

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MODULAR MECANIZADO PARA AQUISIÇÃO E MAPEAMENTO REMOTO DE TEMPERATURAS DO DOSSEL DE CULTURAS ANUAIS¹

R. L. GOMIDE², R. A. L. BRITO², P. A. GOMIDE³, I. M. de P. BORATTO⁴

¹ Trabalho financiado pelo projeto de Pesquisa da Fapemig CAG-1400/05, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil.

² Eng. Agrônomo/ Eng. Agrícola, Ph.D. Eng. de Irrigação, Pesq. Sênior Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Fone (31) 3027-1328, gomide@cpms.embrapa.br.

³ Ciência de Computação, Programação, Bolsista Fapemig, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁴ Geógrafa, Geoprocessamento, Bolsista Fapemig, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG..

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia
22 a 25 de setembro de 2009 – Belo Horizonte - MG

RESUMO: O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema modular mecanizado para aquisição e mapeamento remoto de temperaturas do dossel de culturas anuais com transdutores digitais de temperatura a infravermelho (TDTIV). A pesquisa foi realizada com a montagem, calibração e teste de um módulo móvel para controle, aquisição, armazenamento e transferência dos valores digitais de temperaturas do dossel de culturas anuais, utilizando cinco TDTIV, que foram conectados a uma plataforma automática de aquisição de dados, acoplada no chassi de uma barra de um pulverizador (Jacto) e no sistema de engate de três pontos de um trator, para facilitar a varredura e o posicionamento de pontos de medidas de temperatura do dossel de culturas.

PALAVRAS-CHAVES: sensoriamento remoto, termometria a infravermelho, índice de estresse hídrico de culturas.

DEVELOPMENT OF A MECHANIZED MODULAR SYSTEM FOR ACQUISITION AND REMOTE MAPPING OF ANNUAL CROP CANOPY TEMPERATURE

ABSTRACT: The main objective of this work was the development of a mechanized modular system for acquisition and remote mapping of annual crop canopy temperature with infrared digital temperature transducers (TDTIV). The research was accomplished with the assembling, calibration and test of a mobile module for control, acquisition, storage, and transference of annual canopy temperature digital values, utilizing five TDTIV, which were connected to an automatic data acquisition platform, mounted to a Jacto sprayer bar chassis and to a three point coupling system of a tractor, in order to facilitate the scanning and positioning of the measured crops canopy temperature.

KEYWORDS: remote sensing, infrared thermometry, crop water stress index.

INTRODUÇÃO

A porção do infravermelho termal do espectro é útil para acessar e avaliar a condição de estado hídrico de culturas baseadas na correlação direta existente entre a temperatura das folhas (dossel) e o estresse hídrico. Quando uma cultura sem estresse hídrico (bem suprida de água) transpira, a água transportada devido ao processo de evaporação mantém a temperatura das folhas abaixo da temperatura do ar da atmosfera ao redor da folha (esfriamento). Quando a cultura começa a ficar estressada hidricamente, a sua taxa de transpiração reduz e, por

consequente, a temperatura de suas folhas aumenta. Outros fatores ambientais de clima (déficit de pressão de vapor do ar, saldo radiação, resistências aerodinâmica e do dossel da cultura, etc.), além das temperaturas das folhas de plantas e do ar, precisam ser considerados para uma boa medida e caracterização dos níveis de estresse hídrico da cultura (JACKSON, 1982.; CLARKE, 1997; SADLER et al., 2002). A diferença entre as temperaturas das folhas do dossel de uma cultura (T_c) e do ar (T_a) logo acima do dossel (1,5 m) tem sido usada como método para detectar estresse hídrico em plantas (JACKSON et al., 1982). O registro de T_c tem sido obtido com sensores remotos, utilizando a técnica de termometria a infravermelho. Mais recentemente, métodos para integrar índices de vegetação espectral com temperatura tem sido estudados para estimativas de evapotranspiração de culturas (ET_c) remotamente (CARLSON et al., 1995; MORAN et al., 1994). Para facilitar conduções de investigações neste tema de pesquisa, este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema modular mecanizado de aquisição e mapeamento remoto de temperaturas do dossel de culturas anuais com transdutores digitais de temperatura a infravermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

Trabalhou-se com cinco transdutores digitais de temperatura a infravermelho (TDTIV) de precisão, fabricados pela “Apogee Instruments”, modelo IRTS-P5, operando a baixas temperaturas (-10° a 55° C), que é o recomendado para o caso de vegetação, para medição de temperaturas do dossel de culturas anuais. Cada um dos TDTIV pesa um pouco menos de 100 g e mede 6,3 cm de comprimento por 2,3 cm de diâmetro (formato de um cilindro), e fornece um tempo de resposta de mudança de temperatura do alvo menor que 1 s. O elemento sensor deste transdutor é composto por dois pares de termopar, do tipo K, um para registrar remotamente (à distância, não requerendo um contato físico direto com a superfície do alvo ou objeto de medida, capturando a radiação infravermelha do espectro eletromagnético) a temperatura do alvo ou das folhas (parte superior do dossel) da cultura (T_{dc}) e outro para medir a temperatura do corpo do sensor (T_{cs}), que é usada para fazer a correção da T_{dc} (Figura 1). Este sensor oferece uma acurácia de $\pm 0,3^\circ$ C para a faixa de temperatura de -10° a 55° C. O sistema ótico destes TDTIV é formado por lente de silicone, que cobre a faixa termal de comprimento de ondas (6 a 14 μ m) e fornece um campo de visada (“Field of View = FOV) de 3:1, isto é, a uma distância de 3 m do alvo o FOV do sensor (90°) é um círculo de 1 m de diâmetro. A emissividade das culturas anuais (ϵ) é geralmente ajustada para 0,98 nos TDTIV. Realizou-se a montagem, calibração e teste do módulo mecanizado de controle, aquisição, armazenamento e transferência dos valores digitais de temperaturas do dossel de culturas anuais, com cinco TDTIV, que foram conectados a uma plataforma automática de aquisição de dados (“datalogger” da Campbell Scientific, modelo CR23X) e acoplados no chassi de uma barra de um pulverizador (Jacto) e no sistema de engate de três pontos de um trator, para facilitar a varredura e o posicionamento de pontos de medidas de temperatura do dossel de culturas anuais em parcelas experimentais (Figura 2).

Um sistema diferencial de posicionamento global (DGPS) da Trimble, modelo AG 114, de precisão submétrica, foi acoplado ao chassi da barra de pulverizador do módulo mecanizado de medida de temperaturas do dossel de culturas, para georreferenciar os pontos de tomada dessas temperaturas, de tal modo a possibilitar que esses dados sejam integrados a um sistema de informação geográfica (GIS), para análise e processamento de variabilidade espaço-temporal (Figura 2).

Para medir a temperatura do ar (T_a em $^\circ$ C) e a umidade relativa do ar (UR em %) foi instalado na parte central do chassi da jacto, dentro de abrigo meteorológico, para evitar a incidência direta de radiação solar durante o dia, um sensor com uma única sonda, fabricado pela Vaisala (sensores constituído por termômetro de resistência de platina-TRP, 1000 Ω , encapsulado em cerâmica), a 1,0 m de altura acima do dossel da cultura. Os valores de saldo

radiação devem ser estimados a partir da radiação solar global local ou tomados de estação climática automática.



Figura 1. Transdutor digital de temperatura a infravermelho (TDTIV) (“Apogee Instruments”, IRTS-P5), com elemento sensor composto de dois pares de termopar, tipo K, utilizado para registrar remotamente as temperaturas da parte superior do dossel de culturas anuais (T_{dc}) e do corpo do sensor (T_{cs}).



Figura 2. Sistema modular mecanizado de aquisição de temperaturas do dossel de culturas anuais, constituído de transdutores digitais de temperatura a infravermelho (TDTIV), uma plataforma automática de aquisição de dados (Campbell Scientific, CR23X), um sistema diferencial de posicionamento global (DGPS, Trimble, AG 114) e um chassi de uma barra de um pulverizador (Jacto), acoplados ao engate de três pontos de um trator (Fotos Reinaldo Gomide, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2009).

Desenvolveu-se um programa com as instruções do EDLOG do PC208W, versão 3.3, usado para programação dos “dataloggers” da Campbell Scientific, para realizar a aquisição automática dos sinais digitais de saída de cada termopar dos sensores IRTS-P5 usados (controle, “scaneamento”, registro, armazenamento e transferência de dados) e obter a temperatura do corpo do sensor (T_{cs}) e a temperatura aparente (não corrigida) do alvo ou das folhas (parte superior do dossel) da cultura (T_{dc_ap}). A obtenção da temperatura de cada

termopar exigiu a medida de temperatura do painel do CR23X, que foi utilizada como referência. A temperatura Tcs foi usada no cálculo dos coeficientes de correção, que então foram empregados na correção da temperatura das folhas (Tdc_corr). No desenvolvimento do programa, as seguintes equações foram usadas (BUGBEE et al., 1998):

$$SEC = (0,25/ P_{CS}) [(Tdc_ap - H_{CS})^2 - K_{CS}] \quad (1)$$

$$P_{CS} = 49,9092 + 0,59237 T_{CS} + 0,00558 T_{CS}^2 \quad (2)$$

$$H_{CS} = 4,2828 + 0,4248 T_{CS} - 0,00077 T_{CS}^2 \quad (3)$$

$$K_{CS} = 52,0705 - 5,3816 T_{CS} + 0,387 T_{CS}^2 \quad (4)$$

$$Tdc_corr = Tdc_ap - SEC \quad (5)$$

em que, SEC é o fator de correção de erros dos sensores, Tcs é a temperatura do corpo do sensor, Tdc_ap é a temperatura aparente das folhas da cultura, Pcs, Hcs e Kcs são os coeficientes de correção calculados com base nas respectivas equações polinomiais e Tcs, Tdc_corr é a temperatura corrigida das folhas da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma equação relacionando a diferença $T_c - T_a$ com o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), o saldo de radiação, a resistência dos dosséis das culturas e a resistência aerodinâmica a partir do balanço de energia de culturas anuais, deve ser usada neste tipo de estudo (JACKSON et al., 1982):

$$T_c - T_a = [r_a(R_n - G) / \rho c_p] \cdot \{ \gamma(1 + r_c / r_a) / [\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)] \} - \{ (e_a^* - e_a) / [\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)] \} \quad (6)$$

em que, T_a = temperatura do ar ($^{\circ}C$); T_c = temperatura do dossel da cultura ($^{\circ}C$); R_n = saldo de radiação para a superfície ($W.m^{-2}$); G = fluxo de calor no solo ($W.m^{-2}$); r_c = resistência do dossel da cultura ($s.m^{-1}$); r_a = resistência aerodinâmica ($s.m^{-1}$); ρ = densidade do ar seco ($kg.m^{-3}$); c_p = calor específico do ar seco ($J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($kPa.^{\circ}C^{-1}$); Δ = declividade da relação pressão de saturação de vapor "versus" temperatura; e_a = pressão parcial de vapor (kPa); e_a^* = pressão de saturação do vapor a T_a (kPa). Os valores de índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) devem ser calculados com base na seguinte equação (IDSO, 1982; JACKSON, 1982):

$$IEHC = 1 - ETr / ETp = (dT - dT_i) / (dT_s - dT_i) \quad (7)$$

em que, ETr e ETp são evapotranspiração real e potencial da cultura, respectivamente, dT é a diferença $T_c - T_a$ real ou atual, dT_i e dT_s são os limites inferior e superior de $T_c - T_a$, respectivamente, obtidos por meio de equações ajustadas para as linhas básicas não estressada e estressada, respectivamente, com os valores medidos de $DPV = (e_a^* - e_a)$ e $T_c - T_a$. Os valores de DPV, T_c e T_a devem ser medidas com as estações de razão de Bowen e os transdutores de termometria a infravermelho, que deverão ser instaladas no centro da área plantada com a cultura anual.

A banda infravermelha termal do espectro eletromagnético é usada para acessar e avaliar a ETc ou produtividade de água da cultura, com base na correlação direta existente entre a temperatura das folhas (dossel) e a ETc, fazendo uso dos TDTIV's. A temperatura do ar (T_a) deve ser medida a poucos metros acima do dossel da cultura (1 a 1,5 m). Outros fatores ambientais de clima (déficit de pressão de vapor do ar, saldo radiação, resistências aerodinâmica e do dossel das culturas, etc.) devem ser utilizados na determinação da ETc (JACKSON, 1982; SADLER et al., 2002).

O programa desenvolvido para realizar a aquisição automática dos sinais digitais de saída de cada termopar dos sensores IRTS-P5 realiza a varredura de cada sensor IRTS-P5 e armazena os dados medidos de “Tdc_corr” a cada segundo. Este intervalo de tempo de coleta e armazenamento de dados pode ser facilmente alterado de acordo com a finalidade de uso dos dados.

O sistema modular mecanizado de aquisição de temperaturas do dossel da cultura (T_c 's) necessita agora ser testado e calibrado para diferentes culturas anuais, tais como milho, soja, feijão, etc., com o objetivo de aplicação deste módulo na espacialização de índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) em áreas de produção para integrar os dados de T_c 's e IEHC, a sistema de informação geográfica (SIG), visando a geração de mapas temáticos destas áreas.

CONCLUSÕES

O sistema modular mecanizado de aquisição de temperaturas do dossel de culturas anuais, utilizando os transdutores digitais de temperatura a infravermelho, para medir as temperaturas do dossel da cultura (T_c 's), o sensor com uma única sonda (Vaisala), para medir a temperatura do ar (T_a °C) e umidade relativa do ar (UR %), a plataforma automática de aquisição de dados (Campbell Scientific, CR23X), o sistema diferencial de posicionamento global (DGPS, Trimble, AG 114) e o chassi de uma barra de um pulverizador (Jacto), acoplados ao engate de três pontos de um trator, necessita ser testado e calibrado para outras culturas, com o objetivo de aplicação deste sistema na espacialização de índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) em áreas de produção e também de integrar estes dados a um sistema de informação geográfica (SIG) para geração de mapas temáticos. Este sistema pode contribuir para o desenvolvimento local e regional das áreas produtoras de grãos, possibilitando a identificação e quantificação da variabilidade, tanto espacial quanto temporal, do estresse hídrico de áreas cultivadas com diferentes culturas, com o mapeamento das áreas com maior potencial produtivo, nas quais pode valer a pena um maior investimento em insumos para maximização da produtividade, principalmente as interações de insumos agrícolas (nutrientes) com a água.

REFERÊNCIAS

- BUGBEE B., M. Droter, O. Monje, and B. Tanner, 1998: Evaluation and modification of commercial infra-red transducers for leaf temperature measurement. *Adv. Space Res.*, **22**, 1425–1434.
- CLARKE, T.R. An empirical approach for detecting crop water stress using multispectral airborne sensors. *Hort. Technology* 7(1):9-16, 1997.
- CARLSON, T.N., W.J. CAPEHART; R.R. GILLIES. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sens. Environ.* 54:161-167, 1995.
- IDSO, S.B. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* 27:59-70, 1982.
- JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. In: HILLEL, D. *Advance in irrigation*. New York, Academic Press, v. 1, p.43-85, 1982.
- MORAN, S.M., T.R. CLARKE, Y. INOUE; A. VIDAL. Estimating crop water deficit using the relationship between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 49:246-263, 1994.
- SADLER, E.J.; CAMP, C.R.; EVANS, D.E.; MILLEN, J.A.. Corn canopy temperature measured with a moving infrared thermometer array. *ASAE. Transaction of the ASAE* 45(3): 581-591. 2002.