

Variação na qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar em decorrência da suspensão da irrigação antes da colheita e da ocorrência de baixas temperaturas

Variation in the sugar yield in response to drying-off of sugarcane before harvest and the occurrence of low air temperatures

Renato Araújo, José Alves Junior*, Derblai Casaroli, Adão Wagner Pêgo Evangelista

Universidade Federal de Goiás - Escola de Agronomia - Departamento de Engenharia de Biosistemas - Goiânia (GO), Brasil.

RESUMO: A necessidade de irrigar a cana-de-açúcar no Cerrado deve-se à escassez de chuvas durante o período de abril a setembro. Para o acúmulo eficiente de açúcar, a cultura necessita de estresse hídrico ou térmico na fase da maturação. Porém, quando o déficit hídrico é intenso nessa fase, ocorre a redução na produção da cultura. Assim, o objetivo do presente trabalho foi: (i) avaliar a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar em diferentes épocas de interrupção da irrigação antes da colheita; (ii) avaliar a influência do estresse térmico sobre a cultura. O experimento foi conduzido em Santo Antônio de Goiás (GO), Brasil, em Latossolo Vermelho-Amarelo, com a variedade CTC4 no ciclo de cana-planta. Utilizou-se o delineamento de parcelas subdivididas no tempo. Os tratamentos das parcelas foram cinco épocas de interrupção da irrigação (90, 60, 30, 15 e 0 dias antes da colheita) e, nas subparcelas, cinco épocas de avaliação da produção. A irrigação foi feita por gotejamento superficial, com déficit de 50%. Os melhores resultados da qualidade da matéria-prima ocorreram aos 30 dias antes da colheita, período em que a irrigação poderia ser interrompida. O déficit hídrico de 37,76 mm parece ser o limite crítico da falta de água no solo, a partir do qual a produtividade de colmos começa a ser reduzida. A concentração de açúcar no colmo foi mais influenciada pelas baixas temperaturas do ar que a produtividade de colmos.

Palavras-chave: déficit hídrico, manejo, cerrado, estresse térmico.

ABSTRACT: The need to irrigate sugarcane in the Brazilian Savanna is due to the lack of rain from April to September. For efficient sugar accumulation, the crop needs water stress or heat stress at the maturation stage. However, when the water deficit is intense at this stage, it occurs the reduction in crop production. The objective of this study was: (i) to assess the quality of the raw material of sugarcane in different drying-off seasons before harvest; (ii) to evaluate the influence of heat stress on the culture. The experiment was conducted in Santo Antônio de Goiás (GO), Brazil, in Oxisol, with CTC4 variety in cane-plant cycle. A randomized block design in a split-plot array in time was used. The treatments of the plots were five drying-off times (90, 60, 30, 15 and 0 days before harvest) and, in the subplots, five seasons of the yield evaluation. Irrigation was carried out by surface drip method, which provided 50% of crop water requirement. The best results for sugar yield occurred 30 days before harvest, period in which the crop irrigation could be interrupted. The water deficit of 37.76 mm appears to be the critical limit of water shortage in the soil, from which the sugarcane yield starts to be reduced. The sugar concentration in the stalk was more influenced by low air temperatures than sugarcane yield.

Key words: water stress, irrigation management, Brazilian savanna, thermal stress.

*Autor correspondente: josealvesufg@yahoo.com.br

Recebido: 26 Abr. 2015 – Aceito: 27 Jul. 2015

INTRODUÇÃO

De acordo com Carr e Knox (2011), na produção da cana-de-açúcar irrigada, o fornecimento de água é interrompido antes da colheita para deixar o solo menos úmido e para aumentar a concentração de sacarose no colmo. Teores de água no solo acima da umidade de friabilidade podem ocasionar sua compactação excessiva, uma vez que a colheita da cultura já é totalmente mecanizada em muitas regiões.

O estresse hídrico na fase de maturação potencializa a produção de sacarose (Inman-Bamber e Smith 2005), pois limita seu crescimento vegetativo. Entretanto, além do estresse hídrico, as baixas temperaturas do ar (estresse térmico) e doses reduzidas de nitrogênio também limitam o crescimento da cana-de-açúcar (Ludlow et al. 1992). Nessas condições, ocorre o acúmulo de açúcar no colmo, devido ao seu menor consumo pela planta (Cardozo e Sentelhas 2013). Segundo Robertson e Donaldson (1998), a restrição hídrica pode ocorrer aumentando-se o intervalo entre as irrigações ou interrompendo-as completamente algum tempo antes da colheita.

A intensidade do déficit hídrico induzido na fase da maturação deve ser corretamente mensurada. Quando o conteúdo de água disponível no solo reduz para níveis inferiores a 50%, o crescimento e a produtividade de colmos são reduzidos (Inman-Bamber e Smith 2005). Em estresse hídrico severo, a síntese de açúcar diminui, assim como a biomassa dos colmos (devido à desidratação destes). De acordo com Robertson e Donaldson (1998), a produtividade de sacarose com a planta em estresse hídrico ocorre para níveis de desidratação do colmo de até 10%. De acordo com Scarpari e Beauclair (2009) bem como Cardozo e Sentelhas (2013), ainda não é conhecido o nível ótimo de água disponível no solo na fase da maturação. Esse valor ótimo seria aquele que preserva a biomassa já produzida, favorece a concentração de açúcar na planta e permite que o processo de síntese de sacarose continue ocorrendo.

As baixas temperaturas do ar favorecem a concentração da sacarose porque reduzem o crescimento da planta, já que seu metabolismo diminui (Wilson 1975). Dessa forma, ocorre um saldo positivo entre o carbono fixado e consumido, resultando em seu maior armazenamento. Para Yates (1972), as baixas temperaturas do ar influenciam mais a paralisação do crescimento da cana-de-açúcar que o estresse hídrico. Entretanto, segundo Cardozo e Sentelhas (2013), não há consenso entre os parâmetros térmicos da cultura e, nas áreas tropicais, as baixas temperaturas do ar podem não ser suficientes para afetar a maturação.

Conhecer a influência de diversos níveis de disponibilidade hídrica no solo e os efeitos das baixas temperaturas do ar poderá direcionar as técnicas de manejo. Esse conhecimento também será útil em estudos de zoneamento agroclimatológico e na redução do uso de maturadores. Assim, este estudo teve como objetivo: (i) avaliar a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar em diferentes épocas de interrupção da irrigação antes da colheita; e (ii) avaliar a influência do estresse térmico sobre a cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Santo Antônio de Goiás (GO) (16°28'50"S; 49°21'07"W; 760 m de altitude), em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (27% de argila, 13% de silte e 60% de areia). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Aw, com médias anuais de temperatura, umidade relativa (UR%) e precipitação pluviométrica iguais a 22,5 °C, 71% e 1.460 mm, respectivamente (Kliemann et al. 2006).

O solo da área experimental foi preparado com aração e gradagem. Na correção da fertilidade, aplicaram-se 2,0 t·ha⁻¹ de gesso agrícola e 4,0 t·ha⁻¹ de calcário para elevar a saturação por bases para 70%. No plantio, foram aplicados 120 kg·ha⁻¹ de P₂O₅. Em cobertura, aplicaram-se 380 kg·ha⁻¹ do formulado 18-00-27, aos 100 dias após o plantio (DAP). O controle de plantas daninhas foi feito após o plantio com a aplicação de 2,0 kg·ha⁻¹ de hexazinona e diurom e 0,09 kg·ha⁻¹ de isoxaflutole. Ainda, aos 100 DAP, foram aplicados 1,6 L·ha⁻¹ de tebutiuron e 0,09 kg·ha⁻¹ de isoxaflutole no momento da realização do “quebra-lombo”. O plantio foi realizado em abril de 2013 e a colheita, em setembro de 2014. A variedade plantada foi a CTC4, de ciclo médio-tardio. O estudo foi realizado em ciclo de cana-planta.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento superficial, com um tubo gotejador por linha de plantio. Os dados climáticos foram coletados em uma estação meteorológica instalada a 400 m da área experimental. A evapotranspiração de referência (ET₀) foi estimada pelo método de Hargreaves e Samani, conforme Allen et al. (1998). Foi escolhido esse método uma vez que a estação coletava apenas os dados de temperatura, UR% e precipitação pluviométrica. O coeficiente de cultura (Kc) utilizado foi de 0,75 para a fase de maturação (Doorenbos e Kassan 1979). Utilizou-se o coeficiente de irrigação localizada de

0,574, calculado com o percentual de área molhada de 33%, segundo Keller e Bliesner (1990). Foi utilizado o manejo de irrigação com déficit, com fornecimento de 50% da demanda evapotranspirométrica da cultura. Toda a área experimental começou a ser irrigada 30 dias antes do início da coleta de dados, antes do fim das chuvas.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, com parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram de cinco épocas de interrupção da irrigação (90, 60, 30, 15 e 0 dias de interrupção da irrigação antes da colheita — DII) e cinco épocas de avaliação (90, 60, 30, 15 e 0 dias antes da colheita — DAC: 13/06/2014, 13/07/2014, 12/08/2014, 27/08/2014 e 11/09/2014, respectivamente). Nas parcelas, foram alocadas as épocas de interrupção da irrigação antes da colheita (DII) e, nas subparcelas, as épocas das avaliações antes da colheita (DAC).

Cada parcela foi constituída por dez linhas de plantio, com comprimento de 8,0 m, espaçadas em 1,5 m. Cada subparcela foi constituída por uma linha de 2,5 m de comprimento. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, aos 90, 60, 30, 15 e 0 DAC, com amostragem do solo em camadas com espessura de 0,15 m até a profundidade de 0,9 m.

Com os dados de umidade do solo de cada tratamento de interrupção da irrigação, foram calculadas as respectivas disponibilidades hídricas. Para o presente estudo, a umidade na capacidade de campo foi de $0,22 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ e a umidade no ponto de murcha permanente, de $0,11 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Arruda et al. 1987). A profundidade efetiva do sistema radicular foi de 0,75 m, onde se encontravam 80% da massa total de raízes (a amostragem ocorreu até a profundidade de 2,0 m, na qual foram encontradas raízes). O fator crítico de disponibilidade de água no solo foi obtido de acordo com a evapotranspiração de referência diária (Doorenbos e Kassan 1979). A produtividade de colmos foi estimada com a colheita de dez colmos seguidos por suparcela, com os quais realizou-se a análise tecnológica completa. Nessa análise, foram determinados: (i) sólidos solúveis totais (°BRIX); (ii) teor de sacarose (POL, %); (iii) pureza aparente da cana-de-açúcar (%); (iv) fibra (%); (v) umidade do colmo (%); e (vi) açúcar total recuperável (ATR).

De acordo com Scarpari e Beauclair (2004), o método dos graus-dias negativos (GDN) é utilizado para relacionar a temperatura do ar à maturação da cana-de-açúcar. Os GDN compreendem o acúmulo da temperatura que está abaixo da temperatura basal da cultura, calculados por meio da Equação 1. Com o somatório dos resultados diários, geraram-se os GDN acumulados (GDNA).

$$\text{Para } T_b < T_m \rightarrow \text{GND} = \frac{(T_b - T_m)^2}{2(T_M - T_m)}$$

$$\text{Para } T_b < T_m \rightarrow \text{GND} = 0$$

onde:

T_M é a temperatura do ar diária máxima (°C); T_m é a temperatura do ar diária mínima (°C); T_b é a temperatura basal da cultura na qual seu desenvolvimento é paralizado (°C).

Com base no valor de $T_b = 18 \text{ °C}$ recomendado por Teruel et al. (1997) para as condições de São Paulo, utilizou-se neste estudo o valor de 20 °C para as condições de Cerrado.

A margem de contribuição agrícola (MCA) foi calculada segundo Fernandes (2000). Os dados foram submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Também foram realizadas correlações entre a disponibilidade hídrica de cada tratamento de interrupção da irrigação (DII) e a soma térmica negativa acumulada com os parâmetros de qualidade da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a condução do experimento, a precipitação total foi de 19,6 mm (Figura 1a). A temperatura média do ar manteve-se próxima à temperatura basal da cultura (Figura 1b), e a temperatura máxima do ar esteve ao redor de 30 °C (Figura 1c). Durante os três meses de condução do experimento, foram acumulados 198,0 GDN (Figura 1d).

Não houve diferença significativa para a tonelada de colmos por hectare (TCH) entre os tratamentos de interrupção da irrigação e entre as épocas de avaliação (Tabela 1). Entre as épocas de avaliação, houve tendência de redução da produtividade, enquanto que, entre os tratamentos de interrupção da irrigação, a tendência foi de aumento da produtividade com a manutenção da irrigação. De acordo com Inman-Bamber e Smith (2005), a fase de desenvolvimento da cultura é a mais sensível à falta de água no solo. Para esses autores, a fase de desenvolvimento compreende desde o perfilhamento inicial até o completo crescimento antes da fase de maturação. Os resultados aqui encontrados demonstram que a continuidade da irrigação no período da maturação pode não ser vantajosa em função da baixa resposta obtida. Porém, Vieira et al. (2013) obtiveram redução na

produtividade de colmos de 21,5%, em tratamento de 51 dias sem irrigação (em solo com 83% de areia).

Para o tratamento de 90 dias de interrupção da irrigação antes da colheita, a redução na disponibilidade hídrica diminuiu a TCH ($R^2 = 0,910^{**}$) (Tabelas 2,3). Já para o tratamento 0 DII, a menor redução na disponibilidade hídrica provocou aumento na TCH ($R^2 = -0,714^{**}$). Segundo Inman-Bamber (2004), o acúmulo de biomassa na cana-de-açúcar só é significativamente reduzido quando o déficit hídrico anual é superior a 120 mm. O déficit hídrico máximo no presente estudo foi de apenas 41,88 mm, não sendo suficiente para diferenciar significativamente os tratamentos. Entretanto, observa-se que, para o tratamento de 30 DII, a redução na disponibilidade de água não reduziu a TCH. Portanto, o valor de 37,76 mm parece ser o limite de déficit crítico. A partir desse limite, a produtividade de colmos será reduzida gradativamente até os 120 mm de déficit, momento em que as perdas serão significativas.

De acordo com Ludlow et al. (1992), com temperatura do ar abaixo de 25 °C, a taxa de alongação do colmo começa a ser reduzida, uma vez que a temperatura ótima para o

crescimento da cultura está entre 28 e 30 °C (Carr e Knox 2011). Registrou-se a temperatura média, durante todo o experimento, de 20,02 °C (Figuras 1b,c), suficiente para iniciar a redução do crescimento da cana-de-açúcar. Assim, o GDNA pode ter minimizado o metabolismo das plantas de todos os tratamentos de interrupção da irrigação.

Nos tratamentos de 90 e 60 DII, as baixas temperaturas do ar intensificaram os efeitos do déficit hídrico, inibindo o aumento da TCH. Já quando houve água suficiente (tratamentos 30, 15 e 0 DII), o aumento no GDNA não atuou aumentando a TCH, mas ajudando a conservar a biomassa já produzida. Isso porque, na ocorrência de temperaturas do ar baixas, as taxas respiratórias são menores, o que reduz o metabolismo das plantas (Cardozo e Sentelhas 2013), com a consequente perda de água.

O ATR diferiu significativamente entre as épocas de avaliação (Tabela 1). Aos 90 DAC, o ATR apresentou seu menor valor. As maiores produtividades de açúcar por tonelada foram observadas para as avaliações aos 30, 15 e 0 DAC, as quais não diferiram estatisticamente entre si. Da primeira para a última época de

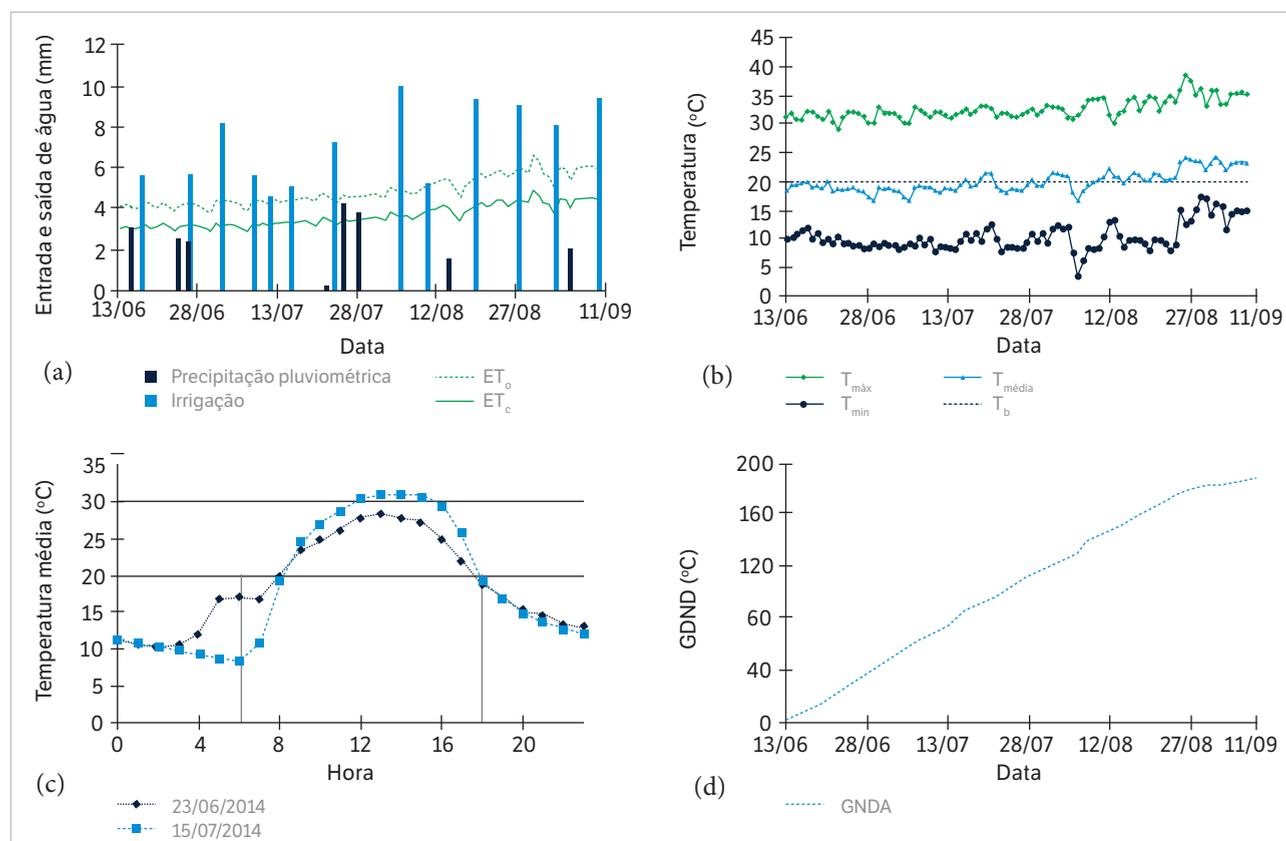


Figura 1. (a) Precipitação pluviométrica, evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração da cultura (ET_c) e irrigação para o período de junho a setembro de 2014; (b) Temperatura máxima, mínima e média do ar e temperatura basal (T_b) da cultura da cana-de-açúcar (°C); (c) Temperatura média diária observada para os dias 23/06/2014 e 15/07/2014, com indicação das temperaturas de 20 e 30 °C e dos horários das 6 e 18 h; (d) Graus-dias negativos acumulados (GDNA) durante os 90 dias de condução do experimento, em Santo Antônio de Goiás (GO).

avaliação, houve acréscimo de 19,74% na quantidade de açúcar (30,35 kg.t⁻¹). Esse valor foi superior ao encontrado por Robertson e Donaldson (1998), que relatam máximo incremento de 15%. Possivelmente, a riqueza em açúcar das novas variedades explica essa diferença, já que as variedades do estudo de Robertson e Donaldson (1998) não são mais cultivadas no Brasil.

O ATR se correlacionou negativamente com a disponibilidade hídrica de cada tratamento de interrupção da irrigação e positivamente com a soma térmica negativa (Tabela 2), corroborando Ludlow et al. (1992). Mesmo sob estresse hídrico, a planta continua sintetizando açúcar. A fotossíntese só é afetada para déficits hídricos anuais acima de 145 mm (Inman-Bamber 2004).

Para o Estado de São Paulo, Delgado-Rojas e Barbieri (1999) observaram que a irrigação na fase de maturação não resultou em acréscimo na produtividade de colmos e

açúcar na cana. Esses autores atribuíram esses resultados à menor sensibilidade da cana-de-açúcar ao déficit hídrico no período da maturação. Mesmo se tratando de diferentes regiões, o resultado desses autores também corrobora os encontrados no presente estudo.

Vieira et al. (2013) não encontraram diferença significativa para o ATR entre tratamentos de interrupção da irrigação antes da colheita. O déficit hídrico, com interrupção máxima de 51 dias, se mostrou inverso ao aumento do ATR. No tratamento em que não houve interrupção da irrigação, os autores obtiveram o maior valor de ATR, demonstrando que outro fator pode ter influenciado o acúmulo de açúcar. Entretanto, os autores não analisaram a influência da temperatura nos resultados obtidos.

Não houve diferença significativa para a umidade do colmo entre os tratamentos de interrupção da irrigação; →

Tabela 1. Análise de variância e teste de Tukey (5% de probabilidade de erro) para as variáveis tonelada de colmos por hectare, açúcar total recuperável, umidade do colmo e margem de contribuição agrícola dos diferentes tratamentos de interrupção da irrigação antes da colheita e em cinco épocas de avaliação para a variedade de cana-de-açúcar CTC4 em Santo Antônio de Goiás (GO).

TCH (t·ha ⁻¹)				ATR (kg·t ⁻¹)			
Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾	Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾	Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾	Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾
90	170,68 a	90	168,44 a	90	153,70 c	90	173,75 a
60	171,23 a	60	170,15 a	60	164,59 b	60	174,57 a
30	173,19 a	30	170,30 a	30	184,08 a	30	173,55 a
15	169,98 a	15	172,00 a	15	182,71 a	15	173,59 a
0	167,74 a	0	171,92 a	0	184,05 a	0	173,67 a
CV% ⁽¹⁾	4,87	DMS ⁽¹⁾	17,99	CV% ⁽¹⁾	2,39	DMS ⁽¹⁾	3,61
CV% ⁽²⁾	6,27	DMS ⁽²⁾	18,81	CV% ⁽²⁾	2,65	DMS ⁽²⁾	3,63
1	NS	2	NS	1	**	2	NS
1 × 2		NS		1 × 2		NS	

Umidade do colmo (%)				MCA (R\$·ha ⁻¹)			
Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾	Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾	Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾	Época de avaliação — dias antes da colheita ⁽¹⁾	Dias de interrupção da irrigação ⁽²⁾
90	70,95 a	90	68,39 a	90	7.131,96 c	90	8.442,78 a
60	68,38 b	60	68,31 a	60	7.945,75 b	60	8.603,72 a
30	67,82 c	30	68,55 a	30	9.488,67 a	30	8.543,87 a
15	67,64 c	15	68,47 a	15	9.184,03 a	15	8.640,60 a
0	67,37 c	0	68,43 a	0	9.130,83 a	0	8.650,27 a
CV% ⁽¹⁾	0,88	DMS ⁽¹⁾	0,52	CV% ⁽¹⁾	6,95	DMS ⁽¹⁾	517,06
CV% ⁽²⁾	1,01	DMS ⁽²⁾	0,54	CV% ⁽²⁾	8,42	DMS ⁽²⁾	570,48
1	**	2	NS	1	**	2	NS
1 × 2		NS		1 × 2		NS	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. ** Teste F com 1% de significância. ⁽¹⁾Os tratamentos consistiram de cinco épocas de avaliação (90, 60, 30, 15 e 0 dias antes da colheita, DAC — 13/06/2014, 13/07/2014, 12/08/2014, 27/08/2014 e 11/09/2014, respectivamente); ⁽²⁾Cinco épocas de interrupção da irrigação (90, 60, 30, 15 e 0 dias de interrupção da irrigação antes da colheita, DII. Nas parcelas, foram alocados os DII e, nas subparcelas, os DAC. TCH = Tonelada de colmos por hectare; ATR = Açúcar total recuperável; MCA = Margem de contribuição agrícola; CV = Coeficiente de variação; DMS = Diferença mínima significativa; NS = Teste F não significativo.

entretanto, houve diferença ao longo das épocas de avaliação (Tabela 1, Figura 2d). A umidade variou ao longo dos 90 dias que antecederam a colheita — de 70,97% aos 90 DAC para 68,38% aos 60 DAC — e se manteve na média de 67,5% a partir dos 30 DAC.

O déficit hídrico foi verificado em todos os tratamentos a partir dos 30 DAC (Tabela 3, Figura 3) e, à medida que ocorreu e se intensificou, a umidade do colmo deixou de se reduzir (Figura 2d). Em condições favoráveis de disponibilidade hídrica, a transpiração da cana-de-açúcar ocorre normalmente. Porém, como o fornecimento de água supriu apenas 50% da demanda evapotranspirométrica total, a evolução do déficit hídrico resultou em redução da transpiração, mantendo a

umidade do colmo com valores próximos aos do início do déficit (30 DAC). Na cana-de-açúcar, a perda de água para a atmosfera e a desidratação excessiva são reguladas pela cultura com o fechamento estomático. Esse é o primeiro mecanismo de defesa acionado pela planta para se adaptar à indisponibilidade de água no solo (Machado et al. 2009).

Houve correlação positiva entre umidade do colmo e disponibilidade hídrica (Tabela 2). Entretanto, a baixa perda de água no colmo (3,58% ao longo de 90 dias) pode ser explicada pelos GDNA; estes se correlacionaram negativamente com a umidade do colmo. Em condição de baixa temperatura, a cultura reduziu seu metabolismo, o que reduziu sua transpiração e culminou em menor perda de água (Figuras 1d, 2d).

Tabela 2. Coeficientes de correlação simples de tonelada de colmos por hectare, açúcar total recuperável, umidade do colmo e margem de contribuição agrícola com a disponibilidade hídrica para os respectivos tratamentos (dias de interrupção da irrigação antes da colheita) e os graus-dias negativos acumulados para a variedade de cana-de-açúcar CTC4 em Santo Antônio de Goiás (GO).

TCH (t·ha ⁻¹)					
Correlações simples	R ²	S	Correlações simples	R ²	S
DH90 × TCH90	0,910	**	GDNA × TCH90	-0,933	**
DH60 × TCH60	0,651	**	GDNA × TCH60	-0,547	**
DH30 × TCH30	-0,065	NS	GDNA × TCH30	0,153	NS
DH15 × TCH15	-0,462	**	GDNA × TCH15	0,457	**
DH0 × TCH0	-0,714	**	GDNA × TCH0	0,656	**
ATR (kg·t ⁻¹)					
Correlações simples	R ²	S	Correlações simples	R ²	S
DH90 × ATR90	-0,988	**	GDNA × ATR90	0,987	**
DH60 × ATR60	-0,979	**	GDNA × ATR60	0,986	**
DH30 × ATR30	-0,972	**	GDNA × ATR30	0,982	**
DH15 × ATR15	-0,961	**	GDNA × ATR15	0,991	**
DH0 × ATR0	-0,995	**	GDNA × ATR0	0,994	**
Umidade do colmo (%)					
Correlações simples	R ²	S	Correlações simples	R ²	S
DH90 × Umidade% Cana90	0,987	**	GDNA × Umidade% Cana90	-0,975	**
DH60 × Umidade% Cana60	0,910	**	GDNA × Umidade% Cana60	-0,951	**
DH30 × Umidade% Cana30	0,902	**	GDNA × Umidade% Cana30	-0,963	**
DH15 × Umidade% Cana15	0,918	**	GDNA × Umidade% Cana15	-0,968	**
DH0 × Umidade% Cana0	0,921	**	GDNA × Umidade% Cana0	-0,925	**
MCA (R\$·ha ⁻¹)					
Correlações simples	R ²	S	Correlações simples	R ²	S
DH90 × MCA90	-0,981	**	GDNA × MCA90	0,977	**
DH60 × MCA60	-0,949	**	GDNA × MCA60	0,963	**
DH30 × MCA30	-0,940	**	GDNA × MCA30	0,961	**
DH15 × MCA15	-0,950	**	GDNA × MCA15	0,980	**
DH0 × MCA0	-0,994	**	GDNA × MCA0	0,985	**

**Significativo a 1% de probabilidade de erro. TCH = Tonelada de colmos por hectare; ATR = Açúcar total recuperável; MCA = Margem de contribuição agrícola; GDNA = Graus-dias negativos acumulados; DH = Disponibilidade hídrica; R² = Coeficiente de correlação; S = Significância da correlação; NS = Não significativo.

Não houve diferença significativa para a MCA entre os tratamentos de interrupção da irrigação; entretanto, houve diferença entre as épocas de avaliação (Tabela 1, Figura 2e). Entre as épocas de avaliação, houve variação na MCA de 7.131,96 R\$.ha⁻¹ aos 90 DAC para 7.945,75 R\$.ha⁻¹ aos

60 DAC, a qual se manteve na média de 9.200,00 R\$.ha⁻¹ a partir dos 30 DAC. Como a partir dos 30 DAC não se verificou diferença significativa, sugere-se que a irrigação poderia ser interrompida nesse momento, evitando-se gasto com o bombeamento para irrigação e outros custos relacionados. Vieira et al. (2013) →

Tabela 3. Armazenamento de água no solo por camada de 0,15 m de profundidade e para a profundidade efetiva do sistema radicular (0,75 m) de diferentes tratamentos de interrupção da irrigação antes da colheita (90, 60, 30, 15 e 0 dias) para a variedade de cana-de-açúcar CTC4 em Santo Antônio de Goiás (GO).

Dias de interrupção da irrigação antes da colheita	Profundidade (m)	Dias antes da colheita				
		90	60	30	15	0
		(13/06)	(13/07)	(12/08)	(27/08)	(11/09)
90	0 – 0,15	17,14	6,03	-8,54	-9,92	-11,29
	0,15 – 0,30	18,72	5,48	-4,77	-6,86	-8,95
	0,30 – 0,45	20,40	3,21	-3,06	-5,35	-7,64
	0,45 – 0,60	16,86	8,71	-2,26	-4,73	-7,19
	0,60 – 0,75	18,26	10,89	-0,37	-3,59	-6,81
	DH _{total}	91,37	34,32	-19,00	-30,44	-41,88
60	0 – 0,15	15,43	10,59	-4,94	-9,57	-11,00
	0,15 – 0,30	19,95	13,26	-4,54	-4,47	-8,66
	0,30 – 0,45	17,24	9,28	-2,86	-5,39	-7,56
	0,45 – 0,60	17,33	9,50	0,33	-4,59	-6,99
	0,60 – 0,75	18,47	9,91	-2,16	-4,42	-4,83
	DH _{total}	88,42	52,54	-14,17	-28,43	-39,04
30	0 – 0,15	17,83	19,24	-0,45	-5,99	-9,40
	0,15 – 0,30	16,83	14,07	-1,60	-6,46	-9,31
	0,30 – 0,45	18,05	11,96	3,83	-3,09	-7,89
	0,45 – 0,60	18,74	11,64	0,22	-4,38	-4,78
	0,60 – 0,75	18,01	12,10	0,34	-3,98	-6,38
	DH _{total}	89,46	69,01	2,33	-23,89	-37,76
15	0 – 0,15	14,74	17,10	-1,05	-2,66	-5,36
	0,15 – 0,30	17,56	11,70	-0,43	-2,96	-6,65
	0,30 – 0,45	19,05	13,75	-0,91	-2,32	-6,52
	0,45 – 0,60	17,79	13,04	2,41	0,56	-3,99
	0,60 – 0,75	19,43	12,63	1,76	-1,64	-4,13
	DH _{total}	88,57	68,22	1,78	-9,02	-26,65
0	0 – 0,15	17,35	15,97	3,10	-1,09	1,55
	0,15 – 0,30	18,98	12,50	-2,51	0,48	3,49
	0,30 – 0,45	18,84	13,54	-0,70	-0,31	1,60
	0,45 – 0,60	18,98	15,98	2,48	0,55	-0,76
	0,60 – 0,75	19,06	12,59	1,17	3,45	1,42
	DH _{total}	93,21	70,58	3,53	3,07	7,31

DH = Disponibilidade hídrica na camada de 0 – 0,75 m (profundidade efetiva do sistema radicular para a variedade CTC4 neste experimento). $DH = ((UA - U_{crit}) \times ds \times Z) / 10$, sendo UA = Umidade atual do solo; U_{crit} = Umidade crítica do solo; ds = Densidade do solo; Z = Profundidade efetiva do sistema radicular. Considerou-se: Umidade na capacidade de campo (U_{cc}) = 0,22 g.g⁻¹; Umidade no ponto de murcha permanente (U_{PMP}) = 0,11 g.g⁻¹; ds média = 1,42 g.cm⁻³; Capacidade de água disponível (CAD) = 158,45 mm; Fator de disponibilidade de água no solo (f) = 0,7, para a região de Santo Antônio (GO); U_{crit} = 0,15 g.g⁻¹ até 13/07/2014 e 0,16 g.g⁻¹ a partir de 13/07/2014.

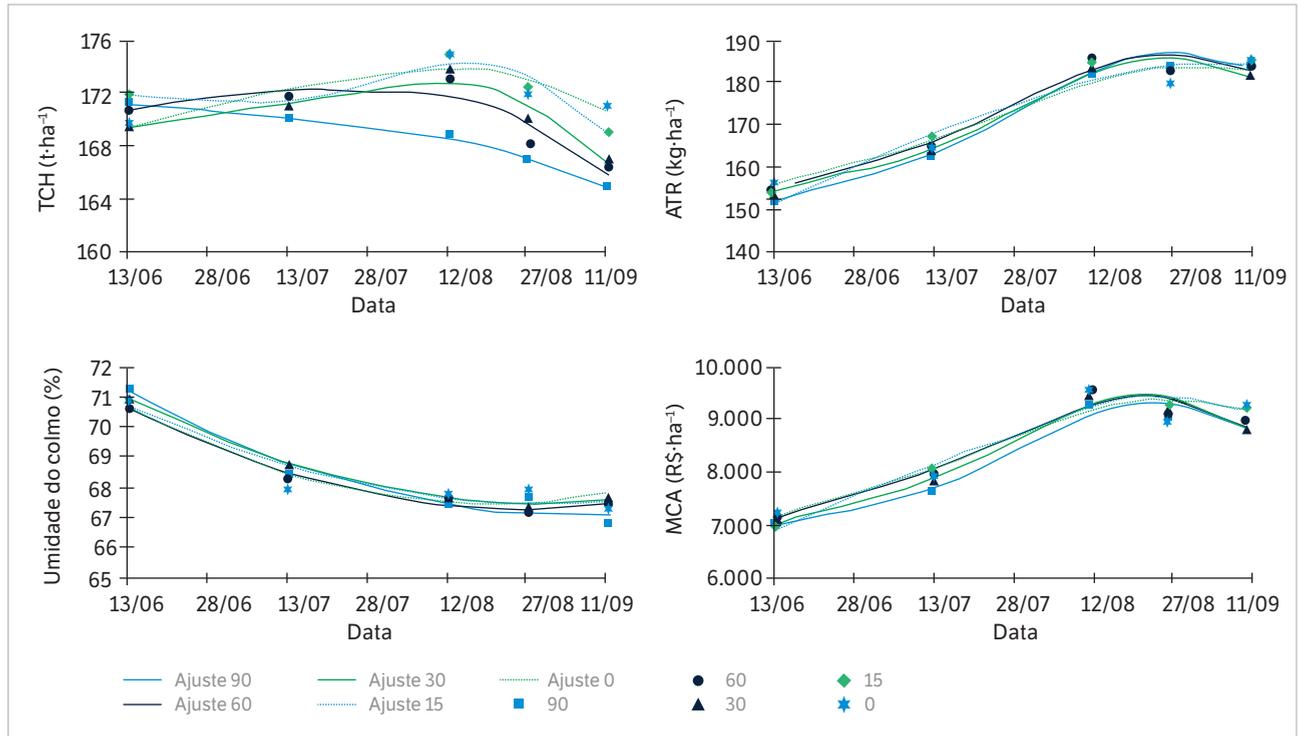


Figura 2. (a) Tonelada de colmos por hectare (TCH); (b) Açúcar total recuperável (ATR); (c) Umidade do colmo; (d) Margem de contribuição agrícola (MCA) para diferentes tratamentos de interrupção da irrigação antes da colheita (90, 60, 30, 15 e 0 dias) e as respectivas curvas de ajuste (Tabela 4) para a variedade de cana-de-açúcar CTC4 em Santo Antônio de Goiás (GO).

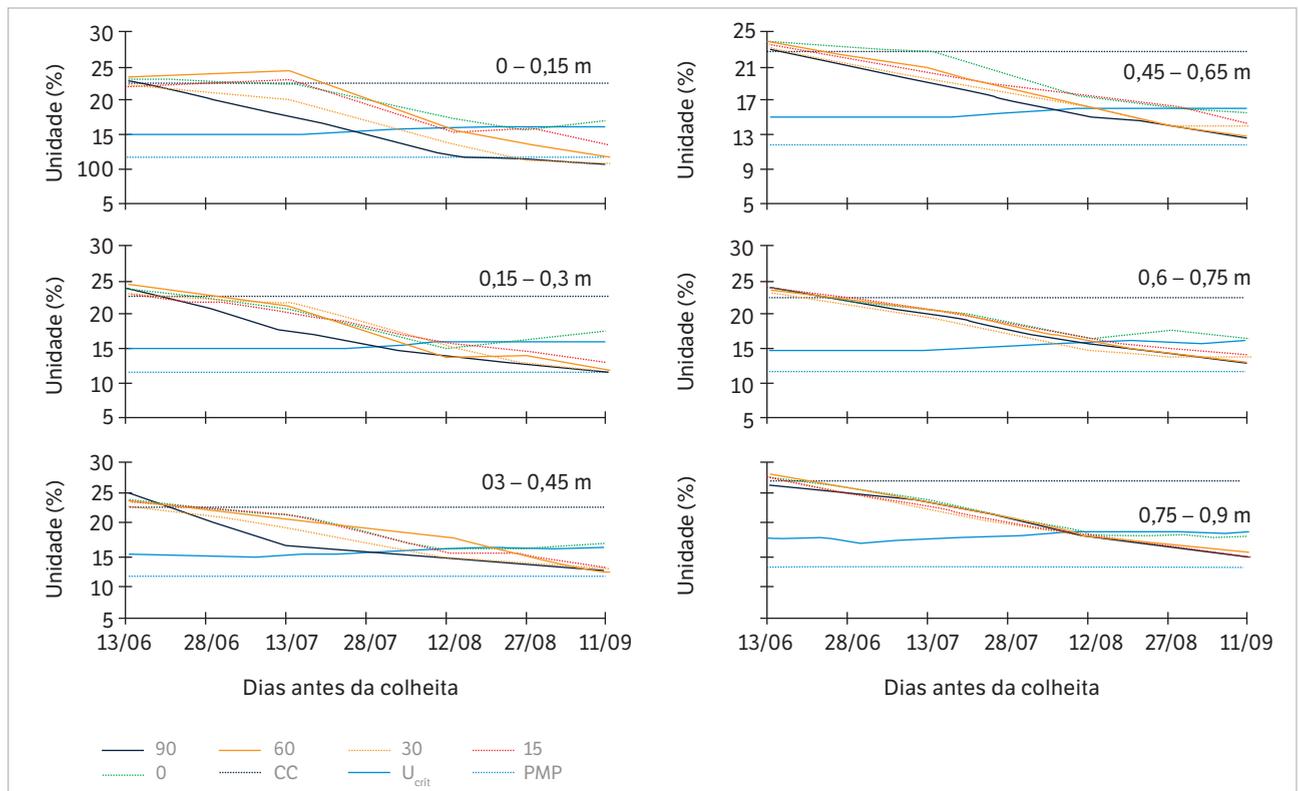


Figura 3. Umidade do solo para a profundidade de 0 – 0,9 m em camadas de 0,15 m de espessura para diferentes tratamentos de interrupção da irrigação antes da colheita (90, 60, 30, 15 e 0 dias). CC = Umidade na capacidade de campo (22,69%); PMP = Umidade no ponto de murcha permanente (11,83%); U_{crit} = umidade crítica (15,09% até 13/07/2014 e 16,17% a partir de 13/07/2014) — base peso (g·g⁻¹).

Tabela 4. Equações de ajuste dos modelos para as diferentes datas de avaliação dos tratamentos de interrupção da irrigação antes da colheita e os respectivos coeficientes de ajuste para a variedade de cana-de-açúcar CTC4 em Santo Antônio de Goiás (GO).

Equações de ajuste	R ²	Significância
$TCH90 = 1,650e+02 + 1,719e-01 \times DAC - 2,012e-03 \times DAC^2 + 9,587e-06 \times DAC^3$	-0,108	NS
$TCH60 = 1,659e+02 + 3,245e-01 \times DAC - 4,938e-03 \times DAC^2 + 2,160e-05 \times DAC^3$	-0,080	NS
$TCH30 = 1,666e+02 + 4,246e-01 \times DAC - 8,583e-03 \times DAC^2 + 4,699e-05 \times DAC^3$	-0,093	NS
$TCH15 = 1,689e+02 + 4,419e-01 \times DAC - 1,092e-02 \times DAC^2 + 7,089e-05 \times DAC^3$	-0,035	NS
$TCH0 = 1,707e+02 + 2,217e-01 \times DAC - 4,507e-03 \times DAC^2 + 2,105e-05 \times DAC^3$	-0,112	NS
$ATR90 = 183,9 + 0,5598 \times DAC - 0,0252 \times DAC^2 + 0,0001675 \times DAC^3$	0,905	**
$ATR60 = 183,1 + 0,512 \times DAC - 0,02128 \times DAC^2 + 0,0001338 \times DAC^3$	0,878	**
$ATR30 = 181,5 + 0,623 \times DAC - 0,02505 \times DAC^2 + 0,0001641 \times DAC^3$	0,879	**
$ATR15 = 184,7 + 0,05435 \times DAC - 0,00739 \times DAC^2 + 0,00002933 \times DAC^3$	0,912	**
$ATRO = 182,9 + 0,2292 \times DAC - 0,01351 \times DAC^2 + 0,00008443 \times DAC^3$	0,752	**
$Umidade\% Colmo90 = 67,2024072 - 0,0065371 \times DAC + 0,0005627 \times DAC^2$	0,721	**
$Umidade\% Colmo60 = 67,5213070 - 0,0191772 \times DAC + 0,0006005 \times DAC^2$	0,853	**
$Umidade\% Colmo30 = 67,6421876 - 0,0134583 \times DAC + 0,0005592 \times DAC^2$	0,873	**
$Umidade\% Colmo15 = 67,5703923 - 0,0100764 \times DAC + 0,0005039 \times DAC^2$	0,686	**
$Umidade\% Colmo0 = 67,8465096 - 0,0280628 \times DAC + 0,0006562 \times DAC^2$	0,652	**
$MCA90 = 8.943,5516 + 54,9149 \times DAC - 2,0490 \times DAC^2 + 0,0134 \times DAC^3$	0,491	**
$MCA60 = 8.950,08967 + 58,60751 \times DAC - 1,89015 \times DAC^2 + 0,01136 \times DAC^3$	0,597	**
$MCA30 = 8.873,00659 + 71,86950 \times DAC - 2,33616 \times DAC^2 + 0,01466 \times DAC^3$	0,581	**
$MCA15 = 9.258 + 31,39 \times DAC - 1,208 \times DAC^2 + 0,006438 \times DAC^3$	0,781	**
$MCA0 = 9.233 + 31,86 \times DAC - 1,311 \times DAC^2 + 0,007883 \times DAC^3$	0,525	**

Significância do ajuste: **Significativo a 1% de probabilidade de erro. DAC = Dias antes da colheita; TCH = Tonelada de colmos por hectare (t·ha⁻¹); ATR = Açúcar total recuperável (kg·t⁻¹); Umidade% Colmo = Umidade do colmo da cana-de-açúcar (%); MCA = Margem de contribuição agrícola (R\$·ha⁻¹); R² = Coeficiente de correlação; NS = Não significativo.

observaram que, nas condições de Jaíba (MG), em solo com 82% de areia, a interrupção da irrigação antes da colheita não é recomendada. Esses autores obtiveram maior lucratividade com o tratamento sem interrupção da irrigação, 26 t·ha⁻¹ a mais de colmo (21,5%) em relação ao tratamento com 51 dias sem irrigação; todavia, não houve diferença significativa para a produtividade de açúcar entre as épocas.

A MCA se correlacionou negativamente com a disponibilidade hídrica e positivamente com os GDNA (Tabela 2). Os resultados encontrados para a TCH e o ATR explicam essa correlação. O déficit hídrico entre as épocas não foi suficiente para diferenciar significativamente a produtividade de colmos. Já os GDNA influenciaram o aumento da concentração de açúcar no colmo (ATR).

CONCLUSÃO

A interrupção da irrigação 90 DAC não reduziu significativamente a produtividade de colmos e de açúcar. O déficit hídrico de 37,76 mm parece ser o limite crítico da falta de água no solo, a partir do qual a produtividade de colmos começa a ser reduzida.

Os GDN influenciaram de maneira positiva o aumento da produtividade de açúcar. Sua influência sobre a produtividade de colmos ficou condicionada à disponibilidade hídrica no solo. Os melhores resultados de qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar ocorreram aos 30 DAC, período em que a irrigação da cultura pode ser interrompida.

REFERÊNCIAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. e Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage, Paper 56). Rome: FAO.
- Arruda, F. B., Zullo Junior, J. e Oliveira, J. B. (1987). Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 11, 11-15.
- Cardozo, N. P. e Sentelhas, P. C. (2013). Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola*, 70, 449-456. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000600011>.
- Carr, M. K. V. e Knox, J. W. (2011). The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): a review. *Experimental Agriculture*, 47, 1-25. <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479710000645>.
- Delgado-Rojas, J. S. e Barbieri, V. (1999). Modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7, 67-73.
- Doorenbos, J. e Kassan, A. H. (1979). Yield response to water (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33). Rome: FAO.
- Fernandes A. C. (2000). Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. Piracicaba: STAB.
- Inman-Bamber, N. G. (2004). Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Research*, 89, 107-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.018>.
- Inman-Bamber, N. G. e Smith, D. M. (2005). Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, 92, 185-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.023>.
- Keller, J. e Bliesner, R. D. (1990). Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook.
- Kliemann, H. J., Braz, A. J. P. B. e Silveira, P. M. (2006). Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36, 21-28.
- Ludlow, M. M., Muchow, R. C. e Kigston, G. (1992). Quantification of the environmental and nutritional effects on sugar accumulation. In J. R. Wilson (Org.), *Improvement of yield in sugar cane through increased sucrose accumulation*. Brisbane: Sugar Research and Development Corporation.
- Machado, R. S., Ribeiro, V., Marchiori, P. E. R., Machado, D. F. S. P. e Landell, M. G. A. (2009). Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 1575-1582. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200003>.
- Robertson, M. J. e Donaldson, M. J. (1998). Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. *Field Crops Research*, 55, 201-208. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00065-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00065-8).
- Scarpari, M. S. e Beauclair, E. G. F. D. (2004). Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. *Scientia Agricola*, 61, 486-491. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000500004>.
- Scarpari, M. S. e Beauclair, E. G. F. D. (2009). Physiological model to estimate the maturity of sugarcane. *Scientia Agricola*, 66, 622-628. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000500006>.
- Teruel, D. A., Barbieri, V. e Ferraro Júnior, L. A. (1997). Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. *Scientia Agricola*, 54, 39-44. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161997000300008>.
- Vieira, G. H. S., Mantovani, E. C., Sedyama, G. C., Cecon, P. R. e Delazari, F. T. (2013). Época de interrupção da irrigação na cultura da cana-de-açúcar. *Irriga*, 18, 426-441. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p426>.
- Wilson, J. R. (1975). Influence of temperature and nitrogen on growth, photosynthesis and accumulation of non-structural carbohydrate in a tropical grass, *Panicum maximum* var. *trichoglume*. *Netherland Journal of Agricultural Science*, 23, 48-61.
- Yates, R. A. (1972). Effects of environmental conditions and the coadministration of growth retardants on the response of sugarcane to foliar treatment with gibberellin. *Agronomy Journal*, 64, 31-35. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1972.00021962006400010011x>.