



Monitoramento de área de coqueiro irrigado por parâmetros biofísicos determinados por imagem de Landsat 8

Mailson Araujo CORDÃO^{1*}, Renata Richelle Santos DINIZ¹, Hugo Orlando Carvalho GUERRA¹,
Carlos Wagner OLIVEIRA², Cris Lainy Maciel SANTOS¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

²Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade, Universidade Federal do Cariri, Crato, CE, Brasil.

*E-mail: mailson.cordao@gmail.com

Submetido em 03/05/2023; Aceito em 10/07/2023; Publicado em 31/07/2023.

RESUMO: O uso de imagem de satélite é uma ferramenta que ao longo dos últimos anos vem contribuindo para o manejo em áreas agrícolas. Nesse contexto, objetivou-se determinar e monitorar a dinâmica dos parâmetros biofísicos no pomar de coqueiro irrigado no semiárido brasileiro, utilizando técnicas de sensoriamento remoto com uso de imagens orbitais do LANDSAT 8. Avaliando os parâmetros biofísicos; albedo, NDVI, IAF e Ts. O Processamento foi realizado pelo algoritmo METRIC. Todas as estimativas dos parâmetros biofísicos foram avaliadas utilizando estatística descritiva por meio das principais medidas de posição e dispersão, e o coeficiente de correlação de Pearson. A determinação do albedo, dos índices de área foliar e da temperatura de superfície a partir de imagem de satélite do Landsat 8, permitiram detectar a influência do manejo, da sazonalidade e as cargas das correlações entre os parâmetros biofísicos na cultura do coqueiro. Sendo uma técnica promissora no gerenciamento de área agrícola, reduzindo custo e tempo, auxiliando na tomada de decisões.

Palavras-chave: *Cocos nucifera*; algoritmo METRIC; fruticultura irrigada; agricultura de precisão.

Monitoring of the irrigated coconut orchard by biophysical parameters determined by Landsat 8 image

ABSTRACT: The use of satellite imagery is a tool that over the last few years has contributed to the management of agricultural areas. In this context, the objective was to determine and monitor the dynamics of biophysical parameters in the irrigated coconut orchard in the Brazilian semi-arid region, using remote sensing techniques using orbital images from LANDSAT 8. Evaluating the biophysical parameters; albedo, NDVI, IAF, and Ts. Processing was performed by the METRIC algorithm. All estimates of biophysical parameters were evaluated using descriptive statistics using the main measures of position and dispersion, and Pearson's correlation coefficient. The determination of albedo, leaf area indices and surface temperature from the Landsat 8 satellite image, allowed the detection of the influence of management, seasonality and loads of correlations between the biophysical parameters in the coconut crop. Being a promising technique in the management of agricultural areas, reducing cost and time, helping in decision making.

Keywords: *Cocos nucifera*; algorithm METRIC; irrigated fruit growing; precision agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A determinação dos parâmetros biofísicos por técnicas de sensoriamento apresenta diversas finalidades, como pode ser visto nos estudos de Simões et al. (2021); Ivo et al. (2020); Leal et al. (2019); Silva et al. (2019); Pezzoni Filho et al. (2018); França et al. (2018); Ribeiro et al. (2015). Esses estudos têm finalidade em mensurar a variabilidade da cobertura vegetal, avaliar impactos ambientais e quantificar a interferência antrópica em diferentes classes do uso do solo. Além disso, os mesmos são utilizados no processo da determinação da evapotranspiração real das culturas irrigadas.

Na determinação da evapotranspiração real diária por técnica de sensoriamento remoto em diferentes escalas espaciais e temporais, os parâmetros biofísicos são bases de entrada nos modelos algoritmos. Ainda, com as cartas temáticas dos parâmetros biofísicos em áreas agrícolas irrigadas podem-se identificar alguns problemas como na

operação do sistema de irrigação, entre outros, que ocasiona interferência na cobertura vegetal, facilitando o diagnóstico com rapidez e baixo custo, tornando essa técnica promissora principalmente em áreas agrícolas com dimensões média e grande. Neste contexto, o monitoramento dos parâmetros biofísicos em uma determinada cultura específica com uso de imagem de satélite pode ser promissor no aspecto socioeconômico e no manejo da cultura.

A principal região produtora de coco do Brasil é o Nordeste, com uma produção de 1.204,428 toneladas de frutos no ano de 2020, o que representou em torno de 73,47% da produção nacional (IBGE, 2020). Devido à industrialização da água de coco no Brasil, principalmente na região Nordeste, houve um aumento significativo na demanda por áreas de cultivo de coco (SAMPAIO et al., 2018).

Nesse sentido, objetivou-se determinar e monitorar a dinâmica dos parâmetros biofísicos na cultura do coqueiro

irrigado no semiárido brasileiro, utilizando técnicas de sensoriamento remoto com uso de imagens orbitais do Landsat 8.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área fica localizada no Município de Sousa, Paraíba, cultivada com coqueiro-anão com as seguintes coordenadas 6°49'57.77"S 38°18'16.67"O, a uma altitude de 234 m sobre o nível do mar (Figura 1). Situada na microrregião homônima e na mesorregião do Sertão Paraibano, no oeste do Estado da Paraíba, distante 438 km de João Pessoa, capital do Estado. O município encontra-se com toda sua área territorial inserida na sub-bacia do Rio do Peixe, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, cujos rios principais cortam a zona urbana do município. O principal açude é o São Gonçalo, situada no distrito homônimo, com capacidade para 44,6 milhões de metros cúbicos de água.



Figura 1. Localização da área experimental no município de Sousa-PB, destacando a parcela amostral com o cultivo de coqueiro (em amarelo). Fonte: Google Earth Pro, 2022

Figure 1. Location of the experimental area in the municipality of Sousa-PB, highlighting the sample plot with coconut cultivation (in yellow). Root: Google Earth Pro, 2022

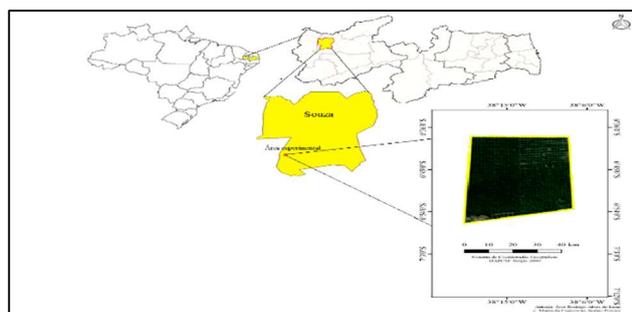


Figura 2. Mapa de localização do estado, município e da área experimental no município de Sousa-PB. Fonte: Elabora pelos autores.

Figure 2. Location map of the state, municipality and experimental area in the municipality of Sousa-PB. Source: Developed by the authors.

Segundo a classificação de Koppen-Geiger, o clima do município de Sousa é tropical semiárido (do tipo Bsh), com temperatura média 26,7 °C, e precipitação média de 872 mm anuais, concentrados entre janeiro e abril, sendo março o mês de maior precipitação. Enquanto, a evaporação anual chega a ultrapassar os 3.000 mm. As temperaturas predominantes são altas e em média variam, com mínimas de 22 °C e máximas de 38 °C. O clima tropical semiárido é caracterizado pela escassez e irregularidade de chuvas, assim como a forte evaporação por conta das altas temperaturas. A umidade relativa do ar compensada é de 61%, sendo mais elevada nos

meses mais chuvosos, podendo chegar a níveis críticos nos meses mais secos (INMET, 2016).

Os solos predominantes na área são o Argissolo Vermelho e o Vertissolo Háptico. A vegetação natural é classificada como Caatinga hiperxerófila, sem folhas na estação seca, com abundância de cactáceas e plantas de pequeno porte (IBGE, 2023).

Os dados da precipitação mensal adquiridas na estação meteorológica de São Gonçalo-PB, localizada próxima à área de estudo são mostradas na Figura 3.

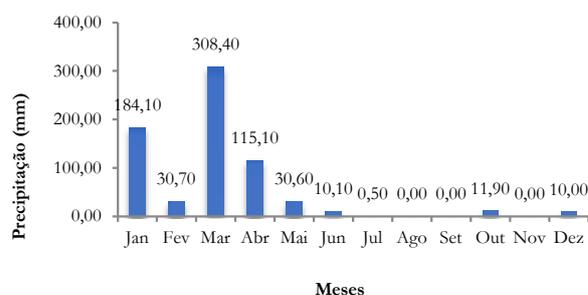


Figura 3. Precipitação acumulada mensal na estação meteorológica de São Gonçalo-PB em 2016. Fonte: INMET, 2016.

Figure 3. Monthly accumulated precipitation at the meteorological station of São Gonçalo-PB in 2016. Root: INMET, 2016.

2.2. Imagens de satélite utilizadas

Foram utilizadas três imagens da área de estudo, geradas pelo Operational Land Imager - OLI e Thermal Infrared Sensor - TIRS do satélite LANDSAT 8 aproximadamente às 09 hrs 45 min (hora local), da órbita 216 e ponto 65 para o município de Sousa- PB, nas seguintes datas; 15/05/2016, 16/06/2016 e 06/10/2016, adquiridas junto ao United States Geological Survey-USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos). As imagens têm resolução espacial de 30 m e resolução espectral disponíveis em 16 bits, o que significa uma intensidade em cada pixel entre 0 e 65.535 níveis de cinza, garantindo maior detalhamento das informações geradas. As imagens obtidas já eram ortorretificadas, ou seja, imagens com suas coordenadas de pixels corrigidas e bastante próximas das coordenadas reais da superfície.

As escolhas das imagens foram selecionadas utilizando dias com baixa cobertura de nuvens para obter uma melhor qualidade de processamento, e atendendo os requisitos da pesquisa e as datas com a representação das condições de cobertura do solo em período chuvoso, transição e seco, respectivamente.

2.3. Software e pacotes de funções utilizados

As imagens OLI utilizadas são compostas de sete bandas espectrais (bandas 2 a 7, e a banda 10 a termal). Essas imagens correspondem à passagem do Landsat 8 às 9:00 hrs (tempo local) no ano de 2016. Os processamentos foram realizados com o software ERDAS IMAGINE: empilhamento das bandas, recorte das imagens empilhadas na ferramenta RASTER no ícone Spectral que é um modelo que permite graficamente criar um fluxograma de trabalho e executar este a partir de dados de entrada, que produz uma saída, geralmente uma imagem do tipo Raster, a partir de um ou mais dados de entrada. As operações matemáticas para cada etapa atribuída ao estudo foram feitas através da ferramenta Model Maker, encontrada no ícone Toolbox, sendo uma ferramenta indispensável para o processamento das imagens.

O processamento dos parâmetros biofísicos; albedo (α), índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), índice de área foliar (IAF) e Temperatura de superfície (Ts) foram realizados pelo algoritmo METRIC (Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration).

2.4. Processamentos dos Parâmetros biofísicos

1ª Etapa: Radiância espectral ou Calibração Radiométrica (Lb)

A primeira etapa corresponde à energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite LANDSAT 8-OLI para as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e a banda 10 da termal. A radiância espectral foi determinada com base nos termos aditivo e multiplicativo, necessários para converter os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda em radiância espectral. Foram utilizados coeficientes radiométricos referentes à radiância, disponibilizados nos arquivos de metadados das imagens. Para a determinação da radiância espectral em cada banda se utilizou a Equação 1 (CHANDER; MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016).

$$L_b = Add_{rad,b} + Mult_{rad,b} \cdot ND_b \quad (01)$$

em que: $Add_{rad,b}$ é o termo aditivo e $Mult_{rad,b}$ o multiplicativo, relativos à radiância (extraídos do metadados de cada imagem do OLI) e ND_b é a intensidade de cada pixel e a banda (valores entre 0 e 65.365), observados a partir das imagens.

2ª Etapa: Reflectância Monocromática Planetária (rb)

Foi necessário, novamente, converter os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do OLI, dessa vez para a refletância monocromática planetária. Para isto, foram utilizados os coeficientes radiométricos referentes à refletância, disponibilizados nos metadados das imagens (CHANDER; MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016). A refletância monocromática de cada pixel- r_b ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), determinada pela Equação 2:

$$r_b = \frac{(Add_{ref,b} + Mult_{ref,b} \cdot ND_b)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (02)$$

em que: $Add_{ref,b}$ o termo aditivo e $Mult_{ref,b}$ o multiplicativo, relativos à refletância e ND_b a intensidade de cada pixel. Que foram extraídos dos metadados de cada imagem e d_r obtido conforme a Equação 3:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{DSA \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right) \quad (03)$$

em que: d_r é a distância relativa Terra-Sol; DSA é o dia sequencial do ano e o argumento da função \cos está em radianos. O valor médio anual de d_r é igual a 1,00 (variando de 0,97 a 1,03). O cosseno do ângulo zenital solar (Z , adimensional) é obtido a partir do ângulo de elevação do Sol (E , graus), disponibilizado nos metadados das imagens, de acordo com a Equação 4:

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \sin(E) \quad (04)$$

Para os cálculos dos pesos foram determinados os coeficientes de cada banda das imagens, seguindo a metodologia (CHANDER; MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016), utilizando-se a Equação 5:

$$k_b = \frac{\pi \cdot L_b}{r_b \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (05)$$

em que: k_b ($W m^{-2} \mu m^{-1}$) foi calculada a irradiância solar espectral de cada uma das bandas refletivas do Landsat 8 OLI no Topo da Atmosfera (TOA). Em seguida, foram calculados os pesos (ρ_b , adimensional) para cada banda do OLI, onde o valor do ρ_b de cada banda espectral, foram obtidos através da razão entre o k_b daquela banda e o somatório de todos os k_b do Landsat 8 OLI (CHANDER; MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016), a partir da Equação 6.

$$\rho_b = \frac{k_b}{\sum k_b} \quad (06)$$

Os pesos calculados foram empregados no cômputo do albedo planetário na etapa seguinte.

3ª Etapa: Albedo da superfície (α_s)

O albedo da superfície é dado pela razão entre a radiação solar refletida pela radiação solar global incidente à superfície em todo o domínio da radiação de onda curta à superfície (0,3 a 3,2 μm) (ALLEN et al., 2007). No METRIC o cômputo do α_s é obtido através da Equação 7 com a combinação linear das reflectâncias monocromáticas de cada banda:

$$\alpha_s = \sum_{b=1}^n (\rho_{s,b} \cdot \omega_b) \quad (07)$$

em que: ω_b expressa o peso de cada banda, $\rho_{s,b}$ a reflectância de cada banda do TM, sendo que a reflectância de cada banda corrigido os efeitos atmosféricos é dada pela razão entre a radiação solar refletida- $R_{out,s,b}$ por cada banda e a radiação incidente- $R_{in,s,b}$ (Equação 8), ambas à superfície, o que pode ser feito segundo expressão (ALLEN et al., 2007):

$$\rho_{s,b} = \frac{R_{out,s,b}}{R_{in,s,b}} = \frac{\rho_{t,b} - \rho_{a,b}}{\tau_{in,b} \cdot \tau_{out,b}} \quad (08)$$

em que: $\rho_{s,b}$ é a refletividade do pixel à superfície, $\rho_{t,b}$ é a refletividade da banda b no topo da atmosfera, $\rho_{a,b}$ é a refletância atmosférica, $\tau_{in,b}$ é a transmissividade atmosférica para a radiação solar incidente e $\tau_{out,b}$ é a transmissividade para a radiação solar refletida pela superfície. Segundo Allen et al. (2007) $\tau_{in,b}$ e $\tau_{out,b}$ são responsáveis pela atenuação de ambos os feixes de radiação difusa.

A refletividade da banda b no topo da atmosfera é estimada de acordo com a Equação 9 (ALLEN et al., 2007):

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi L_{t,b} d^2}{ESUN_b \cos \theta_{rel}} \quad (09)$$

em que: $L_{t,b}$ = energia refletida na banda b do satélite ($W m^{-2} ster^{-1} \mu m^{-1}$), d_r = distância Terra-Sol em astronômico unidades, $ESUN_b$ é a média solar radiação exoatmosférica sobre a banda b ($W m^{-2} \mu m^{-1}$); $\cos \theta_{rel}$ é o cosseno do ângulo solar de incidência (ou ângulo do zênite solar) em relação ao normal para a inclinação da superfície da terra.

4ª Etapa: Índice de vegetação (NDVI, SAVI e IAF)

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), é alcançado através da razão entre a diferença das refletâncias do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V), pela soma das mesmas, de acordo com os pesquisadores (ALLEN et al., 2002; CUNHA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; BEZERRA et al., 2014; SOUZA, 2014), segundo a Equação 10. As bandas correspondentes, no caso do LANDSAT 8, são as bandas 4 e 5.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (10)$$

O NDVI normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1. Onde as áreas de vegetação mais intensa aproximam-se dos patamares superiores, e áreas inundadas do limite inferior.

Em 1988, Huete desenvolveu o índice de vegetação ajustado ao solo, Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), que é uma melhoria do NDVI. O SAVI é obtido a partir da aplicação da constante L, minimizando os efeitos da cor do solo nos seus resultados. A constante L varia entre 0 e 1, de acordo com a densidade da vegetação, sendo o valor 1 adotado para áreas com pouca cobertura vegetal, já para áreas com cobertura intermediária é representada por L=0,5, para áreas muito densas, geralmente adota-se a constante L= 0.25. Quando o L é igual a 0, o SAVI é idêntico ao NDVI (HUETE 1988).

O SAVI é determinado pela equação 11 (ALLEN et al., 2002; OLIVEIRA, 2012; SOUZA, 2014).

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{L + (\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (11)$$

em que: L é a constante de ajuste ao solo, que depende do tipo de solo, o valor mais utilizado pelos pesquisadores é 0,5 (ALLEN et al., 2002). Utilizou-se nessa pesquisa 0,1 conforme estudos mais recentes (ALLEN et al., 2007; SOUZA, 2014).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação e é tido como um indicador da biomassa de cada pixel da imagem (ALLEN et al., 2002). Tem por base em sua equação o cálculo envolvendo o SAVI, utilizando a Equação 12, recomendada por Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (12)$$

5ª Etapa: Emissividades

Como cada pixel por si só não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, existe a necessidade de acrescentar à emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal – ϵ_{NB} (10,4 – 12,5 μm). Dessa forma, para o cálculo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, considera-se a emissividade no domínio da banda larga – ϵ_0 (5 – 100 μm).

Segundo ALLEN et al. (2007), as ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas e validadas, para NDVI>0 (indicando vegetação) e para IAF≤ 3, onde se aplica as conforme as Equações 13 e 14, abaixo:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033. IAF \quad (13)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01. IAF \quad (14)$$

Ainda utilizando as condições sugeridas por Allen et al. (2007) para pixels com valores de IAF> 3, se considerou $\epsilon_0 = \epsilon_{NB} = 0,98$. Quando NDVI ≤ 0 (indicando água) considerar $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,985$.

6ª Etapa: Temperatura da Superfície (Ts)

O cálculo da temperatura de superfície (Ts) obtém-se em kelvin, utilizando a equação 15 (ALLEN et al., 2002; CUNHA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; BEZERRA et al., 2014).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{L_{b,10}} + 1\right)} \quad (15)$$

em que: $L_{b,10}$ a radiância espectral da banda termal do Landsat 8 do sensor TIRS; ϵ_{NB} a emissividade obtida anteriormente, e K_1 e K_2 que são constantes de calibração da banda termal 10 do Landsat 8 TIRS ($K_1 = 774,89$ e $K_2 = 1321,08 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), extraídos dos metadados das imagens processadas.

2.5. Análise estatística

Todas as estimativas dos parâmetros biofísicos foram avaliadas utilizando estatística descritiva por meio das principais medidas de posição e dispersão (média, desvio padrão e coeficiente de variação) e o coeficiente de correlação de Pearson.

3. RESULTADOS

Nas cartas temáticas do albedo de superfície obtidas com as imagens do LANDSAT 8, observa-se que os valores na área irrigada apresentam médias de 0,150; 0,165 e 0,170, respectivamente, para os dias 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C), havendo um coeficiente de variação (CV) de 6,44% entre as datas estudadas (Figura 4).

No NDVI em diferentes períodos do ano na cultura do coqueiro irrigado (Figura 5), podemos perceber que os índices diminuíram a medida do transcurso do ano, com os valores de 0,901; 0,831 e 0,724 para os dias 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C), respectivamente, se obtendo um CV de 16,39%.

Os valores de IAF foram de 4,250; 3,682 e 2,435, respectivamente, para os dias 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C) do ano de 2016, apresentando o maior coeficiente de variação (CV: 26,87%) (Figura 6).

Na Figura 7 são apresentadas as cartas temáticas da Ts, correspondendo os valores de 25,75; 32,55 e 32,15 °C, para os dias 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C) do ano de 2016 respectivamente.

Na Tabela 3, encontram-se as correlações entre os parâmetros biofísicos; albedo, NDVI, IAF e Ts na área implantada com coqueiro-anão.

Tabela 3. Correlação (r) entre os parâmetros biofísicos estimados pelo modelo METRIC na cultura do coqueiro irrigado. Table 3. Correlation (r) between the biophysical parameters estimated by the METRIC model in irrigated coconut cultivation.

| | Albedo | NDVI | IAF | Ts |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| Albedo | - | -0,921 | -0,881 | 0,957 |
| NDVI | -0,921 | - | 0,996 | -0,767 |
| IAF | -0,881 | 0,996 | - | -0,705 |
| Ts | 0,957 | -0,767 | -0,705 | - |

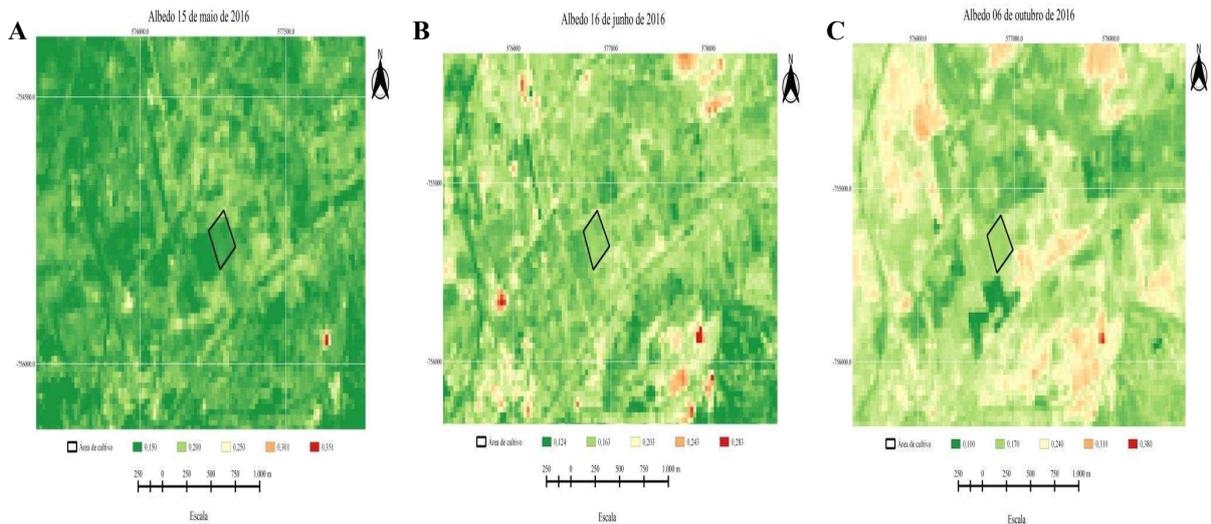


Figura 4. Carta temática do albedo da superfície no município de Sousa- PB (METRIC): 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C) do ano de 2016.

Figure 4. Thematic map of surface albedo in the municipality of Sousa-PB (METRIC): May 15 (A), June 16 (B) and October 6 (C) of the year 2016.

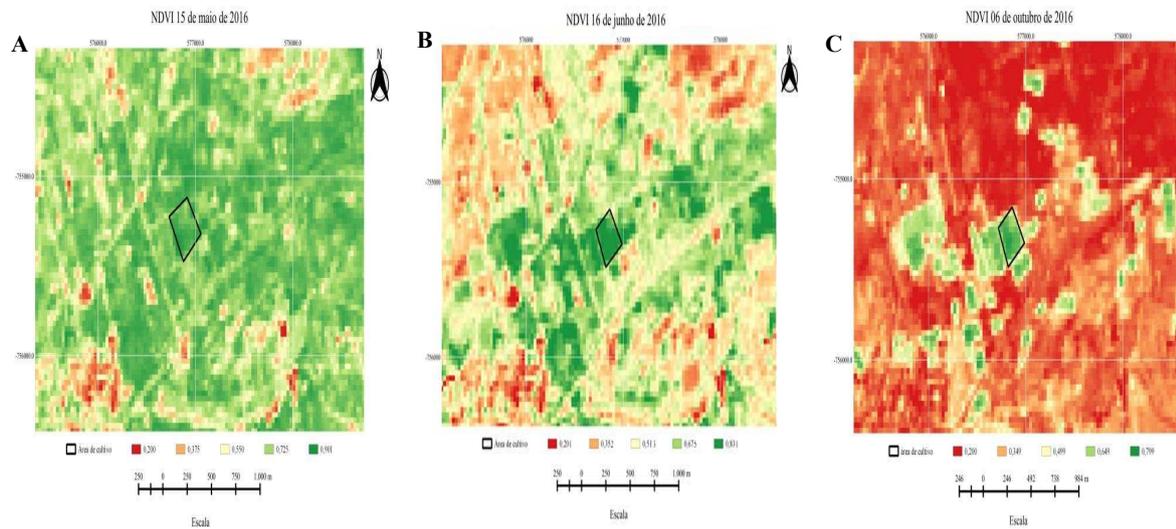


Figura 5. Carta temática do NDVI da superfície no município de Sousa- PB (METRIC): 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C) do ano de 2016.

Figure 5. NDVI thematic map of the surface in the municipality of Sousa-PB (METRIC): May 15 (A), June 16 (B) and October 6 (C) of the year 2016.

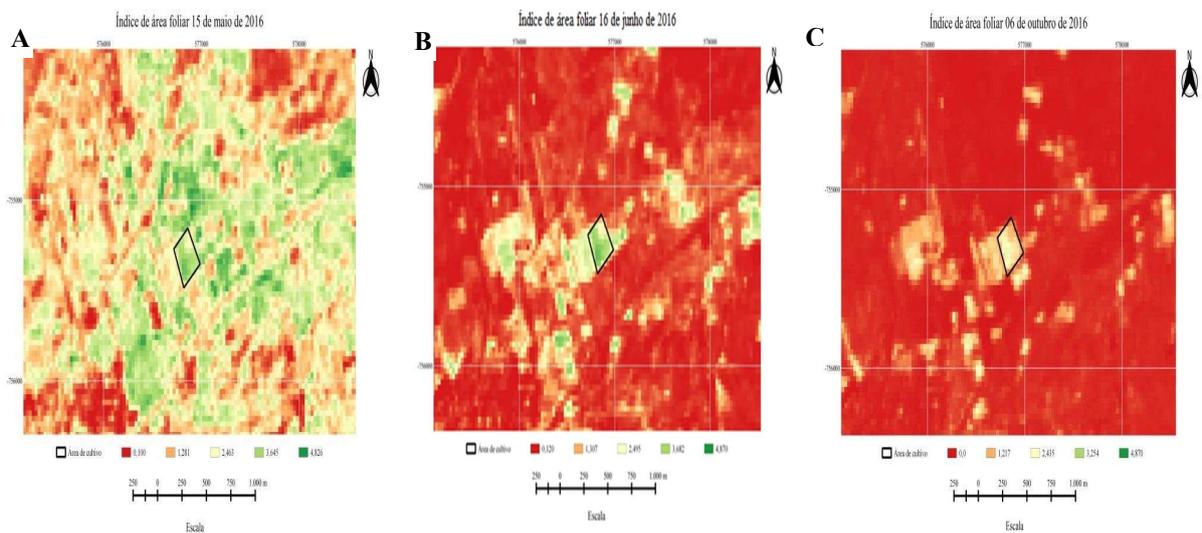


Figura 6. Carta temática do IAF da superfície no município de Sousa- PB (METRIC): 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C) do ano de 2016.

Figure 6. Thematic map of the surface IAF in the municipality of Sousa-PB (METRIC): May 15 (A), June 16 (B) and October 6 (C) of the year 2016.

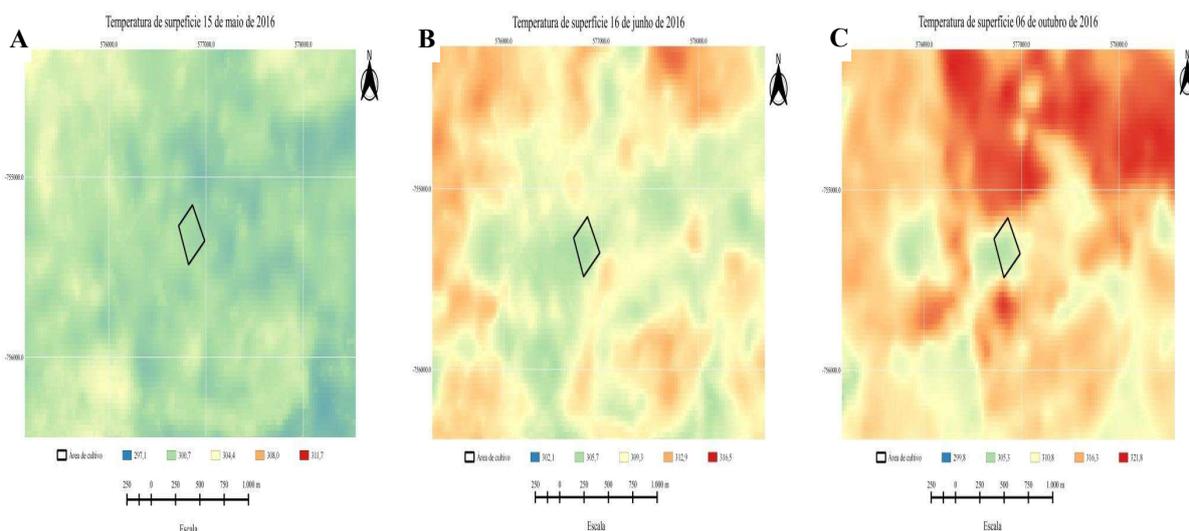


Figura 7. Carta temática de temperatura de superfície no município de Sousa- PB (METRIC): 15 de maio (A), 16 de junho (B) e 06 de outubro (C) do ano de 2016.

Figure 7. Thematic map of surface temperature in the municipality of Sousa-PB (METRIC): May 15 (A), June 16 (B) and October 6 (C) of the year 2016.

4. DISCUSSÃO

4.1. Albedo

Os resultados dos albedos são semelhantes aos encontrados por Silva, et al. (2011), utilizando imagens do Landsat 5, encontrando-se uma variação no albedo entre 0,154 e 0,183. E por Silva et al., (2016), usando imagens do Landsat 8, verificaram uma variação nas médias do albedo de 0,166 a 0,182. Ambas as pesquisas citadas foram realizadas na mesma região deste estudo em pomares de coqueiros irrigados.

Enquanto à variação do albedo na área irrigada entre as datas pode ser relacionada à sazonalidade, pois, de acordo com Oliveira et al., (2012), no período chuvoso as precipitações promovem redução da radiação refletida pelo solo, devido ao aumento do índice de área foliar da vegetação, explicando menor albedo. Já a elevação do albedo no transcurso do ano é devido a aumento na temperatura, redução da umidade no solo e consequentemente queda no índice de vegetação, sendo isto observado por pesquisas com sensoriamento remoto no semiárido brasileiro por Bezerra et al., (2014); Martins & Galvani, (2020); Silva et al., (2021).

Por essa razão, o albedo de superfície apresenta forte correlação com os índices de vegetação NDVI e IAF (Tabela 3). Cunha et al. (2012), no semiárido nordestino, observou que o albedo de superfície há uma forte correlação com a cobertura do solo, sendo este um importante parâmetro em estudos ambientais.

Todavia, os albedos das áreas irrigadas são mais claramente diferentes de áreas de vegetação nativa em meses mais distantes da estação chuvosa (SILVA et al., 2016).

4.2. Índice de vegetação

A razão do maior NDVI pode ser associada à precipitação, a principal causa dessas modificações em razão da umidade presente no solo, visto que 90% das precipitações ocorreram no intervalo de janeiro a maio (com o acumulado de 638,2 mm) (Figura 3), enquanto, em outubro na região predomina período de estiagem e com maiores temperaturas médias. Esse incremento no NDVI no período chuvoso e a redução na época mais seca foram também observadas por Simões et al., (2021) e Bezerra et al., (2014). O NDVI está

diretamente relacionado com a capacidade fotossintética da planta e é influenciada negativamente pelo déficit hídrico (ALLEN et al., 2011).

Mesmo com aplicação de água por irrigação, ocorreu uma redução no NDVI da cultura no período de estiagem. A tendência a qual foi observada anteriormente no albedo, portanto, há uma correlação entre as variáveis, afirmada por Bezerra et al., (2014), pois nessa circunstância a redução do NDVI, há um aumento da reflectância na faixa espectral do visível (albedo elevado) e absorver mais na faixa espectral do infravermelho, a qual promove a maior valor da temperatura de superfície.

Desde o ano de 2012 os índices pluviométricos na região do sertão paraibano estavam abaixo da média. Esse período foi marcado por limitações hídricas para a região. Ocorrendo cortes da irrigação nos pomares implantados com coqueiro, a consequência foi à redução das áreas colhidas em 83,73% no ano de 2015 em relação ao ano de 2011 com 1,353 hectares, refletindo uma queda no rendimento de frutos de 22000 para 6000 kg ha⁻¹ (redução de 72,72%) comparado a esse mesmo ano (IBGE, 2022). De modo, resultando não apenas na queda da produtividade, mas perdas de pomares e de plantas, causando desuniformidade nas áreas de cultivo, justificando as variações nos índices do NDVI e também do IAF.

Como o IAF é fortemente correlacionado com o NDVI (Tabela 3), houve uma redução na área à medida que se distancia do período chuvoso (Figura 5). Lins et al. (2021), encontraram o índice de área foliar (IAF) da bacia hidrográfica do córrego Exu, assim, como NDVI, valores mais elevados nas datas com maior precipitação antecedente, o que destaca o regime de precipitação como decisivo no aumento dos índices de vegetação.

4.3. Temperatura de superfície

A temperatura de superfície é uma importante variável a ser determinada, pois fornece informações sobre cobertura do solo e é utilizada para determinar outras variáveis. A condição de déficit hídrico e elevada insolação, pode ser indicada através da mensuração da temperatura de superfície (BEZERRA et al., 2014).

É notória como a estação do ano diferencia as variáveis meteorológicas. Isto é, o incremento na cobertura vegetal na estação chuvosa, contribuiu na redução da temperatura de superfície. Observe-se que na data 15 de maio apresentou uma T_s em média na área irrigada de $25,75^\circ\text{C}$, não havendo distinção entre a área irrigada e as áreas subjacentes, isto devido às precipitações (Figura 7 A). Resultado semelhante ao encontrado por Oliveira et al. (2012), pontuando que a precipitação favoreceu a diminuição da temperatura da superfície.

A área do coqueiral nos meses de junho e outubro foi registrada as maiores temperaturas de superfície em média geral ($32,15^\circ\text{C}$) (Figura 7 B e C). Na análise temporal, se estimou um CV de 12,66% para temperatura de superfície. Geralmente, a precipitação e cobertura vegetal reduzem a temperatura da superfície, mas Bezerra et al. (2014) destacam outros parâmetros relacionados à sazonalidade, como as variáveis meteorológicas de radiação solar global incidente e a temperatura do ar.

A elevação da temperatura da superfície no percurso do ano foi causada provavelmente pela redução no NDVI, e consequentemente com aumento da refletância na faixa espectral do visível e maior absorção na faixa espectral do infravermelho. Segundo Gartland (2010), às elevadas temperaturas, são relacionadas à falta de cobertura do solo, acarretando uma constante incidência de radiação solar, e uma alta amplitude térmica, assim, aquecendo rapidamente durante o período de exposição solar, fazendo com que a temperatura aumente durante o dia, aumentando a irradiação de calor e sua temperatura. Nas áreas adjacentes não irrigadas foram detectadas temperaturas ainda mais elevadas, semelhante aos resultados observados por Silva et al. (2021) que encontraram os menores valores de temperatura de superfície nas áreas irrigadas e bem vegetadas.

Por essa razão há uma correlação proporcional inversa do albedo com as variáveis de índice de vegetação (NDVI e IAF), e uma correlação proporcional direta com a temperatura de superfície (Tabela 4).

A temperatura de superfície reduz à medida que ocorre um incremento nos índices vegetativo, pois apresenta correlação inversa, Silva et al. (2021) explica que a maior densidade de vegetação contribui significativamente para diminuição da T_s , devido à capacidade do dossel em absorver radiação e impedir que essa mesma radiação chegue ao solo e se transforme em ondas curtas, aquecendo substancialmente a área, melhorando diversos aspectos da superfície.

Todos os resultados dos parâmetros biofísicos estão de acordo com os encontrados por Ivo et al. (2020), em que os maiores NDVI e menores albedo e T_s foram observados nas áreas mais densamente vegetadas.

5. CONCLUSÕES

As cartas temáticas produzidas do albedo, dos índices de vegetação e da temperatura de superfície a partir de imagens de satélite do LANDSAT 8, permitiram detectar diferentes graus de cobertura vegetal na área implantada com coqueiro. Sendo uma técnica promissora no gerenciamento de área agrícola, reduzindo custo e tempo, auxiliando na tomada de decisões.

A influência do manejo e da sazonalidade na cultura do coqueiro é detectada nos parâmetros biofísicos, havendo correlação entre as mesmas, pois, o incremento da biomassa

na cultura, ocorre à redução da refletância no período chuvoso, enquanto, a redução dos índices vegetativos no período seco e sem a manutenção hídrica adequada ocorre o aumento da refletância ocasionando a elevação do albedo e da temperatura de superfícies.

6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.015>
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). **Advance Training and User's Manual – Idaho Implementation**, v. 1, p. 97, 2002.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>
- CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. D. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539-548, 2012.
- CHANDER, G.; MARKHAN, B. Revised Landsat 5 - TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- FRANÇA, L. C. J.; SILVA, J. B. L.; LISBOA, G. S.; MUCIDA, D. P.; CERQUEIRA, C. L.; SANTOS, E. L. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica na região do MATOPIBA, Brasil. **Nativa**, v. 6, n. especial, p. 737-744, 2018. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5843>
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- IVO, I. O.; BIUDES, M. S.; COSTA, R. O.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F.; PEDREIRA JUNIOR, A. L. Variação temporal de parâmetros biofísicos da superfície por imagens Landsat 5 em diferentes coberturas do solo em uma área de transição de Cerrado e Pantanal em Mato Grosso. **Nativa**, v. 8, n. 5, p. 597-602, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i5.10064>
- IBGE_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal-SIDRA, Censo, 2020. Disponível em > <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em > 08 abr.2022.
- IBGE_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados de Informações Ambientais-BDiA, Censo,

2023. Disponível em >

<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>.

Acessado em: > 15. jan. 2023.

INMET_Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2020.

LINS, F. A. C.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, E. F. F. Biophysical parameters to the surface by orbital remote sensing in hydrographic basin of the Brazilian semiarid. **GeoUERJ**, v. 1, n. 39, e39650, 2021. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.39650>

LEAL, F. A.; SOUZA, C. M.; LEAL, G. S. A.; MIGUEL, E. P. Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 226-231, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6664>

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVINCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900005>

PEZZONI FILHO, J. C.; LESSA, L. G. F.; FILGUEIRAS, R.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R. L.; FURTADO, E. L. Comportamento do vigor foliar em seringueira em diferentes fenologias de dossel. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 497-506, 2018. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5279>

RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; NASCIMENTO, C. R. Análise temporal das variações de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar em Jaíba - MG. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 150-155, 2015. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n03a01>

SILVA, C. V. S.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, L. C. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7646>

SAMPAIO, A. P. C.; SILVA, A. K. P.; BARROS, V. S.; AMORIM, J. R. A.; MIRANDA, F. R.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. Pegada hídrica da água de coco verde nas principais regiões produtoras do Nordeste. **Revista Latino-americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, Edição Especial, v. 1, n. 2, p. 128-141, 2018. <https://doi.org/10.18225/lalca.v1iEspec.4469>

SIMÕES, E. M.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C.; Índice de vegetação por diferença normalizada associado às variáveis pluviométricas para a sub-bacia do Rio Espinharas – PB/RN. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 106-114, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10453>

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>

SOUZA, J. F. **Análise das mudanças do uso e ocupação do solo, variabilidade da temperatura e do saldo de radiação em João Pessoa – PB**. 130f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental] - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

MARTINS, A. P.; GALVANI, E. Relação entre uso e cobertura da terra e parâmetros biofísicos no Cerrado Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 40, n. 1, p. 148-162, 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v40i0.167739>

SILVA, L. C.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, M. V.; BATISTA, P. H. D. Índices biofísicos e o saldo de radiação à superfície via sensoriamento remoto no Semiárido Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 6, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.24221/jcap.6.1.2021.2876.012-023>

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo-PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 145-152, 2011.

Agradecimentos: A Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA); Universidade Federal de Campina Grande; CAPES pela bolsa de Doutorado.

Contribuição dos autores: M.A.C., R.R.S.D., H.O.C.G. e C.W.O - metodologia, coleta de dados, análise estatística, redação (revisão e edição), administração, escrita; C.L.M.S - validação, redação (rascunho original). Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Coordenação Brasileira de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES (Bolsa de Doutorado para o primeiro autor).

Revisão por comitê institucional: Não se aplica.

Comitê de Ética: Não se aplica.

Disponibilização de dados: **Contribuição dos autores:** Os dados desse estudo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente ou primeiro autor, através do e-mail (mailson.cordao@gmail.com).

Conflito de Interesse: Os autores declaram que não existem conflitos de interesse com outros pesquisadores ou instituições.