

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NOS TRÊS PRIMEIROS CICLOS**

ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia - Área de Concentração em
Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP
Outubro de 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NOS TRÊS PRIMEIROS CICLOS**

ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP
Outubro de 2004

Eis como um sábio e médico de Bagdá (1162/3 – 1231), descreve como ser um estudioso:

“Recomendo que não aprendas tuas ciências em livros sem ajuda, mesmo que possas confiar em tua capacidade de compreensão. Recorre a mestres para cada ciência que busques adquirir[...] deve venerá-lo e respeitá-lo”.

Quando leres um livro, faz todo esforço para aprendê-lo de cor e dominar o seu sentido. Imagina que o livro desapareceu e podes passar sem ele, não sendo afetado pela perda [...]

A pessoa deve ler histórias, estudar biografias e as experiências das nações.

Fazendo isso, será como se, em seu curto espaço de vida, tivesse vivido contemporaneamente com as pessoas do passado, privado com elas, e conhecidos os bons e os maus momentos entre elas [...]

Deve desconfiar freqüentemente de tua natureza, em vez de fazer boa opinião dela, submetendo teus pensamentos aos homens de saber e suas obras, avançando com cautela e evitando a pressa[...]

aquele que não suportou a tensão do estudo não provará o prazer do saber.

Não te queixes se o mundo te virar as costas, ele te distrairia da aquisição de excelentes qualidades [...]

sabe que o conhecimento deixa uma esteira e um cheiro que proclamam seu possuidor; um raio de luz e claridade brilhando sobre ele, apontando-o e distinguindo-o[...]”

Texto extraído do livro: Uma História dos Povos Árabes, de Albert Hourani.

Dedico...

*este trabalho aos meus queridos pais,
Célio Dalri e Maria Iuce de Barcellos Dalri, por
todo amor, confiança e sacrifício dedicado à
minha educação...*

*e aos meus irmãos Maria Célia, Ivan, André, Ana
Rita e Raquel, pela alegria de formarmos uma
família feliz.*

*Ofereço à minha esposa, Cristina
Camargo Dalri pelo apoio na condução
deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos a todas as pessoas que, de alguma forma e em algum momento, contribuíram para a realização deste trabalho, e de maneira especial aos amigos: Cláudio Márcio Pereira de Souza, Marcus Vinicius Araújo Mello de Oliveira, Wagner Martins da Cunha Vilella e Luiza Helena Duenhas, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de doutorado, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

Ao Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de doutorado e pelo desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz, pelo apoio e orientação na execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial ao Gilberto Winkler, pela atenção e colaboração na execução desta pesquisa, sem a qual não seria possível concretizar este trabalho.

Aos Professores Antônio Evaldo Klar, Antônio de Pádua Sousa e João Carlos Cury Saad, pelos gestos de incentivo e amizade.

A CAPES, pelo auxílio financeiro com a concessão da bolsa de estudo.

Obrigado!

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	05
2 REVISÃO DE LITERATURA	08
2.1 A cana-de-açúcar – considerações gerais	08
2.2 Irrigação.....	10
2.2.1 Considerações gerais sobre irrigação por gotejamento subsuperficial	11
2.3 Fertirrigação em cana-de-açúcar	13
2.3.1 Nitrogênio na cana-de-açúcar.....	16
2.3.2 Potássio na cana-de-açúcar.....	17
2.4 Necessidades hídricas e efeito da irrigação na cana-de-açúcar	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 Descrição geral da área de estudo.....	27
3.2 Variedade da cana-de-açúcar.....	29
3.3 Instalação do experimento e adubação para o ciclo da cana-planta (1º ciclo)	30
3.3.1 Sistema de irrigação	31
3.4 Análise tecnológica da cana-de-açúcar.....	35
3.5 Definição dos experimentos	36
3.5.1 Experimento 1	36
3.5.2 Experimento 2	41
3.6 Adubação e fertirrigação para a cana-soca e ressoca – experimento 2	42
3.7 Manejo da irrigação no experimento 2	43
3.8 Variáveis analisadas	46
3.9 Análise dos dados	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Experimento 1 – Cana-planta	48
4.1.1 Produção de colmos, ATR e matéria seca	48
4.1.2 Análise tecnológica da cana-planta	53
4.2 Experimento 2 - Cana-soca e cana-ressoca	54
4.2.1 Produção de colmos, ATR e matéria seca	54
4.2.2 Análise tecnológica para o experimento 2 – cana-soca e ressoca	58

4.3 Comportamento geral da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada.....	61
4.4 Avaliação de atributos químicos do solo.....	63
4.5 Considerações sobre o manejo da irrigação	65
4.5.1 Experimento 1 – safra 2000/2001 – cana-planta	65
4.5.2 Experimento 2 – safras 2001/2002 e 2002/2003 – cana-soca e ressoca.....	68
4.6 Avaliação dos emissores.....	73
4.7 Considerações gerais	76
5 CONCLUSÕES	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Quantidade de nitrogênio e potássio (kg) contidos em 100 t de colmo (massa fresca) em cana-soca para três tipos de solo e três variedades diferentes	18
2 Consumo de água pela cana-de-açúcar, Scardua e Rosenfeld (1987)	22
3 Resultados produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento	25
4 Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes). Antes do plantio da cana.....	28
5 Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes). Antes do plantio da cana.....	28
6 Características físicas do solo da área experimental	28
7 Equações que descrevem as curvas características de retenção de água no solo geradas a partir de dados de laboratório	29
8 Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cana-planta	38
9 Valores médios de U_{cc} , U_{pmp} , ds , e os valores estimados de U_{cr} , tensão máxima de água no solo e FDA	40
10 Características químicas do solo da área experimental após a 1 ^o colheita da cana.....	42
11 Parcelamento da adubação via fertirrigação e suas respectivas doses proporcionais	44
12 Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cana-soca	45
13 Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cana-ressoca	46
14 Valores médios de produção de toneladas de cana, perfilhamento, ATR e massa de matéria seca por hectare, obtidos no ciclo da cana-planta e sujeitos a diferentes frequências de irrigação	49
15 Valores médios do brix, pol% caldo e pureza para a cana-planta, variedade RB 72 454, sujeitos a diferentes frequências de irrigação.....	53
16 Valores médios de fibra, pol% cana e ATR para a cana-planta, variedade RB 72 454, sujeitos a diferentes frequências de irrigação	54

Quadro	Página
17 Valores médios de produção de cana, ATR e perfilhamento, obtidos no segundo e terceiro ciclo	55
18 Valores médios de produção de matéria seca obtida no segundo e terceiro ciclo	56
19 Valores médios do brix, pol% caldo e pureza para a cana-soca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.....	59
20 Valores médios de fibra, pol% cana e ATR para a cana-soca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.....	59
21 Valores médios do brix, pol do caldo, e pureza para a cana-ressoca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio	60
22 Valores médios de fibra, pol% cana e ATR para a cana-ressoca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.....	60
23 Características químicas do solo da área experimental após a 2 ^o colheita da cana.....	63
24 Características químicas do solo da área experimental após a 3 ^o colheita da cana.....	64
25 Valores mensais obtidos da precipitação e evaporação do tanque Classe A e os valores calculados da evapotranspiração da cultura para o 1 ^o corte	66
26 Índices quantitativos do manejo da irrigação durante o ciclo da cana-planta	67
27 Valores mensais obtidos da precipitação, evaporação do tanque Classe A e os valores calculados da evapotranspiração da cultura para o 2 ^o corte	68
28 Valores mensais obtidos da precipitação, evaporação do tanque Classe A e os valores calculados da evapotranspiração da cultura no 3 ^o corte	70
29 Comparação dos valores de q, CV, q ₂₅ e UD para os emissores novos e usados em cada tratamento do experimento	73

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Distribuição da produtividade da cana-de-açúcar para o Brasil e no Estado de São Paulo no período de 1990 e 2002	07
2 Detalhe da parcela experimental	30
3 Produtividade da cana-de-açúcar obtida no primeiro corte	50
4 Produtividade da cana-de-açúcar obtida no segundo e terceiro ciclo.....	57
5 Aumentos de produção da cana (a) e ATR (b) em relação à testemunha, nos ciclos soca e ressoca, em função da porcentagem da dose recomendada de aplicação de nitrogênio e potássio	58
6 Produção da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada nos três ciclos	61
7 Estimativa da produção mensal da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada no 1º, 2º e 3º ciclos	62
8 Valores médios mensais da temperatura média do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura, para os meses de abril de 2000 a julho de 2001, referente ao ano do 1º ciclo da cana-de-açúcar	67
9 Valores médios mensais da temperatura média do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura para os meses de julho de 2001 a junho de 2002, referente ao ano do 2º ciclo da cana-de-açúcar	69
10 Valores médios mensais de temperatura do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura para os meses de junho de 2002 a julho de 2003, referente ao ano do 3º ciclo da cana-de-açúcar	71
11 Valores médios mensais de precipitação pluvial, correspondente ao período de 1971 a 1998.....	72
12 Valores máximos, mínimos e médios da temperatura durante o período de 03/03/2000 a 15/07/2003	72
13 Comparação gráfica do comportamento dos gotejadores novos em relação aos usados durante o período do experimento.....	75

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido no período de 2000 a 2003 e conduzido em área aberta, localizada no campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA, UNESP. Teve como objetivo principal estudar o efeito da frequência da irrigação subsuperficial por gotejamento no primeiro ciclo da cana-de-açúcar e a fertirrigação com nitrogênio e potássio no segundo e terceiro ciclos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* Spp.), variedade RB 72 454. O estudo foi composto por dois experimentos: 1º) aplicação de uma lâmina d'água quando a evapotranspiração da cultura fosse equivalente a 10 mm, 20 mm e 30 mm, com a testemunha sem irrigação, no primeiro ciclo da cultura; 2º) em função do melhor manejo de irrigação obtido no primeiro ciclo, atribuiu-se uma lâmina de irrigação constante para os tratamentos irrigados, variando-se neste segundo experimento a dose de adubação NK, as quais foram equivalentes a 50%, 100% e 150% da dose recomendada, para o segundo e terceiro ciclos da cultura da cana-de-açúcar. Concluiu-se no experimento 1 que, para o manejo de irrigação adotado, não houve diferença significativa de produção de colmos entre os tratamentos irrigados, havendo diferença apenas quando os tratamentos irrigados foram comparados ao não irrigado. Apesar de não haver diferença estatística no índice produtividade, a frequência de irrigação correspondente a evapotranspiração de 20 mm foi o tratamento que respondeu melhor à irrigação. O valor de produção obtido neste tratamento foi equivalente a 320,60 t ha⁻¹. Em relação à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, a irrigação, bem como o manejo de irrigação adotado no experimento 1, não afetaram as qualidades tecnológicas analisadas (Brix, pol% caldo, pureza,

fibra, pol% cana, ATR). Entretanto, a produção de ATR ha^{-1} (açúcar teórico recuperável) foi significativa, havendo diferença estatística entre os tratamentos irrigados L_2 (média frequência) e L_3 (baixa frequência), sendo que o tratamento L_2 foi o que respondeu melhor à irrigação, obtendo produção de ATR equivalente a $49.973,05 \text{ kg ha}^{-1}$. No experimento 2, referente ao segundo e terceiro ciclos da cultura (soca e ressoca), houve diferença significativa na produção de colmos para os tratamentos que receberam as duas maiores doses de NK em relação à testemunha e, para o tratamento sujeito a menor dose de NK (NK_{50}), não houve diferença significativa quando comparado à testemunha. O tratamento NK_{150} foi o que respondeu melhor à fertirrigação, apresentando valores da ordem de $190,01 \text{ t ha}^{-1}$ e $168,80 \text{ t ha}^{-1}$ para o 2º e 3º ciclos, respectivamente. Neste mesmo experimento verificou-se que a fertirrigação, com as doses de nitrogênio e de potássio citadas anteriormente, não alteraram as qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar no 2º e 3º ciclos. Em relação à produção de ATR o tratamento que recebeu a maior dose de NK (NK_{150}) diferiu dos demais tratamentos, obtendo valores correspondentes a $24.656,35 \text{ kg ATR ha}^{-1}$ na soca e $24.749,94 \text{ kg ATR ha}^{-1}$ na ressoca. Analisando a média de produção das parcelas que responderam melhor aos tratamentos durante os três ciclos, a irrigação proporcionou à cultura da cana-de-açúcar incrementos na produção de colmos em relação à testemunha, valores da ordem de 56,88%, 43,50% e 67,16%, para a cana-planta, soca e ressoca.

YIELD EVALUATION OF SUGARCANE UNDER SUBSURFACE DRIP

IRRIGATION ON THE FIRST THREE GROWTHS. Botucatu, 2004. 89p. Thesis

(Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

SUMMARY

This study was developed from 2000 to 2003, and carried out in an open area at experimental field of the Rural Engineering Department, Agronomical Sciences Faculty (FCA), UNESP. The main goal was to study the effect of subsurface drip irrigation frequency at sugarcane first growing season and fertigation using nitrogen and potassium in the second and third seasons of the sugarcane (*Saccharum Spp.*), RB 72 454 variety. The study was composed by two experiments: 1^o) water application when crop evapotranspiration was equivalent to 10 mm, 20 mm e 30 mm, with a control treatment without irrigation, at the first growing season; 2^o) based on the best irrigation management obtained at the first growing season, it was established a standard irrigation schedule for irrigated treatments, changing on this second experiment the NK fertilizer levels, that were equal to 50%, 100% and 150% of the recommended levels, for the second and the third growing seasons of sugarcane crop. In the first experiment it was concluded, for the adopted irrigation management, that there were no significant differences on stalk yield among the irrigated treatments, but there were differences when irrigated treatments were compared to the control. Although there were no statistical differences on yield index, the irrigation frequency related to the 20mm evapotranspiration was the treatment that had the best answer to irrigation. The yield obtained at this treatment was 320,60 t ha⁻¹. Regarding the sugarcane technological quality, irrigation and irrigation management adopted in the first experiment did not affect the analyzed technological (sucrose). However, the ATR ha⁻¹ (recoverable theoretical sugar) production was significative statistically bring different between irrigated treatments L₂ and L₃, being treatment L₂ that answered better to irrigation, obtaining ATR yield of 49.973,05 kg ha⁻¹. On experiment 2, related to the second and the third growing season (first and second ratoon),

there were significative differences on stalk yield for the treatments that received the two higher levels of in relation to the control and, for the treatment using the lower NK level (NK₅₀), there were no significative differences when compared to the control, considering, first and second ratoon. The treatment NK₁₅₀ was the best concerning to fertigation, presenting yields of 190,01 t ha⁻¹ and 168,80 t ha⁻¹ for the 2nd and 3rd season, respectively. In this same experiment, it was verified that fertigation, with nitrogen and potassium rates related earlier did not affect the technological quality of sugarcane on the 2nd and 3rd seasons. In relation to the ATR yield ha⁻¹ the treatment that received the higher NK rates (NK₁₅₀) differed from the others, obtaining 24.656,35 kg ha⁻¹ on the first ratoon and 24.749,94 kg ha⁻¹ on the second ratoon. Analyzing yield average of the plots that answered better to the treatments during three seasons, and comparing to the control, it has been concluded that irrigation increased production of sugarcane by 56,88%, 43,50%, and 67,16%, respectively for plant cane, first ratoon, and second ratoon.

1 INTRODUÇÃO

Trazida pelos portugueses da Ilha da Madeira, a cana-de-açúcar (*Saccharum* Spp.) ganhou as terras brasileiras em 1502 e, a partir desse momento, nunca mais deixou de ser uma fonte de riquezas para o país (Fioravanti, 2000). Atualmente, a cana-de-açúcar representa um papel de acentuada importância socioeconômica, gerando empregos e divisas. Nos últimos anos, a agroindústria sucroalcooleira vem sofrendo com problemas de diversas naturezas, entre eles, as estiagens. Associada as estiagens, que sempre impõem uma condição de deficiência hídrica à cultura, está a baixa produtividade, por isso o aumento da produção de cana-de-açúcar no Brasil não passa necessariamente pela ampliação da área cultivada, apesar da disponibilidade de terras cultiváveis existentes em todos os estados brasileiros. Para isso existem outros caminhos como, por exemplo, o desenvolvimento de novos cultivares e a implantação da tecnologia da irrigação em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

O desenvolvimento de estudos aplicados ao planejamento da irrigação em cana-de-açúcar é importante, especialmente quando se busca a melhoria da produtividade. Atualmente, a produtividade do Estado de São Paulo registra uma média de 79,3 t ha⁻¹ (FNP, 2003),

valor ainda muito distante do potencial produtivo biológico da cana-de-açúcar, o qual aponta para a estrondosa marca de 345,6 t ha⁻¹ ano⁻¹ (informação verbal)¹.

A cadeia sucroalcooleira movimenta cerca de R\$ 12,7 bilhões por ano, ou seja, 2,3% do PIB brasileiro, gera impostos da ordem de R\$ 1,2 bilhão e, aproximadamente 602.000 empregos diretos. Mesmo passando por um período de concentrações de unidades produtivas, o complexo nacional conta com 308 indústrias sucroalcooleiras em atividade, sendo 81 destilarias que produzem somente álcool e 227 usinas de processamento de cana que produzem álcool e açúcar (Shikida et al., 2002).

A área colhida na safra 2002/2003 produziu 360.409.000 de toneladas de cana-de-açúcar, as quais geraram 22.950.000 de toneladas de açúcar e 12.643.973.000 de litros de álcool (FNP, 2003), dados que colocam o Brasil na condição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o único a implantar em larga escala o álcool como combustível alternativo à gasolina.

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do Brasil, servindo à indústria com matéria-prima para a produção de álcool, açúcar, alimentação animal, e também atuando como fonte de energia, por meio do bagaço, para a geração de eletricidade. Em 2001 foram plantados, no Brasil, 5.202.736 hectares (IBGE, 2003). No Estado de São Paulo, em 2002 a área colhida foi de 2.660.950 hectares. Essa unidade da federação ocupa uma posição de destaque no *ranking* nacional, sendo responsável por 51,12% da área cultivada no território nacional (IBGE, 2003).

A justificativa deste trabalho é elevar a produção de cana-de-açúcar por unidade de área por meio do uso da irrigação. Isso se deve ao fato de que, apesar da elevada gama de tecnologia aplicada pelas usinas de açúcar e álcool, como as elevadas doses de adubos, controle de doenças e plantas daninhas, controle da compactação do solo com o uso de pneus de alta flutuação, variedades melhoradas, etc., a produtividade da cana-de-açúcar se manteve constante nos últimos treze anos, como pode ser observado na Figura 1. Para qualquer cultura agrícola, a água é fator limitante quando se busca extrair da cultura todo seu potencial produtivo. Em todas as pesquisas envolvendo culturas de sequeiro e irrigada, as conclusões são unânimes em afirmar o incremento de produção da cultura irrigada em relação

¹ Informação fornecida por Marcos Guimarães de Andrade Landell – IAC – no I Workshop Internacional de produção de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subterrâneo, em 2001.

à cultura sem irrigação. Assim, não bastará desenvolver novas variedades de cana-de-açúcar com elevado potencial produtivo, bem como deter o genoma da cultura, pois a água será fator decisivo e limitante no aumento da produtividade.

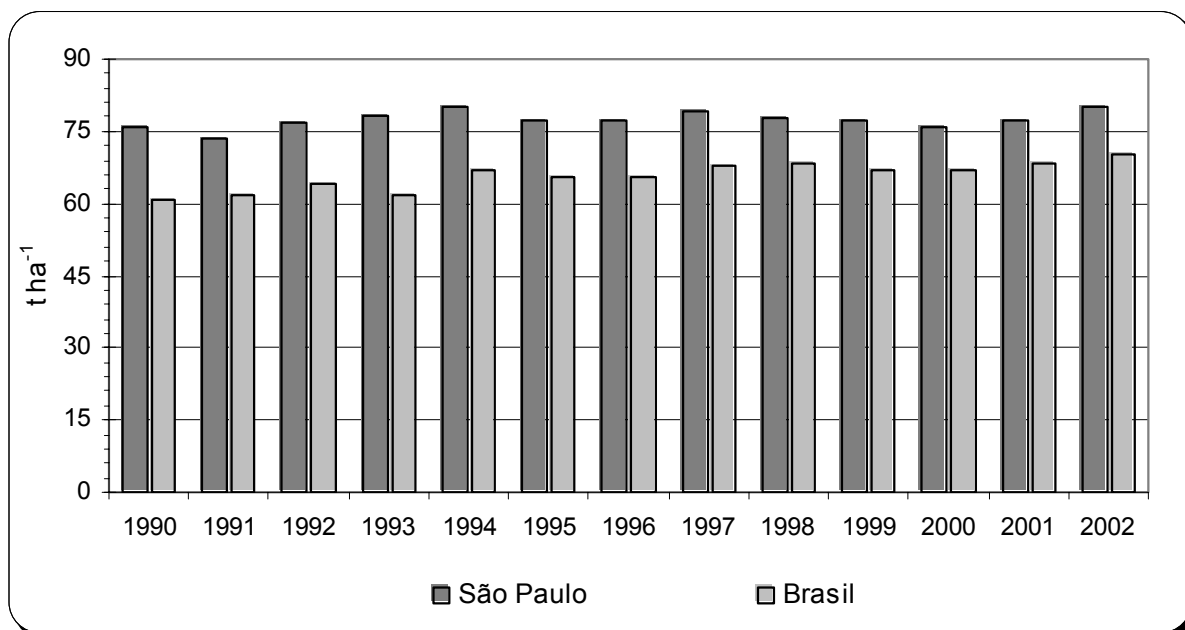


Figura 1. Distribuição da produtividade da cana-de-açúcar para o Brasil e no Estado de São Paulo no período de 1990 e 2002. Fonte: IBGE.

Os objetivos deste estudo com cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial foram:

- 1 – analisar qual a melhor frequência (turno de irrigação) de irrigação subsuperficial por gotejamento para a cana-de-açúcar no 1º ciclo;
- 2 – analisar e quantificar a produtividade e os principais índices tecnológicos da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos;
- 3 – analisar o comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial e fertirrigada com nitrogênio e potássio, para o 2º e 3º ciclos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar – considerações gerais

A cultura da cana-de-açúcar possui múltipla utilização, podendo ser empregada *in natura*, sob a forma de forragem para alimentação animal ou como matéria-prima para fabricação de rapadura, melado, aguardente e principalmente açúcar e álcool combustível. A cana-de-açúcar é uma gramínea tipicamente tropical, adaptada ao clima quente e úmido (Fernandes, 1984). Tem como provável local de origem a Nova Guiné – Oceania (Bull e Glasziou, 1975). No Brasil tem sido cultivada em escala comercial desde a proximidade da linha do Equador, no Estado do Amazonas até regiões subtropicais, como o Estado do Rio Grande do Sul, resultando numa extrema diversidade de unidades edafoclimáticas (FNP, 2003).

Está enquadrada entre as gramíneas de maior eficiência fotossintética, ou seja, é classificada entre as plantas de metabolismo C_4 , assim como milho, sorgo e outras culturas. As plantas com esse metabolismo apresentam maior eficiência fotossintética, em razão da abundância de cloroplastos dispostos em duas camadas na folha. Quantitativamente, isto propicia à cana-de-açúcar, em relação às plantas de metabolismo C_3 , uma taxa de crescimento e eficiência do uso da água duas a três vezes maior (Casagrande, 1996).

De acordo com Casagrande (1991), a cana-de-açúcar, sendo uma gramínea, apresenta sistema radicular fasciculado. Durante as semanas iniciais, as gemas de

brotção da cana utilizam-se das reservas energéticas contidas no próprio tolete e, assim que as primeiras raízes vão se desenvolvendo, inicia-se o suprimento das gemas pelos nutrientes e água contidos no solo. Após esse primeiro estágio de crescimento, inicia-se o desenvolvimento das raízes a partir dos perfilhos primários e, posteriormente, dos secundários. À medida que os perfilhos se desenvolvem, as raízes de fixação perdem sua função e a cana-de-açúcar passa a depender exclusivamente das raízes dos perfilhos. Dependendo das condições climáticas e do teor de água no solo, após aproximadamente 90 dias, todo o sistema radicular encontra-se distribuído nos primeiros 30 cm de profundidade do solo.

Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar são: variedade, umidade, porosidade, densidade do solo e disponibilidade de nutrientes (Casagrande, 1991). Souza (1976b), em experimento realizado com irrigação por sulcos em cana-de-açúcar, observou que, nas parcelas irrigadas, 82% das raízes encontravam-se nos primeiros 60 cm de profundidade, e nas parcelas não irrigadas o valor encontrado foi de 75% para o mesmo perfil. Em pesquisa semelhante, Scardua e Sousa (1976) confirmam que a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento apresenta o sistema radicular concentrado nos primeiros 60 cm de profundidade.

Os dados obtidos por Korndöfer et al. (1990) demonstraram um perfil de crescimento das raízes da cana-de-açúcar em que encontrou para a cana-planta uma concentração de 89% a 92% das raízes nos primeiros 30 cm do perfil do solo, e para a cana-soca 85% a 92% das raízes encontravam-se nos primeiros 40 cm de profundidade. Sobre a posição do tubo gotejador em relação ao plantio da cana-de-açúcar, Soopramanien et al. (1985) relatam que não houve diferença significativa no desenvolvimento das raízes quando os tubos gotejadores foram situados em duas posições distintas, sendo: 1 – quando o tubo foi colocado sob a linha de cana; 2 – quando o tubo gotejador foi colocado entre as linhas de cana, embora o autor cite que houve uma tendência de o tratamento sem irrigação apresentar maior porcentagem de raízes nas camadas mais profundas do perfil do solo. Quanto ao fator teor de água no solo, o mesmo autor afirma que não houve indicação de que o crescimento radicular tenha sido prejudicado no tratamento com condições de prolongada umidade ao redor do gotejador.

2.2 Irrigação

De acordo Bernardo (1995), não se deve fazer irrigação pelo simples prazer de dizer que está fazendo agricultura irrigada, mas sim com o objetivo de aumentar o lucro, com o aumento da produção, quer em quantidade, quer em qualidade, ou com o objetivo de incorporar à agricultura terrenos que, sem o uso da irrigação, não seriam possíveis de cultivar.

O principal objetivo da irrigação é suprir as necessidades hídricas das culturas. Essa técnica não funciona isoladamente, mas sim conjugada com outras práticas de manejo da cultura. A irrigação, além de proporcionar um incremento na produtividade das culturas, atingindo valores maiores que 100%, permite ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas.

Sobre o manejo de irrigação, duas questões estão permanentemente em discussão, são elas: (i) qual lâmina deve ser aplicada; e (ii) quando irrigar. A segunda variável citada diz que longos intervalos entre irrigações podem criar um elevado déficit de água no solo e, conseqüentemente um estresse hídrico na cultura, prejudicando a exploração do máximo potencial produtivo da cultura irrigada. Nos sistemas de irrigação do tipo pressurizado e fixo, irrigações freqüentes são comuns, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Caldwell et al. (1994) apontam como conseqüência dessa elevada umidade no solo, uma deficiência na aeração dele, podendo resultar em uma diminuição do sistema radicular e uma redução na produção. Procurando otimizar o sistema de irrigação e o uso da água, pesquisas sobre freqüência das irrigações são realizadas. Leiva e Barrantes (1998) afirmam, em trabalho realizado na Venezuela, que a freqüência de irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar deve ser de três, quatro ou cinco dias. Segundo Plaut et al. (1985), não houve diferença significativa na produtividade do algodão sob irrigação localizada subsuperficial quando o intervalo entre irrigações era de dois e cinco dias.

Saber quando irrigar, ou mesmo conhecer qual é a freqüência ideal para um manejo de irrigação, é de fundamental importância para regiões onde a disponibilidade do uso da água é limitada, pois nessas regiões deve-se procurar maximizar o uso da precipitação pluvial. A freqüência de irrigação pode afetar o desenvolvimento radicular

da cultura. Para turno de rega com alta frequência de irrigação, o sistema radicular será induzido a ficar estável. Para turno de rega com frequência mais longa, o sistema radicular será forçado a ocupar maior volume de solo para suprir as necessidades hídricas da cultura. O baixo desenvolvimento radicular pode trazer sérios problemas à cultura como acamamento, perda de produtividade e principalmente o arranque da soqueira quando a planta for colhida.

2.2.1 Considerações gerais sobre irrigação por gotejamento subsuperficial

A aplicação do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS), por se tratar de uma prática relativamente nova na cana-de-açúcar, deve ser estudada de forma sucinta quando se refere ao planejamento, manejo da água e cultura, bem como o dimensionamento do sistema de irrigação.

A irrigação por gotejamento subsuperficial é definida pela ASAE S526.1 (1997) como “aplicação de água abaixo da superfície do solo através de emissores com taxa de descarga semelhante à irrigação por gotejamento superficial”.

A aplicação de água abaixo da superfície do solo através de tubos gotejadores poderá se tornar a opção preferida de muitos irrigantes. As razões são muitas: baixa umidade da superfície do solo, propiciando menor evaporação; aumento da vida útil da tubulação; maior umedecimento do solo para um mesmo volume de água aplicado, o que eleva a eficiência do uso da água; redução da incidência de ervas daninhas, diminuindo dessa maneira o uso de herbicidas.

Bar-Yosef (1989) e Oron et al. (1991) citam que as principais vantagens do sistema de gotejamento subsuperficial são: redução da perda de água por evaporação direta da superfície do solo; escoamento superficial reduzido; flexibilidade do uso de máquinas agrícolas; maior disponibilidade de nutrientes, uma vez que o ponto de emissão de água se encontra mais próximo da raiz; maior dificuldade de germinação de sementes de ervas daninhas, uma vez que a superfície do solo se mantém com baixo teor de água. Oron et al. (1999) citam que com a irrigação subsuperficial ocorre uma menor redução na produtividade quando se usa água salina.

Como desvantagens desse tipo de sistema de aplicação de água, Oron et al. (1991) citam que podem ocorrer problemas de germinação de sementes da cultura principal, dificuldade na detecção do local de problemas de entupimento de emissores. Para linhas laterais instaladas a baixa profundidade, pode haver dificuldade no cultivo do solo, resultando em dano mecânico aos tubos gotejadores. O problema de perfuração no tubo gotejador causado por roedores também foi relatado por Sorensen et al. (2001) e Ayars et al. (1995), principalmente nos tubos gotejadores de parede fina.

Tem sido freqüentemente observado por alguns autores que o baixo teor de água na superfície do solo diminui a germinação de ervas daninhas. Grattan et al. (1988) atribuíram a alta produtividade em tomates irrigados por IGS à redução das atividades de ervas daninhas. Ferrell (1990) relata que o elevado custo com a instalação de IGS pode ser compensado pela redução dos gastos com herbicidas, redução da manutenção do sistema de irrigação, redução dos danos mecânicos e também redução do vandalismo. De fato, Bui e Kinoshita (1985) citam que o custo para controle de ervas daninhas é menor para o sistema subsuperficial por gotejamento quando comparado com irrigação por sulco.

Considerando-se que no sistema IGS, a aplicação de água é dada diretamente na zona radicular, ou seja, abaixo da superfície do solo, esse sistema torna-se muito eficiente na redução das perdas por evaporação, bem como na redução do potencial de contágio humano quando se usa água residuária. Além de reduzir o potencial de contágio humano, outra vantagem apresentada pela irrigação por gotejamento subsuperficial se refere à menor probabilidade de aparecimento de problemas fitossanitários.

Como uma das definições da irrigação localizada é a aplicação da água diretamente na zona abrangida pelo sistema radicular, o sistema tem como característica o baixo volume de água aplicada com alta freqüência entre as irrigações. Em razão dessa elevada freqüência, a superfície do solo se mantém, no gotejamento superficial, por um período maior de tempo com alto nível de umidade, fazendo que o primeiro estágio de evaporação persista por maior tempo (Meshkat et al., 2000). Esse primeiro estágio de evaporação a que se refere o autor é caracterizado por Lemon (1956), citado por Reichardt (1996), por uma alta velocidade de evaporação, a qual é constante e independente da umidade do solo, estando principalmente relacionado às condições reinantes na atmosfera junto ao solo, tais como energia radiante, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar.

Sobre a variável de estimativa da quantidade de água consumida pela irrigação localizada, Matthias et al. (1986) estimaram que a evaporação respondeu por uma perda de 33% a 40% da água aplicada em um solo nu irrigado por gotejamento em um período de sete dias. Com o mesmo objetivo, Lamm et al. (1995), utilizando o gotejamento subsuperficial na cultura do milho e analisando os componentes do balanço hídrico de água, indicam que um manejo de água preciso do sistema de irrigação pode reduzir as necessidades de irrigação em até 25%. Também para a cultura do milho, Evett et al. (1995) relatam que o sistema IGS pode proporcionar uma economia de 10% na aplicação de água, quando o tubo gotejador estiver instalado a 30 cm de profundidade.

Quanto ao dimensionamento dos sistemas, a essência principal da hidráulica do gotejamento superficial difere do gotejamento subsuperficial apenas pelo fato de que este sistema exige que seja instalada válvula antivácuo em maior quantidade nos setores da área irrigada. O objetivo dessas válvulas é minimizar o succionamento e conseqüentemente a entrada de partículas de solo no interior do labirinto dos emissores, reduzindo a vazão deles. Também devem ser instaladas válvulas no final de cada linha lateral para propiciar uma lavagem interna dos tubos gotejadores, com o propósito de manter linhas laterais limpas. Phene (1995) sugere que, dependendo da qualidade da água destinada à irrigação, os sistemas subsuperficiais podem requerer aplicações mais freqüentes de ácido e cloro.

2.3 Fertirrigação em cana-de-açúcar

De acordo com a definição de diversos autores, a fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes em estado líquido, juntamente com a água de irrigação. Essa operação, além de ser de grande utilidade para as plantas, pois o fertilizante é fornecido com a água que está sendo aplicada ao solo (essencial para sua absorção), apresenta ainda muitas outras vantagens, entre elas a melhor distribuição do fertilizante no campo, redução dos custos, redução da compactação do solo, maior flexibilidade de aplicação, possibilidade de aplicação em épocas críticas e redução de danos mecânicos à cultura. Para obter uma boa uniformidade de aplicação do fertilizante, Pizarro (1996) recomenda que os fertilizantes sejam

solúveis em água e que não reajam entre si, formando precipitados, o que levaria a obstruções dos emissores.

De acordo com Costa et al. (1986), o sucesso da aplicação de produtos químicos via água de irrigação, em países onde a agricultura irrigada é desenvolvida, tem motivado o uso dessa tecnologia no Brasil.

A principal limitação da fertirrigação está ligada à corrosão dos equipamentos de irrigação, causada pelos fertilizantes químicos, cuja magnitude depende do fertilizante e do equipamento utilizado.

O uso da tecnologia da fertirrigação está diretamente associado às culturas de alto valor comercial e às regiões de bom nível de desenvolvimento em agricultura irrigada. Entretanto, a prática da aplicação de fertilizantes via água de irrigação não é uma tecnologia onerosa. Os injetores de fertilizantes têm preços bem inferiores aos implementos agrícolas de aplicação de adubo. Também, o uso eficiente do método deixa evidente a redução dos custos operacionais como mão-de-obra e energia para aplicação. O método minimiza as perdas dos fertilizantes, pois preconiza o controle e a precisão da aplicação, favorecendo de forma contundente grandes aumentos de produtividade e qualidade do produto agrícola (Villas Bôas et al., 2001).

Várias pesquisas com fertirrigação mostram o incremento da produção com o uso dessa técnica. De acordo com López (1998), a fertirrigação é considerada como um dos mais importantes fatores aumento de produtividade para a agricultura. E, sem dúvida, a irrigação juntamente com a aplicação de produtos químicos via água de irrigação representam, na atualidade, uma tecnologia no sistema de agricultura irrigada, permitindo sobretudo a redução dos custos de produção.

Os melhores métodos de irrigação para aplicação de produtos químicos são os pressurizados, pois estes permitem um melhor controle das aplicações, Costa e Brito (1988). Destes, o método de irrigação por gotejamento é o mais eficaz em comparação aos outros métodos (Medina San Juan, 2000).

Villas Bôas (2001) verificou várias vantagens na adubação do pimentão via fertirrigação por gotejamento, em comparação à adubação convencional.

Em razão da técnica descrita da fertirrigação, esta pode ser realizada utilizando-se como fertilizantes a uréia, cloreto de potássio, cloreto de cálcio, nitrato e sulfato

de amônio, nitrato de potássio e o nitrato de cálcio, entre outros. No entanto, os fertilizantes devem ser solúveis, para evitar problemas de entupimento.

O manejo da fertirrigação em sistemas de irrigação do tipo localizada exige alguns cuidados. Segundo Padilla (1997), devem-se tomar alguns cuidados no manejo da fertirrigação, principalmente quanto às alterações de pH no bulbo úmido e às relações no balanço de nutrientes no solo, alterações estas que dependerão da formulação do fertilizante utilizado na fertirrigação. Para o mesmo autor, a aplicação de fertilizantes amoniacais poderá interferir na adsorção de outros cátions. A escolha da fonte, a frequência e dosagens dos fertilizantes podem elevar demasiadamente a condutividade elétrica da solução solo, prejudicando o desenvolvimento da cultura. Nesse caso, o sistema de fertirrigação deve ser dimensionado para uma aplicação menos concentrada do fertilizante, ou também um aumento da frequência da fertirrigação.

Há no mercado diversos equipamentos para serem utilizados na injeção de produtos químicos na água de irrigação e que são imprescindíveis para a prática da fertirrigação. Entre os injetores disponíveis, há o injetor venturi, que se baseia na transformação de parte da energia de pressão da água na tubulação em energia cinética, quando a água passa pela seção estrangulada dele, transformando-se em energia de pressão quando volta à tubulação principal. O aumento da velocidade da água quando esta passa pela seção estrangulada do venturi, cria-se uma pressão negativa que succiona a solução do reservatório para a linha de irrigação (Costa e Brito, 1994). Os injetores do tipo venturi são comumente usados para fertirrigação em razão de sua simplicidade. De acordo com Pizarro (1996), o inconveniente desse injetor é o fato de que ele causa uma perda de carga da ordem de 30% do valor da carga hidráulica existente na tubulação. Porém, tem como vantagens a construção simples, sem peças móveis, e uma vez calibrado, injeta fertilizantes a uma razão constante, não necessita de uma fonte de energia especial e, principalmente, é um equipamento de custo relativamente baixo.

Em um sistema de cultivo de cana-de-açúcar convencional, ou seja, sem a aplicação da técnica da irrigação, o parcelamento da adubação ao longo do ciclo da cultura é praticamente inviável em razão do porte da cultura, o qual impediria a entrada de máquinas de adubação na área. Com a irrigação é possível o parcelamento da adubação, utilizando-se para isso a tecnologia da fertirrigação.

Matioli et al. (1996) definiram os benefícios da irrigação na cultura da cana-de-açúcar em benefícios diretos e benefícios indiretos. Segundo os autores, os benefícios diretos consistem nos aumentos de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, e os benefícios indiretos são aqueles relacionados com a redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados, por exemplo, pela dispensa de arrendamentos de terras. Com a dispensa dessas áreas arrendadas, os tratos culturais delas serão automaticamente dispensados. Entra também como benefício indireto a redução com o transporte da cana, no caso de a área arrendada for mais distante da unidade industrial que a área irrigada. Além destes benefícios citados pelos autores, a possibilidade da aplicação de adubo via água de irrigação é outra vantagem, trazendo benefícios indiretos ao planejamento da cultura da cana-de-açúcar.

2.3.1 Nitrogênio na cana-de-açúcar

Na literatura há diversos trabalhos que apontam a importância do N₂ para a cultura da cana-de-açúcar. Dillewijn (1952), Silveira et al. (1980) e Carnaúba (1990) afirmam que havendo deficiência de nitrogênio na planta, esta apresenta redução na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais e da energia necessária à produção de carboidratos. De acordo com Fernandes (1984), a deficiência do nitrogênio na cana-de-açúcar tem os seguintes efeitos: folhas com coloração verde-amarelada, passando posteriormente a amarelada; as folhas mais velhas se tornam avermelhadas; provoca a queda das folhas; afeta negativamente o tamanho da planta e do colmo. O nitrogênio constitui uma fração de apenas 1% da matéria seca total na cana-de-açúcar e, ainda assim, sua importância é tão grande quanto a do carbono, hidrogênio e oxigênio, que juntamente perfazem 90% da matéria seca da planta (Dillewijn, 1952).

A cana-planta normalmente apresenta menor potencial de resposta à adubação nitrogenada do que as soqueiras (Orlando Filho e Zambello, 1979; Zambello et al., 1977; Carnaúba, 1990). Ao que se sabe, a energia fornecida pelos toletes da cana no plantio permite o desenvolvimento de microorganismos fixadores de nitrogênio na rizosfera,

fornecendo um suprimento extra do nutriente que, adicionado ao solo, permite o desenvolvimento adequado da cana-planta (Ruschel et al., 1978).

A cana-de-açúcar tem grandes exigências de nitrogênio e potássio e relativamente baixa necessidade de fósforo (Orlando Filho et al., 1980). Experimentos realizados no Estado do Hawai (EUA) mostraram que a cana-planta (1º ciclo) necessitou de 0,9 kg de N para produzir cada tonelada, sendo que a cana-soca (2º ciclo) exigiu 1,3 kg de N para cada tonelada, demonstrando assim que a cana de 1º ciclo é mais eficiente na utilização do nitrogênio que a cana de 2º ciclo (Dillewijn, 1952). No amadurecimento, o teor de nitrogênio no solo deve ser o menor possível para possibilitar a boa recuperação de açúcar, especialmente quando o período de maturação é úmido e quente.

O nitrogênio é o fertilizante mais freqüentemente aplicado via água de irrigação, conforme citado por (Coelho, 1994), e que apresenta os melhores resultados (Pizarro, 1996). Isso se deve ao fato de que, com relação aos outros nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, o nitrogênio apresenta alta mobilidade no solo e, conseqüentemente, alto potencial de perdas principalmente por lixiviação de nitrato. Com o uso da fertirrigação pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados de acordo com a demanda das culturas, reduzindo as perdas sem onerar o custo de produção, afirmam Costa e Brito (1994).

2.3.2 Potássio na cana-de-açúcar

O potássio é essencial para as plantas, pois assume um importante papel em seu desenvolvimento. Esse elemento atua em vários processos metabólicos, entre eles podem-se citar: regulação osmótica, abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese, respiração, síntese de carboidratos, ativação de mais de cinquenta enzimas, entre outros (Malavolta e Crócomo, 1982).

O potássio não participa diretamente como um elemento da estrutura ou dos compostos orgânicos das plantas, porém ele é essencial em quase todos os processos metabólicos dos vegetais, principalmente nas reações de transporte de açúcares das folhas para o colmo. É um macronutriente absorvido em grandes quantidades da solução do solo pelas raízes, sendo responsável pela sanidade e equilíbrio da planta, afirma Pizarro (1996). Medina

San Juan (2000) ressalta que esse macronutriente é essencial na formação e migração de açúcares e amido, interfere ativamente no processo de abertura e fechamento dos estômatos, reduzindo, dessa maneira, a transpiração da planta, contribuindo também para o desenvolvimento de raízes, aumento do tamanho e qualidade dos frutos. O autor ressalta ainda que, qualquer que seja o adubo, deve ser parcelado conforme a frequência de irrigação, pois os melhores resultados da fertirrigação são obtidos com as aplicações mais frequentes.

Em relação à cana-de-açúcar, Orlando Filho et al. (1980) apresentam as doses aproximadas de macronutrientes para produzir 100 toneladas de cana, em que são necessários 174 kg de K, 143 kg de N, 87 kg de Ca, 49 kg de Mg, 44 kg de S e 19 kg de P. Verifica-se que o potássio é o nutriente extraído em maior quantidade, seguido pelo nitrogênio ($K > N > Ca > Mg > P$).

Casagrande (1991) afirma que as ordens de absorção de elementos minerais pela cana-planta em três tipos de solo, e considerando a média de três variedades, são: $N \geq K > Ca > Mg \geq P$, $K > N > Ca > Mg > S > P$; $K > N > Ca > Mg > P \geq S$, respectivamente para as classes de solo LE, LR e PVLs. Para a cana-soca as ordens são: $K > N > Mg > Ca > S > P$, $K > N > Mg > Ca \geq P > S$, $K > N > Mg > Ca > P > S$, respectivamente para as classes de solo LE (Latossolo Vermelho Escuro orto), LR (Latossolo Roxo) e PVLs (Latossolo Vermelho Amarelo var. Laras) . O Quadro 1 apresenta os valores numéricos citados pelo autor.

Esses resultados demonstram a afirmação de vários pesquisadores, segundo a qual na soca o potássio é o nutriente extraído em maior quantidade, seguido pelo nitrogênio.

Quadro 1. Quantidade de nitrogênio e potássio (kg) contidos em 100 t de colmo (massa fresca) em cana-soca para três tipos de solo e três variedades diferentes.

Solos	Variedades					
	CB 41-76		Co 740		IAC52/326	
	N	K	N	K	N	K
LE	66	75	69	121	65	119
LR	66	124	72	139	76	128
PVLs	82	126	81	161	102	189

Adaptado de Casagrande (1991).

Primavesi et al. (1992) analisaram a extração de potássio em cinco variedades de cana e verificaram que o nutriente exportado em maior quantidade foi o potássio, seguido pelo nitrogênio. Esses resultados evidenciam a alta exigência do potássio e do nitrogênio pela cultura da cana-de-açúcar.

As curvas de resposta de produtividade de cana-de-açúcar em função das dosagens de potássio não apresentam inflexão, ou seja, a produtividade cresce de forma linear até dosagens de 900 kg de K_2O ha^{-1} , mas a partir de 600 kg de K_2O ha^{-1} ocorrem problemas de maturação da cana-de-açúcar e de excesso de cinzas no caldo, que comprometem a fabricação de açúcar.

Orlando Filho et al. (1990), em pesquisa realizada com níveis de adubação de fósforo e potássio, utilizando as variedades de cana-de-açúcar NA 56 79 em um Latossolo Vermelho Escuro, e SP 71 1406 em solo Latossolo Vermelho Amarelo, também encontraram uma relação linear de potássio com a produtividade da cana-de-açúcar, em ambas as variedades de cana-de-açúcar e solo estudados. Em relação à qualidade tecnológica, os mesmos autores citam que a elevação da dose de potássio provocou um decréscimo linear no teor de pol% cana, porém não afirmam se esse decréscimo foi significativo.

Rossetto et al. (2004) estudaram a resposta da cana-de-açúcar sobre a adubação potássica e afirmam que houve resposta significativa em sete das dez avaliações envolvendo a cana-planta e soca, e na maioria dos casos as respostas da cana-de-açúcar ao potássio foram lineares.

A deficiência do potássio na cultura da cana-de-açúcar provoca sintomas como: crescimento reduzido, colmos mais finos, folhas com coloração amarelo-alaranjada e teor mais baixo de açúcar (Fernandes, 1984). Malavolta e Crócomo (1982) citam que o potássio tem uma grande importância na redução do acamamento das plantas.

O potássio na cana-de-açúcar é fundamental para assegurar a estrutura celular para assimilação e carbono, bem como para síntese e translocação de proteínas e carboidratos. Quando ocorre deficiência do nutriente, as plantas apresentam maiores teores de açúcares redutores que de sacarose (Korndörfer, 1990).

Citando o mesmo autor, o excesso de potássio no solo aumenta o teor de cinzas no caldo, pois é o elemento que aparece em maior proporção nas cinzas. O elevado teor de cinzas no caldo provoca efeitos negativos na fabricação do açúcar, pois sua ação

melassigênica dificulta a cristalização pela formação de falsos núcleos, reduzindo o rendimento industrial de açúcar; porém a maior presença de cinzas favorece a produção de álcool, uma vez que ela age como fornecedora de nutrientes para as leveduras, aumentando a velocidade e a eficiência do desdobramento dos açúcares em álcool.

Segundo Lucchesi (1995), a adubação e nutrição da cana-de-açúcar têm influência na qualidade e na maturação da matéria-prima. O autor destaca que o nitrogênio provoca uma redução no teor de pol (sacarose) % cana, em razão do aumento da atividade bioquímica das células meristemáticas, favorecendo o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, e conseqüentemente ocorre a diluição da sacarose no caldo. O potássio é responsável pela translocação da sacarose para o local de armazenamento e é fundamental no processo de evapotranspiração.

Segundo Orlando Filho et al. (1980), o excesso de adubação potássica pode reduzir a qualidade industrial da cana-de-açúcar, principalmente em relação ao pol% cana.

Em pesquisa realizada por Orlando Filho et al. (1993), em que analisaram duas fontes de potássio (KCl e K₂SO₄) aplicada na cana-de-açúcar, verificaram que não houve efeito dos tratamentos na produtividade da cultura.

2.4 Necessidades hídricas e efeito da irrigação na cana-de-açúcar

A disponibilidade de água para a cana-de-açúcar pode ser considerada como o principal fator climático causador da variabilidade de produtividade, ciclo após ciclo da cultura. Rozeff (1998) cita trinta motivos de redução de produtividade das soqueiras de cana-de-açúcar. Entre todos esses motivos citados, treze tem alguma relação com a disponibilidade de água no solo.

Por causa das variações locais de clima e de variedades, é difícil estabelecer uma relação entre produção e consumo de água para a cana-de-açúcar. De acordo com Scardua e Rosenfeld (1987), o consumo hídrico pela cana-de-açúcar também varia em função do estágio fenológico, ciclo da cultura, condições climáticas e da água disponível no

solo, entre outros fatores. A variação do consumo anual de água pela cana-de-açúcar fica em torno de 1.500 a 2.500 mm, Doorenbos e Kassam (1994).

Uma umidade adequada durante todo o período de crescimento é importante para se obterem os rendimentos potenciais da cultura, visto que o crescimento vegetativo é proporcional à água transpirada pela mesma.

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia com o estágio vegetativo em que a cultura se encontra e a cultivar utilizada (Alfonsi et al. 1987, citados por Aude, 1993), sendo, portanto, função da área foliar, estágio fisiológico e densidade do sistema radicular.

Doorenbos e Kassam (1994) definiram três estádios para a cana-de-açúcar, sendo eles: 1º – estabelecimento da cultura, seguido do crescimento vegetativo e de um período vegetativo; 2º – formação e produção; 3º – maturação. Para a cana-de-açúcar, o primeiro estágio é o mais sensível à deficiência hídrica (Thompson, 1976). Para Rosenfeld (1989), o período mais crítico para a cana plantada em outubro é do 4º ao 8º mês de idade, e a maior redução na produção é provocada por secas durante o verão em cana com idade de 4 a 8 meses.

A disponibilidade de água no solo governa a produção vegetal, assim sua falta ou excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas (Reichardt, 1996). Vários trabalhos têm sido conduzidos para estudar a influência da disponibilidade de água no solo na produtividade da cana-de-açúcar. Entre os autores que realizaram esses trabalhos, tem-se: (Dias, et al. 1999; Matioli et al. 1998; Leiva e Barrantes, 1998; Guazzelli e Paes, 1997; Batchelor e Soopramanien, 1995; Ellis e Lankford, 1990; Scardua e Rosenfeld 1987; Vieira et al., 1983; Leme et al. 1982; Barbieri, 1981; Sousa, 1976a; Sousa, 1976b).

Bittencourt et al. (1990) estudaram a interação dos fatores fertilidade do solo versus clima na cana-de-açúcar e afirmaram que o clima e o manejo mais apropriado têm uma maior influência sobre a produtividade final da cana-planta do que a fertilidade do solo propriamente dita, mesmo quando apenas um nível de adubação é empregado em toda área. O mesmo autor observa que, enquanto a fertilidade foi responsável por decréscimo da ordem de 39% a 20% de acordo com o período estudado, o clima chega a proporcionar uma redução na produção na ordem de 72% a 64%.

Scardua e Rosenfeld (1987) apresentaram uma relação entre o local, ano e ciclo da cultura, com o consumo de água pela cana-de-açúcar, Quadro 2.

Quadro 2. Consumo de água pela cana-de-açúcar, Scardua e Rosenfeld (1987).

Autor	Ano	Local	Ciclo da Cultura	Consumo de água (mm dia ⁻¹)		
				Máximo	Mínimo	Médio
Cox	1960	EUA (Havaí)	-----	8,0	3,8	-----
Thompson	1963	África do Sul	-----	6,0	2,2	-----
Tosello	1966	Brasil	-----	3,4	1,3	-----
Cruciani	1972	Brasil	-----	2,8	1,2	-----
Sousa	1974	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,6
Sousa	1975	Brasil	Soca	5,0	2,2	3,6
Leme	1978	Brasil	Planta	5,6	1,9	3,8
Leme	1978	Brasil	Planta	4,8	1,3	3,2
Scardua	1979	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,3
Scardua	1979	Brasil	Soca	4,4	2,2	3,2
Média				4,9	2,1	3,5

Barbieri (1981) encontrou uma demanda hídrica média de 0,5 mm dia⁻¹ na fase de emergência, 6,3 mm dia⁻¹ na fase de desenvolvimento, e 2,86 mm dia⁻¹ no início da fase de maturação. A necessidade hídrica da cana-de-açúcar, bem como seus períodos de máxima demanda, apresenta-se em relativo estágio de desenvolvimento, com os autores chegando a resultados semelhantes.

Porém, vários pesquisadores buscam respostas sobre qual o incremento de produção da cana-de-açúcar irrigada em relação à cana-de-açúcar de sequeiro. Scardua e Sousa (1976), estudando o comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento superficial em Araras – SP, obtiveram um acréscimo de 36,16 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar sobre o tratamento não irrigado.

Para Carretero (1982), que estudou a irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar sobre a variedade NA 56-79, nos ciclos soca e ressoca, obteve, para a cana-soca irrigada, uma produção de 140,37 t cana ha⁻¹, e 20,94 t açúcar ha⁻¹. Na cultura não irrigada a produção foi de 121,00 t cana ha⁻¹, com 18,05 t açúcar ha⁻¹, ou seja, na cana-soca a irrigação proporcionou um incremento de produção de colmo e de açúcar de 16%. Na ressoca a produção com a irrigação foi de 132,57 t cana ha⁻¹, com 21,06 t açúcar ha⁻¹ e no tratamento

não irrigado a produção foi de 119,26 t cana ha⁻¹ com 18,84 t açúcar ha⁻¹, um aumento de produtividade de 11,16% e 11,78% na produção de colmos e açúcar, respectivamente.

Vieira et al. (1983) estudaram o comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento e sulcos de infiltração em Piracicaba e concluíram que, apesar do alto índice pluviométrico no ano agrícola da pesquisa, o sistema de gotejamento mostrou-se tecnicamente viável em cana-de-açúcar, pois manteve a produtividade elevada, e as parcelas irrigadas por esse sistema atingiram maturação trinta dias antes daquelas irrigadas por sulcos, proporcionando um aumento de produtividade de 18% em relação ao tratamento não irrigado, isso em condições de alta pluviosidade e boa distribuição de chuvas.

Bui e Kinoshita (1985), em 1959, na estação experimental dos plantadores de cana-de-açúcar do Hawaí, começaram a testar a viabilidade do gotejamento na cana-de-açúcar, embora somente em 1970 tenham iniciado as instalações comerciais, sendo que no final de 1984 a área irrigada dessa cultura era de 45.400 ha. Desse total, 34.800 ha eram irrigados via gotejamento subsuperficial. Os autores relatam que espaçamento duplo era usado em 80% do total da área irrigada por gotejamento, e isso propiciava uma economia de tubos gotejadores por área irrigada, pois os tubos ficavam dispostos no centro das linhas de menor espaçamento.

Godoy et al. (1985), em experimento realizado em Aragua, Venezuela, com irrigação subsuperficial por gotejamento em cana-de-açúcar, conseguiram obter para a variedade PR 64 1791 uma produtividade no primeiro corte de 123 t cana ha⁻¹, e 9,34 t açúcar ha⁻¹. Para o segundo corte, a produtividade aumentou para 134 t cana ha⁻¹ e 9,91 t açúcar ha⁻¹, sendo que a cana-de-açúcar sofreu a primeira colheita com 10 meses, e a segunda com 12 meses.

Os mesmos autores obtiveram em outro experimento com cana-de-açúcar, variedade PR 61 632, a produtividade de 140, 121, 126 t cana ha⁻¹ para o primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente. Todos os tratamentos foram irrigados por gotejamento subsuperficial.

Batchelor e Soopramanien (1995), pesquisando a irrigação subsuperficial por gotejamento em Maurício, para a cultura da cana-de-açúcar, cultivar R 570, obtiveram uma produção para a cana-planta de 170 t cana ha⁻¹ e 20,3 t açúcar ha⁻¹, e no tratamento não irrigado a produção foi de 73 t cana ha⁻¹ e 9,2 t açúcar ha⁻¹. Na soca, a

produção da cana irrigada foi de 134 t cana ha⁻¹ com 11,2 t açúcar ha⁻¹ e, para a não irrigada, a produção foi de 106 t cana ha⁻¹, com 9,6 t açúcar ha⁻¹. No primeiro ano, a precipitação pluvial foi de 966 mm e no segundo, 1396 mm. Segundo o autor, esse foi o motivo do aumento de produtividade da cana de sequeiro do segundo corte em relação ao primeiro corte.

Magar (1995), em experimento com cana-de-açúcar irrigada na Índia, afirmou que a irrigação por gotejamento subsuperficial proporcionou uma economia de água de 60% em relação aos outros métodos e, comparando a produtividade da cana irrigada por sulco com a cana irrigada por gotejamento, afirma que houve um aumento médio de 30%.

Guazzelli e Paes (1997) estudaram a resposta da cana-de-açúcar, variedade SP 80 1842, à irrigação por gotejamento subsuperficial, e obtiveram para cana-planta a produtividade de 173 t ha⁻¹, correspondente à evapotranspiração potencial igual a 100%. Os mesmos autores, em experimento paralelo a esse, em que se pretendeu testar o resultado de produção para quatro variedades diferentes, sendo todas irrigadas com uma lâmina equivalente a 75% da evapotranspiração potencial, obtiveram, para as variedades RB 72 454, SP 80 1842, SP 79 2233, SP 80 1836, as produtividades de 181 t ha⁻¹, 170 t ha⁻¹, 167 t ha⁻¹ e 155 t ha⁻¹, respectivamente.

No Brasil, a irrigação por gotejamento subsuperficial iniciou-se em 1996, com a instalação de ensaio em parceria da Netafim Brasil com a Copersucar, na usina São Martinho, em Pradópolis, SP. O objetivo do ensaio foi avaliar as respostas da cana-de-açúcar à aplicação de lâminas de irrigação e as respostas da produtividade potenciais de produção de algumas variedades (Aguilar, 2002).

Sobre o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, Sousa (1976a) determinou que a maior taxa média de crescimento está entre o 8^o e 14^o mês, quando a média semanal acusou 8,3 cm sob uma temperatura média do período de 23,2 °C.

No Quadro 3 está apresentado um resumo das citações de diversos autores sobre a produtividade da cana-de-açúcar irrigada.

Quadro 3. Resultados produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento.

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Variedade	Espaçamento (m) Cana x gotejadores	t cana ha ⁻¹
Scardua e Sousa	1976	Araras	Planta	CB 41-76	1,5 x 1,5	134,46
Demetrio	1978	Piracicaba	Planta	NA 56 79	-----	183,93
Carretero	1982	Piracicaba	Soca	NA 56 79	1,80 x 0,90	140,37
Carretero	1982	Piracicaba	Ressoca	NA 56 79	1,80 x 0,90 x 2,70	132,57
Vieira et al.	1983	Piracicaba	Planta	CB 41-76	1,35 x 1,35	156,0
Godoy et al.	1985	Venezuela	Planta	PR 64 1791	1,5 x 0,9 x 2,4	123,0
Godoy et al.	1985	Venezuela	Soca	PR 64 1791	1,5 x 0,9 x 2,4	134,0
Soopramanien et al.	1995	Mauricius	Planta	R 570	----	170,0
Soopramanien et al.	1995	Mauricius	Soca	R 570	----	134,0
Guazzelli e Paes	1997	Pradópolis	Planta	RB 72 454	1,4 x 2,8	181,0
Guazzelli e Paes	1997	Pradópolis	Planta	SP 80 1842	1,4 x 2,8	170,0
Guazzelli e Paes	1997	Pradópolis	Planta	SP 79 2233	1,4 x 2,8	167,0
Guazzelli e Paes	1997	Pradópolis	Planta	SP 80 1836	1,4 x 2,8	155,0
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	SP 80 1842	1,5 x 0,75 x 2,25	106,64
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	SP 80 1842	1,5 x 1,50	118,22
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	SP 80 1842	1,5 x 3,00	108,65
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	RB 72 454	1,5	138,20
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	SP 83 2847	1,5	135,50
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	SP 82 3530	1,5	128,33
Aguiar	2002	Paraguaçu Paulista	Planta	RB 85 5536	1,5	121,83
Aguiar	2002	Maceió	Planta	RB 72 454	1,0 x 2,0	161,8
Aguiar	2002	Maceió	Planta	SP 80 1816	1,0 x 2,0	139,9
Aguiar	2002	Maceió	Planta	RB 72 454	1,6 x 1,6	149,0
Aguiar	2002	Maceió	Planta	SP 80 1816	1,6 x 1,6	139,8
Aguiar	2002	Maceió	Planta	RB 72 454	1,3 x 0,8 x 2,1	152,3
Aguiar	2002	Maceió	Planta	SP 72 1284	1,3 x 0,8 x 2,1	148,3
Netafim ²	----	Usina São Martinho	Planta	SP 80 1842	-----	174,1
Netafim ²	----	Usina São Martinho	Planta	SP 80 1842	-----	166,2
Netafim ²	----	Usina São Martinho	Soca	SP 80 1842	-----	149,3
Netafim ²	----	Usina São Martinho	Ressoca	SP 80 1842	-----	146,0
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	SP 86 0155	1,40 x 0,60	160,61
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 85 5536	1,40 x 0,60	160,44
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 84 5257	1,40 x 0,60	159,83
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 85 5113	1,40 x 0,60	156,50
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	SP 80 1816	1,40 x 0,60	133,22
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	SP 84 5560	1,40 x 0,60	131,06
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 72 454	1,40 x 0,60	124,17
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	SP 86 0155	1,40	182,48
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 85 5536	1,40	164,95
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 84 5257	1,40	158,38
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	SP 84 5560	1,40	134,05
Netafim ²	----	Us. Jales Machado	Soca	RB 72 454	1,40	125,57
Netafim ²	----	Usina Seresta	Safra 98/99	-----	1,0	131,6
Netafim ²	----	Usina Seresta	Safra 99/00	-----	1,5	112,4
Netafim ²	----	Usina Seresta	Safra 00/01	-----	1,4 x 0,6	134,9

² Informações fornecidas por Flávio Aguiar da Netafim Brasil, em 2003.

Por causa da grande extensão do território nacional e da grande variabilidade das condições climáticas, as lavouras encontram-se nas mais variadas condições climáticas. A temperatura ótima para a brotação de gemas fica em torno de 32 °C e 38 °C, e para um ótimo crescimento o ambiente deve apresentar médias de temperaturas diurnas ao redor de 22 °C a 30 °C, porém abaixo de 20 °C a taxa de crescimento diminui (Barbieri e Villa Nova, 1977). Fauconnier e Bassereau (1975) citam que o crescimento da cana é nulo a 15 °C, praticamente nulo a 18 °C, e somente acima de 20 °C que atinge seu crescimento normal. Os autores afirmam que a taxa absorção de água pelas raízes da planta é função da temperatura do solo e conseqüentemente do ar, apontando que para uma temperatura menor que 15 °C a absorção é nula, denominando-a de “seca fisiológica”.

Scardua et al. (1976) afirmam que a cana-de-açúcar irrigada se desenvolve em condições de temperatura menor que a cultura não irrigada para os ciclos da cana-planta e socas, em que a temperatura mínima crítica para o desenvolvimento da cana-de-açúcar irrigada é de 18 °C.

No que se refere ao sistema radicular, esse tem importância relevante para o manejo da irrigação, pois as raízes são encarregadas de absorver água e os nutrientes nela dissolvidos. Estudos que envolvem o sistema radicular da cana-de-açúcar são poucos, quando comparados aos que englobam estudos da parte aérea. Segundo Casagrande (1991), isso se deve ao fato de o sistema radicular ser a parte enterrada da planta e exigir um trabalho difícil e criterioso. Quando os colmos da cana-de-açúcar são cortados, um novo sistema radicular surge à medida que vão brotando as socas. A cana-de-açúcar é uma planta semiperene, que possui desenvolvimento radicular muito dependente das condições hídricas, químicas e morfológicas da camada subsuperficial. Nos primeiros dois anos, a produtividade da cana-de-açúcar tem maior dependência das condições químicas, físicas e morfológicas da camada superficial (ou arável), mas assume enorme dependência da camada subsuperficial a partir do terceiro corte. A disponibilidade de água no solo é um dos fatores que mais interfere no crescimento radicular em profundidade (Prado, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área de estudo

O presente trabalho foi conduzido em área aberta, situada no campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Câmpus de Botucatu, Unesp, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 51' 03'' S, e longitude 48° 26' 37'' W, e altitude média de 786 m.

O clima do município de Botucatu – SP, baseado no sistema de classificação climática de Wladimir Köppen, está incluído no tipo Cwa, temperado quente com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C, e do mês mais frio, de 16,5 °C, temperatura média anual de 20,5 °C; precipitação pluviométrica máxima no verão de 309,6 mm, e máxima de inverno de 108,6 mm, com média anual de 1.533,2 mm (Cunha et al., 1999).

O solo local é classificado como Terra Roxa Estrutura intergreide para Latossolo Vermelho Escuro, de textura média argilosa (Carvalho, 1983), correspondente a Nitossolo Vermelho transição para latossolo, textura média/argilosa (Embrapa, 1999).

Nos Quadros 4 e 5 são apresentados os resultados da análise química do solo da área experimental, executada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo – setor Ciência do Solo do Departamento de Produção Vegetal – Unesp/Botucatu. O Quadro 6 apresenta as características físicas do solo.

As análises químicas e físicas foram realizadas 150 dias antes do plantio da cana-de-açúcar.

Quadro 4. Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes). Antes do plantio da cana.

Camada (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (mg dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	V%	CTC
						(mmol _c dm ⁻³)				
0 – 20	4,9	19	9	26	2,7	12	5	20	43	46
20 – 40	4,5	10	2	26	1,2	9	5	16	42	42
40 – 60	4,9	11	3	25	1,4	9	6	16	41	41

Quadro 5. Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes). Antes do plantio da cana.

Camada (cm)	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
			(mg dm ⁻³)		
0 – 20	0,05	4,2	24	10,9	1,3
20 – 40	0,03	5,3	24	4,3	0,2
40 – 60	0,04	4,9	25	6,5	0,5

Quadro 6. Características físicas do solo da área experimental.

Prof. (cm)	Dens. do solo (g cm ⁻³)	Dens. de partículas (g cm ⁻³)	Areia total (%)	Argila (%)	Silte (%)	Textura do solo
0 – 20	1,64	2,42	61	33	6	Média
20 – 40	1,74	2,42	61	35	4	Argilosa
40 – 60	1,74	2,50	61	36	3	Argilosa

Visando correlacionar os dados de porcentagem de umidade do solo, estimados pelo consumo hídrico da cultura ao longo do ano, com os valores correspondentes em potencial de água no solo, efetuou-se a determinação da curva característica de retenção de água no solo. A determinação foi realizada com a utilização da câmara de pressão de Richards. Utilizou-se o programa computacional Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990) para ajustar matematicamente os dados ao modelo não linear proposto por Van Genuchten (1980), representado pela Equação 1.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\psi_m|)^n\right]^m} \quad (1)$$

Em que:

θ = teor volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

θ_r = teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

θ_s = teor de água para o solo saturado ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

α , m , n = parâmetros de ajuste do modelo

Ψ_m = potencial matricial da água no solo (kPa)

A curva característica de retenção de água do solo foi determinada nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As equações das respectivas curvas são apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7. Equações que descrevem as curvas características de retenção de água no solo geradas a partir de dados de laboratório.

Camada de solo (cm)	Equação	r^2
0 – 20	$U = 0,093 + \frac{0,364 - 0,093}{\left[1 + (0,0822 \cdot \psi_m)^{0,7685}\right]^{1,2422}}$	0,998
20 – 40	$U = 0,094 + \frac{0,281 - 0,094}{\left[1 + (0,0620 \cdot \psi_m)^{0,8505}\right]^{1,1752}}$	0,998
40 – 60	$U = 0,088 + \frac{0,304 - 0,088}{\left[1 + (0,2624 \cdot \psi_m)^{1,4889}\right]^{0,3284}}$	0,999

Sendo: U = umidade com base em massa (g g^{-3}); Ψ = potencial matricial (kPa).

3.2 Variedade da cana-de-açúcar

Foi utilizada nesse experimento a variedade RB 72 454, cultivada nas principais regiões canavieiras do Brasil, sendo muito utilizada como padrão em experimentos.

Essa variedade apresenta como principais características o alto potencial produtivo, boa brotação de soqueira, excelente adaptação a solos de baixa fertilidade, de maturação média a tardia e resistência a algumas doenças foliares (Planalsucar, 1987). Matsuoka (1987) afirma que essa variedade apresenta resistência à ferrugem, escaldadura e amarelinho, sendo moderadamente resistente a Carvão (*Ustilago scitaminea* Sydow)

3.3 Instalação do experimento e adubação para o ciclo da cana-planta (1º ciclo)

O campo experimental foi preparado pelo método convencional, isto é, arado, gradeado e em seguida subsolado. Na linha onde passou o subsolador foram abertos sulcos distanciados de 1,50 m entre si. Cada parcela foi composta de quatro (4) linhas de cana-de-açúcar (Figura 2), ocupando uma área de 8,0 m por 6,0 m, sendo que foram considerados como área útil as duas linhas centrais e apenas seis metros de sulco, considerando 1,0 m do início e final do sulco como bordadura, perfazendo uma área útil de 18 m².

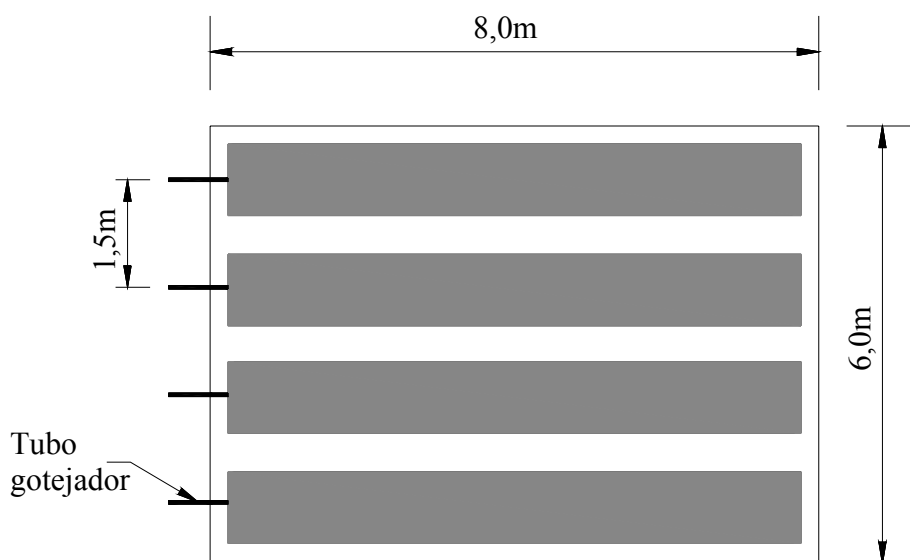


Figura 2. Detalhe da parcela experimental de cana-de-açúcar.

Antes do plantio, a adubação, segundo a análise de solo e recomendação de Raij et al. (1997), foi a mesma para todos os tratamentos, com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de

uréia, 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, e 60 kg ha⁻¹ K₂O na forma de cloreto de potássio.

Decorridos 60 dias após o plantio foi feita a adubação de cobertura com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, e 60 kg ha⁻¹ K₂O na forma de cloreto de potássio. O adubo foi aplicado manualmente no plantio e na adubação de cobertura, ambos aplicados na linha de plantio.

A calagem do solo foi realizada cinco meses antes do plantio e constou de uma dosagem de 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Calculada de acordo com a análise química do solo e com a recomendação em se elevar a um valor de 60% o índice de saturação por bases (V%) do solo.

O plantio foi realizado em 3 de março de 2000 e seguiu o sistema tradicional das usinas sucroalcooleiras, sendo as mudas obtidas de viveiros. As canas foram distribuídas no sulco de maneira a se obter em média quinze gemas por metro linear. As canas foram seccionadas em toletes de três gemas, fazendo-se em seguida a cobertura dos sulcos.

A cultura foi mantida livre de plantas daninhas durante todo o período em que o experimento ficou em campo, por meio da aplicação de herbicida pós-emergente (Ametryne), e também com capinas manuais de repasse sempre que necessário. Não foi necessário o controle de nenhuma doença. Fez-se apenas o controle de formigas saúvas.

3.3.1 Sistema de irrigação

O método de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial, também conhecido pela sigla IGS. O tubo gotejador instalado foi o modelo Rain-Tape TPC[®]. Os emissores desse tubo gotejador são do tipo labirinto integrado à própria parede do tubo, espaçados de 30 cm, com vazão nominal de 1,0 L h⁻¹ a 55 kPa.

Um dos fatores que limitam a aplicação e utilização da irrigação subsuperficial por gotejamento são os problemas decorrentes da intrusão nos emissores por radicelas e/ou partículas minerais do solo, pois os emissores estão em contato permanente com o solo. Porém, um manejo eficiente do sistema de irrigação pode evitar que isso ocorra, possibilitando que a irrigação por gotejamento subsuperficial seja uma alternativa viável. A

aplicação de trifluralina no sistema de irrigação é um dos manejos adotados para prevenir que ocorra a obstrução dos emissores pelas radículas. Trifluralina é o ingrediente ativo de alguns herbicidas muito usados na agricultura. Segundo Rodrigues e Almeida (1995), a trifluralina possui translocação insignificante no solo, sendo fortemente adsorvidos pelos colóides da matéria orgânica e pouco pelos da argila. Seu mecanismo de ação afeta a divisão celular nos tecidos meristemáticos, inibindo a formação de novas células na radícula e caulículo.

Oron et al. (1991) citam que a injeção de 0,5 gramas de Treflan[®] por emissor durante a estação de crescimento da cultura previne a intrusão de raízes. Treflan[®] é o nome comercial do produto que contém a trifluralina como ingrediente ativo. De acordo com Pizarro (1996), a dose trifluralina a ser aplicada no sistema de gotejamento subsuperficial para prevenir a obstrução do emissor pelas radículas varia de 0,20 a 0,25 cm³ por emissor, com uma frequência de injeção de cinco a seis meses.

No primeiro ano deste experimento foi aplicado 0,125 ml de trifluralina por emissor, de três em três meses. No segundo e terceiro ano do experimento foi aplicada uma dose de 0,05 ml de trifluralina por emissor, pois o projeto-piloto desenvolvido por Dalri et al. (2002), com o objetivo de avaliar a dose mínima de trifluralina para prevenir a intrusão de raízes de cana-de-açúcar nos gotejadores, apresentou como resultado que a dose de 0,05 ml de trifluralina por emissor impediu a obstrução dos gotejadores pelas raízes da cultura da cana-de-açúcar.

Neste experimento, o tubo gotejador encontra-se sob a linha de cana, a uma profundidade média de 0,3 metro. Batchelor et al. (1990) afirmam que os tratamentos em que o tubo gotejador foi colocado sob a linha de cana-de-açúcar apresentaram maiores produtividades do que nas linhas de gotejo dispostas entre as linhas de cana, entretanto o segundo caso em que o tubo é colocado entre as linhas de cana apresenta vantagens em termos de capital de investimento inicial. Para a instalação do tubo gotejador procedeu-se manualmente, com os emissores voltados para o lado de cima. Antes de cobri-lo, o sistema foi acionado para verificar possíveis vazamentos e/ou rompimento, o que não foi observado em nenhuma linha lateral. No final de cada linha lateral foi instalada uma válvula de drenagem. Essa válvula drena a água do tubo gotejador no final da irrigação, com o objetivo

de limpar o interior do tubo gotejador. Por causa da longevidade do experimento, buscou-se automatizar o sistema de irrigação por meio da instalação de um painel controlador e válvulas de abertura e fechamento de comando elétrico, facilitando e aplicando de maneira extremamente precisa a lâmina de água calculada para cada tratamento.

O cavalete do sistema de irrigação do experimento era composto, seguindo o fluxo da água, por uma válvula de fechamento e abertura manual, injetor de fertilizante do tipo venturi (“by pass”), filtro de tela com 200 mesh, regulador de pressão, hidrômetro, manômetro e, por fim, as válvulas de comando elétrico.

Como o objetivo principal deste trabalho foi analisar o comportamento da cultura da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial, durante um período de três anos, e para não haver problemas no decorrer da pesquisa com obstrução dos emissores e dúvidas sobre a qualidade da água utilizada na irrigação, a qual poderia interferir na cultura, procurou-se utilizar água potável do sistema de abastecimento de água da instituição, para o uso na irrigação. Ou seja, com um desempenho satisfatório do sistema de irrigação, a dúvida sobre a qualidade da água seria descartada.

Com o objetivo de avaliar o entupimento por partículas do solo e intrusão de raízes nos gotejadores do sistema de irrigação (IGS) deste experimento, logo após a colheita da cana-de-açúcar, foram retirados de cada tratamento fertirrigado, com o auxílio de uma retroescavadeira, 72 emissores, os quais estavam sob a soqueira da cana. No total, portanto, foram retirados 216 emissores.

Os emissores retirados foram avaliados em uma bancada hidráulica de teste de tubo gotejadores e, para avaliar os gotejadores em questão, foram utilizados os métodos tradicionais, que são: coeficiente de variação (CV) e uniformidade de distribuição (UD). Para efeito de comparação, os emissores retirados do solo foram comparados aos emissores novos.

Os efeitos do entupimento dos emissores na variação da vazão dos emissores podem ser tratados estatisticamente (Bralts et al., 1981).

Keller e Karmeli (1974), citados por Bralts et al. (1981), introduziram o coeficiente de variação (CV) como medida estatística para estimar o coeficiente de variação de fabricação.

O coeficiente de variação, CV, usado para esta avaliação, é calculado pela Equação 2.

$$CV = \frac{S_q}{q_m} \quad (2)$$

Em que:

CV – coeficiente de variação, adimensional;

S_q – desvio padrão das vazões obtidas, $L\ h^{-1}$;

q_m – vazão média dos emissores, $L\ h^{-1}$.

Sendo:

$$S_q = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Em que:

S_q – desvio padrão das vazões obtidas, $L\ h^{-1}$;

q_m – vazão média dos emissores, $L\ h^{-1}$;

n – número de emissores.

A uniformidade de distribuição, UD, definida por Karmeli e Keller (1975), citados por Nakayama e Bucks (1981), foi calculada usando a Equação 4.

$$UD = \frac{q_{25}}{q_m} * 100 \quad (4)$$

Em que:

UD – uniformidade de distribuição, %;

q_{25} – média da vazão dos emissores que constituem os 25% menores valores, $L h^{-1}$;

q_m – vazão média dos emissores, $L h^{-1}$;

A baixa uniformidade de distribuição do sistema de irrigação pode ser creditada a diferentes causas. De acordo com Pizarro (1996), os fatores que afetam a uniformidade de distribuição são:

- a) processos construtivos;
- b) fatores hidráulicos;
- c) envelhecimento e obstrução dos emissores;
- d) diferenças de temperatura.

3.4 Análise tecnológica da cana-de-açúcar

O objetivo primordial da indústria sucroalcooleira é a recuperação máxima da sacarose da cana-de-açúcar ao menor custo possível. A qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar a ser processada é de fundamental importância para se conseguir atingir esse objetivo. Além das necessidades de alta produção de cana-de-açúcar por hectare, há um interesse maior, que é a alta produção de sacarose. Para que isso ocorra, é preciso encontrar condições de temperatura e umidade adequadas para permitir o desenvolvimento da cultura na fase vegetativa, seguida de um período de certa restrição hídrica e térmica para forçar a maturação da cana-de-açúcar. A qualidade da cana-de-açúcar é a concentração total de açúcares (sacarose e açúcares redutores), recuperáveis no processo industrial e expressa em quilograma por tonelada de cana (Consecana, 2001).

O caldo de cana contém, em quantidades apreciáveis, somente três açúcares: sacarose, glicose e frutose. O teor de glicose mais frutose geralmente é menor que

1%, enquanto o de sacarose é maior que 14%. Isso faz com que o valor da pol (sacarose) se aproxime bastante do teor de sacarose, sendo comumente aceito como tal (Korndöfer, 1990). De acordo com o mesmo autor, a sacarose é o único açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação.

As análises tecnológicas da cana-de-açúcar foram determinadas por meio da coleta de amostras de seis colmos em cada parcela, sendo avaliada pelo método Consecana (2001).

Os parâmetros avaliados da análise tecnológica da cana-de-açúcar para a cana-planta, bem como para a cana soca e ressoca, foram: brix, pol % caldo, pureza, teor de fibra (%), pol % cana e ATR (açúcar teórico recuperável).

O parâmetro ATR é resultante da produção de colmos ($t\ ha^{-1}$) pelo teor de açúcar recuperável ($kg\ t^{-1}$), que, após a operação, é expresso em $kg\ ha^{-1}$ de ATR.

Antigamente a cana-de-açúcar era remunerada por meio da produção agrícola ($t\ ha^{-1}$), o que nem sempre correspondia à máxima produção industrial (Stupiello, 1987). O sistema proposto atualmente para o pagamento da cana-de-açúcar é feito pela análise da qualidade em açúcar teórico recuperável ou ATR.

A análise tecnológica da cana-de-açúcar deste experimento foi realizada pelo laboratório de análises de cana da Usina Barra Grande de Lençóis S.A., localizada no município de Lençóis Paulista – SP.

3.5 Definição dos experimentos

Para melhor entendimento, o experimento foi dividido em “Experimento 1” e “Experimento 2”.

3.5.1 Experimento 1

Este experimento de cana-planta ou cana de 1º ciclo, intitulado “experimento 1”, ocorreu no primeiro ano de produção da cana-de-açúcar, sendo o plantio

realizado em 3 de março de 2000 e a colheita realizada em meados de julho de 2001, aproximadamente dezesseis meses após o plantio.

Neste primeiro experimento buscou-se estimar qual a melhor frequência de irrigação para a cultura da cana-de-açúcar irrigada pelo sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. Para avaliar a frequência ideal entre as irrigações, foram definidos três valores de lâminas, 10 mm, 20 mm, e 30 mm, sendo estas denominadas de L_1 , L_2 e L_3 , respectivamente. O valor fixo da lâmina de cada tratamento era repostado de acordo com o consumo hídrico da cultura, estimado pela Equação 5.

$$Etc_i = ECA_i * Kc_i * Kp \quad (5)$$

Em que:

Etc_i = evapotranspiração da cultura no i-ésimo dia, mm;

ECA_i = evaporação do tanque Classe A no i-ésimo dia, mm;

Kc_i = coeficiente de cultura no i-ésimo dia, adimensional;

Kp = coeficiente do tanque Classe A, adimensional.

O momento correspondente de cada irrigação foi obtido pela Equação 6.

$$\sum_{i=1}^n Etc_i - P_i \geq L_i \quad (6)$$

Em que:

P_i = precipitação no i-ésimo dia, mm;

L_i = lâmina de irrigação correspondente ao momento da irrigação, mm.

Os valores de L_i citados na Equação (6) são os valores numéricos equivalentes às lâminas L_1 , L_2 e L_3 . O valor de k_p foi adotado como sendo igual a 0,75 (Bernardo, 1995).

Os valores dos coeficientes de cultura (kc), nos diversos estádios de desenvolvimento das culturas, são importantes, pois permite converter os valores de ETo em ETc, valor este fundamental para a realização do balanço hídrico e, conseqüentemente, para o manejo da irrigação.

A lâmina de irrigação deve variar com os períodos de crescimento da cana (Doorenbos e Kassam, 1994). Os valores de coeficiente de cultivo (kc), que relacionam a ETc com a ETo para os respectivos períodos de crescimento da cana-de-açúcar, foram adaptados do Boletim 33 da FAO.

Os valores de kc, utilizados para cálculo da estimativa do consumo hídrico da cultura da cana durante o primeiro ciclo, são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cana-planta.

Idade da Cana-de-açúcar (dias)	Mês	Coeficiente de cultura (kc)
0 – 59	Mar/Abril	0,40
60 – 90	Maio	0,75
91 – 120	Junho	0,90
121 – 210	Jul/Ago/Set	1,00
211 – 424	Out a Abril	1,25
425 – 455	Maio	1,00
456 – 464	Junho	0,70
465 – 495	Jun/Jul	Sem irrigação

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e quatro repetições.

Tratamento 1 (L₁) – refere-se às parcelas que receberam alta frequência de aplicação. A frequência foi baseada em irrigação a cada 10 mm de evapotranspiração da cultura.

Tratamento 2 (L_2) – refere-se às parcelas que receberam média frequência de aplicação. A frequência foi baseada em irrigação a cada 20 mm de evapotranspiração da cultura.

Tratamento 3 (L_3) – refere-se às parcelas que receberam baixa frequência de aplicação. A frequência foi baseada em irrigação a cada 30 mm de evapotranspiração da cultura.

Tratamento 4 (L_0) – refere-se às parcelas que não receberam água por meio da irrigação – Testemunha.

Pelos valores fixos da lâmina de irrigação repostada em cada tratamento, foi estimada a umidade crítica (U_{cr}), a tensão máxima de água no solo no momento da irrigação (Ψ) e a fração da água disponível no solo (FDA), para cada tratamento irrigado.

A umidade crítica foi obtida pela Equação 7.

$$U_{cr} = U_{cc} - \frac{10.L_i}{ds.Z} \quad (7)$$

Em que:

U_{cr} = umidade crítica, base em massa (%);

U_{cc} = umidade na capacidade de campo, base em massa (%);

L_i = lâmina repostada em cada tratamento, mm;

ds = densidade do solo, $g\ cm^{-3}$;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

Com os respectivos valores de umidade crítica determinada para cada tratamento e profundidade, foi estimado, por meio das equações apresentadas no Quadro 7, as quais representam matematicamente as curvas características de retenção de água no solo, o valor máximo de tensão de água no solo para cada tratamento. Esses valores estão apresentados no Quadro 9.

Como a fração da água disponível no solo (FDA) é a porcentagem do conteúdo de água existente no solo em relação à máxima capacidade de retenção de água disponível, esse valor foi estimado pela Equação 8.

$$FDA = \frac{(U_{cr} - U_{pmp})}{(U_{cc} - U_{pmp})} \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

FDA = fração da água disponível, (%);

U_{pmp} = umidade no ponto de murcha permanente, base em massa (%).

Quadro 9 . Valores médios de U_{cc} , U_{pmp} , ds , e os valores estimados de U_{cr} , tensão máxima de água no solo e FDA.

Déficit	Tratamentos irrigados	U_{cc} %	U_{pmp} %	ds (g cm ⁻³)	U_{cr} %	Tensão da água no solo		FDA %
						kPa	Atm	
10 mm	L ₁	21,01	10,13	1,71	18,07	11,83	0,12	72,86
20 mm	L ₂	21,01	10,13	1,71	15,14	32,04	0,32	45,72
30 mm	L ₃	21,01	10,13	1,71	12,20	207,25	2,07	18,58

Os níveis de tensão de água no solo para os tratamentos L₁ e L₂ estão abaixo dos valores indicados por Klar (1991) e Pizarro (1996). Esses autores indicam que os níveis de potencial de água no solo para o pleno desenvolvimento da cana-de-açúcar estão em torno de 60 kPa e 148 kPa. O nível de tensão de água no solo do tratamento L₃ é superior ao indicado pelos autores.

Souza (1976b) afirma que a cultura da cana-de-açúcar permite uma variação de potencial de água no solo de até 120 kPa, sem afetar o rendimento da cultura. Fogliata (1972) indica que os melhores resultados de elongação do colmo foram obtidos com as irrigações realizadas quando ainda restavam 40% da água disponível no solo.

De acordo com Robinson (1963), a elongação do colmo da cana-de-açúcar é reduzido quando o potencial de água no solo atinge valores superiores a 200 kPa.

3.5.2 Experimento 2

Este experimento utilizou-se da área instalada no experimento 1. A área física propriamente dita não sofreu nenhuma alteração, permanecendo, portanto, as mesmas dimensões citadas no experimento 1, bem como a permanência do sistema de irrigação instalado sob a soqueira da cana-de-açúcar. O experimento 2 iniciou-se logo depois de ser realizado o corte da cana-planta, em meados de julho de 2001.

Depois de definida qual a melhor frequência entre irrigações para a cultura da cana-de-açúcar, iniciou-se o estudo para verificar se as doses de adubo recomendadas estariam dando suporte ao pleno desenvolvimento da cana-de-açúcar irrigada. A justificativa se deve ao fato de que existe um incremento na produtividade da cana irrigada, e como a água não é mais o fator limitante ao desenvolvimento da cultura, o nível de adubação poderá ser. Os experimentos com cana irrigada buscam obter o rendimento máximo da cultura, chegando a obter produtividades da ordem de $345,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para que isso se processe, há a necessidade de se elevar as doses de adubo. Portanto, o experimento 2 buscou determinar, em função dos resultados de produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial, uma primeira análise de adubação, envolvendo os macronutrientes nitrogênio e potássio, aplicados via fertirrigação, para a região do local onde está sitiado o experimento.

O experimento 2 foi composto por quatro tratamentos e quatro repetições, sendo que um desses tratamentos foi à testemunha, a qual teve, em todo seu desenvolvimento, o manejo semelhante às condições da cana-de-açúcar cultivada nas condições comerciais do Estado de São Paulo, ou seja, não foi irrigada e sua adubação foi equivalente a 100% da dose recomendada pela análise de adubação, sendo o adubo aplicado manualmente no sulco de cultivo. Os outros três tratamentos restantes foram irrigados de acordo com o melhor manejo de irrigação obtido no experimento 1 (L_2) e tiveram como variáveis os níveis de adubação de nitrogênio e potássio da ordem de 50% , 100% e 150% da dose recomendada pela análise de fertilidade do solo.

Deve-se observar que, no delineamento do experimento 2, não houve interação da variável nitrogênio e potássio, ou seja, a variável nitrogênio (N) e potássio (K) não foram isoladas.

3.6 Adubação e fertirrigação para a cana-soca e ressoca – experimento 2

Para análise da fertilidade do solo, logo após a colheita da cana-de-açúcar, foi realizada amostragem de solo nas camadas 0 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm.

O Quadro 10 apresenta os resultados da análise química das amostras de solo retiradas nas respectivas camadas após a primeira colheita da cana-de-açúcar. Como todos os tratamentos receberam a mesma dose de adubo no primeiro ciclo, a análise de fertilidade do solo foi dividida nas parcelas irrigadas e não irrigadas.

Quadro 10 . Características químicas do solo da área experimental após a 1^o colheita da cana.

Tratamento	Camada (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (mg dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	V%	CTC
							mmol _c dm ⁻³				
Não Irrigado	0 – 20	4,6	17	12	38	1,2	19	9	29	43	67
	20 – 40	5,3	18	49	25	2,1	38	17	57	69	82
	40 – 60	4,4	17	----	40	1,4	18	9	29	42	69
Irrigado	0 – 20	4,7	14	5	31	0,7	14	6	21	41	52
	20 – 40	4,5	15	5	31	0,7	15	6	22	42	53
	40 – 60	5,7	18	----	20	1,7	41	16	59	75	79

Para o segundo ciclo da cultura (cana-soca), foi aplicada uma dose equivalente a 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em área total, ou seja, nos tratamentos irrigados e no não irrigado, calculada de acordo com a análise química do solo e com a recomendação em se elevar a um valor de 60% a saturação por bases (V%) do solo. No terceiro ciclo não foi aplicado calcário.

As doses de nitrogênio e de potássio aplicadas na cana-soca foram 120 kg de N ha⁻¹ e 120 kg de K₂O ha⁻¹, na forma de uréia e nitrato de potássio, respectivamente. Para esse ciclo da cana-de-açúcar não foi aplicado fósforo.

Para o terceiro ciclo da cultura (ressoca), a dose de nitrogênio e potássio aplicada foi 150 kg de N ha⁻¹ e 180 kg de K₂O ha⁻¹, na forma de uréia e nitrato de potássio, respectivamente. Para esse ciclo da cana, também foi aplicado 30 kg de P₂O₅ ha⁻¹, na forma de superfosfato simples, e realizada uma adubação de manutenção com zinco e boro

nas dosagens de 3 kg ha^{-1} , na forma de sulfato de zinco, e $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$, na forma de ácido bórico.

As aplicações de nitrogênio e potássio, nas parcelas irrigadas, foram feitas por meio do sistema de irrigação, utilizando o injetor venturi para sucção da solução fertilizante do reservatório, local onde era feita a dissolução do fertilizante.

O delineamento experimental do experimento 2 foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e quatro repetições.

Tratamento 1 (NK₅₀) – refere-se às parcelas que receberam 50% da dose recomendada de nitrogênio e potássio.

Tratamento 2 (NK₁₀₀) – refere-se às parcelas que receberam 100% da dose recomendada de nitrogênio e potássio.

Tratamento 3 (NK₁₅₀) – refere-se às parcelas que receberam 150% da dose recomendada de nitrogênio e potássio.

Tratamento 4 (NI) – considerado como tratamento controle. Refere-se às parcelas que não receberam água por meio da irrigação. A adubação foi realizada manualmente, de uma só vez, e com a dose de adubo referente a 100% da indicada.

Nos tratamentos NK₅₀, NK₁₀₀, e NK₁₅₀, os fertilizantes foram divididos em 18 aplicações durante o ciclo da cultura e aplicados via água de irrigação, com intervalo médio entre as aplicações de 15 dias. Os detalhes são apresentados no Quadro 11.

No tratamento NI (não irrigado), a adubação foi realizada uma única vez e no início do desenvolvimento da cultura.

3.7 Manejo da irrigação no experimento 2

Logo após a colheita da cana-de-açúcar, primeiro e segundo corte, foi aplicada uma lâmina de água suficiente para que o solo atingisse a capacidade de campo e, a partir daí, iniciou-se o manejo hídrico da cultura. O consumo de água pela cana-soca e ressoca foi estimado pela Equação 5.

Quadro 11. Parcelamento da adubação via fertirrigação e suas respectivas doses proporcionais.

Nº da aplicação	% da dose a aplicada
1	2,5
2	2,5
3	2,5
4	5
5	5
6	5
7	5
8	7,5
9	7,5
10	7,5
11	7,5
12	7,5
13	7,5
14	7,5
15	5
16	5
17	5
18	5
Total	100

A lâmina de irrigação estipulada foi fixa, variando-se o turno de irrigação. O momento correspondente ao iniciar a irrigação foi calculado pela Equação 9.

$$\sum_{i=1}^n Etc_i - P_i \geq 20mm \quad (9)$$

Em que:

Etc_i = evapotranspiração da cultura no i-ésimo dia;

P_i = precipitação no i-ésimo dia.

Dessa maneira, quando o somatório diário da evapotranspiração da cultura menos a precipitação atingisse um déficit de 20 mm, eram efetuadas as irrigações. As lâminas para os tratamentos irrigados sempre foram as mesmas durante o período experimental.

O valor de 20 mm foi adotado em razão dos resultados encontrados no experimento 1, o qual apontou para um manejo de irrigação em que se fixou as lâminas em 10, 20 e 30 mm. A lâmina intermediária apresentou o melhor resultado no aumento de produtividade da cana-de-açúcar.

Para o intervalo entre irrigações representado pelo consumo hídrico médio de 20 mm, os valores estimados do potencial de água no solo (Ψ) e a fração da água disponível (FDA) são 32 kPa, e 45,73%, respectivamente.

Os Quadros 12 e 13 apresentam os valores de kc utilizados no manejo da irrigação durante o ciclo da cana-soca e ressoca, bem como o período em que foi interrompida a irrigação para promover o estresse hídrico da cultura. Esse fato teve como objetivo a maturação e concentração do açúcar, pois, segundo Doorenbos e Kassam (1994), durante o período de maturação, a cana-de-açúcar necessita de baixo teor de água no solo.

Quadro 12. Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cana-soca.

Idade da cana (dias)	Mês	Coeficiente de cultura (kc)
0 – 30	Julho/Agosto	0,50
31 – 60	Agosto/Setembro	0,60
61 – 90	Setembro/Outubro	0,75
91 – 120	Outubro/Novembro	0,85
121 – 180	Nov/Dez/Jan	0,95
181 – 240	Jan/Fev/Mar	1,10
241 – 330	Mar/Abr/Maio/Jun	1,20
331 – 350	Junho	Sem irrigação

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

A colheita da cana-soca foi realizada no final de junho de 2002, e a colheita da cana-ressoca foi realizada em meados do mês de julho de 2003.

Quadro 13. Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cana-ressoca.

Idade da Cana (dias)	Mês	Coeficiente de cultura (kc)
0 – 30	Jun/Jul	0,50
31 – 60	Jul/Ago	0,60
61 – 90	Ago/Set	0,75
91 – 120	Set/Out	0,85
121 – 180	Out/Nov/Dez	0,95
181 – 240	Dez/Jan/Fev	1,10
241 – 350	Fev a Jun	1,20
351 – 380	Jun/Jul	Sem irrigação

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

3.8 Variáveis analisadas

As variáveis da cana-de-açúcar avaliadas no experimento 1 e no experimento 2, para verificar os efeitos dos tratamentos, foram:

- a) rendimento de colmos, expresso em $t\ ha^{-1}$;
- b) número de colmos industrializáveis por metro linear de sulco;
- c) massa de matéria seca total;
- d) qualidade da matéria-prima, avaliada por meio de análise tecnológica de brix, pol% caldo, pureza, fibra, pol% cana, em amostras de seis colmos por parcela, além do açúcar teórico recuperável (ATR) $kg\ ha^{-1}$.

Após a colheita da cana-soca e ressoca, foram realizadas amostragens de solo no sulco de plantio, nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm para análises de fertilidade do solo e, principalmente, para análise do comportamento do potássio no perfil do solo.

3.9 Análise dos dados

Os dados de produtividade e de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar foram submetidos à análise de variância e teste Tukey de comparação de médias com significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando a um melhor entendimento e com o objetivo de organizar e melhorar a compreensão das análises e das discussões dos resultados obtidos, as apresentações dos resultados foram divididas em “experimento 1”, referente aos tratamentos com frequência de irrigações realizados na cana-planta; e “experimento 2”, referente aos tratamentos com fertirrigação na cana-soca (2º ciclo) e ressoca (3º ciclo), com seus respectivos dados apresentados separadamente.

4.1 Experimento 1 - Cana-planta

4.1.1 Produção de colmos, ATR e matéria seca

A colheita da cana-planta, ou seja, o primeiro corte da cultura, foi realizada em meados de julho de 2001. Nessa data, a cultura apresentava aproximadamente 494 dias de desenvolvimento vegetativo.

No Quadro 14 são apresentados os resultados dos testes de significância e os coeficientes de variação para as variáveis de produção de cana-de-açúcar por hectare, número de colmos por metro linear, kg de ATR produzido por hectare e os valores de matéria seca total (colmos + folha), sendo o valor de matéria seca expressa em porcentagem e em kg por hectare.

Para estimar os valores de colmos em $t\ ha^{-1}$, foram colhidos dentro de cada parcela 8 metros lineares de cana, representando uma área útil de $12\ m^2$. A colheita foi realizada manualmente e, logo após, todos os colmos foram contados e pesados em balança eletrônica. Em seguida foram escolhidos ao acaso 6 colmos de cada parcela para realização das análises tecnológicas e quantificação da massa de matéria seca.

Quadro 14. Valores médios de produção de toneladas de cana, perfilhamento, ATR e massa de matéria seca por hectare, obtidos no ciclo da cana-planta e sujeitos a diferentes frequências de irrigação.

Tratamentos	Cana ¹ ($t\ ha^{-1}$)	Perfilhamento ¹ (colmos m^{-1})	ATR ¹ ($kg\ ha^{-1}$)	Produção de Matéria Seca	
				%	($kg\ ha^{-1}$)
L ₁	297,95 a	27,81 a	45597,04 a	29,65	88489,45 a
L ₂	320,60 a	27,06 a	49973,05 ac	29,40	94312,08 a
L ₃	282,84 a	27,00 a	42173,80 ad	29,38	83089,93 a
L ₀	202,23 b	22,63 b	30090,20 b	29,23	59259,63 b
C.V. (%)	6,85	7,88	5,67	3,14	9,14

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey com 5% de probabilidade.

A interpretação dos resultados da análise de variância do parâmetro produtividade de colmos por hectare, apresentados no Quadro 14, mostra que não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, porém houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados e o não irrigado, ao nível de 5% de probabilidade. Portanto, a irrigação mostrou-se benéfica, evidenciando, como hipótese da pesquisa, que, mantendo o solo a elevados níveis de umidade, favorece-se a produção de cana-de-açúcar.

Apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos irrigados sobre a produção de colmos por hectare, pode-se fazer os seguintes comentários:

- a alta frequência de irrigação, como preconiza o sistema de irrigação localizada, não indica que irá haver um aumento de produção, para o caso analisado da cultura da cana-de-açúcar, sua respectiva variedade (RB 72 454), e nas condições experimentais citadas;

- apesar de a análise estatística afirmar que a média de produtividade do primeiro tratamento (L_1 – alta frequência) seja igual à média do segundo tratamento (L_2 – média frequência), bem como do terceiro tratamento (L_3 – baixa frequência), uma análise de custos deve ser realizada para comparar se o aumento de 23 t ha^{-1} do tratamento L_2 em relação ao tratamento L_1 não mudaria as conclusões sobre a frequência de irrigação;

- os incrementos de produção dos tratamentos irrigados em relação ao não irrigado (L_0) foram 47,33%, 58,53% e 39,86% para os tratamentos L_1 , L_2 e L_3 , respectivamente. Em valores de colmos por hectare, os incrementos de produção dos tratamentos irrigados em relação ao não irrigado ficam da ordem de 95,72, 118,37 e $80,61 \text{ t ha}^{-1}$;

- o aumento médio de produção dos tratamentos irrigados sobre o não irrigado foi de 48,57%.

A Figura 3 mostra, por meio de um gráfico de barras, os valores médios obtidos nos tratamentos irrigados, L_1 , L_2 , L_3 e o não irrigado L_0 .

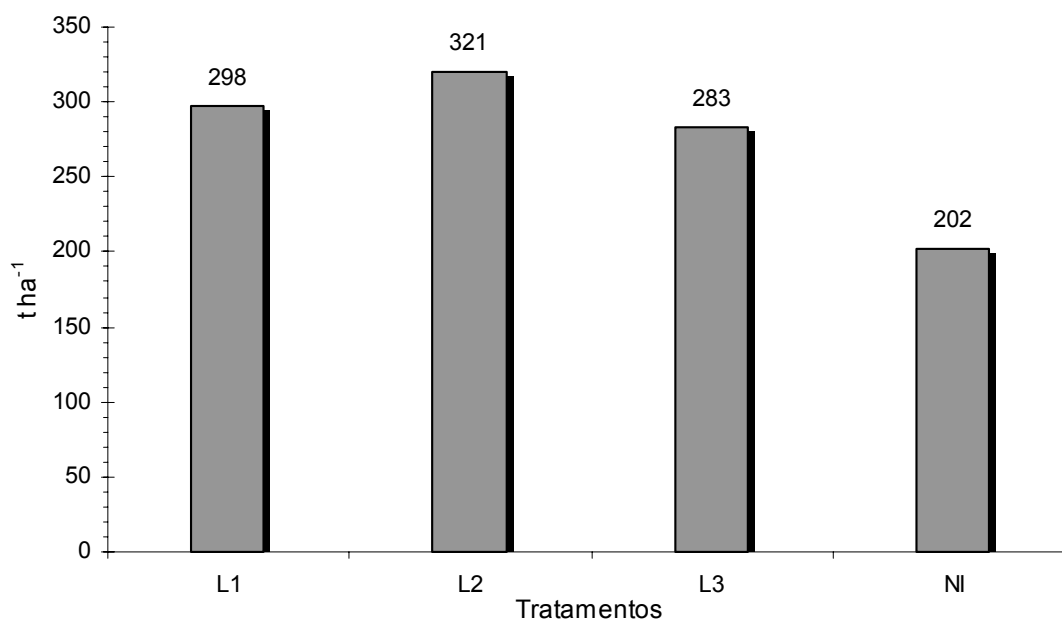


Figura 3. Produtividade da cana-de-açúcar obtida no primeiro ciclo.

Observa-se na Figura 3 que a irrigação por gotejamento proporcionou à cultura da cana-de-açúcar um nível de produção de 321 t ha^{-1} para o tratamento mais

produtivo. Esse nível é considerado elevado quando comparado com a produtividade média de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, bem como do Brasil. Esse valor corresponde a uma produção média de 18,43 t de cana-de-açúcar por mês, que, comparado ao potencial biológico de produção da cana-de-açúcar, ainda é relativamente baixo, pois, como já citado, o respectivo potencial é da ordem de $345,6 \text{ t ha}^{-1}$, o que equivale a uma produção mensal de $28,8 \text{ t ha}^{-1}$.

Quando os valores de produtividade deste experimento são comparados às produtividades de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial em áreas comerciais (Quadro 3), nota-se a elevada diferença de produção. Isso talvez se deva ao fato de que possam existir falhas na condução da irrigação nas áreas comerciais.

Em relação ao potencial de água no solo estimado para cada tratamento irrigado (Quadro 9), pode-se afirmar que a cultura da cana-de-açúcar, especificamente a variedade RB 72 454, tolera, sem afetar seu potencial produtivo, elevados níveis de tensão de água no solo, atingindo valores médios de tensão de água no solo de até 200 kPa, concordando com resultados obtidos por Fogliata (1972). Também equivale dizer que a cultura permite um manejo de irrigação quando a fração da água disponível (FDA) no solo atinja 18,6% em média.

Os dados do perfilhamento da cana-de-açúcar foram coletados quando a cultura atingiu nove meses de desenvolvimento. Em razão do tombamento da cultura causado pelo seu elevado desenvolvimento, a contagem do número de colmos durante a colheita da cana-planta ficou prejudicada, inviabilizando sua contagem. Dessa maneira, os dados de perfilhamento da cana-planta apresentados no Quadro 14 são referentes aos 9 meses de desenvolvimento vegetativo. De acordo com Casagrande (1991), o perfilhamento da cana-de-açúcar geralmente atinge seu pico no quarto mês após o plantio, portanto os valores de perfilhamento citados podem ser considerados como valores verdadeiros.

A frequência entre irrigações não alterou significativamente os valores de perfilhamento. Houve diferença significativa apenas quando os tratamentos irrigados são comparados à testemunha (Quadro 14).

Leme et al. (1982) avaliaram o perfilhamento da cana-planta irrigada por sulcos e constataram que, para os tratamentos irrigados, o perfilhamento foi da ordem de 22 a 24 colmos por metro linear, e para a testemunha, tratamento sem irrigação, o perfilhamento foi de 14 colmos por metro linear, valor inferior ao obtido nesta pesquisa, a qual

teve um perfilhamento de 27,81 colmos por metro linear para o tratamento sujeito ao manejo de irrigação de maior frequência, e 22,63 colmos por metro linear para a testemunha.

A interpretação dos resultados da análise de variância do parâmetro “açúcar teórico recuperável”, ATR, apresentados no Quadro 14, mostra que não houve diferença significativa quando se comparam os tratamentos irrigados L_1 com L_2 e L_1 com L_3 , porém nota-se nesta análise que houve diferença estatística significativa entre médias de produção, kg de ATR ha^{-1} , quando se manejou o sistema de irrigação com as frequências de aplicação de água equivalentes a evapotranspiração da cultura igual a 20 mm e 30 mm. A maior produtividade de ATR foi obtida pelo tratamento L_2 , correspondente à lâmina de 20 mm, apresentando um índice da ordem de 49.973,05 kg de ATR ha^{-1} .

Como atualmente o comércio de cana-de-açúcar é realizado por sua produção de ATR ha^{-1} e não pela massa de colmos ha^{-1} , o manejo de irrigação deve seguir a interpretação da produção de ATR e não de colmos. As interpretações correlacionando a “tensão de água no solo”, “fração da água disponível” e mesmo o próprio manejo de irrigação, discutidas anteriormente, não valem quando se deseja obter as maiores produções de ATR ha^{-1} . Nesse caso, a produção média de ATR ha^{-1} é afetada quando o solo atinge níveis médios de tensão de água no solo em torno de 200 kPa, o que não ocorreu com a produção de colmos, como discutido anteriormente.

A análise estatística de produção de ATR ha^{-1} também apresentou diferença estatística entre todas as médias dos tratamentos irrigados, quando comparado com o não irrigado, como era esperado.

A análise estatística de produção de massa seca por hectare é equivalente à análise da produção colmos por hectare, ou seja, a irrigação bem como o manejo de irrigação adotado não alterou os valores quantitativos de massa de matéria seca da cultura da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, havendo, portanto, diferença significativa apenas entre os valores de produtividade dos tratamentos irrigados em relação ao do tratamento não irrigado.

4.1.2 Análise tecnológica da cana-planta

Os Quadros 15 e 16 mostram a análise tecnológica da cana-de-açúcar na primeira colheita. Para as seis variáveis analisadas, brix, pol % caldo, pureza, fibra, pol % cana, e ATR, pode-se afirmar que não houve efeito da irrigação, bem como da frequência entre as irrigações na qualidade da matéria-prima, pois o resultado da análise de variância não foi significativo em todos os parâmetros avaliados.

Para as condições deste experimento, pode-se reafirmar, portanto, que a irrigação por gotejamento não altera os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, no primeiro ciclo. Deve-se citar que a irrigação foi interrompida 30 dias antes da colheita, com o objetivo de proporcionar o estresse hídrico na cultura e, conseqüentemente, sua maturação.

O período de maturação da cana-de-açúcar foi considerado como tendo início em 10 de junho de 2001 e término em 10 de julho de 2001, início da colheita. Nesse período de 30 dias, a lâmina precipitada foi de 47,6 mm, a evapotranspiração da cultura média (Etc) nesse mesmo período foi 1,91 mm e a temperatura média foi de 16,28 °C.

Esses resultados incipientes sobre a análise tecnológica da cana-de-açúcar irrigada corroboram o uso da irrigação, desfazendo o mito de que a irrigação pode prejudicar a qualidade da cana, deixando-a “aguada”.

Quadro 15. Valores médios do brix, pol% caldo e pureza para a cana-planta, variedade RB 72 454, sujeitos a diferentes frequências de irrigação.

Tratamentos	Brix ¹	Pol% caldo ¹	Pureza (%) ¹
L ₁	19,88	18,35	92,07
L ₂	20,38	18,70	91,50
L ₃	20,00	17,80	88,66
L ₀	18,88	17,89	93,51
Valor de F	3,25 ns	1,31 ns	2,79 ns
C.V. (%)	3,59	4,04	2,66

¹ ns = não significativo.

Quadro 16. Valores médios de fibra, pol% cana e ATR para a cana-planta, variedade RB 72 454, sujeitos a diferentes frequências de irrigação.

Tratamentos	Fibra ¹	Pol% cana ¹	ATR (kg t ⁻¹) ¹
L ₁	10,05	16,07	153,08
L ₂	10,09	16,37	156,01
L ₃	10,11	15,57	149,50
L ₀	10,09	15,65	148,78
Valor de F	0,01 ns	1,57 ns	1,69 ns
C.V. (%)	4,94	3,73	3,40

¹ ns = não significativo.

4.2 Experimento 2 - Cana-soca e cana-ressoca

4.2.1 Produção de colmos, ATR e matéria seca

Como no “experimento 1”, a análise da cultura da cana-de-açúcar foi em função dos 8 metros lineares colhidos em cada parcela, a qual foi representada por uma área útil de 12 m². A colheita foi realizada manualmente e, logo após, todos os colmos foram contados e pesados em balança eletrônica. Em seguida foram escolhidos ao acaso 6 colmos de cada parcela para realização das análises tecnológicas e quantificação da massa de matéria seca.

Os resultados de produtividade, ATR e perfilhamento, no segundo e terceiro ciclo da cultura da cana-de-açúcar, obtidos mediante os tratamentos NK₅₀, NK₁₀₀, NK₁₅₀ e o tratamento controle (não irrigado) são apresentados no Quadro 17.

No experimento 2, e em relação à análise dos dados de produtividade da cana-soca e ressoca, houve diferença estatística significativa entre todos os tratamentos fertirrigados (NK₅₀, NK₁₀₀, NK₁₅₀).

Foi o tratamento NK₁₅₀ que teve a maior produção de colmos no 2º e 3º ciclos. Vale lembrar que esse tratamento foi o que esteve sujeito à dose mais elevada de nitrogênio e potássio. A menor produção de colmos no tratamento irrigado foi obtida no

tratamento NK₅₀, representada pelo tratamento com menor dose de NK, observações estas válidas para a cana-soca e ressoca, pois os resultados das análises estatísticas foram as mesmas para a cana-soca e cana-ressoca.

Quadro 17. Valores médios de produção de cana, ATR e perfilhamento, obtidos no segundo e terceiro ciclo.

Tratamentos	Cana (t ha ⁻¹)		ATR (kg ha ⁻¹)		Perfilhamento (colmos m ⁻¹)	
	2º ciclo	3º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	2º ciclo	3º ciclo
NK ₅₀	142,17a	113,12 a	18897,26 a	15964,20 a	16,75 ns	15,25 a
NK ₁₀₀	171,21b	138,07 b	21717,77 b	19689,58 b	18,17 ns	14,58 a
NK ₁₅₀	190,01c	168,80 c	24656,35 c	24749,94 c	19,83 ns	17,33 b
NI	132,41a	100,98 a	17809,15 a	14316,88 a	18,17 ns	15,58 a
C.V. (%)	4,30	4,96	5,61	9,46	11,18	4,13

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey com 5% de probabilidade. ns (não significativo)

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos NK₅₀ e o tratamento controle (NI), sendo esses resultados observados no 2º e 3º ciclos. Pode-se afirmar, portanto, que a adubação de NK₅₀ foi limitante na produção da cana-de-açúcar, pois esse respectivo tratamento (NK₅₀) era irrigado, ou seja, a água não foi o fator que limitou a produção média desse tratamento em 142,17 t ha⁻¹ para o 2º ciclo e 113,12 t ha⁻¹ para o 3º ciclo. Provavelmente, foi o nitrogênio e/ou o potássio que limitaram a produção da cana-de-açúcar.

No experimento 2, os resultados obtidos com a análise estatística dos dados de ATR, 2º e 3º ciclos, são equivalentes à produção de colmos, ou seja, houve diferença significativa entre todos os tratamentos fertirrigados. Não houve diferença estatística significativa apenas entre o tratamento NK₅₀ e o tratamento não irrigado.

Nota-se no Quadro 17 que não foram significativos os valores médios de colmos por metro linear na cana de 2º ciclo. O fato de não haver significância entre os valores médios se deve ao elevado coeficiente de variação (C.V. = 11,18 %) dos dados de perfilhamento da cana-soca.

A esse respeito, uma análise pode ser considerada: para um ano agrícola em condições climáticas semelhantes, a irrigação pode não ser o incremento tecnológico que irá aumentar o perfilhamento da cana-de-açúcar, e a irrigação não irá necessariamente aumentar o número de perfilhos, e sim propiciar à cana-de-açúcar um ganho de massa por colmo.

No 3º ciclo, o perfilhamento apresentou diferença significativa do tratamento NK₁₅₀ em relação aos outros tratamentos. Isso é um indicativo de que a água necessariamente não irá aumentar o número de perfilhos e sim o aumento da dose de fertilizante NK, pois o tratamento fertirrigado NK₁₀₀ teve o perfilhamento estatisticamente igual ao tratamento não irrigado (NI). Vale lembrar que nesses dois tratamentos citados, as doses de NK foram iguais.

O rendimento de matéria seca da cana-soca se encontra no Quadro 18. O tratamento NK₅₀ e o tratamento NI (não irrigado) não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. Resultado igual ocorreu entre os tratamentos NK₁₀₀ e NK₁₅₀.

No 3º ciclo, de cana-ressoca, o tratamento NK₅₀ e o tratamento NI (não irrigado) permanecem não apresentando diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidade. Entre os tratamentos NK₁₀₀ e NK₁₅₀ a diferença estatística foi significativa, conforme valores apresentados no Quadro 18.

Quadro 18. Valores médios de produção de matéria seca obtida no segundo e terceiro ciclo.

Tratamentos	Produção de Matéria Seca			
	2º ciclo		3º ciclo	
	%	(kg ha ⁻¹)	%	(kg ha ⁻¹)
NK ₅₀	28,37	40419,23 a	29,43	33262,34 a
NK ₁₀₀	29,50	50519,68 b	28,95	39995,90 b
NK ₁₅₀	28,66	54392,17 b	28,66	48399,72 c
NI	28,25	37412,70 a	28,31	28552,79 a
C.V. (%)	----	8,15	----	8,46

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey com 5% de probabilidade.

A Figura 4 mostra a produtividade da cana-de-açúcar obtida no segundo e terceiro ciclos. Observa-se que para todos os tratamentos houve uma redução da produção do terceiro corte em relação ao segundo, como era esperado. Nesse experimento, o tratamento sujeito a fertirrigação com a dose NK₁₅₀ teve uma quebra de produção do terceiro ciclo em relação ao segundo ciclo de 21 t ha⁻¹, valor este inferior aos demais tratamentos. Para os tratamentos NK₅₀, NK₁₀₀, e NI a quebra de produção foi de 29 t ha⁻¹, 33 t ha⁻¹ e 31 t ha⁻¹, respectivamente. Como os produtores de cana-de-açúcar buscam minimizar a variação de produtividade de cana-de-açúcar ano após ano, o tratamento NK₁₅₀ é um indicativo de que, o aumento da dose de nitrogênio e potássio, e os mesmos aplicados via fertirrigação, pode diminuir a variação de produção de safras subsequentes.

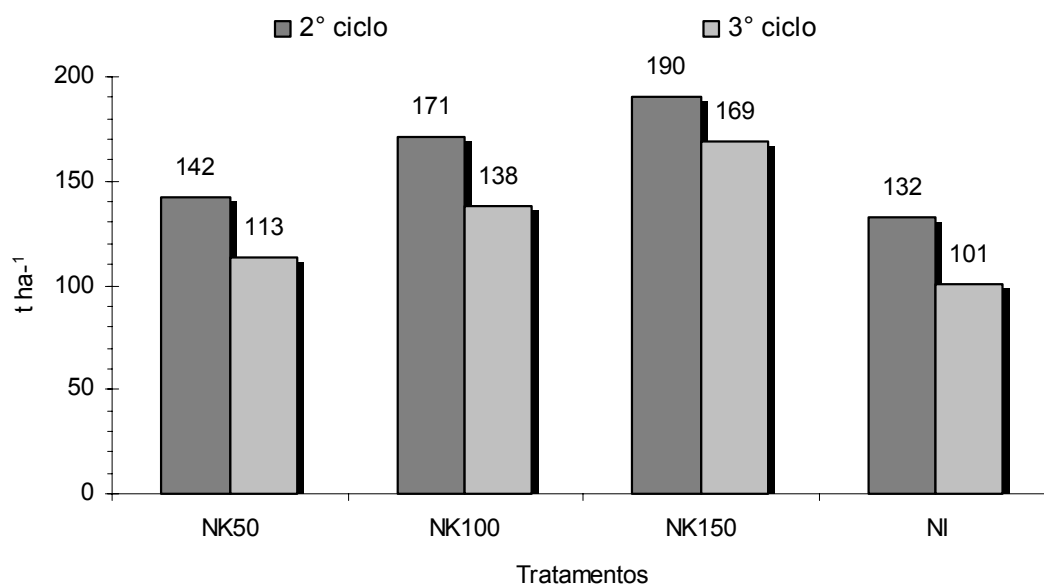


Figura 4. Produtividade da cana-de-açúcar obtida no segundo e terceiro ciclos.

As curvas apresentadas na Figura 5(a) e (b) são os valores médios de aumento de produção da cana-de-açúcar e ATR em relação à testemunha. Nota-se na Figura 5(a) que a fertirrigação com NK para as três respectivas doses, proporcionou um aumento de tendência linear no incremento da produtividade na cana-soca, bem como na ressoca. Os maiores aumentos de produção de colmos devido a fertirrigação, foram de 57,60 t ha⁻¹ e

67,82 t ha⁻¹, para a cana de 2^o e 3^o ciclo, respectivamente, e sujeitos ao tratamento com aplicação de NK da ordem de 150% (Figura 5(a)).

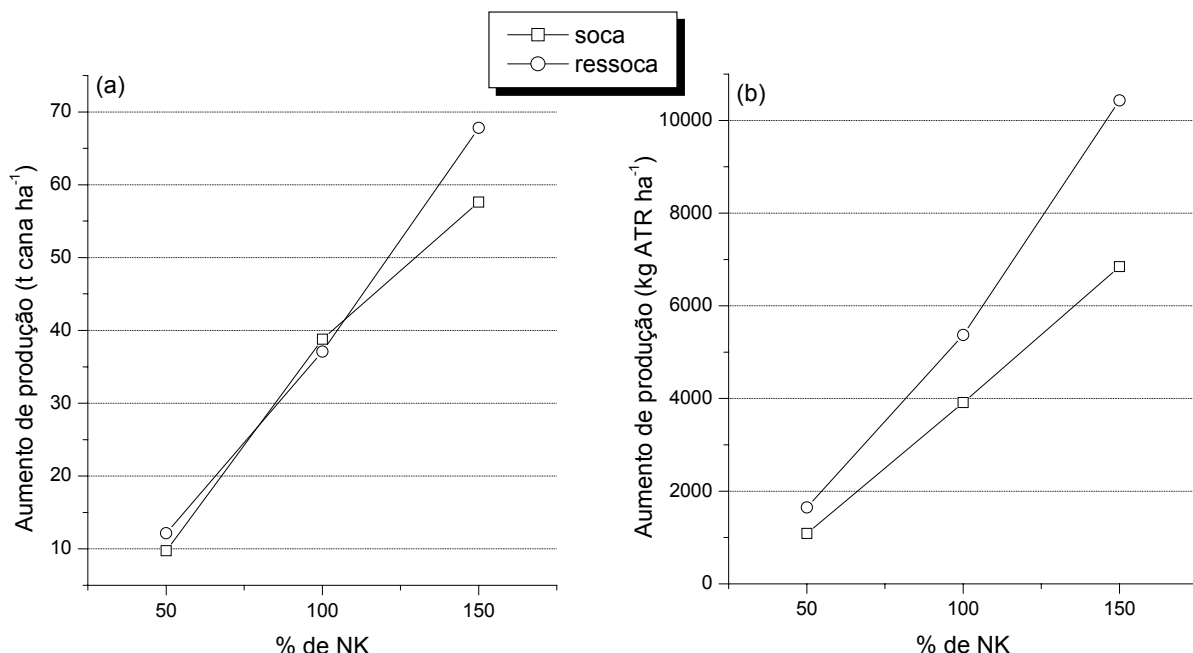


Figura 5. Aumentos de produção da cana (a) e ATR (b) em relação à testemunha, nos ciclos soca e ressoca, em função da porcentagem da dose recomendada de aplicação de nitrogênio e potássio e da irrigação.

A Figura 5(b) está representando as curvas com os respectivos aumentos de produção de ATR (kg ha⁻¹) para a cana-soca e ressoca. O aumento de 50% da dose recomendada de nitrogênio e potássio, e a mesma aplicada via fertirrigação, proporcionou à cana-soca e ressoca um incremento de produção de ATR em relação à testemunha, valores da ordem de 6.847,21 kg ha⁻¹ e 10.433,06 kg ha⁻¹, para a cana de 2^o e 3^o ciclos, respectivamente. É importante observar nas Figuras 5(a) e 5(b) que o tratamento NK₁₅₀ respondeu melhor no ciclo da cana-ressoca do que no ciclo da cana-soca.

4.2.2 Análise tecnológica para o experimento 2 – cana-soca e ressoca

Nos Quadros 19 e 20 estão demonstrados os valores médios das análises tecnológicas da cana-soca (2^o ciclo). Observa-se que não houve efeito do tratamento na

qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. As médias não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade no teste F, para este ciclo pode-se afirmar que a irrigação não alterou a qualidade da matéria-prima. Tomando-se esta conclusão como verdadeira, pode-se afirmar que a fertirrigação com as referidas doses de nitrogênio e potássio, não alteram as qualidades tecnológicas da cana-soca, variedade RB 72 454, nas condições edáficas do experimento.

Quadro 19. Valores médios do brix, pol% caldo e pureza para a cana-soca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.

Tratamentos	Brix ¹	Pol% caldo ¹	Pureza (%) ¹
NK ₅₀	18,03	15,65	86,29
NK ₁₀₀	17,50	14,81	84,61
NK ₁₅₀	17,83	15,32	85,85
NI	18,23	15,79	86,55
Valor de F	0,80 ns	0,92 ns	0,85 ns
C.V. (%)	3,87	5,87	2,18

¹ns = não significativo.

Quadro 20. Valores médios de fibra, pol% cana e ATR para a cana-soca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.

Tratamentos	Fibra ¹	Pol % cana ¹	ATR (kg t ⁻¹) ¹
NK ₅₀	9,63	13,80	132,96
NK ₁₀₀	9,55	13,08	126,87
NK ₁₅₀	9,90	13,45	129,93
NI	9,51	13,95	134,45
Valor de F	0,63 ns	1,13 ns	1,14 ns
C.V. (%)	4,55	5,41	4,81

¹ns = não significativo.

Nos Quadros 21 e 22 estão demonstradas as análises tecnológicas da cana-ressoca. Como era esperado, não houve efeito do tratamento na ressoca, pois a análise apresentou resultados não significativos ao teste F, ao nível de probabilidade de 5%.

Confirma-se, portanto, que a fertirrigação com NK e suas respectivas doses de nitrogênio e potássio, não alteram a qualidade da matéria prima, como observado também na cana-soca.

Quadro 21. Valores médios do brix, pol do caldo, e pureza para a cana-ressoca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.

Tratamentos	Brix ¹	Pol caldo (%) ¹	Pureza (%) ¹
NK ₅₀	19,68	17,01	86,40
NK ₁₀₀	19,70	17,03	86,30
NK ₁₅₀	20,13	17,71	87,96
NI	19,65	16,94	85,96
Valor de F	0,13 ns	0,23 ns	0,57 ns
C.V. (%)	6,29	8,75	2,72

¹ ns = não significativo.

Quadro 22. Valores médios de fibra, pol% cana e ATR para a cana-ressoca, variedade RB 72 454, irrigadas e sujeitas a diferentes doses de nitrogênio e potássio.

Tratamentos	Fibra ¹	Pol% cana ¹	ATR (kg t ⁻¹) ¹
NK ₅₀	10,83	14,70	141,26
NK ₁₀₀	10,39	14,83	142,52
NK ₁₅₀	10,81	15,30	146,49
NI	10,49	14,71	141,52
Valor de F	0,72 ns	0,22 ns	0,20 ns
C.V. (%)	4,98	8,26	7,52

¹ ns = não significativo.

Para as condições desse experimento, pode-se reafirmar, portanto, que a fertirrigação por gotejamento subsuperficial não altera os respectivos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, no ciclo da cana-soca e ressoca. Deve-se citar que na cana-soca, devido ao tombamento da cana-de-açúcar pelo vento, o início da colheita foi realizado nove dias após a última irrigação. Na cana-ressoca, o início da colheita foi realizado

no 25º dia após a última irrigação, com o objetivo de proporcionar o estresse hídrico na cultura e conseqüentemente sua maturação.

4.3 Comportamento geral da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada

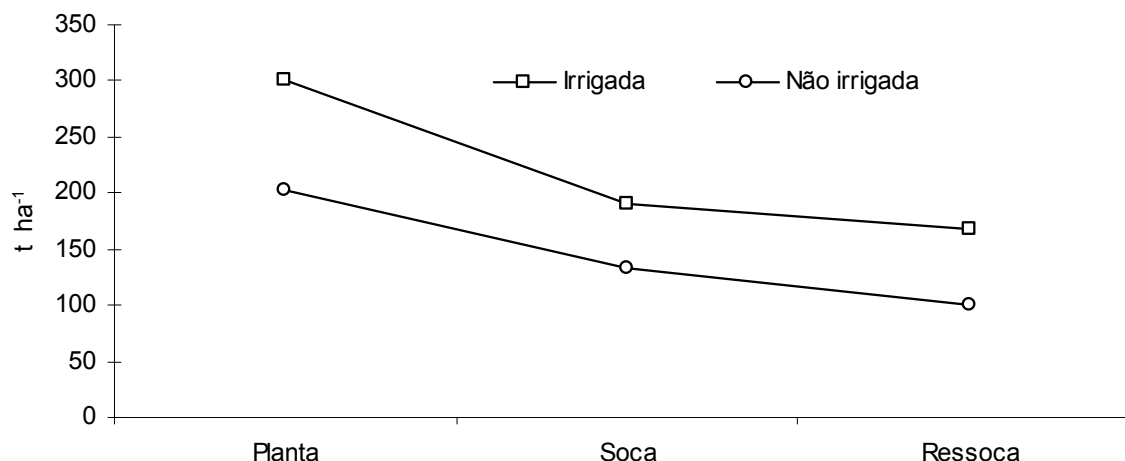


Figura 6. Produção da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada nos três ciclos.

Na Figura 6, os dados considerados na elaboração da curva de produção da cana-de-açúcar irrigada foram para o 1º ciclo, os valores médios da produção dos três tratamentos irrigados, pois os mesmos apresentaram valores médios de produtividade estatisticamente iguais. Os dados do 2º e 3º ciclos foram os valores do tratamento em que se aplicou a dose NK₁₅₀, ou seja, o tratamento que apresentou a maior produtividade.

Um dos principais problemas observados na cultura da cana-de-açúcar, a qual é considerada uma cultura semiperene, é a quebra de produção que ocorre de uma safra para outra. Os trabalhos que estão sendo desenvolvidos com cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial buscam estimar qual o valor da quebra de produção no decorrer de safras sucessivas. Nesse experimento, a cana-de-açúcar não irrigada (sequeiro) teve uma redução de produção de 39,79% e 25,69% do primeiro ano para o segundo, e do segundo para o terceiro ano de produção, respectivamente. Na cana-de-açúcar cultivada sob irrigação, a redução foi de 36,76% e 11,38% do primeiro ano para o segundo, e segundo para o terceiro

ano de produção, respectivamente. Observa-se que a quebra de produtividade, em relação aos três ciclos da cultura estudada, foi menor na cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada com nitrogênio e potássio. Do 1º ciclo para o 2º ciclo as reduções de produtividade foram proporcionais para a cana-de-açúcar de sequeiro como para a cana-de-açúcar irrigada. Entretanto, a quebra de produtividade do 2º ciclo para o 3º ciclo foi mais intensa na cana-de-açúcar cultivada em condições de sequeiro.

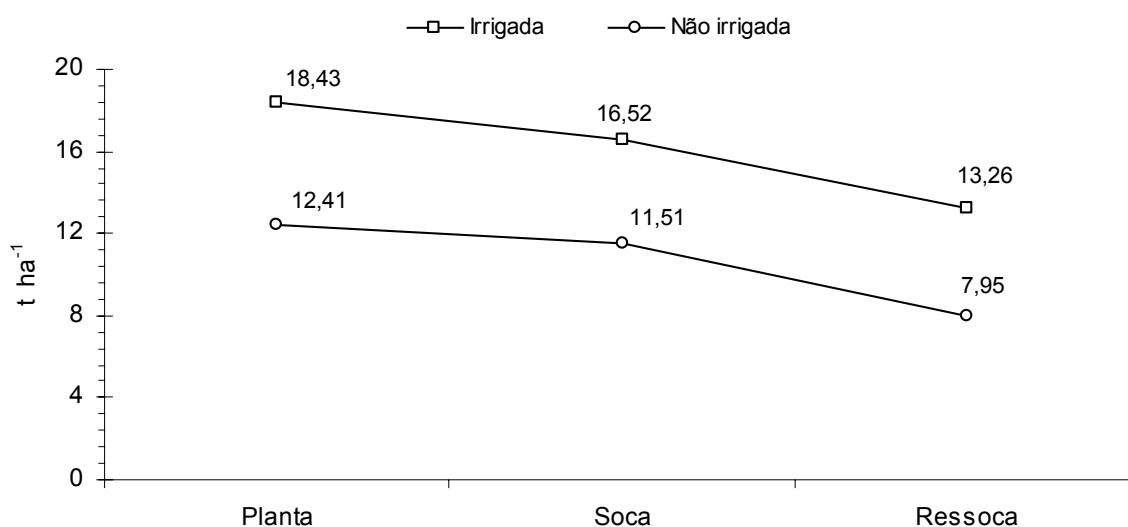


Figura 7. Estimativa da produção mensal da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada no 1º, 2º e 3º ciclos.

Na construção das curvas da Figura 7 foram considerados os mesmos critérios da Figura 6.

Os índices apontados na Figura 7, são os valores de produtividades mensais, ao quais foram obtidos dividindo a produção total anual pelo número de meses das respectivas safras – planta, soca e ressoca. Diferentemente do que mostra a Figura 6, na qual a curva aponta para uma “estabilização” da produção da cana-de-açúcar, a Figura 7 mostra que os valores de produção mensal de massa fresca reduziram-se com maior intensidade da cana-soca para cana-ressoca, quando comparado com a redução da cana-planta para a cana-soca. A idade em meses da cana-planta, soca e ressoca é 16,3, 11,5 e 12,7 meses, respectivamente.

4.4 Avaliação de atributos químicos do solo

Os Quadros 23 e 24 apresentam os resultados da análise de fertilidade do solo após a colheita da cana-soca e também após a colheita da cana-ressoca. Estes ciclos da cana-de-açúcar foram irrigados e fertirrigados com variadas doses de nitrogênio e potássio.

É interessante notar no Quadro 23 uma distribuição uniforme do potássio no perfil do solo corresponde a 0 – 80 cm nos tratamentos irrigados. Valores de concentração diferentes do apresentado no tratamento não irrigado, que apresentou uma concentração de K correspondente a 1,7 (mmol_c dm⁻³) no perfil 0 – 20 cm, e nos perfis subseqüentes valores iguais a 0,7 (mmol_c dm⁻³).

Os resultados da concentração de K dos tratamentos irrigados mostram uma tendência de lixiviação do potássio no perfil do solo, apesar da lâmina de irrigação ser calculada até o limite máximo de armazenamento de água no solo.

Quadro 23 . Características químicas do solo da área experimental após a 2^o colheita da cana.

Tratamentos	Cam. (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (mg dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	V%	CTC
							(mmol _c dm ⁻³)				
NK ₅₀	0 – 20	5,8	13	16	15	0,6	27	14	42	74	57
	20 – 40	5,4	9	3	16	0,6	25	12	38	71	54
	40 – 60	5,1	7	2	16	0,8	19	8	27	62	44
	60 – 80	5,1	7	2	20	0,9	22	8	30	60	50
NK ₁₀₀	0 – 20	5,3	13	31	25	0,6	24	12	37	60	62
	20 – 40	5,2	10	4	28	0,6	27	13	41	59	68
	40 – 60	4,9	8	2	31	0,7	19	8	27	47	58
	60 – 80	4,7	9	2	36	0,8	23	11	34	49	70
NK ₁₅₀	0 – 20	5,1	13	10	14	0,7	24	15	40	74	54
	20 – 40	4,7	10	5	38	0,8	20	6	27	41	65
	40 – 60	4,8	10	2	40	0,8	19	6	25	39	66
	60 – 80	5	8	2	16	0,8	17	6	24	59	40
Não Irrigado	0 – 20	5,1	13	32	18	1,7	26	10	38	67	56
	20 – 40	4,7	11	5	45	0,7	18	5	24	35	69
	40 – 60	4,8	8	2	25	0,7	18	5	24	49	49
	60 – 80	4,8	8	1	29	0,7	15	4	20	41	50

É interessante notar no Quadro 24 o comportamento do potássio no perfil do solo. Observa-se nos tratamentos fertirrigados – NK₅₀, NK₁₀₀ e NK₁₅₀ – que a

concentração do potássio foi menor no perfil considerado de 20 a 40 cm, para os três respectivos tratamentos. Provavelmente esta redução na concentração do potássio no perfil considerado se deva à localização do tubo gotejador, pois o tubo foi instalado a uma profundidade média de 30 cm, provocando a lixiviação do potássio devido à irrigação, o que é provável, pois no tratamento controle, não irrigado, observa-se que não houve um movimento significativo do potássio no perfil do solo como nos tratamentos irrigados. Estes resultados (Quadro 23 e 24) servem de advertência para o manejo da irrigação por gotejamento subsuperficial e mesmo da fertirrigação para as futuras áreas irrigadas de cana-de-açúcar onde o nível freático se encontra próximo a superfície.

Quadro 24 . Características químicas do solo da área experimental após a 3^o colheita da cana.

Tratamento	Cam. (cm)	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (mg dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	V%	CTC
					(mmol _c dm ⁻³)						
NK ₅₀	0 – 20	6,3	15	72	13	2,9	51	32	86	87	99
	20 – 40	4,8	11	11	28	0,8	12	5	18	39	45
	40 – 60	4,3	8	3	33	1,3	9	3	13	29	46
	60 – 80	4,8	8	5	26	0,7	12	5	18	40	44
NK ₁₀₀	0 – 20	6,6	15	79	13	1,3	59	42	102	89	115
	20 – 40	4,8	12	20	25	0,2	8	4	12	33	37
	40 – 60	4,2	11	4	34	1,0	6	2	9	21	43
	60 – 80	4,3	10	3	33	0,7	12	9	21	40	54
NK ₁₅₀	0 – 20	6,1	16	50	15	1,4	44	32	77	84	92
	20 – 40	4,6	15	8	29	0,9	9	5	15	34	44
	40 – 60	4,1	8	3	36	1,3	6	3	10	22	46
	60 – 80	4,3	9	3	31	1,5	11	3	15	33	46
Não Irrigado	0 – 20	5,2	19	23	22	2,3	24	14	41	64	63
	20 – 40	4,5	12	6	31	0,7	10	4	14	32	45
	40 – 60	4,4	11	2	31	0,4	9	3	12	29	43
	60 – 80	4,8	9	2	24	0,4	11	5	16	40	40

Os valores da concentração de fósforo apresentado nos Quadros 23 e 24 comprovam a pouca mobilidade do elemento no solo, mesmo em áreas irrigadas.

Como após as colheitas da cana-de-açúcar, retirou-se da superfície do solo toda a palhada da cana resultante da colheita, os resultados de matéria orgânica (M.O.) apresentados no Quadro 24 revelam que pode haver uma redução no desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar nos tratamentos irrigados, em função da mesma não sofrer

estresse hídrico, pois os valores indicados mostram uma concentração maior de matéria orgânica nos perfis do solo do tratamento não irrigado. Porém, um estudo mais detalhado deve ser realizado, pois nos tratamentos irrigados foi aplicado trifluralina via água de irrigação para prevenir a intrusão de raízes nos gotejadores. Esse herbicida, como relatado anteriormente, inibe o desenvolvimento de raízes.

4.5 Considerações sobre o manejo da irrigação

4.5.1 Experimento 1 – safra 2000/2001 – cana-planta

A irrigação teve seu início no dia 3 de março de 2000, sem a diferenciação dos tratamentos irrigados até o início do mês de abril de 2000. Neste mês todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação, e o índice pluviométrico atingiu 162 mm, índice de chuva suficiente para uma brotação uniforme da cana-de-açúcar, o que realmente ocorreu, mesmo para o tratamento sem irrigação.

O ciclo da cana-planta prolongou-se de março de 2000 até julho de 2001, perfazendo um total de aproximadamente 16 meses. Durante este período o índice de precipitação foi de 1.787,1 mm, Quadro 25. Lâmina de água que, uniformemente distribuída ao longo do ano, seria suficiente para manter a cultura sem estresse hídrico, pois a Etc estimada foi de 1.757,67 mm. Porém, verifica-se que em alguns períodos ou meses, a demanda hídrica da cultura estimada é maior que a lâmina precipitada, justificando a irrigação. Observa-se, por exemplo, que no mês de outubro, a demanda hídrica da cultura estimada foi de 163,41 mm e o índice pluviométrico foi de apenas 20,3 mm. Este baixo valor interagiu positivamente nos tratamentos irrigados. Entretanto, nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, período este que, segundo vários autores, há o maior desenvolvimento da cultura devido às elevadas temperaturas e luminosidade, a precipitação média mensal superou a Etc, favorecendo o desenvolvimento da cultura sujeita ao tratamento não irrigado (L_0). É importante citar que não houve ocorrência de veranicos durante os respectivos meses citados.

Quadro 25. Valores mensais obtidos da precipitação e evaporação do tanque Classe A e os valores calculados da evapotranspiração da cultura para o 1º corte.

	Meses	Precipitação mensal (mm)	ECA mensal (mm)	Etc mensal (mm)
2000	Mar	162,4	-----	-----
	Abr	12,1	170,40	51,12
	Mai	10,3	133,96	75,35
	Jun	12,8	112,86	63,48
	Jul	55,0	116,10	74,01
	Ago	73,7	152,70	108,80
	Set	127,9	141,15	111,16
	Out	20,3	207,50	163,41
	Nov	198,0	163,63	141,13
	Dez	184,8	184,05	158,74
2001	Jan	322,2	188,40	176,63
	Fev	278,2	150,30	140,91
	Mar	156,6	182,60	171,19
	Abr	24,9	168,10	157,59
	Mai	91,0	114,90	86,18
	Jun	56,9	105,50	55,39
	Jul*	0,0	43,00	22,58
Total		1.787,1	2.335,15	1.757,67

*Valor correspondente até o dia da colheita.

A Figura 8 apresenta os valores mensais da lâmina precipitada e a lâmina estimada correspondente a evapotranspiração da cultura (Etc), bem como a curva mostrando a variação mensal da temperatura média, durante o ciclo da cana-planta.

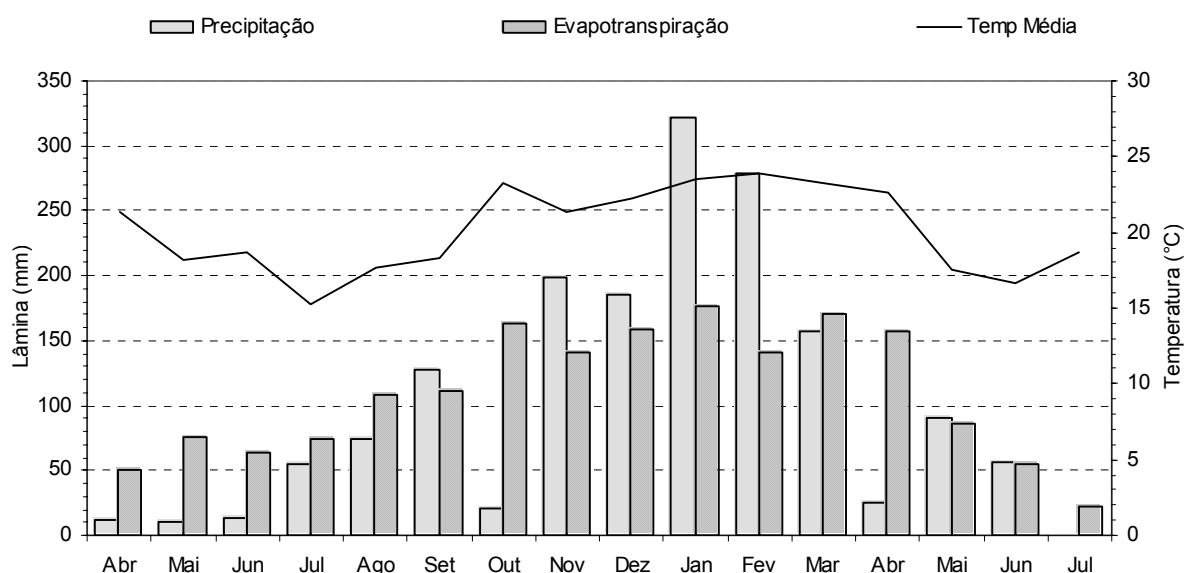


Figura 8. Valores médios mensais da temperatura média do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura, para os meses de abril de 2000 a julho de 2001, referente ao ano do 1º ciclo da cana-de-açúcar.

Quadro 26. Índices quantitativos do manejo da irrigação durante o ciclo da cana-planta.

Tratamentos	Nº de irrigações	Lâmina d'água (mm)		
		Irrigação	Precipitação	Total
L ₁	115	1150	1.787,1	2.937,1
L ₂	51	1020	1.787,1	2.807,1
L ₃	32	960	1.787,1	2.747,1
L ₀	-----	-----	1.787,1	1.787,1

Verifica-se no Quadro 26, que o tratamento L₁, o qual esteve sujeito ao turno de rega mais freqüente, foi necessário à realização de 115 irrigações durante o período de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Para os tratamentos L₂ e L₃, foram realizadas 51 e 32 irrigações, respectivamente. A lâmina aplicada via irrigação no tratamento (L₁) foi 1.150 mm e nos tratamentos L₂ e L₃ 1.020 e 960 mm, respectivamente. Estes altos valores de lâmina são justificados em função dos 16 meses de desenvolvimento da cultura, a qual é chamada popularmente de “cana de ano-e-meio”.

A lâmina de irrigação aplicada em cada tratamento diferiu-se numericamente. Isso deve-se à metodologia utilizada para o manejo da irrigação. As irrigações menos frequentes tendem a otimizar a água derivada da precipitação pluviométrica.

4.5.2 Experimento 2 – safras 2001/2002 e 2002/2003 – cana-soca e ressoca

O manejo da irrigação da cana-soca teve seu início logo após a colheita. Para este ciclo, foi necessária a realização de 26 irrigações. Totalizando uma lâmina aplicada de 520 mm durante o período de crescimento da cultura. A frequência média observada entre as irrigações foi de 13,1 dias.

Quadro 27. Valores mensais obtidos da precipitação, evaporação do tanque Classe A e os valores calculados da evapotranspiração da cultura para o 2º corte.

	Meses	Precipitação mensal (mm)	ECA mensal (mm)	Etc mensal (mm)
2001	Jul	46,1	82,80	31,05
	Ago	54,0	128,99	54,58
	Set	66,3	136,39	72,43
	Out	140,5	170,72	105,56
	Nov	116,6	150,40	104,83
	Dez	279,7	116,32	82,88
2002	Jan	281,8	115,43	90,83
	Fev	210,2	139,09	114,75
	Mar	120,6	152,09	134,06
	Abr	2,4	168,84	151,96
	Mai	103,7	128,10	115,29
	Jun*	0,0	96,14	58,35
Total		1.421,9	1.585,31	1.116,56

*Valor correspondente até o dia da colheita.

O Quadro 27 apresenta os valores mensais da precipitação, evaporação mensal do tanque Classe A e a evapotranspiração estimada da cultura, para o período em que foi cultivada a cana-soca.

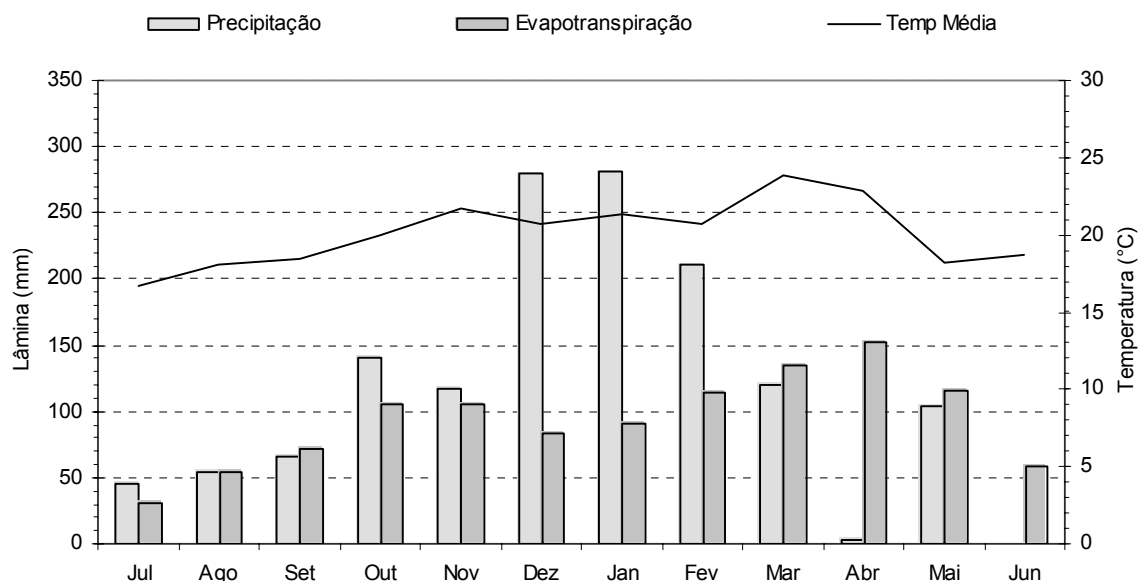


Figura 9. Valores médios mensais da temperatura média do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura para os meses de julho de 2001 a junho de 2002, referente ao ano do 2º ciclo da cana-de-açúcar.

A Figura 9 apresenta os valores médios mensais de precipitação, evapotranspiração, e temperatura do ar, para o ano agrícola de 2001-2002.

O manejo da irrigação da cana-ressoca teve seu início logo após a colheita da cana-soca. Para este ciclo, foi necessária a realização de 37 irrigações. Totalizando uma lâmina aplicada de 740 mm durante o período de crescimento da cultura. A frequência média entre as irrigações foi de 9,6 dias.

No Quadro 28 é apresentado o valor mensal de precipitação, evaporação do tanque Classe A e a evapotranspiração estimada da cultura, para o ano agrícola 2002/2003. Foi neste período que se desenvolveu a cana-ressoca.

É importante observar que a quantidade de precipitação no ano agrícola 2002/2003 foi maior em relação ao ano 2001/2002, 61,8 mm exatamente. Porém, devido à

irregularidade entre as chuvas no ano 2002/2003 o número de irrigações para o respectivo ano foi maior, contribuindo positivamente para as situações com área irrigada. A irregularidade entre as chuvas também justifica a maior lâmina aplicada no último ano da cultura.

Quadro 28. Valores mensais obtidos da precipitação, evaporação do tanque Classe A e os valores calculados da evapotranspiração da cultura no 3º corte.

	Meses	Precipitação mensal (mm)	ECA mensal (mm)	Etc mensal (mm)
2002	Jun	0,0	13,1	4,9
	Jul	8,0	90,0	35,5
	Ago	91,0	157,4	74,7
	Set	51,1	132,4	77,5
	Out	54,2	238,3	156,2
	Nov	151,7	146,7	104,5
	Dez	226,2	157,9	119,3
2003	Jan	416,2	97,5	76,9
	Fev	145,5	103,2	87,8
	Mar	177,7	163,0	146,7
	Abr	69,7	124,7	112,2
	Mai	52,3	109,0	98,1
	Jun	24,4	100,3	52,7
	Jul*	15,8	65,2	34,2
Total		1.483,7	1.698,6	1.181,4

*Valor correspondente até o dia da colheita.

Na Figura 10 é apresentado o valor de temperatura média do ar, evaporação média mensal do tanque Classe A e a evapotranspiração da cultura estimada para o período da cana-ressoca. Destaca-se nesta figura o valor da precipitação mensal para o mês de janeiro, 416,2 mm, valor significativamente superior aos demais anos, como mostra a Figura 11.

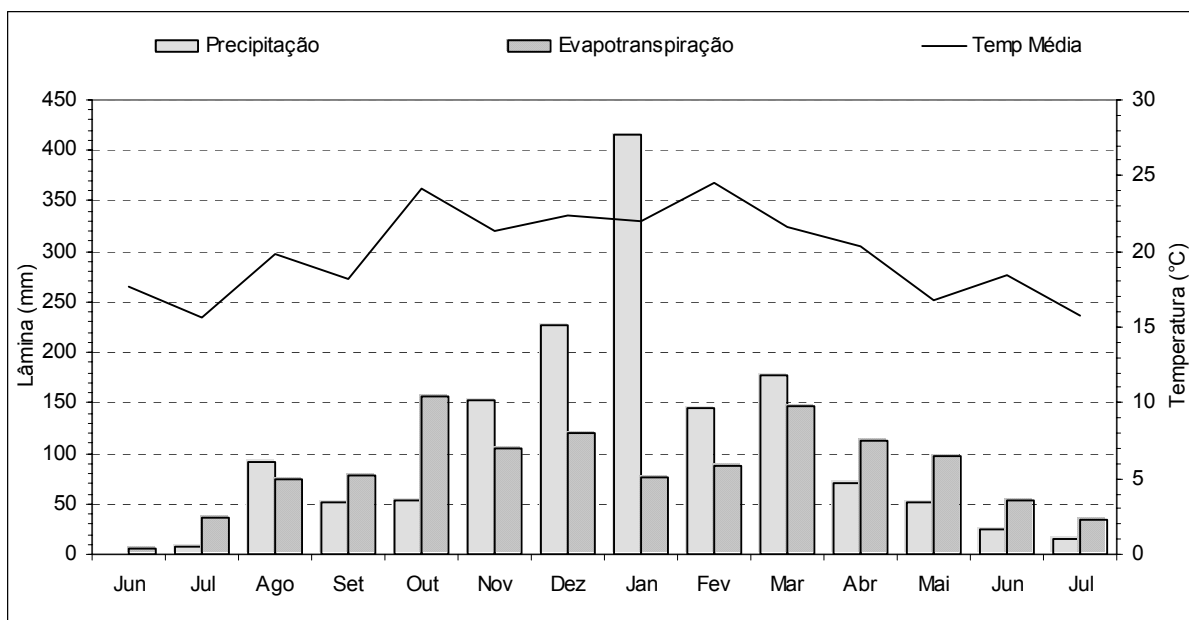


Figura 10. Valores médios mensais de temperatura do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura para os meses de junho de 2002 a julho de 2003, referente ao ano do 3º ciclo da cana-de-açúcar.

A elevada precipitação ocorrida durante os três anos agrícolas, em que se buscou analisar o incremento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial, 1787,1 mm, 1421,9 mm, e 1483,7 mm para o 1º, 2º e 3º ciclo respectivamente, não impediu que ainda houvesse resposta da cultura à irrigação.

A Figura 11 apresenta as normais referentes aos anos de 1971 a 1998 para a precipitação mensal (mm) – dados obtidos no Departamento de Recurso Naturais – FCA - UNESP. O valor médio normal da precipitação é 1533 mm. Através dos valores apresentados nas Figuras 8, 9 e 10 comprova-se que não houve nenhuma macro-alteração nas condições da precipitação pluviométrica do período experimental.

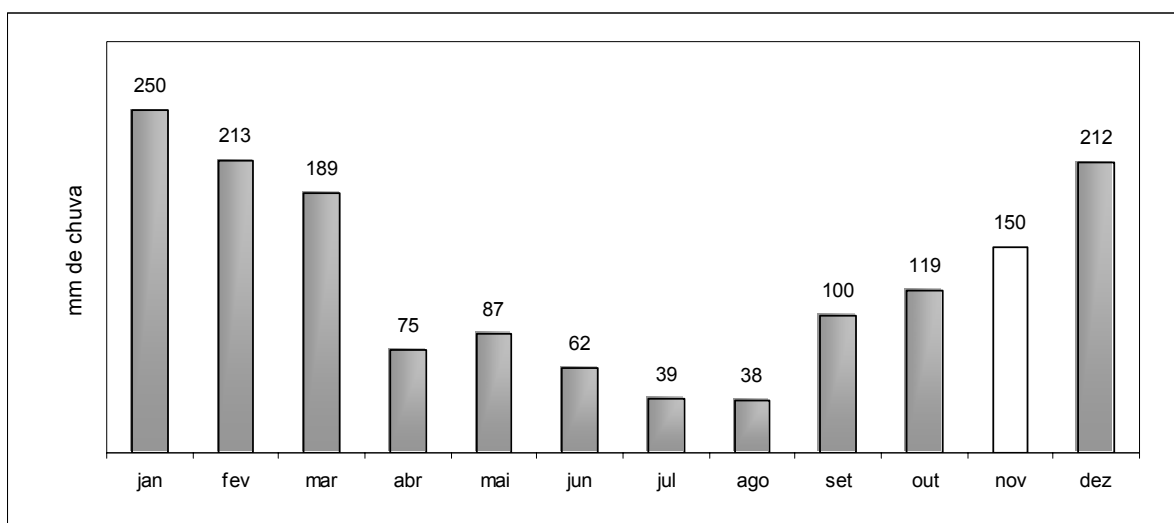


Figura 11. Valores médios mensais de precipitação pluvial, correspondente ao período de 1971 a 1998.

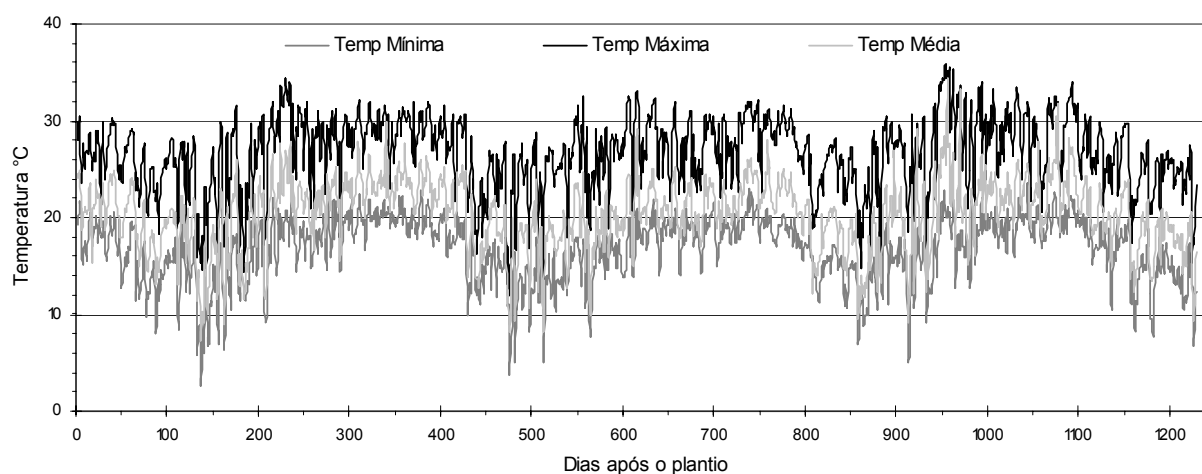


Figura 12. Valores máximos, mínimos e médios da temperatura durante o período de 03/03/2000 a 15/07/2003.

A Figura 12 demonstra o padrão no comportamento das temperaturas mínima, média e máxima durante o período dos três ciclos da cana-de-açúcar. As variações de temperatura ocorridas durante a condução do experimento são bem definidas. O primeiro corte da cana-de-açúcar iniciou-se aos 494 dias após o plantio, o segundo e terceiro corte a 845 e 1.230 dias, respectivamente. Nota-se, portanto, que a colheita ocorreu nos períodos em que se

observou a temperatura mais baixa durante o ano agrícola da cana-de-açúcar, propiciando desta maneira a maturação.

4.6 Avaliação dos emissores

Para avaliar o comportamento do sistema de irrigação subsuperficial por gotejamento, foram retirados após a colheita do último corte da cana-de-açúcar, e com auxílio de uma retroescavadeira, 72 gotejadores de cada tratamento em que a cultura esteve sujeita. O Quadro 29 está composto pelos valores médios de vazão (q), coeficiente de variação (CV), a vazão média do quartio inferior (q_{25}), e a uniformidade de distribuição dos gotejadores (UD), representado pela amostra dos gotejadores retirados da subsuperfície do solo. Na segunda coluna do Quadro 29 está representado o valor das respectivas variáveis analisadas para os gotejadores novos, e as colunas seguintes são compostas pelas variáveis analisadas do tubo gotejador usado durante o experimento.

Quadro 29. Comparação dos valores de q , CV , q_{25} e UD para os emissores novos e usados em cada tratamento do experimento.

Variáveis analisadas	Gotejador novo	Manejo da cultura		
		L_1/NK_{50}	L_2/NK_{100}	L_3/NK_{150}
q ($L\ h^{-1}$)	1,16	1,17	1,18	1,14
$CV\%$	3,91	12,99	8,99	7,63
q_{25} ($L\ h^{-1}$)	1,10	1,02	1,06	1,02
$UD\%$	95,05	87,42	89,68	89,75

Na Figura 13 estão representados graficamente os resultados obtidos na avaliação do tubo gotejador enterrado sob a cultura da cana após o período de três safras. Nota-se que, os valores de vazão dos gotejadores, Figura 13(a), não apresentaram mudanças bruscas. Podendo-se afirmar que não houve entupimento dos emissores pelo sistema radicular da cana, bem como por partículas do solo. Aliás, os tratamentos L_1/NK_{50} e L_2/NK_{100} apresentaram um pequeno aumento no valor da vazão média do gotejador em

relação ao novo. O tratamento L_3/NK_{150} , o qual o tubo foi utilizado, apresentou uma redução média de $0,0199 \text{ L h}^{-1}$, por gotejador. Porém este valor não é um indicativo para afirmar que o respectivo manejo na cultura provocou obstrução aos gotejadores.

Em relação ao valor das 25% menores vazões dos gotejadores Figura 13(c), houve uma pequena redução da vazão em relação aos gotejadores novos, para todos os tratamentos de manejo da cultura; valores estes da ordem de 7,03%, 3,66% e 7,20% para os manejos L_1/NK_{50} , L_2/NK_{100} , L_3/NK_{150} , respectivamente.

Na Figura 13(b) está apresentado o valor obtido do coeficiente de variação da vazão dos gotejadores. Como era esperado, o uso dos gotejadores aumentaram o coeficiente de variação – CV. De acordo com Solomon (1979), a classificação do CV para o gotejador novo está enquadrada na qualidade de “uniformidade média”, pois apresenta CV entre 3% e 7%. O uso proporcionou aos gotejadores um aumento do CV, e a classificação dos gotejadores para os tratamentos de manejo da cultura L_2/NK_{100} , L_3/NK_{150} , é classificado com “uniformidade baixa”, pois apresenta CV entre 3% e 7%. No tratamento L_1/NK_{50} , o gotejador fica classificado como de “uniformidade pobre”, pois apresenta CV entre 10% e 14%.

Observa-se que não há uma explicação para o aumento do CV no tratamento L_1/NK_{50} , que no primeiro ano de desenvolvimento da cana, foi o tratamento que esteve sujeito ao maior número de irrigações (irrigação mais freqüente) e, no segundo e terceiro ano, foi o tratamento que aplicou 50% da dose recomendada de NK.

A Figura 13(d) esta representando os valores obtidos da uniformidade de distribuição dos gotejadores (UD). De acordo com a classificação de Bralts (1986), os gotejadores novos são classificados como de “uniformidade de distribuição excelente”, pois apresentam UD maior que 90%. Para os outros valores de UD, sujeitos aos respectivos tratamentos, os gotejadores são classificados como de “uniformidade de distribuição boa”, pois apresentam UD entre 80 e 90%. Resume-se a análise dos gotejadores, considerando que o uso provocou injúrias aos gotejadores apenas do ponto de vista de sua qualidade construtiva.

Durante o ensaio, não foi verificado em nenhum dos 216 gotejadores analisados, entupimento ou presença de raízes em qualquer emissor. Considera-se portanto que a aplicação de trifluralina, na respectiva dose e freqüência citada, inibe a intrusão de raízes no interior do labirinto dos emissores.

Vale ressaltar que os resultados encontrados nesta análise de comparação dos gotejadores novos e os utilizados no sistema de irrigação subsuperficial, aplicam-se apenas para o lote amostrado e não devem, necessariamente, abranger todos os gotejadores produzidos e comercializados pelo fabricante. O uso de marcas comerciais e equipamentos utilizados neste estudo não recebem o endosso por parte do autor ou da instituição de pesquisa.

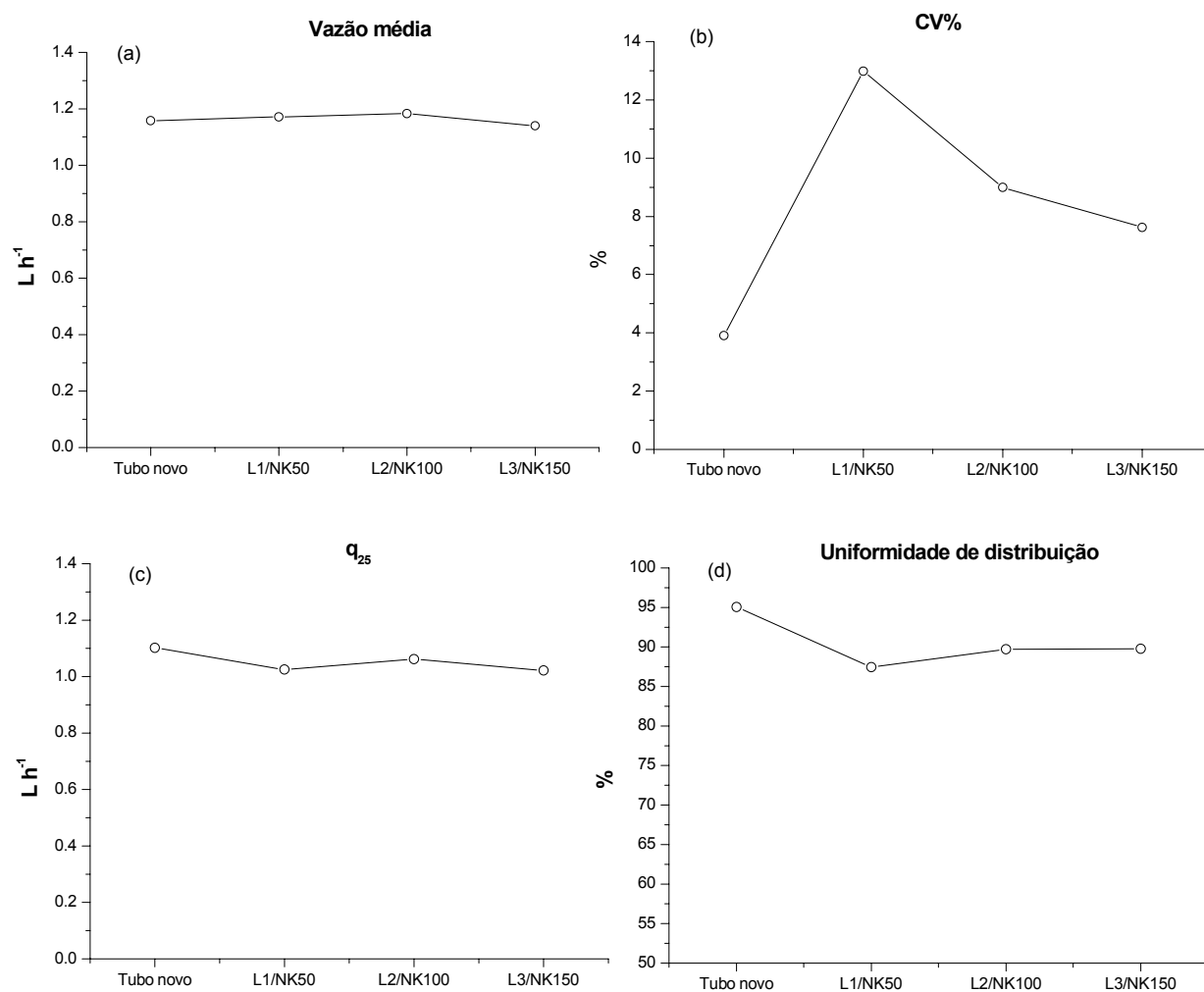


Figura 13. Comparação gráfica do comportamento dos gotejadores novos em relação aos usados durante o período do experimento.

4.7 Considerações gerais

Com base nos resultados obtidos e as experiências vivenciadas na condução deste trabalho e com o propósito de contribuir para o desenvolvimento de futuros estudos e devido a grande quantidade de variáveis que podem interferir no efeito da irrigação subsuperficial por gotejamento na cana-de-açúcar, sugere-se que novas pesquisas estudem as interações da irrigação com: variedades de cana-de-açúcar, tipo de solo, níveis de adubação e fertirrigação, espaçamento de plantio e espaçamento do tubo gotejador. Com as respostas destes futuros estudos, poderão ser realizados o planejamento da irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar e conseqüentemente a análise de sua viabilidade econômica.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem as seguintes conclusões:

a) A frequência entre as irrigações não alterou significativamente a produção de colmos da cana-planta, porém alterou significativamente a produção de açúcar teórico recuperável (ATR), mostrando que longos intervalos entre as irrigações, podem prejudicar a produção de ATR. O tratamento L₂ (média frequência) é o indicado para o manejo da irrigação em cana-planta.

b) Nos três ciclos da cultura estudados, houve resposta significativa da irrigação por gotejamento subsuperficial. Em relação à testemunha, a cana-planta, soca e ressoca tiveram um incremento de produção de colmos da ordem de 58,53%, 43,50% e 67,16%, respectivamente. Os incrementos na produção de ATR foram 66,08%, 38,45% e 72,87% , para a cana-planta, soca e ressoca, respectivamente.

c) A irrigação por gotejamento subsuperficial não alterou as características tecnológicas avaliadas da cana-de-açúcar (RB 72 454), nos três ciclos estudados.

d) Na cana-soca e ressoca, com aumento da dose de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação, houve efeito positivo na produção de colmos e ATR.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

AGUIAR, F. Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana. **Agrianual 2002**: FNP Consultoria e Comércio. p.256-257, 2002.

AUDE, M. I. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, n.2, p.241-48, 1993.

AYARS, J. E. et al. Impact of bed location on the operation of subsurface drip irrigation systems. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, Orlando, 1995. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1995, p.141-146.

BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum* Spp.). Piracicaba, 1981, 82f. (Mestrado em Agrometeorologia) – ESALQ/USP.

* De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: 2002**. Informação e documentação. referências: <<http://www.biblioteca.unesp.br/pages/normalizacao.pdf>>.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatologia e a cana-de-açúcar. In: PLANALSUCAR – Coordenadoria Regional Sul – COSUL, Araras, p. 1-22, 1977.

BATCHELOR, C.H., SOOPRAMANIEN, G.C. Water use and irrigation control of drip-irrigated sugar cane. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, 1995, Orlando/Flórida. **Proceedings**. ASAE: American Society of Agricultural Engineers, 1995. p.717-728.

BAR-YOSEF, B.; SAGIV, B.; MARKOVITCH, T. Sweet corn response to surface and subsurface trickle phosphorus fertigation. **Agronomy Journal**, v.81, p.443-447, 1989.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: Universitária, 1995. 657p.

BITTENCOURT, V. C. et al. Produtividade da cana-de-açúcar e suas relações com a fertilidade dos solos e o manejo da cultura. Piracicaba: **Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.8, n.5/6, p.10-14, 1990.

BRALTS, V. F. Field performace and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240.

BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, v.24, n.1, p.113-119, 1981.

BUI, W.; KINOSHITA, C.M. Has drip irrigation in Hawaii lived up to expectations? In: PROCEEDINGS OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, California. **Proceedings**. ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.1, 1985. p.84-89.

BULL, T. A. e GLASZIOU, K. T. Sugar cane. In: EVANS, L.T. (ed.). **Crop physiology: some case histories**. Cambridge, University Press, 1975, cap. 3, p.51-72.

CALDWELL, D. S., SPURGEON, W. E., MANGES, H. L. Frequency of irrigation subsurface drip-irrigated corn. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.4, p.1099-1103, 1994.

CARNAÚBA, B.A.A. o nitrogênio e a cana-de-açúcar. **Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.8, n.3/4, p.24-41, 1990.

CARRETERO, M.V., **Utilização do tanque de evaporação Classe “A” para o controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar. (*Saccharum Spp*)**. Piracicaba, 1982, 86p. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – ESALQ.

CARVALHO, W. A. P. Boletim Científico. Botucatu, n.1, p.9-13, 1983.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CASAGRANDE, A. A. Crescimento da cana-de-açúcar. Piracicaba: **Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.14, n.5, p.7-8, 1996.

COELHO, A. M. Fertigação. In: QUIMIGAÇÃO, COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994, p. 201-227.

Consecana. **Manual de Instruções**. Ed 3. São Paulo, 2001, 81p.

COSTA, E. F. da; BRITO, R. A. L. Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação. Sete Lagoas: Embrapa, 1988, 19p. (Circular técnica, 13).

COSTA, E. F.; BRITO, R. A. L. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na água de irrigação pressurizada. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 85-109.

COSTA, E. F. da; FRANÇA, G. E. de; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.63-68, 1986.

CUNHA, A. R., KLOSOWSKI, E. S., GALVANI, E., ESCOBEDO, J. F., MARTINS, D. Classificação climática para o Município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p.487-491.

DALRI, A.B.; GARCIA, C. J. B.; CRUZ, R.L.; ARAÚJO, M.V.; DUENHAS, L.H. Uso da trifluralina para controle de intrusão de radículas de cana-de-açúcar em gotejadores enterrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, Salvador, 2002. 1 CD-ROM.

DEMETRIO, V. A. **Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum Spp.*)**. Piracicaba, 1978, 98p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ.

DIAS, F.L.F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação ao clima e solos na região noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.627-634, 1999.

DILLEWIJN, C. VAN. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botânica, 1952. 433p.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Boletim n.33. Campina Grande UFPB, 1994, p.220-226.

DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. V.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva característica de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Eng. Rural**, v.1, n.2, p.94-101, 1990.

ELLIS, R. D., LANKFORD, B. A. The tolerance of sugarcane to water stress during main development phases. **Agric. Water Manage.**, v.17, p.117-28, 1990.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SPI/CNPS, 1999. 412p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Tradução MALAVOLTA, E. São Paulo: EDUSP, Livros Técnicos e Científicos, 1975, 341 p.

EVETT, S. R.; HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D. Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, Orlando, 1995. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1995, p.135-140.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azucar**. Barcelona: Blume. 1975. 433p.

FERNANDES, A. J., **Manual da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 1984. 196p.

FERRELL, J. E. Less water, more crops. **This Word Magazine**. The San Francisco Chronicle, p. 17-18, 1990.

FIORAVANTI, C. Os arquitetos da nova cana. **Pesquisa Fapesp**. São Paulo, n.59, nov. 2000, p.29-35.

FNP (Consultoria e Comércio). Agrianual 2003: anuário de agricultura brasileira. São Paulo, 2003. p. 272-285.

FOGLIATA, F. A. Influência de diferentes niveles de humedad disponible sobre el crecimiento y producción de la canã de azucar. **Rev. Ind. y Agrícola de Tucumam**. Tucuman. v.49, n.2, p.39-56, 1972.

GODOY, G., PALACIOS, A., BARRANTE, A. Sugarcane under drip irrigation in Venezuela. In: PROC. OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985,

Fresno, Califórnia. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.1, 1985. p.133-138.

GRATTAN, S. R.; SCHWANKL, L. J.; LANINI, W. T. Weed control by subsurface drip irrigation. **California Agriculture**. v.42, n.3, p.22-4, 1988.

GUAZZELLI, M. N. A.; PAES, L. D. A. Irrigação de cana-de-açúcar comercial. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA 7, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1997. 11p.

KLAR, A.E. *Irrigação: Frequência e quantidade de aplicação*. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em <<http://www.>> Acesso em: 10 dez. 2003.

KORNDÖRFER, G. H. O potássio e a qualidade da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v.49, p.1-3, 1990.

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, n.2, p.441-448, 1995.

LEIVA, E.; BARRANTES, A. Incremento de la producción de caña de azúcar con riego por goteo enterrado. **Sugar y Azúcar**, v.93, n.8, p.26 – 31, 1998.

LEME, E.J.A., SCARDUA, R., ROSENFELD, U. Consumo de água da cana-de-açúcar irrigada por sulcos de infiltração. **Saccharum**, Piracicaba, n.18, p.29-43, 1982.

LÓPEZ, C. C. **Fertirrigacion**: cultivos horticolas y ornamentales. Madri – Barcelona – México: Mundi-Prensa, 1998, 475 p.

LUCCHESI, A. A. Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Spp.*) Boletim Técnico. ESALQ/CENA, n.7, p.1-50, 1995.

MAGAR, S.S. Adoption of microirrigation technology in sugarcane (*Saccharum Officinarum L.*) on vertisols in semi arid climate. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, 1995, Orlando/Flórida. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers, 1995. p.735-739.

MALAVOLTA, E.; CRÓCOMO, J. Funções do Potássio nas Plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1982, Londrina. **Anais...** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 95-162.

MATSUOKA, S. RB72 454: Uma variedade de cana-de-açúcar para todo o Brasil. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.105, n.416, p.8-18, 1987.

MATTHIAS, A.D.; SALEHI, R.; WARRICK, W. Bare soil evaporation near a surface point-source emitter. **Agricultural and Water Management**. V.11, p.257-277, 1986.

MATIOLI, C. S., FRIZZONE, J. A., PERES, F. C. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para a região norte do estado de São Paulo. **Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos**. v.17, n.2, p.42-45, 1998.

MATIOLI, C. S.; PERES, F. C.; FRIZZONE, J. A. Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25 E CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2, Bauru, 1996.

MEDINA SAN JUAN, J. A. **Riego por goteo: teoría y pratica**. Madrid: Mundi-Prensa, 2000, 302 p.

MESHKAT, M.; WARNER, R. C.; WORKMAN, S. R. Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation. **Transactions of the ASAE**. v.43, n.1, p.79-86, 2000.

NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A. Emitter Clogging Effects on Trickle Irrigation Uniformity. **Transactions of the ASAE**. v.24, n.1, p.77-80, 1981.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr., E. Influência varietal na adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar. **Boletim Técnico do Planalsucar**. Piracicaba, v.1, n.1, p.25-50, 1979.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr., E.; LEME, E. J. A. Efeito da adubação sobre a adubação NPK em cana-planta variedade CB 41-76. **Boletim Técnico do Planalsucar**. Piracicaba, v.2, n.2, p.31-58, 1980.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L. C. F.; LAVORENTI, N. A. Adubação PK em cana-de-açúcar cultivada em dois espaçamentos de plantio. **Stab, Açúcar, Algool e Subprodutos**. v.8, n.5/6, p.15-21, 1990.

ORLANDO FILHO, J.; MURAOKA, T.; RODELLA, A. A.; ROSSETO, R. Fontes de potássio na adubação da cana: KCl e K₂SO₄. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5, Águas de São Pedro, 1993. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p.39-43.

ORON, G.; DEMALACH, J.; HOFFMAN, Z.; CIBOTARU, R. Subsurface microirrigation with effluent. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v.117, n.1, p.25-37, 1991.

ORON, G.; DEMALACH, Y.; GILLERMAN, L. Improved saline-water use under subsurface drip irrigation. **Agricultural and Water Management**, v.39, p.19-33, 1999.

PADILLA, W. Fertirrigacion bajo condiciones de invernadero en el Ecuador. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997. Botucatu. Anais... Botucatu: Tipomic, 1997. p.263-281.

PHENE, C. J. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, Orlando, 1995. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1995, p.269-274.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta freqüência (RLAF)**. ed.3, Bilbao. 1996. 513p.

PLANALSUCAR. RB 72-454: uma nova variedade de cana-de-açúcar para todo Brasil. **Brasil Açucareiro**. v.105, n.4/5/6, 1987, p. 8-18.

PLAUT, Z., ROM, M., MEIRI, A. Cotton response to subsurface trickle irrigation. In: PROCEEDINGS OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, California. **Proceedings**. ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.2, 1985. p.916-920.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar. Bebedouro, 29 nov. 2003. Disponível em <http://www.revistacoopercitrus.com.br//edicao202/Ambien_m_11.asp> Acesso em: 9 abr. 2004.

PRIMAVESI, O.; KORNDÖRFER, G. M.; DEUBER, R. Extração de minerais por colmos de cinco variedades de cana-planta em três solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20. 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p.160-161.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, 2.ed., n.100, 285p. 1997.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 513p.

ROBINSON, F.E. *Soil moisture tension, sugarcane stalk elongation and irrigation interval control*. *J. Agronomy*, v.55, n.5, p.481-83, 1963.

RODRIGUES, B.N. & ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 3 ed. Londrina, 1995. 675p.

ROSENFELD, U. **Período crítico de deficiência hídrica para a cana-planta em cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. Piracicaba, 1989, 89p. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) ESALQ.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, v.63, n.1, p. 105-119, 2004.

ROZEFF, N. El cañicultor: las incógnitas de los retoños. **Sugar Journal**, v.61, n.1, June. p.9, 1998.

RUSCHEL, A. P.; ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HENIS, Y. Aerobic and anaerobic nitrogen-fixing bacteria on sugarcane roots. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16. São Paulo, 1977. **Proceedings**. São Paulo, the Executive Committee of the ISSCT, 1978, p. 1923-1929.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.373-431, 1987.

SCARDUA, R.; SOUSA, J. A. G. C. Comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. **Brasil Açucareiro**, v.87, p.57-69, 1976.

SCARDUA, R.; SOUSA, J. A. G. C.; LEME, E. J. A. Efeito da umidade do solo e temperatura ambiental na produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM , 5, 1976. **Anais...** Cidade: 1976, p.192-221.

SHIKIDA, P. F. A.; NEVES, M. F.; REZENDE, R. A. Notas sobre Dinâmica Tecnológica e Agroindústria Canavieira no Brasil. In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (Org.). **Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Ed. Atlas, 2002. p. 120 – 138.

SILVEIRA, J.F.; SIQUEIRA, J.O.; GUEDES, G.A.A. Interação fósforo x potássio x calcário em cana-de-açúcar (cana planta). **Brasil Açucareiro**, v.95, n.1, p.18-21, 1980.

SOOPRAMANIEN, G. C.; BATCHELOR, C. H.; NAYAMUTH, R.; WLLINGS, S. Drip line type, placement and water regime effects on sugarcane growth and yield. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, Fresno, Califórnia, 1985. **Proceedings...** ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.2, 1985. p.903-908.

SORENSEN, R. B.; WRIGHT, F. S.; BUTTS, C. L. Subsurface drip irrigation system designed for research in row crop rotation. **Applied Engineering in Agriculture**, v.17, n.2, p.171-176, 2001.

SOUSA, J. A. D. C. **Estudo do consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1976a, 82f. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – ESALQ.

SOUSA, J.A.D.C. **Estudo da tensão da água no solo na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Limeira, Unicamp, 1976b, 163f. (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Unicamp.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria prima. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. São Paulo: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.761-804.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. The South African Sugar Journal. v.60, n.11, November, 1976, p.593-600.

Van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VIEIRA, S.R., CAMARGO, A.P., ARRUDA, F.B., CIONE, J., BOVI, V. Comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento e sulcos de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.7, n.3, 1983, p.335-340.

VILLAS BÔAS, R.L. **Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através de fertirrigação**. Botucatu 2001. 123f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

VILLAS BÔAS, R.L.; ANTUNES, C.L., BOARETTO, A.E.; SOUSA, V.F.de; DUENHAS, L.H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FERTIRRIGAÇÃO. Folegatti, M.V. (coord.) Guaíba, Agropecuária, 2001.

ZAMBELLO Jr., E.; HAAG, H. P.; ORLANDO FILHO, J. Adubação NPK e localização do fertilizante em soqueiras de cana-de-açúcar, var. CB 41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.89, n.3, p.11-17, 1977.

SOLOMON, K.H. Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**. v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.