

## Avaliação da influência da temperatura do dossel no crescimento, desenvolvimento e produtividade estimada por satélite na cultura de cana-de-açúcar

Dayanna Teodoro Quirino<sup>1</sup>  
Derblai Casaroli<sup>1</sup>  
Bruno Mateus dos Santos<sup>1</sup>  
Jordana Moura Caetano<sup>1</sup>  
Anniely Karoline Gandara Rezende<sup>1</sup>  
Lucas Alves Rodrigues<sup>1</sup>  
Marília Ribeiro Rodrigues Paixão<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG

Núcleo de Pesquisa em Clima e Recursos Hídricos do Cerrado (NUCLIRH)  
Caixa Postal 131 – CEP 74690-900 – Campus Samambaia – Rodovia Goiânia/Nova Veneza,  
Km 0 – Goiânia – GO – Brasil  
dayanna\_teodoro; brunomateus.santos; anniely\_kroline; lucasalvesrodrigues8}@hotmail.com  
derblai@ufg.br; jordanamcaetano; mariliapaixao.agro}@gmail.com

**Abstract.** The sugarcane crop suffers productivity losses as a function of the water deficit in the soil. The transpiration is directly linked to the atmospheric CO<sub>2</sub> input in the plants, which will be used in the process of photosynthesis for the production of carbohydrates, in addition to this, it promotes plant thermoregulation. Thus, fully active plants (potential transpiration) tend to have lower leaf temperatures than those recorded in the environment; on the other hand, plants with depleted transpiration (less than potential) tend to maintain leaf temperature higher than that of air. However, the objective was to identify the water stress of sugarcane based on the difference between the air temperature and the leaf temperature (Ta-Tf) and to verify the possibility of using satellite images to obtain the temperature of the canopy of sugarcane -of sugar. For this, data on air and leaf temperature, as well as information on growth, development and productivity of sugarcane were collected, as well as estimating the canopy surface temperature using remote sensing images. The experiment was carried out in the municipality of Santo Antônio de Goiás - GO, whose productive area belongs to the Centro Álcool SA mill. The sugarcane variety CTC-4 was evaluated in a sugarcane cycle (2nd cut), without Irrigation, in the harvest year 2014/2015. The results showed that the surface temperature (Ts) better indicated the water stress in the plant than the leaf temperature (Tf), by means of the "Ts-Ta" difference, influencing the growth of the sugarcane crop. It was found that values of "Ts-Ta" > 4 ° C indicated condition of vegetal water stress. It is recommended to use remote sensing as a tool to monitor the water status of sugarcane.

**Palavras-chave:** condições climáticas, temperatura foliar, estresse hídrico, climatic conditions, leaf temperature, water stress.

### 1. Introdução

A cana-de-açúcar possui uma colocação de destaque entre as culturas cultivadas no Brasil, que atualmente é o maior produtor mundial com estimativa de área cultivada em 8.654,2 mil hectares na safra 2015/2016, sendo o estado de Goiás a segunda maior área plantada do país, estimada em 885,8 mil hectares CONAB (2016).

O sistema de produção da cana-de-açúcar, semelhante a outras culturas agrícolas, pode ser afetado por fatores relacionados à planta (cultivares, tipo de ciclo), ao solo (tipo, fertilidade), às práticas culturais (época de plantio, densidade de plantio, rotação de cultura) e, especialmente, às condições climáticas (temperatura, radiação, precipitação) Bonnet et al., (2006); Gilbert et al. (2006); Park et al. (2005). Dentre as condições ambientais o déficit hídrico é um dos fatores mais limitantes para a produção desta cultura Cattivelli et al. (2008).

Uma das primeiras consequências fisiológicas para as plantas submetidas ao déficit hídrico é a redução da assimilação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido ao fechamento estomático, que

por consequência diminui as taxas fotossintéticas Pimentel (2004). A redução das taxas fotossintéticas resulta em queda de produtividade da cultura.

Dentre as variáveis técnicas utilizadas para monitorar o estresse de água das plantas, a temperatura foliar é um método indireto fundamentado na hipótese de que a transpiração resfria as folhas em relação ao ar adjacente. À medida que a água torna-se limitante, a transpiração é reduzida e, em consequência, ocorre aumento da temperatura foliar pela absorção da radiação solar incidente Jackson (1981). Assim, pode-se avaliar os efeitos da temperatura foliar como variável de determinação dos índices de produtividade da cana-de-açúcar.

Os termômetros infravermelhos utilizados na medição da temperatura foliar podem ser de difícil aplicação no início do ciclo dos cultivos, devido à cobertura parcial do dossel Lopez et al. (2009). Desta forma, uma alternativa que tem sido estudada é o uso de imagens de sensoriamento remoto obtidas por satélites, capaz de capturar a variabilidade espacial da temperatura de superfície Roy et al. (2014).

Considerando que a temperatura foliar da cana-de-açúcar pode afetar a produtividade da cultura, objetivou-se identificar o estresse hídrico da cana-de-açúcar com base na diferença entre a temperatura do ar e da folha ( $T_f - T_a$ ) e verificar a possibilidade de utilizar imagens de satélite para a obtenção da temperatura do dossel da cana-de-açúcar.

## 2. Metodologia de Trabalho

O experimento foi conduzido em campo no município de Santo Antônio de Goiás - GO ( $16^\circ 29'S$ ;  $49^\circ 18'W$ ; 780 m) em talhões da destilaria Centro Álcool S.A, cultivados com a variedade CTC-4, em estágio de cana-soca em regime de sequeiro.

Segundo Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical de savana, megatérmico. O regime pluvial é bem definido em estação chuvosa (outubro – abril) e seca (maio – setembro) com média anual de 1.498 mm.

A temperatura foliar ( $T_f$ ) foi medida em um ponto da superfície foliar das folhas +1 e +3, a uma distância de, aproximadamente, 5,0 cm entre o termômetro e a lâmina foliar. Para as medidas de temperatura foliar foi utilizado um termômetro infravermelho portátil (Minipa MT - 330), com resolução de  $0,1^\circ C$ , para a faixa de temperatura entre  $-60$  e  $550^\circ C$ , e precisão de  $\pm 2^\circ C$ . As medidas de temperatura foram obtidas uma vez por semana, a partir do dia 25/03/2015 até 19/09/2015.

Para análise das temperaturas de superfície ( $T_s$ ) estimadas por sensoriamento remoto foram utilizadas imagens do satélite MODIS/ TERRA, (produto MOD11 – 1 km, diária), adquiridas no site Primary Data Search - WIST - NASA no endereço <https://wist.echo.nasa.gov/api/> no formato hdf, MODLAND (MODIS/Terra Land Surface Temperature/ Emissivity daily L3 Global 1km SIN Grid V005). As imagens trabalhadas foram de janeiro à setembro de 2015. Em relação aos dados de superfície, foram consideradas as temperaturas instantâneas para o horário das 14 horas UTC, hora de medida mais próxima à hora da passagem do satélite. As imagens do produto MOD11 foram adquiridas no formato HDF e convertidas para GeoTIFF, após a conversão as bandas foram importadas no software usado na parte de processamento de imagens ENVI, foi mantido o sistema de projeção WGS84 e foi efetuado um recorte da área de interesse, em seguida a imagem resultante passou por operação de cálculo de bandas onde cada pixel foi multiplicado pelo fator de escala referente a banda, gerando então uma imagem final com os valores de temperatura.

Após o brotamento foram realizadas 147 avaliações no período de 05/12/2014 à 19/09/2015, em 4 pontos de coleta, determinando-se: a altura da parte aérea obtida com o auxílio de uma trena, compreendendo a medida de comprimento do colmo desde a sua inserção na superfície do solo até a inserção da última folha no colmo; e o número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde).

Para a estimativa da produtividade da cana-de-açúcar em função das variáveis biométricas, será utilizado o modelo descrito por Martins e Landell (1995), sendo estimada as toneladas de colmos por hectare (TCH) a partir da equação (1):

$$TCH = D^2 \cdot NPI \cdot EMC \cdot \left( \frac{0,007854}{ESP} \right) \quad (1)$$

sendo D o diâmetro dos colmos (mm), NPI o número de perfilhos industrializáveis por metro linear, EMC a estatura média dos colmos (cm), ESP o espaçamento entre sulcos (m), e 0,007854 o fator de correção apropriado para cana-de-açúcar. Para esta determinação são considerados os dados médios mensais referentes às avaliações no ciclo de cana-soca (12 meses), sendo a última realizada no estágio de maturação fisiológica.

O cálculo da evapotranspiração e balanço hídrico climatológico mensal seguiu a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955). Os dados meteorológicos foram obtidos da estação automática da EMBRAPA – Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás - GO. A CAD (capacidade de água disponível) adotada foi de 100 mm que é recomendada para culturas anuais.

### 3. Resultados e Discussão

Os valores médios de temperaturas do ar (Ta), temperatura foliar (Tf) e temperatura de superfície (Ts), bem como o balanço hídrico sequencial para a cultura da cana-de-açúcar encontram-se na Figura 1.

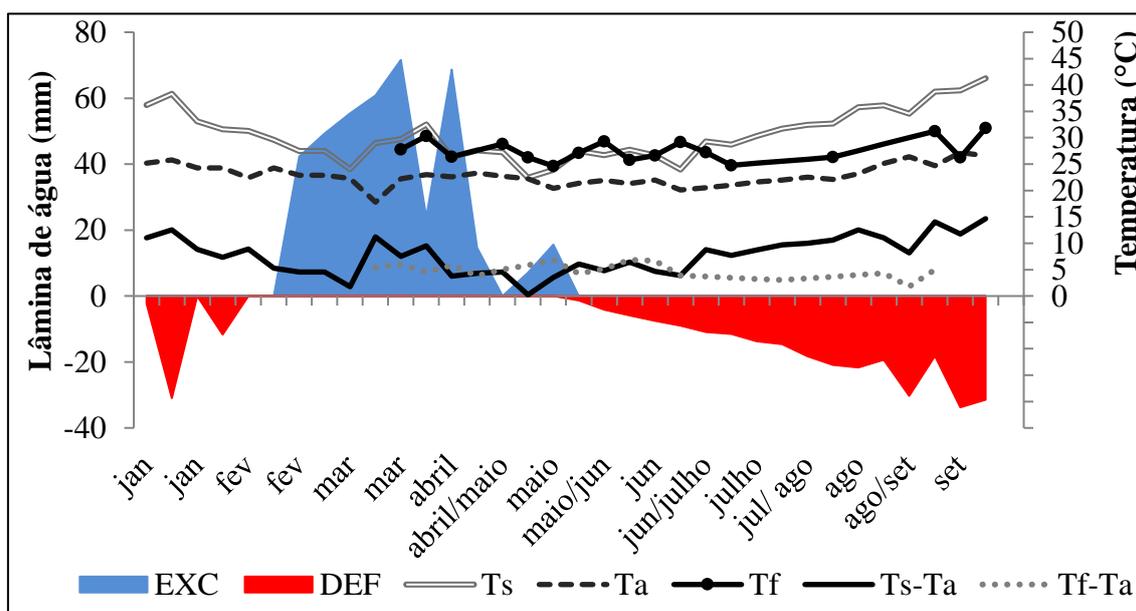


Figura 1. Temperaturas médias do ar (Ta), de superfície do dossel (Ts), foliar (Tf) e as diferenças entre “Ts-Ta” e ‘Tf-Ta” da cana-de-açúcar relacionados com o balanço hídrico sequencial do município de Santo Antônio de Goiás – GO.

A temperatura do ar ocorrida na fase de brotação e perfilhamento da cultura de cana-de-açúcar apresentou variações conforme mostra a Figura 1, oscilando de 23 a 28 °C. O crescimento vegetativo ótimo ocorre em temperaturas do ar entre 28 e 34 °C, enquanto a maturação natural exige temperaturas abaixo de 21 °C e/ou déficit hídrico, fazendo com que o fotoassimilado (sacarose) necessário para a expansão dos tecidos da planta seja desviado para armazenamento nos colmos, restringindo o crescimento vegetativo (Moore & Marezki, 1996; Andrade, 2006). Na fase de crescimento dos colmos a temperatura do ar se manteve em torno dos 24 °C. O período de maturação iniciou-se no mês de junho, onde começa o período de déficit

hídrico no solo e observa-se as temperaturas do ar mais baixas, em torno de 21 a 23 °C (figura 1).

O índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) a partir de  $T_s$  e  $T_f$  podem ser observados com mais detalhes na Figura 2.

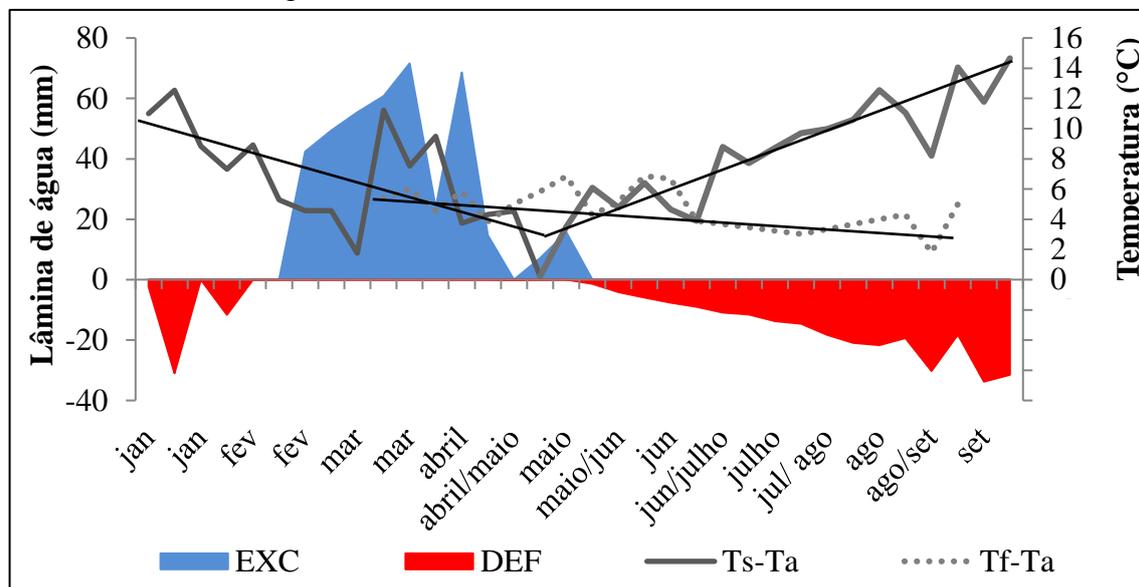


Figura 2. Diferenças entre a temperatura de superfície do dossel e temperatura do ar ( $T_s - T_a$ ) e da temperatura foliar e temperatura do ar ( $T_f - T_a$ ) relacionado com a produtividade potencial da cana-de-açúcar.

O índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) proposto por Jackson et al. (1981) é um índice utilizado para detectar o déficit hídrico vegetal que parte do princípio de que a disponibilidade de água para uma dada cultura poderia ser estimada por meio da normalização do domínio da diferença entre a temperatura do dossel e do ar ( $T_s - T_a$  e  $T_f - T_a$ ). À medida que a água torna-se limitante, a transpiração é reduzida e, em consequência, ocorre aumento da temperatura foliar pela absorção da radiação solar incidente. Dessa forma, assume-se que as plantas estão transpirando em condições plenas, ou seja, sem estresse hídrico, quando as diferenças “ $T_s - T_a$  e  $T_f - T_a$ ” forem negativas. Em contraste, presume-se que quando esta diferença for positiva a planta está em estresse hídrico, pois o resfriamento foliar evaporativo está sendo suprimido.

A temperatura de superfície ( $T_s$ ) detectou índices de estresse hídrico em todo o ciclo de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Sendo esta média a que melhor descreveu a lâmina de água no solo por meio da diferença “ $T_s - T_a$ ”, mostrando uma tendência de redução à medida que o solo aumenta seu teor de umidade e aumento quando o solo entra em uma condição de déficit hídrico. A temperatura de superfície do dossel ( $T_s$ ) e a temperatura foliar ( $T_f$ ) mantiveram valores acima da temperatura do ar ( $T_a$ ) durante todo o ciclo da cultura, gerando valores de IEHC positivos mesmo nos períodos de déficit hídrico. Dessa forma, valores de  $T_s - T_a > 4$  °C indicaram condição de estresse hídrico (Figura 2).

As variáveis de crescimento avaliadas durante o ciclo da cultura, número de folhas verdes, matéria seca acumulada das folhas e altura dos colmos, apresentaram uma mesma tendência quando relacionadas ao índice de estresse hídrico “ $T_s - T_a$ ”, onde os valores de máximo crescimento coincidiram com os menores valores de “ $T_s - T_a$ ”, que representam condições de plena atividade metabólica da planta (sem restrição hídrica), conforme mostra a Figura 3.

(a)

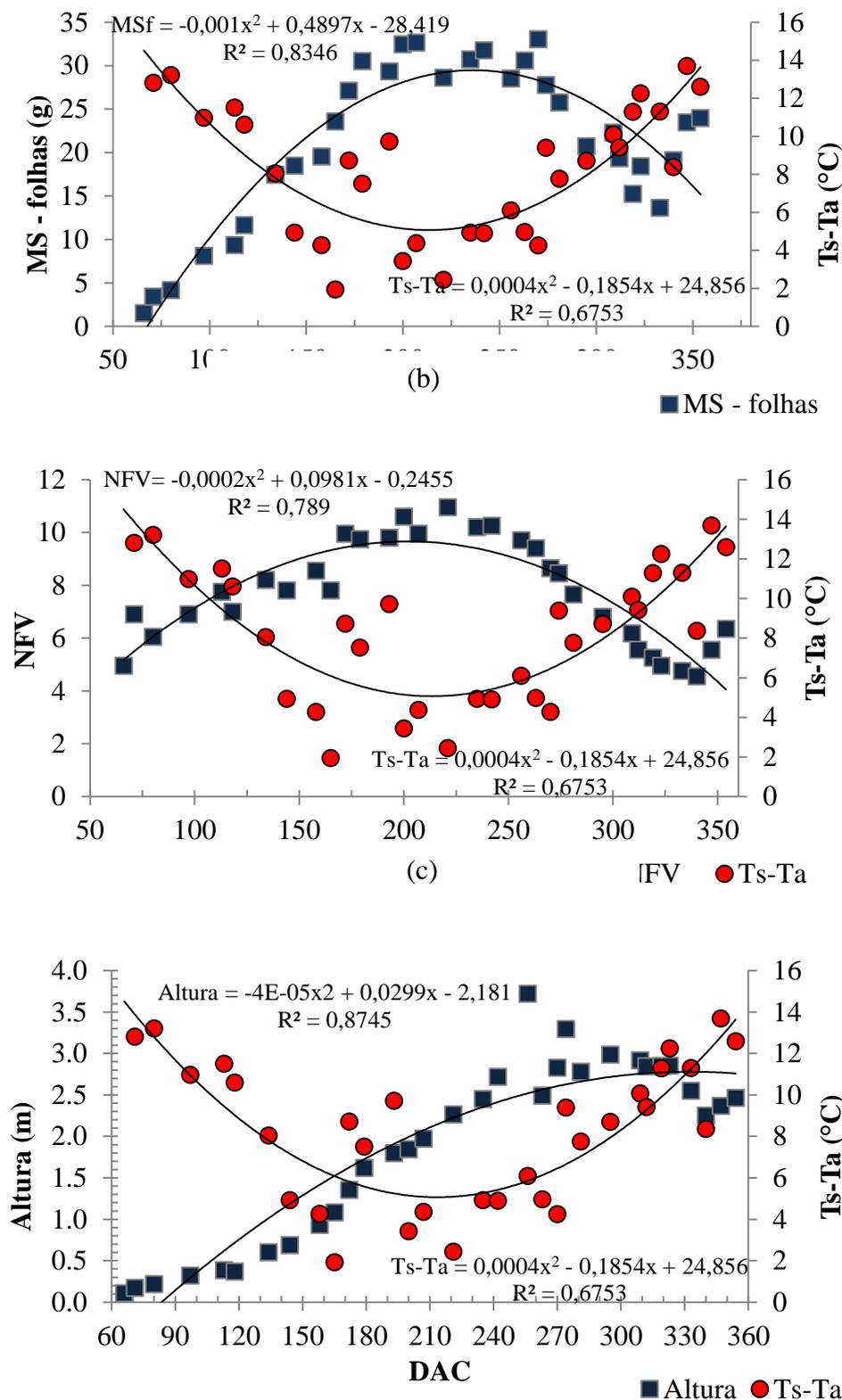


Figura 3. Acúmulo de MS das folhas e a diferença da temperatura de superfície e do ar (Ts-Ta) em função dos dias após a colheita (DAC) (a); número de folhas verdes (NFV) e a diferença “Ts-Ta” em função dos DAC (b); Altura dos colmos e a diferença “Ts-Ta” em função dos DAC.

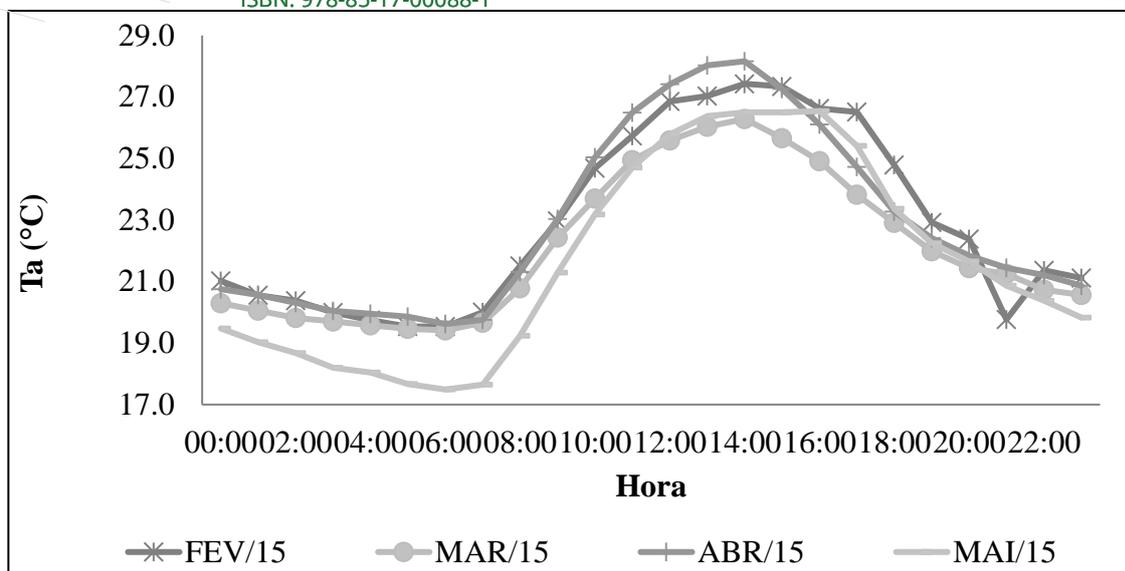


Figura 4. Variação da temperatura do ar (Ta) durante o dia nos meses de fevereiro, março, abril e maio de 2015 (período de excedente hídrico).

A temperatura de superfície do dossel ( $T_s$ ) e a temperatura foliar ( $T_f$ ) mantiveram valores acima da temperatura do ar ( $T_a$ ) durante todo o ciclo da cultura, gerando valores de IEHC positivos mesmo nos períodos de excedente hídrico (fevereiro a maio), conforme mostra a Figura 2. Isso pode ter ocorrido devido ao horário de coleta das temperaturas da cultura, que ocorreu por volta das 11:00 horas, sendo um horário em que ocorre as temperaturas mais quentes do dia (Figura 4). A cana-de-açúcar, quando submetida a altas radiações solares ao ponto de ultrapassar seu ponto de compensação por luz, fecha os estômatos para evitar a perda de água, mesmo em condições de excedente hídrico. O fechamento estomático leva a folha a acumular energia, liberando-a para a atmosfera na forma de calor sensível e dessa torna  $T_s > T_a$ .

De acordo com IDSO (1982), a diferença “ $T_f - T_a$ ” é insuficiente para assegurar um controle adequado da irrigação, pois não somente a disponibilidade hídrica, mas também as variáveis meteorológicas afetavam a diferença de temperatura “ $T_f - T_a$ ”. Contudo, foi possível observar que valores de  $T_s - T_a > 4$  °C indicaram condição de estresse hídrico.

#### 4. Conclusões

A temperatura de superfície, estimada por sensoriamento remoto, se mostrou mais eficiente do que a temperatura foliar como indicadora do status hídrico da cultura da cana-de-açúcar.

As variáveis de crescimento altura, número de folhas verdes e MS acumulada das folhas apresentaram valores de máximo crescimento que coincidiram com os menores valores de “ $T_s - T_a$ ”, mostrando que nesses momentos a cultura estava em plena atividade metabólica (sem estresse hídrico).

Os valores de  $T_s - T_a > 4$  °C indicaram condição de estresse hídrico pela cana-de-açúcar.

O sensoriamento remoto mostrou ser uma ferramenta produtiva para avaliação do status hídrico da cultura tornando sua utilização indicada para acompanhar o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar.

#### Referências Bibliográficas

Andrade, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: Cardoso, M.G. (ed.) **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, 2006. 25-67 p.

Bonnet, G. D.; Hewitt, M. L.; Glassop, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 57, p. 1087-1095, 2006.

Cattivelli, L.; Rizza, F.; Badeck, F. W.; Mazzucotelli, E.; Mastrangelo, A. M.; Francia, E.; Mare, C. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v.105, p.1-14, 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar Safra 2015/2016**. Quarto Levantamento. Abril. Brasília: Conab, 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_04\\_14\\_09\\_06\\_31\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_4o\\_lev\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2016, 16:30:30.

Gilbert, R. A.; Shine Júnior, J. M.; Miller, J. D.; Rainbolt, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.

Idso, S. B. Non-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. **Agricultural Meteorology**. Amsterdam, v 27, p 59-70, 1982.

Jackson, R. D.; Idso, S. B.; Reginato, R. J.; Pinter, P. J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, Washington, v. 17, p. 1133-1138, 1981.

Lopez, R. L.; Ramiriz, R. A.; Pena, M. A. V.; Cruz, I. L.; Cohen, I. S. Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de Riego em cultivos agrícolas. **Agricultura Técnica em México**. v. 35, n. 1, p. 91-111, 2009.

Machado, R. S. et al. Resposta biométrica e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

Martins, L. M.; Landell, M. G. A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agrônomo – IAC, 1995. 45 p.

Moore, P. H.; Maretzki, A. **SUGARCANE**. In: Zamski, E., Schaffer, A. A. (Eds.). *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 643-669.

Park, S. E.; Robertson, M.; Inman-Bamber, N. G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.

Pimentel, C. **A relação da planta com a água**. Rio de Janeiro: Seropédica, Edur, 2004. 191p.

Roy, D. P.; Wulder, M. A.; Loveland, T. R.; Woodcock, C. E. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**. v. 145, p. 154-172, 2014.