



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v.7, nº 2 (2021)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID24343>



VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS DE CAATINGA NO SUDOESTE PIAUIENSE

Camila Gomes Bezerra de Melo¹; Gabriel Siqueira Tavares Fernandes²; Fabrício Marcos Oliveira Lopes³; Vynicius Barbosa de Oliveira⁴; Victor Gurgel Pessoa⁵

¹Mestranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9557-9788>

E-mail: camilagbm22@gmail.com

²Mestre em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0781-1696>

E-mail: agrogabrielt@gmail.com

³Doutor em Sensoriamento Remoto, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6632-4062>

E-mail: pabriciope@gmail.com

⁴Mestrando em Ciências ambientais, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém/PA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7544-4904>

E-mail: vyniciuspi@gmail.com

⁵Doutorando em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, Brasil.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4845-9948>

E-mail: victor.pessoa@outlook.com

Resumo

A vegetação de Caatinga compreende cerca de 80% da região Nordeste e 11% do território nacional. Este bioma é predominantemente constituído de espécies vegetais de porte arbóreo e arbustivo, o que garante uma complexa heterogeneidade na cobertura vegetal. Entender os processos biofísicos associados à esta variação é de suma importância para compreender os processos ecossistêmicos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variação espaço-temporal da

evapotranspiração em fragmentos de Caatinga com diferentes fitofisionomias, localizados no município de Bom Jesus, Piauí. As imagens utilizadas foram provenientes dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8, para as áreas onde houve a identificação de três fragmentos da Caatinga, Caatinga arbórea (CAbo), Caatinga arbórea-arbustiva (CAb) e Caatinga arbustiva (CAbu). Através do processamento do algoritmo do SEBAL, obteve-se os índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF e índices biofísicos de Temperatura da superfície (Ts) e Evapotranspiração (ETr). Observou-se que em relação aos índices de vegetação médios, os fragmentos apresentaram distinção entre a cobertura e densidade vegetal, estando associados a variações de Ts e ETr, nos quais foi notável a ocorrência de menores temperaturas e maiores ETr em áreas que apresentaram maiores densidades vegetais. Dessa forma, ressalta-se a relevância da cobertura vegetal para a manutenção dos processos biofísicos na superfície terrestre.

Palavras-chave: SEBAL; Sensoriamento remoto; Vegetação nativa.

SPACE-TEMPORAL VARIATION OF VEGETATION AND EVAPOTRANSPIRATION INDICES IN CAATINGA AREAS

Abstract

Caatinga vegetation comprises about 80% of the Northeast region and 11% of the national territory. This biome is predominantly made up of plant species with arboreal and shrub size, which guarantees a complex heterogeneity in the vegetation cover. Understanding the biophysical processes associated with its variation is important for understanding the ecosystem processes. Therefore, the objective of this work was to evaluate the spatio-temporal variation of vegetation index and evapotranspiration in fragments of Caatinga with different phytophysiognomies, located in the municipality of Bom Jesus, Piauí. The images used came from the OLI and TIRS sensors of the Landsat 8 satellite, on the areas that were identified three fragments of the Caatinga. Arboreal Caatinga (CAbo), Arboreal-shrub Caatinga (CAb) and Shrub Caatinga (CAbu). Through the processing of the SEBAL algorithm, the NDVI, SAVI and IAF vegetation indexes and biophysical indices of Surface Temperature (Ts) and Evapotranspiration (ETr) were obtained. It was observed that in relation to the average of vegetation indexes, the fragments had

distinct results between vegetation cover and density, being associated with variations of Ts and ETr, in which the occurrence of lower temperatures and higher ETr was noteworthy in areas with higher densities of vegetation. Thus, the relevance of the vegetation cover for the maintenance of the biophysical processes on the terrestrial surface is emphasized.

Keywords: SEBAL; Remote sensing; Native vegetation.

VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LAS ÁREAS DE CAATINGA

Resumen

La vegetación de Caatinga comprende alrededor del 80% de la región Nordeste y el 11% del territorio nacional. Este bioma está formado predominantemente por especies vegetales de tamaño arbóreo y arbustivo, lo que garantiza una compleja heterogeneidad en la cobertura vegetal. Comprender los procesos biofísicos asociados con esta variación es de suma importancia para comprender los procesos de los ecosistemas. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la variación espacio-temporal de índices vegetativos y evapotranspiración en fragmentos de Caatinga con diferentes fitofisiognomías, ubicados en el municipio de Bom Jesus, Piauí. Las imágenes utilizadas provienen de los sensores OLI y TIRS del satélite Landsat 8, para las áreas donde se identificaron tres fragmentos de Caatinga, Caatinga árbol (CAbo), Caatinga árbol-arbusto (CAb) y Caatinga arbusto (CAbu). Mediante el procesamiento del algoritmo SEBAL se obtuvieron los índices de vegetación NDVI, SAVI e IAF y los índices biofísicos de Temperatura de Superficie (Ts) y Evapotranspiración (ETr). Se observó que en relación a los índices de vegetación promedio, los fragmentos mostraron una distinción entre cobertura vegetal y densidad, asociándose con variaciones de Ts y ETr, en las que se destacó la ocurrencia de temperaturas más bajas y ETr más altas en áreas que presentaron densidades de vegetación más altas. Así, se enfatiza la relevancia de la cobertura vegetal para el mantenimiento de los procesos biofísicos en la superficie terrestre.

Palabras-clave: SEBAL; Percepción remota; Vegetación nativa.

1. INTRODUÇÃO

A vegetação de Caatinga abrange o semiárido brasileiro e recobre cerca de 80% da região Nordeste e 11% do território nacional (SANTOS *et al.*, 2012). Este bioma agrega 5.344 espécies de plantas sendo que 318 delas são endêmicas e, em sua maioria, são características de florestas arbóreas e arbustivas, com comportamento caducifólio ou xerofítico (LOIOLA *et al.*, 2012). Seu clima é sazonal, com meses chuvosos, de janeiro a abril, e longo período sem chuvas, de maio a dezembro (SOUZA *et al.*, 2015).

Este bioma é caracterizado por possuir espécies vegetais de porte arbóreo e arbustivo, alta incidência de raios solares, altas temperaturas e elevada evapotranspiração, fatores que refletem na fragilidade desse ecossistema (MDR, 2018). A Caatinga, apresenta elevada heterogeneidade em sua fitofisionomia por sua alta diversidade de espécies (VASCONCELOS *et al.*, 2017), o

que ocasiona uma alta variação na densidade e distribuição da vegetação.

As florestas exercem uma função determinante na manutenção climática através de vários fatores, dentre eles a evapotranspiração (DAVIDSON *et al.*, 2012). A evapotranspiração é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e pode ser definida como a quantidade de água que uma superfície com algum grau de cobertura vegetal evapora e transpira durante um determinado período, o que inclui a evaporação da água do solo, da água depositada pela irrigação, chuva ou orvalho na superfície das folhas e a transpiração vegetal, ou seja, o processo evapotranspirativo é função dos elementos meteorológicos, do solo e da planta (BEZERRA, 2013).

O processo de evapotranspiração possui variabilidade no espaço e no tempo. No espaço, devido à volubilidade das precipitações, das características hidráulicas dos solos, tipos e densidade da vegetação, e sua variabilidade no tempo é devido à sazonalidade do clima (ALLEN *et al.*, 2002). Através do sensoriamento remoto é possível analisar esta variável, como uma alternativa eficaz e econômica para o monitoramento da superfície terrestre, permitindo a determinação das modificações espaciais e temporais da evapotranspiração real.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variação espaço-temporal dos índices vegetativos e evapotranspiração em fragmentos de Caatinga com diferentes fitofisionomias, localizados no município de Bom Jesus, Piauí.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado em três áreas distintas localizadas no município de Bom Jesus localizado a 09°04'28''S e a 44°21'31''W com altitude média de 277 m, situado na mesorregião sudoeste do estado do Piauí (Figura 1), que faz parte da região semiárida do estado, com clima quente e úmido. Possui temperatura média de 27,7°C e precipitação de 986,7 mm.ano⁻¹ (INMET, 2019) e é classificado por Köppen como Aw, tropical chuvoso com estação seca no inverno e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (ALVARES *et al.*, 2013).



Figura 1 - Município de Bom Jesus, Piauí e fragmentos do bioma Caatinga analisados, Caatinga Arbórea (CAbo), Caatinga Arbustiva (CAbu) e Caatinga Arbóreo-Arbustiva (CAb). Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019.

A área de estudo compreende em uma propriedade particular que possui 480 hectares, cuja vegetação, apresenta diferentes fitofisionomias e foi caracterizada e classificada por Leite *et al.* (2019). Segundo esses autores, as parcelas da vegetação (Figura 1) possuem variação no seu porte, composição florística, altitude e em função do distanciamento do leito do Rio Gurguéia e, além

disso, a biomassa vegetal presente na área varia de 15,4 a 121,9 Mg ha⁻¹, sendo maior na CABo, seguido pela CAB e CABu. Para presente trabalho, considerou-se amostras com áreas de 16471,5 m² para CABo, 16719,6 m² para CABu e 18646,7 m² para CAB.

A área de Caatinga Arbórea (CABo) apresenta predomínio das espécies arbóreas *Bauhinia unguolata* L. e *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) DC., as quais possuem copa fechada e podem atingir até 12 e 20 m de altura, respectivamente.; A Caatinga Arbustiva (CABu) possui presença majoritária de arbustos (abaixo de 6 m de altura), onde há predominância das espécies *Mimosa verrucosa* Benth. e *Piptadenia moniliformis* Benth e; no fragmento de Caatinga Arbóreo-Arbustiva (CAB), configura-se a superioridade de plantas de porte médio com espécies de *Annona leptopetala* (R.E.Fr.) H. Raine e *Piptadenia moniliformis* Benth (LEITE et al., 2019).

As imagens utilizadas para a análise da evapotranspiração em cada uma das áreas são provenientes dos sensores que estão a bordo do Landsat 8, OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), as quais possuem resolução espacial de 30 m para as bandas refletivas 1 a 7 e 100 m nas bandas termais 10 e 11, e a banda pancromática 8 com resolução de 15 m (NASA, 2019).

Os dados meteorológicos utilizados para o processamento das imagens foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação que se encontra localizada na Universidade Federal do Piauí (UFPI/CPCE).

As imagens foram obtidas no United States Geological Survey (USGS, 2019) e selecionadas com cobertura de nuvens menor que 10% e considerando as estações do ano. Deste modo foram selecionadas as imagens dos dias: 09/01/2018, 01/05/2018, 04/07/2018 e 22/09/2018, as quais foram reprojatadas com auxílio do software QGIS 3.8.3 (QGIS Development Team, 2019), assumindo a Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum SIRGAS 2000 e Fuso 23S.

As etapas de processamento das imagens consistiram na obtenção da radiância espectral, da reflectância, do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), do SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e do IAF (Índice de Área Foliar), Temperatura da Superfície (Ts), além dos componentes do balanço de energia, a partir do algoritmo SEBAL (BASTIAANSEN et al., 2005), com etapas descritas de forma detalhada por Machado et al. (2014).

As imagens foram processadas no programa GRASS GIS 7.4.0 (GRASS Development Team, 2018), utilizando-se de um script na linguagem de programação python (WOLFF, 2016) até o cálculo do Fluxo de Calor no solo (G), prosseguindo com o cálculo das etapas do SEBAL no software QGIS 3.8.3 (QGIS Development Team, 2019), até a obtenção da evapotranspiração real (mm.dia⁻¹). Ao final do processamento as imagens foram limitadas aos fragmentos da Caatinga do município de Bom Jesus utilizando a ferramenta recorte.

A fim de verificar a relação existente entre as frações da vegetação (NDVI) e a evapotranspiração, foi realizada regressão polinomial entre as variáveis utilizando o software Software R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontrou-se diferença entre os índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF), temperatura da superfície e evapotranspiração entre as datas e áreas avaliadas (Tabela 1). No mês de janeiro, a área de Caatinga arbórea-arbustiva (CAB) possui os maiores valores de NDVI (0,76), IAF (1,11) e SAVI (0,47), seguida pela Caatinga arbórea (CABo) e Caatinga arbustiva (CABu).

Tabela 1 - Índices de vegetação e biofísicos médios em diferentes fragmentos de Caatinga nos dias, 09/01/2018, 01/05/2018, 01/05/2018 e 22/09/2018 na região de Bom Jesus, Piauí. Fonte: Própria (2020).

Área	09/01/2018				
	NDVI	IAF (m ² .m ⁻²)	SAVI	T (°C)	ETr (mm.dia ⁻¹)
CABo	0,70	1,02	0,45	26,88	5,33
CABu	0,70	0,91	0,43	27,19	5,28
CAB	0,76	1,11	0,47	26,84	5,41
Área	01/05/2018				
CABo	0,75	1,04	0,46	25,76	3,64
CABu	0,73	0,91	0,31	26,12	4,08
CAB	0,73	0,89	0,27	26,39	4,05
Área	04/07/2018				
CABo	0,70	0,88	0,42	28,55	4,19
CABu	0,57	0,49	0,42	29,14	3,54
CAB	0,49	0,38	0,42	30,23	3,31
Área	22/09/2018				
CABo	0,65	0,89	0,42	35,57	4,64
CABu	0,41	0,32	0,25	37,87	4,11
CAB	0,39	0,29	0,24	37,52	4,14

Em maio, julho e setembro, nota-se que o fragmento CABo detém os maiores valores nos índices de vegetação, com variação de 0,65 a 0,75 para o NDVI, 0,89 a 1,02 m².m⁻² para o IAF e de 0,42 a 0,46 para o SAVI, enquanto a área de CAB apresenta menores valores destas variáveis, com variação entre 0,39 e 0,76, 0,29 e 1,11 m².m⁻² e 0,24 e 0,47, para o NDVI, IAF e SAVI, respectivamente. Observa-se que a porção CABu está em uma situação intermediária com relação a CABo e CAB.

Maiores valores de NDVI, SAVI e IAF indicam a presença de vegetação verde mais densa na área. Dessa forma, nota-se que a CABo apresentou uma maior densidade e, conseqüentemente, uma maior cobertura vegetal no decorrer do ano, sendo superada, no entanto, em janeiro pela CAB. Este comportamento pode estar associado ao fato que a CABo tem maior proximidade com o rio (Figura 1) o que disponibilizaria uma maior quantidade de umidade no solo dessa região, permitindo assim a manutenção da cobertura verde.

A variabilidade espacial da cobertura vegetal também está relacionada à acentuada heterogeneidade da vegetação nativa da região que apresentam diferentes espécies com seus respectivos portes e arquitetura foliar (LEITE et al., 2019), o que resulta em diferenças na densidade e distribuição da cobertura vegetal (VASCONCELOS et al., 2017).

A região da Caatinga apresenta uma grande heterogeneidade quanto à densidade e porte de sua vegetação. Fatores ambientais naturais são responsáveis por esta heterogeneidade como, por exemplo, o déficit hídrico que faz com que as plantas tenham menor porte, ou regiões com maior umidade que apresentam vegetação de mais alto porte (AMORIM et al. 2005).

Em vegetação de Caatinga classificada como Arbórea-arbustiva, no município de Petrolina, Brito et al. (2017) encontraram valores de NDVI variando predominantemente entre 0,4 e 0,6. Resultados semelhantes aos apresentados no presente estudo.

O comportamento dos elementos meteorológicos está diretamente relacionado à variação sazonal da densidade da vegetação, principalmente no que se refere à precipitação. Assim, maiores totais pluviométricos estão associados à maiores valores de índices vegetativos (LIU et al., 1991). Como pode-se observar na Figura 2, os maiores totais pluviométricos foram registrados no mês de janeiro (276,4 mm), mês no qual se obteve maiores valores nas variáveis NDVI, IAF e SAVI (Tabela 1).

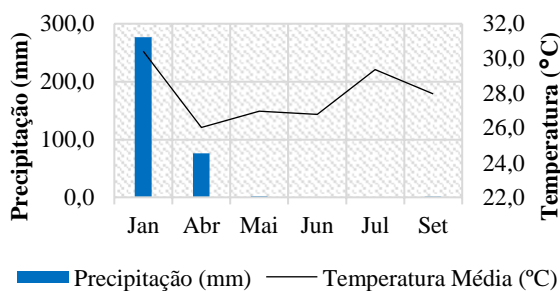


Figura 2 – Variação da precipitação pluviométrica acumulada mensal e temperatura média do ar no Município de Bom Jesus, Piauí. Fonte: Própria (2019).

Associados à variação da vegetação, estão os índices biofísicos de temperatura da superfície (T_s) e evapotranspiração real (ET_r) (Tabela 1). No que se refere à T_s , nota-se que houve a variação de 25,75 a 35,57 °C; 26,12 a 37,87 °C e de 26,39 a

37,52 °C; nas áreas de CAbo, CABu e CAB, respectivamente (Tabela 1).

Vale ressaltar que é perceptível uma relação evidente entre essa variável e os índices de vegetação, em que maiores temperaturas estão relacionadas a áreas de menores coberturas vegetais. Em contrapartida, áreas mais densas, possuem menor temperatura superficial, em todas as datas avaliadas (Tabela 1). A variação da T_s , nesse sentido, está relacionada à distribuição de radiação solar na vegetação, pois, áreas que possuem maior cobertura e densidade vegetal interceptam maiores quantidades de radiação, impedindo que essa energia esteja disponível em maiores quantidades à superfície para aquecê-la (ANDRADE et al., 2014).

Em estudos realizados nos mesmos fragmentos de Caatinga avaliados no presente trabalho, Fernandes et al. (2019), buscando caracterizar o balanço de energia, encontrou-se maiores frações do saldo de radiação sendo direcionada ao calor sensível nas áreas de vegetação mais rala (CABu) e de menores em áreas de maior densidade (CAbo), indicando um maior aquecimento da superfície em áreas menos densas, enfatizando assim a importância da presença de vegetação na manutenção da temperatura da superfície.

Quanto à ET_r, houve a variação entre 3,64 e 5,33 mm.dia⁻¹; 3,54 e 5,28 mm.dia⁻¹ e de 3,31 a 5,41 mm.dia⁻¹; nas áreas de CAbo, CABu e CAB, respectivamente (Tabela 1). Evidencia-se que a ocorrência de maiores quantidades dessa variável está associada a áreas de vegetação mais densa, exceção é dada apenas para a imagem obtida no mês de maio, no qual a área que apresentou maior densidade (CAbo) não obteve maior quantidade de água perdida por evapotranspiração. Esta posição foi ocupada pela CABu, que obteve 4,08 mm.dia⁻¹ de ET_r.

A evapotranspiração é um processo biofísico que depende diretamente da quantidade de folhas presente na vegetação, as quais são os maiores contribuintes no processo de transpiração (PEREIRA et al., 2002), portanto, a caracterização de uma vegetação mais densa e que apresenta um maior IAF, em uma determinada área, implica uma maior quantidade de água perdida no processo de evapotranspiração.

A fim de ser obter uma caracterização mais concreta da variação espaço-temporal da ET_r, essa variável foi espacializada (Figura 3), onde obteve-se valores situados entre 0 e 6,81 mm.dia⁻¹ na região.

Considerando a variação sazonal das imagens de ET_r (Figura 3), nota-se que maiores valores de ET_r distribuídos espacialmente podem ser observados na imagem obtida no mês de janeiro. Em contrapartida, a imagem relativa ao mês de julho obteve menores valores deste índice.

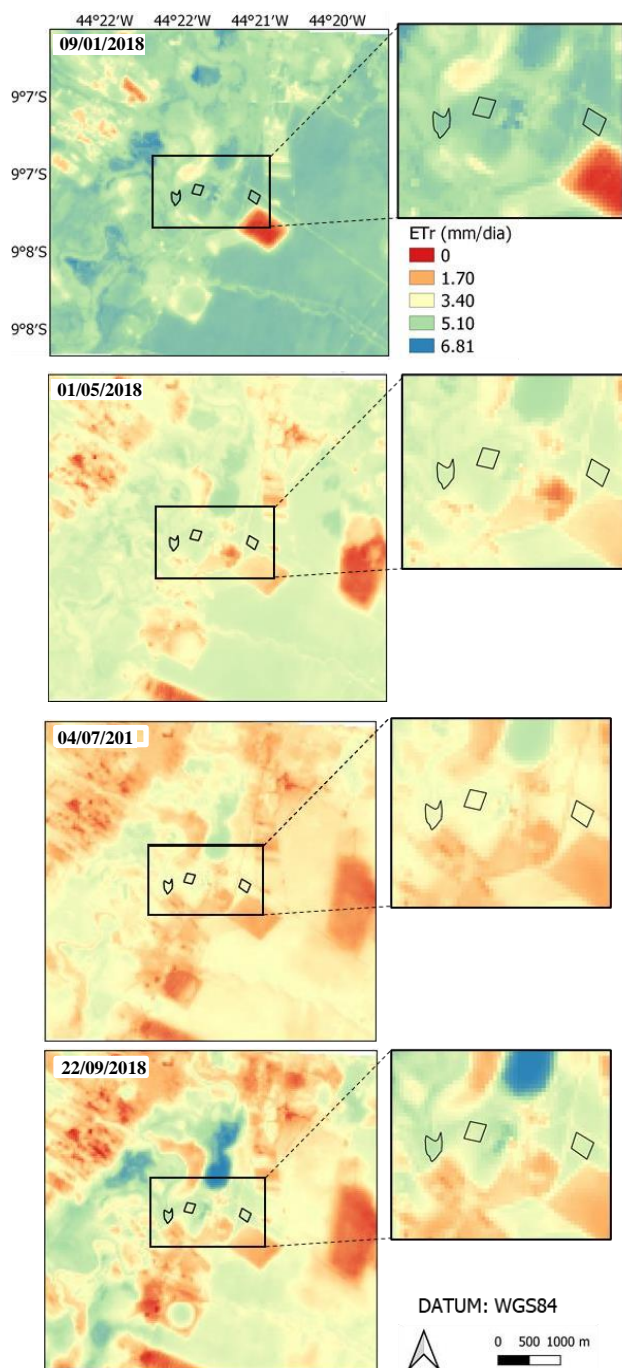


Figura 3 - Variação espacial e temporal da evapotranspiração real diária ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) em fragmentos de Caatinga localizadas no município de Bom Jesus, Piauí. Fonte: Própria (2019).

Em janeiro, observa-se o predomínio da evapotranspiração entre $5,10$ e $6,81 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$, com distribuição semelhante entre as áreas de Caatinga, as quais apresentaram ETr em torno de $5,10 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Figura 3). Maiores valores de ETr relativos à esta data

podem estar associados à maior disponibilidade hídrica na região, nesse período (Figura 2).

No mês de maio, tem-se a distribuição de valores de ETr situados majoritariamente entre $1,70$ e $5,10 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$, com as áreas dos fragmentos de Caatinga apresentando variação de $3,40$ a $5,10 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$. Entre as imagens, a obtida em julho apresentou menores valores de ETr, os quais estão situados, predominantemente, entre 0 e $3,40 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Valores entre 0 e $3,40 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ são prevalentes na imagem de setembro, no entanto as áreas de Caatinga avaliadas obtiveram ETr entre $3,40$ a $5,10 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$. Vale ressaltar que os menores valores de evapotranspiração nos meses de maio, julho e setembro estão relacionados aos menores totais pluviométricos em suas respectivas épocas (Figura 2).

Devido à baixa variação entre as áreas (CAbo, CAbu e CAB) para esta variável, não é possível perceber uma tendência da influência do porte e cobertura vegetal característico de cada fragmento na ETr, na imagem espacializada (Figura 3). Em contrapartida, essa relação é evidente quando se observa a ETr média (Tabela 1), conforme mencionado anteriormente.

Analisando o balanço de energia nos mesmos fragmentos, Fernandes *et al.* (2019), encontraram uma maior parte da radiação solar disponível sendo direcionada ao calor latente na área de CAbo, quando comparada às demais, enfatizando a relevância da maior cobertura e densidade vegetal desta área e seu impacto na evapotranspiração.

Áreas de Caatinga do agreste pernambucano que possuem fitofisionomia herbácea, arbustiva e arbórea, analisadas por Lima *et al.* (2018) obtiveram evapotranspiração variando de $0,2$ a $4,9 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ e média de $2,3 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento heterogêneo da vegetação na Caatinga no Sudoeste do Piauí causa diferenças no porte e distribuição da vegetação o que promove uma variação espacial nos índices de vegetação. Nas áreas avaliadas a Caatinga Arbórea (CAbo) manteve uma maior cobertura vegetal na maior parte do ano.

A variação temporal do NDVI, SAVI e IAF estão relacionados à ocorrência de precipitação na região, maiores valores destes índices foram encontrados no mês em que houve maior acúmulo de precipitação (janeiro).

A temperatura da superfície está associada à densidade da vegetação, maiores valores nos índices vegetativos configuram áreas com menor temperatura superficial, evidenciando a importância da cobertura vegetal na manutenção térmica da superfície.

A evapotranspiração média da região está associada à densidade da vegetação, áreas com maiores índices vegetativos estão sujeitas a perder uma maior quantidade de água pelo processo de evapotranspiração. Assim, a evapotranspiração foi superior no fragmento CAbo, na maior parte do ano.

De acordo com os dados exibidos, evidencia-se que o presente trabalho traz resultados relevantes para a região e enfatiza a necessidade de estudos que visem avaliar a importância da presença e manutenção da vegetação natural nos processos biofísicos que atuam na superfície terrestre, bem como, os impactos da remoção e/ou substituição dessas áreas nesses componentes.

5. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSSEN, W.G. M. SEBAL Surface Energy Balance Algorithm for Land. *Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation*, v 1, p.97, 2002.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de Caatinga do Seridó, RN. *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, p. 615-623, 2005.
- ANDRADE, A.; MOURA, M. A. L.; SANTOS, A. B. D.; CARNEIRO, R. G.; SILVA JÚNIOR, R. S. D. Incident and reflected Photosynthetically Active Radiation above and below canopy in the Mata Atlantica forest in Coruripe, Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 1, p. 68-79, 2014.
- BEZERRA, J. M. *Estimativa da evapotranspiração real para área de caatinga utilizando SEBAL*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE, Brasil, 2013. 77p
- BRITO, P.V.S., MORAIS, Y.C.B., FERREIRA, H.S, SILVA, J. F., GALVÍNIO, J. D. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 493-498, 2017.
- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; BALCH, J. K.;...WOFSEY, S. C. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.
- FERNANDES, G. S. T.; LOPES, P. M. O.; DE OLIVEIRA, V. B.; SILVA, D. A. O. Energy balance by remote sensing in Caatinga fragments in southern Piauí. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 9, p. 131-137, 2019.
- GRASS Development Team. 2018. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, version 7.4. *Open Source Geospatial Foundation*. 2018.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normal climatológica. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 20/02/2020.
- LEITE, R.S.; IVANOV, M.M.M.; OLIVEIRA, P.C.F.; CORDEIRO, M.A.; SANTOS, M.F.; COSTA, D. L.; WATZLAWICK, L.F.; ENGEL, K.; VIEIRA, J.W.P. Fatores abióticos do solo na distribuição espacial da biomassa aérea em áreas de Caatinga no Nordeste brasileiro. in: *Sustentabilidade de Recursos Florestais* [recurso eletrônico]. p. 56-70, 2019.
- LIMA, J.R.S.; OLIVEIRA, C.L.; BARBOSA, A.C; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, E. S. Variação sazonal dos fluxos de energia e evapotranspiração em caatinga no agreste Pernambucano. *Agrometeoros*, v. 25, n. 1, 2018.
- LIU, W.T.; MASSAMBANI, O.; FESTA, M. Normalized difference vegetation index for the South American continent used as a climatic variability indicator. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, v. 24, p.725-732, 1991.
- LOIOLA, M.I.B.; ROQUE, A.A.; OLIVEIRA, A.C.P. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. *Revista Ecologia: Artigos de Divulgação*, v. 4, p. 14-19, 2012.
- MACHADO, C.C.; SILVA, B.D.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVÍNIO, J.D. 2014. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, p. 55-67, 2014.
- MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. Semiárido brasileiro. 2018. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/semiario-brasileiro>. Acesso em 10/08/2019.
- NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Landsat Science. 2020. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/mission-details/>> . Acesso em 10/07/2019.
- NICÁCIO, R.M. *Evapotranspiração Real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do Rio São Francisco*. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. 337p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002, 478p.
- QGIS Development Team. Quantum GIS Software, Version 3.8.3. Disponível em: <<https://qgis.osgeo.org>>. 2019.
- R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 20/07/2019.
- SANTOS, S. A.; CORREIA, M. F.; ARAGÃO, M. R. S.; SILVA, P. K. O. Aspectos da variabilidade sazonal da radiação, fluxos de energia e CO₂ em área de Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p. 761-773, 2012.
- SILVA, A. M. *Relação da variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo e da evapotranspiração utilizando o algoritmo SEBAL automatizado na bacia do Rio Ipanema*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, Brasil, 2017. 73p.

-
- SOUZA, L.S.B; MOURA, M.S.B; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, p. 627-636, 2015.
- USGS. United States Geological Survey. In *Earth Explorer*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 15/07/2019.
- VASCONCELOS, A. D. M.; HENRIQUES, I. G. N.; SOUZA, M. P.; SOUSA SANTOS, W.; SANTOS, W. S.; RAMOS, G. G. Caracterização florística e fitossociológica em área de Caatinga para fins de manejo florestal no município de São Francisco-PI. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 13, n. 4, p. 329-337, 2017.
- WOLFF, W. SEBAL GRASS. Script to calculate daily evapotranspiration for Landsat 8 images in GRASS GIS, 2016. Disponível em: <https://github.com/wwolff7/SEBAL_GRASS>. Acesso em: 10/07/2019.

Recebido em: 11/03/2021

Aceito para publicação em: 23/08/2021