

Spatio-temporal variation of evapotranspiration around the Engenheiro Francisco Saboia Reservoir, Ibimirim-PE

Laízy de S. Azevedo Barbosa*, Pabrcio Marcos Oliveira Lopes**

*Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil.
E-mail: laizy.azevedo@ufpe.br (autor correspondente)

**Universidade Federal de Pernambuco - UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil.
E-mail: pabrciope@gmail.com

Received 9 December 2021, accepted 28 March 2022.

ABSTRACT

The present work had as objective to carry out a spatiotemporal analysis of the daily real evapotranspiration around the Engenheiro Francisco Saboia Reservoir, Ibimirim (PE) through satellite data. Three images from the Landsat 8 -OLI satellite, orbit 215 point 66, from the month of October 2018, 2019 and 2020 were used. The estimate of the real daily evapotranspiration was obtained by means of the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) algorithm. This algorithm consists of several steps, which consists of estimating the balance of radiation and energy and evapotranspiration. To obtain some parameters, data from the meteorological station located in the municipality of Ibimirim-PE and from the Landsat 8 scene were used. Average daily evapotranspiration values of 2.93 mm.day⁻¹, 1.96 mm.day⁻¹, 2.07 mm.day⁻¹ for the years 2018, 2019 and 2020, respectively. Note that evapotranspiration varies in the period analyzed mainly between 2018 and other years due to the amount of radiation available for each day. The procedures used proved to be efficient in the analyzes carried out, with SEBAL being an extremely important tool for the environmental management of water resources.

KeyWords: Evapotranspiration; SEBAL; Water Reservoir.

Variação espaço-temporal da evapotranspiração no entorno do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia, Ibimirim-PE

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise espaço-temporal da evapotranspiração real diária no entorno do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia, Ibimirim (PE) por meio de dados de satélite. Foram utilizadas três imagens do satélite Landsat 8 -OLI, órbita 215 ponto 66, do mês de outubro dos anos de 2018, 2019 e 2020. Obteve-se a estimativa da evapotranspiração real diária por meio do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). Esse algoritmo é composto por várias etapas, que consiste na estimativa do balanço de radiação e de energia e evapotranspiração. Para a obtenção de alguns parâmetros, utilizou-se dados da estação meteorológica localizada no município de Ibimirim-PE e na cena Landsat 8. Foram obtidos valores médios para a evapotranspiração diária de 2,93 mm.dia⁻¹, 1,96 mm.dia⁻¹, 2,07 mm.dia⁻¹ para os anos de 2018, 2019 e 2020, respectivamente. Observou-se que a evapotranspiração apresentou variação no período analisado principalmente entre 2018 e os outros anos devido à quantidade de radiação disponível para cada dia. Os procedimentos utilizados demonstraram-se eficientes nas análises realizadas, sendo o SEBAL uma ferramenta de extrema importância para a gestão ambiental dos recursos hídricos.

Palavras - Chave: Evapotranspiração; SEBAL; Reservatório de água.

Introdução

A evapotranspiração (ET) é essencial para a manutenção da vida no planeta. É um dos principais componentes do ciclo hidrológico. Além disso, essa etapa é responsável pela

transferência de grandes quantidades de água da superfície para a atmosfera na forma de vapor, ocorrendo de forma associada pela evaporação de corpos d'água (reservatórios, rios, lagos, oceanos, etc), solo e da vegetação úmida, em conjunto com a transpiração das plantas. Para que haja um manejo eficaz dos recursos hídricos é de fundamental

importância compreender os processos envolvidos no armazenamento e liberação de água, seja numa bacia hidrográfica, no solo ou através da vegetação (Veloso *et al.*, 2017).

Segundo Sun *et al.*, 2018, a evapotranspiração contribui para a manutenção de energia, umidade entre o solo-vegetação-atmosfera e a regulação do clima local e regional e sofre influência de fatores biofísicos, ambientais e meteorológicos, como precipitação, umidade do ar e do solo, área foliar, radiação líquida, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, velocidade do vento, etc.

O processo de evapotranspiração apresenta variações no espaço e no tempo. Em relação ao espaço, as mudanças ocorrem devido à instabilidade das precipitações, das características dos solos, tipos e densidade da vegetação, já em relação ao tempo ocorre devido à sazonalidade do clima (Allen *et al.*, 2002).

A determinação da evapotranspiração pode ser realizada por diferentes métodos, como: lisímetros, Penman-Monteith, razão de Bowen, covariância turbulenta, sensoriamento remoto orbital, entre outros (Basit *et al.*, 2018; Danodia *et al.*, 2019). Dentre eles, destaca-se o uso do Sensoriamento Remoto como uma alternativa eficaz e de baixo custo para monitorar a superfície terrestre permitindo analisar mudanças espaciais e temporais da evapotranspiração real.

Nos últimos anos vários métodos foram criados e aperfeiçoados com base em imagens orbitais e dados de superfície para determinação dos componentes do balanço de radiação e energia. Dentre eles, destaca-se o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), desenvolvido por Bastiaanssen (1995), que é um algoritmo para a obtenção dos componentes do balanço de energia e fluxos da superfície que se baseia em dados de estações meteorológicas (*in loco*) e em parâmetros espectrais das imagens de satélites.

Neste contexto, este artigo tem o objetivo de avaliar a variação espaço-temporal da evapotranspiração real diária no entorno do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia, Ibimirim-PE entre os anos 2018 e 2020, utilizando imagens do satélite Landsat 8 - OLI, mediante aplicação do algoritmo SEBAL.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no reservatório Engenheiro Francisco Saboia, localizado no município de Ibimirim, Pernambuco-Brasil e seu entorno. Popularmente conhecido como Reservatório Poço da Cruz, localiza-se na Bacia do Moxotó, e é considerado o maior Reservatório do Estado de Pernambuco (Figura 1). De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), ele tem capacidade de 504 milhões de metros cúbicos e é utilizado principalmente para abastecimento rural, irrigação e aquicultura.

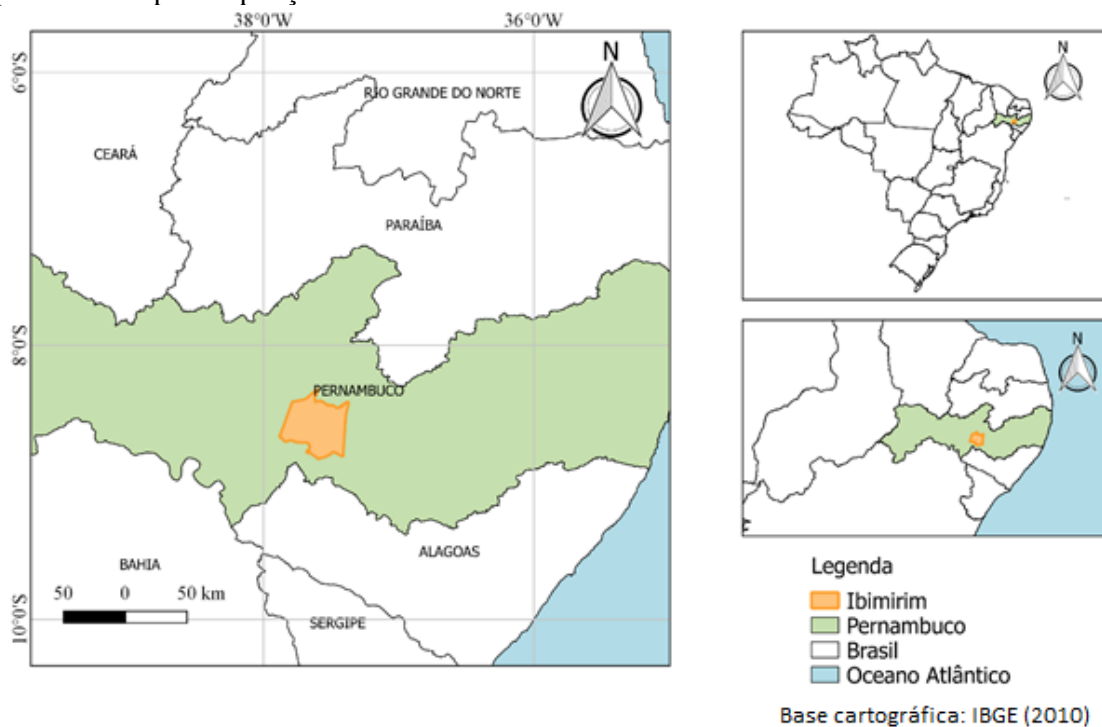


Figura 1 –Área de estudo. Fonte: Autor (2021).

Aquisição dos dados

Para este estudo foram processados os dados do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8, de 21/10/2018, 24/10/2019 e 10/10/2020, que correspondem a órbita 215 e ponto 66. As quais possuem resolução espacial de 30 m para as bandas de 1 a 7 e 100 m nas bandas 10 e 11, e a banda pancromática 8 com resolução de 15 m (NASA, 2020). As imagens foram obtidas do site do USGS (*United States Geological Survey*- (Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>) e processadas no QGIS versão 3.10.6.

Os dados meteorológicos utilizados no processamento das imagens foram extraídos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação automática que se encontra localizada na Estação Experimental de Agricultura Irrigada de Ibimirim da Universidade Federal Rural nos arredores do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia.

Processamento dos dados

Os dados foram processados seguindo-se as etapas do algoritmo SEBAL conforme disponibilizado de maneira didática na apostila de Silva (2016).

Inicialmente obteve-se a radiância espectral ($L_{\lambda i}$) de cada banda através da equação 1:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{254} (ND - 1) \quad (1)$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do OLI - Landsat 8.

Após isso, foram calculadas as reflectâncias monocromáticas de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) através da equação 2:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

Onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA- Dia Sequencial do Ano).

Em seguida, foi computado o albedo planetário (α_{toa}), obtido pela combinação linear

das reflectâncias monocromáticas pela equação 3:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,11\rho_7 \quad (3)$$

Onde: ρ_1 a ρ_7 são as reflectâncias das bandas.

Em seguida obteve-se o albedo da superfície α , o que pode ser feito mediante a equação 4:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{SW}} \quad (4)$$

Onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a reflectância da própria atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas que em várias aplicações tem sido recomendado o valor de 0,03; τ_{SW} é a transmissividade atmosférica para condições de céu claro.

Após isso, calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o índice de Vegetação Ajustado para os efeitos do Solo (SAVI) e o índice de área Foliar (IAF) através das equações: eq. 5 - NDVI, eq. 6 - SAVI e eq. 7 - IAF:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (5)$$

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (6)$$

$$IAF = \frac{-\ln \frac{0,69 - SAVI}{0,59}}{0,91} \quad (7)$$

Onde ρ_{IV} e ρ_V são as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e vermelho e L é uma função do tipo de solo.

Em seguida, calculou-se a emissividade da banda do termal (ϵ_{NB} - eq. 8) e a emissividade no domínio da banda larga (ϵ_0 - eq. 9):

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033IAF \quad (8)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF \quad (9)$$

Após o cálculo da emissividade, obteve-se a temperatura da superfície conforme equação 10:

$$T = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (10)$$

Onde K_1 e K_2 são constantes de calibração da banda termal do Landsat 8 - OLI e L_{λ} é a radiância espectral da banda termal.

De posse dos dados de temperatura, obteve-se a radiação de onda longa ($R_{ol,emi}$ - eq. 11), radiação de onda curta incidente ($R_{sol,inc}$ - eq. 12), a radiação de onda longa incidente ($R_{ol,atm}$ - eq. 13):

$$R_{ol,emi} = \epsilon_{NB} \cdot \sigma \cdot T \quad (11)$$

$$R_{sol,inc} = S \cdot \cos Z \cdot dr \cdot \tau_{SW} \quad (12)$$

$$R_{ol,atm} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (13)$$

Onde σ é a constant de Stefan-Boltzman e T_a é a temperatura do ar em (K).

Com os dados das radiações calculou-se o saldo de radiação (R_n Wm^{-2}) utilizando a equação 14:

$$R_n = R_{sol, inc} (1 - a_{sup}) - R_{ol, emi} + R_{ol, atm} - (1 - \epsilon_0) R_{ol, atm} \quad (14)$$

Após isso, calculou-se o fluxo de calor no solo (G Wm^{-2}) com equação 15:

$$G = \left[\frac{T}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074 \alpha^2) (1 - 0,98NDVI^4) \right] R_n \quad (15)$$

Onde T deve estar em Graus.

O fluxo de calor sensível (H Wm^{-2}) foi calculado através da equação 16 porém seguiu-se o processo iterativo:

$$H = \rho c_p \frac{(a + bT)}{r_{ab}} \quad (16)$$

Onde ρ é a massa específica do ar, C_p é o calor específico do ar ($JKg^{-1}K^{-1}$), a e b são constantes de calibração da diferença da temperatura entre dois níveis Z1 e Z2, T é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$) e r_{ab} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (sm^{-1}). Nesta etapa utiliza-se dados da estação meteorológica no interior da cena estudada.

Após isso, calculou-se o fluxo de calor latente (LE Wm^{-2}) pela equação 17:

$$LE = R_n - G - H \quad (17)$$

Depois de concluídas todas essas etapas anteriores, obteve-se a evapotranspiração real diária (ET), a partir do cálculo da Fração evaporativa instantânea (FEi - eq. 18), saldo de radiação diário (R_n24h - eq. 19), fluxo de calor latente diário ($LE24h$ - eq. 20), evapotranspiração diária (ETd - eq. 21) e

evapotranspiração real diária (ETr - eq. 22).

$$FEi = \left(\frac{LE}{R_n - G} \right) \quad (18)$$

$$R_n24h = R_{s, 24h}(1 - albedo) - 110\tau24h \quad (19)$$

$$LE24h = FEi \cdot R_n24h \quad (20)$$

$$ETd = 0,035 [(1 - \alpha)R_n24h - 110\tau24h] \quad (21)$$

$$ETr = 0,035 \left(\frac{LE}{R_n - G} \right) [(1 - \alpha)R_n24h - 110\tau24h] \quad (22)$$

Onde $R_{s, 24h}$ e $\tau24h$ são obtidos através de dados da estação meteorológica e L é o calor latente de vaporização da água.

Resultados e discussão

A partir da análise dos resultados, obteve-se a evapotranspiração diária em mm.dia-1 para os dias juliano 294 (21/10/2018), 297 (24/10/2019) e 284 (10/10/2020). Inicialmente, os dados foram obtidos para o momento da passagem do satélite e, posteriormente, transformados para o período de 24 horas, para cada ano estudado. A principal vantagem no uso de imagens de satélite para estimar a evapotranspiração é possibilidade de analisar mudanças no tempo e espaço desse fenômeno em grandes áreas. Segundo Veloso *et al.*, (2017), essa análise vem ganhando cada vez mais importância na gestão dos recursos hídricos.

Os parâmetros de calibração do SEBAL para o período estudado podem ser visualizados na Tabela 1. Na tabela 2 pode ser visualizado dados da estação meteorológicas e dados complementares às imagens do Landsat 8 - OLI, utilizados na estimativa da evapotranspiração com o SEBAL.

Tabela 1- Principais informações dos metadados das imagens

Data	Hora da passagem do satélite (hora, min, seg)	Ângulo azimutal	Ângulo de elevação solar	Distância terra-sol
21/10/2018	09:35:31	97,02707	65,9070	0,9954
24/10/2019	09:36:02	99,44025	66,0780	0,9947
10/10/2020	09:35:58	87,70746	65,3776	0,9985

Fonte: metadados das imagens Landsat 8

Tabela 2- Dados da estação meteorológica de Ibimirim-PE

Data	Pressão atmosférica (mB)	Temperatura do ar (° C)	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)	Umidade Relativa máxima (%)	Umidade Relativa mínima (%)	Velocidade do vento (m/s)
21/10/2018	963,30	30,30	30,80	15,40	48,00	40,00	2,20
24/10/2019	964,20	30,40	30,70	14,90	49,00	39,00	2,50
10/10/2020	965,40	31,80	32,40	15,40	46,00	36,00	3,20

Fonte: INMET (2021)

Observa-se, através da Tabela 2, que o ano de 2020 apresentou maiores valores de pressão atmosférica (965,4 mB), temperatura do ar (31,8°C) e velocidade do vento (3,2 m/s). Já os anos de 2018 e 2019 apresentaram temperatura e velocidade do vento semelhantes.

Através da observação dos resultados foram encontradas diferenças entre os índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF), temperatura da superfície, saldo de radiação e evapotranspiração para cada ano avaliado (Tabela 3). Já a Figura 2 apresenta os três índices físicos (NDVI, SAVI e IAF)

Tabela 3- Índices NDVI, IAF, SAVI, temperatura da superfície, saldo de radiação e Evapotranspiração diária no entorno do reservatório Engenheiro Francisco Saboia, Ibimirim-PE

Parâmetro	Ano	Mínimo	Média	Máximo
NDVI	2018	-0,87	0,28	0,87
	2019	-0,83	0,31	0,85
	2020	-1,00	0,35	0,91
IAF	2018	0,00	0,16	7,01
	2019	0,00	0,21	5,32
	2020	0,00	0,25	2,82
SAVI	2018	-0,08	0,18	0,69
	2019	-0,15	0,20	0,68
	2020	-0,07	0,21	0,64
Temperatura da superfície (°C)	2018	20,72	30,76	44,06
	2019	23,47	42,08	48,08
	2020	25,56	41,18	46,34
Saldo de Radiação (Wm ⁻²)	2018	270,74	596,97	810,02
	2019	275,12	543,13	811,85
	2020	306,75	541,62	786,54
ETr (mm/dia)	2018	-3,19	2,93	6,32
	2019	-2,44	1,96	7,48
	2020	-2,24	2,07	7,59

Fonte: Autor (2021)

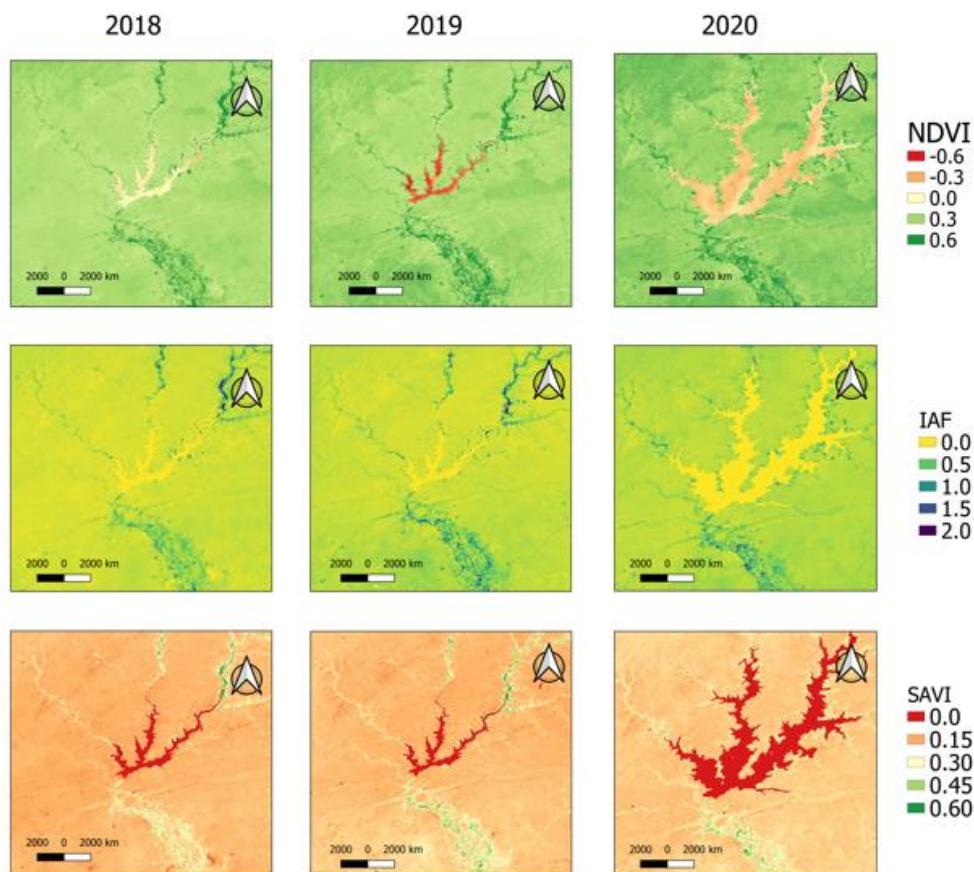


Figura 2- Índices físicos NDVI, IAF e SAVI nos anos 2018, 2019 e 2020. Fonte: Autor (2021) aquecê-la.

De acordo com a Tabela 3, o ano de 2020 apresentou maiores valores de NDVI (0,35), IAF (0,25) e SAVI (0,21), seguido pelo ano de 2019 e 2018. Já em relação a estimativa da evapotranspiração real diária, 2018 foi o ano que apresentou maior valor (6,32 mm/dia) e os anos de 2019 e 2020 apresentaram valores semelhantes.

Maiores valores de NDVI, SAVI e IAF indicam a presença de vegetação verde mais densa na área. A variação sazonal da densidade da vegetação está diretamente associada ao comportamento dos elementos meteorológicos, principalmente em relação à precipitação. Sendo assim, quanto maior a pluviometria da região maiores valores terão os índices vegetativos (LIU *et al.*, 1991).

Tanto a temperatura da superfície quanto a evapotranspiração podem ser associadas a mudanças na cobertura vegetal. A Temperatura da superfície variou de 30,76 a 42 °C. Já a evapotranspiração real diária média variou de 4,68 a 9,50 mm/dia. Segundo Andrade *et al.*, 2014, a variação da Temperatura pode ser relacionada a distribuição de radiação solar na vegetação, onde as áreas com maior cobertura vegetal interceptam maiores quantidades de radiação e impedem que essa energia esteja

O saldo de radiação médio obteve o valor máximo de 596,97 ($W m^{-2}$), médio de 543,13 ($W m^{-2}$) e mínimo de 541,62 ($W m^{-2}$). Silva *et al.*, (2005) obteve valores médios de saldo de radiação de 615 $W m^{-2}$ no ano de 2000 para áreas irrigadas, parte do Lago de Sobradinho, áreas de vegetação nativa e parte da área urbana dos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, utilizando SEBAL e 583,9 $W m^{-2}$ no ano de 2001.

Segundo Biscaro (2007), a radiação solar ao atingir o topo da atmosfera da Terra ela é atenuada por partículas na atmosfera (impurezas, aerossóis, etc.) que causam o seu espalhamento; é absorvida por alguns constituintes da atmosfera como O_2 , CO_2 , etc; e as nuvens, que dependendo do seu tamanho, absorvem cerca de 7% do total e refletem até 90%, dependendo de suas dimensões. O estudo foi realizado para condições de céu claro, porém em algumas imagens as nuvens estavam presentes podendo interferir no saldo de radiação.

Os autores Oliveira & Galvêncio (2008), em um de seus estudos sobre as características ambientais da bacia hidrográfica do rio Moxotó, obtiveram valores de R_n maiores que 650 $W m^{-2}$ nos corpos hídricos ou vegetação densa, tendo o saldo de radiação da bacia hidrográfica do rio Moxotó apresentado valores de 400 a 500 $W m^{-2}$ no ano de 1992.

Na Figura 3 são apresentados os mapas da evapotranspiração real diária para os anos analisados, que possuem classes com amplitude de 0 a 7,5 mm/dia em áreas

circunvizinhas do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia.

Nos 3 anos analisados observa-se predominância da evapotranspiração acima de 3

mm/dia onde valores de ETr podem estar associados à maior disponibilidade hídrica na região. Os anos de 2019 e 2020 apresentaram uma configuração semelhante na classificação da evapotranspiração.

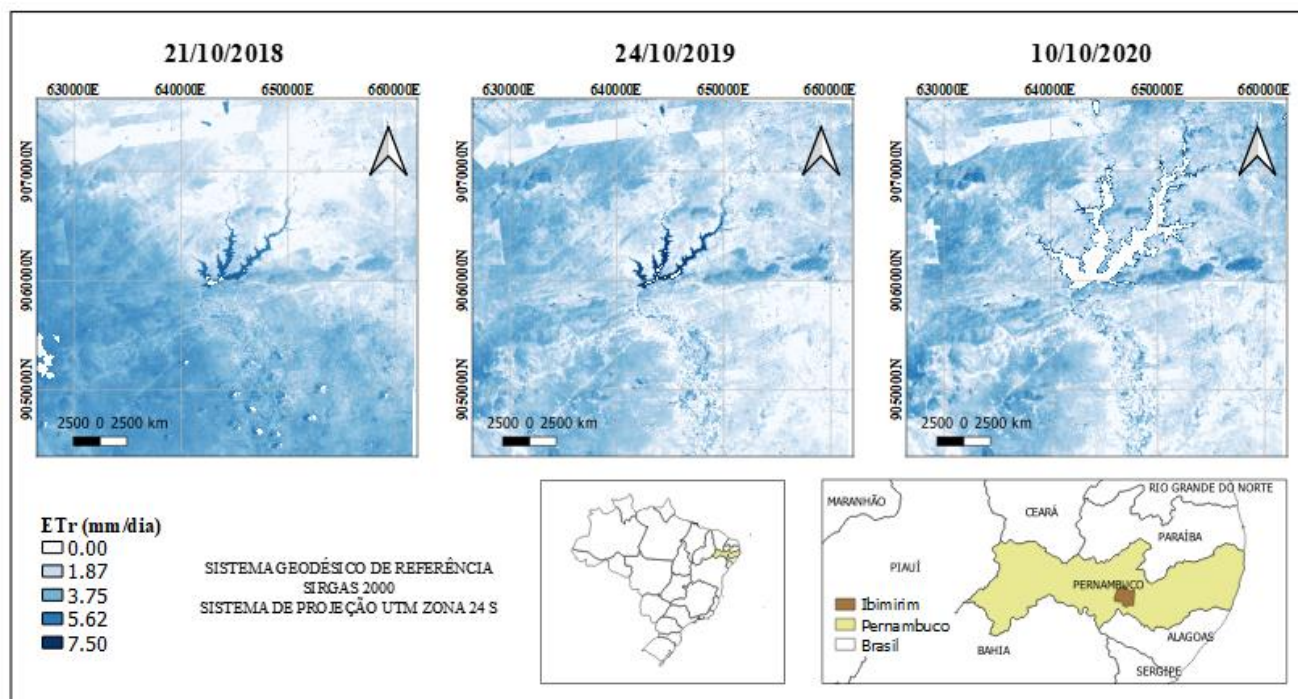


Figura 3- Mapa da evapotranspiração real diária (mm/dia) para os anos estudados. Fonte: Autor (2021)

No ano de 2019 tem-se distribuição de valores de ET em torno de zero majoritariamente na porção norte da região de estudo. Já nos anos de 2019 e 2020 tem-se distribuição de valores de ET em torno de zero na porção sudeste da região de estudo.

Entre as imagens, a obtida em 2019 apresentou menores valores médios de ETr, os quais estão situados, predominantemente, próximo a 0 a 1,8 mm/dia. Já a imagem que apresentou maiores valores médios de ETr foi a de 2018.

Conclusão

O uso de imagens do satélite Landsat 8 - OLI e o algoritmo SEBAL permitiram compreender da variação espacial e temporal de diversos elementos no interior da região de estudo dentre eles NDVI, IAF, SAVI, Temperatura da superfície, Saldo de radiação e a estimativa da evapotranspiração no entorno do reservatório Engenheiro Francisco Saboia.

A evapotranspiração real diária (24 horas) apresentou variação de -3,19 a 7,59 mm/dia tendo o ano de 2018 e 2019 apresentado maior e menor valor médio, respectivamente, tanto da ET como do saldo de radiação. Já em relação aos índices de vegetação, o ano de 2020 apresentou maiores valores.

Através deste artigo nota-se a importância do sensoriamento remoto e do algoritmo SEBAL para o

estudo da variabilidade espaço-temporal dos componentes do balanço de radiação, energia e evapotranspiração a nível local, auxiliando em processos de tomada de decisão para uma gestão de recursos hídricos mais eficiente.

Referências

- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., 2002. SEBAL- Algoritmos de Balanceamento de Energia Superfície-Terra - Treinamento Avançado e Manual do Usuário - Implementação de Idaho, Versão 1.0.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018. Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Projeto de Integração do Rio São Francisco.
- Andrade, A.; Moura, M. A. L.; Santos, A. B. D.; Carneiro, R. G.; Silva Júnior, R. S. D., 2014 Incident and reflected Photosynthetically Active Radiation above and below canopy in the Mata Atlantica forest in Coruripe, Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia 29, 68-79.
- Basit, A., Khalil, RZ, Haque, S., 2018. Aplicação do índice simplificado de balanço de energia de superfície (S-SEBI) para colheita de evapotranspiração usando Landsat 8. Arquivos Internacionais de Fotogrametria, Sensoriamento

- Remoto e Ciência da Informação Espacial XLII-1, 33-37.
- Bastiaanssen, W.G.M., 1995 Regionalização de densidades de fluxo de superfície e indicadores de umidade em terreno composto: uma abordagem de sensoriamento remoto sob céu claro no clima mediterrâneo. Tese. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Biscaro, G. A., 2007. Meteorologia Agrícola Básica. 1.ed. UNIGRAF, 87p.
- Danodia, A., Patel, N.R., Chol, C.W., Nikam, B.R., Sehgal, V.K., 2019. Aplicação do modelo S-SEBI para colher evapotranspiração usando partes superiores de dados Landsat-8 do Norte da Índia. Geocarto International 34, 114–131.
- Earth Explorer – Earth Explorer (Download de Imagens orbitais), 2021. Instituto Geológico Americano. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 02 set 2021.
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia (Download de dados da estação meteorológica), 2021. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em 04 set 2021.
- Liu, W.T.; Massambani, O.; Festa, M., 1991. Normalized difference vegetation index for the South American continent used as a climatic variability indicator. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment 24, 725-732.
- NASA - AERONÁUTICA NACIONAL E ADMINISTRAÇÃO DO ESPAÇO. Landsat Science, 2020. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/mission-details/>>. Acesso em 01 dez 2021.
- Oliveira, T. H.; Galvêncio, J. D., 2008. Caracterização Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE Usando Sensoriamento Remoto Termal. RBGF. Revista Brasileira de Geografia Física 1, 30-49.
- Silva, B.B. da; Lopes, G.M. ; Azevedo, P.V. Balanço de radiação em áreas irrigadas usando imagens Landsat 5 -TM. Jornal Brasileiro de Meteorologia, v.20, n.2, p.243-252, 2005.
- Silva, B.B., 2016. Balanço de radiação e energia com imagens TM-Landsat. Apostila dos programas de pós-graduação em geografia e Engenharia civil da UFPE.
- Sun, M., Dong, Q., Jiao, M., Zhao, X., Gao, X., Wu, P., Wang, A., 2018. Estimativa da evapotranspiração real em uma região semi-árida com base no GRACE Dados de satélite gravitacional - um estudo de caso no planalto de Loess. Sensor remoto 10, 1-15.
- Vasconcelos, R. S. et al., 2014. Estimativa do saldo de radiação usando modelos de transmitância para dias de céu claro para Ibimirim-PE. II Inovagri International Meeting Fortaleza, Brasil. DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a142>.
- Veloso, G.A., Ferreira, M.E., Silva, B.B., 2017. Determinação da evapotranspiração diária real em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais, Brasil), usando imagens landsat 5 - TM. Revista Cerrados (Unimontes) 15, 53-76. DOI: <https://doi.org/10.22238/rc24482692v15n12017p53a76>.