Energy balance by remote sensing in Caatinga fragments in southern Piauí

Gabriel S. T. Fernandes^{*}, Fabrício M. O. Lopes^{**}, Vynicius B. de Oliveira^{***}, Douglas A. de O. Silva^{****}

^{*} Mestrando em Engenharia Agrícola – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: agrogabrielt@gmail.com.

^{**} Doutor em Sensoriamento Remoto – Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: pabriciope@gmail.com.

^{***} Graduando em Ciências Biológicas – Universidade Federal do Piauí, UFPI, Bom Jesus, Piauí, Brasil. E-mail: vyniciuspi@gmail.com.

^{****} Doutorando em Engenharia Agrícola – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: douglasalbertosilva@hotmail.com.

Received 1 August 2019, accepted 6 December 2019

Abstract

Understanding the complexity of heat exchange dynamics between vegetation and atmosphere is crucial for meteorological studies, considering that changes in surface flows can cause climate change. Thus, the objective was to characterize and quantify the energy balance components, as well as to verify if Caatinga heterogeneity has influence on the same, from the different fractions in the municipality of Bom Jesus, Piauí. The municipality is part of the Piauiense Semiarid region, having hot and humid climate (Awa), the vegetation plots are characterized as Caatinga Arboreal (CAbo), Caatinga Arbustiva (CABu) and Caatinga Arboreal-Arbustiva (CAB). The images used come from the Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) sensors which are on board the Landsat 8. Image processing consisting of the conversion of digital number data to spectral radiance; The reflectance, vegetation indices and radiation balance components were obtained from the SEBAL algorithm. In order to verify the relationship between the vegetation fractions (NDVI) and the biophysical components obtained from SEBAL, a regression analysis was performed between the variables. Among the evaluated areas, there was a difference in the distribution of surface available energy (Rn) for each biophysical component of the energy balance, as well as in vegetation characteristics (albedo and NDVI). Regarding the relationship between the peculiar vegetation of each fragment and the components of the energy balance, different relationships were obtained according to each fraction, with relationships directly proportional to Rn, LE and inversely to H and G. Caatinga heterogeneity differently affects the surface energy balance, indicating complex biophysical processes in their relationship with the atmosphere.

Keywords: Biophysical componentes, native vegetation, SEBAL

Balanco de energia via sensoriamento remoto em fragmentos de Caatinga no Sul do Piauí

Resumo

O entendimento da complexidade da dinâmica de trocas de calor entre a vegetação e a atmosfera é crucial para estudos meteorológicos, tendo em vista que a alteração nos fluxos de superfície pode ocasionar uma modificação climática. Dessa forma, objetivou-se caracterizar e quantificar os componentes do balanço de energia, bem como, verificar se a heterogeneidade da Caatinga possui influência no mesmo, a partir das frações distintas, no município de Bom Jesus, Piauí. O município integra a região do Semiárido Piauiense, possuindo clima quente e úmido (Awa), as parcelas da vegetação são caracterizadas como Caatinga Arbórea (CAbo), Caatinga Arbustiva (CABu) e Caatinga Arbóreo-Arbustiva (CAB). As imagens utilizadas são provenientes dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) os quais estão a bordo do Landsat 8. O processamento das imagens que consistiu na conversão dos dados de números digitais para radiancia espectral; obtenção da refletância, dos índices de vegetação e dos componentes do balanço de radiação, de energia, foi realizado a partir do algoritmo SEBAL. A fim de verificar a relação existente entre as frações da vegetação (NDVI) e os componentes biofísicos obtidos do SEBAL, realizou-se análise de regressão entre as variáveis. Entre as áreas avaliadas, encontrou-se diferença na distribuição da energia disponível à superfície (Rn), entre as áreas, para cada componente biofísico do balanço de energia, bem como, em características da vegetação (albedo e NDVI). Quanto a relação existente entre a vegetação peculiar de cada fragmento e os componentes do balanço de energia, se obtiveram relações distintas de acordo com cada fração, com relações diretamente proporcionais para o Rn, LE e inversamente para H e G. A heterogeneidade da Caatinga afeta de forma distinta o balanço de energia à superfície, indicando processos biofísicos complexos na sua relação com a atmosfera

Palavras-chave: Componentes biofísicos, vegetação nativa, SEBAL

1. Introdução

As florestas exercem uma função crucial na manutenção climática em escala regional e global, seja por evapotranspiração, emissão e absorção de gases, atenuação da temperatura superficial ou fornecimento de vapor d'água (Davidson et al., 2012). Em florestas úmidas, a maior fração da radiação líquida disponível à superfície (R_n) é destinada à evapotranspiração via calor latente (LE), seguida pelo aquecimento do ar, isto é, calor sensível (H) (Andrade et al., 2009). Dependendo de sua magnitude, o fluxo de calor latente pode influenciar diretamente na precipitação da região (Swann et al., 2012).

Compreender e quantificar o balanço de energia, ou seja, o direcionamento da resultante da quantidade de radiação recebida na superfície e emitida pela mesma em calor latente (LE), calor sensível (H), fluxo de calor no solo (G) e fotossíntese (F), é relevante no que se diz respeito a avaliar a dinâmica vegetação-atmosfera. Vale ressaltar que a alteração na partição desses fatores, principalmente nos de impacto majoritário (LE e H), podem influenciar os fluxos de superfície e consequente modificação climática (Foley et al., 2003).

A Caatinga é um dos biomas presentes no Brasil e se estende em torno de aproximadamente 800.000 km² em sua região semiárida, abrangendo 80% do Nordeste (Souza et al., 2015). Tal região, climaticamente, é caracterizada com reduzidos totais pluviométricos, elevada evapotranspiração, alta incidência de radiação solar, alta temperatura do ar e baixo percentual de umidade relativa (Alvares et al., 2013), o que garante, devido à baixa disponibilidade hídrica, que uma maior parcela da energia líquida disponível seja direcionada para aquecimento do ar e do solo (Teixeira et al., 2008).

A dinâmica da partição do saldo de radiação depende das condições meteorológicas, bem como, do tipo de superfície na qual essas irão atuar. As diferentes superfícies vegetadas, por exemplo,

interferem em favor de características como albedo e processos de trocas gasosas dependerem de atributos inerentes à espécie vegetal como arquitetura foliar, estágio fenológico, estrutura do dossel, entre outros (Cunha et al., 2013). Tendo em vista que a Caatinga possui uma grande heterogeneidade na sua fitofisionomia, ocasionando diferenças na densidade de vegetação (Vasconcelos et al., 2017), pressupõe-se que cada um dos fragmentos do bioma pode influenciar de forma particular no balanço de energia.

A estimativa desses componentes via sensoriamento remoto surge como uma alternativa eficaz e econômica diante da ausência de dados observados (Machado et al., 2014). O algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), desenvolvido por Bastiaanssen et al. (2005), a partir de imagens de satélite e poucos dados de superfície, vem sendo utilizado para esse fim (Nouri et al., 2017; Ogunjobi et al., 2018; Yang et al., 2018).

Nesse sentido, objetivou-se caracterizar e quantificar os componentes do balanço de energia, bem como, verificar se a heterogeneidade da Caatinga possui influência no mesmo, a partir das frações distintas, Caatinga arbórea, Caatinga arbóreo-arbustiva e Caatinga arbustiva, com utilização de sensoriamento remoto, no município de Bom Jesus, Piauí.

2. Material e métodos

A área de estudo está localizada no município de Bom Jesus, situado na mesorregião sudoeste do estado do Piauí (Figura 1). O município integra a região do Semiárido Piauiense, possuindo clima quente e úmido, classificado por Köppen como Awa (Tropical chuvoso com estação seca no inverno e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C) (Alvares et al., 2013). Este município está localizado a 09°04'28''S e a 44°21'31''W com altitude média de 277 m, possui precipitação e temperatura médias de 986,7 mm ano⁻¹ e 27,7 °C, respectivamente (INMET, 2019).

Figura 1 - Município de Bom Jesus, Piauí e fragmentos do Bioma Caatinga, 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 ha, 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 Gurgueia 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 quantificar o balanço de energia, considerou-se, para o presente trabalho, 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 são provenientes dos sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) os quais estão a bordo do Landsat 8. As imagens obtidas pelo Landsat 8 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. O Global Digital Elevation Model Versão 2 (ASTER GDEM V2) obtido pelo sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, ambos com resolução espacial de 30 m, e arquivos vetoriais da divisão de bairros e uso do solo. (NASA, 2019).

As imagens Landsat 8 e ASTER GDEM V2 da região foram obtidas no *United States Geological Survey* (USGS, 2019) e selecionadas considerando a ausência ou pouca cobertura de nuvens (menor que 10%) e obtidas no período seco (INMET, 2019). Dessa forma, foram selecionados os dias: 22/09/2018 e 24/10/2018, na órbita 220 e no ponto 66, com horário de passagem do satélite às 13:06 (UTC). A reprojeção das imagens foi feita com o software QGIS 3.6.2 (QGIS Development Team, 2019), onde foram reprojatadas assumindo a Projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Datum SIRGAS 2000 e Fuso 23S.

O processamento das imagens que consistiu na conversão dos dados de números digitais para radiância espectral; obtenção da refletância, dos índices de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Ajustado ao Solo (SAVI) e de Área Foliar (IAF); e, por fim, dos componentes do balanço de radiação, de energia, foi realizado a partir do algoritmo SEBAL (Bastiaanssen et al., 2005), cujas etapas estão descritas detalhadamente em Machado et al. (2014). Utilizou-se de um script na linguagem de programação python, disponibilizado por Wolff (2016) no programa GRASS GIS 7.4 (GRASS Development Team, 2018). Após o processamento do algoritmo, as imagens foram limitadas aos fragmentos da Caatinga no município de Bom Jesus por meio de recorte.

Os dados meteorológicos observados utilizados para validação do SEBAL foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os quais foram coletados no mesmo horário da passagem do satélite (10:00 – Horário de Brasília). A estação está instalada nas dependências da Universidade Federal do Piauí (UFPI/CPCE).

A fim de verificar a relação existente entre as frações da vegetação (NDVI) e os componentes biofísicos obtidos do SEBAL, realizou-se análise de

regressão entre as variáveis utilizando o software RStudio 1.2.1355 (Team, 2015). Os coeficientes de determinação (R^2) de cada ajuste foram classificados em: muito forte ($R^2 \geq 0,90$), forte ($0,70 \leq R^2 < 0,90$), média ($0,40 \leq R^2 < 0,70$) e fraca ($R^2 < 0,40$) (Christmann, 1978).

3. Resultados e discussão

Entre as áreas avaliadas, encontrou-se diferença na distribuição da energia disponível à superfície (R_n) para cada componente biofísico do balanço de energia, bem como, em características da vegetação (albedo e NDVI) (Tabela 1).

Em todas as parcelas de Caatinga observou-se maior R_n no dia 24/10/2018, possivelmente em favor da declinação solar (δ), a qual em outubro encontra-se mais próxima da latitude do local ($\delta = -$

12,78°) quando comparada ao dia 22/09/2018 ($\delta = -0,60^\circ$), proporcionando que uma maior quantidade de radiação solar chegue à superfície. A discrepância nas magnitudes de R_n entre os alvos está relacionada ao albedo, esse caracteriza-se como o principal termo de perda dessa parcela de radiação (Monteiro et al., 2014).

Apesar de não apresentar variação tão acentuada, os maiores valores de R_n foram obtidos na Caatinga arbórea (CAbo), seguido pela Caatinga arbustiva (CAbu) e pela Caatinga arbóreo-arbustiva (CAB), em ambas as datas avaliadas. Na área de CAbo, este comportamento de R_n pode estar relacionado ao seu maior NDVI que é inversamente proporcional à temperatura da superfície, ocasionando uma menor reemissão de ondas longas, o que contribui para o aumento da variável (Deng et al., 2018).

Tabela 1 - Valores médios de Saldo de Radiação (R_n), Fluxo de Calor no Solo (G), Fluxo de Calor Sensível (H), Fluxo de Calor Latente (LE) em $W m^{-2}$; Albedo (α), Frações de R_n em % e; Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), para diferentes fragmentos de Caatinga nos dias 22/09/2018 e 24/10/2018 de 2018, na região de Bom Jesus, Piauí.

Variáveis	Caatinga arbórea		Caatinga arbustiva		Caatinga arbóreo-arbustiva	
	22/09/18	24/10/18	22/09/18	24/10/18	22/09/18	24/10/18
R_n	638,87	683,52	629,02	673,68	619,69	664,15
G	94,22	99,86	114,28	121,22	114,65	121,64
G/ R_n	14,75	14,61	18,17	17,99	18,50	18,32
H	106,51	145,40	357,85	475,93	274,52	369,05
H/ R_n	16,67	21,27	56,89	70,65	44,30	55,57
LE	438,13	438,25	156,89	76,52	230,52	173,46
LE/ R_n	68,58	64,12	24,94	11,36	37,20	26,12
α	0,157	0,15	0,156	0,15	0,169	0,16
NDVI	0,64	0,64	0,41	0,42	0,39	0,39

Em áreas de florestas densas nativas da Caatinga na região do Cariri Cearense, Nascimento et al. (2017) encontraram valores similares ($635,85 W m^{-2}$) aos obtidos no presente trabalho para CAbo, as quais se assemelham por NDVI. Dados de radiação líquida estimados por Araújo et al. (2017), para área de floresta tropical caducifolia no Sul do Piauí, apresentam a mesma ordem de grandeza ($650,0 W m^{-2}$) aos aqui expostos.

O fluxo de calor no solo (G) compreende a porção de R_n direcionada para o aquecimento do solo, sendo, portanto, a energia transferida no decorrer do perfil do solo, resultando em incremento de energia para o sistema vegetação-atmosfera à noite ou em redução durante o dia (Galvani et al., 2001). Ao analisar o fracionamento de R_n para cada componente (Tabela 1) percebe-se que os valores

destinados a G foram inferiores aos direcionados a H e LE, para todas as situações, não apresentando variação acentuada entre os dias e tendo comportamento médio de 14,7%, 18,1% e 18,41% de R_n para CAbo, CAbu, CAB, respectivamente.

É notável uma tendência de aumento em G à medida em que o fragmento se distancia do rio (Tabela 1; Figura 1). Fato esse relacionado, possivelmente, a presença de umidade nas proximidades do rio. Além disso, a mesma tendência é observada conforme há decréscimo no NDVI, situação esperada devido a vegetação atuar como agente atenuador na transferência de energia para o solo (Jensen, 2007). Vale ressaltar que os resultados obtidos são inferiores aos expostos por Araújo et al. (2017) ($50 W m^{-2}$) na mesma região, em dados médios anuais.

A fração de energia cuja função é o aquecimento do ar corresponde ao calor sensível (H). Os maiores valores de H foram obtidos na Caatinga arbustiva, seguidas pelas Caatinga arbóreo-arbustiva e Caatinga arbórea, os quais representam em média 60,77%, 49,9% e 18,97% de Rn, respectivamente. É válido salientar que a área mais próxima do rio (Caatinga arbórea) apresentou menor calor sensível, enfatizando a influência da água na dinâmica do balanço de energia. Teixeira et al. (2017) obtiveram H similar ($106,5 \text{ W m}^{-2}$) para área de vegetação natural no semiárido pernambucano, no dia 22/09/2018, ao configurado na CABo ($106,51 \text{ W m}^{-2}$).

O fluxo de calor latente (LE) consiste na parcela de Rn responsável pelos processos físicos relacionados à mudança no estado físico da água. Os menores valores de LE foram encontrados no fragmento de CABu para o dia 22/09/2018 e no de CAB para o dia 24/10/2018 (Tabela 1), logicamente os fluxos superiores se configuraram na Caatinga arbórea, os quais representaram cerca de 66,3% do saldo de radiação. Araújo et al. (2017) em floresta tropical caducifólia no Sul do Piauí, encontraram fluxos de calor latente variando por volta de 100 a 400 W m^{-2} .

Observa-se um decréscimo em LE de 4,5%, 13,6% e 11%, para CABo, CABu e CAB, respectivamente, no dia 24/10/2018, em relação à data anterior. Situação inesperada, tendo em vista que a declinação solar no mesmo dia possibilita uma maior demanda evaporativa da atmosfera (Monteiro et al., 2014), todavia evidencia-se que o fluxo de calor latente também depende da disponibilidade hídrica, uma circunstância de menor oferta hídrica, pode ter causado tal comportamento. Corroborando com essa afirmação, observa-se que se tem uma relação inversamente proporcional entre LE e H, dessa forma, considerando que em áreas úmidas a maior parcela de Rn é destinada a LE (Andrade et al., 2009), pressupõem-se que os fragmentos que apresentaram valores superiores dessa variável encontram-se em condições de maior disponibilidade hídrica em relação às demais e, que a mesma variou entre os dias avaliados.

Quanto a relação existente entre a vegetação peculiar de cada fragmento, sendo caracterizada pelo NDVI, e os componentes do balanço de energia, se obtiveram relações distintas de acordo com cada fração (Figura 2).

Figura 2 - Relação entre Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Fluxos de Calor no Solo (G), Sensível (H), Latente (LE) e Saldo de Radiação (Rn) em fragmentos de Caatinga, em Bom Jesus, Piauí.

O fluxo de calor no solo (G) apresentou relação entre as variáveis classificada como muito forte ($R^2 > 0,9$) para as frações de Caatinga arbórea e Caatinga arbustiva. Em contrapartida, para a área de

Caatinga arbóreo-arbustiva, encontrou-se um R^2 mediano. Como já mencionado anteriormente, esse componente apresenta relação inversamente proporcional com o NDVI, assim como também

exposto na Figura 2, justamente pela vegetação reduzir a quantidade de radiação que chega à superfície do solo (Jensen, 2007) e, consequentemente diminui a transferência de energia no mesmo.

R^2 considerados como fraco, médio e muito forte foram encontrados em CAb, CABu e CAbo, respectivamente, para os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) e, para o saldo de radiação (Rn) (Figura 2). Indicando um acréscimo em LE e Rn e, um decréscimo em H, à medida que se aumenta do NDVI.

Com o aumento do NDVI, tem-se uma maior densidade de vegetação e, consequentemente uma maior transpiração, favorecendo o fluxo de calor latente e prejudicando H. Resultados semelhantes foram obtidos por Gao et al. (2014), os quais encontraram correlação significativa entre LE e H e o NDVI.

No que se refere ao saldo de radiação (Rn), essa relação diretamente proporcional pode estar relacionada ao fato de que conforme há um incremento no NDVI, o qual é inversamente proporcional à temperatura da superfície, tem-se uma menor reemissão de ondas longas, o que contribui para o aumento da variável (Deng et al., 2018), resultando em uma correlação positiva.

4. Conclusão

A heterogeneidade da vegetação na Caatinga afeta de forma diferenciada os componentes biofísicos do balanço de energia à superfície, indicando uma complexidade nas trocas de calor com a atmosfera.

As maiores frações de Rn foram direcionadas ao calor latente e sensível, sendo a dinâmica de ambos controlada, possivelmente, pela disponibilidade hídrica.

Referências

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728.

Andrade, N.D., Aguiar, R.G., Sanches, L., Alves, E. C.R.F., Nogueira, J.D.S., 2009. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição Amazônia-Cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 346-355.

Araújo, A.L.D., Silva, M.T., Silva, B.B.D., Santos, C.A.C.D., Amorim, M.R.B.D., 2017. R-SSEB: simplified modeling for energy balance estimation to the regional scale surface. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 433-446.

Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131, 85-93.

Christmann, R.U., 1978. *Estatística Aplicada*. Edgard Blücher, São Paulo.

Cunha, A.P.M.A., Alvalá, R.D.S., Oliveira, G.D., 2013. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 139-152.

Davidson, E.A., Araújo, A.C., Artaxo Netto, P.E., Balch, J.K., Brown, I.F., Bustamante, M.M., Coe, M.T., Defries, R.S., Keller, M., Longo, M., Munger, J.W., Schroeder, W., Soares-Filho, B.S., Souza, C.M., Wofsy, S.C., 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321-328.

Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J., Chene, F., Qian, Q., 2018. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. *Scientific reports* 8, 1-12.

Foley, J.A., Costa, M.H., Delire, C., Ramankutty, N., Snyder, P., 2003. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontier Ecology Environmet* 1, 38-44.

Galvani, E., Escobedo, J.F., Pereira, A.B., 2001. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia* 60, 139-147.

Gao, Z., Xu, N., Fu, C., Ning, J., 2014. Evaluating drought monitoring methods using remote sensing: A dynamic correlation analysis between heat fluxes and land cover patterns. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8, 298-303.

GRASS Development Team, 2018. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.4. Open Source Geospatial Foundation.

INMET. Normal climatológica. Disponível: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso: 10 jun. 2019.

Jensen, J.R., 2007. *Remote Sensing of the Environment: an earth resource perspective*. 2. ed.: Prentice Hall, Upper Saddle River.

Leite, R.S., Ivanov, M.M.M., Oliveira Filho, P.C., Cordeiro, M.A., Santos, M.F., Costa, D.L., Watzlawick, L.F., Engel, K., Vieira J.W.P., 2019. Fatores abióticos do solo na distribuição espacial da biomassa aérea em áreas de caatinga no nordeste brasileiro, in: Francisco, A.L.O. (Ed.), *Sustentabilidade de Recursos Florestais*. Atena Editora, Ponta Grossa, pp. 56-70.

- Machado, C.C., Silva, B.D., Albuquerque, M.B., Galvncio, J.D., 2014. Estimativa do balano de energia utilizando imagens TM-Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 55-67.
- Monteiro, P.F.C., Fontana, D.C., Santos, T.V.D., Roberti, D.R., 2014. Estimativa dos componentes do balano de energia e da evapotranspirao para reas de cultivo de soja no sul do Brasil utilizando imagens do sensor TM Landsat 5. *Bragantia* 73, 72-80.
- Nascimento, M.T., Silva, J.A., Oliveira, C.W., Meirele, A.C., 2017. Application of the SEBAL model for determining the net radiation in the Cariri Cearense region. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 7, 299-305.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). Landsat Science. 2019. Disponvel: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/mission-details/>. Acesso: 10 jun. 2019.
- Nouri, H., Faramarzi, M., Sobhani, B., Sadeghi, S. H., 2017. Estimation of evapotranspiration based on Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) using Landsat 8 and MODIS images. *Applied Ecology and Environmental Research* 15, 1971-1982.
- Ogunjobi, K.O., Daramola, M.T., Akinsanola, A.A., 2018. Estimation of surface energy fluxes from remotely sensed data over Akure, Nigeria. *Spatial Information Research* 26, 77-89.
- QGIS Development Team. Quantum GIS Software, Version 3.6.2. 2019. Disponvel: <https://qgis.osgeo.org>. Acesso: 10 jun. 2019.
- Souza, B.I., Artigas, R.C., Lima, E.R.V., 2015. The Caatinga and desertification. *Mercator* 14, 131-150.
- Swann, A.L., Fung, I.Y., Chiang, J.C., 2012. Mid-latitude afforestation shifts general circulation and tropical precipitation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 712-716.
- TEAM, RStudio et al., 2015. RStudio: integrated development for R. RStudio, Inc. 42, 14.
- Teixeira, A.H.C., Leivas, J.F., Hernandez, F.B.T., Franco, R.A.M., 2017. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. *Journal of Applied Remote Sensing* 11, 016030-1 - 016030-15.
- Teixeira, A.H.C., Bastiaanssen, W.G.M., Moura, M.S.B., Soares, J.M., Ahmad, M-ud-D., Bos, M.G., 2008. Analysis of energy fluxes and vegetation atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology* 362, 110-127.
- USGS. United States Geological Survey. Landsat 8. Disponvel: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 10 jun. 2019.
- Vasconcelos, A.D.M., Henriques, I.G.N., Souza, M.P., Santos, W.S., Santos, W.S., Ramos, G.G., 2017. Caracterizao florstica e fitossociolgica em rea de Caatinga para fins de manejo florestal no municpio de So Francisco-PI. *Agropecuria Cientfica no Semirido* 13, 329-337.
- Wolff, W. 2016. SEBAL_GRASS. Script to calculate daily evapotranspiration for Landsat8 images, in GRASS GIS 7.X. Disponvel: <http://doi.org/10.5281/zenodo.167350>. Acesso: 10 jun. 2019.
- Yang, Y., Zhou, X., Yang, Y., Bi, S., Yang, X., Li Liu, D., 2018. Evaluating water-saving efficiency of plastic mulching in Northwest China using remote sensing and SEBAL. *Agricultural Water Management* 209, 240-248.