



SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO PARA OBTENÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS

Janice Freitas Leivas¹; Antônio Heriberto de Castro Teixeira²; Celina Maki Takemura³; Edlene Aparecida Monteiro Garçon⁴; Rafael Mingotti⁵

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA/CNPM, Pesquisa e Desenvolvimento, Campinas, Brasil. janice.leivas@embrapa.br
<https://orcid.org/0000-0002-2201-2649>

² Universidade Federal de Sergipe, UFS/ PRORH, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Sergipe, Brasil, heribertoteixeira11@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6474-7459>

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA/CNPM, Campinas, Brasil. celina.takemura@embrapa.br
<https://orcid.org/0000-0002-6516-559X>

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA/CNPM, Campinas, Brasil, edlene.garcon@embrapa.br
<https://orcid.org/0000-0002-7531-8465>

⁵ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA/CNPM, Campinas, Brasil. rafael.mingotti@embrapa.br
<http://orcid.org/0000-0003-4873-7565>

RESUMEN: El municipio de Cristalina, en Goiás, es una importante zona de agricultura de regadío. A partir de imágenes del satélite Sentinel-2A y datos meteorológicos (radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa, viento y precipitación) se obtuvieron indicadores espectrales del agua. Para obtener indicadores como evapotranspiración (ET), biomasa (BIO), NDVI y productividad del agua (PA), se utilizó el modelo agrometeorológico SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*). Los datos fueron procesados en lenguaje Python. El periodo de análisis se refiere al mes de agosto. Debido a la ausencia de nubes y escasas precipitaciones, se observó que en la imagen destacan las zonas irrigadas, observándose los mayores niveles de Biomasa, Evapotranspiración y Productividad del Agua. Por lo tanto, se infiere que las áreas agrícolas, con alto vigor vegetativo, en el período seco, se deben al factor riego, principalmente por pivotes centrales. Las zonas de pivote central presentan un PA superior a 3 Kg.m^{-3} , alcanzando un valor máximo de $4,5 \text{ Kg.m}^{-3}$. La ET en los pivotes centrales fue mayor a 3mm en el periodo seco, alcanzando valores máximos de 3,36 mm. El BIO de los campos regados superó los $100 \text{ kg. hectárea}^{-1} \cdot \text{día}$. Con los resultados obtenidos, los análisis se ampliarán a todo el estado de Goiás, con el objetivo de mapear áreas irrigadas, que pueden ser implementadas para monitorear los pivotes centrales de la actividad, con el objetivo de conservar los recursos hídricos.

Palabras clave: agricultura de regadío, imágenes de satélite, SAFER, Sentinel-2.

RESUMO: O município de Cristalina, em Goiás, é uma importante área de agricultura irrigada. A partir de imagens do satélite Sentinel-2A e dados meteorológicos (radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, vento e precipitação), foram obtidos indicadores hídrico espectrais. Para obtenção dos indicadores como evapotranspiração (ET), biomassa (BIO) e produtividade da água (PA), foi utilizado o modelo



agrometeorológico SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*). Os dados foram processados em linguagem Python e no software ArcGIS 10.8. O período de análise refere-se ao mês de agosto. Devido à ausência de nuvens e baixos índices pluviométricos, observou-se que as áreas irrigadas se destacam na imagem, sendo observados os maiores de Biomassa, Evapotranspiração e Produtividade da água. Com isso, infere-se que as áreas agrícolas, com alto vigor vegetativo, em período seco, deve-se ao fator irrigação, principalmente por pivôs centrais. As áreas de pivôs centrais apresentam PA superior a 3 Kg.m^{-3} , alcançando valor máximo de $4,5 \text{ Kg.m}^{-3}$. A ET nos pivôs centrais, foi superior a 3mm, em período seco, alcançando valores máximos de 3,36 mm. A BIO de áreas irrigadas, superou $100 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Com os resultados obtidos, serão ampliadas as análises para todo o estado de Goiás, com a finalidade de mapear as áreas irrigadas, podendo ser implementadas para acompanhamento de pivôs centrais em atividade, visando conservação de recursos hídricos.

Palavras-chave: agricultura irrigada, imagens de satélite, SAFER, Sentinel-2.

ABSTRACT. The municipality of Cristalina, in Goiás, is an important area of irrigated agriculture. From images from the Sentinel-2A satellite and meteorological data (solar radiation, air temperature, relative humidity, wind and precipitation), spectral water indicators were obtained. To obtain indicators such as evapotranspiration (ET), biomass (BIO), NDVI and water productivity (PA), the agrometeorological model SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) was used. The data was processed in Python language. The analysis period refers to the month of August. Due to the absence of clouds and low rainfall, it was observed that the irrigated areas stand out in the image, with the highest levels of Biomass, Evapotranspiration and Water Productivity being observed. Therefore, it is inferred that agricultural areas, with high vegetative vigor, in the dry period, are due to the irrigation factor, mainly by central pivots. The central pivot areas have a PA greater than 3 Kg.m^{-3} , reaching a maximum value of 4.5 Kg.m^{-3} . The ET in the central pivots was greater than 3mm in the dry period, reaching maximum values of 3.36 mm. The BIO of irrigated fields exceeded $100 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$. With the results obtained, the analyzes will be expanded to the entire state of Goiás, with the purpose of mapping irrigated areas, which can be implemented to monitor central pivots in activity, aiming to conserve water resources.

Keywords: irrigated agriculture, satellite images, SAFER, Sentinel-2.

1. INTRODUÇÃO

No bioma Cerrado, concentra-se cerca de 60% das áreas irrigadas do Brasil e 80% dos pivôs centrais (Althoff, Rodrigues, 2019). Considerando um crescimento médio de 56 mil hectares por ano, estima-se que, em 2050, a área irrigada poderá atingir até 3 milhões de hectares, podendo impactar a dinâmica de uso de água na região. A tendência de escassez de recursos hídricos, em contraponto à sua demanda crescente, causam sérios conflitos sobre o uso da água.

Nos últimos anos, houve aumento de áreas irrigadas, substituindo 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 do estado de Goiás.

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 de satélite, 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, evapotranspiração e produtividade da água, em larga escala.

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.

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.

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 município de Cristalina, localizado no estado de Goiás, no bioma cerrado, possui grande concentração de agricultura irrigada, devido à abundância de água disponível na região. Porém, em tempos de mudanças climáticas, monitorar o uso de água é de extrema valia para conservação de recursos hídricos. Diante disso, o objetivo deste estudo foi testar o SAFER juntamente com imagens de satélite e dados meteorológicos, para quantificar a evapotranspiração (ET), a biomassa (BIO) e a produtividade da água (PA), em larga escala em área com grande concentração de área irrigada, com a finalidade de mapear as áreas irrigadas, podendo ser implementadas para acompanhamento de pivôs centrais em atividade, visando conservação de recursos hídricos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Cristalina, Goiás (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima é caracterizado como tropical de savanna com inverno seco, temperatura média anual é de 24.6°C e precipitação pluvial média anual de 1500 mm, com estação chuvosa concentrada no verão.



Foram utilizados dados meteorológicos diários, da estação meteorológica de Cristalina (GO), 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).

Para a estimativa dos parâmetros, foram processadas imagens do sensor Sentinel-2A, disponibilizada pela ESA (Agência Espacial Europeia), com resolução espacial de 10m, do período de 13 a 29 de agosto de 2023, período seco, com disponibilidade de imagens sem nuvens. Foram usadas as bandas do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR). Para o processamento das imagens e do algoritmo SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving), foi utilizada a linguagem de programação Python e o software ArcGis 10.8.

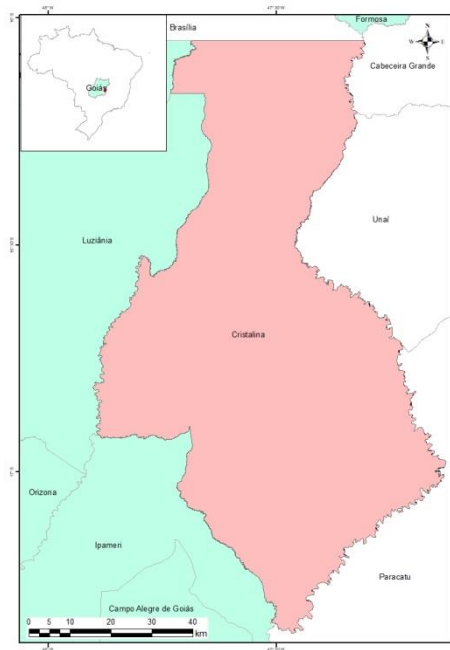


Figura 1. Área de estudo, município de Cristalina, estado de Goiás, Brasil.

O albedo de superfície (α_0) foi estimado a partir das bandas 2,3,4 e 8, com resolução espacial de 10 m:

$$\alpha_0 = a. \alpha_2 + b. \alpha_3 + c. \alpha_4 + d. \alpha_8$$

em que α_2 , α_3 , α_4 e α_8 são as reflectâncias nas faixas espectrais das bandas 2, 3, 4 e 8 do sensor Sentinel-2A e a, b, c e d são coeficientes de regressão que apresentam, respectivamente, os valores de 0,32, 0,26, 0,25 e 0,17.

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

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

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 ($5,67.10^{-8} \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$).



ε_S e ε_A são calculados da seguinte forma (Teixeira, 2010), (Teixeira et al., 2014a) :

$$\varepsilon_S = a_S \ln \text{NDVI} + b_S$$

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

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 a_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 a_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. O algoritmo SAFER é usado para modelar os valores instantâneos da relação ET / ET_0 , que é então multiplicada pelo ET_0 da estação meteorológica para estimar os valores diários de larga escala do ET :

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

onde ET_0 é o mapa da evapotranspiração de referência de estação meteorológica 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 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 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 R_G 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):

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

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.

Para obtenção da produtividade da água (PA), utilizou-se a seguinte equação:

$$PA = BIO/ET$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2, 3 e 4 mostram a distribuição espacial dos indicadores biofísicos como a evapotranspiração diária (ET), biomassa (BIO) e produtividade da água (PA), respectivamente, no município de Cristalina (GO), obtidas através do processamento da modelagem agrometeorológica, referente a agosto de 2013.

Devido à ausência de nuvens e baixos índices pluviométricos, observou-se que as áreas irrigadas se destacam na imagem, sendo observados os maiores de Biomassa (BIO), Evapotranspiração (ET) e Produtividade da água (PA). Com isso, infere-se que as áreas agrícolas, com alto vigor vegetativo, em período seco, deve-se ao fator irrigação, principalmente por pivôs centrais. Com base na análise dos resultados, a ET média em todo o município foi de $0,92 \pm 0,73$ mm. Nas áreas irrigadas por pivôs centrais, observaram-se valores de ET maiores que 3mm, apresentando valores em torno de 3,35mm.

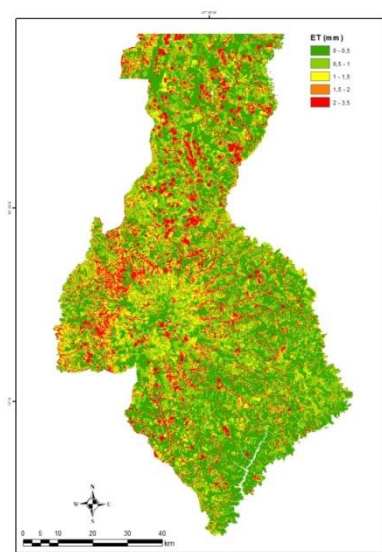


Figura 2. Evapotranspiração diária (mm), do município de Cristalina (GO), obtidas através do processamento da modelagem agrometeorológica, referente a agosto de 2023.

A biomassa nas áreas de pivôs centrais foi $135,7 \text{ Kg.ha}^{-1}$, sendo valor médio da cena de $0,92 \pm 0,73 \text{ Kg.ha}^{-1}$. A BIO em áreas irrigadas, superou $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, apresentando destaque na imagem, em relação aos demais alvos da superfície (Figura 3). Importante salientar que as culturas são fortemente sensíveis à distribuição espacial do teor de água do solo (Claveire et al., 2012), sendo que os valores de biomassa das culturas irrigadas também são influenciados por diferentes níveis de fertilização, fases da cultura e irrigação (Wu et al., 2010).

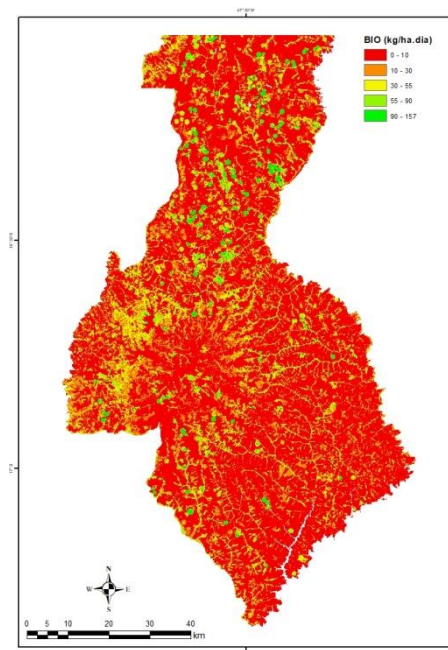


Figura 3. Biomassa ($\text{Kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), do município de Cristalina (GO), obtidas através do processamento da modelagem agrometeorológica, referente a agosto de 2023.

Na Figura 4, observa-se que as áreas de pivôs centrais apresentam produtividade da água (PA) superior a 3 Kg.m^{-3} , alcançando valor máximo de $4,5 \text{ Kg.m}^{-3}$. Os resultados corroboram com Teixeira (2009) que encontrou valores de PA em áreas de frutíferas, em torno de $3,4 \text{ kg m}^{-3}$. Na região semiárida da Mongólia Interior, os valores de PA variaram de $1,1$ a $1,3 \text{ kg m}^{-3}$ para aveia; $1,5$ a $2,6 \text{ kg m}^{-3}$ para girassol; $0,5$ a $1,1 \text{ kg m}^{-3}$ para leguminosas; e $3,1$ a $4,4 \text{ Kg. m}^{-3}$ para batata, foram relatados (Yuan et al., 2013). Para a cultura de oleaginosas, sob o semiárido condições da Índia, a PA variou de $1,9$ a $2,3 \text{ kg m}^{-3}$ (Adak et al., 2013).

Os resultados obtidos corroboram com estudo realizado com análise multitemporal com imagens de menor resolução espacial, sensor MODIS (250 m), em que foram analisadas as classes de uso e cobertura disponibilizada no Probio. Em estudo realizado com modelo SEBAL, para estimativa de evapotranspiração e outros parâmetros biofísicos (Andrade et al. 2014), foram obtidos valores de ET diária média de $2,4 \text{ mm dia}^{-1}$, na savana estépica/chaco. Nas áreas que se estendem pelas classes de savana (cerrado), pecuária (pastagem plantada) e áreas antropizadas, a ET diária variou de $1,3$ a $1,9 \text{ mm dia}^{-1}$. Sanches et al. (2011), observaram valores médios e ET de $2,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, na estação seca e de $4,1 \text{ mm.dia}^{-1}$, na chuvosa. Os resultados obtidos corroboram com estudos anteriores como obtenção de PA sob condições de irrigação, em que encontraram valores mais altos de ET e BIO sobre culturas irrigadas em Petrolina/PE.

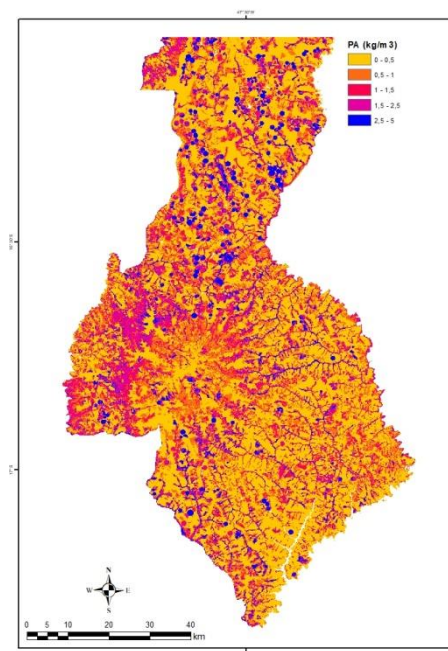


Figura 4. Produtividade da água (Kg.m^{-3}), do município de Cristalina (GO), obtidas através do processamento da modelagem agrometeorológica, referente a agosto de 2023.

Apesar das análises terem sido realizadas em um único imageamento, os resultados preliminares são animadores, diante da possibilidade de monitoramento das condições hídricas e respostas espectrais da superfície, usando imagens do satélite Sentinel-2A, com boa resolução espacial e temporal. As análises serão ampliadas para todo o estado de Goiás, com a finalidade de mapear as áreas irrigadas, podendo ser implementadas para acompanhamento de pivôs centrais em atividade, visando conservação de recursos hídricos.

4. CONCLUSÕES

Com os indicadores hídrico-espectrais, obtidos por sensoriamento remoto com imagens Sentinel-2A e dados de estação meteorológica, foi possível obter informações sobre o desenvolvimento de culturas irrigadas, como a resposta espectral das plantas às condições hídricas (irrigação), permitindo realizar inferências e extrair limiares, para posterior extrapolação para áreas maiores do bioma cerrado.

Infere-se que as áreas agrícolas, com alto vigor vegetativo, em período seco, deve-se ao fator irrigação, principalmente por pivôs centrais. As áreas de pivôs centrais apresentam PA superior a 3 Kg.m^{-3} , alcançando valor máximo de $4,5 \text{ Kg.m}^{-3}$. A ET nos pivôs centrais, foi superior a 3mm, em período seco, alcançando valores máximos de 3,36 mm. A BIO de para áreas irrigadas, superou $100 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Com os resultados obtidos, as análises serão ampliadas para grandes áreas, com a finalidade de mapear as áreas irrigadas, podendo ser implementadas para acompanhamento de pivôs centrais em atividade, visando conservação de recursos hídricos.



REFERÊNCIAS

ADAK, T.; KUMAR, G.; CHAKRAVARTY, N. V. K.; KATIYAR, R. K.; DESHMUKH, P.S. **Biomass and biomass water use efficiency in oilseed crop (*Brassica Inceae L.*) under semi-arid microenvironments**. Biomass and Bioenergy, v. 51, p. 154-162, 2013.

ALTHOFF, D., RODRIGUES, L. N. **The expansion of center-pivot irrigation in the Cerrado biome**. Irriga, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 56-61, 2019.

ANDRADE, R. G; TEIXEIRA, A. H. DE C; SANO, E. E.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. **Evapotranspiração em pastagens com indicativos de degradação na bacia hidrográfica do Alto Tocantins**. In INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., Fortaleza, 2014. Anais... Fortaleza: INOVAGRI, 2014.

BASTIAANSEN, 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. 32-340, 2003.

CLAVERIE, M.; DEMAREZ, V.; DUCHEMIN, B.; HAGOLLE, O.; DUCROT, D.; MARAISSICRE, C.; DEJUOUX, JEAN-FRANÇOIS; HUC, M.; KERAVEC, P.; BÉZIAT, P.; FIEUZAL, R.; CESCHIA, E.; DEDIEU, G. **Maize and sunflower biomass estimation in southwest France using spatial and temporal resolution remote sensing data**. Remote Sensing of Environment, v.124, p. 884-857, 2012.

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

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

TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; BOLFE, E. L. **Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil**. Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering, v. 9239, p. 923900-1-923900-10, 2014^a.

WU, C.; MUNGER, J. W.; NIU, Z.; KUANGA, D. **Comparison of multiple models for estimating gross primary production using MODIS and eddy covariance data in Havard Forest**. Remote Sensing of Environment, v. 114, p. 2925-2939, 2010.

YUAN, M.; ZHANG, L.; GOU, F.; SU, Z.; SPIERTZ, J. H. J.; WERF, W. VAN DER. **Assessment of crop growth and water productivity for five C3 species in the semi-arid Inner Mongolia**. Agricultural Water Management, v. 122, p. 28-38, 2013.