

PRODUTIVIDADE E RENDIMENTO INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

PRODUCTIVITY AND INDUSTRIAL YIELD OF SUGARCANE AS A FUNCTION OF IRRIGATION DEPTHS

Gustavo Haddad Souza VIEIRA¹; Everardo Chartuni MANTOVANI²;
Gilberto Chohaku SEDIYAMA³; Fábio Teixeira DELAZARI⁴

1. Engenheiro Agrônomo, Professor, Doutor, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, *campus* Santa Teresa, ES, Brasil. ghsvieira@gmail.com; 2. Engenheiro Agrícola, D.S., Professor Titular, DEA, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 3. Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Professor Titular, DEA - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 4. Engenheiro Agrônomo, Mestrando, DEA - UFV, Viçosa, MG, Brasil

RESUMO: O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar as lâminas de irrigação que resultem na máxima produtividade, no máximo rendimento econômico e no máximo rendimento industrial da cana-de-açúcar e a relação existente entre a lâmina de água e a formação de dextrana. O experimento foi instalado em outubro de 2010 em Jaíba/MG, em uma área irrigada por pivô central, com cana-de-açúcar no quarto ciclo de produção. Para a aplicação dos tratamentos, trocaram-se os bocais dos emissores, em cada vão entre torres do pivô central, de modo que fossem aplicadas as lâminas referentes a 25, 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura, com o manejo da irrigação realizado para atender a demanda de 100%. Determinou-se a produtividade de colmos e o rendimento industrial da cana-de-açúcar, expressos em açúcares totais recuperáveis (ATR) e os teores de dextrana. Com os dados de produtividade e os custos relacionados à irrigação, calculou-se as lâminas para obtenção da máxima produtividade física (L_{mpf}) e do máximo rendimento econômico (L_{mre}), considerando-se a produtividade de colmos e de açúcares. Analisando-se os resultados obtidos, concluiu-se que: a lâmina que proporcionou a maior produtividade de colmos foi de 1.537 mm, para a produtividade de 112,3 t ha⁻¹, ou seja, são necessários 136,9 m³ de água para se produzir uma tonelada de colmos. A lâmina de maior rendimento econômico foi de 1.334 mm para uma produtividade de 108,5 t ha⁻¹. O maior rendimento de açúcares (158,1 kg t⁻¹) foi obtido com lâmina de 1.373 mm. A lâmina que proporcionou a maior produtividade de açúcares (17,56 t ha⁻¹) foi de 1.508,4 mm. O melhor rendimento econômico, em termos de açúcares por unidade de área, foi de 17,4 t ha⁻¹ (lâmina recomendada), com fornecimento de 1.406 mm de água, resultando na necessidade de 808 m³ de água para se produzir uma tonelada de açúcar. Lâminas acima de 1.000 mm no ciclo da cultura promoveram teores de dextrana acima dos limites estabelecidos para produção de açúcar. Recomenda-se para as indústrias de etanol e, principalmente de açúcar, introduzirem as análises de dextrana na rotina laboratorial.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum sp.* Função de produtividade. Açúcar. Dextrana.

INTRODUÇÃO

Devido à tendência de decréscimo de disponibilidade de água para a agricultura e ao aumento dos custos de energia (LÓPEZ-MATA et al., 2010), torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos da produtividade. Uma boa estratégia de manejo da irrigação é fundamental para economizar água sem, no entanto, por em risco o rendimento das culturas (JALOTA et al., 2006; PEREIRA et al., 2009).

O manejo adequado da água pode ser feito utilizando-se o índice de eficiência de uso da água para o planejamento e a tomada de decisão da irrigação, aumentando-se a produtividade da cultura (KARATAS et al., 2009).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), dependendo do clima, a quantidade de água que a cana-de-açúcar necessita varia de 1.500 e 2.500 mm por ano. Assim, segundo Dantas Neto et al. (2006),

para se obter altas produtividades, o uso da tecnologia de irrigação é imprescindível. De acordo com Inman-Bamber e Smith (2005), uma precipitação pluvial anual a partir de 1.000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produções na cana-de-açúcar.

Para quantificar os benefícios econômicos da irrigação, é necessário saber quantificar o aumento esperado na produtividade em função do aumento da água aplicada, representada pela função de produção “água-cultura”. De acordo com Bernardo (2006), uma função de produção “água-cultura” típica é quando se relaciona a lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura com a produtividade comercial.

Chaves et al. (2008) e Singels et al. (2005) citam que a deficiência hídrica afeta vários aspectos do metabolismo da cana-de-açúcar, em especial a fotossíntese. A fotossíntese das plantas é limitada pela restrição da abertura estomática, em condição de déficit hídrico (YORDANOV et al., 2003). Essa

resposta adaptativa é promovida pelo fechamento parcial dos estômatos, que também afeta a disponibilidade de substrato (CO₂) para a fotossíntese (FLEXAS et al.; 2006; YORDANOV et al., 2003).

Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), para atingir alta produção de sacarose, a planta precisa de temperatura e umidade adequadas para permitir o máximo crescimento na fase vegetativa, seguida de restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose no colmo na fase de maturação. Conforme a maturação avança, açúcares simples (monossacarídeo, frutose e glicose) são convertidos em sacarose (um dissacarídeo). A maturação da cana procede de baixo para cima e, desse modo, a parte inferior contém mais açúcares do que a porção superior (LISSON et al., 2005; MOORE, 2005; INMAN-BAMBER et al., 2009).

Farias et al. (2009), em estudo realizado no Tabuleiro Costeiro Paraibano, analisaram o efeito de lâminas de água de irrigação (Lâmina máxima de 1.221 mm, correspondente a 100% da ET_c) na qualidade industrial da cana-de-açúcar, observando forte correlação entre as variáveis. Houve tendência de aumento dos sólidos solúveis totais (°Brix) para maiores valores de lâmina de água aplicada, assim como para Pol (%), pureza e ATR (açúcares totais recuperáveis).

No entanto, cuidados devem ser tomados quando se utiliza a leitura da Pol para se determinar o rendimento industrial da cana-de-açúcar, devido à presença, no caldo, de outras substâncias opticamente ativas, como a dextrana (polímero sintetizado a partir da sacarose), além da sacarose. Essas substâncias promovem super estimativas dos teores de sacarose, o que compromete toda a avaliação da qualidade da matéria-prima no sistema de remuneração e avaliação das indústrias, visto que se contabiliza maior entrada de sacarose na indústria do que realmente ocorre (CALDAS; SANTOS, 2010; SOLOMON, 2009).

A presença de dextrana também promove perdas de sacarose no processo industrial, que pode decorrer de vários fatores, dentre eles, maturação dos colmos, altas temperaturas (>40 °C) e umidade relativa do ar, além do excesso de chuvas e encharcamento do solo, sendo a sua formação crescente com o tempo decorrido entre a colheita e a moagem dos colmos (CLARKE et al., 1980; SINGH et al., 2008; UPPAL et al., 2008; SOLOMON, 2009) estimaram a perda de sacarose devido à formação de dextrana e concluiu que cada 1% de

dextrana produzida representa 0,4% de perda de sacarose.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivos: avaliar as relações entre lâmina de água (chuva e irrigação) e produtividades de colmos e de açúcares (por tonelada de colmos e por hectare); determinar as lâminas de máxima produtividade física, de máximos rendimentos econômico e industrial da cana-de-açúcar; e determinar a relação existente entre a lâmina de água e a formação de dextrana no caldo da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no município de Jaíba, latitude 15° 12' S, longitude 43° 56' W e altitude de 478 m, em uma área irrigada, com cana-de-açúcar *cultivar* RB867515, no quarto ciclo de produção (terceira soqueira) após a colheita da safra 2009/2010. O equipamento de irrigação utilizado foi um sistema de aspersão do tipo pivô central, irrigando uma área de aproximadamente 57 ha, com água captada nos canais do Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ).

O manejo da irrigação foi realizado com auxílio do aplicativo *Irriger*[®], com o qual se determinou a demanda hídrica da cana-de-açúcar, utilizando-se coeficientes de ajuste (coeficiente da cultura “kc”, localização da irrigação “kl” e do solo “ks”) sobre a evapotranspiração de referência (ET_o). A lâmina bruta de irrigação foi calculada por meio de um balanço hídrico, em que as entradas de água foram a irrigação e precipitação pluvial efetiva e as saídas, a evapotranspiração da cultura (ET_c) e percolação além da profundidade considerada para o sistema radicular.

O método de estimativa da ET_o pelo aplicativo *Irriger*[®], com base nos elementos meteorológicos disponíveis (radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar), foi o modelo de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998). Os dados meteorológicos utilizados para a realização do experimento foram obtidos na estação meteorológica automática instalada na área experimental.

As propriedades do solo e as características da cultura cadastradas no aplicativo, utilizadas para o manejo da irrigação estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do solo e características da cultura

Solo						
Profundidade	Capacidade de Campo	de Ponto de Murcha	Densidade	Argila	Areia	Silte
(cm)	(%)	(%)	(g cm ⁻³)	(%)	(%)	(%)
0-25	8,1	3,5	1,6	12	83	5
25-50	6,0	3,0	1,6	12	82	6
Cultura						
Ciclo	Fase	Duração	¹ Kc	² Z	Área Sombreada	³ f
		(dias)		(cm)	(%)	
Soca 3	Brotação	20	0,40	0,3	15	0,7
Soca 3	Perfilhamento	80	0,70	0,5	50	0,7
Soca 3	Desenvolvimento	240	1,25	0,5	100	0,7
Soca 3	Maturação	27	0,80	0,5	100	0,7

¹Coeficiente cultural; ²Profundidade efetiva do sistema radicular; ³Fator de disponibilidade hídrica

A água do solo foi monitorada com a determinação de umidade, em peso, pelo método padrão de estufa, durante a aplicação dos tratamentos, de modo a permitir o acompanhamento do balanço hídrico do solo que, comparado ao consumo de água pela cultura, estimado com o aplicativo, garantiu a aferição do método.

Para a aplicação dos tratamentos, trocaram-se os bocais dos emissores, de modo que, em cada vão entre torres do pivô, fosse aplicada uma lâmina específica, como é apresentado na Tabela 2. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos e três repetições.

Tabela 2. Tratamentos e lâminas aplicadas, precipitação efetiva, lâminas totais de irrigação aplicadas e lâminas totais no ciclo da cultura em cada tratamento

Tratamento	Lâmina percentual nominal	Lâmina percentual aplicada	Precipitação pluvial efetiva	Irrigação total	Lâmina total
	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
T6	150	156,3	348,0	1.530,4	1.878,4
T5	125	126,5	365,4	1.240,1	1.605,5
T4	100	100,0	393,0	979,6	1.372,6
T3	75	73,4	419,2	719,2	1.138,4
T2	50	52,2	432,8	511,9	944,7
T1	25	24,7	435,7	242,2	677,9

Cada parcela tinha 12 m de comprimento com 5 fileiras de plantio, tendo como área útil as três fileiras centrais com comprimento de 10 m. Considerou-se, para o cálculo da lâmina total de água aplicada no ciclo, a soma entre a irrigação total e a precipitação efetiva. A irrigação total foi obtida pela soma das irrigações realizadas. A precipitação efetiva foi calculada subtraindo-se da precipitação total, o excesso, que é a soma do escoamento superficial calculado pelo modelo SCS-USDA (PRUSKI, 2009) e da lâmina percolada, calculada a cada evento de irrigação por intermédio do balanço hídrico diário. Não se utilizou valores de precipitação efetiva maiores que a capacidade total de armazenamento de água do solo (33,3 mm).

Foram determinados a produtividade de colmos e o rendimento industrial da cana-de-açúcar,

com seus valores expressos em açúcares totais recuperáveis (ATR) e os teores de dextrana do caldo.

As colheitas dos colmos foram realizadas manualmente, cortando-se uma fileira de 10 metros lineares nas parcelas úteis de cada tratamento. Após cada colheita, as amostras foram pesadas e determinadas as massas (kg) da produção de cada parcela de 15 m², sendo o resultado obtido convertido em toneladas de cana por hectare (t ha⁻¹), considerando-se o espaçamento entre fileiras de 1,50 m. Em cada parcela foram retirados cinco colmos, aleatoriamente, e enviados ao laboratório para a realização das análises de rendimento industrial.

Com os valores de brix, Pol e peso do bagaço úmido foram determinados, por meio de

cálculos, segundo o método CONSECANA (2006), o ATR em kg t⁻¹. Para a determinação da dextrana, seguiu-se o método HAZE/ICUMSA (CTC, 2005), com os resultados expressos em mg kg⁻¹ de açúcar.

A relação entre as variáveis dependentes (produtividade) e as independentes (lâmina de água aplicada) foi obtida por análise de regressão do tipo polinomial de segundo grau (Equação 1), conforme sugerido por Bernardo (2006) e Frizzone e Andrade Júnior (2005).

$$\hat{P} = a + bL + cL^2 \quad 1)$$

Em que, \hat{P} = Produtividade da cultura (t ha⁻¹); L = lâmina total aplicada (mm); e a , b e c = coeficientes de ajuste da equação de regressão.

Para determinar a produtividade máxima, em relação à lâmina aplicada, a Equação 1 foi derivada em relação à lâmina aplicada, igualando-se o resultado a zero, como apresentado nas Equações 2 e 3.

$$\frac{\partial P}{\partial L} = b + 2 \cdot c \cdot L = 0 \quad 2)$$

$$L_{mpf} = -\frac{b}{2c} \quad 3)$$

Em que, L_{mpf} = lâmina que resulta na máxima produtividade física (mm).

Para determinar a lâmina de irrigação recomendável para a cultura da cana-de-açúcar que forneça o ponto ótimo de rendimento econômico (L_{mre}) foi estimado, inicialmente, o rendimento (lucro) em relação à lâmina aplicada, utilizando a função representada pela Equação 4 e, posteriormente, substituindo-se a Equação 3 na Equação 5, resultando na Equação 6.

$$R = p_p \cdot P - (p_a \cdot L + C_f) \quad 4)$$

$$\frac{\partial R}{\partial L} = \frac{\partial P}{\partial L} p_p - p_a \quad 5)$$

$$L_{mre} = \frac{p_a - b \cdot p_p}{2c \cdot p_p} \quad 6)$$

Em que, L_{mre} = lâmina de máximo rendimento econômico (mm); a , b e c = coeficientes de ajuste da Equação de regressão; R = rendimento (R\$ ha⁻¹); p_p = preço do produto (R\$ t⁻¹); p_a = preço da água de irrigação (R\$ mm⁻¹); e C_f = custos fixos do sistema de irrigação para o ano agrícola em estudo (R\$ ha⁻¹).

O preço do produto (p_p) foi obtido na União dos Produtores de Bioenergia (UDOP, 2011), considerando-se a média dos preços mensais praticados entre os meses de novembro de 2010 a outubro de 2011. O preço da água (p_a) foi obtido

pela soma dos custos de energia elétrica (CEE) e tarifa de água do perímetro irrigado (TAP) a partir de contas de energia elétrica e água, fornecidas pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e pelo Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ), respectivamente. Os demais custos foram obtidos junto à administração da Fazenda. O custo unitário de lâmina de irrigação totalizou em R\$ 1,56 mm⁻¹ ha⁻¹.

Os custos fixos de irrigação (C_f), para o ano agrícola em estudo, foram obtidos a partir do valor de aquisição do equipamento, dividido pela sua vida útil (15 anos) e pela área irrigada, somando-se os custos da mão-de-obra empregada na irrigação.

Os valores de compra dos equipamentos (Pivôs-centrais) foram consultados junto à administração da Fazenda Sada Bioenergia e Agricultura, em Reais (R\$). Foram computados os custos fixos (C_f) de depreciação dos componentes do sistema (DC) e dos juros sobre o capital investido (JC). Para o cálculo dos custos de depreciação dos equipamentos, foi utilizada a Equação 7 (FERNANDES et al., 2008).

$$DC = \frac{[(VAC) - (0,2 VAC)]}{VU}$$

Em que, DC = depreciação do componente do sistema (R\$); VAC = valor de aquisição do componente (R\$); 0,2 VAC = valor residual ou de sucata (R\$); e VU = vida útil (anos).

O valor residual ou de sucata foi calculado para 20% do valor de compra do componente. O custo de oportunidade foi calculado como sendo o custo dos juros do mercado financeiro sobre o capital investido, conforme sugerido por Frizzone e Andrade Júnior (2005).

O custo dos juros sobre o capital investido (JC) foi calculado considerando-se a taxa de 7,2% ao ano, aplicados sobre o valor de aquisição dos equipamentos, conforme Equação 8.

$$JC = TAJ \times VAE$$

Em que, JC = Juros sobre o capital investido (R\$); TAJ = Taxa anual de juros (%); VAE = Valor de aquisição dos equipamentos (R\$).

Para obtenção dos dados de campo, foram totalizadas as lâminas aplicadas em todo o ciclo da cultura, para cada um dos tratamentos descritos no Quadro 2. A partir dos dados obtidos, foi gerada uma Equação (função de produção) por análise de regressão de segundo grau para obtenção dos coeficientes de ajuste a , b e c .

Com os dados de produtividade e os custos relacionados à irrigação da cana-de-açúcar, calculou-se as lâminas para obtenção da máxima

produtividade física (L_{mpf}), e do máximo rendimento econômico (L_{mre}) considerando-se a produtividade de colmos e de açúcares.

Os valores obtidos nas repetições foram submetidos a análises de variância e, posteriormente, elaboradas regressões lineares e polinomiais quadráticas, conforme a variável. Os coeficientes encontrados para as equações de regressão foram submetidos ao teste t, com posterior correção, considerando-se o Quadrado Médio do Resíduo e os Graus de Liberdade da ANOVA e o Quadrado Médio Independente da Regressão. Foram

adicionados os Intervalos de Confiança da Regressão, ao nível de 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado o balanço hídrico, que representa o manejo da irrigação, os limites superior (capacidade de campo) e inferior (Ponto de Murcha) de armazenamento de água no solo, a precipitação efetiva e a umidade do solo para os tratamentos durante a safra 2010/2011.

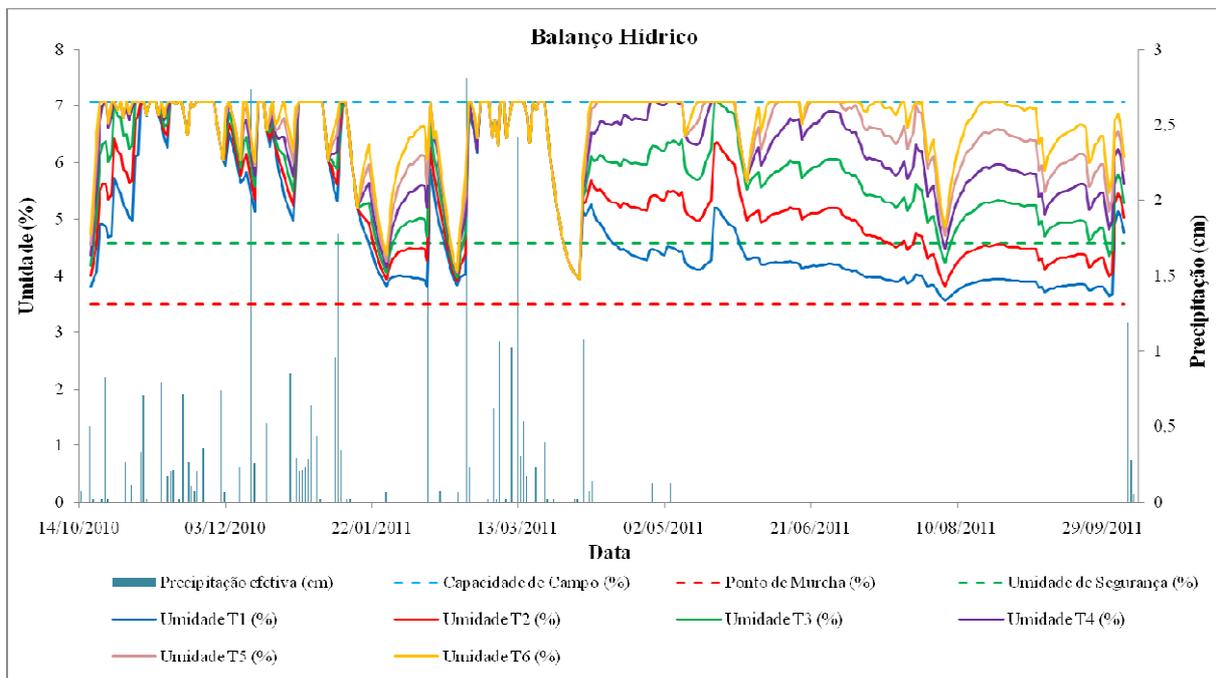


Figura 2. Balanço hídrico e limites de armazenamento de água no solo para o manejo da cultura da cana-de-açúcar durante a safra 2010/2011.

Observa-se que o período chuvoso encerrou-se no dia 03/05/2011, com a última chuva expressiva (10,8 mm) ocorrendo em 04/04/2011, fazendo com que a cultura ficasse totalmente dependente da irrigação, para o suprimento de água, durante 181 dias. Depois do período chuvoso, a umidade do solo chegou à umidade de segurança (fator f) no dia 05/04 para o tratamento T1, permanecendo até o dia 19/05 abaixo desta umidade, voltando a atingir a umidade de segurança no dia 28/05 e permanecendo sob deficiência hídrica por 128 dias, até o final do período seco (03/10).

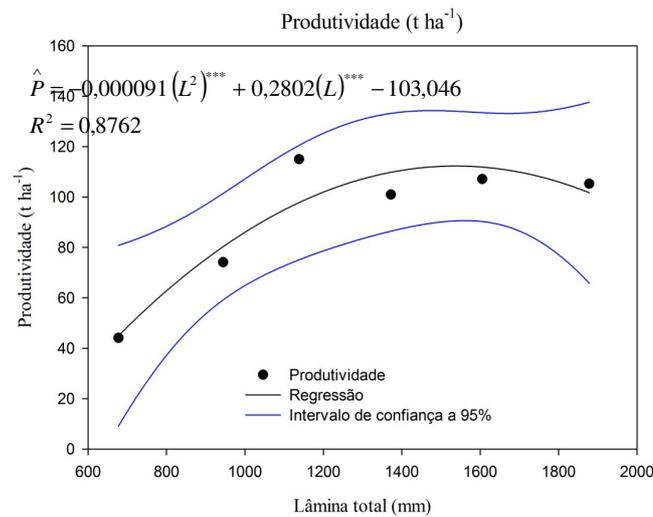
A umidade do solo do tratamento T2 permaneceu abaixo da umidade de segurança por 72 dias (18/07 a 02/10). Para os demais tratamentos, houve pequenos períodos (até seis dias) em que a umidade do solo esteve abaixo da umidade de segurança. Entre os dias 28/07 e 06/08, o equipamento sofreu um problema técnico e não

funcionou, o que promoveu queda acentuada de umidade do solo para todos os tratamentos. Os valores de umidade do solo medidas, para aferição, foram próximos dos calculados pelo aplicativo.

A Figura 2 apresenta a relação entre a produtividade da cultura e a lâmina de água aplicada no ciclo. Observa-se um crescimento da produtividade à medida que se aumenta a lâmina aplicada, até atingir um valor máximo de 112,3 t ha⁻¹, com a aplicação de 1.537,2 mm. Estes valores representam a lâmina de máxima produtividade física (L_{mpf}), calculada pela Equação 3. Para se atingir a produtividade máxima, são necessários 136,9 m³ de água para uma tonelada de cana. No entanto, a produtividade máxima não representa o maior lucro. A lâmina de máximo rendimento econômico (L_{mre}), calculada pela Equação 6, foi de 1.333,8 mm, com a produtividade de 108,5 t ha⁻¹ para um valor do preço de água (p_a) igual a R\$ 1,56

$\text{mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$ e preço do produto (p_p) de R\$ 42,0 por tonelada de colmos. Baseando-se nos valores encontrados, recomenda-se que seja aplicada uma

lâmina 3,5% menor do que aquela para máxima produtividade.

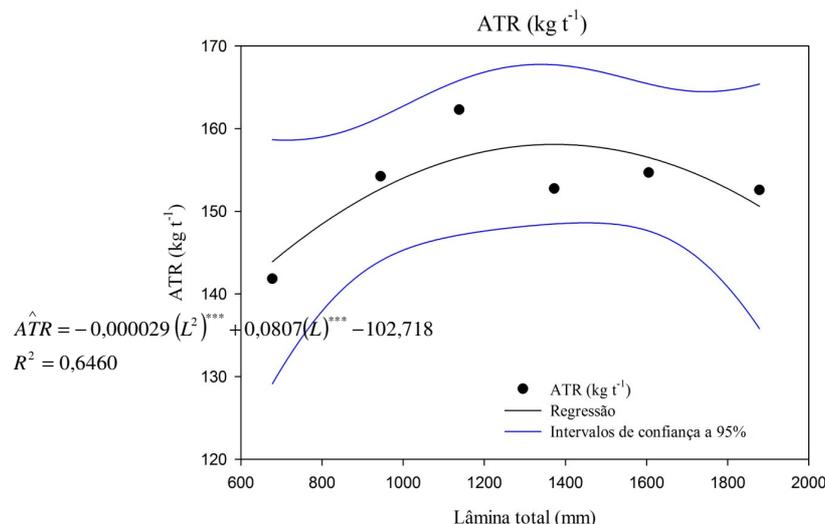


*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”

Figura 2. Produtividade de colmos (t ha^{-1}) em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Na Figura 3, é apresentado o rendimento de açúcares, em termos de ATR, em função da lâmina de água. A lâmina que proporcionou maior rendimento de açúcares foi de 1.373,1 mm com 158,1 kg de açúcares por tonelada de colmos. A partir deste valor, o teor de açúcares é reduzido, devido à maior quantidade de água que está disponível para a cultura, concordando com a afirmação de Bernardo (2006), que classifica o

estádio de maturação, como responsivo positivamente ao déficit hídrico, visto que, o teor de sacarose costuma ser afetado adversamente pelo excesso de água no estágio de maturação. Os valores encontrados no presente trabalho são superiores aos encontrados por Farias et al. (2009), com valores máximos de ATR da ordem de 147 kg t^{-1} , para a cultivar SP 79-1011, de ciclo precoce, cultivada no Tabuleiro Costeiro Paraibano.



*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”

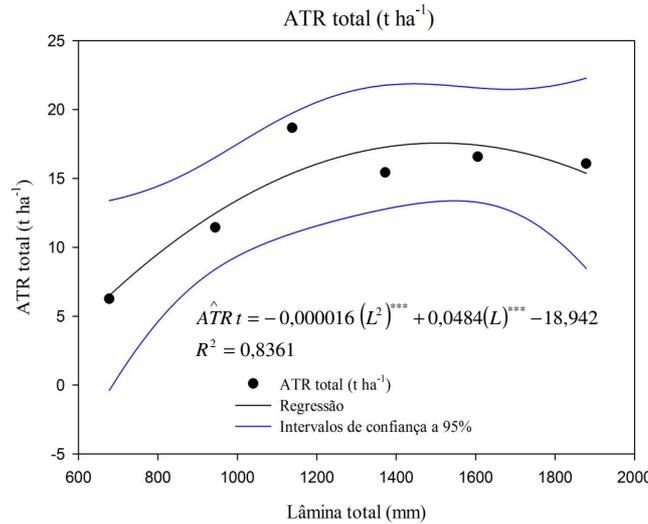
Figura 3. Rendimento de açúcares – ATR (kg t^{-1}) em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Com o objetivo de otimizar o uso do solo, deve-se buscar a lâmina que forneça uma maior

quantidade de açúcares por unidade de área. Assim, calculou-se a lâmina para o rendimento de açúcares

por unidade de área – ATR total (t ha⁻¹), em que o máximo valor foi atingido com a lâmina de 1.508,4

mm com 17,56 toneladas de açúcar por hectare (Figura 4).



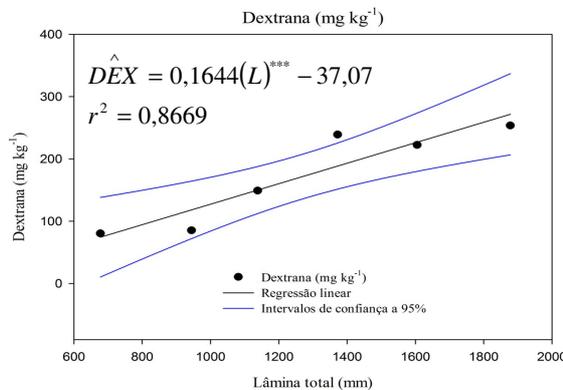
*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”

Figura 4. Rendimento de açúcares – ATR total (t ha⁻¹) em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Outra maneira de buscar a otimização do uso da área, promovendo, ainda, o uso eficiente de água e energia elétrica, é encontrar a lâmina que proporcione o maior retorno econômico de açúcares. Do mesmo modo que se fez para encontrar o valor de *Lmre* (lâmina de máximo rendimento econômico) para a produtividade de colmos, calculou-se a lâmina de máximo rendimento econômico de açúcares. Para se obter o rendimento máximo de açúcares, de 17,4 toneladas de açúcar (ATR) por hectare, é necessária uma lâmina de 1.405,9 mm no ciclo da cultura. Este valor representa a lâmina de maior retorno econômico para a indústria, uma vez que os açúcares são o principal produto de interesse econômico, seja para a produção de etanol, açúcar ou aguardente.

Farias et al. (2009) encontraram rendimento de açúcares por unidade de área inferiores (12,99 t ha⁻¹) para lâmina total de 1.221 mm (100% de ETc).

Na Figura 5 é apresentada a tendência de formação de dextrana em função da lâmina de água recebida pela cultura durante o ciclo. Observa-se aumento dos teores de dextrana à medida que se aumenta a quantidade de água aplicada, com valores médios atingindo mais de 200 mg kg⁻¹. A Copersucar estabelece valores máximos de dextrana de até 100 e 150 mg kg⁻¹ para os açúcares dos tipos 2 e 3, respectivamente, comercializados no Brasil (AQUINO, 2009). O tratamento T3 apresentou valor superior a 100 mg kg⁻¹ e os tratamentos T4, T5 e T6 superaram os 200 mg kg⁻¹.



*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”

Figura 5. Dextrana (mg kg⁻¹) em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Durante o experimento, observou-se alagamento das parcelas que receberam maiores quantidades de água, principalmente nos tratamentos T5 e T6. De acordo com Solomon (2009), o encharcamento do solo provoca aumento dos teores de dextrana no caldo, devido a favorecer a proliferação de bactérias do gênero *Leuconostoc sp.*, que estão relacionadas à formação de dextrana.

É importante para as indústrias de álcool e, principalmente de açúcar, verificarem a ocorrência de dextrana no caldo, pois assim, poderão encontrar explicações para baixos valores de rendimento industrial, mesmo com altas leituras de Pol da cana.

CONCLUSÕES

A lâmina que proporcionou a maior produtividade de colmos de cana-de-açúcar é de 1.537 mm, para uma produtividade de 112,3 t ha⁻¹, ou seja, são necessários 136,9 m³ de água para se produzir uma tonelada de cana.

A lâmina de maior rendimento econômico foi de 1.334 mm para uma produtividade de 108,5 t ha⁻¹. A lâmina que proporcionou a maior produtividade de açúcares por tonelada de colmos

foi de 1.373 mm para uma produtividade de 158,1 kg t⁻¹.

A lâmina que proporcionou a maior produtividade de açúcares por hectare foi de 1.508 mm para uma produtividade de 17,56 t ha⁻¹.

O melhor rendimento econômico, em termos de açúcares por unidade de área, foi de 17,4 t ha⁻¹, com fornecimento de 1.406 mm de água (lâmina recomendada), resultando na necessidade de 808 m³ de água para se produzir uma tonelada de açúcar.

Lâminas acima de 1.000 mm no ciclo da cultura promoveram teores de dextrana acima dos limites estabelecidos para produção de açúcar. Recomenda-se para as indústrias de etanol e, principalmente de açúcar, introduzirem as análises de dextrana na rotina laboratorial.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPEMIG e ao Banco do Nordeste do Brasil pelo apoio financeiro na execução do experimento. À CAPES pelo fornecimento de bolsa de estudo ao primeiro autor. À SADA Bioenergia e Agricultura pelo apoio operacional e infraestrutura cedida.

ABSTRACT: The present work was developed due to determine the irrigation depths that result in the maximum productivity, maximum economic yield and the maximum industrial yield of sugarcane, and the relationship between water depth and the formation of dextran. The experiment was installed in October 2010 in Jaíba/MG, Brazil, in an area irrigated by a center pivot with sugarcane in the fourth cycle. For the application treatments the emitter nozzles were exchanged so that the depths were applied referring to 25, 50, 75, 100, 125 and 150% of crop evapotranspiration with irrigation management performed to meet the 100% of the demand. Stalk productivity and industrial yield of sugarcane were determined, as well as levels of ATR and dextran. With productivity data and irrigation costs, the maximum productivity (*Lmpf*), and maximum economic yield (*Lmre*) were calculated considering the stalk and sugar yields. The values obtained were subjected to analysis of variance and subsequently developed regressions. Analyzing the results, it was concluded that: the depth that provided the highest stalk yield was 1,537 mm, for a yield of 112.3 t ha⁻¹, i.e. 136,9 m³ of water are necessary do produce one ton of stalks. The depth resulting in greatest economic yield was 1,334 mm for a yield of 108.5 t ha⁻¹. The greatest sugar yield (158.1 kg t⁻¹) was obtained with the depth of 1,373.1 mm. Highest sugar yield (17.56 t ha⁻¹) was obtained from the depth of 1,508 mm. The best economic performance, in terms of sugar per unit area was 17.4 t ha⁻¹, with supply of 1,405.9 mm of water, resulting in a water demand of 808 m³ to produce one ton of sugar. The best economic performance, in terms of sugar per unit area was 17.4 t ha⁻¹ with the supply of 1,406 mm of water (recommended depth). Irrigation depths up to 1,000 mm in the crop cycle promoted dextran levels above the limits established for sugar production. It is recommended that the ethanol industries, and especially sugar industries, utilize dextran analyses in the laboratorial routine.

KEYWORDS: *Saccharum sp.* Function of productivity. Sugar. Dextran.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

- AQUINO, F. W. B. de. **Dextranas em açúcares e em aguardentes de cana**. Tese (Doutorado em Ciência – Química analítica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 128 f. 2009.
- BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. Palestra no XVI CONIRD. Goiânia-GO. 2006. 11p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3j1wl e6b8.pdf>. Acesso em: 01 de mai, 2011.
- CALDAS, C.; SANTOS, F. **Controle de qualidade nas indústrias de açúcar e álcool**. In SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas. Viçosa: UFV, cap 13, p. 357-368, 2010.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 551-560, 2008.
- CLARKE M. A.; ROBERTS E. J.; GODSHALL M. A.; BRANNAN M. A.; CARPENTER F. G.; COLL E. E. Sucrose loss in the manufacture of the cane sugar. **Proceedings...** International Society of Sugar Cane Technology, São Paulo, p.2192-2203, 1980.
- CONSECANA – CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Instruções**. CONSECANA-SP, Piracicaba, 5ª ed., 2006. 200 p.
- CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. **Determinação de dextrana em caldos**. In.: Manual de controle químico da fabricação de açúcar. Piracicaba, p.12-17, 2005.
- DANTAS NETO, J.; FIGUERDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33).
- FARIAS, C. H. de A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.
- FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2 ed. Uberaba: O Lutador. 2008. 476 p.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J. G. GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, Lancaster, v. 172, p. 73-82, 2006.
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: EMBRAPA. 2005. 626p.
- INMAN-BAMBER, N. G., SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Bonn, v. 92, p. 185-202, 2005.
- INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JINGSHENG X. Source-sink differences in genotypes and water regimes influencing sucrose accumulation in sugarcane stalks. **Crop & Pasture Science**, Collingwood, v. 60, n. 4, p.316-327, 2009.
- JALOTA, S. K.; SOOD, A. G. B. S.; CHAHAL, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation.

- Agricultural Water Management**, v.84, p.137-146, 2006. Disponível em: < <http://www.journals.elsevier.com/agricultural-water-management/>>. Acesso em 23/12/2011.
- KARATAS, B. S.; AKKUZU, E.; UNAL, H. B.; ASIK, S.; AVCI, M. Using Satellite remote sensing to asses irrigation performance in water user Associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 96, p.982-990, 2009. Disponível em: < <http://www.journals.elsevier.com/agricultural-water-management/>>. Acesso em 26/12/2011.
- LISSON, S. N.; INMAN-BAMBER, N. G.; ROBERTSON, M. J.; KEATING, B. A. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Bonn, v. 92, p. 321-335, 2005.
- LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELLO, J. M.; JUAN, J. A. DE; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 190-198, 2010. Disponível em: < <http://www.journals.elsevier.com/agricultural-water-management/>>. Acesso em 21/06/2011.
- MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the genetic-crop continuum. **Field Crops Research**, Bonn, v. 92, p. 119-135, 2005.
- PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; EHOLPANKULOV, E. D.; INCHEKNOVA, O. P.; TEODORO, P. R.; HORST, M. G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 723-735, 2009. Disponível em: < <http://www.journals.elsevier.com/agricultural-water-management/>>. Acesso em 15/08/2011.
- PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água – Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2ª Ed. Viçosa: UFV. 2009. 279 p.
- SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, Bonn, v. 92, p. 291-303, 2005.
- SINGH, P.; SOLOMON, S.; SHRIVASTAVA A. K.; PRAJAPATI C. P.; SINGH R. K. Post-harvest deterioration of sugarcane and its relationship with the activities of invertase and dextranucrase during late-crushing season in sub-tropics. **Sugar Tech**, Lucknow, v. 10, n. 2, p. 133-136, 2008.
- SOLOMON, S. Post-harvest deterioration of sugarcane. **Sugar Tech**, Lucknow, v. 2, n. 11, p. 109-123, 2009.
- UDOP - União dos Produtores de Bioenergia. **Indicadores de Mercado: Cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.udop.com.br/graficos/cana_campo_pr.php> Acesso em: 21 de nov. 2011.
- UPPAL, S. K.; BHATIA, S.; THIND, K. S. Pre milling cane preparation for high sugar recovery and reduction of post harvest losses in sugarcane. **Sugar Tech**, Lucknow, v. 4, n. 10, p. 346-349, 2008.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, Special Issue, p. 187-206, 2003.