

Autorização concedida a Biblioteca Central da Universidade de Brasília pela Professora Marina Rolim Bilich Neumann, em 11 de fevereiro de 2020, para disponibilizar a obra, gratuitamente, para fins acadêmicos e não comerciais (leitura, impressão e/ou download) a partir desta data. A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

REFERÊNCIA

NEUMANN, Marina Rolim Bilich et al. Adaptação do Modelo SEBAL para estimativa de evapotranspiração em áreas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 47., 2018, Brasília.

ADAPTAÇÃO DO MODELO SEBAL PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS AGRÍCOLAS

MARINA ROLIM BILICH NEUMANN¹ EDUARDO DE SOUZA FERNANDES¹,
ANDRÉ LUIZ FARIAS DE SOUZA¹, LEANDRO ALMEIDA SALLES²,
HENRIQUE LLACER ROIG²

¹ Professora Adjunto, Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Fone: (61) 3107-6628
marinabilich@unb.br

² Engenheiro Agrônomo, Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Fone: (61) 3107-6628,
edsfernandes@ucdavis.edu

³ Doutorando, Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília,
Fone: (61) 3107-6627, leandro.almeida.salles@gmail.com

⁴ Professor Associado, Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial, Instituto de Geociência, Universidade de
Brasília (UnB), Fone: (61) 3107-6627, roig@unb.br

RESUMO: A região do PAD-DF, localizada no Distrito Federal, é conhecida por sua alta produção agrícola, principalmente de grãos, onde se destacam principalmente a produção de soja, milho, sorgo, trigo e feijão. Entretanto, a disponibilidade de água para irrigação vem diminuindo paulatinamente ao longo do tempo. Sendo relevante estudos que auxiliem na gestão da água na região. O objetivo do estudo foi adaptar o Modelo SEBAL para gerar dados de evapotranspiração diária da área do PAD-DF, Distrito Federal, de forma prática, para utilizar dados dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8. No modelo SEBAL foi substituído o Normalized vegetation index (NDVI) por Enhanced Vegetation Index (EVI), além usar equações de emissividade e albedo provenientes de outros estudos, bem como para o cálculo de calor sensível instantâneo (H), onde a rugosidade da atmosfera foi desprezada, pois o objeto de estudo foram culturas anuais de pequeno porte. Considerando as áreas agrícolas, estimou-se uma variação de valores de evapotranspiração de 0 a 14 mm/dia, sendo que os maiores valores foram relacionados com os meses em que ocorreram eventos de precipitação e os meses de seca apresentaram uma redução da taxa de evapotranspiração. O modelo SEBAL adaptado mostrou-se eficiente e prático, apresentando valores aos observados na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Sentinel-2; Landsat-8; Sensoriamento remoto

ADAPTATION OF THE SEBAL MODEL TO ESTIMATE EVAPOTRANSPIRATION IN CROP AREAS

ABSTRACT: The PAD-DF region, located in the Federal District, is known for its high agricultural production, mainly grains, where soy, maize, sorghum, wheat and beans are particularly prominent. However, the water availability for irrigation has been declining over time. Studies that help the water management in the region are relevant. The objective of the study was to adapt the SEBAL Model to generate daily evapotranspiration data for PAD-DF area, Federal District, in a practical way, using data from Sentinel-2 and Landsat-8 satellites. In the SEBAL model, the Normalized vegetation index (NDVI) was replaced by Enhanced Vegetation Index (EVI), using emissivity and albedo formulas from other studies and also the calculation of instantaneous sensible heat (H), where the roughness of the atmosphere was despised because the object of study are small annual crops. Considering the crop areas, it was estimated a variation of evapotranspiration values from 0 to 14 mm/day, and the highest values were related to the months in which precipitation events occurred and the drought months presented a reduction of evapotranspiration rate. The SEBAL model was efficient and practical, finding values within the range observed in the literature.

KEYWORDS: Sentinel-2; Landsat-8; Remote Sensing

INTRODUÇÃO

Um dos principais indicativos de atividades fisiológicas das plantas é sua evapotranspiração. Termo descrito por Thornwhaite na década de 40, como a transpiração de água pelas plantas combinado com a evaporação de água do solo. É, portanto, de grande impacto na quantidade deste recurso que é utilizado pelas plantas durante seu ciclo biológico (Gonsaga et al., 2011).

A evapotranspiração é um importante fator mediador do clima e do tempo, tanto em escala global quanto local, consistindo na ligação entre energia, clima e hidrologia (Braun, et al., 2001). Cerca de 60 a 80 % do volume de água que é precipitado no solo retorna por meio da evapotranspiração à atmosfera, podendo ser considerado como um agente regulador de dos recursos hídricos das bacias hidrográficas (Victoria, 2004).

O Distrito Federal - DF, vem atravessando a pior crise hídrica da sua história, com baixos níveis em seus reservatórios de abastecimento, tendo o aumento da o aumento da produção agrícola (Codeplan, 2013); o crescimento populacional do DF nos últimos 30 anos (Codeplan, 2015) e a sazonalidade do clima e variações climáticas anuais, grandes agentes intensificadores da crise hídrica, se faz cada vez mais necessário a implementação de um sistema integrado de manejo de recursos hídricos, que são descritos pela *United Nations Water Conference* em 1977 como a descentralização do poder sobre reservas naturais de água e a utilização de a maior quantidade disponíveis de ferramentas para um melhor planejamento de utilização destas bacias (Engle et al., 2011).

Para um manejo hídrico eficiente é necessário entender o comportamento deste recurso pelo seu ciclo e sua interação com o ambiente, já que a combinação dos fluxos de calor sensível e calor latente controla a umidade e a aclimatização da atmosfera terrestre, sendo responsável pelo regime de precipitações e conseqüentemente das alterações climáticas e atividades fisiológicas das plantas e animais (Da Rocha et al., 2009). E juntamente com outros fatores, condiciona temporal e espacialmente as disponibilidades e os déficits (Alkaeed et al., 2006).

Nesse sentido, o sensoriamento remoto é de grande utilidade, tanto na estimação de parâmetros relacionados à temperatura e radiação, como na construção de modelos físicos ou empíricos, em que os fatores relacionados à evapotranspiração sejam passíveis de mapeamento remoto, como os seguintes componentes do balanço de energia: fluxo de calor sensível, fluxo de calor no solo e radiação líquida (Wood et al., 1993), permitindo uma aproximação aos valores estimados de evapotranspiração real de uma cultura (ET_{rc}) que, devido a sua grande variabilidade espacial e temporal, tem sua dificuldade de estimativa reduzida com a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto (Karimi; Bastiaanssen, 2015).

A escolha do algoritmo mais adequado para a estimativa de evapotranspiração depende de cada situação, já que cada modelo utiliza parâmetros diferentes, específicos para determinadas condições. Na Tabela 1 estão listadas as principais características de algoritmos utilizados para estimativa de evapotranspiração (Liou e Kar, 2014).

TABELA 1. Características de algoritmos utilizados para a estimativa de evapotranspiração por meio de sensoriamento remoto.

Algorithms characteristics to estimate evapotranspiration using remote sensing.

Algoritmos	Parâmetros inseridos	Citado em	Vantagens	Restrições
SEBI	$T_{pbl}, h_{pbl}, v, T_s, R_n, G$	Pelgrum, 2001	Relaciona os efeitos de T_s diretamente com o calor latente.	Alta complexidade e grande quantidade de parâmetros requeridos.
SEBS	$T_{air}, h_a, v, T_s, R_n, G$	Elhag et al., 2011	Incertezas sobre a T_s , e parâmetros meteorológicos podem ser parcialmente resolvidas.	Alta complexidade e grande quantidade de parâmetros requeridos.
S-SEBI	T_s, R_n, G, a_s	Mattar et al., 2014	Não é necessária a utilização de medições de solo.	Uso restringido a locais de extrema temperatura.
SEBAL	v, h_a, T_s, VI, R_n, G	Sun et al., 2011	Requer poucos dados de medições de solo e não necessita da aplicação de correções atmosféricas exatas.	Uso limitado em áreas de alta declividade.
METRIC	v, h_a, T_s, VI, R_n, G	Allen et al., 2007	Similar ao SEBAL, porém também é capaz de considerar a declividade e aspecto da superfície.	Dificuldade na determinação dos pixels “âncora”.
TSM	$T_{air}, v, h_a, T_s, LAI, R_n, G, F_r, T_c$	Shah et al., 2007	Inclui a visão geométrica e exclui a necessidade de correções empíricas para o “excesso de resistência”	Grande necessidade de dados de medições de solo.

T_{pbl} : temperatura do limite da camada terrestre, h_{pbl} : altura do limite da camada terrestre, v : velocidade do vento, T_c : temperatura do dossel da vegetação, T_s : temperatura da superfície, R_n : saldo de radiação da superfície, G : fluxo instantâneo de calor no solo, h_a : altura de medição da velocidade do vento e da temperatura do ar, VI : o Índice de vegetação, IAF : Índice de área foliar, F_r : cobertura de vegetação fracionada, a_s : albedo da superfície e T_{air} : temperatura do ar.

O algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL utiliza dados obtidos por meio de imagens do dossel das plantas para estimar a evapotranspiração real de uma área e possui algumas vantagens sobre outros métodos, como a pouca utilização de dados terrestres e a possibilidade de geração de informações para cada pixel da imagem (Bastiaansen, 2010).

Afim de aumentar a acurácia do modelo SEBAL, segundo Papadavid et al. (2013), é possível a inserção de dados terrestres e atmosféricos específicos do local analisado no algoritmo, aumentando sua precisão, buscando aproximar os valores de evapotranspirações calculados com valores reais.

Entretanto, uma das dificuldades atribuída ao algoritmo SEBAL é quanto à determinação de valores de fluxo de calor sensível, que necessita da escolha de pixels “frios” e “quentes”,

(Bastiaansen, 1998) representando áreas secas e úmidas, podendo ter seu valor desconsiderado devido à dedicação do estudo em analisar áreas sobre sistemas de irrigação, considerados pixels “frio” onde o fluxo de calor sensível pode ser considerado como zero (Allen, 2002)

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi adaptar o Modelo SEBAL para estimar de forma mais expedita a evapotranspiração diária em áreas agrícolas, no PAD-DF - Distrito Federal.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O local de estudo está localizado no bioma cerrado, segundo maior bioma do Brasil e que ocupa uma área de aproximadamente 200 milhões de hectares concentrados principalmente na região do planalto central do país e é em sua maior parte constituída de grandes extensões de Latossolos de texturas variando de média a muito argilosa, em relevos altamente favoráveis à mecanização, de excelentes propriedades físicas e de fertilidade facilmente corrigida pela adubação e calagem com uma vegetação típica de árvores baixas e tortuosas com raízes bastante profundas, devido à acidez do solo e ao clima da região que é predominantemente quente e seco.(Manzatto et al., 2002).

A região do PAD-DF, localizada no Distrito Federal é conhecida por sua alta produção agrícola, principalmente de grãos, e conseqüentemente uma grande quantidade de áreas agrícolas, onde se destacam principalmente a produção de soja, milho, sorgo, trigo e feijão (Ghesti, 2009), localizada no sudeste do DF, com uma área total de 43.777 ha. É uma das principais regiões agrícolas do Distrito e se destaca pela produção intensiva e pela grande área ocupada com sistema de irrigação de pivô central. O mapa de localização da área está apresentado na figura 1.

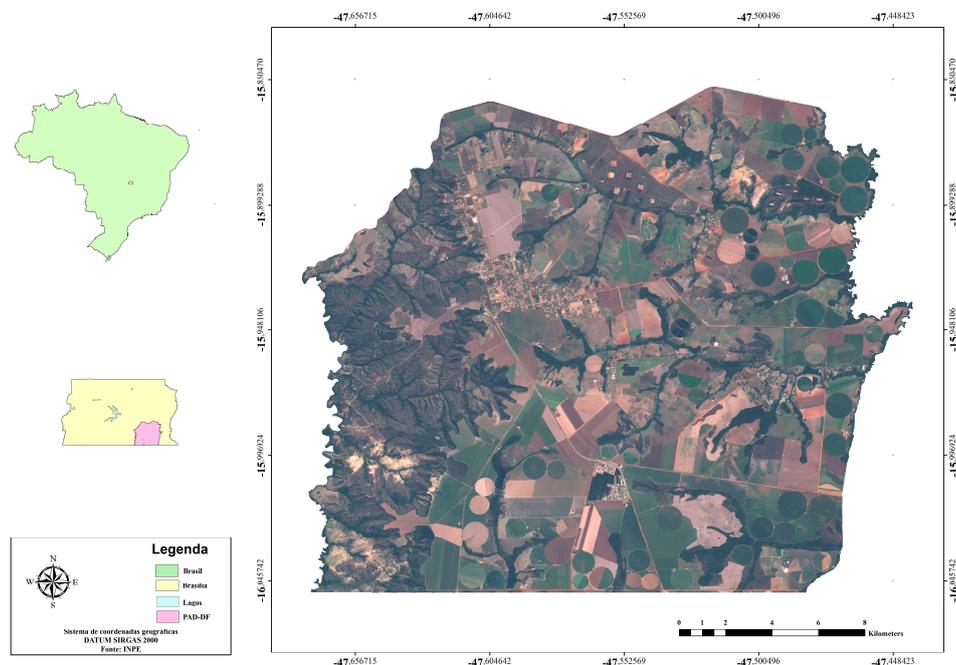


FIGURA 1. Mapa de Localização do PAD DF.

Adaptação do modelo SEBAL

O algoritmo SEBAL foi selecionado para esse estudo, pois é indicado para ambientes com baixa declividade, como a área de estudo (Bastiaanssen et al., 2005; Sun et al., 2011; Papadavid, G et al., 2013).

Adaptações foram realizadas no modelo SEBAL, quanto a utilização do Enhanced vegetation index (EVI) ao invés do Normalized vegetation index (NDVI) como proposto por Allen et al. (2002). Foram feitas modificações também com as equações de emissividade e albedo provenientes de outros estudos (Andrade et al., 2009; Van de Griend; Owe, 1993). O calor sensível instantâneo (H), teve seu valor desprezado, pois de acordo com Hendrickx et al. (2009), como o objeto de estudo são culturas anuais de pequeno porte sob sistemas de irrigação. Nas áreas úmidas, assumisse que a energia total é convertida inteiramente em evaporação, podendo-se, portanto, desprezar o valor de calor sensível. As alterações realizadas no algoritmo SEBAL são descritas na tabela 2.

TABELA 2. Modificações realizadas no modelo SEBAL.

Modifications made in SEBAL model.

Variáveis	Modelo SEBAL	Modelo SEBAL adaptado
Albedo	$\alpha = (\alpha_{toa} - \alpha_{pr}) / (\tau_{sw}^2)$	$\alpha = 0,160\rho_1 + 0,291\rho_2 + 0,243\rho_3 + 0,116\rho_4 + 0,112\rho_5 + 0,081\rho_7 - 0,0015$
Emissividade terrestre	$\epsilon_{nb} = 0,97 + 0,0033 \text{ IAF}$	
Emissividade terrestre de banda larga termal	$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF}$	$\epsilon = 1,0094 + 0,04 \ln(\text{EVI})$
Emissividade da atmosfera	$\epsilon_a = 0,85 \times (-\ln(\tau_{sw}))^{0,09}$	
Saldo de radiação de energia para a superfície	$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{l\downarrow}$	$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon)R_{l\downarrow}$
Fluxo de radiação termal	$R_{l\downarrow} = \epsilon_a \times \sigma \times T_a^4$	$R_{l\downarrow} = \epsilon \times \sigma \times T_a^4$
Fluxo de radiação de onda longa	$R_{l\uparrow} = \epsilon_0 \times \sigma \times T_s^4$	$R_{l\uparrow} = \epsilon \times \sigma \times T_s^4$
Fluxo de calor instantâneo no solo	$G = T_s / \alpha \times (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2) \times (1 - 0,98 \times \text{NDVI}^4) \times R_n$	$G = T_s / \alpha \times (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2) \times (1 - 0,98 \times \text{EVI}^4) \times R_n$
Calor sensível instantâneo	$H = ((\rho \times c_p \times dT)) / \text{rah}$	Desconsiderado
Evapotranspiração	$ET = R_n - G - H$	$ET = R_n - G$

Buscando-se uma simplificação e maior aplicabilidade do método, foram substituídas as equações de emissividade da atmosfera, emissividade terrestre e emissividade terrestre de banda larga termal pela equação de emissividade terrestre, proposta por Van de Griend e Owe (1993). Essa equação relaciona valores de índices de vegetação com emissividade terrestre, sendo de mais fácil aplicação e de precisão comprovada por Valor e Caselles (1996), apresentando taxas máximas de erro de 2%, além de gerar a possibilidade de gerar dados de emissividade para cada pixel de imagem.

A equação proposta por Van de Griend e Owe (1993) utiliza o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que apresenta o uso mais disseminado devido a sua facilidade de equacionamento e sua capacidade de reduzir efeitos topográficos, atmosféricos e de cobertura por nuvens. (Huete et al., 1997). Entretanto, esse índice está suscetível a alguns erros atmosféricos e de condições da vegetação local. Afim de reduzir a saturação destes dados, Liu e Huete (1995) propuseram um novo índice de vegetação que incorpora em seu equacionamento dados atmosféricos e terrestres, gerando um índice com uma sensibilidade

aumentada para regiões de alta concentração de biomassa, incluindo informações sobre o dossel das plantas e das condições climáticas locais. Segundo Matsushita et al. (2007) apesar de ser um índice com maior sensibilidade, o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) é mais sensível a alterações topográficas, sendo recomendado sua utilização em áreas de baixa declividade

A fórmula proposta por Van de Griend e Owe (1993) é capaz de gerar dados para cada pixel em função do índice de vegetação, reduzindo a dificuldade de aplicação do algoritmo e espera-se que não haja alterações significativas nas variáveis. Considerando valores possíveis das fórmulas propostas por Allen et al. (2002) de emissividade terrestre variando entre 0,970 e 0,973, de emissividade terrestre de banda larga termal variando entre 0,95 e 0,951 e de emissividade da atmosfera variando entre 0,69 e 0,76 de acordo com os valores possíveis de serem encontrado. Já os valores de emissividade calculados através da fórmula de Van de Griend e Owe (1993), com EVI variando entre 0,01 e 1, variam entre 0,820 e 1,009, demonstrando estar próximos aos valores de emissividade terrestre e de emissividade terrestre de banda larga termal possíveis com as fórmulas propostas por Allen et al. (2002).

Quanto a fórmula proposta por Allen et al. (2002) para emissividade da atmosfera, assume-se um valor empírico, pois a variável de transmissividade terrestre, utilizada na resolução da equação assume uma constante de 0,75, proveniente da altitude local. A vista deste fato, mesmo que os valores encontrados com a equação proposta por Van de Griend e Owe (1993) possam diferenciar em alguns décimos dos encontrados com a fórmula de Allen et al. (2002), a sua utilização possibilita a obtenção de dados para cada pixel, ao invés de somente um valor constante para toda a imagem.

A outra alteração realizada no algoritmo foi quanto ao fluxo de calor sensível instantâneo (H) cujo estimativa pode ser realizada por meio da temperatura radiométrica da superfície, (Sugita and Brutsaert 1990; Kalma and Jupp 1990) observada por meio da utilização de equipamentos específicos instalados *in situ*, possuindo uma difícil aplicação, visto que segundo Carlson et al. (1995) a limitação da medição do calor sensível instantâneo se dá devido à altura de coleta de dados de temperatura radiométrica da superfície.

O modelo SEBAL, porém, adota uma diferente abordagem para o cálculo desta variável, através de um “auto calibração”, o algoritmo prevê a determinação de pixels “âncoras”, também chamados de pixels quente e frio, selecionados na área de estudo. O pixel “frio” é selecionado em áreas de corpos d’água ou inundada, enquanto o pixel “quente” geralmente é obtido numa área de extremamente secas, substituindo assim a necessidade da implantação de equipamentos de alta complexidade nos locais analisados (Bastiaansen et al., 2005)

Para o pixel frio os valores de calor sensível foram considerados zero ($H = 0$), pois uma parte da energia disponível para superfície é utilizada nos processos de evapotranspiração e desta maneira a maior parte do R_n é constituída do fluxo de calor latente (λET). No pixel quente o valor de calor latente foi considerado nulo ($\lambda ET = 0$), o que permite o desprezo do valor de calor sensível instantâneo para as áreas de maior umidade (Allen et al., 2002).

Devido a área de estudo estar localizada em uma região em que há a predominância de bosques nativos e áreas agrícolas sob sistema de irrigação, onde segundo Allen et al. (2002) podem ser considerados como pixel “frio, decidiu-se admitir toda a área analisada como área úmida, afim de poder admitir valores de fluxo de calor sensível nulos para toda a região, já que segundo Hendrickx et al. (2009) em áreas úmidas, toda a energia disponível, representado pela diferença entre o saldo de radiação de energia para a superfície (R_n) e o fluxo instantâneo de calor no solo (G), é utilizado para evaporação, aproximando o valor de calor sensível (H) de 0, reduzindo a quantidade de dados a serem obtidos e a facilitando a aplicação do modelo.

A fim de calcular a evapotranspiração da região, foi utilizada uma sinergia entre as

bandas de dois satélites: as bandas de menor resolução (10 metros) do satélite Sentinel 2-A e a banda termal do satélite Landsat-8, esperando-se assim maior acurácia nos dados fornecidos. O satélite Sentinel-2, apesar de apresentar imagens de qualidade para estimativa de evapotranspiração, ainda não possui um efetivo sistema de sensores para uma efetiva estimativa de temperatura da superfície terrestre, sendo, portanto, utilizado a banda termal do satélite Landsat-8 para determinação deste fator.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que as alterações realizadas no algoritmo SEBAL facilitaram a aplicação deste modelo. As rotinas implementadas no programa QGIS para a elaboração dos mapas de evapotranspiração estão apresentadas na tabela 1.

TABELA 1. Rotinas inseridas no programa QGIS.

Algorithms implemented in QGIS Program.

$$LV = ("banda_10_landsat@1" * 0.00033420) + 0.1$$

$$TEMPERATURA\ DA\ SUPERFÍCIE\ (TS) = 1321.089 / (\ln ((774.89 / "LV@1") + 1))$$

$$ALBEDO = 0.160 * "banda_2_sentinel@1" + 0.291 * "banda_3_sentinel@1" + 0.243 * "banda_4_sentinel@1" + 0.116 * "banda_8_sentinel@1"$$

$$EVI = 2.5 * (("banda_8_sentinel@1" - "banda_4_sentinel@1") / (1 + "banda_8_sentinel@1" + (6 * "banda_4_sentinel@1") - (7.5 * "banda_2_sentinel@1")))$$

$$EMISSIVIDADE = 1.0094 + (0.04 * \ln ("EVI@1"))$$

$$RL\uparrow = "emissividade@1" * 0.0000000567 * ("TS@1" ^ 4)$$

$$RL\downarrow = 0.0000000567 * "emissividade@1" * ((Tar + 273.15) ^ 4)$$

$$RN = ((1 - "ALBEDO@1") * RS\downarrow) + "RL\downarrow@1" - "RL\uparrow@1" - ((1 - "emissividade@1") * "RL\downarrow@1")$$

$$G = (("TS@1" - 273.15) / "ALBEDO@1") * (0.0038 * "Albedo@1" + 0.0074 * ("Albedo@1" ^ 2)) * (1 - 0.98 * ("EVI@1" ^ 4)) * "RN@1"$$

$$EVAPOTRANSPIRAÇÃO\ (W/m^2) = "RN@1" - "G@1"$$

$$EVAPOTRANSPIRAÇÃO\ (mm/dia) = ("RN - G@1" / 2454000) * 60 * 60 * 24$$

Os valores calculados para os meses em que houveram eventos de precipitação são os mais elevados, como se esperava, já que com uma maior disponibilidade de água se supõem que haja uma maior taxa de evapotranspiração. Apenas em dois períodos apresentaram valores máximos de evapotranspiração bastante elevados e que não condiz com o restante do estudo, sendo estes os dias 5 de maio de 2017 e 2 de setembro de 2017. Entretanto, tal resultado correspondeu a apenas um pixel em cada imagem, podendo ser resultado de algum dado espúrio das imagens Landsat e/ou Sentinel-2.

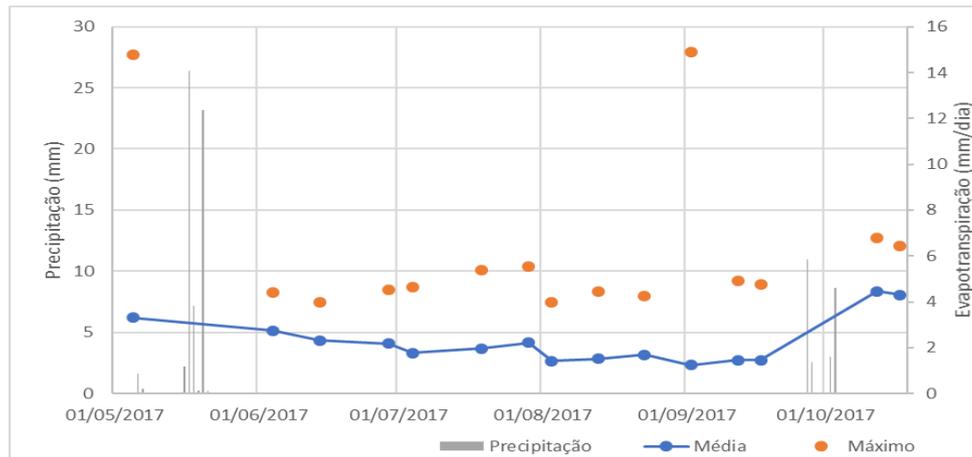


FIGURA 2. Precipitação diária média e de evapotranspiração diária na área de estudo.

Os resultados encontrados estão condizentes com encontrados por da Silva et al., (2012) que estimaram a evapotranspiração de regiões semi-áridas do estado do Ceará, com condições semelhantes à área de estudo, quanto a temperatura elevada e sistemas de irrigação. Encontrando para os meses de agosto e setembro, valores de evapotranspiração médio pelo algoritmo SEBAL de 0,6 e 1 mm, respectivamente, para áreas de sequeiro e valores entre 4 e 6 mm para áreas irrigadas de cultura de coqueiro, igualando-se aos valores máximos de evapotranspiração encontrados neste estudo para os mesmos meses que representam provavelmente culturas irrigadas da região, em vista do fato que durante a seca, os pontos que atingem a maior evapotranspiração são aqueles que recebem algum estímulo hídrico, neste caso a irrigação.

Segundo Ruhoff (2011) valores estimados de evapotranspiração para a vegetação do bioma do cerrado na bacia do rio grande entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais, variaram entre 6,6 mm/dia na estação de chuvas, representado nesta pesquisa pelos meses de maio, setembro e outubro, onde foram encontrados os maiores valores de evapotranspiração e 1,2 mm na estação da seca, representado aqui pelos meses de junho e julho que apresentam valores semelhantes.

Bezerra et al. (2008) também encontraram valores variando entre 0 e 6 mm/dia para os a época de seca de uma região semiárida do Ceará, com uma média mais elevada na imagem quando comparada com períodos onde ocorreram eventos de precipitações, estando, portanto condizente com os valores calculados, que demonstraram valores mais elevados no mês chuvoso, enquanto que nos meses sem precipitação, a média de evapotranspiração da região sofreu uma redução.

O estudo também está de acordo com Paiva et al. (2011) que utilizaram o modelo SEBAL para estimar a evapotranspiração da região de Piraí do Sul no Estado do Paraná, encontrando valores de evapotranspiração variando entre 0 e 4 mm/dia entre os dias 4 de julho até o dia 12 de outubro de 2008, e também com Giacomoni (2005) que analisou 44 imagens sem cobertura de nuvens e aplicou os modelos SEBAL e SSEBI, encontrando valores entre 0 e 6 mm/dia para as o modelo SEBAL, no ano de 1998 nos, ambos coerentes com os valores calculados.

CONCLUSÕES

As modificações realizadas no algoritmo SEBAL simplificaram a aplicação do modelo para estimar a evapotranspiração e os resultados obtidos indicam que não houve alteração significativa nos valores estimados na área em estudo quando comparado com literaturas que utilizaram o algoritmo completo. Contudo, há recomendação de trabalho de validação de campo para avaliar a acurácia do modelo adaptado.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, RG, R. TREZZA, AND M. TASUMI. "Surface energy balance algorithms for land: advance training and user's manual. Version 1.0." **Waters Consulting-University of Idaho-WaterWatch** .v.1, 2002, 97p.
- ALKAED, O., FLORES, C., JINNO, K. AND TSUTSUMI, A. Comparison of several reference evapotranspiration methods for Itoshima Peninsula area, Fukuoka, **Japan. Memoirs of the Faculty of Engineering**, Kyushu University, v. 66, n. 1, p.1-14, 2006.
- ANDRADE, R. G.; SEDYAMA, G. C.; BASTITELLA, M.; VICTORIA, D. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; NOGUEIRA, S.F. Mapeamento de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração no Pantanal usando técnicas de sensoriamento remoto, 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá. **Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 695-704, 2009. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/cd/pdf/p105.pdf>>. Acesso em: 22 Jul. 2017.
- BASTIAANSEN, W., THORESON, B., CLARK, B. AND DAVIDS, G., 2010. Discussion of "Application of SEBAL model for mapping evapotranspiration and estimating surface energy fluxes in South-Central Nebraska". **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 136, n. 4, p. 282-283, 2010
- BASTIAANSEN, W. G. M., NOORDMAN, E. J. M., PELGRUM, H., DAVIDS, G., THORESON, B. P., & ALLEN, R. G. "SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions." **Journal of irrigation and drainage engineering** v.131 n 1, p 85-93, 2005.
- BASTIAANSEN, W.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Moreno, J.F.; ROERINK, G.J.; VAN DER, W.T. A Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 2 validation. **J. Hydrol**, p. 212- 229, 1998.
- BEZERRA, B. G, SILVA, B. B., FERREIRA, J.N. "Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM-Landsat 5." **Revista brasileira de Meteorologia** v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v23n3/v23n3a05>>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- BRAUN, P., B. MAURER, G. MÜLLER, P. GROSS, G. HEINEMANN, AND C. SIMMER. An integrated approach for the determination of regionale vapotranspiration using mesoscale modelling, remote sensing and boundary layer measurements. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 76, n. 1-2, p. 83-105, 2001.
- CARLSON, T.N., CAPEHART, W.J. E GILLIES, R.R. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. **Remote Sensing of Environment**, v. 54, n. 2, p.161-167, 1995.
- CODEPLAN-COMPANHIA, DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO. FEDERAL. Pesquisa distrital por amostra de domicílios do Distrito Federal, 2013.
- CODEPLAN-COMPANHIA, DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO. FEDERAL. Pesquisa distrital por amostra de domicílios do Distrito Federal, 2015.
- DA ROCHA, H.R., MANZI, A.O., CABRAL, O.M., MILLER, S.D., GOULDEN, M.L., SALESKA, S.R., R-COUBE, N., WOFSEY, S.C., BORMA, L.S., ARTAXO, P. AND VOURLITIS, G. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, 114p, 2009
- DA SILVA, B.B., Braga, A.C., Braga, C.C., de Oliveira, L.M.M., Galvêncio, J.D. and Montenegro, S.M.G.L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p.1218-1226, 2012.
- ENGLE, NATHAN L., OWEN R. JOHNS, MARIA CARMEN LEMOS, AND DONALD R. NELSON. "Integrated and Adaptive Management of Water Resources: Tensions, Legacies, and the Next Best Thing." **Ecology and Society** v.16, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/26268871>.
- GHESTI, L. Programa de assentamento dirigido do Distrito Federal–PAD/DF: uma realidade que superou o sonho. 2009.
- GIACOMONI, M. H. Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 2005.
- GONSAGA, L.; ALVES, G. F.; LISMAR, W.; CASTRO, P. Evapotranspiração de Referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456–465, 2011.
- HENDRICKX, J.M., PRADHAN, N.R., HONG, S.H., OGDEN, F.L., BYRD, A.R. AND TOLL, D. Improvement of hydrologic model soil moisture predictions using SEBAL evapotranspiration estimates.

Detection and sensing of mines, explosive objects, and obscured targets XIV, v. 7303, p. 730311), 2009.

HUETE, A.; LIU, H.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Rem. Sens. Environ.**, v. 59, p. 440–451, 1997.

KALMA, J.D. E JUPP, D.L.B. Estimating evaporation from pasture using infrared thermometry: evaluation of a one-layer resistance model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 51, n. 3-4, p.223-246, 1990

KARIMI, P.; BASTIAANSEN, W. G. M. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting-Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 1, p. 507, 2015.

LIU, Y.A. E KAR, S.K. Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms—A review. **Energies**, v.7, n. 5, p.2821-2849, 2014.

LIU, H.Q. AND HUETE, A., 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n.2, p.457-465, 1995.

MATSUSHITA, B., YANG, W., CHEN, J., ONDA, Y. AND QIU, G., 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. **Sensors**, v.7 n.11, p.2636-265, 2007.

MANZATTO, C. V.; FREITAS, E.; PERES, J. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2002. 174 p.

PAIVA, C. M.; TSUKAHARA, R. Y.; FRANÇA, G. B.; NICACIO, R. M. Estimativa da evapotranspiração via sensoriamento remoto para fins de manejo de irrigação. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba: INPE, Anais, p. 101-107, 2011.

PAPADAVID, G., H., TOULIOS, L., MICHAELIDES, S. A modified SEBAL modeling approach for estimating crop evapotranspiration in semi-arid conditions. **Water resources management**, v. 27, n. 9, p. 3493-3506, 2013.

RUHOFF, A. L. Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais. 2011. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto

de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/32468>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

SUGITA, M. AND BRUTSAERT, W. Regional surface fluxes from remotely sensed skin temperature and lower boundary layer measurements. **Water Resources Research**, v. 26, n.12, p.2937-2944, 1990.

SUN, Z., WEI, B., SU, W., SHEN, W., WANG, C., YOU, D., & LIU, Z. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, n.3, p.1086-1092, 2011.

VALOR, E. AND CASELLES, V. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. **Remote sensing of Environment**, v. 57, n. 3, p.167-184, 1996

VAN DE GRIEND, A. A; OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, p. 1119–1131, 1993.

Victoria, D.D.C. Estimativa da evapotranspiração da bacia do Ji-Paraná (RO) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

WOOD, E.F., LIN, D.S., MANCINI, M., THONGS, D., TROCH, P.A., JACKSON, T.J., FAMIGLIETTI, J.S. E ENGMAN, E.T. Intercomparisons between passive and active microwave remote sensing, and hydrological modeling for soil moisture. **Advances in Space Research**, v.13, n.5, p.167-176, 1993.