



Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial em três ciclos de cana-soca

**Eduardo A. A. Barbosa¹, Flavio B. Arruda², Regina C. M Pires²,
Tonny J. A. da Silva³ & Emilio Sakai²**

RESUMO

Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar o efeito da irrigação, da fertigação mineral e da vinhaça, aplicadas via irrigação por gotejamento subsuperficial, no número de perfilhos, produção de colmos, qualidade tecnológica e rendimento de açúcar recuperável, nos três primeiros ciclos de cana-soca. Os tratamentos foram: T1NI - Cultivo não irrigado com adubação mineral; T2I - Cultivo irrigado e fertirrigado com fertilizantes minerais; T3lv - Cultivo irrigado e fertirrigado com a vinhaça suprindo o K e complementação do NP via fertilizantes minerais e T4IV - Cultivo irrigado e fertirrigado, com a vinhaça suprindo o NPK. No ciclo da primeira cana-soca não houve efeito dos tratamentos sobre as variáveis; já nos ciclos subsequentes o T2I e o T3lv exibiram maiores números de perfilhos, 17,4 e 17,2 perfilhos m^{-1} na segunda cana-soca e 16,6 e 16,0 perfilhos m^{-1} na terceira cana-soca, respectivamente. A produção de colmo foi alterada com o T4lv obtendo-se a maior produção, 179,6 $Mg\ ha^{-1}$, na segunda cana-soca e T2I e T3lv na terceira cana-soca, 151,5 e 151,0 $Mg\ ha^{-1}$, respectivamente. Não houve efeito dos tratamentos sobre a qualidade tecnológica e no ciclo da segunda cana-soca os T3lv e T4IV exibiram elevado rendimento de açúcar, 25 e 25,9 $Mg\ ha^{-1}$, respectivamente.

Palavras-chave: irrigação, produção de colmos, sacarose da cana-de-açúcar

Sugarcane fertigated with vinasse under subsurface drip irrigation in three cycles of cane-ratoon

ABSTRACT

The objective of this study was evaluate the effect of irrigation and fertigation with mineral fertilizer and vinasse applied by subsurface drip irrigation, in the number of tiller, stem yield, technological quality of sugarcane and yield of recoverable sugar in first three cycles of ratoon cane. The treatments were: T1NI – cultivation without irrigation with mineral fertilization; T2I – cultivation fertigated with mineral fertilizers; T3lv – cultivation fertigated with the vinasse supplying K and complementation of NP with mineral fertilizer; T4IV – cultivation fertigated with the vinasse supplying NPK. In the cycle of the first ratoon cane, there was no effect of treatments on the variables, already in the subsequent cycles, the T2I and T3lv showed higher numbers of tillers, 17.4 and 17.2 tiller m^{-1} , in the second ratoon cane and 16.6 and 16.0 tiller m^{-1} in the third ratoon cane, respectively. The stem yield was amended with the T4IV obtaining the higher yield, 179.6 $Mg\ ha^{-1}$, in the second ratoon cane, and the T2I and T3lv in the third ratoon cane, 151.5 and 151.0 $Mg\ ha^{-1}$, respectively. There was no treatment effect on the technological quality and in the second ratoon cane the T3lv and T4IV showed higher yield of sugar, 25 and 25.9 $Mg\ ha^{-1}$, respectively.

Key words: irrigation, yield stem, sucrose of sugarcane

¹ FEAGRI/UNICAMP, Av. Candido Rondon, 501, CEP 13083-875, Campinas, SP. Fone: (19) 35211029. E-mail: eduardo.agnellos@gmail.com

² IAC/APTA/SAA, Av. Theodureto de A. Camargo, 1500, C.P. 28, CEP 13001-970, Campinas, SP. Fone: (19) 32021701. E-mail: farruda@iac.sp.gov.br; rcmpires@iac.sp.gov.br; emilio@iac.br

³ ICAT/UFMT. Rodovia MT-270, Km 06, Sagrada Família, CEP 78735-910, Rondonópolis, MT. Fone: (66) 3410-4104. E-mail: tonny.silva@pq.cnpq.br

INTRODUÇÃO

Na cultura da cana-de-açúcar o potencial de viabilização da tecnologia da irrigação é promissor. Inman-Bamber (2004), Dalri et al. (2008) e Andrade Júnior et al. (2012) verificaram que a utilização da irrigação na cana-de-açúcar resultou em maior crescimento da planta, densidade de colmo, índice de área foliar, além de acréscimo na produtividade agrícola e rendimento de açúcar o que, economicamente, viabiliza o uso da irrigação na cana-de-açúcar (Santos & Frizzone, 2006). Utilizando a técnica da irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS), Dalri & Cruz (2008) observaram que a adoção da IGS aumentou em média 33% a produção de colmos, em dois ciclos de cana-soca, quando comparada com a do cultivo não irrigado.

A IGS é uma técnica que aplica água diretamente na zona radicular minimizando as perdas de água por evaporação da superfície do solo ou dossel das plantas, escoamento superficial e percolação profunda (Lamm & Trooien, 2007). Lamm et al. (1995) demonstraram economia no uso da água, em 25%, quando utilizada a IGS comparada ao gotejamento superficial. Quando não há problemas relacionados a entupimento o uso da IGS em solos homogêneos reapresenta elevada uniformidade de aplicação de água, sendo superior à uniformidade da irrigação por gotejamento superficial (Gil et al., 2008) o que favorece o uso dos fertilizantes via fertirrigação (Lamm & Trooien, 2007). Outro aspecto interessante relacionado à IGS é o uso seguro de águas residuárias por evitar o contato direto com a parte aérea das plantas e com o operador.

A vinhaça, subproduto gerado pelo setor sucroalcooleiro (CETESB, 2006) apresenta, em sua composição, quantidades significativas de elementos químicos essenciais às plantas (0,46 kg m⁻³ de N, 0,24 kg m⁻³ de P₂O₅, 3,06 de K₂O, 2,67 kg m⁻³ de SO₄ e 1,18 kg m⁻³ de CaO) e elevado teor de matéria orgânica (0,53 kg m⁻³) (Glória & Orlando Filho, 1984). Benefícios como aumento no perfilhamento e produção de colmos, foram verificados por Wang et al. (2006) e Oliveira et al. (2009) quando da aplicação de vinhaça via fertirrigação na cana-de-açúcar.

Pesquisas realizadas nos últimos anos evidenciam que a aplicação de vinhaça na cana-de-açúcar altera sua qualidade em virtude de proporcionar mudanças no teor de sólidos solúveis (TSS) e no teor de sacarose do caldo (Pol). Tasso Júnior et al. (2007) observaram, utilizando a vinhaça para suprimento do K₂O e complementada com ureia benefícios, como aumento de Pol e TSS, no ciclo da cana-planta e cana-soca, respectivamente. Singh et al. (2007) obtiveram aumentos no Pol de três variedades de cana-de-açúcar quando aplicaram uma lâmina de irrigação com 25% de vinhaça. Barbosa et al. (2012) verificaram que a aplicação de vinhaça para suprir as necessidade de N e K₂O (200 m³ ha⁻¹) durante o ciclo de cana-planta elevou o TSS do

caldo quando comparado com o da testemunha não irrigada, com adubação de cobertura.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da irrigação, da fertirrigação mineral e de vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial, no número de perfilhos, na produção de colmos, na qualidade tecnológica e no rendimento de açúcar teórico recuperável da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira, segunda e terceira socas, em Guaíra - SP.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Nossa Senhora das Graças, pertencente à Usina Colorado, em Guaíra - SP, localizada na latitude 20° 16' S, longitude 48° 10' W e altitude 594 m. O clima da região, segundo Köeppen, é do tipo Aw, classificado como tropical com inverno seco e temperatura do mês mais frio igual ou superior a 18 °C (Rolim et al., 2007). A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB85536. Iniciou-se este experimento após a colheita da cana-planta, em 16 de agosto de 2006 continuou até a colheita da produção, referente à terceira cana-soca, em agosto de 2009.

O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, sendo: T1N1 – Cultivo não irrigado com adubação mineral; T2I – Cultivo irrigado e fertigado com fertilizantes minerais (NPK); T3Iv – Cultivo irrigado e fertigado, com a vinhaça suprindo o K e complementação do N e P via fertilizantes minerais e T4IV – Cultivo irrigado e fertigado, com a vinhaça suprindo o NPK. Cada parcela experimental constou de 10 linhas de 1,5 m de largura e 15 m de comprimento, com espaçamento de cultivo entre linha de 1,5 m deixando-se, como bordadura, as duas primeiras linhas e as três últimas linhas mantendo-se as cinco linhas centrais para análise de produção e qualidade do caldo.

Para caracterização física do solo foram coletadas amostras não deformadas de solo, para determinação das curvas de retenção de água no solo, porosidade total e densidade do solo e amostras deformadas para caracterização granulométrica do solo, nas profundidades de 0-0,25; 0,25-0,50 e 0,50-0,75 m. (Tabela 1). A determinação da umidade volumétrica em função do potencial de água no solo (ϕ_s) foi realizada utilizando-se o aparelho extrator de Richards; posterior à determinação da umidade em função do potencial de água no solo foram realizadas a confecção das curvas características de retenção da água no solo e a determinação das equações para cada profundidade.

Em agosto de 2006 foi realizada, após a colheita da cana-planta, amostragem do solo nas camadas de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, para averiguação dos atributos químicos do solo; os resultados obtidos para cada camada estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 1. Equações de regressão representando a curva de retenção da água no solo juntamente com os respectivos coeficientes de determinação (R²) e atributos físicos do solo nas profundidades de 0-0,25; 0,25-0,50 e 0,50-0,75 m

Camada m	Eq. curva de retenção de água no solo (θ : m ³ m ⁻³ , ϕ_s : MPa)	R ²	Ds kg m ⁻³	Pt %	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila
0 – 0,25	$\theta = -2,9490 \cdot \ln(\phi_s) + 25,876$	0,97	1,06	62,1	187	290	523
0,25 – 0,50	$\theta = -2,8791 \cdot \ln(\phi_s) + 29,422$	0,98	1,19	59,0	171	242	587
0,50 – 0,75	$\theta = -2,2595 \cdot \ln(\phi_s) + 28,565$	0,88	1,15	61,7	169	226	605

θ , Umidade volumétrica do solo; ϕ_s , Potencial matricial da água no solo; Ds, Densidade do solo; Pt, Porosidade total

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental

Camada m	pH H ₂ O	M.O. %	P mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V %
				cmol _c dm ⁻³					
0 - 0,20	6,2	2,6	14,5	2,6	0,7	7,5	1,1	11,5	81,4
0,20 - 0,40	6,3	2,1	12,2	2,4	0,7	6,8	1,2	11,0	79,0
0,40 - 0,60	6,5	1,7	9,3	2,3	0,7	5,6	0,8	9,05	79,6

As adubações foram realizadas de acordo com a recomendação de Raij et al. (1996) a partir dos resultados obtidos das análises químicas do solo e Ripoli & Ripoli (2004) pela expectativa de produção. No ciclo agrícola da primeira cana-soca (2006/2007), a adubação de referência foi de 150 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de K₂O, para os T1NI e T2I. No T3Iv foram aplicados 40,5 m³ ha⁻¹ de vinhaça e 130 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, igualando a adubação de N e P₂O₅, referente ao T1NI e ao T2I. No T4IV aplicou-se somente a vinhaça como fonte de suprimento dos nutrientes na dose de 284 m³ ha⁻¹; está dose supriu a mesma quantidade de N referida no T1NI e no T2I.

No ciclo agrícola da segunda cana-soca (2007/2008) a adubação de referência foi de 150 kg ha⁻¹ de N, 25 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 300 kg ha⁻¹ de K₂O, para o T1NI e T2I. No T3Iv foi aplicada a dose de 135,4 m³ de vinhaça e 88 kg ha⁻¹ de N, igualando a adubação de N do T1NI e do T2I. No T4IV aplicou-se a dose de 283 m³ ha⁻¹ de vinhaça, conforme relatado no ciclo anterior está dose supriu a mesma quantidade de N referida no T1NI e no T2I.

No ciclo agrícola da terceira cana-soca, 2008/2009, a adubação de referência foi de 120 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O, para T1NI e T2I. No T3Iv aplicou-se a dose de 52,3 m³ ha⁻¹ de vinhaça e 96 kg ha⁻¹ de N e 68 kg ha⁻¹ P₂O₅, equilibrando a adubação de N dos T1NI e T2I. No T4IV aplicou-se a dose de 338,6 m³ ha⁻¹ de vinhaça. Diferentemente dos outros anos, quando a vinhaça supriu o N, neste ciclo a dose de vinhaça aplicada proporcionou a mesma quantidade de P₂O₅ referida nos T1NI e T2I visto que se a dose fosse baseada no valor de N seria necessário realizar a complementação do P₂O₅ via fertilizante mineral, não estando de acordo com os objetivos da pesquisa.

Para contabilizar o aporte nutricional relativo às dosagens de vinhaça aplicadas, foram realizadas 58 coletas de vinhaça ao longo dos anos de 2005 a 2006, para caracterização da vinhaça. Os valores médios obtidos foram de 0,53 kg m³ de N, 0,24 kg m³ de P₂O₅ e 3,7 kg m³ K₂O. A aplicação de vinhaça foi encerrada em dezembro, durante o período experimental, devido à indisponibilidade do resíduo. Tal fato na região Centro-Sul do Brasil é devido ao corte da cana-de-açúcar ocorrer principalmente entre os meses de abril a outubro e, conseqüentemente, a moagem da cana nos meses de novembro a março é baixa havendo, sem dúvida, pouca disponibilidade ou inexistência da vinhaça para a fertirrigação de culturas. As fertirrigações, tanto minerais quanto com vinhaça, se iniciaram 15 dias após a colheita.

A aplicação dos fertilizantes na fertirrigação ao longo do ciclo foi realizada de acordo com a marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar (Haag et al., 1987). A fertirrigação mineral foi dividida em 32 aplicações ao longo do ciclo, realizadas semanalmente e encerradas 45 dia antes da colheita. Os adubos utilizados na fertirrigação mineral foram: nitrato de cálcio, MAP purificado e sulfato de potássio.

A lâmina de irrigação aplicada foi estimada considerando-se a evapotranspiração da cultura (ETc) e o intervalo entre irrigações. A estimativa da ETc foi realizada a partir dos valores da evapotranspiração de referência (ETo) e dos valores de Kc da cana-de-açúcar. A estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foi realizada pelo método Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Os elementos climáticos foram obtidos de uma Estação Meteorológica Automática, situada a 800 m da área experimental. As irrigações foram aplicadas três vezes por semana e suspensas quando da ocorrência das chuvas e 45 dias antes da colheita, para favorecimento da maturação e concentração de sacarose no colmo.

Os tubos gotejadores foram instalados a 0,30 m de profundidade, com emissores espaçados a 0,40 m e vazão de 1,3 L h⁻¹ (Tiran® Netafim). O plantio dos toletes de cana-de-açúcar foi realizado em maio de 2005 na profundidade de 0,20 m, ou seja, 0,10 m acima do tubo gotejador. O plantio foi efetuado após a instalação da linha de irrigação.

As colheitas da cana-de-açúcar foram realizadas manualmente com a cana queimada em todos os ciclos de cultivo; posterior à colheita foi realizada a pesagem dos colmos presentes nas cinco linhas centrais e a pesagem foi realizada com balança de capacidade de até 5000 kg. As colheitas foram realizadas em junho de 2007, julho de 2008 e agosto de 2009, para as primeira, segunda e terceira cana-socas, respectivamente.

Em todos os anos foram coletados, para a análise tecnológica, cinco colmos em cada parcela, logo após a colheita, os quais foram encaminhados ao laboratório da Usina Colorado. A metodologia adotada para a análise tecnológica seguiu as recomendações do CONSECANA (2006). Determinaram-se, nas análises tecnológicas, o teor de sólidos solúveis no caldo (TSS), o teor de sacarose aparente do caldo (Pol), o teor de fibra da cana, a pureza aparente do caldo, o teor de açúcares redutores do caldo (AR) e o açúcar total recuperável (ATR). A partir dos valores de ATR e da produção de colmos (P) foi calculado o Rendimento de Açúcar Teórico Recuperável por hectare (RTR), conforme a Eq. 1 a seguir:

$$RTR = \frac{ATR \times P}{1000} \quad (1)$$

em que:

- RTR - rendimento de açúcar teórico recuperável, Mg ha⁻¹
- ATR - açúcar total recuperável, kg Mg⁻¹
- P - produtividade de colmos, Mg ha⁻¹
- 1000 - fator de conversão de kg para Mg

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 0,05 e 0,10 de probabilidade, utilizando o software Assistat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da lâmina de água precipitada e evapotranspirada pela cana-de-açúcar (ETc) e a temperatura média do ar durante a condução do experimento podem ser observados na Figura 1.

No ciclo da primeira cana-soca não foram observados efeitos significativos dos tratamentos sobre o número de perfilhos e a produção de colmos, conforme ilustrado na Tabela 3. As precipitações ocorridas durante o desenvolvimento da cultura no primeiro ciclo da cana-soca, agosto de 2006 a julho de 2007 (Figura 1), proporcionaram disponibilidade hídrica adequada sendo que, nos meses de perfilhamento intenso e desenvolvimento vegetativo elevado, agosto de 2006 a fevereiro de 2007, as precipitações foram superiores a ETc, não havendo a necessidade de irrigar a cultura, realizando-se apenas a fertigação devido ao suprimento nutricional.

Os valores médios do teor de sólidos solúveis (Brix), fibra, sacarose (Pol), açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) se encontram na Tabela 3. Os tratamentos não causaram efeitos nos atributos avaliados na análise tecnológica no primeiro ciclo de cana-soca. Os valores de TSS e de Pol dos tratamentos se mantiveram abaixo dos valores recomendados por Rodrigues (1995),

exceto o Pol do T2I. Segundo Rodrigues (1995) os valores mínimos desejáveis são 18 °Brix e 14,4% para o TSS e Pol, respectivamente. O teor de fibra obtido no ciclo da primeira cana-soca foi baixo (9,4%) quando comparado aos valores preconizados por Ripoli & Ripoli (2004) e Leite (2009), que determinam a faixa de valor de 11 a 13% como adequado para a colheita, uma vez que esses teores de fibra não comprometem a extração do caldo nem o volume de bagaço disponível para a queima. A pureza do caldo apresentou valores adequados (82,9%) acima, portanto, do valor recomendado pela CONSECANA (2006), para recusa da usina frente ao fornecedor, que é 75% porém estão abaixo do recomendado por Ripoli & Ripoli (2004) que preconizam a pureza do caldo igual ou superior a 85%.

Os baixos valores obtidos pelos parâmetros tecnológicos (Tabela 3) ocorreram devido ao volume e distribuição das chuvas durante o ciclo da primeira cana-soca (Figura 1). O volume total de chuvas no período foi de 2099 mm. O grande volume de chuvas durante o ciclo de cultivo prolongou o período vegetativo retardando a fase de maturação mas, em contrapartida, reduz a concentração de sacarose no colmo. Lingle (1999) verificou que o conteúdo de água no colmo da cana-de-açúcar é inversamente proporcional ao conteúdo de sacarose e a síntese de fosfato-sacarose sacarose, e a boa

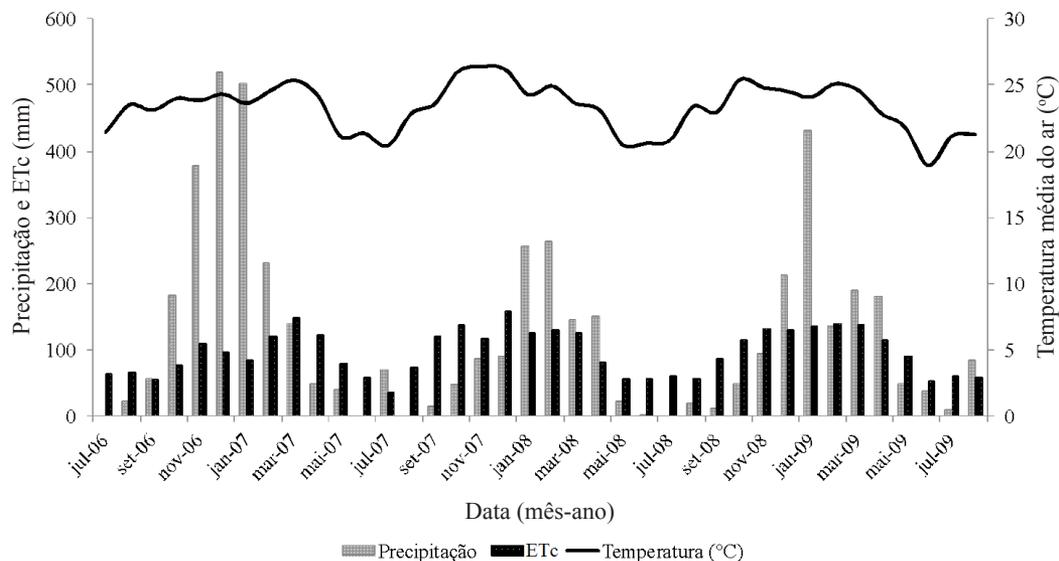


Figura 1. Valores da lâmina de água precipitada e evapotranspirada pela cultura da cana-de-açúcar (ETc) (mm) e temperatura média do ar (°C), em Guaira (SP), durante o período de julho de 2006 a agosto de 2009, referentes ao ciclo de cultivo das primeira, segunda e terceira cana-soca e cana-planta

Tabela 3. Valores médios do número de perfilhos aos 245 dias após a colheita (DAC), da produção de colmos e dos parâmetros tecnológicos obtidos no ciclo da terceira cana-soca

Fonte de variação/ Tratamento	Perfilhos (m ⁻¹)	Produção de colmos Mg ha ⁻¹	TSS (°Brix)	Fibra		Pol (%)	Pureza	AR	ATR (kg Mg ⁻¹)	RTR (Mg ha ⁻¹)
Teste F	0,47 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,04 ^{ns}	
Erro padrão	0,25	3,70	0,28	0,34	0,34	0,97	0,03	2,31	0,67	
C.V. (%)	3,43	4,94	3,72	8,07	5,37	2,62	9,80	4,10	7,11	
T1NI	17,60	172,80	17,40	9,80	14,20	81,90	0,73	125,80	21,10	
T2I	17,70	165,10	17,30	9,40	14,60	84,60	0,65	129,30	21,40	
T3lv	17,70	166,80	17,30	9,60	14,30	83,10	0,70	127,20	21,20	
T4IV	18,00	171,50	16,60	8,90	13,60	81,80	0,75	122,60	21,00	

* Significativo a 0,05 de probabilidade; ns - Não significativo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan; TSS - Teor de sólidos solúveis; Pol - Teor de sacarose; AR - Açúcares redutores; ATR - Açúcar total recuperável; RTR - Rendimento teórico de açúcar recuperável

disponibilidade hídrica para a planta retarda o processo de maturação da cana-de-açúcar.

No ciclo da segunda cana-soca o número de perfilhos apresentou diferença significativa (Tabela 4). Os tratamentos T2I e T3Iv sinalizaram os maiores números de perfilhos, 17,4 e 17,2 perfilhos m⁻¹, respectivamente, diferenciando-se do tratamento T1NI. O número de perfilhos nos tratamentos com aplicação de vinhaça, T3Iv e T4IV, não apresentou diferenças significativas em relação ao tratamento T2I; portanto, não foi observado efeito benéfico da vinhaça no aumento ou manutenção dos perfilhos diferindo do resultado obtido verificado por Wang et al. (2006).

Ao comparar a dinâmica de perfilhamento da cana-de-açúcar cultivada sem restrição hídrica mas com restrição na fase inicial e restrição na fase intermediária de desenvolvimento, Robertson et al. (1999) verificaram que a cana-de-açúcar sem restrição hídrica na fase inicial, apresentou elevado número de perfilhos, 28 perfilhos m⁻² aos 120 dias após o plantio, número este que diferiu do cultivo com déficit hídrico na mesma fase, com baixo número de perfilhos aos 120 dias após o plantio (16,6 perfilhos m⁻²). No entanto, referidos autores relataram, no mesmo ano, igualdade no número de perfilhos a partir dos 180 dias após o plantio até a colheita. Por meio da Tabela 4 verificou-se que aos 225 dias após a colheita o número de perfilhos, foi favorecido pelo uso da irrigação diferindo dos resultados obtidos por Robertson et al. (1999) ressaltando a necessidade de estudos futuros que considerem as condições climáticas preponderantes e também a ocorrência de acamamento na colheita anterior com arranquio ou não das soqueiras.

O tratamento T4IV apresentou a maior produção de colmos com valor médio de 179,6 Mg ha⁻¹, diferindo do tratamento não irrigado, que atingiu 160,3 Mg ha⁻¹ (Tabela 4). Não houve diferenças na produção de colmos entre os tratamentos irrigados (T2I, T3Iv, T4IV). O resultado da produção de colmo da segunda cana-soca indica que a aplicação de vinhaça como fonte nutricional de NPK, nos anos em que a relação do total precipitado menos ETc foi negativa e garantiu produção de colmo superior aos cultivos sem irrigação.

No segundo ciclo de cana-soca não houve efeito dos tratamentos nos parâmetros tecnológicos (Tabela 4), exceto para o rendimento de açúcar teórico recuperável. Neste ciclo o clima favoreceu o processo de maturação possibilitando déficit hídrico e com temperatura média do ar de aproximadamente 21 °C três meses antes da colheita que, de acordo com Liu et al. (1998) favorece o processo de maturação da cultura.

O TSS e o Pol, no ciclo da segunda cana-soca estão de acordo com o recomendado por Rodrigues (1995) e Ripoli & Ripoli (2004), com valores médios de 18,7 °Brix para o TSS e 16,3% para o Pol. A pureza do caldo nos diferentes tratamentos esteve dentro dos padrões estabelecidos pela CONSECANA (2006) e recomendados por Ripoli & Ripoli (2004) (Tabela 4), com valor médio de 87%.

O rendimento de açúcar teórico recuperável (RTR), no ciclo da segunda cana-soca diferiu significativamente entre os tratamentos. O tratamento não irrigado apresentou baixo valor RTR (21,8 Mg ha⁻¹) em relação aos verificados nos tratamentos com aplicação de vinhaça, T3Iv e T4IV, que apresentaram valores médios de 25,0 e 25,9 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Prado & Pancelli (2006) constataram que os maiores valores de RTR se devem à produção de colmos e não às melhorias nos atributos relacionados à qualidade tecnológica. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4 o favorecimento da RTR provém principalmente da maior produção de colmos concordando com o citado por Prado & Pancelli (2006).

O número de perfilhos no início da fase de maturação no ciclo da terceira cana-soca apresentou diferenças significativas (p > 0,05) entre os tratamentos analisados (Tabela 5). O tratamento T2I obteve maior número de perfilhos quando comparado aos T1NI e T4IV e o tratamento T3Iv apresentou maior perfilho que o T1NI. De acordo com os resultados obtidos verificou-se ganho no número de perfilhos nos tratamentos irrigados sem vinhaça e com a aplicação da menor dose de vinhaça (T2I e T3Iv).

Em relação à produção de colmos no terceiro ciclo cana-soca, ocorreu efeito significativo dos tratamentos a nível de 0,01 de probabilidade (Tabela 5). Os tratamentos T2I e T3Iv obtiveram maiores produções de colmo, com ganho de produção de 11,1 e 10,6 Mg ha⁻¹, respectivamente, em referência ao obtido pelo tratamento não irrigado.

Conforme os resultados da análise tecnológica obtidos no ciclo da terceira cana-soca (Tabela 5) não se constatou alteração na qualidade da matéria-prima pela fertigação e aplicação de vinhaça, como observado nos ciclos anteriores (Tabelas 3 e 4). Dalri et al. (2008) não verificaram, avaliando o efeito da irrigação por IGS e utilizando três doses de N e K, em dois ciclos de cana-soca, efeitos da irrigação e fertigação mineral nos parâmetros relacionados à qualidade tecnológica corroborando com os resultados desta pesquisa.

A temperatura média do ar e a baixa precipitação ocorrida no final do ciclo de cultivo da terceira cana-soca, meses de

Tabela 4. Valores médios do número de perfilhos aos 225 dias após a colheita (DAC), da produção de colmos e dos parâmetros tecnológicos obtidos no ciclo da terceira cana-soca sob diferentes tratamentos

Fonte de variação/ Tratamento	Perfilhos (m ⁻¹)	Produção de colmos Mg ha ⁻¹	TSS (°Brix)	Fibra	Pol	Pureza	AR	ATR	RTR
				(%)			(kg Mg ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	
Teste F	3,21*	3,32*	0,53 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,10 ^{ns}	5,17*
Erro padrão	0,65	6,16	0,45	0,27	0,53	0,90	0,03	3,74	1,03
C.V. (%)	8,75	4,69	5,39	5,97	7,35	2,32	11,63	5,94	9,64
T1NI	15,8 a	160,3 a	18,10	9,90	15,60	86,20	0,60	135,90	21,8 b
T2I	17,4 b	166,4 ab	18,80	10,10	16,30	86,70	0,58	141,20	23,5 ab
T3Iv	17,2 b	174,8 ab	18,90	10,10	16,50	87,20	0,57	142,60	25,0 a
T4IV	16,8 ab	179,6 b	19,00	10,10	16,70	87,80	0,55	144,00	25,9 a

* Significativo a 0,05 de probabilidade; ns - Não significativo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan; TSS - Teor de sólidos solúveis; Pol - Teor de sacarose; AR - Açúcares redutores; ATR - Açúcar total recuperável; RTR - Rendimento teórico de açúcar recuperável

Tabela 5. Valores médios do número de perfilhos aos 305 dias após a colheita (DAC), da produção de colmos e dos parâmetros tecnológicos obtidos no ciclo da terceira cana-soca

Fonte de variação/ Tratamento	Perfilhos (m ⁻¹)	Produção de colmos Mg ha ⁻¹	TSS (°Brix)	Fibra	Pol	Pureza	AR	ATR	RTR
				(%)					
Teste F	5,36*	2,35*	0,67 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Erro padrão	0,36	4,48	0,46	0,27	0,49	0,59	0,02	3,41	0,84
C.V. (%)	5,30	6,76	4,99	5,60	6,01	1,50	7,86	4,94	3,43
T1NI	14,6 a	140,4 a	21,20	10,70	18,80	88,40	0,52	159,50	21,8
T2I	16,6 c	151,5 b	20,40	10,60	17,80	87,10	0,57	152,20	23,5
T3lv	16,0 bc	151,0 b	20,10	10,90	17,70	88,20	0,53	150,70	25,0
T4IV	15,2 ba	149,5 ab	20,80	10,80	18,30	88,40	0,58	155,70	25,9

* Significativo a 0,05 de probabilidade; ns - Não significativo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan; TSS - Teor de sólidos solúveis; Pol - Teor de sacarose; AR - Açúcares redutores; ATR - Açúcar total recuperável; RTR - Rendimento teórico de açúcar recuperável

maio a julho de 2009 (Figura 1) foram adequadas para o processo de maturação da cana-de-açúcar conforme citado por Liu et al. (1998). A temperatura média do ar no período de maio a julho de 2009 foi de 20,3 °C; já a diferença entre a precipitação e a ETc foi negativa, com valor para este período específico de -108,7 mm (Figura 1), indicando baixo aporte hídrico para a cultura. Como houve boas condições climáticas para a maturação da cana-de-açúcar os valores de Pol foram elevados apresentando valor médio de 18,2%; o TSS também foi elevado, sinalizando valor de médio de 20,6 °Brix.

Nos três ciclos de cultivo não se verificou efeito da aplicação da vinhaça sobre a qualidade da matéria-prima nem, tampouco, ficou evidenciado qualquer efeito de sua aplicação via irrigação por gotejamento subsuperficial sobre a produção de sacarose. Cô Júnior et al. (2008) realizando quatro aplicações de vinhaça na cana-de-açúcar não observaram efeito residual sobre a qualidade tecnológica corroborando com este trabalho. Porém Tasso Júnior et al. (2007), Singh et al. (2007) e Barbosa et al. (2012) obtiveram, aplicando a vinhaça via fertirrigação, aumentos na concentração de sacarose do caldo no cultivo da cana-de-açúcar.

Durante o ciclo da primeira cana-soca foi registrado o maior volume de chuvas com precipitação total de 2099 mm e a menor evapotranspiração da cultura, com valor de 949 mm. As chuvas registradas no ciclo da primeira cana-soca foram superiores às registradas nos ciclos subsequentes em 46 e 29%, respectivamente. No ciclo 2006-2007 houve um saldo positivo de 1150 mm, quando subtraído o total precipitado pelo total evapotranspirado da cultura de cana-de-açúcar, conforme apresentado na Tabela 6. Ressalta-se que nenhum dos parâmetros analisados nesta pesquisa apresentou diferença significativa entre os tratamentos no ciclo da primeira cana-soca, salientando o efeito das chuvas neste ciclo.

Durante o ciclo agrícola da segunda cana-soca a relação entre o total precipitado e o total da evapotranspiração da

Tabela 6. Resposta da produção de colmo e RTR da cana-de-açúcar irrigada em relação à diferença entre o excedente hídrico (EH) e o déficit hídrico (DH) ocorrido nos diferentes ciclos agrícolas

Ciclo agrícola	EH-DH (mm)	Produção de colmo	RTR
		Significância	
1º Cana-soca	1051	Não Significativo	Não Significativo
2º Cana-soca	-65	Significativo*	Significativo*
3º Cana-soca	34	Significativo**	Não significativo

* Significativo a 0,05 de probabilidade; ** - Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste de Duncan; RTR - Rendimento teórico de açúcar recuperável

cultura foi negativa, com valor de -128 mm (Tabela 6). Neste ciclo o total precipitado foi de 1147 mm, sendo o menor valor dentre os três ciclos de cana-soca. No ciclo da segunda cana-soca verificou-se efeito significativo do uso da IGS sobre a produção de colmo e RTR, no nível de 0,05 de significância pelo teste de Duncan.

No ciclo da terceira cana-soca a relação entre o total precipitado e o total ETc foi positiva, com valor de 191 mm e o valor total precipitado neste ciclo foi de 150 mm. No ciclo da terceira cana-soca a produção de colmos foi alterada significativamente pelo uso da IGS, porém no nível de 0,01 probabilidade e não houve efeito sobre o RTR. As informações apresentadas na Tabela 6 indicam que as pesquisas relacionadas à irrigação por gotejamento subsuperficial na cana-de-açúcar e seu uso prático, devem ser direcionados às regiões com ETc superior às precipitações ao longo ciclo de cultivo.

CONCLUSÕES

1. O uso da irrigação de fertirrigação com fertilizantes minerais e da irrigação e fertirrigação com vinhaça ocasionou aumento no número de perfilhos no ciclo da segunda e da terceira cana-soca.
2. A produção de colmos foi favorecida sob condições irrigadas e fertirrigadas com a vinhaça e pelo uso da irrigação e fertirrigação com adubos minerais e com a vinhaça no ciclo da terceira cana-soca.
3. Alteração no rendimento de açúcar teórico recuperável foi verificada apenas no ciclo da segunda cana-soca, com o cultivo irrigado e com aplicação de vinhaça, obtendo-se o maior rendimento de açúcar.
4. A adoção da irrigação, da fertirrigação e da disposição de vinhaça, aplicadas via irrigação por gotejamento subsuperficial, não alterou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da Bolsa de Mestrado ao primeiro autor; à FINEP-CT-HIDRO, pelos recursos para o desenvolvimento do experimento no campo e à Usina Colorado, pelas análises tecnológicas e apoio às atividades experimentais

LITERATURA CITADA

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. 300p. Irrigation and Drainage.

- Andrade Júnior, A. S.; Bastos, E. A.; Ribeiro, V. Q.; Duarte, J. A. L.; Braga, D. L.; Noletto, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.76-84, 2012.
- Barbosa, E. A. A.; Arruda, F. B.; Pires, R. C. M.; Silva, T. J. A., Sakai, E. Cana-de-açúcar com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.952-958, 2012.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Vinhaça - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, Norma P4.231. São Paulo: CETESB, 2006. 6p.
- Có Júnior, C.; Marques, M. O.; Tasso Júnior, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.196-203, 2008.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.
- Dalri, A. B.; Cruz, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.516-524, 2008.
- Dalri, A. B.; Cruz, R. L.; Garcia, C. J. B.; Duenhas, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. *Irriga*, v.13, p.1-11, 2008.
- Gil, M.; Rodriguez-Sinobas, L.; Juana, L.; Sanchez, R.; Losada, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: Effect on water-application uniformity. *Irrigation Science*, v.26, p.451-458, 2008.
- Glória, N.; Orlando Filho, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. *Revista de Álcool e Açúcar*, v.1, p.32-39, 1984.
- Haag, H. P.; Dechen, A. R.; Carmello, Q. A. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: S. B. Paranhos (ed.) *Cana-de-açúcar, Cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, v.1. 1987. p.88-162.
- Inman-Bamber, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Research*, v.89, p.107-122, 2004.
- Lamm, F. R.; Manges, H. L.; Stone, L. R.; Khan, A. H.; Rogers, D. H. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. *Transactions of the ASAE*, v.38, p.441-448, 1995.
- Lamm, F. R.; Trooien, T. P. Subsurface drip irrigation for corn production: A review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science*, v.22, p.195-200, 2007.
- Leite, G. H. P.; Crusciel, C. A. C.; Silva, M. A.; Venturini Filho, W. G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. *Bragantia*, v.68, p.527-534, 2009.
- Lingle, S. E. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. *Crop Science*, v.39, p.480-486, 1999.
- Liu, D. L.; Kingston, G.; Bull, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.90, p.119-139, 1998.
- Oliveira, E. L.; Andrade, L. A. B.; Faria, M. A.; Custódio, T. N. Vinhaça de alambique e nitrogênio na cana-de-açúcar, em ambiente irrigado e não irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.694-699, 2009.
- Prado, D. M.; Pancelli, M. A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. *STAB*, v.25, p.60-63, 2006.
- Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubações e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 39p. Boletim Técnico
- Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: Colheita, energia e ambiente. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2004. 302p.
- Robertson, M. J.; Inman-Bamber, N. G.; Muchow, R. C.; Wood, A. W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. *Field Crops Research*, v.64, p.211-227, 1999.
- Rodrigues, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: UNESP, 1995. 75p.
- Rolim, G. S.; Camargo, M. B. P.; Lania, D. G.; Moraes, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, v.66, p.711-720, 2007.
- Santos, M. A. L.; Frizzone, J. A. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: Um modelo de análise de decisão para o litoral sul do Estado de Alagoas. *Irriga*, v.11, p.339-355, 2006.
- Singh, S.; Singh, M.; Rao, G. R.; Solomon, S. Application of distillery spent wash and its effects on sucrose content in sugarcane. *Sugar Tech*, v.9, p.61-66, 2007.
- Tasso Júnior, L. C.; Marques, M. O.; Franco, A.; Nogueira, G. A.; Nobile, F. O.; Camilotti, F.; Silva, A. R. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.276-283, 2007.
- Wang, Y.; Mo, Y.; Wang, W.; Li, Y.; Ye, Y. Effect of vinasse irrigation on the activity of three enzymes and agronomic characters at seedling stage of sugarcane. *Sugar Tech*, v.8, p.264-267, 2006.