.

TEIXEIRA, Antônio H. de C. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 1287–1319, 2010.

TEIXEIRA, Antônio Heriberto de Castro; LEIVAS, Janice Freitas. Determinação da produtividade da água com imagens Landsat 8 na região semiárida do Brasil. **Conexões Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 22-34, 2017.

TEIXEIRA, Antônio Heriberto de Castro et al. Geotecnologias para estimativas da produção de biomassa nos biomas do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 22., 2023, Natal. **Anais [...]**. Campinas: [s.n.], 2023. p. 2345-2356.

VENANCIO, L. P. et al. Estimativa do coeficiente de cultura com imagens orbitais para milho irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 9, p. 622–628, 2021.