

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL
POR GOTEJAMENTO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)**

ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia - Área de
Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP

Fevereiro - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL
POR GOTEJAMENTO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)**

ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP

Fevereiro - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “EFEITO DA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL POR
GOTEJAMENTO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA CANA-DE-
AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)”**

AUTOR: ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

ORIENTADOR: PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

Aprovado pela Comissão Examinadora:

PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR

PROF. DR. AILTO ANTONIO CASAGRANDE

Data da Realização: 01 / FEVEREIRO / 2001

Dedico este trabalho aos meus queridos pais,
Célio Dalri e Maria Iuce de Barcellos Dalri,
a quem só Deus sabe o quanto os devo e amo,
e aos meus irmãos Maria Célia, Ivan, Deco, Ana Rita e Raquel.

Ofereço à minha querida noiva, Cristina Camargo,
pelo apoio e por tudo que ela representa para mim.

*“Se as cidades forem destruídas e
os campos conservados, as cidades
ressurgirão; mas se forem destruídos
os campos e conservadas as cidades,
estas sucumbirão”*

Benjamin Franklin

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista, FCA – Botucatu, por permitir a realização do Curso de Mestrado e consequentemente a realização desta dissertação.

Ao Prof. Dr. RAIMUNDO LEITE CRUZ, pelo apoio e orientação na execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade.

Ao Prof. Dr. LUIZ ANTÔNIO LIMA, hoje diretor da Rain Bird Brasil, pelo fornecimento de todo equipamento de irrigação utilizado nesta pesquisa.

Ao Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL, pelas sugestões prestadas.

À Usina de Açúcar e Alcool “Barra Grande”, representada pelo Engenheiro Agrônomo Jorge Luiz Moreli, pelas concessão das mudas de cana-de-açúcar, no momento oportuno.

Aos companheiros e amigos de Botucatu ÉDER PEREIRA GOMES, CLÁUDIO MÁRCIO PEREIRA DE SOUZA, MARCELO LOPES, E LUIZA HELENA DUENHAS pela amizade e sugestões, e ao PATRICK SCHMIDT pelo grande apoio na análise dos resultados.

Aos grandes amigos de Lavras (MG), MAURÍCIO FERRARI, WILSON SOARES DE REZENDE NETO E JOÃO PAULO ARANTES RESENDE DA CUNHA.

A todos os amigos do curso de Pós-graduação.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, MAURI TORRES DA SILVA, PEDRO ALVES, ADÃO GOMES DE SOUZA, LINO SOBRINHO, e em especial ao GILBERTO WINKLER, pela atenção e colaboração na execução desta pesquisa.

À CAPES, pelo auxílio financeiro através da bolsa de estudo.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS _____	IX
LISTA DE QUADROS _____	XI
1. RESUMO _____	1
2. SUMMARY _____	2
3. INTRODUÇÃO _____	3
4. REVISÃO DE LITERATURA _____	6
4.1 Cana-de-açúcar _____	6
4.2 Irrigação Localizada _____	13
4.3 Frequência de Irrigação _____	16
5. MATERIAL E MÉTODOS _____	19
5.1 Descrição Geral da Área de Estudo _____	19
5.2 Variedade de Cana-de-açúcar _____	23
5.3 Equipamentos de Irrigação _____	24
5.4 Preparo do Solo, Adubação e Calagem _____	25
5.5 Delineamento Experimental _____	28
5.6 Instalação do Equipamento _____	28
5.7 Controle do Entupimento dos Emissores e Intrusão de Radicelas _____	31
5.8 Manejo da Irrigação _____	34
5.9 Variáveis Avaliadas da Cultura _____	37
5.10 Análise Estatística _____	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO _____	39
6.1 Colheita _____	39
6.1.1 Diâmetro e Comprimento do Colmo _____	40
6.1.2 Perfilhamento _____	42
6.1.3 Produção de Massa Seca _____	45
6.1.4 Produção de Massa Fresca _____	47

6.2 Volume de água Aplicado _____	49
6.3 Dados Climatológicos _____	52
6.4 Estimativa do Potencial de Água do Solo _____	53
6.4.1 Umidade Crítica Obtida por Tratamento Irrigado _____	53
6.5 Desenvolvimento Vegetativo e Frequência de Irrigação _____	59
6.6 Considerações Gerais _____	61
7. CONCLUSÃO _____	63
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	65

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Valores médios mensais de precipitação pluvial e evaporação do tanque Classe “A” _____	20
2 Valores médios mensais de temperatura (°C) e umidade relativa (%) _____	20
3 Curvas características de retenção da água no solo _____	23
4 Detalhes gerais do experimento _____	27
5 Montagem do experimento (jan/fev/2000). Detalhe para as linhas laterais dentro do sulco _____	32
6 Montagem do experimento (jan/fev/2000). Detalhe para os tubos de proteção da válvula final de linha _____	32
7 Ação da válvula final de linha. Detalhe para a drenagem da água que estava no interior do tubo gotejador _____	33
8 Montagem do experimento. Detalhe para o tubo de proteção da válvula final de linha _____	33
9 Painel de controle _____	35
10 Cavalete do sistema de irrigação composto pelo injetor venturi, filtro de tela, regulador de pressão, hidrômetro, manômetro, válvula de ar & antivácuo, válvulas de controle elétrico _____	36
11 Comprimento e diâmetro médio (cm) da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeito a diferentes frequências de irrigação _____	42
12 Produção de colmos por metro quadrado da cultura da cana-de-açúcar sujeita a diferentes frequências de irrigação _____	43

13	Valores médios de massa de matéria seca da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sob diferentes frequências de irrigação _____	46
14	Produção de massa fresca da cultura da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, com 9 meses de desenvolvimento, irrigadas por gotejamento subsuperficial _____	49
15	Distribuição das irrigações e precipitação pluvial ao longo do período experimental _____	51
16	Valores médios mensais de temperatura do ar (mínima e máxima), precipitação pluvial, para os meses de março a novembro do ano de 2000 _____	52
17	Valores de evapotranspiração mínima, máxima, e média para os meses de abril a novembro de 2000 _____	58

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes) _____	21
2 Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes) _____	22
3 Características físicas do solo da área experimental _____	22
4 Valores da umidade retida no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) em função das camadas do solo e da tensão (kPa) _____	22
5 Valores do coeficiente de cultura (Kc) utilizados no manejo da cana-de-açúcar _____	37
6 Valores médios de diâmetro e comprimento dos colmos da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeito a diferentes frequências de irrigação _____	40
7 Valores médios de colmos por metro quadrado, e por metro linear da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeito a diferentes frequências de irrigação _____	43
8 Valores médios de massa de matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeito a diferentes frequências de irrigação _____	45
9 Valores médios de produção de massa fresca da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeito a diferentes frequências de irrigação _____	48
10 Valores mensais obtidos da precipitação e evaporação do tanque Classe “A” e os valores calculado da evapotranspiração da cultura _____	50
11 Nível médio da fração da água disponível, teor e tensão de água no solo, mantido no solo até 60 cm de profundidade, para os tratamentos irrigados _____	57
12 Dotação de água para os tratamentos, considerando a precipitação e evapotranspiração do tanque Classe “A” no período, e suas relações com o desenvolvimento vegetativo _____	59

1. RESUMO

Este trabalho teve como o objetivo, verificar o efeito da frequência da irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar.

Os tubos gotejadores foram instalados sob a linha da cultura, a uma profundidade de 0,3 m. A cana-de-açúcar foi plantada no dia 03/03/2000 e a partir de 01/04/2000 iniciaram os tratamentos nas parcelas irrigadas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos, e quatro repetições, definidos por regimes de frequência da irrigação. O sistema de irrigação era acionado quando a evapotranspiração da cultura atingisse 10 mm, 20 mm, e 30 mm, para os tratamentos 1, 2, e 3 respectivamente. O tratamento 4 foi definido como testemunha (não irrigado).

A colheita foi realizada no dia 05/12/2000 e através da avaliação de produção de massa fresca, diâmetro e comprimento do colmo, e produção de massa seca, observou-se que não houve diferença estatística entre os diferentes regimes de frequência de irrigação. Todavia, quando comparado com a testemunha, as irrigações proporcionaram um aumento médio maior que 45 % na produção de massa fresca e seca final dos colmos.

EFFECT OF FREQUENCY IN SUBSURFACE DRIP IRRIGATION IN INICIAL GROWTH OF SUGARCANE (*Saccharum* spp.). Botucatu, 2001. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

2. SUMMARY

The aim of this study was to verify subsurface drip irrigation effects on sugarcane initial growth.

Drip lines were installed under crop lines at 0,3 m depth. Sugarcane was planted in 03/03/2000, and the drip irrigation treatments began on 04/01/2000. The experimental design was entirely randomized, with four treatments and four replications, related to irrigation frequency. Irrigation system was turned on when crop evapotranspiration reached 10, 20 and 30 mm for the treatments 1, 2 e 3, respectively. Treatment 4 was the control (without irrigation).

Harvest was carried out on 12/05/2000, and fresh and dry weight, stem diameter and length were evaluated; it was observed no statistical differences among irrigation frequencies, although irrigation increased fresh and dried yield over 45% when compared to the control treatment.

Keywords: Sugarcane, subsurface drip irrigation, frequency.

3. INTRODUÇÃO

Com a forte expansão da indústria sucroalcooleira nas últimas duas décadas, as áreas dos canaviais brasileiros estenderam-se para mais de 4.900.000 hectares, dando ao Brasil o título de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, chegando a uma produção anual de 339 milhões de toneladas de matéria-prima. (Cana-de-açúcar, 1999).

O Estado de São Paulo tem importância no cultivo da cana-de-açúcar, atualmente com uma produção de 194 milhões de toneladas, representando 57% da produção nacional. A área ocupada no estado de São Paulo ultrapassa os 2,4 milhões de hectares, sendo esta bem representativa se comparada com as outras culturas (Anuário Estatístico do Brasil, 1998).

A agroindústria sucroalcooleira representa um índice de 3% do PIB nacional, dando suporte a mais de 500 empresas de insumos, os quais geram mais de 1 milhão de empregos diretos e mais de 300 mil indiretos (agrobusiness). Com uma produção de álcool, de 12 bilhões de litros/ano, são movidos 4,5 milhões de veículos, reduzindo em 75% a emissão

de chumbo tetraetila, em 57% o CO e 64% dos hidrocarbonetos lançados por veículos para a atmosfera (Furlani Neto, Ripoli & Villa Nova, 1996).

Para suprir a demanda mundial crescente de açúcar, 1,3% para o ano de 1999, e 3,8% em relação ao próximo ano (FAO, citado por Açúcar, 1999), e também para garantir uma produção de álcool para o abastecimento do mercado interno, é necessário não apenas incorporar novas áreas ao processo produtivo, mas aumentar os atuais índices de produtividade, sendo um dos benefícios da irrigação elevar a produtividade da área cultivada e garantir uma segurança na produção agrícola.

A curto prazo não existe perspectivas para um aumento na demanda de álcool no mercado interno, entretanto, uma crise regional em um mundo globalizado poderia afetar o preço do petróleo, elevando-o e fazendo surgir uma busca mais intensa por combustíveis alternativos, desta maneira aumentando o consumo de álcool.

O crescimento horizontal dos canaviais paulistas é limitado, de elevado custo e, quando ocorre, geralmente são em áreas de baixa fertilidade, com elevada declividade, e podendo ocorrer em áreas de mata nativa. Desta maneira, o crescimento vertical dos canaviais brasileiros deve ser visto com maior seriedade.

No estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é predominantemente cultivada em condições de sequeiro (Matioli, Frizzone & Peres, 1998), isto é, sem o emprego de técnicas de irrigação; entretanto, sabe-se que a irrigação sempre está presente nas agriculturas tecnificadas, pois esta técnica se traduz em maiores produtividades, melhor qualidade do produto, e independência do fator precipitação, propiciando às culturas, um crescimento de produtividade verticalizado.

Apesar da grande extensão da área cultivada com cana-de-açúcar, a irrigação em área total parece tornar-se inviável economicamente, pelo menos a curto prazo; entretanto, como se trata de uma técnica ainda muito pouco difundida no Brasil, necessita de maior atenção e cuidado nas conclusões, pois, dependendo dos resultados das pesquisas que estão por vir, o emprego da irrigação em cana-de-açúcar poderá tornar-se economicamente exequível.

Percebe-se, portanto, que para um aumento na produção de açúcar e álcool, o cultivo de áreas maiores não seria uma boa opção, tendo em vista algumas regiões já saturadas por esta cultura. A irrigação buscará abaixar os custos de produção, aumentando a produtividade e diminuindo os custos operacionais. Portanto, cabe aos técnicos e pesquisadores encontrarem as soluções para o aumento da produtividade destas áreas, já ocupadas pela cana-de-açúcar.

Face aos problemas e dados aqui apresentados, este trabalho teve como o objetivo, verificar o efeito da frequência da irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, bem como, comparar os resultados obtidos para a cultura irrigada e sem irrigação.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea tipicamente tropical, gostando de clima quente e úmido (Fernandes, 1984). 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. As plantas com esse metabolismo apresentam maior eficiência fotossintética, devido à abundância de cloroplastos dispostos em duas camadas na folha. Quantitativamente, isto propicia à cana-de-açúcar, em relação às plantas de metabolismo C_3 , apresentar uma taxa de crescimento e eficiência do uso da água 2 a 3 vezes maior (Casagrande, 1996).

Segundo Vieira (1986a), as gramíneas normalmente respondem muito bem a irrigação, pois quando encontram umidade suficiente no solo, calor e luminosidade, apresentam elevado desenvolvimento.

A cana-de-açúcar requer ao longo de seu ciclo uma lâmina d'água de 1500 a 2500 mm, uniformemente distribuídos durante o ano (Doorenbos & Kassam, 1994).

Scardua & Sousa (1976) estudando o comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento superficial em Araras SP, obteve um acréscimo de 36,16 t cana/ha sobre o tratamento não irrigado.

Carretero (1982), pesquisando a irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar variedade NA 56-79 em Piracicaba, soca e ressoca, obteve uma produção para a cana soca de 140,37 t de cana/ha com 20,94 t de açúcar/ha em cana irrigada. Na cultura não irrigada a produção foi de 121,00 t de cana/ha com 18,05 t de açúcar/ha. Na ressoca a produção com a irrigação foi de 132,57 t de cana/ha com 21,06 t de açúcar/ha e no tratamento não irrigado a produção foi de 119,26 t de cana/ha com 18,84 t de açúcar/ha. Um aumento de produtividade de 16% para o primeiro corte e 11% para o segundo corte.

Vieira et al. (1983), estudando o comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento e sulcos de infiltração, em Piracicaba, 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 este 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.

Segundo Bui & Kinoshita (1985), em 1959 na estação experimental dos plantadores de cana-de-açúcar do Hawai, 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 desta cultura era de 45.400 ha. Deste 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.

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.

De acordo com Rosenfeld (1989), o período mais crítico para a cana plantada em outubro é do 4^o ao 8^o 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 elevada competitividade do mercado está obrigando todos os setores a buscarem alternativas no seu sistema de produção, para diminuir os custos. Segundo Yamauchi & Bui (1990), a irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI) foi a principal inovação dos últimos anos na cultura da cana-de-açúcar do Hawai. A irrigação por gotejamento ajudou a baixar os custos operacionais, os rendimentos aumentaram drasticamente em mais de 30%, e essa tecnologia também permitiu a intensificação de práticas de cultivo, simplificou a adubação, o plantio, e reduziu a necessidade de controle de plantas daninhas.

A irrigação subsuperficial por gotejamento aumenta significativamente a produtividade da cana-de-açúcar, e reduz os custos de operação (Leiva & Barrantes, 1998).

Batchelor et al. (1990) através do manejo de irrigação em cana-planta, com evapotranspiração de cultura de 1,5, 1,0 e 0,5, e localização do tubo gotejador sob a linha

da cana, sendo que esta foi plantada com espaçamento de 1,62 m, obtiveram os seguintes resultados de produtividade da cultura: 166, 168, 157 t/ha, para os valores de 1,5, 1,0 e 0,5 da ETo, respectivamente. A produtividade de açúcar foi de 17,4, 16,3, 16,0, t/ha, para os valores de 1,5, 1,0 e 0,5 de ETo, respectivamente. Neste mesmo experimento, os autores relatam que, para cana-de-açúcar não irrigada, a produtividade da cultura e do açúcar foram 69 e 7,3 t/ha respectivamente.

A intensidade de crescimento da cultura de cana-de-açúcar irrigada é outro fator importante, e que está associada com o desenvolvimento da parte aérea, que contribui para a produção final.

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

Godoy, Palacios & Barrante (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 ton cana/ha, e 9,34 t açúcar/ha. Para o segundo corte a produtividade aumentou para 134 t cana/ha e 9,91 t açúcar/ha. 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 para o primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente. Todos os tratamentos foram irrigados por gotejamento subsuperficial.

Batchelor et al. (1990), comparando a alongamento do colmo da cana-de-açúcar sob a irrigação subsuperficial por gotejamento, sendo os tratamentos sujeitos a dois regimes de irrigação, 1,0 e 1,5 da ETo, com as linhas de gotejamento dispostas sob a linha da cultura e entre a linha, relatam que os resultados foram significativos para todos os tratamentos, sendo que os tratamentos onde a linha de gotejamento estava sob a linha da cana apresentaram os maiores resultados.

Batchelor & Soopramanien (1995), pesquisando a irrigação subsuperficial por gotejamento em Mauricius, para a cultura da cana-de-açúcar, cultivar R 570, obtiveram uma produção para a cana-planta de 170 t/ha e 20,3 t açúcar/ha, e no tratamento não irrigado a produção foi de 73 t cana/ha e 9,2 t de açúcar/ha. Na soca, a produção com a irrigação foi de 134 t/ha com 11,2 t de açúcar/ha, para a não irrigada a produção elevou-se para 106 t/ha com 9,6 t de açúcar/ha. No primeiro ano a precipitação pluvial foi de 966 mm e no segundo 1396 mm.

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

Os resultados de um recente experimento realizado em campos dos Goytacazes, RJ, indicaram uma relação linear entre evapotranspiração e produtividade para a cana-de-açúcar (Sousa, Bernardo & Carvalho, 1998).

Fonseca & Egana (1989), encontraram uma correlação linear altamente significativa entre a evapotranspiração da cana-de-açúcar e sua produtividade, em experimento realizado em Cuba.

Batchelor & Soopramanien (1995), encontraram uma regressão linear de alongamento do colmo da cana-de-açúcar sujeita a irrigação. Estes autores relatam que a relação entre lâmina aplicada e alongação do colmo pode ser usada para estabelecer o consumo efetivo da água pela cultura.

Guazzelli & Paes (1997) em Pradópolis, SP, com irrigação subsuperficial por gotejamento em cana-de-açúcar, foi obtida uma diferença significativa de aumento de produção. Para cana-planta, o aumento de produção conseguida com a irrigação foi em torno de 30 t cana/ha, e um aumento de 28,5% na produtividade por ha em relação a cana sem irrigação.

A Agrovale, Agroindústria do Vale São Francisco S.A. vem conseguindo nos últimos anos uma produtividade média de 121 ton de cana/ha nas áreas irrigadas por sulcos de infiltração e gotejamento (Gazeta Mercantil, 1998).

A cana-de-açúcar, como as culturas das regiões tropicais, possui elevada evapotranspiração, necessitando continuamente da água para seu bom desenvolvimento. Quando as chuvas faltam ou são insuficientes às necessidades da planta, a produtividade se reduz, podendo trazer prejuízos aos produtores, e mesmo comprometer o abastecimento de álcool no Brasil.

O controle de erosão é outro fator que a prática da irrigação vai beneficiar, pois a cana-de-açúcar poderá chegar a uma maior quantidade de cortes. Segundo Maria & Dechen (1998), no primeiro ano de plantio da cana, a perda de solo chega a valores absurdos, podendo atingir 49 ton/ha/ano. Para o segundo e terceiro corte, esta perda se reduz a 0,2 e 0,01 ton/ha/ano respectivamente. O plantio poderá ser realizado no início da estação das

secas, e com a chegada da época das elevadas precipitações, o canavial estaria formado, diminuindo a perda de solo, nutrientes, evitaria assoreamentos, etc.

Além da vantagem citada acima, o aumento do teor de água no solo vai beneficiar a decomposição e liberação de nutrientes da palhada da cana-de-açúcar. Segundo Oliveira et al. (1999), a decomposição da palhada é favorecida pelo aumento da disponibilidade hídrica.

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 do 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 a medida em que vão brotando as socas. Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar são: variedade, umidade, porosidade, densidade aparente do solo e disponibilidade de nutrientes (Casagrande, 1991).

Sousa (1976b), estudando a irrigação de cana-de-açúcar em sulcos de infiltração, em Araras, SP, concluiu que nos primeiros 60 cm de profundidade se encontram 82% das raízes na cana irrigada e 75% das raízes na cana não irrigada.

Batchelor, Soopramanien & Bell (1985), avaliando o desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial, 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.

4.2 Irrigação Localizada

A irrigação tem como principal propósito suprir as necessidades hídricas das culturas. Não funciona isoladamente, mas sim conjugada com outras práticas culturais, sendo indispensável nas regiões onde a chuva não atende a necessidade hídrica da cultura durante todo seu ciclo. A irrigação permite não só ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas, como ainda melhorar a produção já existente.

A irrigação pode ser definida como sendo a aplicação artificial de água no solo de acordo com a capacidade de retenção e infiltração do mesmo, a fim de garantir o suprimento hídrico da planta durante todo seu ciclo vegetativo, propiciando melhor desenvolvimento e maior produção (Vieira, 1986b).

Algumas vantagens da irrigação podem ser mencionadas: seguro contra as secas, e veranicos, melhor produtividade das lavouras, melhor qualidade do produto, em virtude do metabolismo vegetal ser melhor e colheitas fora de épocas normais.

Das muitas técnicas desenvolvidas na produção de alimentos, nenhuma é tão antiga e mais importante que a irrigação. A idéia básica da irrigação é suprir as plantas de água na quantidade certa e no momento adequado, para obter a máxima produção e a melhor qualidade do produto (Telles, 1986).

Segundo Bernardo (1995) os sistemas de irrigação localizada se distinguem pelas seguintes características:

- maior eficiência de água pela possibilidade de melhor controle da lâmina d'água aplicada; menor perda por evaporação, percolação e escoamento superficial, bem como maior eficiência geral da irrigação pelo fato de que os métodos localizados não serem afetados nem pelo vento nem pela interferência direta do irrigante;
- maior eficiência no uso da adubação, ao permitir a fertirrigação, que concentra a aplicação do adubo diretamente no bulbo molhado onde se encontra o sistema radicular da planta;
- maior eficiência no controle de pragas e doenças, pois a parte aérea não é molhada;
- adaptabilidade a diferentes solos e topografias, permitindo maior aproveitamento de áreas para cultivos irrigados.

Pizzaro (1996) afirma que a área molhada na irrigação localizada é menor em relação aos outros métodos de irrigação e, conseqüentemente, a evaporação de água direta do solo é reduzida.

A irrigação por gotejamento subsuperficial é definido 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 irrigação por gotejamento subsuperficial é uma variação do tradicional sistema de gotejamento, onde os tubos são enterrados a uma profundidade de 15 a 60 cm, ao invés de ficarem sobre a superfície do solo ou mesmo suspenso por arames. A profundidade irá depender da cultura utilizada e dos tratos culturais. Basicamente, os produtos utilizados atualmente em um sistema de gotejamento enterrado (SDI) são os tubos gotejadores de parede espessa ou parede rígida, os tubos gotejadores de parede fina ou tapes (fitas), e o tubo poroso.

Este método não deve ser confundido com a subirrigação, a qual é definida pela ASAE S526.1 (1997) como a “aplicação de água abaixo da superfície do solo pela elevação do lençol freático até a zona radicular da cultura ou próximo dela”.

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 desta maneira o uso de herbicidas. Tem sido freqüentemente observado por alguns autores que o baixo teor de água na superfície do solo diminui a germinação de ervas daninhas. Grattan, Schwankl & Lanini (1988) atribuíram a alta produtividade em tomates irrigados por SDI a redução das atividades de ervas daninhas. Ferrell (1990) relata que elevado custo com a instalação de SDI pode ser compensado pela redução dos gastos com herbicidas, redução da manutenção do sistema de irrigação, redução dos danos mecânicos e também redução com o vandalismo.

Bui & 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.

Outra grande vantagem deste sistema, quando comparado com o sistema de gotejamento convencional e com os sistemas de aspersão é que logo após ou durante um evento de irrigação, o produtor pode entrar com máquinas na área que está sendo cultivada, pois não existe molhamento da superfície do solo e nem mesmo empoçamento de água.

De acordo com Sepaskhah, Sichani & Bahrani (1976), a aplicação de água via gotejamento na subsuperfície do solo permite que a perda por infiltração profunda e evaporação sejam praticamente eliminadas, sendo importante para regiões com escassez de água.

Em termos gerais, a melhora na qualidade dos equipamentos de irrigação localizada, tapes, gotejadores, filtros, etc., e o surgimento de técnicos competentes e capacitados para a operação e manejo de sistemas de irrigação, ocasiona um processo significativo para que as vantagens excedam as limitações. Desta maneira, o domínio desta técnica de irrigação poderá, em breve, beneficiar não só a cultura da cana-de-açúcar, mas toda a agricultura brasileira.

Apesar do grande número de vantagens, o sistema de gotejamento subsuperficial (SDI) pode apresentar problemas que devem ser levados em consideração para a obtenção dos melhores resultados. Os mais importantes dizem respeito à sucção das partículas do solo pelos emissores e a intrusão de raízes nos gotejadores.

Bui & Kinoshita (1985), avaliando o efeito da irrigação subsuperficial por gotejamento na cana-de-açúcar, relatam os principais problemas surgidos com o novo sistema: 1 – entupimento dos orifícios; 2 – dano ao tubo gotejador causado por formigas; 3 – técnicos e operadores inabilitados; 4 – colapso do tubo gotejador.

4.3 Frequência de Irrigação

Longos intervalos entre irrigações podem criar um elevado déficit de água no solo e, conseqüentemente, um stress na cultura. Entretanto, freqüentes irrigações

manterá elevada a umidade do solo que está próxima ao gotejador. Em consequência desta elevada umidade poderá haver uma deficiência na aeração do solo que resultará em uma diminuição do sistema radicular e uma baixa produtividade (Cadwell, Spurgeon & Manges, 1994).

Segundo Plaut et al. (1985), não há diferença significativa na produtividade do algodão sob irrigação localizada subsuperficial quando o intervalo entre irrigações era de 2 e 5 dias.

A alta frequência de irrigação tende a aumentar a produtividade do tomate e a eficiência do uso da água (Davis et al., 1985).

Segundo Caldwell, Spurgeon & Manges (1994), a alta frequência de irrigação não afetou a produtividade do milho, bem como aumentou a eficiência do uso da água.

Ellis & Lankford (1990), afirma que a frequência de irrigação durante a fase de alongamento do colmo da cana-de-açúcar pode ser reduzida, assumindo um manejo de irrigação em que a relação ET_c/ECA tenha um valor igual a 0,8, sem perda de produtividade.

Ao longo de 15 anos de pesquisa em irrigação localizada subsuperficial em cana-de-açúcar na Venezuela, Leiva & Barrantes (1998) indicam que a frequência de irrigação deve ser de 3, 4 ou 5 dias.

Saber quando irrigar, ou mesmo conhecer qual é a frequência ideal para um manejo de irrigação, é de fundamental importância para regiões onde a disponibilidade do uso da água é limitado, pois nestas regiões deve-se procurar maximizar o uso da precipitação pluvial.

A frequência de irrigação pode afetar o desenvolvimento radicular da cultura. Para turno de rega com alta frequência de molhamento, 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 sua necessidade hídrica. 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.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição Geral da Área de Estudo

O presente trabalho foi conduzido em área aberta, situado no campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Campus de Botucatu, Unesp. As coordenadas geográficas estão definidas como: latitude $22^{\circ} 52' 20''$ S, e longitude $48^{\circ} 26' 37''$ W. A altitude média é de 786 m.

O clima de Botucatu, baseado no sistema de classificação Köpen, está incluído no tipo Cwb (mesotérmico de inverno seco), em que a temperatura média do mês mais quente não ultrapassa 22°C . O mês mais seco, com a mais baixa temperatura média, é julho. A estação seca na região prolonga-se do mês de maio até setembro, sendo que o mês com a temperatura média mais elevada e com a maior umidade relativa do ar é janeiro.

As Figuras 1 e 2 mostram as normais climatológicas referentes aos anos de 1971 a 1998 para a precipitação mensal (mm), evaporação do tanque Classe “A” (mm), temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$), e umidade relativa (%). Os dados de umidade relativa

Figura 1. Valores médios mensais de precipitação pluvial e evaporação do tanque Classe “A”.

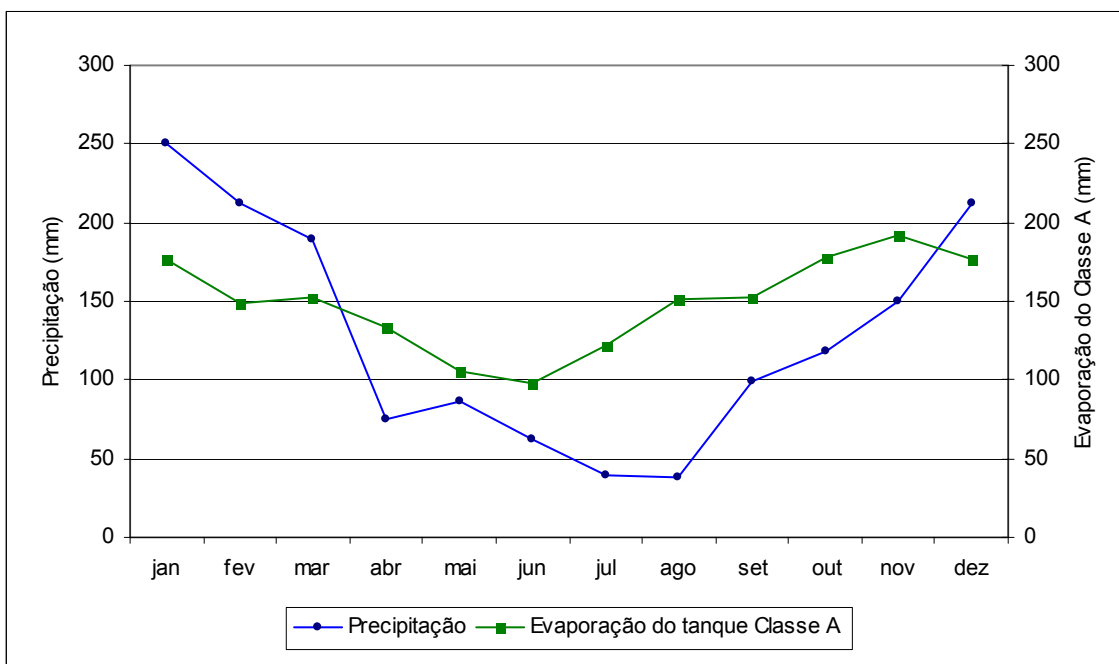
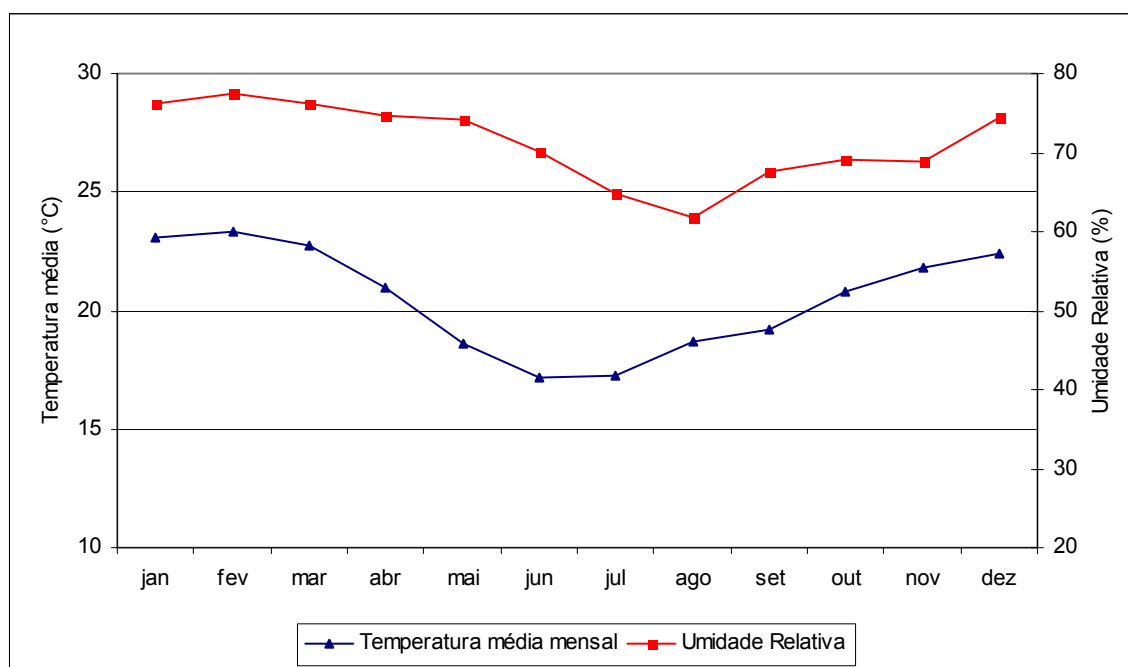


Figura 2. Valores médios mensais de temperatura (°C) e umidade relativa (%).



são partir de 1983. Os valores foram obtidos no posto meteorológico localizado no Departamento de Recursos Naturais, Área de Ciências Ambientais da FCA/Unesp.

Os dados obtidos mostram que a precipitação pluvial anual média é de 1533 mm por ano, e apresenta um total médio para o mês mais chuvoso (janeiro) de 250 mm, e de 38 mm para o mês mais seco (agosto).

O solo local é classificado como Nitossolo Vermelho Latossólico (Embrapa, 1999). Os dados apresentados no Quadro 3 indicam que este solo possui elevado teor de areia em todas as camadas analisadas, com quantidades bem reduzidas de silte. Apesar do elevado teor de areia, o solo possui textura média na camada de 0 a 20 cm, e nas camadas de 20 a 40 cm e 40 a 60 cm o solo apresenta textura argilosa.

Os parâmetros químicos e físicos do solo determinados antes da instalação do experimento, estão apresentados nos Quadros 1, 2, e 3 abaixo. As camadas amostradas foram de: 0 – 20 cm; 20 – 40 cm e 40 – 60 cm.

A densidade do solo foi determinada pelo método do torrão. O Quadro 3 mostra os dados da densidade do solo onde foi conduzido o experimento.

A análise de fertilidade do solo, obtidas por amostragem composta, foi realizada no Departamento de Recursos Naturais, Área de Ciência do solo, da Unesp.

Quadro 1. Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes).

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

Quadro 2. Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes).

Prof. (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 3. Características físicas do solo da área experimental.

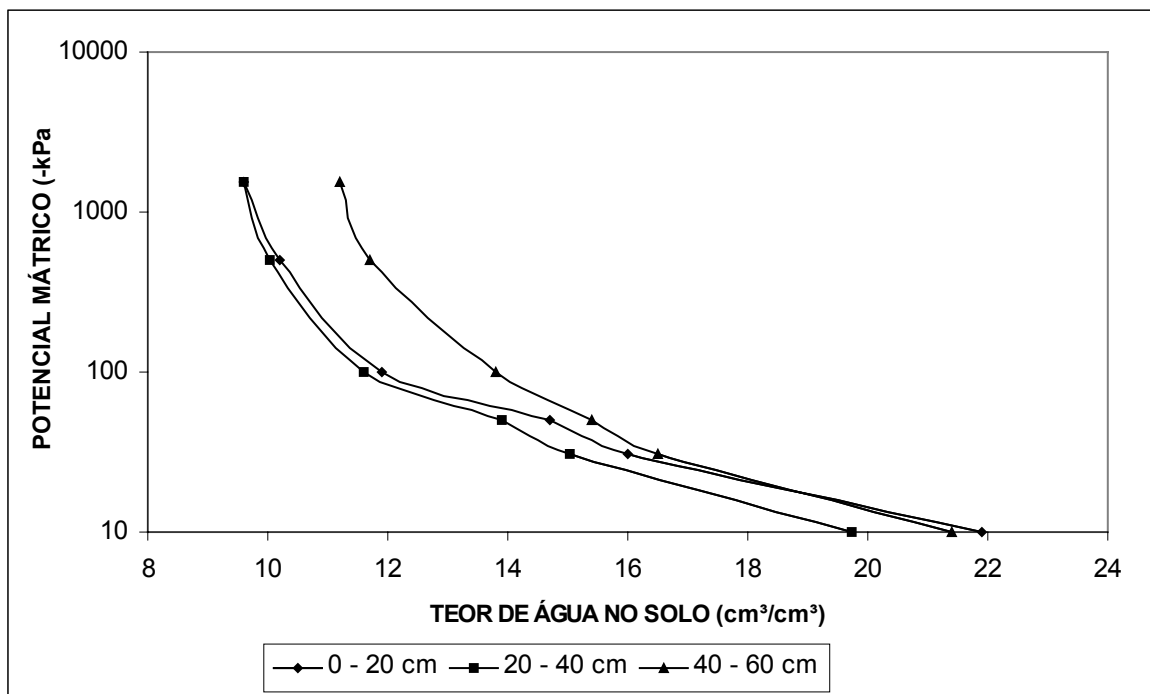
Prof. (cm)	Dens. Solo (g . cm ⁻³)	Dens. de partículas (g . cm ⁻³)	Areia total (%)	Argila (%)	Silte (%)	Textura do solo
0 – 20	1,64	2,42	61	33	6	Média
20 – 40	1,74	2,42	61	35	4	Argilosa
40 – 60	1,74	2,50	61	36	3	Argilosa

Curvas características de retenção de água no solo para as camadas de 0 – 20; 20 – 40; e 40 – 60 cm, foram obtidas com amostras deformadas para as seguintes tensões: 10; 30; 50; 101; 506; 1520 kPa. Os dados foram obtidos no laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Rural da Unesp. As curvas estão representadas na Figura 3. No Quadro 4 encontram-se os teores de umidade do solo retidos (cm³ . cm⁻³) em função das camadas do solo e da tensão (kPa).

Quadro 4. Teores de umidade do solo (cm³.cm⁻³) em função das camadas do solo e da tensão (kPa).

Camada (cm)	Tensões (kPa)					
	10	30	50	101	506	1520
0 – 20	21,9	16,0	14,7	11,9	10,2	9,6
20 – 40	19,7	15,0	13,9	11,6	10,0	9,6
40 – 60	21,4	16,5	15,4	13,8	11,7	11,2

Figura 3. Curvas características de retenção da água no solo.



5.2 Variedade de Cana-de-açúcar

Foi utilizada neste experimento a variedade RB 72 454 , cultivada nas principais regiões canaveiras do Brasil, sendo muito utilizada como padrão em experimentos. Esta 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).

5.3 Equipamentos de Irrigação

Neste experimento foi utilizado o tubo gotejador Rain-Tape TPC, fabricado pela Rain Bird. É constituído de polietileno linear de baixa densidade, com 350 micra de espessura da parede, emissores tipo labirinto integrado à própria parede do tubo, e espaçados de 0,30 m. As linhas laterais tem diâmetro de 16 mm. Os acessórios do sistema de irrigação são: painel de controle, manômetro, hidrômetro, regulador de pressão, filtro de tela com 200 mesh, válvula de ar e antivácuo, válvulas final de linha e válvula de acionamento automático.

A uniformidade de distribuição de água via irrigação localizada, normalmente é comprometida pela diferença de pressão entre os gotejadores causada pela declividade e pela perda de carga. Com o intuito de superar este problema, surgiram os gotejadores autocompensantes, dotados de um mecanismo que responde ao mesmo princípio dos limitadores de vazão em tubulações.

Segundo Pizzaro (1996), um gotejador autocompensante perfeito seria representado por uma equação do tipo $q = k \cdot H^x$, em que o expoente “x” seria zero, ou seja, a vazão se manteria constante em toda linha. Na prática, isto é muito difícil de conseguir, aliás, o efeito compensante ocorre somente dentro de uma faixa de pressão.

Frizzone et al. (1998), avaliando o tubo gotejador Rain – Tape TPC, afirmam que os emissores apresentam uniformidade de vazão excelente e regime de escoamento turbulento. A equação encontrada para este tubo gotejador foi: $q = 0,164 \cdot H^{0,4563}$.

Em uma parcela extra, foram instaladas 4 linhas do tubo gotejador Rain – Tape TPC. Após 120 dias de uso, foram retirados 3 metros de cada linha para avaliar a

uniformidade de vazão do tubo. Utilizando a uniformidade estatística (US) para avaliar sistemas de irrigação localizada, todos os fatores como: coeficiente de variação de fabricação, perda de carga na linha lateral, diferença de nível e entupimento dos emissores, são incluídos na estimativa final da uniformidade estatística. De acordo com ASAE EP458 (1997), a uniformidade estatística de um sistema de microirrigação é considerada excelente quando os valores obtidos são maiores que 95%. Para valores entre 95% e 85%, a uniformidade estatística é considerada boa. Neste teste a uniformidade estatística obtida foi de 96,7%

Soopramanien et al. (1985) estudando o efeito do tipo de tubo gotejador na produtividade da cana-de-açúcar, relatam que não houve diferença significativa entre os dois tipos de equipamento para aplicação de água, entretanto a durabilidade dos mesmos foram diferenciadas entre si.

Após a término da irrigação, e dependendo da declividade das linhas laterais, existe a possibilidade de se criar o vácuo no interior do tubo, desta maneira podendo notar que para o sistema SDI, existe a possibilidade do vácuo succionar as partículas do solo, pois os emissores estão em contato direto com o solo. Em vista deste problema, foi instalado no final de cada linha lateral, válvulas “antivácuo”, ou válvulas “final-de-linha”.

5.4 Preparo do Solo, Adubação e Calagem

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 é composta de quatro (4) linhas de cana-de-açúcar (Figura 4), ocupando uma área de 8,0 m por 6,0 m, sendo que foram considerados

como área útil as duas linhas centrais e apenas cinco (5) metros de sulco, considerando 1,5 m do início e final do sulco como bordadura, perfazendo uma área útil de 15 m².

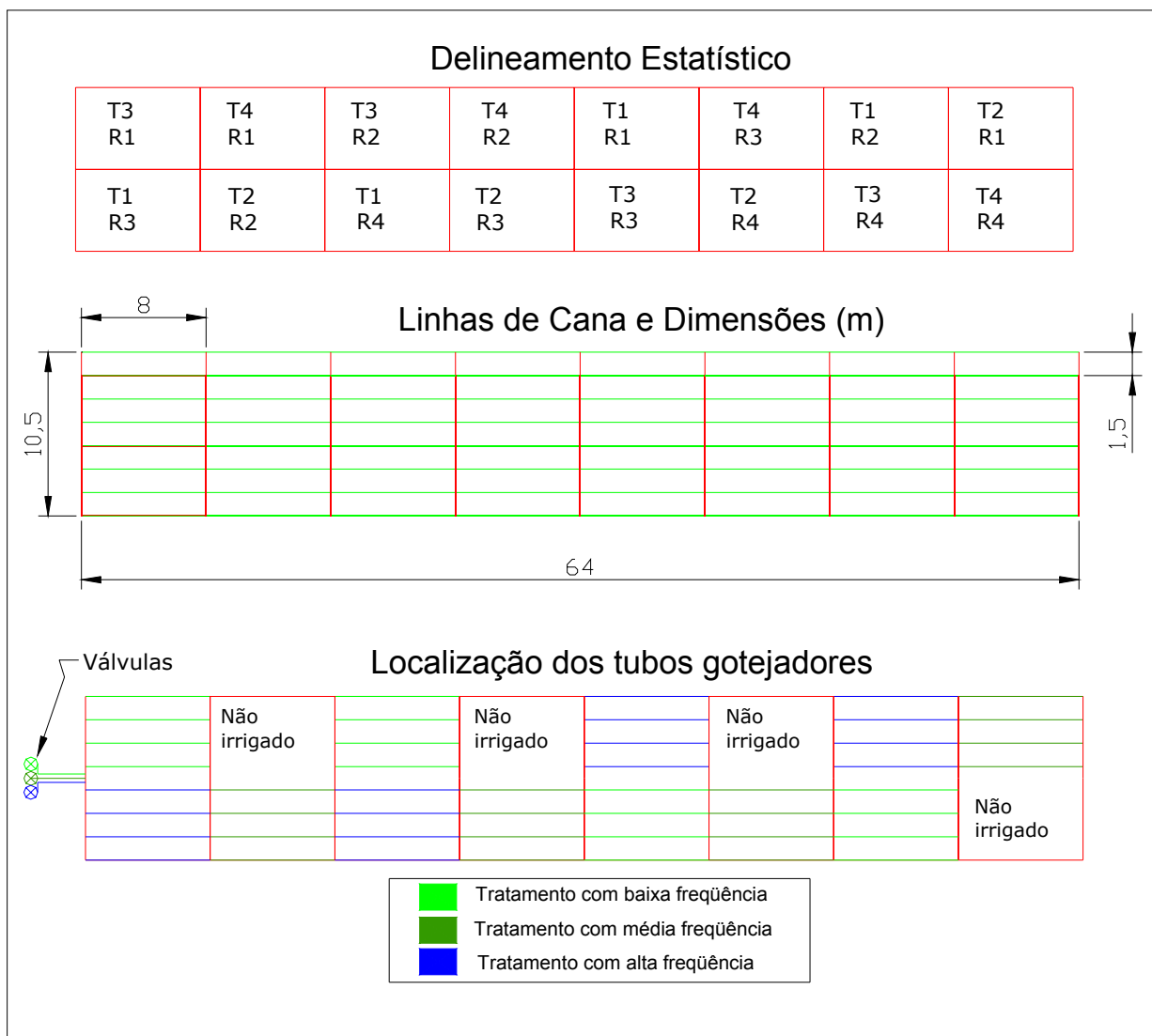
A calagem do solo foi realizada 5 meses antes do plantio, constou de uma dosagem de 1 t/ha de calcário dolomítico (PRNT de 90%), de acordo com a análise química do solo e com a recomendação em se elevar a um valor de 60% a saturação por bases (V%) do solo.

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em 3 de março de 2000, com 15 gemas por metro linear. A adubação mineral de plantio foi realizada segundo a recomendação de Raij et al. (1997), seguindo as dosagens de 30 kg de N/ha, 140 kg de P₂O₅, e 120 kg de K₂O.

Após 60 dias realizou adubação mineral de cobertura com as dosagens equivalentes de 30 kg de N/ha e 60 kg de K₂O/ha.

O adubo foi aplicado manualmente no plantio e na adubação de cobertura.

Figura 4: Detalhes gerais do experimento.



5.5 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro (4) tratamentos, e quatro (4) repetições. Figura 4.

Os tratamentos foram definidos por regimes de frequência da irrigação a cultura, através da irrigação por gotejamento subsuperficial, baseados no controle de evaporação do Tanque Classe “A”.

Tratamento 1 (**AF**) – 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 (**MF**) – 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 (**BF**) – 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 (**NI**) – refere-se às parcelas em que não receberam água através da irrigação.

5.6 Instalação do Equipamento

Entre os fatores de maior importância em irrigação subsuperficial por gotejamento, estão: escolha do tubo gotejador, visando desta maneira a durabilidade do

sistema, localização do tubo gotejador (profundidade e distância da linha de cana), quantidade e frequência de aplicação de água, espaçamento entre orifícios, vazão dos emissores, manejo e controle do sistema de irrigação sob a cana-de-açúcar.

Sobre a localização do tubo gotejador, Soopramanien et al. (1985), avaliando o efeito da localização do tubo gotejador nas linhas de cana-de-açúcar, obtiveram para o tratamento onde o tubo era localizado entre as linhas de cana, a maior produtividade.

Batchelor, Soopramanien & Nayamuth (1989) relatam os seguintes resultados encontrados com o “layout” de um sistema de irrigação por gotejamento enterrado:

- espaçamento entre ruas de cana-de-açúcar: os autores relatam que não houve diferença significativa entre os espaçamentos de ruas de cana-de-açúcar, os quais eram 1,6 m entre ruas e o espaçamento duplo de 1,0 x 2,25 m.
- localização do tubo gotejador: os autores relatam que os tratamentos onde os tubos gotejadores estavam localizados abaixo da linha de cana-de-açúcar, apresentaram produtividade superior aos tratamentos onde o tubo estava localizado entre as linhas de cana-de-açúcar, este resultado foi para todos os cortes de cana-de-açúcar, exceto para a cana-planta. Embora os tratamentos com o tubo gotejador localizado abaixo da linha de cana apresentem produtividades maiores, deve ser observado que a quantidade de tubo gasto para este tipo de instalação é maior, podendo ser até o dobro da quantidade gasta no espaçamento convencional entre linhas de cana-de-açúcar.
- tipo de tubo gotejador: em experimento realizado em Maurícius com dois tipos de tubo gotejadores, os autores relatam que: para o tubo instalado sob a linha de cana, ele está mais sujeito ao colapso causado pelo crescimento das raízes da cana após a

colheita, entretanto isso pode ser evitado com o aumento da pressão de serviço. Alguns tipos de tubo são mais susceptíveis ao dano físico e ao ataque por formigas, neste caso, é necessário injetar inseticida na água de irrigação para controlar o ataque pelo inseto.

- espaçamento entre emissores: os autores relatam que o espaçamento mais comum entre emissores são da ordem de 0,30, 0,60, 0,75 e 1,0 m, e que não houve diferença significativa para os espaçamentos de emissores entre os valores de 0,30 e 1,0 m, embora deve ser observado o problema em assegurar a boa brotação da cana-de-açúcar em épocas de baixa disponibilidade hídrica. Segundo os mesmos autores, o espaçamento de 1,5 m entre os emissores tem proporcionado razoável sucesso em pesquisas realizadas em Mauricius. Entretanto deve ser observado que o elevado espaçamento não é recomendado para solos leves, em particular quando as linhas do tubo gotejador estão localizadas entre as linhas de cana.

Batchelor et al. (1990), afirmam que os tratamentos onde 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 onde o tubo é colocado entre as linhas de cana apresenta vantagens em termos de capital de investimento.

Deve ser observado que o baixo número de emissores por unidade de área obrigará que os mesmos tenham uma elevada taxa de emissão de água para satisfazer a necessidade hídrica da cultura. Também poderá haver problemas com o desenvolvimento radicular próximo ao emissor e o risco de lixiviar a solução fértil do solo, devido a elevada taxa de aplicação de água.

Neste experimento, a localização dos tubos gotejadores encontram-se sob a linha de cana (Figuras 5 e 6), a uma profundidade média de 0,3 metros. Sua instalação 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.

5.7 Controle do Entupimento dos Emissores e Intrusão de Radicelas

Um dos fatores que limitam a aplicação e utilização irrigação subsuperficial por gotejamento, são os problemas devido a intrusão dos emissores por radicelas e/ou partículas minerais do solo, pois os emissores estão em contato permanente com o solo. Porém, manejo do sistema de irrigação pode evitar que isso ocorra, proporcionando 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 radicelas. Trifluralina é o ingrediente ativo de alguns herbicidas muito usados na agricultura. Segundo Rodrigues & 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.

Figura 5: Montagem do experimento (jan/fev/2000). Detalhe para as linhas laterais dentro do sulco.



Figura 6. Montagem do experimento (jan/fev/2000). Detalhe para os tubos de proteção da válvula final de linha.



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 radicelas varia de 0,20 a 0,25 cm³ por emissor, com uma frequência de injeção de 5 a 6 meses.

Para evitar que as radicelas da cana-de-açúcar obstruíssem a saída dos emissores, foi injetado no sistema de irrigação 0,125 ml de Treflan por emissor. A injeção do produto, realizada com auxílio de um tubo de Venturi, ocorreu nos 04 de abril, 04 de julho e 04 de outubro de 2000.

Dalri et al. (2000), avaliando o efeito de 4 doses de Trifluralina na variação de vazão do tubo gotejador Rain-Tape TPC, o qual foi enterrado sob a cultura da cana-de-açúcar, relatam que não houve alteração na vazão dos emissores até os primeiros 120 dias após o plantio.

Figura 7. Ação da válvula final de linha. Detalhe para a drenagem da água que estava no interior do tubo gotejador.



Figura 8. Montagem do experimento. Detalhe para o tubo de proteção da válvula final de linha.



5.8 Manejo da Irrigação

O sistema de irrigação deste experimento esteve sujeito ao controle automático de válvulas solenóides de controle elétrico, as quais eram acionadas por um controlador eletrônico (painel de controle) de 6 canais com 3 distintas programações (Figura 9). A Figura 10 está ilustrando o cavalete do sistema de irrigação, o qual é composto por um injetor tipo venturi, filtro, regulador de pressão, hidrômetro, manômetro, válvula de ar & antivácuo, e as válvulas de controle elétrico.

Figura 9. Painel de controle



Através da leitura de evaporação do tanque Classe “A” o consumo de água pela cultura foi quantificada. O tanque de Evaporação Classe “A” pode ser utilizado para avaliar a evapotranspiração da cultura, desde que se conheça as relações entre a perda de água da cultura e do tanque.

Os valores de evaporação medidos no tanque Classe “A”, em geral, superestimam a evapotranspiração da cultura. Doorenbos & Pruitt (1976) apresentam, coeficientes do tanque Classe “A” (K_p) que, multiplicados a sua evaporação, permitem estimar a evapotranspiração de referência E_{To} .

Figura 10. Cavalete do sistema de irrigação composto por injetor venturi, filtro, regulador de pressão, hidrômetro, manômetro, válvula de ar & antivácuo, válvulas de controle elétrico.



A evapotranspiração de referência (ET_o) é determinada por meio da seguinte equação:

$$ET_o = K_p * ECA \quad (1)$$

em que,

K_p – coeficiente do tanque Classe “A”;

ECA – evaporação do tanque, mm.

O coeficiente do tanque Classe “A” (K_p) utilizado foi o proposto por Doorenbos e Pruitt (1976), o qual é função da área circundante, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

A determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), foi calculada pela seguinte expressão:

$$ETc = Kc * ETo \quad (2)$$

em que,

Kc – coeficiente de cultura;

ETo – evapotranspiração de referência, mm.

Para correção da evapotranspiração de referência, utilizou-se os seguintes coeficiente de cultura (Kc), mostrados no Quadro 5.

Quadro 5. Valores do coeficiente de cultura (Kc) utilizados no manejo da cana-de-açúcar.

Idade da Cana-de-açúcar em dias	Mês	Coeficiente de cultura (Kc)
30 – 60	Abril	0,40
60 – 90	Maio	0,75
90 – 120	Junho	0,90
120 – 210	Jul/Ago/Set	1,00
210 – 270	Out/Nov/Dez	1,25

Fonte: Doorenbos & Kassam (1994).

5.9 Variáveis Avaliadas da Cultura

Após a colheita manual da cana-de-açúcar, iniciou-se a análise de desenvolvimento da cultura, sendo que as variáveis avaliadas foram: diâmetro e comprimento do colmo, perfilhamento, produção de matéria seca do colmo e da folha, e produção de massa fresca de colmo e folha.

No momento da colheita, todos os colmos da área amostrada foram contados e pesados em balança eletrônica. Em seguida foram escolhidos ao acaso 20 colmos de cada parcela para quantificação do diâmetro e comprimento do colmo.

5.10 Análise Estatística

Os resultados obtidos de cada parâmetro foram submetidos a análise de variância e as médias encontradas foram analisadas estatisticamente através do teste Tukey.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos na área experimental com a cultura da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial foram analisados estatisticamente, permitindo obter os seguintes resultados, os quais estão presentes neste capítulo

6.1 Colheita

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada manualmente no início do mês de dezembro de 2000, especificamente nos dias 04 e 05. Nesta data, a cultura apresentava nove meses de desenvolvimento, ou 275 dias decorridos após o plantio. Dentro da área útil, foram colhidos 2 (dois) metros de cada linha de cana, totalizando 4 metros lineares submetidos à avaliação em cada parcela.

6.1.1 Diâmetro e Comprimento do Colmo

Os valores médios de diâmetro e comprimento do colmo são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Valores médios de diâmetro e comprimento¹ dos colmos da cana-de-açúcar, variedade RB 72-454, sujeitos a diferentes frequências de irrigação.

Tratamentos	Diâmetro médio do colmo (cm)	Comprimento ¹ médio do colmo (cm)
AF	3,43	181,43 a
MF	3,45	188,48 a
BF	3,42	179,25 a
NI	3,37	152,20 b
C.V.	3,59 %	7,16 %

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

Estes parâmetros foram avaliados logo após a colheita da cana-de-açúcar.

O comprimento do colmo foi medido com o auxílio de uma trena, tendo como base a primeira aurícula perfeitamente visível. O diâmetro dos colmos foi medido com o auxílio de um paquímetro, sendo que esta determinação foi realizada no primeiro entrenó.

Através dos valores médios obtidos, observa-se que não houve diferença significativa para o diâmetro do colmo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, entre os tratamentos. Apesar disso, analisando a Figura 11 nota-se que o diâmetro do colmo seguiu uma curva semelhante à produção total de massa fresca (Figura 14) e que, para ambos,

observa-se que os maiores valores observados são para o tratamento com média frequência (MF) de aplicação de água.

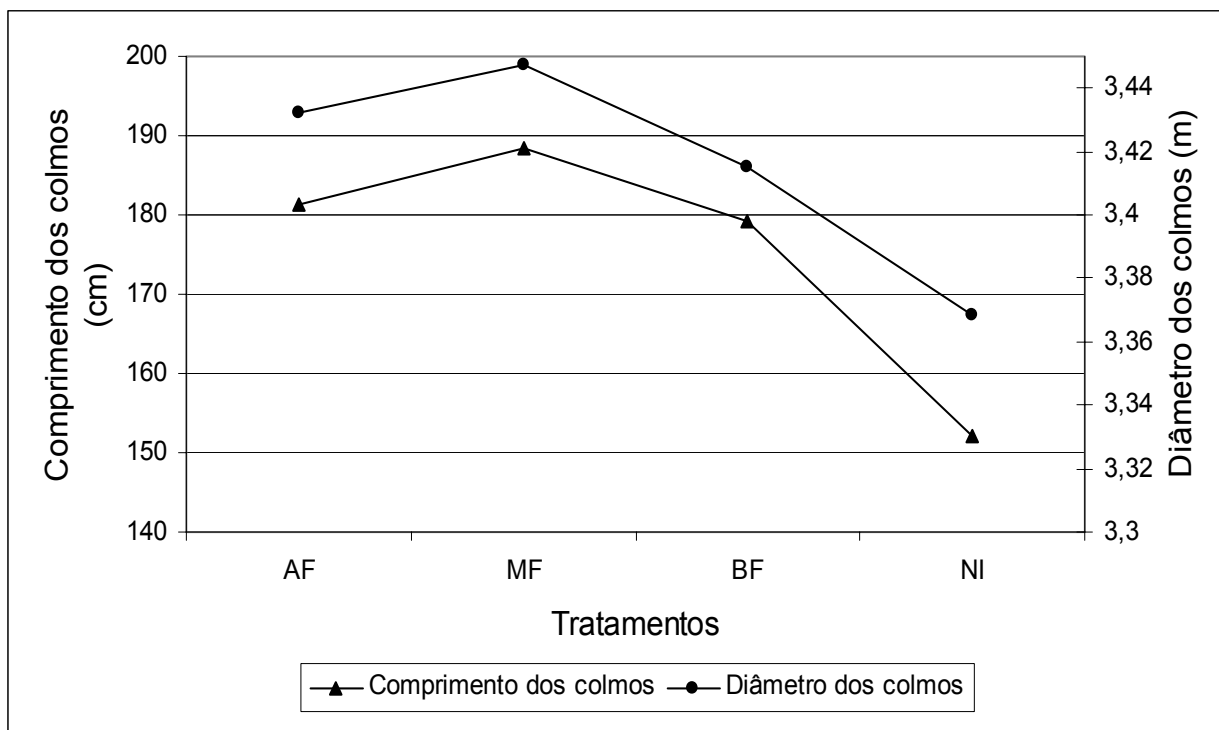
Com auxílio da análise de variância pode-se afirmar que o diâmetro do colmo da cultivar RB 72 454 independe dos regimes de umidade do solo estudados.

Os dados referentes ao comprimento do colmo somente apresentaram diferença significativa entre os tratamentos irrigados em relação ao não irrigado. Observando-se o comportamento da curva de crescimento do colmo, Figura 11, em função da frequência de irrigação, nota-se que o comportamento foi semelhante com a curva de produção, Figura 14, mostrando que, apesar de não haver diferença estatística entre os valores médios dos tratamentos irrigados, o maior valor médio obtido para o comprimento do colmo foi para o tratamento 2, sujeito a frequência de aplicação média (MF).

O comprimento médio proporcionado à cultura nos tratamentos irrigados, foi de 183,5 cm, 30,9 cm maior que no tratamento 4 (não irrigado). Espera-se que esta diferença aumente quando a cana estiver em ponto de colheita. Robinson (1963), no Hawai, registrou um aumento de crescimento em torno de 40 cm para os tratamentos com cana-de-açúcar irrigada.

Fonseca & Egana (1989) relatam que o alongamento do colmo pode ser utilizado como indicativo de desenvolvimento da cultura. Os autores relatam que os três meses de máximo crescimento coincidem com o período de máxima evapotranspiração.

Figura 11. Comprimento e diâmetro médio (cm) do colmo da cana-de-açúcar, variedade RB 72-454, sujeito a diferentes frequências de irrigação.



6.1.2 Perfilhamento

Os dados referentes ao perfilhamento da cultura, avaliados após nove meses de desenvolvimento da cana-de-açúcar são apresentados no Quadro 7 e na Figura 12. O número de perfilhos foi quantificado nos 4 metros de cana colhidos em cada parcela.

Com relação à variável perfilhamento, não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, ocorrendo apenas entre os tratamentos irrigados e a testemunha ao nível de 5% de probabilidade. Todavia, nota-se que para o tratamento 1, o qual proporcionou ao solo maior teor de água durante o desenvolvimento da cultura, o número de perfilhos por metro quadrado foi maior, (18,54 perfilhos/m²). Vale lembrar que no primeiro

mês de desenvolvimento da cultura (março/2000), o índice pluviométrico foi de 162,4 mm, lâmina suficiente para permitir uma boa brotação da cana.

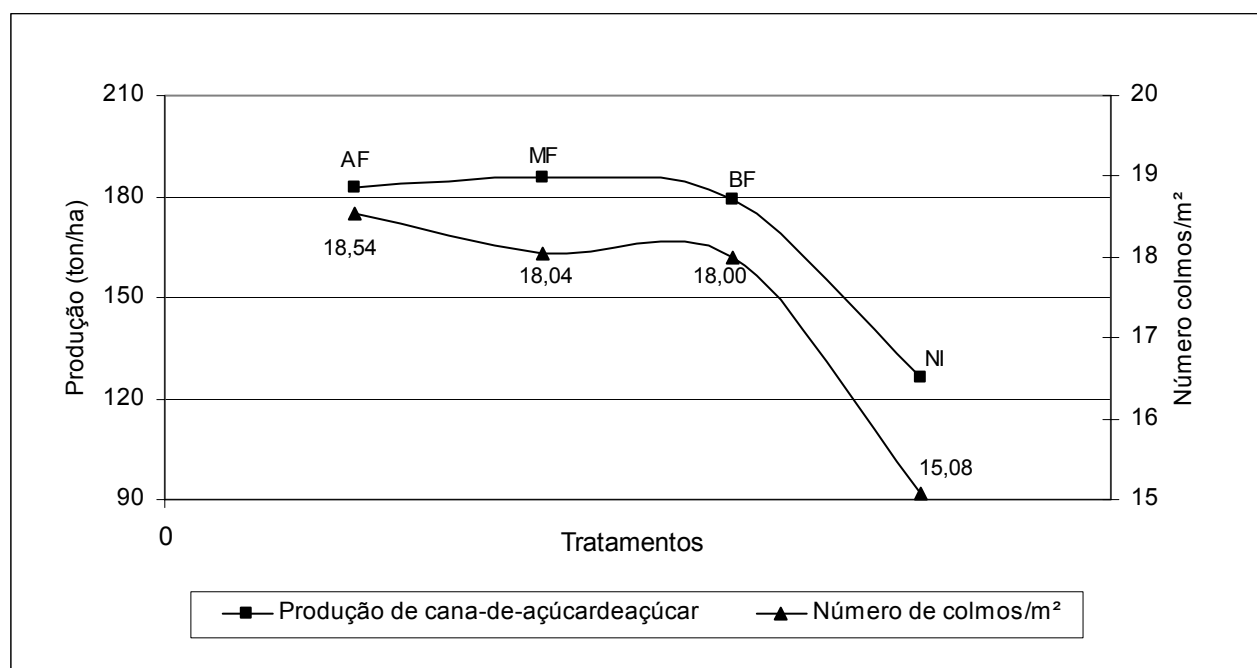
Quadro 7. Valores médios de colmos por metro quadrado, e por metro linear da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeitos a diferentes freqüências de irrigação.

Tratamentos	Perfilhamento ¹	Perfilhamento
	Nº colmos/metro linear	Nº colmos/m ²
AF	27,81 a	18,54 a
MF	27,06 a	18,04 a
BF	27,00 a	18,00 a
NI	22,63 b	15,08 b

C.V. = 7,88 %

¹Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 12. Produção de colmos por metro quadrado da cultura da cana-de-açúcar sujeita a diferentes freqüências de irrigação.



O perfilhamento da cana-de-açúcar geralmente atinge seu pico no quarto mês após o plantio (Casagrande, 1991). Leme, Scardua & Rosenfeld (1982), avaliando o perfilhamento da cana-planta, variedade IAC51 / 205, irrigada por sulcos, obtiveram para os tratamentos irrigados um índice de 22 – 24 colmos por metro linear, e para a testemunha, 14 colmos por metro linear; valores relativamente inferiores quando comparados a este experimento.

O estágio de perfilhamento é afetado por diversos fatores, entre eles os climáticos, fertilidade do solo, cultivares e práticas culturais. A deficiência hídrica diminui e até impede o perfilhamento da cana-de-açúcar. Em solos com excesso de umidade, o perfilhamento é menor (Aude, 1993). Neste experimento, o tratamento 1 (AF), em que se manteve o teor de água no solo próximo à capacidade de campo, o perfilhamento da cana-de-açúcar não chegou a ser afetado, mantendo o elevado número de perfilhos, observado para os demais tratamentos irrigados.

Batchelor et al. (1990), estudando o perfilhamento da cana-de-açúcar sob duas disposições de localização do tubo gotejador, sob a linha e entre as linhas de cana, e duas porcentagens para os valores de evapotranspiração da cultura (ETc), 100% e 50%, relatam que não houve diferença significativa para os tratamentos. Todavia, foi encontrado maior intensidade de perfilhamento para o tratamento em que a linha lateral foi colocada entre a linha da cultura, e esta sujeita a 50% de ETc.

6.1.3 Produção de Massa Seca

Com relação à variável matéria seca de folha, não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados ($P>0,05$). Apesar disso, nota-se pela Figura 13 que os tratamentos 1 (AF) e 2 (MF) apresentam valores idênticos, e com um ligeiro incremento de produção de matéria seca de folha sobre o tratamento 3 (BF). A diferença significativa ocorreu somente quando são comparados os tratamentos irrigados com o não irrigado. O valor médio de massa de matéria seca de folha para o tratamento 1 (AF) foi 43% maior que o tratamento 4 (NI).

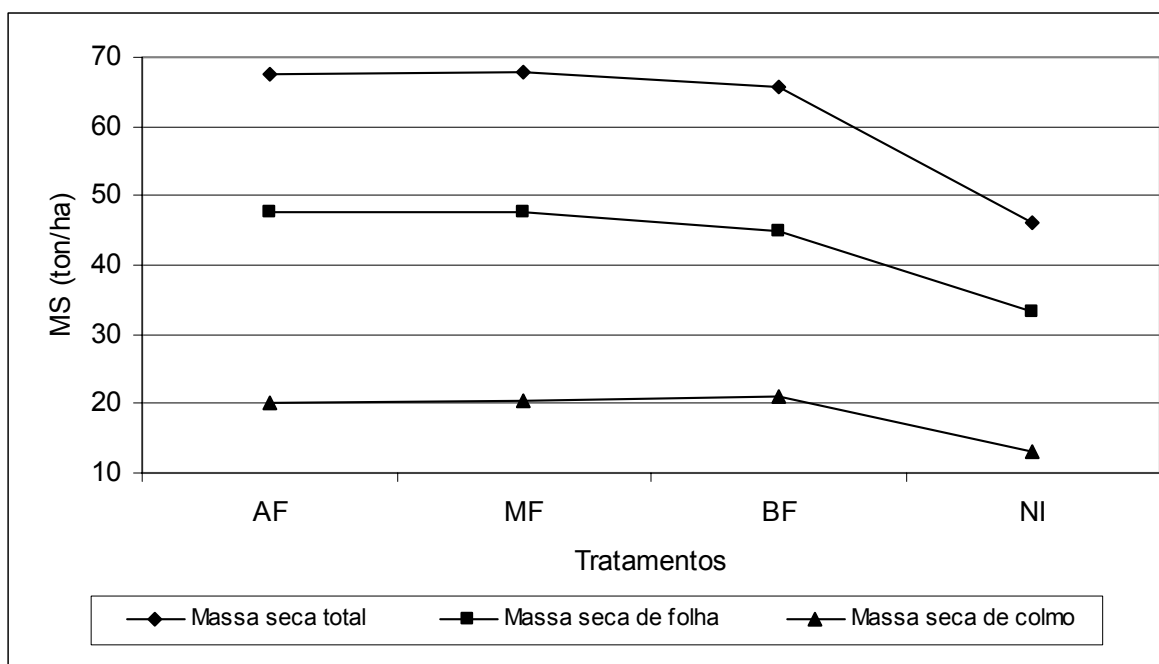
Outra observação importante é que, para o período em que foi amostrada a cultura da cana-de-açúcar (nove meses), o acúmulo de massa seca na folha foi bem superior à massa seca acumulada no colmo.

Quadro 8. Valores médios de massa de matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, sujeito a diferentes frequências de irrigação.

Tratamentos	Folha ¹ t/ha	Colmo t/ha	Total t/ha
AF	47,52 a	20,13 a	67,64 a
MF	47,52 a	20,47 a	67,99 a
BF	44,78 a	21,93 a	65,71 a
NI	33,23 b	13,02 b	46,25 b
C.V. %	8,35	14,67	9,33

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

Figura 13. Valores médios de massa de matéria seca da cana-de-açúcar, variedade RB 72-454, sob diferentes freqüências de irrigação.



Observa-se que as curvas de massa seca apresentadas na Figura 13 são equidistantes, com um ligeiro aumento de produção de massa seca de colmo no tratamento 3. Percebe-se que o estresse hídrico provocado no tratamento 3 (BF), induziu a cana-de-açúcar a acumular mais matéria seca no colmo.

Com relação à variável massa seca total, não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, notando-se um ligeiro aumento de produção de matéria seca total para o tratamento 2 (MF).

Com base no tratamento 2 (MF), a irrigação proporcionou um aumento de 47 % no total de matéria seca.

6.1.4 Produção de Massa Fresca

Os resultados da análise de variância deste parâmetro são apresentados no Quadro 9. Não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, porém houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados e o tratamento não irrigado, ao nível de 5% de probabilidade. Portanto, a irrigação mostrou-se benéfica, evidenciando que mantendo-se o solo a níveis de umidade mais elevados, a produção da cana-de-açúcar é favorecida.

Apesar de não ter sido observado diferença significativa entre os tratamentos irrigados, pode-se fazer os seguintes comentários:

- o maior número de perfilhos no tratamento 1 (AF) não teve influência no aumento de produção de massa fresca, pois como demonstra o Quadro 9, foi o tratamento 2 (MF) que obteve maior produção massa fresca.

- o comprimento do colmo é um indicativo de aumento de produção da cana-de-açúcar. Foi no tratamento 2 em que se obteve o maior valor médio para o comprimento do colmo.

- o aumento médio de produção dos tratamentos irrigados sobre o não irrigado foi de 45 %.

Os aumentos constatados nos tratamentos irrigados com relação à testemunha (NI) na produção de massa fresca total, foram de 45,0 %, 47,1 %, 41,9 % para os tratamentos AF, MF, BF, respectivamente, e 56,7 t/ha, 59,4 t/ha, 52,8 t/ha para os respectivos tratamentos.

Quadro 9. Valores médios de produção de massa fresca da cana-de-açúcar, variedade RB 72-454, sujeito a diferentes frequências de irrigação.

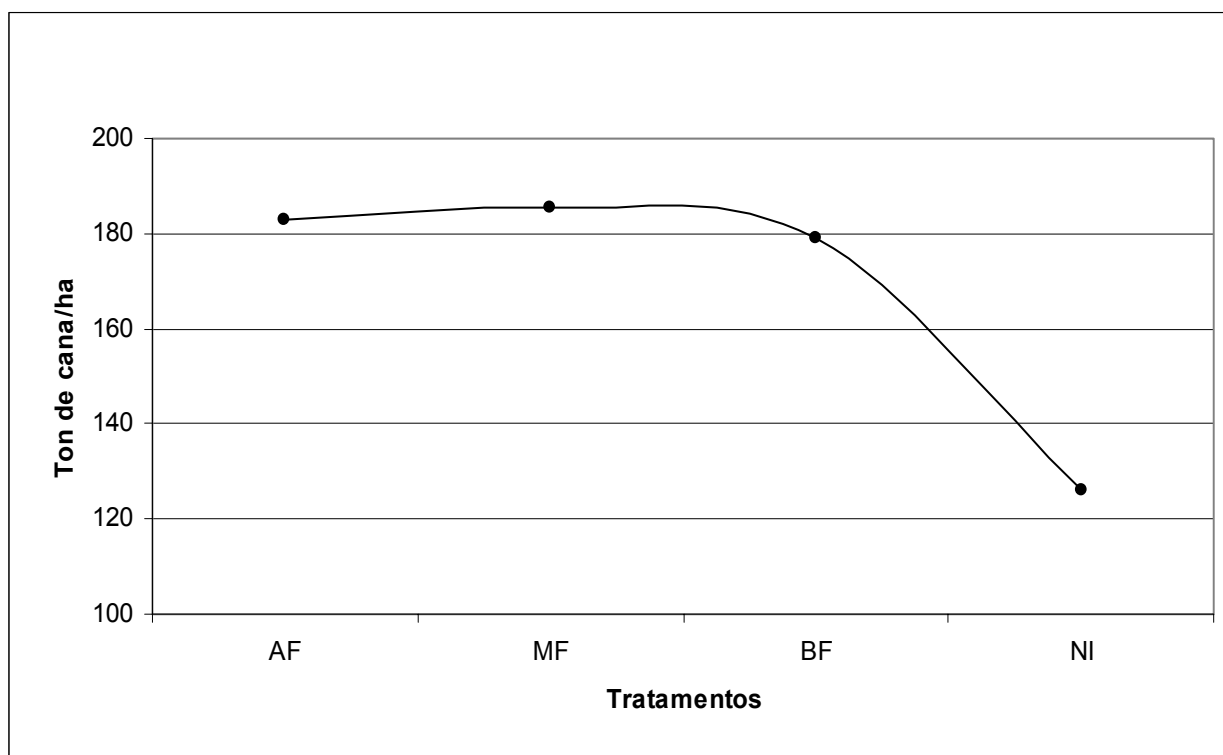
Tratamentos	Produção de Massa Fresca		
	Folha ¹ t/ha	Colmo t/ha	Total t/ha
AF	39,14 a	143,90 a	182,25 a
MF	38,69 a	146,84 a	185,49 a
BF	40,77 a	138,28 a	178,98 a
NI	27,91 b	98,19 b	126,14 b
C.V.	11,19 %	9,73 %	9,62 %

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

Leme, Scardua & Rosenfeld (1982), constataram que as produtividades (ton/ha) em todos os ciclos da cana-de-açúcar irrigadas por sulcos foram significativamente diferentes da testemunha.

O tratamento 4 (NI), que apenas recebeu água da chuva, apresentou um índice de produtividade razoável. Isso se deve à boa fertilidade do solo, apesar da sua alta densidade e da elevada capacidade de armazenamento de água do solo. Para o perfil de 60 cm, o solo armazena 111 mm, ou 1110 m³/ha. Em uma avaliação visual das parcelas, as não irrigadas apresentavam um mau aspecto, com folhas finas e pequenas e um crescimento inferior às irrigadas. Entretanto, o bom índice pluviométrico e o aumento da temperatura que ocorreram em novembro possibilitou à cultura não irrigada uma recuperação em relação aos demais tratamentos irrigados.

Figura 14. Produção média de massa fresca da cultura da cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, com 9 meses de desenvolvimento, irrigadas por gotejamento subsuperficial.



6.2 Volume de Água Aplicado

A irrigação teve seu início no dia 3 de março de 2000, sem a diferenciação entre os tratamentos irrigados até o dia 31 de março de 2000. Todos os tratamentos AF, MF, BF, receberam no mês de março a mesma quantidade de água. Nota-se na Figura 16 que o índice pluviométrico no mês de março foi de 162 mm. Índice de chuva mensal suficiente para uma boa brotação da cana-de-açúcar. Talvez tenha sido esse um dos motivos do elevado número de perfilhos para todos os tratamentos.

A partir do mês de abril de 2000 iniciou-se a diferenciação entre as frequências de dotação de água.

O Quadro 10 apresenta valores mensais de precipitação pluvial e evaporação do tanque Classe “A”. O quadro também apresenta os valores mensais da evapotranspiração da cultura, a qual foi calculada pela evaporação d’água do tanque Classe “A”. Nota-se que nos meses de setembro e novembro houve excedente hídrico no balanço de água no solo.

A condução do manejo de irrigação deste experimento está representada na Figura 15. A lâmina d’água aplicada em cada tratamento está representada pela altura das barras. Observa-se que no mês de outubro houve uma maior necessidade do sistema de irrigação.

Quadro 10. Valores mensais obtidos da precipitação e evaporação do tanque Classe “A” e os valores calculados da evapotranspiração da cultura.

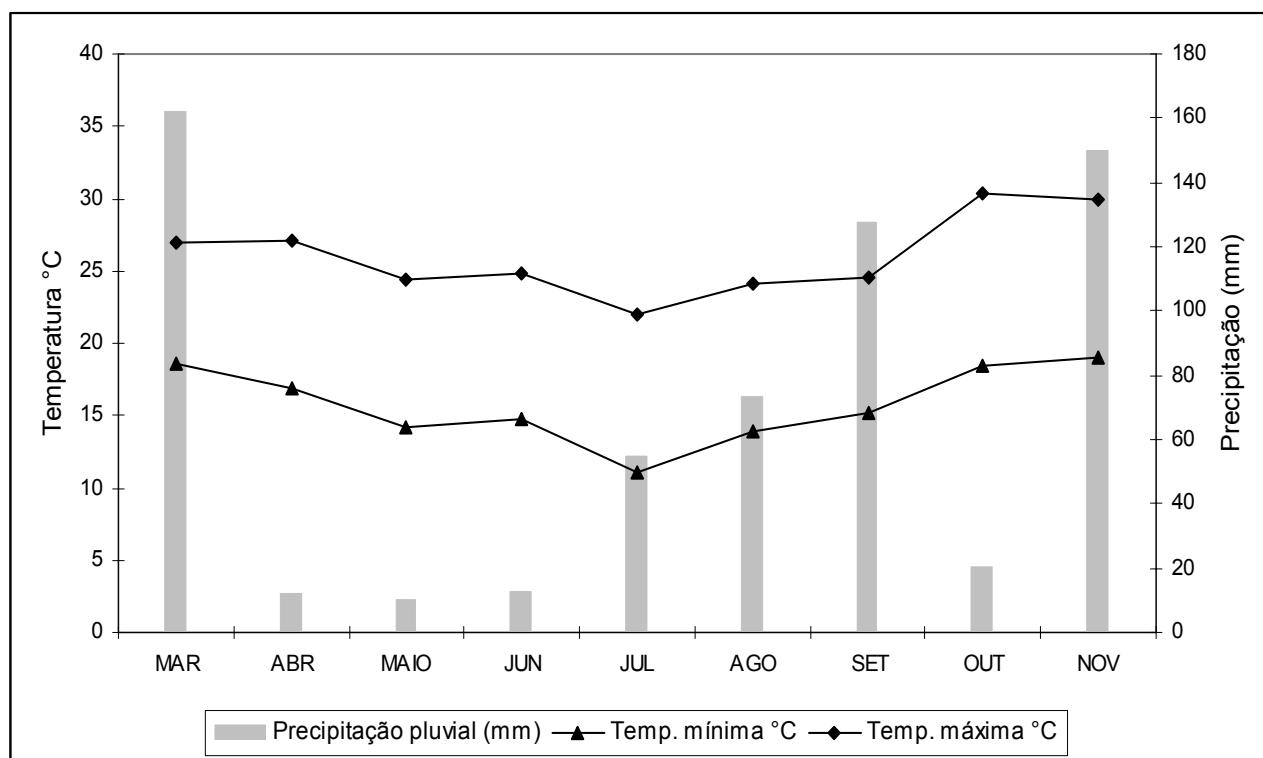
Meses	Precipitação acumulada mensal (mm)	ECA acumulada mensal (mm)	Etc acumulada mensal (mm)
Abr	20,1	170,40	51,12
Mai	10,3	133,96	75,35
Jun	12,9	112,86	80,41
Jul	58,3	116,10	95,78
Ago	76,3	152,70	125,98
Set	147,2	141,15	116,45
Out	20,3	209,50	196,41
Nov	197,9	165,66	155,30
Total até 03/12	543,36	1218,68	912,11

6.3 Dados Climatológicos

Os valores referentes à temperatura máxima e mínima foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Recursos Naturais, Área de Ciências Ambientais da FCA/Unesp durante o período experimental. A média dos dados mensais são apresentados na Figura 16.

A precipitação e evaporação da água do Tanque Classe “A” foram obtidos na estação meteorológica localizada no Departamento de Engenharia Rural da FCA/Unesp.

Figura 16. Valores médios mensais de temperatura do ar (mínima e máxima), e precipitação pluvial, para os meses de março a novembro do ano de 2000.



6.4 Estimativa do Potencial de Água no Solo

Os níveis de potencial de água no solo para o pleno desenvolvimento da cana-de-açúcar, em condições de baixa e alta evapotranspiração estão em torno de -0,6 a -1,5 bar (-0,59 atm a -1,48 atm) (Klar, 1991; Pizarro, 1996).

Robinson (1963), em pesquisa realizada no Hawai, concluiu que quando o potencial de água no solo atinge 2 atm a 30 cm de profundidade, a elongação da cana é reduzida.

Fogliata (1972), estudando a irrigação da cana-de-açúcar em Tucuman, com a variedade NA56-79, concluiu que os melhores resultados de alongamento do colmo, foram obtidos com as irrigações realizadas quando ainda restavam 40% de água disponível no solo, o que correspondia a tensões de água entre 1 a 2,5 atm.

Sousa (1976b), afirma que a cultura da cana-de-açúcar permite uma variação de potencial de água no solo de até 1,2 atm, sem afetar o rendimento de produtividade de cana e açúcar.

Através dos valores fixos da lâmina repostada em cada tratamento, foi calculado a umidade crítica, tensão máxima da água no solo e a fração da água disponível.

6.4.1 Umidade Crítica Obtida por Tratamento Irrigado

Pela equação (3), foi determinado, com base no manejo da irrigação, qual o teor mínimo de água (umidade crítica) que esteve retido no solo em cada tratamento.

A umidade crítica foi obtida pela seguinte função:

$$H_i = \frac{U_{cc} - U_{cr}}{10} * D_s * Z \quad (3)$$

onde:

H_i – lâmina d'água a ser repostada em cada tratamento (mm);

U_{cc} – teor de água na capacidade de campo (%);

U_{cr} – teor de água crítica (%);

D_s – densidade do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

Z – altura do perfil do solo (cm);

e,

$H_1 = 10 \text{ mm};$

$H_2 = 20 \text{ mm};$

$H_3 = 30 \text{ mm}.$

A partir da equação (3), a umidade crítica média atingida em cada tratamento antes do início de uma nova irrigação, foi estimada para um perfil de solo de 60 cm. Os valores calculados de umidade crítica (U_{cr}) para cada tratamento são apresentados no Quadro 11.

Para estimar a tensão média da água no solo, no perfil de 60 cm, utilizou-se das curvas característica do solo. As curvas representadas graficamente na Figura 3, apresentam as seguintes funções para os respectivos perfis.

$$y = 3 \cdot 10^8 \cdot U^{-5,7214}, \text{ para o perfil de 0 – 20 cm;}$$

$$y = 2 \cdot 10^9 \cdot U^{-6,5066}, \text{ para o perfil de 20 – 40 cm;}$$

$$y = 5 \cdot 10^{10} \cdot U^{-7,4678}, \text{ para o perfil de 40 – 60 cm.}$$

onde,

y – potencial em que a água está retida no solo (kPa),

U – umidade com base em peso ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$).

Com auxílio das funções da curva característica de retenção de água no solo, foi estimado para cada tratamento, a tensão máxima em que a água foi retida pelo solo. Os respectivos valores da tensão da água no solo (kPa) foram: 17,65 , 57,18 , 242,26 , para os tratamentos 1 (AF), 2 (MF), 3 (BF).

Mesmo com a ampla variação dos valores de tensão da água no solo calculados para cada tratamento, não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, como já foi relatado. O motivo poderia ser a baixa temperatura média durante o período experimental, proporcionando uma baixa evapotranspiração da cultura. A temperatura média dos nove meses foi de 19,9 °C.

Os aumentos de rendimentos obtidos nos tratamentos irrigados, indicam que a variedade RB 72 454 permite uma variação do potencial de água no solo de até 2,4 atmosferas, sem afetar o rendimento em massa fresca.

Sabe-se que o aumento do intervalo de “água disponível no solo” causa uma variação no estado de energia da água no solo, de tal modo que baixos teores de umidade reduzem o potencial da água no solo. Para este experimento, mesmo o baixo potencial em que o tratamento 3 (BF) esteve sujeito, não foi suficiente para reduzir a atividade

fisiológica da cultura da cana-de-açúcar. Isso se deve ao robusto sistema radicular da cultura, e a sua capacidade em retirar água do solo a elevadas tensões.

A “fração da água disponível no solo” (FDA) é a porcentagem do conteúdo de água existente no solo em relação a máxima capacidade de retenção de água disponível. Pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$FDA = \frac{(U_{cr} - U_{pmp})}{(U_{cc} - U_{pmp})} * 100 \quad (4)$$

O nível mínimo de teor de água ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) mantido no solo até 60 cm de profundidade, no tratamento 2 (MF), o qual teve o maior índice de produtividade, foi de 15,15 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), correspondendo 45,80 % do total de água disponível no solo. Este valor é um indicativo para o manejo de irrigação da cultura da cana-de-açúcar, onde as condições climáticas e edáficas se assemelham.

Com os dados estimados da tensão da água no solo para os diferentes tratamentos, podemos sugerir que a não significância na produção entre os tratamentos 1, 2, e 3, indica que a cultura da cana-de-açúcar não exige solo com elevado teor de água, pois os tratamentos irrigados 1, 2, e 3 correspondem a 72,90 %, 45,80 %, 18,70 % da água disponível no solo, para uma produtividade de 182,25 t/ha, 185,49 t/ha, 178,98 t/ha, respectivamente.

Quadro 11. Nível médio da fração da água disponível, teor e tensão de água no solo, mantido no solo até 60 cm de profundidade, para os tratamentos irrigados.

	Ucc g/g	Upmp g/g	Ds g/cm ³	Ucr g/g	Tensão da água no solo		FDA %
					kPa	Atm	
T1	21,01	10,13	1,71	18,08	17,65	0,17	72,90
T2	21,01	10,13	1,71	15,15	57,18	0,56	45,80
T3	21,01	10,13	1,71	12,22	242,26	2,39	18,70

Ucc – teor de água na capacidade de campo;

Upmp – teor de água no ponto de murcha;

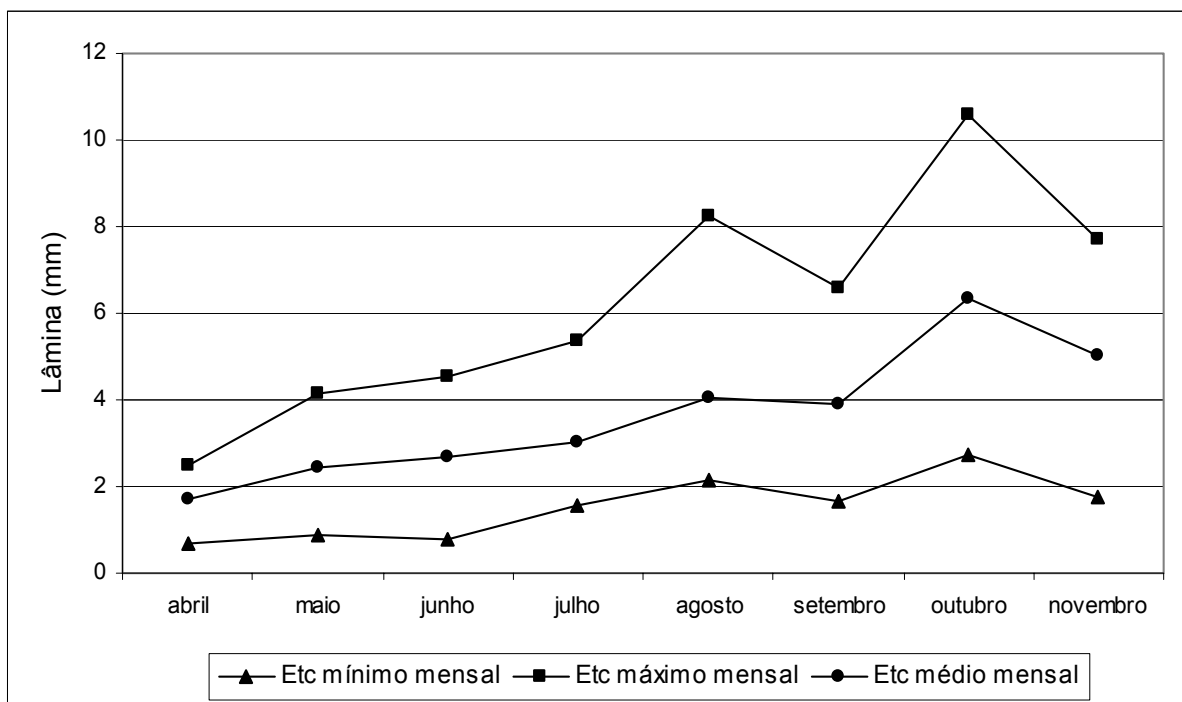
Ds – densidade do solo;

Ucr – umidade crítica atingida em cada tratamento;

FDA – fração de água disponível no solo.

Todavia, os valores de Kc utilizados para o manejo da irrigação, podem estar superestimados, alterando os valores da “fração da água disponível” (FDA), e da tensão da água no solo, pois como foi observado no Capítulo 3, a evaporação de água do solo é reduzida quando utiliza-se o gotejamento subsuperficial.

Figura 17. Valores de evapotranspiração mínima, máxima, e média para os meses de abril a novembro de 2000.



A evapotranspiração mínima quantificada da cultura através da evaporação do tanque Classe “A” ocorreu no mês de abril, 0,66 mm, e a máxima no mês de outubro, 10,59 mm.

Vale observar que no mês de outubro, o qual teve a maior média mensal de evapotranspiração, o índice pluviométrico foi de 20,30 mm, onde o normal seria de 118,58 mm, Figura 2. Este baixo índice pluviométrico interagiu positivamente nos tratamentos irrigados.

Quadro 12. Dotação de água para os tratamentos, considerando a precipitação e evapotranspiração do tanque Classe “A” no período, e suas relações com o desenvolvimento vegetativo.

Tratam.	NCMQ	Produção			Lâmina d'água		
		MSF/ha	MST/ha	TCH	Irrigação (mm)	Precipitação (mm)	Total (mm)
AF	18,54	47,52	67,64	182,85	650	543	1193
MF	18,04	47,52	67,99	185,49	660	543	1203
BF	18,00	44,78	65,71	178,98	600	543	1143
NI	15,08	33,23	46,25	126,14	-----	543	543

- NCMQ – número de colmos por metro quadrado;

- MSF/ha – massa seca de folha por hectare;

- MST/ha – massa seca total por hectare;

- TCH – tonelada de cana por hectare;

6.5 Desenvolvimento Vegetativo e Frequência de Irrigação

O tratamento 1 (AF), o qual possui a mais alta frequência entre as aplicações, exigiu 65 irrigações para atender a reposição do teor da água no solo ao nível da capacidade de campo, resultando em uma frequência média em dias de 3,8.

O tratamento 2 (MF) e 3 (BF) exigiram 33 e 20 irrigações para reposição da lâmina d'água, resultando em uma frequência média entre as aplicações de 7,6 e 12,6 dias respectivamente.

Com a redução da frequência de irrigação, a possibilidade em otimizar o uso da água da chuva é maior. O Quadro 12 comprova esta afirmação, onde no tratamento 3 (BF) foi aplicado 60 mm de água a menos que o tratamento 2 (MF), para uma mesma produtividade atingida ao final do experimento.

Batchelor et al. (1990), relatam que, apesar da grande diferença de produtividade entre os tratamentos de cana-de-açúcar irrigada e a não irrigada, não encontram valores significativos entre os tratamentos irrigados. Segundo os autores, uma razão para isso pode ser devida aos valores dos coeficiente de cultura sugeridos por Doorenbos & Pruitt (1976) estarem super estimados.

Magar (1995), avaliando o manejo de irrigação na cana-de-açúcar, com aplicação diária e em dias alternados, relata que a maior produtividade obtida foi para o manejo em que a aplicação foi menos freqüente (149,54 t cana/ha).

Lamm et al. (1995), relatam que a frequência de irrigação, com intervalos de 1, 3, 5 e 7 dias, aplicada via gotejamento subsuperficial, não alterou a produtividade do milho.

Batchelor & Soopramanien (1995), em pesquisa realizada na Ilha Mauricius, em que variou a frequência de irrigação, obtiveram os seguintes resultados para os tratamentos 1, 2, e 3, e para o primeiro corte: 170, 169, 158 t cana/ha e 20,3, 21,3 e 19,5 t açúcar/ha; na soca 134, 128, e 124 t de cana/ha e 11,2, 13,0 e 13,5 t de açúcar/ha. Os autores relatam que na fase de germinação a frequência foi a mesma, diminuindo ao longo do ciclo a frequência para o tratamento 2 e para o tratamento 3. Este último estava sujeito a menor frequência de aplicação de água. Nota-se que os autores obtiveram valores semelhantes de

produtividade para os tratamentos com maiores frequências de irrigação. Na cana-planta, o autor obteve a maior produção de açúcar para o tratamento com média frequência de irrigação.

6.6 Considerações Gerais

Um dos principais problemas que pode ocorrer com o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é o entupimento dos emissores, como já foi relatado no Capítulo 3. Neste experimento, para verificar se os emissores estavam obstruídos, foi instalado um hidrômetro.

Pelas leituras mensais do hidrômetro, não foram verificados reduções da vazão do sistema de irrigação, ou seja, não houve sucção de partículas do solo, o que poderia ter ocorrido em situações onde a pressão se tornaria negativa, durante a operação do sistema, e intrusão de radículas no interior do emissor. Esta observação indica que o tubo gotejador apresenta boas características e pode ser recomendado para uso em irrigação subsuperficial por gotejamento (SDI).

Os resultados obtidos em nove meses de estudo deste sistema de irrigação concordam com as pesquisas internacionais, que relatam que o tempo gasto com a manutenção do sistema de irrigação subsuperficial é mínimo. Neste experimento, foi observado somente duas avarias no sistema, os quais são furos causados por formiga ou cupim. A primeira avaria ocorreu na terceira semana e a segunda na sexta semana.

Através da análise visual da parte aérea, a injeção de Trifluralina na água de irrigação não apresentou prejuízos à cultura, portanto, não foi detectada nenhuma alteração nas características da cana-de-açúcar após a injeção do produto.

Devido à grande quantidade de variáveis que podem interferir no efeito da irrigação localizada subsuperficial no desenvolvimento da cana-de-açúcar, é sugerido que outras pesquisas sejam realizadas para verificar sua viabilidade econômica. Sugere-se que as novas variáveis pesquisadas envolvam o espaçamento entre linhas de gotejadores e linhas de plantio, a fertirrigação, e uma variedade de cana-de-açúcar de elevado potencial e que responda melhor à irrigação.

7. CONCLUSÃO

Para as condições em que o experimento foi realizado e com base nos dados pesquisados neste trabalho e discutidos no capítulo anterior, conclui-se que:

- 1 – Não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, para os parâmetros analisados;
- 2 – A irrigação proporcionou em relação à testemunha, um aumento médio maior que 45 % de produção de massa fresca e seca, de colmo e folha;
- 3 – O uso de 0,125 ml/emissor de Trifluralina impediu a intrusão de radículas nos emissores;
- 4 – O diâmetro do colmo da variedade RB 72 454, não foi afetado pelo aumento da disponibilidade hídrica;
- 5 – O tubo gotejador “Rain Tape TPC” de características construtivas mencionadas no Capítulo 4, pode ser recomendado para as condições de irrigação subsuperficial;

6 – A cultura da cana-de-açúcar permitiu uma elevada variação no potencial de água no solo sem afetar o rendimento, indicando que a frequência entre irrigações podem ser ampliadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, 1998, v.58, 1998.
- ASAE EP458 (*American Society of Agricultural Engineers*). Field Evaluation of Microirrigation Systems: EP458. In: ASAE Standards 1997. 44.ed. St Joseph, 1997, p.908-14.
- ASAE S526.1 (*American Society of Agricultural Engineers*). Soil and Water Terminology: S526.1. In: ASAE Standards 1997. 44.ed. St Joseph, 1997, p.936-952.
- 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.
- 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. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers, 1995. p.717-28.
- BATCHELOR, C.H., SOOPRAMANIEN, G.C., BELL, J.P. Root development of drip irrigated sugar cane. In: PROC. OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, Califórnia. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.2, 1985. p.687-95.

- BATCHELOR, C.H., SOOPRAMANIEN, G.C., BELL, J.P., NAYAMUTH, R., HODNETT, M.G. Importance of irrigation regime, dripline placement and row spacing in the drip irrigation of sugar cane. *Agric. Water Manage.*, v.17, p.75-94, 1990.
- BATCHELOR, C.H., SOOPRAMANIEN, G.C., NAYAMUTH, R. Design and management of sugarcane drip irrigation systems. In: PROCEEDINGS CONGRESS, 20, São Paulo. Anais... São Paulo. v.2, 1989. p.522-31.
- BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 6.ed. Viçosa: Universitária, 1995. 657p.
- BUI, W.; KINOSHITA, C.M. Has drip irrigation in Hawaii lived up to expectations? In: PROC. OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, Califórnia. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.1, 1985. p.84-9.
- CALDWELL, D.S., SPURGEON, W.E., MANGES, H.L. Frequency of irrigation por subsurface drip-irrigated corn. *Trans. of the ASAE*, v.37, n.4, p.1099-103, 1994.
- CANA-DE-AÇÚCAR. *Agrianual 99*: ANV. Estat. Agric. Bras., p. 222-38, 1999.
- 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.
- CASAGRANDE, A.A. *Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- CASAGRANDE, A.A. Crescimento da cana-de-açúcar. *Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.14, n.5, p.7-8, 1996.
- DALRI, A.B., GOMES, E.P., SCHMIDT, P. SOUZA, C.M.P., DUENHAS, L.H. Uso da Trifluralina no controle de intrusão de raízes de cana-de-açúcar em gotejadores. In:

- SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 2, 2000. Botucatu. Resumos... Botucatu: Unesp/FCA, 2000. p.596-600.
- DAVIS, K.R., PHENE, C.F., MCCORMICK, R.L., RUTMACHER, R.B., MEEK, D.W. Trickle frequency and installation depth effect on tomatoes. In: PROC. OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, Califórnia. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.2, 1985. p.896-902.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Boletim n.33. Campina Grande UFPB, 1994. p.220-6.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma: FAO, 1976. 194p. (Estudios FAO: Riego e Drenaje, Paper 24).
- 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.
- 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.
- 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.
- FONSECA, J.R., EGANA, J. Irrigation system and water use by sugarcane in Cuba. In: PROCEEDINGS CONGRESS, 21, 1989, São Paulo. Anais... São Paulo: International Society of Sugar Cane Technologists, v.2, 1989. p.514-21.

- FRIZZONE, J.A., VIEIRA, A.T., PAZ, V.P.S., BOTREL, T.A. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. *Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.3, p.278-83, 1998.
- FURLANI NETO, V.L., RIPOLI, T.C., VILLA NOVA, N.A., Avaliação de desempenho operacional de colhedoras em canaviais com e sem queima prévia. *Stab Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.15, n.2, p. 18-23, 1996.
- GAZETA MERCANTIL, *A Agrovale investe em cana irrigada*. 23/06/1998.
- 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.133-8.
- 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.
- GUZZELLI, 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.
- LAMM, F.R., SPURGEON, W.E., ROGERS, D.H., MANGES, H.L. Corn production using subsurface drip irrigation. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, 1995, Orlando/Flórida. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers, 1995. p.388-94.

- LEIVA, E., BARRANTES, A. Incremento de la produccion de caña de azucar com riego por goteo enterrado. *Sugar y Azucar*, 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.
- 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.735-39.
- 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.42-5, 1998.
- MARIA, I. C., DECHEN, S. C. F., Programa cana-de-açúcar. *Stab Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.17, n.2, p.8, 1998.
- ORON, G., DEMALACH, J., HOFFMAN, Z., CIBOTARU, R. Subsurface Microirrigation with Effluent. *J. Irrigation And Drainage Engineering*, v.117, n.1, p.25-37, 1991.
- OLIVEIRA, M.W., PAULO, C.O.T., GAVA, G.J.C., PENETTI, C.P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v.56, n.4, 1999.
- PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frequência (RLAF)*. ed.3, Bibao. 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: PROC. OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, Califórnia. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.2, 1985. p.916-20.

- RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. *Bol. Téc. Inst. Agron. (Campinas)*, 2ed. n. 100, 285p. 1997.
- 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.
- SCARDUA, R. SOUSA, J.A.G.C. Comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. *Brasil Açucareiro*, v.87, p.57-69, 1976.
- SEPASKHAH, A.R., SICHANI, S.A., BAHRANI, B. Subsurface and Furrow Irrigation Evaluation for bean production. *Trans. of the ASAE*, v.20, n.05, 1976, p.1089-92.
- SOOPRAMANIEN, G.C., BATCHELOR, C.H., NAYAMUTH, R., WLLINGS, S. Drip line type, placement and water regime effects on sugarcane growth and yield. In: PROC. OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, Califórnia. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers v.2, 1985. p.903-8.
- SOUSA, E.F., BERNARDO, S., CARVALHO, J.A. Relação entre evapotranspiração e produtividade para três variedades de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998, p.55-7.

- SOUSA, J.A.D.C. *Estudo do consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)*. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1976a, 82p. (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, 163p. (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Unicamp.
- TELLES, D.D. *Métodos de irrigação*. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Curso de elaboração de projetos de irrigação. Brasília: 1986. Cap.3, 93p.
- VIEIRA, D.B. A irrigação sistemática na cana-de-açúcar. *Álcool & Açúcar*, n.30, p.24-30, 1986a.
- VIEIRA, D.B. *Relação água solo planta*. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Curso de elaboração de projetos de irrigação. Brasília: 1986b. Cap.1, 87p.
- 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. *R. bras. Ci. Solo*. v.7, n.3, 1983, p.335-40.
- YAMAUCHI, J., BUI, W. *Drip irrigation and the survival of the Hawaiian sugarcane industry*. Institute of tropical agriculture and human resources. n.113, 8p. 1990.