



Faculdade

EVANGÉLICA
DE GOIANÉSIA
ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA

FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

LUCAS MICHAEL BELISARIO

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS IRRIGADAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR UTILIZANDO ALGORITMO SAFER E IMAGENS DO SATÉLITE
LANDSAT 8**

Goianésia

2018



FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

LUCAS MICHAEL BELISARIO

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS IRRIGADAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR UTILIZANDO ALGORITMO SAFER E IMAGENS DO SATÉLITE
LANDSAT 8**

LUCAS MICHAEL BELISARIO

GUSTAVO HENRIQUE MENDES BRITO

Publicação nº: 09/18

GOIANÉSIA/GO

2018

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA

FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

CURSO DE AGRONOMIA

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS IRRIGADAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR UTILIZANDO ALGORITMO SAFER E IMAGENS DO SATÉLITE
LANDSAT 8**

LUCAS MICHAEL BELISARIO

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA APRESENTADA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

GUSTAVO HENRIQUE MENDES BRITO, MESTRE
Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG
ORIENTADOR

ANA CLAUDIA DE OLIVEIRA SÉRVULO, MESTRE
Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG
EXAMINADOR

IVANDRO JOSÉ DE FREITAS ROCHA, ESPECIALISTA
Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG
EXAMINADOR

Goianésia/GO, DATA DA DEFESA.

FICHA CATALOGRÁFICA

BELISARIO, L. M. Estimativa da Evapotranspiração em áreas irrigadas de Cana-de-açúcar utilizando Algoritmo Safer e Imagens do Satélite Landsat 8; Orientação de Gustavo Henrique Mendes Brito – Goianésia, 2018. 26p.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia, 2018.

1. Evapotranspiração. 2. Irrigadas. 3. Cana-de-açúcar. 4. Algoritmo Safer. 5. Satélite Landsat 8.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BELISARIO, L. M. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS IRRIGADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO ALGORITMO SAFER E IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 8; Orientação de Gustavo Henrique Mendes Brito; Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2018, --p. Monografia de Graduação.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: LUCAS MICHAEL BELISARIO

GRAU: BACHAREL

ANO: 2018

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: LUCAS MICHAEL BELISARIO

CPF: 042.343.851-40

Endereço: Rua Rialma Qd.84 Lt. 04

Email: Lucas.michaelbelisario@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pela a força e sabedoria para poder enfrentar todos os desafios encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais e minha esposa pela compreensão e apoio nos momentos mais delicados.

Ao meu orientador, Gustavo, pela dedicação e paciência nos atendimentos. Aos professores pelas dicas e orientações prestadas, disponibilizando muitas ideias para aprimoramento do trabalho a ser realizado.

Agradeço a todas as pessoas, familiares e amigos, que contribuíram no desenvolvimento deste trabalho, mesmo que indiretamente, com o apoio e paciência ao ouvir minhas dúvidas e aflições.

“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso”.

Albert Einstein

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3. CONCLUSÕES	18
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização Geográfica da propriedade, no Município de Vila Propício – Goiás	12
Figura 2. Vista do local do experimento, com destaque para a localização da estação meteorológica do INMET.....	13
Figura 3. Variação dos valores da Evapotranspiração nos determinados dias dos meses de abril e maio de 2017	15
Figura 4. Variação e respectivas taxas dos valores observados de evapotranspiração no mês de abril e maio, nos determinados dias.	16

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS IRRIGADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO ALGORITMO SAFER E IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 8

RESUMO

A estimativa de Evapotranspiração da cultura (ET_c) proporciona dados frequentemente utilizados na fundamentação das operações de irrigação, cálculo de balanço hídrico e para o zoneamento agroclimatológico. Neste sentido, o objetivo do estudo foi estimar a ET_c em áreas irrigadas de cana-de-açúcar, no município de Vila Propício-Go, utilizando algoritmo SAFER e imagens de Satélite Landsat 8. Os resultados mostraram o aumento da ET_c de um mês para o outro nos dois dias avaliados de cada mês, passando de um valor médio de 3,71 mm encontrado no mês de abril para um valor médio de 8,05 mm no mês de maio, podendo ser explicado devido ao aumento da temperatura, queda da umidade do ar, entre outros fatores. O estágio avaliado foi o de perfilhamento da planta, onde a mesma necessita de mais disponibilidade hídrica devido ao seu rápido crescimento, onde ocorre a alongação dos colmos da planta e a maior expressividade de área verde da planta da cana-de-açúcar. A estimativa de evapotranspiração através do algoritmo SAFER e imagens de Satélite se mostrou bastante promissor e com resultados bastante significativos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Agrometeorologia, Irrigação, Necessidade hídrica.

1. INTRODUÇÃO

A cana de açúcar (*Saccharum spp*) foi uma das primeiras culturas introduzidas no Brasil e se mostrou bastante adaptável as condições climáticas do local. No ano de 2017 o Brasil foi o maior produtor mundial de cana de açúcar com produção aproximada em 8,8 milhões de hectares cultivados, onde se obteve uma produtividade média de 74,0 toneladas/há com produção de 633,26 milhões de toneladas na safra 2017/2018 (CONAB,2017).

Dimensionar a quantidade de água necessária para produção agrícola é um dos fatores de suma importância e interfere no manejo de qualquer sistema de irrigação, devendo o homem ter a máxima atenção em relação ao seu uso, pois tanto sua falta como excesso podem afetar o rendimento da cultura, sendo necessário o manejo racional da água para otimizar os processos produtivos agrícolas (SANTIAGO et al., 2016; MORAIS et al., 2008).

Entre os métodos de gerenciamento da água, a estimativa da evapotranspiração (ET_o) é um dos principais parâmetros utilizados para o dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação (OLIVEIRA, et al., 201; ANDRADE et al., 2016; FERNANDES et al., 2011). A ET_o de maneira simplificada e conhecida como o processo de mudança do estado físico da água pela evaporação no solo e pela transpiração feita pelas plantas (ALENCAR et al., 2011).

A ET_o além de ser o principal componente para se obter o balanço de água nos ecossistemas agrícolas, também é o maior fator para os estudos de avaliação ambiental, utilizado para o manejo de bacias hidrográficas e para se fazer a estimativa de necessidade hídrica das culturas (RAZIEI e PEREIRA, 2013; CARVALHO et al., 2015).

O monitoramento da ET_o permite ter informações de quanto se utilizar de água e ao mesmo tempo pensando na economia que se poderá fazer no sistema hídrico local, determinando a necessidade hídrica de uma determinada cultura, pois cada cultura necessita de uma quantidade específica, de acordo com o coeficiente de cultura, condições climáticas e espécie vegetal cultivada (LI et al., 2003).

Conforme Carrijo et al., (2004) a fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes juntamente com a água, visando fornecer as quantidades de nutrientes requeridas pela cultura, visando a obtenção de altos rendimentos e produtos com maior qualidade.

A evapotranspiração pode ser estimada a partir de métodos indiretos como as equações de Blaney-Cridde, Hargreaves e Penman-Monteith, sendo este o método recomendado pela FAO como padrão, pois incorpora em sua estimativa aspectos termodinâmicos e elementos meteorológicos como temperatura do ar, velocidade do vento a 2 m de altura, umidade relativa do ar e do saldo de radiação (JOÃO et al., 2012; ALLEN et al., 1998).

Além disso, tem-se utilizado técnicas de sensoriamento remoto, que consiste no estudo de eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da terra, feita através de registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas substâncias que o compõem, para estimativa da evapotranspiração e no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais (LEITE et al., 2012; NOVO, 2008).

Para utilizar as imagens de sensoriamento remoto na estimativa de evapotranspiração com larga cobertura espacial, tem-se aplicado algoritmos como SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) (Bastiaanssen et al., 1998), METRIC (*Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration*) (Allen et al., 2007) e SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) (TEIXEIRA et al., 2013).

Entre estes algoritmos, o SAFER tem como base a equação de Penman-Monteith para obtenção de evapotranspiração em larga escala. Possui aplicação simples necessitando apenas de dados de Evapotranspiração de referência, radiação global e temperatura média do ar que são obtidos através de estações agrometeorológicas, juntamente com os dados obtidos através de sensoriamento remoto e do balanço de energia (TEIXEIRA et al., 2013).

Com base no exposto o objetivo com este trabalho foi determinar a evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar utilizando algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) utilizando imagens de satélite Landsat 8 OLI/TIR.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de cultivo comercial de cana-de-açúcar no município de Vila Propício, Goiás. A propriedade está localizada entre as coordenadas geográficas de 15°18'29" S, 48°53'41" W, possui 182,41 hectares com as cultivares CTC9003 e CTC15, altitude média de 640 m, com clima da região tropical úmido, invernos secos, verões chuvosos e temperatura variando em torno dos 20° C a 25°C.

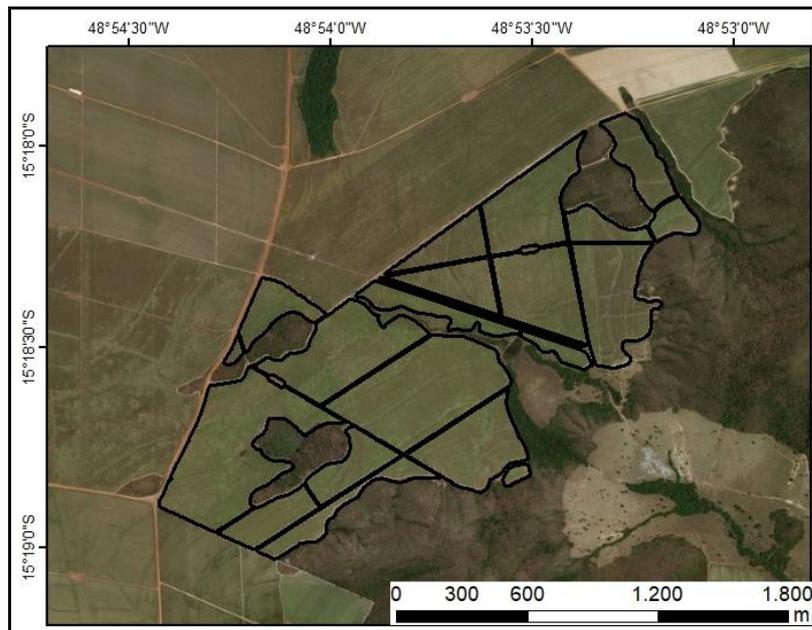


Figura 1. Localização Geográfica da propriedade, no Município de Vila Propício – Goiás

Para estimativa da evapotranspiração foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8 sensores OLI e TIRS, orbita 222, ponto 71, adquiridas de maneira gratuita do banco de imagens do *United States Geological Survey – USGS* (2015) e dados climáticos provenientes da estação meteorológica próxima a área.

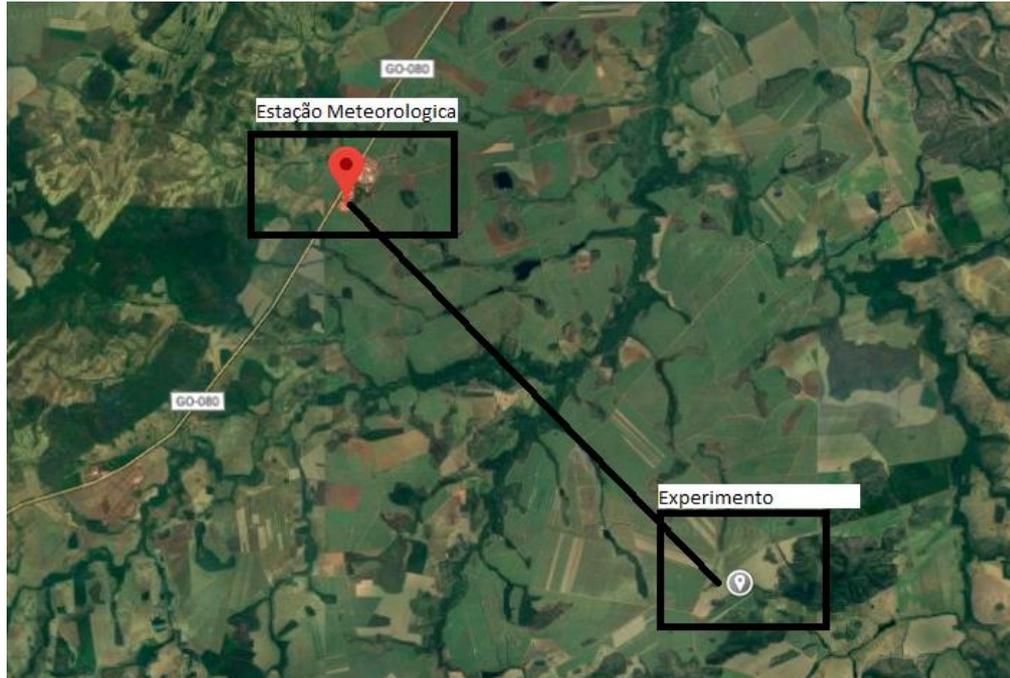


Figura 2. Vista do local do experimento, com destaque para a localização da estação meteorológica do INMET.

As imagens foram tiradas nos dias 07 e 23 de abril de 2016 e 09 e 25 de maio de 2016.

As imagens obtidas foram previamente processadas com correções geométricas, calibrações radiométricas e atmosféricas, conforme metodologias propostas por Ariza (2013) e Vanhellemont e Ruddick (2014), com objetivo de transformar os números digitais (ND) em reflectância das bandas 1 a 7 do sensor OLI.

A reflectância das bandas 1 a 7 foram utilizadas na obtenção do albedo planetário no topo da atmosfera – TOA, albedo da superfície e NDVI (Banda 4 e 5) de acordo com as metodologias propostas por Teixeira (2010) e Allen et al. (2002).

Também foi calculada a temperatura no topo da atmosfera da banda 10 (10,6 a 11,9 μm) e banda 11 (11,5 a 12,51 μm) do sensor TIRS do satélite Landsat 8, conforme metodologia proposta por Chander et al. (2009) e determinado o valor médio de temperatura entre as respectivas bandas. A temperatura de superfície será obtida a partir dos valores médios, e de acordo com a equação proposta por Teixeira et al. (2010).

Para calcular os valores instantâneos da relação ET/ET_0 foram utilizados os dados do albedo de superfície (α_0), temperatura de superfície (T_0) e NDVI, conforme equação 1.

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 * NDVI} \right) \right], \quad (1)$$

A implementação foi baseada em Teixeira et al. (2013) e Hernandez et al. (2014), em que a e b são coeficientes de regressão, com valores de 1,0 e -0,008, respectivamente. O ET_o é a estimativa da evapotranspiração de referência dada pelo método de Penman-Monteith conforme proposto por Allen et al. (1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) será obtida pela multiplicação dos valores instantâneos pelos valores diários da ET_o , conforme equação 2.

$$ET_c = \frac{ET}{ET_o} * ET_o, (2)$$

Para avaliar a estimativa de evapotranspiração obtida pelo SAFER, os seus resultados foram correlacionados com os valores estimados pelo método FAO, conforme equação 3, e obtidos o erro padrão de estimativa (EPE), raiz do erro quadrático médio (EQM) e erro médio absoluto (EMA).

$$ET_c = ET_o * k_c, (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de plantio teve início no dia 01 de fevereiro e terminou no dia 09 de fevereiro de 2016, as imagens foram tiradas na fase de perfilhamento da cana de açúcar, nos meses de abril e maio, período onde a mesma possui maior necessidade hídrica devido a sua maior taxa de crescimento. Segundo Silva et al. (2011) o estresse hídrico durante as fases críticas da cana-de-açúcar, entre elas o perfilhamento e início da alongação de colmos, pode resultar em reduções expressivas no rendimento de colmos e de açúcar.

Ao analisar a ETC ao longo dos meses de Abril e maio, observa-se um aumento ao longo do estágio de desenvolvimento da cultura (FIGURA 2). Embora Sales et al. (2017) tenha avaliado a ETC do tomate industrial utilizando o SAFER, os respectivos autores identificaram que dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, os valores de ETC variavam.

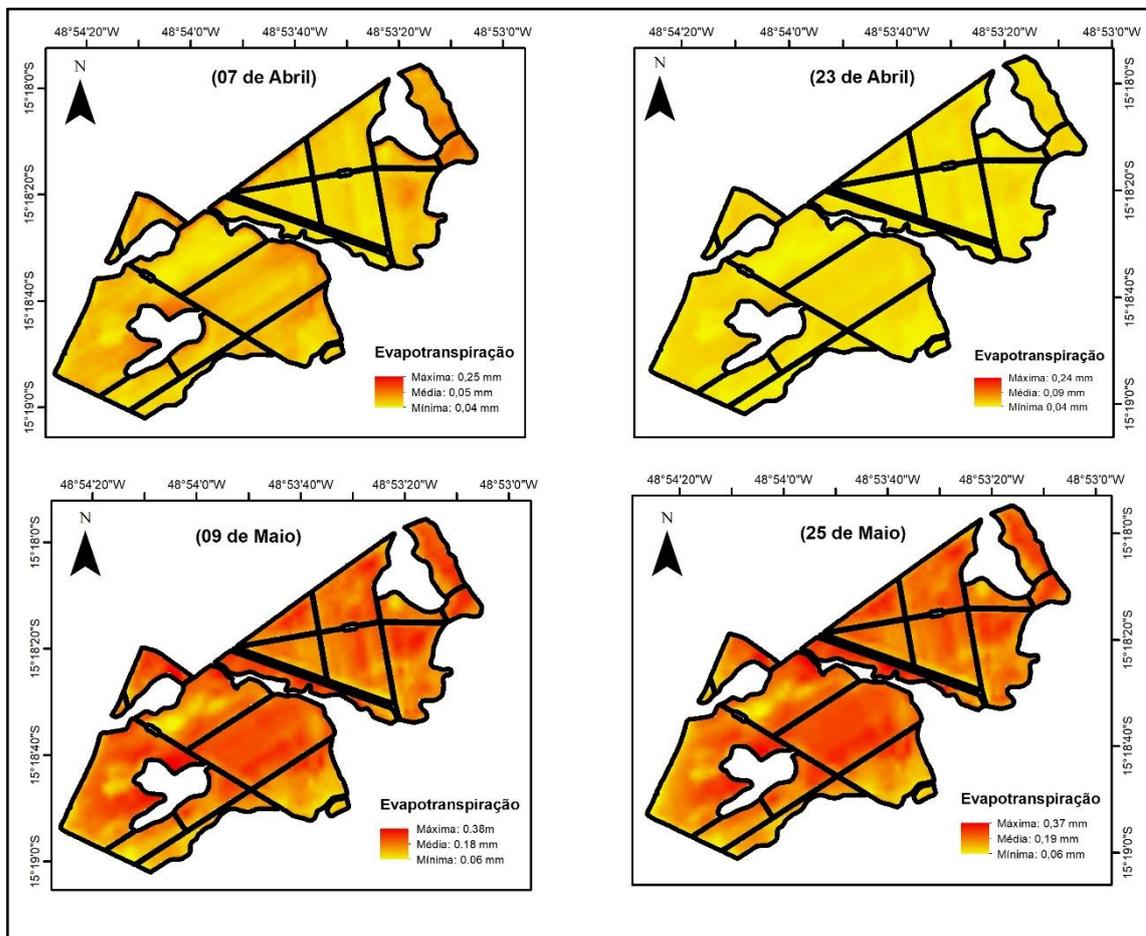


Figura 3. Variação dos valores da Evapotranspiração nos determinados dias dos meses de abril e maio de 2017

Segundo Pires et al. (2008) a maior demanda hídrica ocorre no período de perfilhamento e rápido crescimento que ocorre em 60 a 150 dias após o plantio, pois nesse período a planta obtém um rápido desenvolvimento, expressiva área foliar e dessa forma ela necessita de uma maior quantidade de água para viabilizar a troca de gases com a atmosfera.

Através da média encontrada dos determinados dias podemos estabelecer um valor estimado de ET_c dos seguintes meses, a partir dos dados encontrados pôde-se fazer o projeto de irrigação que fornecesse a quantidade de água necessária para suprir essa perda através da ET_o .

A $ET_{diária}$ do dia 07 de abril foi de 2,79 mm e no dia 23 de abril foi de 4,63 mm, já no dia 09 de maio foi constatado o aumento desse valor sendo de 7,96mm e no dia 25 de maio o valor de 8,14mm pelo método SAFER (FIGURA 3).

No mês de abril foi observado uma $ET_{diária}$ média de $3,71 \text{ mm.dia}^{-1}$ podendo chegar a um valor estimado de $111,46 \text{ mm.mês}^{-1}$ mensal, já no mês de maio observou uma $ET_{diária}$ média de $8,05 \text{ mm.dia}^{-1}$ podendo encontrar um valor estimado de $249,67 \text{ mm.mês}^{-1}$.

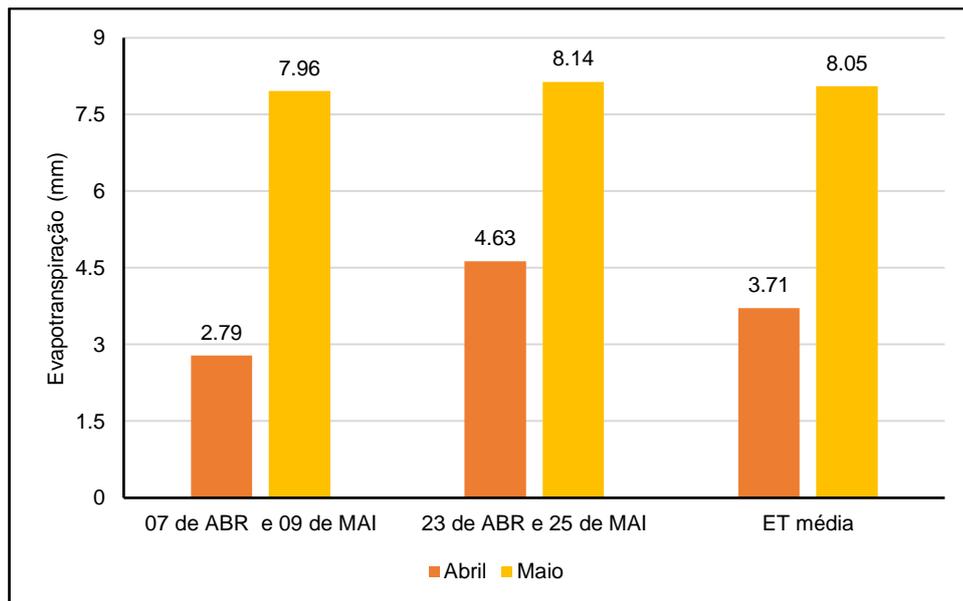


Figura 4. Variação e respectivas taxas dos valores observados de evapotranspiração no mês de abril e maio, nos determinados dias.

Lira (2008) mapearam a $ET_{diária}$ da Cana-de-açúcar irrigada no submédio do São Francisco, região de Juazeiro-BA, nos estádios de maturação e repouso fisiológico, encontrando valores de evapotranspiração de referência medidas iguais a $5,85$ a $7,96 \text{ mm.dia}^{-1}$ e por meio no método de Bower, os valores foram de $4,70$ a $6,43 \text{ mm.dia}^{-1}$.

Conforme Mussi et al (2017), na mesma data do ano interior avaliou a estimativa de evapotranspiração pelo método SAFER nas datas 07 e 23 de abril, em outra área de cana de açúcar irrigada do município de Goianésia, na fase de brotação da cana-de-açúcar, as evapotranspirações foram estimadas em 3,5 e 2,8 mm dia⁻¹ respectivamente.

Teixeira et al. (2016) aplicou o algoritmo SAFER para obtenção de ET em áreas produtoras de cana de açúcar na região nordeste do estado de São Paulo de setembro de 2011 a outubro de 2012, constatando maiores valores de ET (media 4,0 mm d¹) na fase de crescimento máximo da cana, ocorrida no período chuvoso.

Souza (2016) aplicou o modelo SAFER com imagens Landsat para estimar a ET em áreas de cultivo de tomate, trigo, feijão e cana-de-açúcar em municípios de do estado de Goiás, obtendo os valores de Et variando entre 1,69 e 3,58mm d¹ para o feijão; entre 2,49 e 4,70 mm d¹ para o tomate; entre 0,61 e 2,48 mm d¹ para o trigo e 0,30 e 2,31 mm d¹ para a cana-de-açúcar.

A ET_{diária} possui variação conforme a altitude da superfície, estágio fisiológico da planta, temperatura, entre outros fatores de acordo com estudo feito por Machado et al. (2014), onde na região canavieira no litoral de Pernambuco utilizando-se do algoritmo SEBAL, obteve-se a variação de ET entre 2 a 5,5 mm.d⁻¹.

A temperatura observada nesses dois meses se manteve entre 20 a 35 graus. Para a cultura da cana-de-açúcar existe uma faixa de temperatura que pode ser considerada como ótima para o seu desenvolvimento, para a brotação das gemas a temperatura deve variar de 26 °C a 33 °C, com temperaturas abaixo dos 13 °C ou superiores a 40 °C impede que ocorra a brotação da planta. Para a fase de crescimento temperaturas abaixo de 21 °C promovem a redução de seu crescimento; e temperaturas abaixo de 0 °C ocasionam graves prejuízos ou a morte das folhas e morte da gema apical e temperaturas entre 20 °C a 40 °C favorecem o crescimento dos entrenós (SEGATO et al., 2006).

3. CONCLUSÕES

As informações obtidas pelos sensores remotos e a aplicação do modelo SAFER, na área de cana-de-açúcar permitiu a estimativa de importantes parâmetros, tendo maior relevância a evapotranspiração, com resultados satisfatórios, o que pode trazer por parte dos profissionais um maior interesse na utilização desta técnica de monitoramento da água e da cultura, para que sejam utilizadas em grandes áreas irrigadas de forma rápida e eficaz, assegurando um maior e melhor planejamento deste recurso natural.

O algoritmo SAFER demonstrou através da evapotranspiração diária, possui um grande potencial para o apontamento de zonas críticas de déficit hídrico na cultura de Cana-de-açúcar e para indeterminadas variedades de culturas agrícolas.

As principais dificuldades que limitam a utilização do algoritmo SAFER é devido a poucas imagens oferecidas pelo Satélite LandSat 8, por conter espaçamento de 16 dias entre cada imagem tirada, e por fatores naturais como a presença de nuvens que interferem na captação dessas imagens.

Com os resultados encontrados podemos ver que através destes mecanismos podemos fazer planejamento do recurso hídrico com maior eficiência para várias espécies de culturas, podendo também ser utilizados para medição de outros componentes ambientais como o índice de vegetação, temperatura entre outros.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L.P.; SEDIYAMA, G.C.; WANDERLEY, H.S.; ALMEIDA, T.S.; DELGADO, R.C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.19, p.437-449, 2011. DOI: 10.13083/1414-3984.v19n05a05.
- CARRIJO O. A.; SOUSA R. B.; MAROUELLI W. A. E ANDRADE R. J. Fertirrigação de hortaliças; **Boletim Técnico Empraba Hortaliça**; v 32, Brasília, DF Outubro, 2004.
- CARVALHO, D.F.; ROCHA, H.S.; BONOMO, R.; SOUZA, A.P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.50, p.1-11, 2015. DOI: 10.1590/0100-204X2015000100001.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento** “<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/>>”, Acesso em: 22 de junho de 2018.
- BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para amicroregião de Garanhuns, PE. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**,16:380-390, 2012.
- LEITE, M. R.; SILVA, J. L. Avaliação de desempenho entre modelos de obtenção de temperatura de superfície por sensores remotos, **Revista Eletronica de Geografia**, v.4, n.12, p.73-89, dez. 2012.
- LI, Y.L.; CUI, J.Y., ZHANG, T.H.; ZHAO, H.L. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semiarid region of north China. **Agric. Water Manage.** 61, 1–12, 2003.
- LIRA, V. M. **Obtenção de parâmetros biofísicos e evapotranspiração da cana-de-açúcar mediante imagens orbitais na região do sub médio São Francisco**. TESE DE DOUTORADO—Campo Grande - MS: Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, 2008.
- MACHADO, C.C.; SILVA, B.B.; DE ALBUQUERQUE, M. B.; GALVINCIO, J. D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 29, n. 1, p. 55-67, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862014000100006>
- MORAIS, N. B.; BEZERRA, F. M. L.; MEDEIROS, J. F.; CHAVES, S. W. P. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.369-377, 2008
- MUSSI, R. F. **Evapotranspiração máxima da cana de açúcar estimada pelo algoritmo SAFER**. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAY, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). Cana de-açúcar. **Campinas: Instituto Agrônomo**, 2008 p. 631-970.

SALES, D. L. A.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; SOUZA, J. M. F. Estimativa de evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial utilizando o algoritmo SAFER. **Irriga**, Botucatu, v.22, n.3, p.629-640, 2017.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. p. 19-36.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JUNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.15, n.12, p.1257-1265, 2011.

TEIXEIRA, A. H.C.; LEIVAS, J. F.; RONQUIM, C. C.; VICTORIA, D.C. Sugarcane water productivity assessments in the São Paulo state, Brazil. **International Journal of Remote Sensing Applications**, v. 6, p. 84-95, 2016.