

The importance of evapotranspiration for environmental monitoring: a comparison using the Sebal/Metric and Super tools in the Brígida River Hydrographic Basin, Pernambuco

Antonio Celso de Sousa Leite ^{*}, Simone de Paula Silva ^{**}, Vanine Elane Menezes de Farias ^{***}, Josicléda Domiciano Galvêncio ^{****}

^{*}Doutorando em Meio Ambiente e Desenvolvimento – PRODEMA/UFPE. E-mail: antonio.celso@ufpe.br (autor correspondente)

^{**} Doutoranda em Meio Ambiente e Desenvolvimento – PRODEMA/UFPE. E-mail: simone.paula@ufpe.br

^{***}Doutoranda em Engenharia Civil – PPGE/UFPE. E-mail: vanine.menezes@ufpe.br

^{****} Professora do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA/UFPE; josicleda.galvencio@ufpe.br

Received 04 November 2021; accepted 28 May 2022

Abstract

Evapotranspiration is a phenomenon that plays a fundamental role in the hydrological cycle and depends on soil use and management, climatic conditions and vegetation characteristics. Within this context, evapotranspiration has been quantified using several technologies, through models and algorithms that verify the achievement of evapotranspiration. Thus, in this study, images from the Landsat 8 Satellite, algorithms and models developed on the SUPER and EEFLUX platform were used, aiming to compare the evapotranspiration obtained through these platforms from the simulation in a hydrological model for the hydrographic basin of the river Brígida, in the state of Pernambuco, in which the results showed that the estimation of real evapotranspiration through EEFLUX and SUPER are two favorable ways to obtain data on this variable for hydrological studies in watersheds, acting with interfaces that simplify more robust models and make applications more simple in the state of Pernambuco.

Keywords: modeling, hydrological cycle, remote sensing, eeflux, super.

A importância da evapotranspiração para o monitoramento ambiental: uma comparação através das ferramentas Sebal/Metric e Super na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida, Pernambuco

Resumo

A evapotranspiração é um fenômeno que tem papel fundamental no ciclo hidrológico e depende do uso e manejo do solo, condições climáticas e características da vegetação. Dentro desse contexto, a evapotranspiração tem sido quantificada se utilizando de diversas tecnologias, através de modelos e algoritmos que verificam a obtenção da evapotranspiração. Assim, nesse estudo, foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 8, bem como algoritmos e modelos desenvolvidos na plataforma SUPER e EEFLUX, objetivando comparar a evapotranspiração obtida por meio dessas plataformas a partir da simulação em um modelo hidrológico para a bacia hidrográfica do rio Brígida, no estado de Pernambuco, em que os resultados apontaram que a estimativa da evapotranspiração real por meio do EEFLUX e SUPER são duas formas favoráveis de se obter dados dessa variável para estudos hidrológicos em bacias hidrográficas, atuando com interfaces que simplificam modelos mais robustos e tornam as aplicações mais simples no estado de Pernambuco.

Palavras-chave: modelagem, ciclo hidrológico, sensoriamento remoto.

1. Introdução

A evapotranspiração é um fenômeno pelo qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera, no estado de vapor, tendo papel fundamental no ciclo hidrológico. Esse processo envolve a evaporação da água de superfícies livres (rios, lagos, represas, oceano), dos solos e da transpiração dos vegetais. Ela depende de diversos

fatores, como manejo e uso do solo, condições climáticas e características da vegetação.

De acordo com Costa (2019), o gerenciamento do uso da água tornou-se um dos maiores desafios para a humanidade neste século. Sendo assim, o conhecimento das leis da física e das características que governam cada um dos componentes do ciclo hidrológico tem uma importância relevante. Dentro deste ciclo, o processo de evaporação, presente em diferentes superfícies

terrestres, precisa ser entendido e quantificado corretamente, de forma que se alcance um desenvolvimento sustentável de nossos recursos hídricos (Bastiaanssen et al., 2000).

Atualmente, diversas técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo usadas para quantificar a evapotranspiração em larga escala. Segundo Costa (2019), dentre os tipos de modelos e algoritmos para obtenção da evapotranspiração, os que são baseados no balanço de energia da superfície são os mais utilizados, dentre eles, estão o Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) (Bastiaanssen et al., 1998a, 1998b), o Mapping Evapotranspiration at high Resolution using Internalized Calibration (METRIC) e o Evapotranspiration Flux (EEFlux), desenvolvido dentro da plataforma do Google Earth Engine (GEE) com base no algoritmo METRIC. Este último funciona como um meio de automatizar a entrada e manipulação de dados, no intuito de acelerar o processo de obtenção da evapotranspiração.

Sena (2021), define o METRIC como um modelo de processamento de imagem de satélite que possibilita estimar a evapotranspiração real em cada pixel a partir da radiação espectral obtida por meio de imagens do dossel das plantas em diferentes escalas espaciais, no momento da passagem do satélite, em função do resíduo do balanço de energia da superfície (Allen et al., 2007, 2007a, 2011). Este sistema é derivado do modelo SEBAL e ambos são eficientes quando comparados aos métodos convencionais de estimativa da evapotranspiração, em virtude de não ser necessário o uso de curvas do coeficiente de cultivo (Bastiaanssen et al., 1998a).

Quanto à versão do algoritmo METRIC na versão do Google EEFlux, Allen et al. (2015) afirmam que a nova ferramenta é capaz de calcular valores de evapotranspiração atual comparáveis aos valores encontrados pelo algoritmo METRIC, na sua versão tradicional.

Além do EEFlux, outra ferramenta de modelagem hidrológica e de qualidade de água, é o Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco (SUPer), sendo um sistema interativo que utiliza como mecanismo de visualização a interface

através de mapas, dados de entrada pré-carregados, resultados que incluem tabelas, gráficos e dados de saída. Além disso, o sistema atua de forma conjunta com a Ferramenta de Avaliação do solo e da Água - Soil and Water Assessment Tool (SWAT), proporcionando o desenvolvimento, execução e armazenamento online para os usuários no que diz respeito a modelagem para simular os efeitos das práticas de gestão baseadas em uma ampla variedade de culturas, solos, tipos de vegetação natural, usos da terra e cenários de mudanças climáticas para hidrologia e parâmetros de qualidade da água, como sedimento patógenos, nutrientes, demanda biológica de oxigênio, oxigênio dissolvido, pesticidas e temperatura da água.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente trabalho consiste em comparar a evapotranspiração obtida por meio do EEFLUX, baseada em imagens de Landsat, com a evapotranspiração obtida a partir da simulação em um modelo hidrológico feito na interface do SUPer, haja vista que temos a origem de informações de diferentes fontes e algoritmos, mostrando, dessa forma, qual apresentará resultados visuais que melhor representam a dinâmica da evapotranspiração para a bacia hidrográfica do rio Brígida, no estado de Pernambuco.

2. Material e métodos

A área do estudo, compreende a bacia hidrográfica do Rio Brígida (Figura 1), possuindo uma área total de 13.485,73 km², o que corresponde a aproximadamente 13,73% do território pernambucano, localizando-se entre as coordenadas 07°19'02" e 08°36'32" de latitude Sul e coordenadas de 39°17'33" e 40°43'06" de longitude Oeste, possuindo uma altitude variando entre 325 e 975 metros (APAC, 2021). A área de drenagem da bacia abrange 15 municípios, sendo os municípios de Bodocó, Granito, Ipubi, Trindade, Exu, Moreilândia, Araripina, Ouricuri, Parnamirim, Cabrobó, Orocó, Santa Cruz, Santa Maria da Boa Vista, Santa Filomena e Serrita.

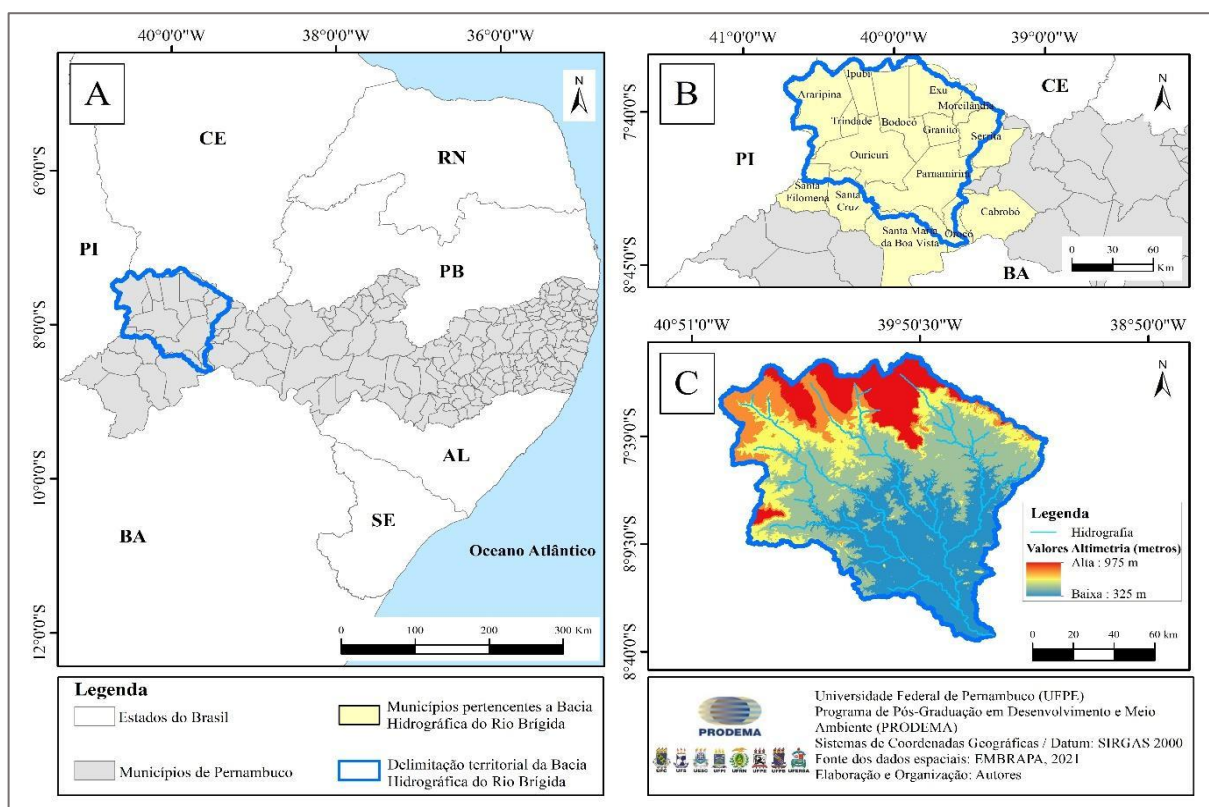


Figura 1 - A. Estado de Pernambuco com destaque da área da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida. B. Área de drenagem da bacia considerando os municípios abrangidos com a Bacia Hidrográfica do Rio Brígida. C. Bacia Hidrográfica do Rio Brígida com destaque para altimetria da área. Fonte: Autores (2021).

Os valores gerados no EEFLUX para a Evapotranspiração Real Diária foram obtidos a partir das imagens do Satélite Landsat 8, utilizando duas

cenas para o satélite, considerando a imagem com baixo percentual de cobertura de nuvens que cobre a área total da bacia, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Dados das imagens de Satélite usadas no estudo.

Imagem	Cena 01	Cena 2
Landsat 8	Data da imagem: 30/09/2014	Data da imagem: 30/09/2014
	Cobertura de nuvens (%): 0%	Cobertura de nuvens (%): 0%
	Órbita: 217 / Ponto: 65	Órbita: 217 / Ponto: 66

Fonte: Autores (2021).

Como não foi possível o download das imagens na plataforma do EEFLUX para a Evapotranspiração Real, optou-se por obter as mesmas através do processo de captura de tela, em seguida, foi feito o georreferenciamento da imagem em JPEG e transformada em formato GEOTIFF, proporcionando

associar esse dado raster a um sistema de coordenadas conhecidas. Com o georreferenciamento feito, realizou-se a coleta de pontos aleatórios para os alvos observados nas imagens, por fim, elaborou-se a confecção dos mapas da Evapotranspiração Real Diária (ETr) (Figura 2).

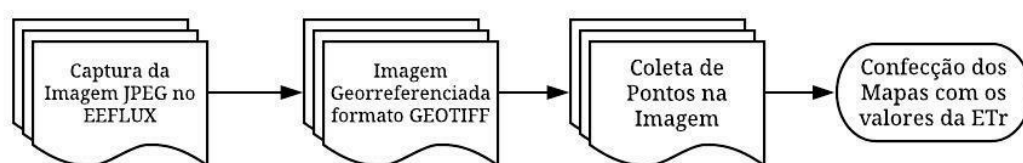


Figura 2 - Etapas desde a aquisição das imagens até a confecção dos mapas. Fonte: Autores (2021).

A evapotranspiração gerada na interface do SUPeR para bacia do rio Brígida foi obtida no endereço eletrônico do sistema (<https://super.hawqs.tamu.edu/#/>) a partir da simulação em tempo real e a curto prazo com o modelo Soil & Water Assessment Tool - SWAT. Para a simulação, o cenário criado considerou o processamento para o período 1 de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2014, em intervalo diário, no qual foram determinado 2 anos de aquecimento do modelo, com a versão SWAT 2021 ver. 664. O SUPeR é uma ferramenta que visa simplificar o SWAT, que é um modelo mais robusto, para aplicações no estado de Pernambuco. Dessa forma, todos os dados de entrada necessários para o seu processamento, como modelos digitais de elevação, mapas de uso do solo, tipo de solo, dados climatológicos e parâmetros hidrodinâmicos, não precisam ser introduzidos, visto que a interface já obtém esses dados para as principais bacias hidrográficas do estado, determinados por meio de pesquisas realizadas anteriormente.

Na interface do modelo, a bacia do rio Brígida está dividida em 80 sub-bacias. Para atingir o

objetivo de comparar a evapotranspiração simulada pelo SUPeR com a evapotranspiração obtida a partir do EEFLUX, pontos de localização semelhantes entre as duas imagens devem ser determinados, de forma que foram selecionadas 10 sub-bacias correspondentes aos 10 pontos escolhidos na imagem do EEFLUX.

Diante disso, para a região sul da bacia, próximo a sua foz, foram obtidos os valores da evapotranspiração nas sub-bacias 80, 78, 79, 75 e 76, que correspondem aos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 a sul na imagem do EEFLUX, respectivamente. Para analisar sua parte mais alta, ao norte da bacia, foram obtidos os valores de evapotranspiração nas sub-bacias 55, 41, 36, 31, e 9 que correspondem aos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 a norte no EEFLUX, respectivamente.

A interface do SUPeR fornece os resultados da modelagem em forma de tabelas, gráficos e outros formatos de dados de saída. No entanto, optou-se por utilizar a saída de dados de evaporação em forma de um mapa, visto que a evapotranspiração a ser comparada também é em formato de imagem.

3. Resultados e discussão

Na Figura 3-A e 4-A observa-se visualmente através dos mapas elaborados que a distribuição dos menores valores de Evapotranspiração real diária (ET_r), extraída por meio do EEFLUX, na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida predominam espacialmente, ficando uma parte das regiões norte e sul caracterizadas com alguns maiores valores escalonados entre 4 e 10 mm d⁻¹ de ET_r.

Na parte do mapa que compreende a área mais ao sul da Bacia (Figura 3 – B), verificou-se que a distribuição dos maiores valores de ET_r são evidentes nos pontos 1 (Rio São Francisco), 2 e 4 (Área Irrigada), correspondendo aos valores de 4 a 10 mm d⁻¹.

No Ponto 1, no Rio São Francisco, por se tratar de um corpo hídrico, além das condições atmosféricas, haja vista que a imagem é representativa no período de seca, a Evapotranspiração Real Diária foi elevada, bem como na região entorno desse ponto, devido a influência da superfície líquida nas condições hídricas do solo.

Além disso, na Área Irrigada (Pontos 2 e 4), o elevado poder de evapotranspiração (valores entre 4 a 6 mm d⁻¹), se evidencia em função do desenvolvimento das culturas ali plantadas, conforme descreve Allen et al. (1988), ao discorrer que o aumento da evapotranspiração tem uma ligação direta com o processo de transpiração da planta, ou seja, a planta em desenvolvimento tende a transpirar mais, diminuindo a taxa de evaporação e elevando a evapotranspiração.

Nos Pontos 3 e 5 (Vegetação Natural), verificou-se que o valor de ET_r está na escala de 2 mm d⁻¹, em que esse baixo valor, ao comparar as áreas irrigadas, são influenciados pelas condições de baixa umidade na estrutura interna da planta em virtude da variabilidade climática na região (período seco), onde vai levando para uma condição da vegetação sob o efeito de estresse hídrico, caracterizando na redução do valor de ET_r, resultados esses que coincidem com a pesquisa de Moura et. al (2012), ao analisar a evapotranspiração de referência na bacia do riacho gameleira, Estado de Pernambuco.

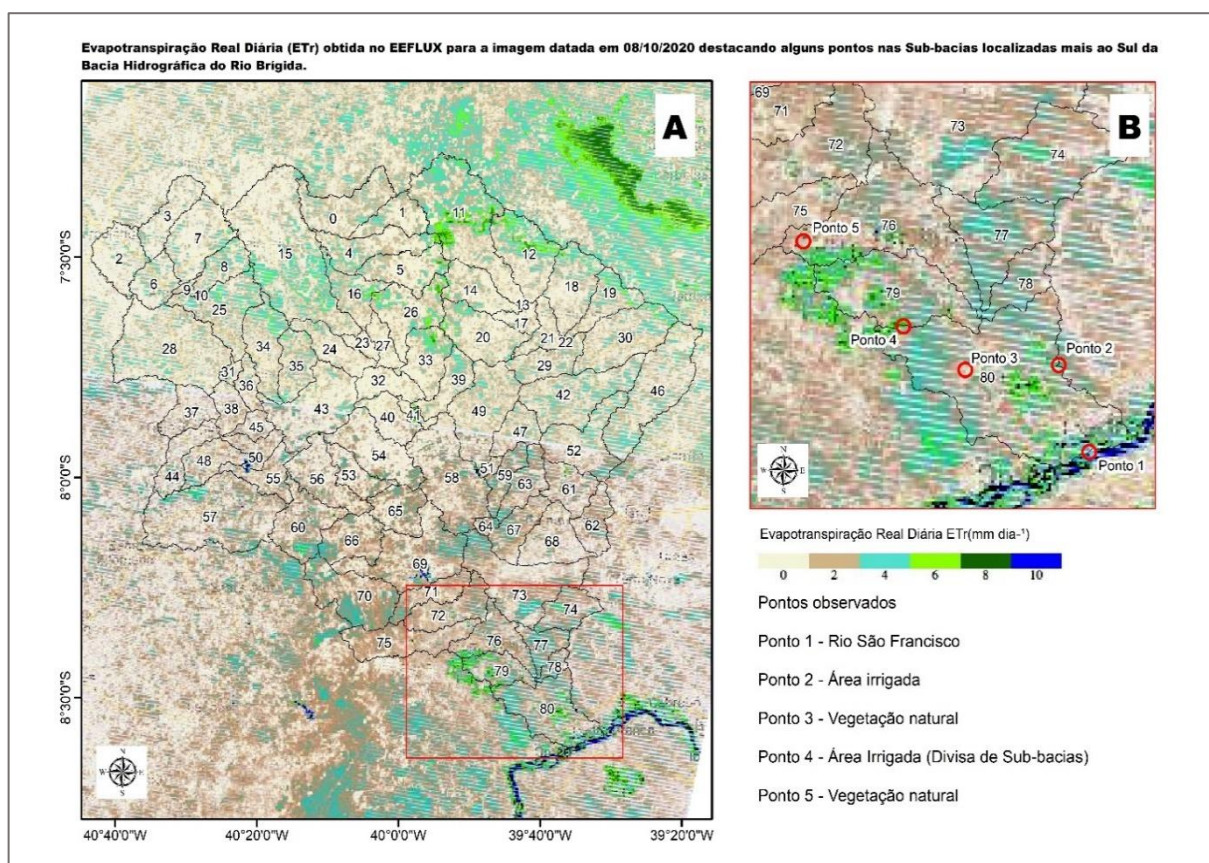


Figura 3 - A. Evapotranspiração Real Diária ETr (mm dia⁻¹) extraída do EEFLUX para a Bacia Hidrográfica do Rio Brígida. B. Área mais ao Sul da bacia com a localização dos pontos observados. Fonte: Autores (2021).

Ao observar a região Norte do mapa (Figura 4 - B), a distribuição do maior valor de ETr é evidente no ponto 1 (Açude), caracterizada por valores de 10 mm d⁻¹, em virtude desse alvo ter uma boa disponibilidade hídrica, haja vista que o mesmo é um corpo d' água, e consequentemente, apresentará um alto grau de evaporação da água, retornando à atmosfera na forma de vapor de água, os resultados corroboram com o estudo de Oliveira (2012), ao comentar que o fato das áreas em que há conforto hídrico, como superfícies hídricas e solos cobertos com vegetação, há uma prevalência dos maiores valores de evapotranspiração.

Analisando os pontos com cobertura vegetal (pontos 4 e 5), esses pixels, apresentaram valores de ETr com variações de 4 a 8 mm d⁻¹, condizendo com os estudos de Moreira et al. (2019), ao encontrarem em áreas vegetadas valores de ETr registrados até 6 mm d⁻¹. Ainda, os autores identificaram que as áreas de solo exposto mostraram valores nas classes de 0 a 2 mm d⁻¹, fato associado ao uso e ocupação do solo, causando a supressão da vegetação e baixos valores de evapotranspiração, o que converge com os resultados dessa pesquisa, quando nos pontos 2 e 3 (Área de solo exposto e desmatada) verificou-se registros entre 0 a 2 mm d⁻¹.

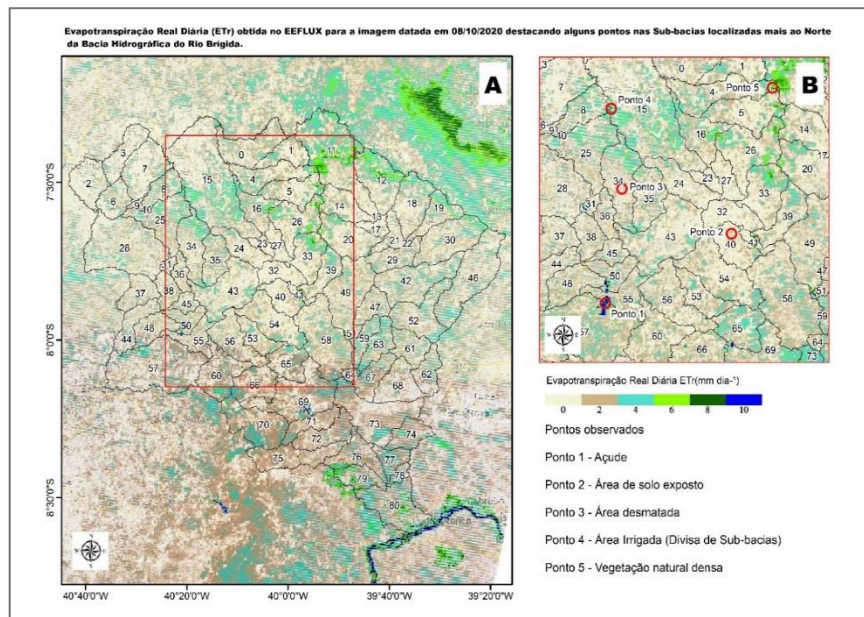


Figura 4 – **A.** Evapotranspiração Real Diária ETr (mm dia⁻¹) extraída do EEFLUX para a Bacia Hidrográfica do Rio Brígida. **B.** Área mais ao Norte da bacia com a localização dos pontos observados. Fonte: Autores (2021).

Na Figura 5 a seguir, é apresentada a distribuição da evapotranspiração da bacia do rio Brígida em toda sua extensão, para cada sub-bacia por meio do SUPeR.

A simulação no modelo foi realizada em escala diária para o período de 2012 a 2014, considerando os dois anos iniciais como o período de aquecimento.

Pode-se observar que a evapotranspiração varia ao longo da bacia, apresentando suas maiores estimativas nas áreas que estão localizadas na parte norte, atingindo valores de 5,5 mm. As sub-bacias

situadas ao sul apresentaram estimativas menores, variando de 3,5 a 4,5 mm.

Os valores estimados e apresentados na imagem são de evapotranspiração real média diária para todos os meses de 2014. Para fins de comparação com a evapotranspiração obtida no EEFLUX, foram selecionados apenas os dados do mês de outubro de 2014 em cada ponto de análise, haja vista que o uso das imagens do EEFLUX é disponibilizadas pelo Satélite orbital Landsat, no qual esse tem um período de revisita a cada 16 dias, considerando dessa forma, a escolha de uma imagem referente ao dia coincidente para as análises estimadas no EEFLUX e SUPeR.

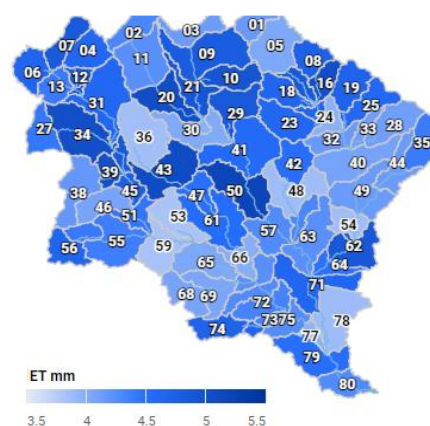


Figura 5 – Evapotranspiração Real Diária ETr (mm dia⁻¹) extraída do SUPeR para a Bacia Hidrográfica do Rio Brígida no mês de outubro de 2014. Fonte: Autores (2021).

A Tabela 1 a seguir, apresenta os dados diários de evapotranspiração real para os pontos selecionados localizados ao sul da bacia. Na Tabela 2, estão as estimativas da evapotranspiração para os

pontos selecionados ao norte da bacia, em que com base nos dados apresentados na tabela, pode-se observar que os valores são condizentes com a evapotranspiração vista na Figura 5, evidenciando que

as perdas de água por evaporação são maiores nas áreas mais altas, localizadas ao norte da bacia

hidrográfica, e são inferiores nos pontos próximos ao exultório.

Tabela 1 - Dados diários de Evapotranspiração Real para os pontos selecionados na região sul da bacia do rio Brígida.

Ponto selecionado – Região Sul da bacia	Sub-bacia	Evapotranspiração (mm)
Ponto 1	80	0.0622
Ponto 2	78	1.99
Ponto 3	79	0.133
Ponto 4	75	0.518
Ponto 5	76	3.33

Fonte: Autores (2021).

Tabela 2 - Dados diários de Evapotranspiração Real para os pontos selecionados na região norte da bacia do rio Brígida.

Ponto selecionado – Região Norte da bacia	Sub-bacia	Evapotranspiração (mm)
Ponto 1	55	2.76
Ponto 2	41	3.14
Ponto 3	36	0.151
Ponto 4	31	3.26
Ponto 5	9	3.35

Fonte: Autores (2021).

A estimativa da evapotranspiração real obtida pelo EEFLUX e pela interface do SUPER a partir da modelagem pelo SWAT, permite que sejam analisados espacialmente o comportamento dessa variável ao longo da extensão da bacia hidrográfica.

O comparativo entre a evapotranspiração estimada por ambos os processos foi realizado por meio de uma inspeção visual entre as imagens geradas. Como não foi possível o download das imagens na plataforma do EEFLUX para obter o dado da evapotranspiração real, optou-se por comparar as imagens visualmente, o que fez com que a análise da relação entre ambas as estimativas sofresse algumas limitações, não apresentando tanta precisão quanto se pudessem ser obtidos os valores observados em cada ponto, diferentemente se fosse possível realizar o download das imagens, o que proporcionaria análises mais precisas, como geração de gráficos e tabelas partindo das respostas espectrais das imagens.

O primeiro ponto a ser percebido entre os dados é que a imagem pelo EEFLUX, além de dar a informação sobre a evapotranspiração real, permite que se percebam quais as características da bacia e como elas podem influenciar na evapotranspiração, seja por se ter um corpo hídrico, uma determinada vegetação ou um solo exposto que torna mais propício a maiores ou menores índices evaporativos. Observa-se que essas características não podem ser analisadas na imagem final gerada no processamento do SUPER,

onde a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias, que estima valores para cada uma, mas não permitem uma análise ponto a ponto ou pixel a pixel. Para compreender quais as características do solo e como poderiam influenciar na estimativa da evapotranspiração, olhar a imagem de saída apresentada não seria suficiente, tornando necessário que se observassem os dados de solo que servem como dados entrada para a modelagem no SWAT.

Outro ponto observado, é que apesar de mostrar um comportamento visualmente semelhante entre ambas as imagens, ao comparar alguns pontos marcados no EEFLUX com sua respectiva bacia do SUPER, a evapotranspiração tem valores diferentes ao longo da bacia, haja vista disso, se pode citar os pontos 1 e 2 localizados ao sul da bacia do rio Brígida, que apresentam os maiores valores de ETr na área sul, variando de 4 a 10 mm. Enquanto isso, olhando as suas sub-bacias correspondentes no SUPER, 80 e 78 respectivamente, eles apresentam valores mais baixos de evapotranspiração entre os pontos vistos, variando apenas de 3,5 a 4 mm.

Todavia, em ambos os casos, é possível verificar que a evapotranspiração apresentou valores elevados principalmente na porção norte da bacia. Mas, apesar de apresentarem comportamento visualmente semelhante ao longo de sua extensão, ainda precisa ser melhor analisado, valor a valor, ponto a ponto, aplicando métricas estatísticas de análise.

4. Conclusão

A estimativa da evapotranspiração real por meio do EEFLUX e SUPER são duas formas favoráveis de se obter dados dessa variável para estudos hidrológicos em bacias hidrográficas. Ambas atuam como interfaces que simplificam modelos mais robustos e tornam as aplicações mais simples no estado de Pernambuco. Por meio delas, o estudo identifica espacialmente os valores da evapotranspiração real para o ano de 2014, especificamente no mês de outubro, onde a evapotranspiração real é maior nas sub-bacias situadas ao norte da bacia do rio Brígida.

A imagem do EEFLUX permite avaliar como áreas com vegetações, corpos hídricos, solos, pode influenciar nos pontos de evapotranspiração na bacia. Todavia, identifica também, que a comparação por meio de inspeção visual de imagens é muito limitada. Para um comparativo mais eficiente e de validação desses dados, deve-se utilizar os valores obtidos da

evaporação em cada ponto selecionado para que possam ser analisados de formas gráficas e estatísticas, justificando melhor os resultados. Por meio apenas de inspeção visual das imagens geradas para um único mês de um ano não é possível determinar a qualidade desses dados e se são representativos para a bacia. Não poder fazer o download dos valores no EEFLUX se mostrou um fator limitador para uma melhor comparação entre a estimativa da evapotranspiração por ambos os métodos.

Para estudos futuros, pode-se comparar os valores estimados da evapotranspiração obtidas pelo EEFLUX, não apenas por meio de inspeção visual, mas estatisticamente, com dados observados da bacia e dados estimados pelo SUPER. Essa é uma forma de validar as estimativas espaciais da evapotranspiração para a região e gerar um melhor entendimento sobre essa variável hidrológica na bacia hidrográfica.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente da Universidade Federal de

Pernambuco e Universidade Federal do Piauí e a REDE PRODEMA.

Referências

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, v. 300, n. 9, 1998.
- 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, p.380-394, 2007.
- Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC. Bacias Hidrográficas, 2021. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe.br>. Acesso: 17 jul. 2021.
- Bastiaanssen, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272 p., 1995.
- Costa, J. O. 2019. Variabilidade espacial do consumo hídrico de cultivos irrigados utilizando sensoriamento remoto. Tese de Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. 120p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Brasil em relevo, 2021. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso: 17 jul. 2021.
- Moreira, E. B. M. et al. Evapotranspiração Real na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas – BA através do Algoritmo Sebal e imagens Landsat 8. In: XIX SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos - SP. ANAIS XIX SBSR, 2019.
- Moura, A. R. C. et al. Evapotranspiração de referência (ET_o) segundo Thornthwaite modificado, calibrado na bacia do Riacho Gameleira – Estado de Pernambuco. Revista de Geografia, v.29, n. 2, p.153-167, 2012.
- Oliveira, L. M. M. 2012. Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto na Bacia do Rio Tapacurá-PE. Tese de Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. 136p.
- Sena, C. C. R. 2021. Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da evapotranspiração atual e diagnóstico do manejo da irrigação da cultura do tomate industrial em Goiás. Tese de Doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás Escola de Agronomia, Goiânia, Goiás, Brasil. 87p. Super. Available in: <https://super.hawqs.tamu.edu/>. Access at: 19/jul/2021.