INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL

FERTIRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO DE VINHAÇA VIA GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

EDUARDO AUGUSTO AGNELLOS BARBOSA

Orientador: Flávio Bussmeyer Arruda

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Tecnologia de Produção Agrícola.

Campinas, SP
Maio 2010

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

B238f Barbosa, Eduardo Augusto Agnellos
Fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar/ Eduardo Augusto Agnellos Barbosa. Campinas, 2010. 91 fls.

Orientador: Flávio Bussmeyer Arruda
Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produção Agrícola) Instituto Agronômico

1. Irrigação por gotejamento – cana-de-açúcar.2. Produção de colmos 3. Qualidade tecnológica 4. Resíduo na agricultura I. Arruda, Flávio Bussmeyer II. Título

CDD. 633.61

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

INSTITUTO AGRONÔMICO

Curso de Pós-Graduação

Agricultura Tropical e Subtropical

Certificado de Aprovação

Título: **Fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar**

Aluno: **Eduardo Augusto Agnellos Barbosa**

Área de Concentração: **Tecnologia da Produção Agrícola**

Processo SAA nº: **12161/08**

Orientador: **Dr. Flávio Bussmeyer Arruda**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr.Flávio Bussmeyer Arruda - IAC

Dra. Regina Célia de Matos Pires - IAC

Dr. Emílio Sakai - IAC

Campinas, 7 de abril de 2010

Visto:

Adriana Parada Dias da Silveira
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agronômico

A minha amada vó Toca (*in memoriam*), pelo seu amor e carinho, que estarão sempre presentes em mim.

(***Dedico***)

Aos meus pais Djalma e Márcia e a minha irmã Flávia pelo apoio incontestável, não poupando esforços para minha formação, seja de caráter moral ou profissional, a quem devo tudo e expresso meu eterno amor e gratidão.

(***Ofereço***)

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador, Dr. Flávio Bussmeyer Arruda, pela orientação, amizade e acima de tudo pelos seus ensinamentos.
- Aos pesquisadores do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC, Dr. Emilio Sakai e Dra. Regina Célia de Matos Pires pela amizade e sugestões imprescindíveis na realização deste trabalho.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical do Instituto Agronômico de Campinas pela oportunidade de realização do curso de mestrado.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos (FINEP: CT-HIDRO), pelos apoios financeiros, fundamentais para a realização dessa pesquisa.
- A Usina Colorado pelo constante apoio ao projeto e pela concessão da área experimental e de funcionários para a realização deste trabalho.
- Ao técnico e estagiário do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC, Leonardo Rosa Teixeira e André Luiz Barros de Oliveira Silva pela amizade e ajuda na condução do trabalho.
- Ao Eng. Agrônomo Nagib Tahiard Neto e funcionários da Usina Colorado pelo apoio durante a condução deste trabalho.
- Aos docentes do curso de pós-graduação do IAC pelos valiosos ensinamentos que contribuíram para a minha formação.
- Aos pesquisadores, funcionários e estagiários do Centro de Ecofisiologia e Biofísica, em especial ao Dr. Rinaldo Calheiros, Ana Carolina, Simone, Eloísa, Viviane, Décio, Marcos e Liva, pelo bom convívio e amizade.
- Aos colegas de pós-graduação e alojamento, em especial a Ana Carolina, Carlos Marcos, Cecília, Fabrício, João da Capadócia, Sérgio Doné, Gustavo Becari, Lenita, Bárbhara, Ponteiro, Mariana e Estevão, pela amizade e companheirismo.
- Aos amigos Tanada e Milton pela amizade, companheirismo e bons momentos de confraternização.
- Aos velhos e eternos amigos: Anselmo, Felipe, Franz, Gruis, Haroldo, Piccolo e Saulo.
- Ao grande amigo e companheiro para todas as obras José Rafael (Zeka).
- A minha querida Laís pelo seu carinho, amor e bons momentos.
- A toda minha família pelo constante incentivo e amor.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS VI
ÍNDICE DE FIGURAS VIII
RESUMO X
ABSTRACT XI
1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1 Cultura da cana-de-açúcar 2
2.2 Qualidade da cana-de-açúcar 7
2.3 Uso da vinhaça na agricultura 10
2.4 Manejo da água na cana-de-açúcar 13
3 MATERIAL E MÉTODOS 18
3.1 Local, clima e solo da área experimental 18
3.2 Delineamento experimental 21
3.3 Plantio, variedade e manejo da irrigação 22
3.4 Adubação e programa de fertirrigação 22
3.4.1 Adubação da cana-planta 24
3.4.2 Adubação no ciclo da primeira cana-soca 26
3.4.3 Adubação no ciclo da segunda cana-soca 27
3.4.4 Adubação no ciclo da terceira cana-soca 29
3.5 Parâmetros avaliados 31
3.5.1 Elementos meteorológicos e balanço hídrico 31
3.5.2 Parâmetros agronômicos 32
3.5.2.1 Avaliações no ciclo da cana-planta 32
3.5.2.2 Avaliações no ciclo da primeira cana-soca 32
3.5.2.3 Avaliações no ciclo da segunda cana-soca 33
3.5.2.4 Avaliações no ciclo da terceira cana-soca 33
3.5.3 Metodologia usada na obtenção dos dados agronômicos: 34
3.5.4 Atributos Tecnológicos 35
3.6 Análise Estatística 37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37
4.1 Ciclo de cultivo da cana-planta 37
4.1.1 Condições climáticas no ciclo da cana-planta 37
4.1.2 Desempenho agronômico da cana-planta 41
4.1.3 Análise tecnológica da cana-planta 47
4.2 Ciclo de cultivo da primeira cana-soca 49
4.2.1 Condições climáticas referentes ao ciclo da primeira cana-soca 49
4.2.2 Desempenho agronômico da primeira cana-soca 52
4.2.3 Análise tecnológica da primeira cana-soca 56
4.3 Ciclo de cultivo da segunda cana-soca 58
4.3.1 Condições climáticas referentes ao ciclo da segunda cana-soca 58
4.3.2 Desempenho agronômico da segunda cana-soca 61
4.3.3 Análise tecnológica da segunda cana-soca 65
4.4 Ciclo de cultivo da terceira cana-soca 67
4.4.1 Condições climáticas referentes ao ciclo da terceira cana-soca 67
4.4.2 Desempenho agronômico da terceira cana-soca 69
4.4.3 Análise tecnológica da terceira cana-soca 77
4.5 Análise dos quatro ciclos de cultivo 79
5 CONCLUSÕES 82
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA 84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade do solo e das partículas e porosidade em três profundidades do solo da área experimental em Guaíra-SP..... 19

Tabela 2 - Análise granulométrica e química do solo, no experimento de fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento enterrado na cana-de-açúcar, Guaíra-SP..... 19

Tabela 3 - Equações ajustadas da extração de nutrientes, obtidas através das informações sumarizadas por HAAG et al. (1987)..... 23

Tabela 4 - Composição média da vinhaça segundo GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984)..... 24

Tabela 5 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 25

Tabela 6 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 25

Tabela 7 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T4IV durante o ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 26

Tabela 8 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da 1° cana-soca, Guaíra – SP..... 26

Tabela 9 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da 1° cana-soca, Guaíra – SP..... 27

Tabela 10 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da 2° cana-soca, Guaíra – SP..... 28

Tabela 11 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da 2° cana-soca, Guaíra – SP..... 29

Tabela 12 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da 3° cana-soca, Guaíra – SP..... 30

Tabela 13 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da 3° cana-soca, Guaíra – SP..... 30

Tabela 14 - Valores médios da massa fresca, comprimento e diâmetro do colmo aos 330 dias após o plantio (DAP) e número de perfilhos por metro linear aos 257 DAP em Guaíra, SP..... 41

Tabela 15 - Valores médios da área foliar do perfilho, índice de área foliar (IAF) e produção de colmos na cultura da cana-de-açúcar em Guaíra, SP..... 44

Tabela 16 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da cana-planta em Guaíra, SP..... 47

Tabela 17 - Valores médios do número de perfilhos em diferentes épocas, massa fresca do colmo e produção de colmos no ciclo da primeira cana-soca, em Guaíra, SP..... 52

Tabela 18 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da primeira cana-soca em Guaíra, SP..... 56

Tabela 19 - Valores médios do número de brotações aos 14 DAC, perfilhos aos 125 e 225 DAC, altura do perfilho aos 125 DAC e produção de colmos no ciclo da segunda cana-soca em Guaíra, SP..... 62

Tabela 20 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da segunda cana-soca em Guaíra, SP..... 66

Tabela 21 - Valores médios do número de perfilho, altura dos perfilho e cobertura vegetal aos 85 e 165 DAC no ciclo da terceira cana-soca em Guaíra, SP..... 70

Tabela 22 - Valores médios do número de perfilho, área foliar do perfilho (AF), índice de área foliar (IAF) e massa fresca do perfilho aos 295 DAC e produção de colmos no ciclo da terceira cana-soca em Guaíra, SP..... 72

Tabela 23 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da terceira cana-soca em Guaíra, SP..... 78

Tabela 24 - Valores do somatório da produção de colmos e de rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) e valor médio do açúcar total recuperável (ATR) dos quatro anos de cultivo da cana-de-açúcar em Guaíra – SP..... 80

Tabela 25 - Resposta da produção de colmo e rendimento de açúcar teórico recuperável (RTR) da cana-de-açúcar irrigada, em relação à diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETo) ocorrido nos diferentes ciclos agrícolas em Guairá – SP..... 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cinco fases (A a E) fenológicas proposta por BEZUIDENHOUT et al. (2003) e o seu desenvolvimento ao longo do ciclo de cultivo..... 4

Figura 2 - Teor volumétrico de umidade (%) do solo em função do potencial matricial (MPa) do solo da área experimental em Guaíra – SP..... 20

Figura 3 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da cana-planta..... 38

Figura 4 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da cana-planta..... 40

Figura 5 - Relação entre o comprimento e o diâmetro dos perfilhos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP. Valor da correlação pelo método de Pearson, r = - 0,67..... 42

Figura 6 - Relação entre o índice de área foliar (IAF) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP. Valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,41..... 46

Figura 7 - Relação entre a área foliar (AF) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 46

Figura 8 - Relação entre o número de perfilhos e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP. Valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,52..... 47

Figura 9 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da primeira cana-soca..... 49

Figura 10 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da primeira cana-soca..... 51

Figura 11 - Relação entre a massa fresca do colmo e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 54

Figura 12 - Relação entre o número de perfilhos aos 70 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 54

Figura 13 - Relação entre o número de perfilhos aos 200 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 55

Figura 14 - Relação entre o número de perfilhos aos 245 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,60..... 56

Figura 15 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da segunda cana-soca..... 59

Figura 16 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da segunda cana-soca..... 60

Figura 17 - Relação entre o número de brotações e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,45..... 64

Figura 18 - Relação entre o número de perfilhos aos 225 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,35..... 65

Figura 19 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da terceira cana-soca..... 67

Figura 20 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da terceira cana-soca..... 69

Figura 21- Relação entre o número de perfilhos aos 85 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,44..... 74

Figura 22 - Relação entre o número de perfilhos aos 165 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,49..... 75

Figura 23 - Relação entre o número de perfilhos aos 85 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,44..... 75

Figura 24 - Relação entre a área foliar do perfilho aos 305 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP..... 76

Figura 25 - Relação entre o índice de área foliar aos 305 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,55..... 77

Fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar

RESUMO

A irrigação por gotejamento enterrado na produção de cana-de-açúcar é uma prática recente no Brasil. O método proporciona menor consumo de água na irrigação, melhora a eficiência no uso da fertirrigação e tem a vantagem do uso seguro da água residual, mas há escassez de informações quanto à resposta da cultura ao método de irrigação. O objetivo deste trabalho foi gerar informações para a utilização racional da água, da fertirrigação e da aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar irrigada via gotejamento enterrado. O experimento foi conduzido na Usina Colorado, Guaíra – SP, em solo muito argiloso. O delineamento experimental foi o de bloco ao acaso, com quatro tratamentos em cinco blocos. Os tratamentos foram: T1NI – Cultivo em sequeiro com adubação mineral convencional; T2I – Irrigação e fertirrigação localizada com adubos minerais; T3Iv – Irrigação e fertirrigação localizada com dose baixa de vinhaça complementada com fertilizantes minerais; T4IV – Irrigação e fertirrigação localizada com dose alta de vinhaça complementada com fertilizantes minerais quando necessário. Foram analisados quatro anos de cultivo (cana-planta e a primeira, segunda e terceira cana-soca). No ciclo da cana-planta e segunda cana-soca a deficiência hídrica foi superior ao excedente hídrico, e uns dos problemas de cultivo nesta região é a má distribuição das chuvas ao longo do ano, sendo necessário em alguns casos o uso da irrigação suplementar às chuvas. De modo geral as plantas irrigadas apresentaram melhor desenvolvimento e o uso da irrigação beneficiou o perfilhamento e aumentou do índice de área foliar da cana, e estes dois parâmetros, apresentaram boa correlação com a produção de colmos, na fase de maturação. No cômputo final os tratamentos com vinhaça apresentaram superioridade na produção de colmos em relação ao tratamento T1NI. Nas condições da pesquisa a qualidade tecnológica não foi afetada pela irrigação ou aplicação de vinhaça; no cálculo final do rendimento de açúcar teórico recuperável o tratamento T4IV foi significativamente superior ao T1NI.

Palavras Chaves: Irrigação, Produção de colmos, Qualidade tecnológica e Resíduo na agricultura.

Fertigation and application of vinasse under subsurface drip irrigation in the production of sugarcane

ABSTRACT

The subsurface drip irrigation (SDI) in sugarcane is a recent practice in Brazil. The SDI provides less consumption of water through irrigation, improving the efficiency in fertigation and it has advantage to safe use of wastewater, but there is a lack of informations about the sugarcane´s response to this method of irrigation. The objective of this work was to create information to rational use of water, fertigation and application of vinasse in culture of sugarcane by SDI. The experiment was installed at Colorado Mill, Guaira – SP, in clay soil. The field work was carried out as randomized blocks, with four treatments and five replications. The treatments were: T1NI - dryland cropping with conventional mineral fertilization, T2I - SDI and fertigation with mineral fertilizers, T3Iv - SDI and fertigation with low dose of vinasse supplemented with mineral fertilizers, T4IV - SDI and fertigation with high dose of vinasse supplemented with mineral fertilizers when necessary. Four years of cultivation (plant cane and first, second and third ratoon) were analyzed. In the first year (plant-cane) and second ratoon the water deficit was higher than the water excess. A greatest problem in this region is a poor rainfall distribution throughout the year, reporting the need for the use of supplemental irrigation for most comercial crops. In general the plants of wet treatments showed a better performance and irrigation has increased tillering and leaf area index of sugarcane. These two parameters, on maturity, presented a good correlation with the production of stems. In the final computation, the treatments with vinasse were superior in the production of stems as relatated to T1NI. In this work, technological quality was not affected by irrigation or application of vinasse; and in end calculation of yield theoretical recoverable sugar of treatment T4IV was significantly better than T1NI.

Keywords: Irrigation, Yield stem, Juice quality, Wastewater Mill.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar é uma grande oportunidade, para os países tropicais em desenvolvimento, de diminuir suas demandas por combustíveis de origem fóssil e aumentar suas receitas com exportação. A cadeia produtiva dos produtos de origem da cana-de-açúcar é realizada, na maioria das vezes, próxima aos locais de plantio, o que difere de outros produtos agrícolas, como a soja e milho, que são colhidos, e muitas vezes, exportados em grãos para posterior processamento em outros países.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área cultivada, no ciclo 2009/2010 de 8,6 milhões de hectares, ou seja, pouco mais que 2% da terra arável do país. As perspectivas futuras são de contínuo na expansão verificada, principalmente, nos últimos cinco anos, devido à alta no preço do petróleo e a mudança de estratégia da Índia, que passou a ter forte presença na demanda por açúcar. Em todas as regiões do Brasil foi verificado aumento na produção de cana-de-açúcar. As estimativas apontam para um crescimento de 5,8% na produção da safra 2009/2010 em relação à safra 2008/2009 (IBGE, 2009 e UNICA, 2010). Os principais motivos deste aumento é a incorporação de novas áreas, boas condições ambientais, melhoria nos tratos culturais, uso de novas variedades e melhorias no uso das tecnologias agrícola.

A crescente expansão da cultura leva seu plantios em áreas antes consideradas marginais, principalmente por deficiência hídrica. O aumento da área plantada vai demandar maior uso da irrigação, não apenas para a disposição de vinhaça, mas para atender a demanda evaporativa das novas regiões.

O uso de novas técnicas para o aumento da produtividade por hectare de cana-de-açúcar é um ponto fundamental nos dias de hoje, pois a expansão horizontal da cana-de-açúcar vem sendo muito questionada, principalmente por países da União Européia (UE). Ainda que haja outras razões, a UE e outros países culpam a expansão da agro-energia como um agravador da fome no mundo, pois áreas antes cultivadas com culturas para produção de alimentos estão sendo hoje utilizadas para fins de biocombustiveis (agroenergia). A melhoria da produção por meio da irrigação, da fertirrigação e do uso de resíduos, como o caso da vinhaça pode contribuir para a diminuição da expansão horizontal da cultura.

Uma nova modalidade de irrigação localizada é o uso do gotejamento enterrado, prática que visa à aplicação da água diretamente no sistema radicular, em pequena intensidade e alta freqüência, possibilitando manter o solo mais próximo da capacidade

de campo, aumentando a eficiência no uso da água, diminuindo as perdas por evaporação e escoamento superficial, e conseqüentemente maior economia no uso desse bem tão precioso.

No sistema de cultivo de cana-de-açúcar, o parcelamento da adubação ao longo do ciclo da cultura é praticamente inviável, em razão do porte da cultura. Com o uso da irrigação é possível o parcelamento, e com o gotejo enterrado, tem-se uma melhor perspectiva no uso dos fertilizantes minerais e também da vinhaça.

As informações sobre a resposta da cana-de-açúcar e a viabilidade da aplicação de vinhaça pelo gotejamento enterrado, necessitam de pesquisas de longo prazo, para se ter maior confiabilidade na adoção desta tecnologia pelo setor. Com isso, o objetivo geral desta pesquisa foi gerar informações para a utilização racional da água, da fertirrigação e da aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar por uma nova modalidade de irrigação (gotejamento enterrado) e para isto foram avaliados os benefícios da irrigação de longo prazo na produção de cana-de-açúcar e o desenvolvimento da cultura e a qualidade tecnológica perante a aplicação de vinhaça, em longo prazo, utilizando o gotejamento enterrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) pertence à classe das monocotiledôneas, família Poacea (gramíneae) e gênero *Saccharum*. É uma cultura originária da região do Sudeste Asiático e parte da Oceania, sendo que a espécie *Saccharum officinarum* é originária da Nova Guiné (FIGUEIREDO, 2008).

No Brasil, seu cultivo se deu logo no início da colonização, onde os primeiros relatos dessa cultura datam de 1532 em São Vicente – SP, mas foi nos estados da região Nordeste que a cultura se fixou inicialmente. No final do século XVI, os estados de Pernambuco e Bahia já possuíam uma centena de engenhos (FIGUEIREDO, 2008) e em meados da década de 1970, com a crise do petróleo, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de etanol (MOZAMBANI et al., 2006).

Com a criação do Plano Nacional de Produção de Álcool (Proalcool) em 1975, houve uma grande expansão do setor sucroalcooleiro, principalmente no interior

paulista, colocando o Brasil como país de destaque na produção de energias renováveis (MOZAMBANI et al., 2006).

Atualmente, a área plantada com cana-de-açúcar no Brasil é de 8.686.611 ha, com uma produção de 690.181.094 Mg e rendimento médio de 79,5 Mg ha^{-1}. O Estado de São Paulo possui 58,3% da produção nacional, com um rendimento médio de 85,4 Mg ha^{-1}. A área total plantada no Estado apresentou no ciclo 2008/2009 um crescimento de apenas 0,9%, indicando que a área plantada está se estabilizando (IBGE, 2009).

A cana-de-açúcar é uma planta ereta, de colmo cilíndrico, extremamente glabro, de coloração variável, rizomatosa, forma touceiras, considerada semi-perene e é uma planta que perfilha (RIPOLI et al., 2006). Os perfilhos são rebentos formados após a brotação, ocorrem na parte subterrânea e, no caso da cana-de-açúcar, é limitado, salvo em algumas variedades da espécie *S. spontaneum*, cujo perfilhamento é ilimitado (CASAGRANDE & VASCONCELOS, 2008). No cultivo de cana-de-açúcar, o número de perfilhos proporciona os números de colmos produtivos ao final do ciclo de cultivo (SEGATO et al., 2006a), por isso o conhecimento dos fatores que afetam a dinâmica de perfilhamento no campo, se fazem necessário para o adequado manejo da cultura da cana-de-açúcar.

De acordo com os resultados obtidos por ORLANDO FILHO & RODELLA (1995); ROBERTSON et al. (1999); BEZUIDENHOUT et al. (2003) e SMIT & SINGELS (2006), a dinâmica do perfilhamento apresenta três fases bem distintas, a primeira que se caracteriza pelo perfilhamento intenso, a segunda pelo patamar máximo de perfilhos e a terceira pela redução no número de perfilhos, devido a fatores ambientais e fisiológicos. O tempo de duração de cada fase varia com a variedade e as condições climáticas.

Para ROBERTSON et al. (1999) e ALMEIDA et al. (2008) o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar pode ser dividido em três fases: inicial (brotação, emergência e perfilhamento), mediana (alongamento do colmo, crescimento) e final (maturação). BEZUIDENHOUT et al. (2003), propuseram cinco fases fenológicas distintas para a cultura e no esquema proposto por estes autores (Figura 1) é possível verificar, claramente as três fases de perfilhamento (C a E).

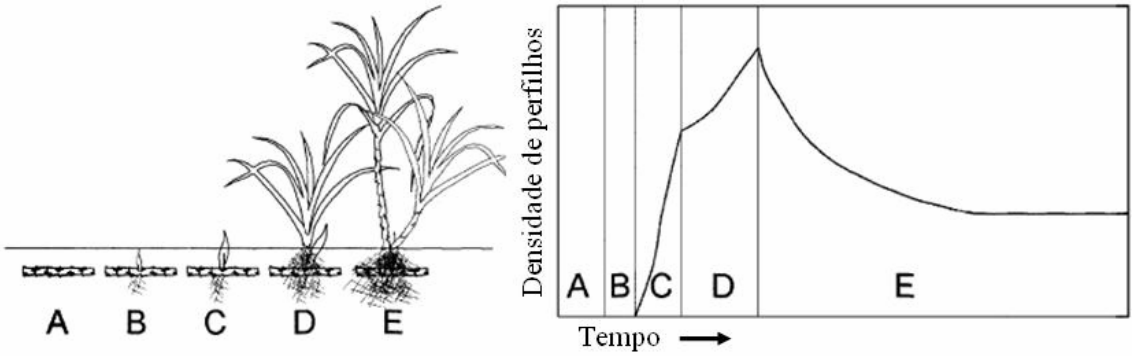

Figura 1 - Cinco fases (A a E) fenológicas proposta por BEZUIDENHOUT et al. (2003) e o seu desenvolvimento ao longo do ciclo de cultivo.

A: Fase de pré-germinação.

B: Fase de pré-emergência.

C: Fase de emergência dos perfilhos primários.

D: Fase de emergência dos perfilhos secundários.

E: Fase de senescência dos perfilhos.

Cada perfilho se comporta como uma planta independente e autônoma, pois tem órgãos próprios como raízes, colmo e folhas, mas todos aqueles que compõem a touceira continuam tendo ligações entre si e podem eventualmente trocar alguns nutrientes e água. A fase de perfilhamento em grande parte determina a produtividade da cultura, mas nem todos os perfilhos sobrevivem devido à influência do clima, solo (RIPOLI et al, 2006), tratos culturais e disponibilidade de água para a cultura

Para BEZUIDENHOUT et al. (2003) são três os fatores que mais influenciam a densidade de perfilhos: (1) germinação e emergência dos perfilhos primários, (2) capacidade de perfilhamento e (3) senescência dos perfilhos devido a competição por luminosidade.

A brotação e perfilhamento estão entre os principais fatores que influenciam na vida útil do canavial. Reduções nas brotações devido às operações agrícolas causam perda de soqueira e conseqüentemente reduzem o número de perfilhos na área, tendo como conseqüência a redução na produtividade agrícola do canavial (SEGATO, 2006a).

A temperatura do ar afeta diretamente o perfilhamento e desenvolvimento da cana-de-açúcar. LIU et al. (1998) verificaram que a temperatura base para o processo de brotação, intenso perfilhamento e alongamento do colmo para as variedades Q138 e Q141 está em torno dos 12, 13 e 19°C, respectivamente, e a temperatura ótima para cada processo está em torno de 30, 30 e 28°C.

A temperatura do ar variando de 24 a 38°C são tidas como ideais para a promoção da brotação na cana-de-açúcar (LIU et al., 1998), mas para que haja uma boa brotação dos toletes a cultura requer umidade no solo para promover o intumescimento da gema e dos primórdios radiculares localizados na região do nó. Segundo RIPOLI et al, (2006) o solo deve estar o mais próximo da capacidade de campo. Estes autores citam que o déficit hídrico nesta fase causa queda na produção de colmos, pois há poucas brotações e consequentemente redução no número de perfilhos na área.

Segundo ORLANDO FILHO & RODELLA (1995); ROBERTSON et al. (1999) e ALMEIDA et al. (2008) o perfilhamento máximo da cana-planta ocorre aproximadamente aos 120 dias após o plantio (DAP). OLIVEIRA (2008) estudando diferentes variedades, irrigadas pelo método de aspersão do tipo canhão móvel, no Estado de Pernambuco, verificou que o perfilhamento máximo nas variedades de maturação precoce ocorreu aos 90 DAP e nas variedades de maturação média a tardia ocorreu aos 60 DAP, relacionando a redução no tempo do perfilhamento máximo a boa umidade no solo, devido a irrigação plena e as ótimas condições de temperatura do ar. ALMEIDA et al., (2008) relataram que o perfilhamento máximo na cana-soca ocorreu aproximadamente dois meses antes ao verificado para a cana-planta, e relataram esta redução ao sistema radicular desenvolvido na cana-soca.

OLIVEIRA et al. (2005) verificaram que o perfilhamento máximo ocorreu quando as plantas apresentavam as maiores taxas de crescimento relativo e de assimilação da radiação líquida, levando à elevação no índice de área foliar (IAF). Para SOARES et al. (2004) após a fase de perfilhamento máximo, há uma redução acentuada no número de perfilhos, devido à morte de alguns perfilhos ocasionada pela competição por luminosidade e água.

ROBERTSON et al. (1999) analisando o desenvolvimento da cana-de-açúcar em três condições de desenvolvimento, bom suprimento hídrico, stress hídrico na fase de perfilhamento (inicial) e stress na fase de alongamento do caule (mediana), observaram que nas três condições as plantas apresentaram o perfilhamento máximo aos 120 DAP, mas com superioridade no número de perfilhos nos tratamentos submetidos à boa disponibilidade hídrica inicial. Após o perfilhamento máximo (120 DAP) ocorreu maior redução no número de perfilho nos tratamentos submetidos a boa disponibilidade hídrica inicial, sendo que aos 180 DAP o número de perfilhos se igualou em todos os tratamentos.

O índice de área foliar (IAF) apresenta crescimento lento na fase inicial da cultura, aumentando rapidamente na fase mediana de perfilhamento, atingindo o máximo valor no final do estágio de alongamento do colmo. TERUEL et al. (1995) e SIMÔES et al., (2005) verificaram reduções no IAF na fase de maturação, já MACHADO et al. (1982) observaram que houve estabilização do IAF e do número de folhas por colmo ao redor dos 300 DAP, mantendo até a colheita, desta maneira esses autores constataram que o tamanho do aparelho fotossintético ficou praticamente constante em função da estabilização do número de folhas por colmo e do IAF. O aumento do IAF causa elevação no consumo de água pela cultura, sendo reduzido o consumo de água na fase de maturação, mesmo as plantas estando submetidas à boa disponibilidade hídrica (ALMEIDA et al., 2008).

INMAN-BAMBER (2004) conduziu dois experimentos, com cana-de-açúcar, em Quensland, Austrália, relacionados ao stress hídrico. No primeiro experimento o stress hídrico foi imposto durante o período de alta demanda evaporativa, na fase inicial do desenvolvimento vegetativo, no outro experimento o déficit hídrico foi imposto durante o período de baixa demanda evaporativa, na fase mediana, nas variedades Q96 e Q124. Verificaram que a taxa de expansão foliar nos tratamentos irrigados foi de 4,6 mm h^{-1} no primeiro experimento e de 1,9 mm h^{-1} no segundo experimento, e relatou que o menor valor no segundo experimento foi devido também à baixa temperatura do ar. INMAN-BAMBER (2004) concluiu que o alongamento da folha e do colmo é reduzido em ciclo de stress hídrico abaixo dos 36 mm e que a redução no colmo é maior que a das folhas. Em ambos os experimentos os tratamentos irrigados apresentaram os maiores IAF, com destaque para o primeiro experimento quando irrigado.

INMAN-BAMBER, (1995) avaliando a taxa diária de extensão da cana, utilizando as variedades NCo 376, N12, N16 e N19 em Durban, África do Sul, constatou que a taxa de alongamento do colmo e das folhas foram sensivelmente afetada quando a umidade do solo e a temperatura foram inferior a 10mm e 10ºC, respectivamente. Nesta mesma pesquisa o autor constatou que a temperatura do ar acima de 25ºC proporcionava as maiores taxa de extensão da planta.

Para se obter altas produtividades com a cultura da cana-de-açúcar é necessário conhecer as relações dos efeitos ambientais em cada fase do seu cultivo, e realizar as práticas de manejo adequado, para minimizar os efeitos do ambiente sobre a queda de produção de colmos e sacarose da cultura.

2.2 Qualidade da cana-de-açúcar

Para fins de regulamento o CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR, ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA, 2006) entende como qualidade da cana-de-açúcar a concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) recuperáveis no processo industrial, expressa em kg por tonelada de cana, a qual é conhecida como açúcar total recuperável (ATR).

O ATR é determinado através do teor de sacarose na cana-de-açúcar, também conhecido como pol da cana (PC) e açúcares redutores presente na cana-de-açúcar (ARC). No Estado de São Paulo o PC e ARC são determinados através de equações estabelecidas pela CONSECANA (2006), o PC é determinado através do teor de sacarose do caldo (pol) e fibra presente no colmo, os ARC são determinados através dos açúcares redutores do caldo (AR).

Na cana-de-açúcar o principal produto econômico é a sacarose, mas ela possui significativos teores de açúcares redutores como frutose e glicose, ROBERTSON et al. (1996) verificaram que o maior teor de frutose e glicose no caldo resultou numa redução no teor de sacarose. Isto ocorre devido ao fato dos açúcares redutores, por algum motivo genético, climático ou de manejo, não terem sido convertidos a sacarose (ROBERTSON et al., 1996) ou ter ocorrido a hidrólise da sacarose, pela ação da enzima invertase ou sacarase (LAVANHOLI, 2008).

ROBERTSON et al. (1996) cita que a presença de açúcares redutores no caldo prejudica a qualidade do caldo por reduzir o teor de sacarose e também por formar compostos indesejáveis no processo de extração do açúcar na indústria. Quanto maior for o teor de açúcares redutores menor será a pureza do caldo.

A pureza aparente do caldo é determinada através do teor de sacarose do caldo (Pol) e do teor de sólidos solúveis do caldo (Brix), a pureza reflete a relação entre o teor de sacarose e todos os demais sólidos solúveis (LAVANHOLI, 2008).

A pureza do caldo é uma importante ferramenta utilizada pelas usinas, pois expressa a porcentagem de sacarose aparente contida nos sólidos solúveis totais do caldo. Segundo SEGATO et al. (2006b), de nada adianta o caldo apresentar elevado teor de sólidos solúveis se for composto de substâncias que apresentam atividade ótica, como açúcares redutores, polissacarídeos e algumas proteínas O importante para a indústria é o máximo teor de sacarose no caldo.

A CONSECANA (2006) define que se a pureza do caldo estiver abaixo de 75% à unidade industrial poderá recusar o recebimento. RIPOLI & RIPOLI (2004)

recomendam uma pureza do caldo maior que 85%. Para obtenção de um elevado valor da pureza do caldo é necessário que ocorra a síntese de sacarose nas folhas, translocação, acúmulo e armazenamento no colmo.

A concentração de sacarose no colmo é dependente de fatores ambientais e genéticos. O bom desenvolvimento vegetativo na fase inicial da cultura é importante para que ela tenha suporte para poder crescer e acumular sacarose no seu colmo. MUCHOW et al. (1996) verificou que a concentração de sacarose no colmo das variedades Q117 e Q138 se intensificou quando estas entraram na fase de alongamento do colmo, sendo que no final da fase, a sacarose do colmo representava 95% da sacarose da parte aérea e chegou aos 98% na fase posterior (maturação).

O desenvolvimento do dossel vegetativo é importante para a formação da produção, pois as folhas irão interceptar a radiação solar, realizando a fotossíntese e a evapotranspiração da cultura (SMIT & SINGELS, 2006). Se houver déficit hídrico nesta fase o desenvolvimento será comprometido, afetando o crescimento e a produção de sacarose. SMIT & SINGELS (2006) verificaram que o índice de área foliar é reduzido quando há déficit hídrico na fase de alongamento do colmo, afetando a capacidade de interceptação da radiação e conseqüentemente a fotossíntese e produção de fotoassimilados.

Na fase de maturação é necessário que a cana-de-açúcar paralise seu crescimento e passe a acumular sacarose em seus colmos. A paralisação do crescimento ocorre devido a stress, que podem ser naturais (térmico e/ou hídrico) ou artificiais como o uso de produtos químicos (FERNANDES, 1977).

ALEXANDER[1] et al. (1972), citado por LINGLE (1999), verificaram a importância do stress hídrico na fase de maturação da cana-de-açúcar, sendo que ele reduz o crescimento da planta e a atividade da enzima invertase, aumentando o teor de sacarose no colmo.

O excesso hídrico durante todas as fases da cultura pode aumentar o período vegetativo, retardando a fase de maturação, ocasionando em uma baixa concentração de sacarose. LINGLE (1999) verificou que o conteúdo de água no colmo da cana é inversamente proporcional ao conteúdo de sacarose e a síntese do fosfato-sacarose, relatando que o conteúdo de água no colmo interfere na síntese de sacarose.

[1] Alexander, A.G.; Samuel, G.; Spain, G.L.; Montalvo-Zapata, R. Physiology of sugarcane under water stress: Invertase, ATP-ase and amylase behavior in plants experiencing water deficiency, night flooding and continuous flooding. **J. Agric. Univ. P.R**., 56, p. 115-133, 1972

INMAN-BAMBER (2004), em Queensland, Austrália, verificou que no início da fase de maturação, a interrupção da irrigação não reduziu a produção de colmos e favoreceu a concentração de sacarose, pois estes tratamentos apresentaram uma produção de sacarose 3,6 Mg ha^{-1} superior a observada no tratamento irrigado durante toda a fase de maturação, nas variedades Q26 e Q124. Este mesmo autor relatou que as produções de sacarose por estas variedades foram reduzidas, quando houve um déficit hídrico no solo superior a 149 mm. Relatando que déficits hídricos acentuados, ao invés de aumentar o teor de sacarose no colmo podem reduzi-los.

GONÇALVES (1987) concluiu que o índice de fibra industrial (fibra real + impurezas) apresentou alta correlação com as precipitações pluviométricas, e constatou que o índice de fibra de 10% proporcionou o maior valor de extração absoluta (94,85%) e com o aumento no teor de fibra o valor de extração absoluta foi reduzido para 91,5%.

STUPIELLO et al. (1977) analisando o efeito da aplicação de diferentes doses de vinhaça na qualidade da cana-de-açúcar relatou que a vinhaça causou reduções no teor de sacarose, brix e pureza do caldo, e aumentos nos teores de açúcares redutores e de cinza no caldo, além da aplicação de altas doses de vinhaça poder aumentar o teor de potássio e amido no caldo, prejudicando a sua qualidade.

SOBRAL et al. (1988) aplicando doses de vinhaça que variaram de 0 a 400 m^3 ha^{-1}, complementada com N, nas variedades CB45-3 e Co997, nos Estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte não observaram nenhum efeito da vinhaça no teor de sacarose do caldo (pol), nem tampouco ficaram definidas possíveis tendências para qualquer tipo de reação que esses dois componentes provocariam na pol.

ROBAINA et al. (1983) observaram efeitos diferenciados no teor de sacarose da cana-soca em 13 experimentos na região Sudeste quando aplicaram doses de vinhaça complementada com adubos minerais nas variedades CP51-22 e CB45-3. Os autores observaram que em alguns casos a vinhaça aumentou a Pol da cana, em outros o inverso, mas na maioria dos casos a aplicação de vinhaça complementada ou não com fertilizantes minerais não alterou a Pol da cana.

O efeito da vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar varia conforme a variedade, solo, doses e composição da vinhaça e condições ambientais. Nos últimos anos poucos trabalhos têm relacionado os possíveis efeitos da aplicação da vinhaça na cana-de-açúcar, principalmente em relação ao efeito na qualidade tecnológica nos novos sistemas de cultivo e nas novas variedades cultivadas.

2.3 Uso da vinhaça na agricultura

A expansão do setor sucroalcooleiro no final da década de 70 ocasionou sérios problemas ambientais, devido às altas quantidades de resíduos que passaram a ser gerados em um breve período de tempo (HOROWITZ et al., 1985).

Hoje há uma forte pressão pública para a reutilização dos resíduos gerados pelo setor, a fim de se ter uma cadeia produtiva limpa, sem prejuízo ao meio ambiente e as pessoas que vivem próximas às usinas.

O principal resíduo gerado pelo setor sucroalcooleiro é a vinhaça, também denominado restilo. A vinhaça é o líquido derivado da destilação do vinho, resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melaço (CETESB, 2006).

A vinhaça é de coloração parda e à medida que vai oxidando se torna marrom escuro, sai da bica de destilação à temperatura de aproximadamente 107°C, com cheiro que vai do adstringente ao nauseabundo, característica ligada ao seu teor residual de açúcar, o qual provoca um processo de putrefação tão logo a vinhaça é descarregada. É de natureza ácida, corrosiva devido à presença de ácido sulfúrico livre e produzida na ordem de 13 litros para cada litro de álcool destilado e sua composição é muito variável (HOROWITZ et al., 1985; FREIRE & CORTEZ, 2000).

A vinhaça quando lançada em alguma coleção hídrica causa sérios problemas ambientais, pois sua carga orgânica eleva a Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO), causada principalmente pela proliferação de microorganismos, que esgotam o oxigênio dissolvido na água, destruindo a flora e a fauna aquáticas e dificultando o aproveitamento dos mananciais contaminados como fonte de abastecimento de água potável. Os despejos da vinhaça nos cursos d'água contribuem também, para o agravamento de endemias e proliferação de insetos (LUDOVICE et al., 2000; FREIRE & CORTEZ, 2000 e CETESB, 2006).

Em 1976, o governo estadual passou a regulamentar a disposição de matérias poluentes nos recursos hídricos, e em 1978 o governo federal publicou a Portaria nº 323 que proibiu o despejo da vinhaça em qualquer coleção hídrica (CETESB, 2006). O aumento na produção de vinhaça e as restrições impostas no final da década de 1970, mobilizaram os centros de pesquisas a gerar informações para o uso racional deste resíduo, principalmente na agricultura, como fertilizante complementar à adubação mineral.

Os estudos voltados à utilização da vinhaça como fertilizantes são antigos, em 1914, Van Gorkun realizou estudos que motivaram o Barão de Suassuna, em 1918, a

usar a vinhaça diretamente, como fertilizante (HOROWITZ et al., 1985), mas ainda há carência de informações quanto aos métodos e dosagem de aplicação para os diferentes solos, climas e bem como para o uso mais amplo em outras culturas.

A partir de 2005 a CETESB (2006) passou a determinar a dosagem máxima de vinhaça aplicada no tratamento de solos agrícolas em culturas de cana-de-açúcar, determinada pela equação:

$$m^3 \text{ de vinhaça/ha} = [(0{,}05 \times CTC - Ks) \times 3744 + 185]/kvi;$$

sendo, CTC a Capacidade de Troca de Cátions, expressa em cmolc/dm^3; Ks a concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm^3, à profundidade de 0 a 0,80m e Kvi a concentração de K^+ na vinhaça, expressa em kg de K_2O/m^3.

Os tanques de armazenamento e os canais de condução da vinhaça devem ser impermeabilizados CETESB (2006). Estudos como o desenvolvido por LUDOVICE et al. (2000) com fluxo contínuo da vinhaça em canais de terra, não sendo citado o tipo de solo, por dois anos no município de São João da Boa Vista, relatam que esse método de condução da vinhaça pode provocar a contaminação do solo e das águas subterrâneas, alterando a salubridade da água subterrânea, tornando-a imprópria para o consumo humano ou animal.

A vinhaça quando bem dosada pode ser utilizado na nutrição complementar a fertilização mineral devido aos bons teores de S, Cl, K e Ca (SIMABUCO & NASCIMENTO FILHO, 1994), tornando a prática da aplicação da vinhaça via irrigação cada vez mais comum nos canaviais paulista.

A vinhaça é rica em K_2O nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, por participar da regulação osmótica e está envolvido na abertura e fechamento estomático, processo fundamental para a captação de CO_2. Outro ponto positivo da vinhaça está no fornecimento dos micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn, nutrientes que vêm ganhando destaque na adubação dos canaviais devido à alta exigência da cultura e pelo esgotamento deles no solo.

SILVA et al. (2006) analisando o efeito da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas de um Argissolo, cultivado com cana-de-açúcar, constatou uma menor perda de Carbono Orgânico Total (COT) e maior concentração de Matéria Orgânica particulada no solo tratado com vinhaça, em relação aos tratamentos de sequeiro e irrigado. Os autores verificaram que as menores perdas do COT, nos solos

tratados com vinhaça, ocasionaram num maior valor de limite de plasticidade nas camadas 0-0,2 e 0,2-0,4 m e maiores taxa de friabilidade na camada de 0-0,2 e 0,2-0,4 m em relação ao cultivo em sequeiro e na camada de 0-0,2 m em relação ao cultivo irrigado, reduzindo assim o grau de compactação do solo.

BRITO et al. (2007) analisando a qualidade de três solos (Nitossolo, Argissolo e Espodossolo), que receberam doses de vinhaça, constataram a ocorrência de uma alta taxa de remoção da DBO nos primeiros 30 dias para o Nitossolo e 60 dias para o Argissolo e Espodossolo, este ultimo solo, por ser de textura arenosa, a sua eficiência de remoção foi mediana, apresentando uma taxa de remoção de 99,81% na dose de 700 m^3 ha^{-1}, sendo a oxidação biológica o principal mecanismo de remoção da matéria orgânica. Indicando que os solos possuem alta capacidade de biodegradação da matéria orgânica, neutralizando o seu poder poluidor as águas subsuperficiais.

Logo após a aplicação da vinhaça há uma ligeira redução no pH do solo, mas com a degradação da matéria orgânica, há elevação no pH, principalmente nos Argissolos (MALAVOLTA, 1981 e BRITO et al., 2007).

BRITO et al. (2005) analisando o teor de potássio, no lixiviado e nos solos, após a aplicação de vinhaça, concluíram que a de vinhaça reduziu a concentração do K no lixiviado e aumentou a concentração deste elemento nos solos analisados.

MEDINA et al. (2002) e PAULINO et al (2002) avaliando o efeito de doses de vinhaça na produção de colmos e enraizamento da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo vermelho, no município de Londrina – PR, pelo período de cinco anos, concluíram que a aplicação da vinhaça, aumentou o enraizamento e a produção de colmos, e verificaram que a dose de 300 m^3 ha^{-1} (equivale a 30 mm) proporcionou as maiores produções de colmo, açúcar e álcool.

ROBAINA et al. (1983) analisando o efeito da vinhaça na produção de cana-de-açúcar, em treze experimentos, sendo oito sob solos de textura com argila inferior a 35%, e cinco experimentos instalados sob solos de textura mais argilosa (> 35% de argila), verificaram que nos solos mais arenosos, apenas um experimento não apresentou resposta significativa à aplicação de vinhaça, já nos solos mais arenosos, apenas um, apresentou resposta significativa à aplicação de vinhaça, concluindo que a resposta, da cana-de-açúcar, à aplicação de vinhaça é dependente do tipo de solo.

SOBRAL (1988) avaliando o efeito da vinhaça na produção de colmos em dois solos, Latossolo vermelho amarelo (LVd_2), textura arenosa e Podzolico vermelho amarelo distrófico (PV_1), textura argilosa, verificou que a dose de 100 m^3 ha^{-1} de

vinhaça, já apresentava diferença significativa em relação a produção de colmos no LVd_2, quando comparado ao tratamento sem aplicação de vinhaça. A dose de 400 m^3 ha^{-1} apresentou a maior produção de colmos no LVd_2 , sendo esta 87% superior a produção do tratamento sem vinhaça. Já no PV_1 verificou que a dose de 150 m^3 ha^{-1} de vinhaça apresentou diferença significativa em relação à produção de colmos quando comparado ao tratamento sem aplicação de vinhaça e neste solo o tratamento que recebeu a maior dose de vinhaça (200 m^3 ha^{-1}) apresentou uma produção de colmos 38% superior ao tratamento sem vinhaça. Indicam que o efeito da vinhaça no aumento de produtividade é dependente da textura do solo e as maiores diferença em relação a produções de colmos são obtidas nos solos arenosos

Um benefício indireto da utilização da vinhaça é a redução de algumas plantas daninhas. VOOL (2005) concluiu que a vinhaça reduziu a germinação das plantas daninhas *Ipomoea grandifolia, Bidens pilosa* até os 14 dias após aplicação e *Digitaria horizontalis* até os 7 dias após sua aplicação, e relata a redução devido ao efeito alelopático da vinhaça que possui em sua composição o ácido aconítico, reduzindo a germinação das plantas daninhas citadas.

A disposição da vinhaça no campo é predominantemente realizada via aspersão, utilizando o autopropelido ou carretel enrolador, que operam com canhões de 4'', eles caracterizam por serem de grande versatilidade, alta pressão e baixa eficiência e uniformidade de aplicação, alem do forte odor nauseabundo gerado devido as altas doses de vinhaça aplicada no campo (FREIRE & CORTEZ, 2000).

Um novo método proposto para a aplicação de vinhaça é o gotejamento enterrado, método que se caracteriza por apresentar alta eficiência e uniformidade de aplicação, pois se aplica o resíduo diretamente no sistema radicular em doses pequenas mais freqüentes, ponderando a fertirrigação com a necessidade da cultura.

2.4 Manejo da água na cana-de-açúcar

Não há atividade econômica que não use água, direta ou indiretamente (BISWAS, 1988). O crescimento populacional e das atividades econômicas também tem sido acompanhado pelo aumento da demanda de água para agricultura, bem como sua disponibilidade vem sendo reduzida pela diminuição das florestas, pela impermeabilização do solo e redução das áreas de recargas.

A utilização da água para irrigação de culturas tem sido vista por muitos como uma questão a ser ponderada, em vista aos possíveis conflitos que possam advir.

Citações exageradas e enganosas de que o uso da água pela irrigação atinge valores próximos de 70% no Brasil (por exemplo, FGV, 1998; contestada por HAMADA et al., 2004) em nada contribuem para a correta tomada de decisão na gestão de recursos hídricos numa sociedade ainda em desenvolvimento cultural, técnico e político.

O pior uso da água que se pode fazer no campo é seu uso ineficiente, ainda que indiretamente. Culturas de sequeiro, também consumidoras de água, que perdem a produção por sofrerem veranicos ou secas mais intensas representam um desperdício de água tanto ou maior do que o de irrigações descontroladas.

A adoção da irrigação ainda deve ser considerada como técnica que favorece a menor oscilação na produção anual, reduzindo a dependência das condições climáticas (MAGRO, 2000). Segundo SANTANA et al. (2007), a irrigação é uma pratica agrícola que visa principalmente proporcionar às culturas no momento oportuno, a quantidade de água necessária para seu ótimo crescimento e assim, evitar a diminuição dos rendimentos, provocada pela falta de água durante as etapas de desenvolvimento sensíveis à escassez.

Existe um grande potencial da viabilização da tecnologia da irrigação na cultura da cana de açúcar. SANTOS (2005) verificou alguns benefícios dessa tecnologia para a cana como o aumento da produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras e redução de preparo do solo, plantio e tratos culturais. SANTANA et al. (2007) observou também alguns benefícios da irrigação na cana-de-açúcar como maior crescimento, densidade de colmo, índice de área foliar e maiores valores de açúcar em comparação ao cultivo sem irrigação.

SING & SRIVASTAVA (1973) relataram a importância da boa disponibilidade hídrica do solo, na fase de germinação da cana-de-açúcar, pois a germinação foi máxima quando o solo estava na capacidade de campo, atingindo o valor de 86,7% de brotações e este processo foi mínimo quando o solo atingiu o potencial de 30 bar, sendo observado uma taxa de brotação de 14,30%. Quando o solo estava no ponto de murcha permanente (15 bar) a taxa de brotação foi de 65,5%.

Portanto o uso da irrigação suplementar às chuvas na cultura da cana-de-açúcar pode ser interessante logo após o corte, no período de abril a agosto, favorecendo a brotação e desenvolvimento inicial da cultura até a chegada das chuvas.

SOUSA et al. (1979) aplicando três níveis de irrigação, na cultura da cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, cultivada em Terra Roxa Estruturada, no município de Botucatu – SP, com o objetivo de manter o solo com um potencial matricial mínimo

médio de -0,145 MPa (23,23% da umidade do solo), -0,069 MPa (25,63% da umidade do solo) e -0,033 MPa (27,18% da umidade do solo), até a profundidade 40 cm, e realizando o corte da irrigação dois meses antes da colheita verificaram que os tratamento com potenciais matriciais de -0,033 e -0,069 MPa apresentaram uma produtividade, respectivamente, de 71 e 33 Mg ha^{-1} a mais no ciclo da cana planta em relação ao tratamento de -1,45 bar. O tratamento -0,033 MPa apresentou uma produção de colmos de 220 Mg ha^{-1}. O valor de Brix e Pol do caldo não diferiu significativamente entre os tratamentos e obtiveram o valor médio de 20,9 e 18,3 respectivamente, relatando que o corte da irrigação dois meses antes da colheita foi suficiente para o favorecimento da maturação na cana-de-açúcar.

INMAN-BAMBER (2004) analisando o efeito do stress hídrico na cultura da cana-de-açúcar, verificou reduções no acúmulo de biomassa quando o déficit hídrico no solo atingiu o valor de 130 mm, na fase de alongamento do colmo, e constatou que a produção de matéria seca do colmo foi reduzida em 55% no final do experimento, no tratamento em que o déficit hídrico foi imposto a partir da fase de alongamento do colmo, quando comparada às plantas irrigadas a partir desta fase. Este autor observou que a redução no acúmulo de biomassa, verificada nos tratamentos com déficit hídrico a partir da fase de alongamento do colmo, ocasionou uma redução de 53% na produção de colmos em relação aos tratamentos irrigados a partir desta fase.

SCARDUA & ROSENFELD (1987) comparando a produtividade da variedade de cana-de-açúcar, CB41-76, irrigada por sulcos e não irrigada, em Araras, observaram um aumento médio de produtividade de 28% no tratamento irrigado em relação à condição de sequeiro, considerando sete cortes, e em todos os anos a irrigação favoreceu o aumento de produção da cana. No mesmo local, a cv. IAC 51-205 apresentou um aumento médio, em 3 cortes, de 20% quando adotada a irrigação.

Alguns autores têm investigado a viabilidade econômica da adoção da irrigação complementar às chuvas para aumento de produtividade em áreas mais próximas as usinas, evitando assim o arrendamento de terra em áreas mais distantes.

MATIOLI et al. (1998) avaliaram a economicidade da irrigação complementar na cultura da cana-de-açúcar na região Norte do Estado de São Paulo. Foi adotado o critério considerando a irrigação complementar às chuvas para suprir parte das necessidades hídricas (50%) das soqueiras de cana, apenas no primeiro estádio de desenvolvimento (estabelecimento e vegetativo), por ser este o período que ocasiona maior quebra na produtividade quando ocorre deficiência hídrica. A lâmina mensal

utilizada foi de até 30 mm. Os resultados demonstraram que a irrigação complementar das canas socas de maio e junho colhidas desde o início até a metade da safra, apresentou potencial para viabilidade técnica e econômica de lavouras canavieiras da região Norte Paulista.

MATIOLI et al. (1998) concluíram que a irrigação complementar proporciona aumento dos rendimentos esperados da cultura, e, os retornos líquidos esperados foram maiores quando considerados os benefícios indiretos, como: a redução no custo com arrendamento, plantio, tratos culturais e transporte da cana.

MAGRO (2000) relata que a viabilidade econômica da irrigação da cana deve considerar a distância da fonte de água e o custo para adução, bem como a umidade do solo na época de plantio e de brotação da soqueira, época que coincide com período de escassez de chuvas.

MAGRO (2000) ressalta os bons resultados obtidos com a irrigação na cana em outros países com precipitações anuais variando de 200 a 1500 mm ano^{-1} como na África do Sul e Austrália. No Brasil, no Estado de Alagoas, em região com precipitação anual de 1300 mm, o uso do gotejamento proporcionou aumentos de produtividade no segundo corte de 90 t ha^{-1} quando comparado à condição de sequeiro.

De um modo geral, em diferentes partes do mundo, estima-se que haja um retorno de 1 a 2 tonelada de açúcar para cada 1000 tonelada de água usada, sendo essa eficiência mais elevada no caso de lavouras irrigadas e mais baixa e mais variável nas lavouras sem irrigação (ROBERTSON et al., 1999).

O advento da irrigação por gotejamento foi um marco na questão de uso eficiente da água na agricultura. O IAC instalou os primeiros testes no final dos anos 60 e ensaios com gotejamento no início dos anos 70 com muito sucesso (BARRETO, 1973; BARRETO et al., 1976; ARRUDA et al., 1984). Irrigações muito freqüentes, aplicadas de maneira localizada, reduzem a evaporação direta do solo e as perdas de água por drenagem abaixo do sistema radicular.

Na cana-de-açúcar o gotejamento vem sendo utilizado há décadas no Havaí e África do Sul. No Brasil, VIEIRA et al. (1983) já verificaram a viabilidade da técnica do gotejo comparado à rega por sulcos na cana-de-açúcar em ensaio conduzido na E.E. de Piracicaba-SP. A tecnologia de irrigação por gotejamento vem passo a passo sendo incorporada na produção de mudas em usinas de açúcar, porém com necessidade de adaptação da agricultura de sequeiro para a irrigação.

Um aperfeiçoamento na irrigação de gotejamento foi a sua utilização enterrada, onde ela se caracteriza pela aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura, apresentando elevado potencial de utilização devido à eficiência no uso da água (PHENE, 2005; LAMM et al. 2007). Praticamente resolvido o problema de intrusão radicular com gotejadores especiais e aplicação de produtos químicos, aliados ao uso de filtros automáticos e mais eficientes tornaram possível à aplicação de água diretamente nas raízes.

Na irrigação por gotejamento enterrado, não há mais molhamento da superfície do solo, com isso a perda direta de água por evaporação do solo é reduzida ao mínimo, com acréscimo na eficiência do uso da água e redução no consumo de energia, pois o sistema opera com menor pressão do que outros sistemas pressurizados (NEUFELD, 2001; LAMM et al. 2007).

Com o uso do gotejamento enterrado há uma economia no uso de herbicida, pois este sistema reduz a germinação de plantas daninhas, devido à redução no molhamento da superfície do solo, já que a aplicação de água se faz em subsuperficie (NEUFELD et al, 2001). Outro aspecto positivo do gotejamento enterrado é o uso seguro de água residuárias na irrigação de grandes culturas (PHENE, 2005).

Com a utilização da irrigação subsuperficial a necessidade de irrigação líquida pode se reduzir em 25% conforme observado por LAMM et al. (1995) quando utilizaram esse sistema de irrigação na cultura do milho.

Por outro lado, o gotejamento enterrado demanda alguns cuidados extras na operação do sistema. A ocorrência de vácuo no interior das linhas de irrigação e de distribuição após o desligamento do sistema, acarreta no succionamento de partículas sólidas por meio dos orifícios dos emissores, causando entupimento dos emissores e falhas na distribuição de água. (RESENDE, 2003; BERNARDO et al. 2005; LAMM et al. 2007; PIRES et al. 2008).

Uma das vantagens da irrigação por gotejamento é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, onde pequenas doses de fertilizantes são aplicadas com maior freqüência, dispondo para a planta a quantidade adequada de nutrientes para cada fase do seu desenvolvimento, reduzindo as perdas no solo, como a lixiviação, e aumentando a eficiência na aplicação dos fertilizantes para as plantas.

Para DOURADO NETO et al. (2001) o uso da fertirrigação proporciona economias na mão-de-obra, tratos culturais e minimizar o trânsito na lavoura, reduzindo a compactação do solo, por implementos agrícolas, reduzindo a morte de soqueira e

conseqüentemente aumentando a produtividade e vida útil do canavial. Outra vantagem citada por DOURADO NETO et al. (2001) da minimização do trânsito devido ao uso da fertirrigação é a redução da disseminação de esporo de fungos, sementes de plantas daninhas e ovos de insetos.

Segundo PAPADOPOULOS (1999) uma série de fertilizantes pode ser injetada pelos sistemas de gotejamento, mas devem ser evitados alguns produtos como o cloreto de potássio e o sulfato de potássio caso a salinidade constitua um problema. Também deverão ser evitados os fertilizantes que não estiverem limpos e apresentarem certo grau de impureza. A escolha do fertilizante devem se baseada em alguns fatores, tais como: forma, pureza, solubilidade, compatibilidade e custo do nutriente.

Outro ponto importante na fertirrigação é a mistura de fertilizantes no tanque, devendo ser utilizados, na mistura, apenas os fertilizantes compatíveis, evitando desta maneira a formação de precipitados, melhorando a eficiência de aplicação dos fertilizantes por reduzir possíveis danos ao sistema de irrigação e também dispondo para a planta a quantidade recomendada de adubo (PAPADOPOULOS, 1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, clima e solo da área experimental

O experimento foi realizado em uma área agrícola da Usina Colorado, localizada no município de Guaíra, SP, uma das principais regiões produtora de cana-de-açúcar do Brasil. As coordenadas geográficas da área experimental são: latitude 20°16'S, longitude 48°10'W e altitude 594 m.

O clima da região, segundo Köeppen, é do tipo Aw, classificado como tropical com inverno seco e temperatura do mês mais frio igual ou superior a 18°C (ROLIM et al., 2007), e o solo da área experimental foi classificado como Nitossolo vermelho eutrófico, profundo, de textura argilosa nas duas primeiras camadas (0 a 20 e 20 a 40 cm) e muito argilosa abaixo de 40 cm (EMBRAPA, 1999).

Amostras do solo nas profundidades de 0-25, 25-50 e 50-75 cm foram coletadas para avaliação da densidade do solo, das partículas e porosidade. A análise da densidade do solo foi realizada a partir de amostras não deformadas obtidas com anéis de cerca de 50 cm^3, tomando-se de quatro pontos do terreno, num total de oito amostras por horizonte. O volume amostrado de solo foi seco e pesado em balança de precisão. A

densidade das partículas foi realizada a partir de amostras de solo deformadas. Os valores de densidade e da porosidade calculada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Densidade do solo e das partículas e porosidade em três profundidades do solo da área experimental em Guaíra-SP.

Profundidade (cm)	Densidade do solo	Densidade das partículas ($kg\ m^{-3}$)	Porosidade (%)
0 – 25	1,06	2,8	62,1
25 – 50	1,19	2,9	59,0
50 – 75	1,15	3,0	61,7

Em abril de 2004 foram coletadas amostras do solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As amostras foram encaminhadas para a análise granulométrica e química do solo (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise granulométrica e química do solo, no experimento de fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento enterrado na cana-de-açúcar, Guaíra-SP.

Profundidade		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Areia grossa	%	7,2	6,3	5,9
Areia fina	%	11,5	10,8	11
Silte	%	29	24,2	22,6
Argila	%	52,3	58,7	60,5
pH em $CaCl_2$		5,5	5,4	5,8
H+Al	$mmol_c/dm^3$	34	36	24
Al	$mmol_c/dm^3$	-	-	-
C	mg/dm^3	29	23	11
M Org.	%	5	4	1,9
P resina	mg/dm^3	51	19	9
K	$mmol_c/dm^3$	8	7,1	7,5
Ca	$mmol_c/dm^3$	63	58	30
Mg	$mmol_c/dm^3$	11	11	8
Soma Base	$mmol_c/dm^3$	82	76,1	45,5
CTC	$mmol_c/dm^3$	116	112,1	69,5
Sat. Bases	%	70,69	67,89	65,47

A retenção de umidade foi realizada a partir de amostras de solo não deformadas, tomadas do perfil natural do solo. A curva característica de retenção de água no solo foi realizada no Aparelho Extrator de Richards. Com os valores do teor volumétrico de água no solo em função do potencial de água, realizou a curva de retenção de água no solo e as respectivas equações de ajuste, que se encontram na Figura 2.

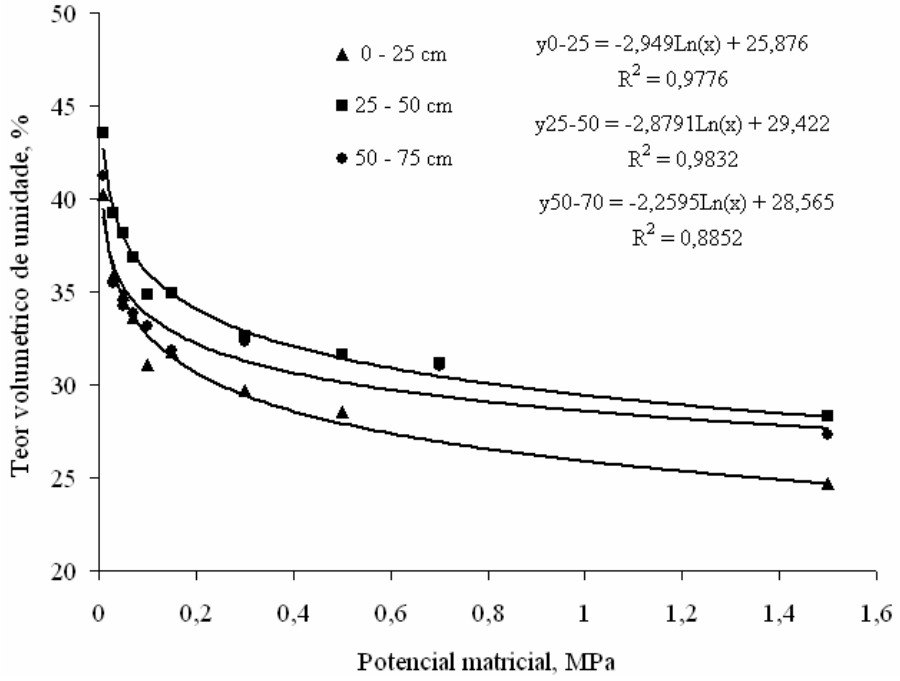

Figura 2 - Teor volumétrico de umidade (%) do solo em função do potencial matricial (MPa) do solo da área experimental em Guaíra – SP.

Os valores de umidade retidas entre a Capacidade de Campo (0,001 MPa), e o Ponto de Murcha Permanente (1,5 Mpa), representam a Água Disponível Total (ADt), calculadas a partir da curva de retenção, que produziram os seguintes valores, 1,55, 1,52 e 1,39 mm cm^{-1}, respectivamente para as camadas de 0-25 cm, 25-50 cm e 50-75 cm.

Com a obtenção dos valores de água disponível total e densidade do solo (D) estimou-se a Capacidade de Água Disponível no solo (CAD). A CAD estimada foi posteriormente utilizada na confecção do balanço hídrico seqüencial, conforme será apresentando adiante neste capitulo.

A profundidade do sistema radicular adotada foi 0,70 m (ARRUDA, 1987). Como o solo apresenta variação na sua densidade (Tabela 1) e água disponível total nas diferentes camadas avaliadas (0-25, 25-50 e 50-70 cm), foi estimada uma CAD para cada camada.

$$CAD = \sum_{i}^{n} AD_{ti}.D_i.\Delta P_i$$

ADt_i: água disponível total na camada de solo "i"; D_i: densidade do solo na camada "i"; ΔP_i: espessura da camada de solo "i" e n: número de camadas de solo.

$$CAD = (1,06.1,55.25)_{0\text{-}25} + (1,19.1,52.25)_{25\text{-}50} + (1,15.1,39.20)_{50\text{-}70},$$

$$CAD = 118 \text{ mm}$$

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental implantado foi o bloco ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, perfazendo vinte parcelas experimentais. A dimensão de cada parcela foi de 10 linhas de 1,5m de largura (espaçamento entre rua) e 15m de comprimento, tendo cada parcela 225m², e a área de cada bloco experimental foi de 900m². O tamanho do ensaio foi de 60 m x 75 m ou 4500 m^2.

As dimensões das parcelas no campo foram revistas para se adequar ao modo de processamento da colheita realizado na Usina Colorado. Nos tratamentos irrigados, das 10 linhas que compunham a parcela, apenas as sete linhas centrais foram irrigadas, deixando sem irrigação a 1º linha e a 9º e 10º linhas.

Os tratamentos foram os seguintes:

T1NI – Cultivo em sequeiro com adubação mineral convencional;
T2I – Irrigação e fertirrigação localizada com adubos minerais
T3Iv – Irrigação e fertirrigação localizada com dose baixa de vinhaça complementada com fertilizantes minerais;
T4IV – Irrigação e fertirrigação localizada com dose alta de vinhaça complementada com fertilizantes minerais quando necessário.

3.3 Plantio, variedade e manejo da irrigação

O plantio foi realizado no dia 16 de maio de 2005, manualmente, sendo distribuídos seis toletes com três gemas cada por metro linear. Os toletes foram dispostos 10 cm acima dos tubogotejadores. O espaçamento adotado foi o mesmo da Usina Colorado, com 1,50 m entre as linhas de plantio.

A variedade utilizada foi a RB-855536, conforme indicação do Centro Apta de Cana-de-Açúcar, por ser uma das mais difundidas. A variedade apresenta excelente capacidade de germinação, perfilhamento, fechamento de entrelinhas e brotação de soca; tem porte ereto e é de alta produção agroindustrial com excelente adaptabilidade (MATSUOKA et al., 1998); é uma variedade de tombamento eventual e sua colheita vai de julho a setembro (RIDESA, 2008)

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperfícial, o qual foi instalado manualmente no dia 19 de maio de 2005. As linhas de tubos gotejadores foram enterradas na profundidade de 30 cm. O tipo de emissor utilizado foi o Tiran. A vazão e a distância entre emissores do tubogotejador, em todos os tratamentos, foram respectivamente de 1,3 L h^{-1} e 0,40 m. As irrigações foram divididas em três setores, cada um correspondendo a um tratamento.

Após a instalação do sistema de gotejamento enterrado, foi realizada uma lavagem do sistema, deixando correr a água no final da tubulação. Realizou-se a retrolavagem dos filtros, sendo esta operação realizada a cada fertirrigação. Periodicamente foi realizada a limpeza da tubulação pela aplicação do ácido clorídrico.

Logo após o plantio, o ensaio foi irrigado semanalmente por aspersão convencional. A seguir ao pegamento das plantas, passou-se a utilizar a irrigação por gotejamento. As irrigações foram realizadas três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira). Nas duas primeiras irrigações semanais realizou a injeção dos fertilizantes e na terceira apenas a irrigação. As irrigações foram suspensas cerca de 40-60 dias antes da colheita, a fim de promover a maturação da cana-de-açúcar.

A quantidade de água aplicada foi função do tamanho da área irrigada, do intervalo de rega, da quantidade de água evapotranspirada pela cultura (ETc) e eficiência de irrigação (admitiu-se o valor de 90%).

3.4 Adubação e programa de fertirrigação

A adubação da cana-planta e das socas foram realizadas segundo o Boletim 100 do IAC (RAIJ et al., 1996), para os valores da análise de solo e para expectativa de

produções acima de 150 t ha^{-1} para a cana-planta e 100 t ha^{-1} para a cana-soca. Nos tratamentos irrigados a aplicação dos fertilizantes NPK foi feita de maneira proporcional à marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar. Para tanto, utilizou-se dos resultados apresentados em HAAG et al. (1987).

Após a determinação da quantidade total de nutrientes NPK a ser aplicada no ciclo, a adubação foi ponderada para valores mensais e divididas em aplicações semanais. Aos dados básicos da marcha de absorção de nutrientes foram ajustadas equações que permitiram a interpolação dos valores mensais em porcentagem do total. Esses valores são adaptados a pequenas diferenças no ciclo da cultura, a data de início e fim da fertirrigação e a dose total do nutriente e fertilizante. As equações ajustadas da extração de nutrientes, pela variedade CB41-76, em Latossolo Roxo, e utilizadas na ponderação da fertirrigação, estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações ajustadas da extração de nutrientes, obtidas através das informações sumarizadas por HAAG et al. (1987).

Nutriente kg ha^{-1}	Equações de ajuste x em semanas após o plantio	R^2
N	$N = -0.0019x^3 + 0.2138x^2 - 3.527x + 40.052$	0,9968
P	$P = -1E\text{-}05x4 + 0.0016x^3 - 0.0585x^2 + 0.9582x - 2.9882$	0,9956
K	$K = -0.0015x^3 + 0.1623x^2 - 0.8675x + 4.0824$	0,9838

No Tratamento T1NI o adubo foi aplicado manualmente logo após o plantio da cana-planta e logo após a colheita nas socas, em cobertura, sendo o N dividido em duas aplicações. Os fertilizantes utilizados foram: uréia, superfosfato triplo e KCl comum. A adubação foi realizada seguindo a prática usual da Usina.

A quantidade de vinhaça aplicada nos tratamentos T3Iv e T4IV foram baseadas na revisão realizada por GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984) onde fizeram um resumo do que se pesquisou em vinhaça até aquela data e relataram a sua composição média para uso na fertirrigação, conforme reproduzida na Tabela 4. Tais valores são condizentes com o observado na Usina Colorado em 2004, com 58 análises.

As quantidades de vinhaça aplicada foram constantes durante a fase de fertirrigação, sendo está operação realizada uma vez por semana. No tratamento T3Iv a quantidade de vinhaça aplicada, tevê como base a adubação potássica, ou seja, a quantidade de vinhaça aplicada forneceu a mesma quantidade de potássio indicada pela adubação de base. No tratamento T4IV a quantidade de vinhaça tevê como base a adubação nitrogenada ou fosfatada, exceto no ciclo da cana-planta, onde a quantidade de vinhaça foi exclusivamente em função do nitrogênio.

Tabela 4 - Composição média da vinhaça segundo GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984)

Elementos	Vinhaça mista
M.O. (kg/m^3)	32,63
pH	4,1
N (kg/m^3)	0,46
P2O5 (g/m^3)	0,24
K2O kg/m^3)	3,06
SO4 (kg/m^3)	2,67
CaO (kg/m^3)	1,18
MgO (kg/m^3)	0,53
Fe (ppm)	78,0
Cu (ppm)	21,0
Zn (ppm)	19,0
Mn (ppm)	6,0

3.4.1 Adubação da cana-planta

No primeiro ano do experimento, ciclo da cana-planta (2005/2006), a adubação de referência foi de 90 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O, para o tratamento T1NI e T2I. No Tratamento T2I a fertirrigação foi parcelada em 32 aplicações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Na Tabela 5 é apresentada a quantidade de nutrientes aplicados mensalmente.

No Tratamento T3Iv foram aplicados 54 kg ha^{-1} de N e 81 kg ha^{-1} de P_2O_5 e mais a vinhaça na dose de 80 m^3 ha^{-1}. Neste caso a aplicação da vinhaça disponibilizou aproximadamente 245 kg ha^{-1} de K_2O, 36,8 kg ha^{-1} de N e 19,2 kg ha^{-1} de P_2O_5. Na Tabela 6 é apresentada a quantidade de vinhaça aplicada por mês.

Tabela 5 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da cana-planta, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	K_2O
		kg ha^{-1}	
jul/2005	0	0	0
ago/2005	5,40	8,19	7,22
set/2005	8,08	9,23	8,62
out/2005	8,60	8,97	8,50
nov/2005	9,68	9,96	9,33
dez/2005	10,25	10,53	9,66
jan/2006	10,32	10,66	9,49
fev/2006	13,65	17,21	8,82
mar/2006	12,73	14,40	10,03
abr/2006	11,30	10,81	8,34
mai/2006	0	0	0
Total	90,00	100,00	80,00

Tabela 6 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da cana-planta, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	Vinhaça
	kg ha^{-1}		m^3 ha^{-1}
jul/2005	0	0	0
ago/2005	3,24	6,63	5,00
set/2005	4,85	7,48	10,00
out/2005	5,16	7,27	10,00
nov/2005	5,81	8,07	10,00
dez/2005	6,15	8,53	10,00
jan/2006	6,19	8,63	10,00
fev/2006	8,19	13,94	10,00
mar/2006	7,64	11,70	10,00
abr/2006	6,77	8,76	5,00
mai/2006	0	0	0
Total	54,00	81,00	80,00

No Tratamento T4IV aplicou-se 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 via fertirrigação mais a vinhaça na dose de 200 m^3 ha^{-1}. Neste caso a aplicação da vinhaça disponibilizou aproximadamente 612 kg ha^{-1} de K_2O, 92 kg ha^{-1} de N e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5. Na Tabela 7 são apresentadas as quantidades de P_2O_5 e vinhaça aplicadas mensalmente. A vinhaça foi aplicada parcelada em 32 aplicações.

Tabela 7 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T4IV durante o ciclo da cana-planta, Guaíra - SP.

Meses	P_2O_5	Vinhaça
	kg ha^{-1}	m^3 ha^{-1}
jul/2005	0	0
ago/2005	3,28	12,5
set/2005	3,59	25,0
out/2005	3,69	25,0
nov/2005	3,98	25,0
dez/2005	4,21	25,0
jan/2006	4,26	25,0
fev/2006	6,88	25,0
mar/2006	5,78	25,0
abr/2006	4,32	12,5
mai/2006	0	0
Total	40	200

3.4.2 Adubação no ciclo da primeira cana-soca

No segundo ano do experimento, ciclo agrícola da 1° cana-soca (2006/2007), a adubação de referência foi de 150 kg ha^{-1} de N, 40 kg ha^{-1} P_2O_5 e 150 kg ha^{-1} de K_2O, para os tratamentos T1NI e T2I. No Tratamento T2I a adubação foi parcelada em 32 aplicações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Na Tabela 8 é apresentada a quantidade de nutrientes aplicados mensalmente.

Tabela 8 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da 1° cana-soca, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	K_2O
		kg ha^{-1}	
ago/2006	0	0	0
set/2006	13,47	4,09	17,63
out/2006	15,83	4,63	17,46
nov/2006	17,63	4,62	17,49
dez/2006	18,59	4,80	18,75
jan/2007	18,71	5,06	19,50
fev/2007	22,76	6,80	20,70
mar/2007	24,21	5,67	21,66
abr/2007	18,83	4,32	16,82
mai/2007	0	0	0
Total	150	40	150

No Tratamento T3Iv os adubos e a vinhaça foram parcelados em 32 aplicações ao longo do ciclo, sendo aplicado 88 kg ha^{-1} de N, 8 Kg ha^{-1} de P_2O_5 e mais a vinhaça na dose de 135,4 m^3 ha^{-1}. Esta quantidade de vinhaça garantiu o fornecimento de aproximadamente 62 kg ha^{-1} de N, 32 kg ha^{-1} P_2O_5 e 414 kg ha^{-1} de K_2O. Na Tabela 9 é apresentada a quantidade de nutrientes e de vinhaça aplicados durante a fertirrigação.

Tabela 9 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da 1° cana-soca, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	Vinhaça
	kg ha^{-1}		M^3 ha^{-1}
ago/2006	0	0	0
set/2006	7,90	0,82	16,92
out/2006	9,28	0,93	16,92
nov/2006	10,34	0,92	16,92
dez/2006	10,90	0,96	16,92
jan/2007	10,97	1,01	16,92
fev/2007	13,35	1,36	16,92
mar/2007	14,20	1,13	16,92
abr/2007	11,04	0,86	16,92
mai/2007	0	0	0
Total	88,0	8,0	135,4

No Tratamento T4IV aplicou-se somente a vinhaça como fonte de suprimento dos nutrientes. A dose utilizada foi de 326 m^3 ha^{-1}, esta quantidade de vinhaça disponibilizou aproximadamente 150 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} P_2O_5 e 1036 kg ha^{-1} de K_2O. A aplicação da vinhaça foi realizada em 32 aplicações, sendo aplicada uma lâmina de vinhaça de 10,6 m^3 ha^{-1}, a aplicação se iniciou em setembro de 2006 e foi encerrada em maio de 2007.

3.4.3 Adubação no ciclo da segunda cana-soca

No terceiro ano do experimento, referente ao ciclo da 2° cana-soca (2007/2008), em parceria com a empresa Jaraguá fertilizantes, realizou-se a seguinte adubação de referência, 150 kg ha^{-1} de N, 25 kg ha^{-1} P_2O_5 e 300 kg ha^{-1} de K_2O, para os tratamentos T1NI e T2I. No Tratamento T2I a fertirrigação foi com apenas adubos minerais,

parcelados em 32 aplicações ao longo do ciclo. Na Tabela 10 está apresentada a quantidade de nutrientes aplicados por mês durante a fertirrigação.

Tabela 10 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da 2° cana-soca, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	K_2O
	kg ha^{-1}		
jul/2007	0	0	0
ago/2007	9,00	2,05	27,06
set/2007	13,47	2,31	32,34
out/2007	14,32	2,24	31,83
nov/2007	16,26	2,49	34,98
dez/2007	17,09	2,63	36,24
jan/2008	17,20	2,67	35,58
fev/2008	22,75	4,30	33,06
mar/2008	21,21	3,61	37,62
abr/2008	18,70	2,70	31,29
mai/2008	0	0	0
Total	150	25	300

No Tratamento T3Iv foram aplicados 88 kg ha^{-1} de N e mais a vinhaça na dose de 135,4 m^3 ha^{-1}, a qual garantiu o fornecimento de 62 kg ha^{-1} de N, 32 kg ha^{-1} P_2O_5 e 414 kg ha^{-1} de K_2O, sendo aplicada uma lâmina de aproximadamente 4,23 m^3 ha^{-1} semanalmente. Na Tabela 11 é apresentada a quantidade de nutrientes e de vinhaça aplicados durante os meses da fertirrigação.

No Tratamento T4IV aplicou-se somente a vinhaça como fonte de nutrientes, na dose de 326 m^3 ha^{-1} de vinhaça. Esta quantidade de vinhaça garantiu o suprimento de aproximadamente 150 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} P_2O_5 e 1036 kg ha^{-1} de K2O. A aplicação da vinhaça foi parcelada em 32 aplicações, sendo aplicada uma lâmina de vinhaça de 10,6 m^3 ha^{-1}.

Tabela 11 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da 2° cana-soca, Guaíra - SP.

Meses	N	Vinhaça
	kg ha^{-1}	m^3 ha^{-1}
jul/2007	0,	0
ago/2007	5,28	8,48
set/2007	7,90	16,92
out/2007	8,40	16,92
nov/2007	9,46	16,92
dez/2007	10,02	16,92
jan/2008	10,09	16,92
fev/2008	13,35	16,92
mar/2008	12,44	16,92
abr/2008	11,06	8,48
mai/2008	0	0
Total	88,0	135,4

3.4.4 Adubação no ciclo da terceira cana-soca

No quarto ano do experimento, ciclo da 3° cana-soca (2008/2009), a adubação seguiu a recomendação de ALVAREZ et al. (1991) e RIPOLI et al. (2006) para altos níveis de produtividade. A adubação de referência foi de 120 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} P_2O_5 e 160 kg ha^{-1} de K_2O, para os tratamentos T1NI e T2I, realizou-se também uma adubação com micronutrientes, sendo aplicados 2,5 kg ha^{-1} de Cu, 4 kg ha^{-1} de Zn e 2 kg ha^{-1} de B.

A aplicação dos micronutrientes foi realizada em uma única aplicação, sendo realizada em cobertura aos 60 dias após a colheita da 2º cana-soca. Nos tratamentos T3Iv e T4IV foi descontada a quantidade de Zn e Cu presente na vinhaça.

No Tratamento T2I a fertirrigação foi com apenas adubos minerais, parcelados em 32 aplicações ao longo do ciclo. Na Tabela 12 está apresentada a quantidade de nutrientes aplicados por mês durante a fertirrigação.

No Tratamento T3Iv foram aplicados 96 kg ha^{-1} de N e 68 kg ha^{-1} P_2O_5 mais a vinhaça na dose de 52,3 m^3 ha^{-1}. Esta quantidade de vinhaça garantiu o fornecimento de 24,06 kg ha^{-1} de N, 12,55 kg ha^{-1} de P_2O_5, 160 kg ha^{-1} de K_2O, 1,68 kg ha^{-1} de Zn e 1,18 kg ha^{-1} de Cu. A vinhaça foi disposta até o mês de dezembro de 2008, sendo parceladas em 16 aplicações.

Tabela 12 - Quantidade de nutrientes aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T2I durante o ciclo da 3° cana-soca, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	K_2O
	kg ha^{-1}		
ago/2008	0	0	0.
set/2008	7,20	6,55	14,43
out/2008	10,77	7,39	17,25
nov/2008	11,46	7,18	16,98
dez/2008	12,90	7,97	18,66
jan/2009	13,67	8,42	19,33
fev/2009	13,77	8,53	18,98
mar/2009	18,20	13,77	17,33
abr/2009	16,97	11,55	20,04
mai/2009	15,06	8,64	17,00
jun/2009	0	0	0
Total	120	80	160

A quantidade de Zn, Cu e B aplicados na linha de plantio foram de 2,32, 1,32 e 2 kg ha^{-1}, respectivamente. As quantidades de NP e de vinhaça aplicados mensalmente estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Quantidade de nutrientes e vinhaça aplicados mensalmente via fertirrigação no Tratamento T3Iv durante o ciclo da 3° cana-soca, Guaíra - SP.

Meses	N	P_2O_5	Vinhaça
	kg ha^{-1}		m^3 ha^{-1}
ago/2008	0	0	0
set/2008	5,76	5,52	11,20
out/2008	8,61	6,23	18,65
nov/2008	9,16	6,05	14,92
dez/2008	10,31	6,72	7,53
jan/2009	10,93	7,10	0
fev/2009	11,00	7,19	0
mar/2009	14,55	11,61	0
abr/2009	13,57	9,74	0
mai/2009	12,05	7,29	0
jun/2009	0	0	0
Total	96,0	68,0	52,3

No Tratamento T4IV foi aplicado uma dose de 338,6 m^3 ha^{-1} de vinhaça. Esta quantidade garantiu o fornecimento de 155 kg ha^{-1} de N 81,25 kg ha^{-1} de P_2O_5, 1036 kg ha^{-1} de 160 kg ha^{-1} de K_2O, 6,95 kg ha^{-1} de Zn e 7,68 kg ha^{-1} de Cu. Realizou-se apenas a aplicação do B em cobertura já que a dose de vinhaça aplicada atendeu as necessidades do Zn e Cu.

A aplicação da vinhaça foi realizada ate dezembro de 2008, sendo realizada em 16 aplicações. Aplicou-se uma lâmina de vinhaça de aproximadamente 21,2 m^3 ha^{-1}.

3.5 Parâmetros avaliados

3.5.1 Elementos meteorológicos e balanço hídrico

Os dados de clima foram obtidos de estação meteorológica automática (EMA) marca DAVIS, situada a cerca de 800m da área experimental. Foram coletados os dados de radiação solar global, velocidade do vento, temperatura do ar, umidade do ar e precipitação.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foi realizada pelo método de Penman-Monteith, de acordo com a parametrização proposta pela FAO (ALLEN et. al., 1998), conforme a equação abaixo:

$$ETo_{(PM)} = \frac{0{,}408 \,.\, \Delta \,.\, (Rn - G) + \gamma \,.\, (900/T + 273) \,.\, V \,.\, (e_s - e)}{\Delta + \gamma \,.\, (1 + 0{,}34 \,.\, V)}$$

Onde:

$ET_{0\,(PM)}$: evapotranspiração de referência pelo método de PM, mm d^{-1};

Rn: radiação líquida, MJ. m^{-2} d^{-1};

G: fluxo de calor no solo, MJ. m^{-2} d^{-1};

T: temperatura média do ar, ºC;

V: velocidade média do vento a 2 m de altura, m s^{-1};

(es-ea): déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ: curva de pressão de vapor, kPa $ºC^{-1}$;

γ: constante psicrométrica, kPa $ºC^{-1}$; e

900: fator de conversão.

A radiação liquida diária (Rn) foi obtida através da radiação solar global (Qg), que é fornecida pela EMA em W m^2, para a conversão da Qg em Rn realizou-se o seguinte calculo:

$$Rn = \frac{Qg.0,0864}{96}$$

Por problemas de manutenção na estação meteorológica automática e ampliação do parque industrial da Usina Colorado, a partir de agosto de 2007, os elementos climáticos, com exceção da precipitação, foram coletados da ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CITRICULTURA DE BEBEDOURO (2009), localizada na latitude 20º54' e longitude de 48º30".

Com os dados de precipitação, evapotranspiração de referência e da capacidade de água disponível no solo (CAD), realizou-se o balanço hídrico seqüencial para cada ano agrícola, pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), mas utilizando a ETo por Penman-Monteith.

3.5.2 Parâmetros agronômicos

3.5.2.1 Avaliações no ciclo da cana-planta

Os parâmetros agronômicos avaliados no ciclo da cana-planta foram: número de perfilhos, área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), análise biométrica do perfilho (massa, comprimento e diâmetro) e produtividade.

No mês de fevereiro de 2006, aos 257 dias após o plantio (DAP), realizou-se a contagem manual dos perfilhos nas cinco linhas centrais de cada parcela experimental.

No mês de abril de 2006, aos 330 DAP, realizou-se a avaliação dos seguintes parâmetros: análise biométrica, medição da área foliar, estimativa do índice de área foliar (IAF). Não foi avaliado o número de perfilhos nesta data devido ao acamamento ocorrido na cana-planta.

A colheita da cana-planta foi realizada no dia 16 de Agosto de 2006, sendo pesadas apenas às canas colhidas das cinco linhas centrais.

3.5.2.2 Avaliações no ciclo da primeira cana-soca

Os parâmetros agronômicos avaliados no ciclo da primeira cana-soca foram: número de perfilhos em três épocas diferentes, massa do perfilho e produtividade.

A contagem do número de perfilhos foi realizada no início do período chuvoso, aos 70 dias após a colheita (DAC), no final do período chuvoso, aos 200 DAC e no período de déficit hídrico (maturação) aos 245 DAC.

Aos 245 DAC realizou-se também a pesagem dos perfilhos para obtenção da sua massa fresca e estimativa da produção. Nesta mesma data foi realizada a avaliação do acamamento.

A colheita da 1º cana-soca foi realizada no dia 12 de Junho de 2007, aos 285 DAC da cana-planta.

3.5.2.3 Avaliações no ciclo da segunda cana-soca

Os parâmetros agronômicos avaliados no ciclo da 2º cana-soca foram o número de brotações e número de perfilhos, em duas épocas e altura antes do período chuvoso e produtividade.

Logo após a colheita da 1º cana-soca aos 14 DAC foi realizada uma contagem do número de brotações.

No início do período chuvoso, aos 125 DAC realizou-se a primeira contagem do número de perfilhos e medição da altura dos perfilhos. Está avaliação foi realizada apenas nos tratamentos T1NI e T3Iv, já que os tratamentos T2I e T4IV apresentavam similaridade em altura e "stand" com o tratamento T3Iv. Aos 225 DAC, no final do período chuvoso, foi realizada a segunda avaliação no número de perfilhos em todos os tratamentos.

A colheita da segunda cana-soca foi realizada no dia 02 de Julho de 2008, aos 368 DAC da 1º cana-soca.

3.5.2.4 Avaliações no ciclo da terceira cana-soca

Os parâmetros agronômicos avaliados durante o ciclo da 3º cana-soca foram número de perfilhos em três épocas diferentes, cobertura vegetal e altura das plantas em duas épocas diferentes, área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), massa do perfilho e produtividade.

No início do período chuvoso, aos 85 DAC, foi realizada a primeira contagem do número de perfilhos, cobertura vegetal e altura dos perfilhos. Aos 165 DAC, no meio do período da estação chuvosa foi realizada a segunda avaliação do número de perfilhos, cobertura vegetal e altura dos perfilhos.

Aos 295 DAC foi realizada a medição da área foliar do perfilho (AF) e índice de acamamento. A contagem dos perfilhos foi realizada 10 dias após a medição da área foliar dos perfilho, aos 305 DAC. Com a obtenção desses dados realizou-se a estimativa do índice de área foliar (IAF), neste mesmo dia foi realizada a pesagem dos colmos, obtendo a sua massa fresca.

A colheita da 3º cana-soca foi realizada no dia 12 de agosto de 2009, aos 406 DAC da 2º cana-soca.

3.5.3 Metodologia usada na obtenção dos dados agronômicos:

Na análise biométrica as avaliações foram realizadas com 30 colmos de cada parcela, retirados da 2º e 8º linha da parcela experimental, mantendo as 5 linhas centrais intactas. Foram eliminados os ponteiros dos colmos, medindo apenas o órgão de interesse para a produção de açúcar e álcool. Para a avaliação do diâmetro foi medido o 5º internódio de baixo para cima (sentido pé-ponta) de 10 perfilhos coletados em cada parcela. O comprimento do perfilho foi determinado retirando-se os ponteiros de 10 perfilhos e medindo estes do seu pé até sua ponta.

A massa fresca do perfilho foi determinada pesando dois feixes em cada parcela, sendo que cada feixe continha 30 perfilhos. A massa do colmo determinada em cada feixe foi dividida por 30, obtendo assim a massa fresca média dos colmos.

O número de brotações e perfilhos por metro linear foi determinado nas cinco linhas centrais de cada parcela experimental.

A área foliar foi determinada utilizando-se o medidor de área foliar de mesa LICOR LI-3100. Retiraram-se 10 plantas por parcela nas 2 e 8º linha mantendo as 5 linhas centrais intactas. Mediu-se a área foliar apenas das folhas fotossinteticamente ativa, descartando as folhas secas. As folhas foram retiradas dos colmos rente à bainha e passadas no medidor de área foliar, uma de cada vez, devido ao grande comprimento que essas apresentavam, obtendo-se a área foliar de cada perfilho.

Com a obtenção dos valores de área foliar de cada perfilho e número de perfilhos por metro linear, realizou-se a estimativa do índice de área foliar (IAF). O IAF foi determinado a partir da seguinte equação:

$$IAF = (NPml \div Esp).AF \ ,$$

Onde:

IAF: Índice de área foliar, m^2 m^{-2};
NPml: Número de perfilhos por metro linear, m^{-1};
Esp: Espaçamento entre linha, m;
AF: Área foliar do perfilho, m^2.

A cobertura vegetal foi determinada nas cinco linhas centrais, utilizando-se uma fita de 15 metros de comprimento que contém 100 pontos distanciados entre si a cada 15 cm, cada ponto representa 1% da cobertura vegetal. A fita foi colocada no centro de uma rua e esticada na transversal até o centro da 3ª rua abaixo da que foi fixada, realizou a contagem dos pontos que ficaram sobrepostos por folhas. Foram realizadas três amostragens em cada parcela, obtendo assim a estimativa da cobertura vegetal (SLONEHER & MODENHAUER, 1977).

A altura do perfilho foi determinada com uma régua sendo essa colocada ao lado da linha de plantio medindo a altura do perfilho do solo até a folha bandeira. Foram realizadas cinco medições em cada parcela.

A colheita foi realizada manualmente, com a cana queimada, sendo pesada às canas colhidas nas cinco linhas centrais de cada parcela, que permaneceram intactas durante toda a condução do experimento. Para pesagem acoplou-se uma balança de carga, modelo WT 3000, com capacidade de 5000 kg a uma garra hidráulica de um trator por meio de guinchos, obtendo assim a produção de colmos das cinco linhas centrais da parcela experimental, posteriormente estes valores foram transformados para uma área de um hectare.

3.5.4 Atributos Tecnológicos

Após a colheita coletaram-se cinco colmos de cada parcela, os quais foram devidamente identificados e encaminhados ao laboratório de análise tecnológica da Usina Colorado. A metodologia usada para a análise seguiu as instruções da CONSECANA (2006).

A determinação do Brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) foi realizada por refratômetro digital, de leitura automática, com correção automática da temperatura, sendo o valor final expresso a 20°C.

A Pol (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) foi calculada pela seguinte equação:

$$Pol = LPb\ (0{,}2605 - 0{,}0009882 \times Brix);$$

Onde:

LPb: Leitura sacarimétrica equivalente a de subacetato de chumbo.

O teor de fibra da cana foi determinado pela seguinte equação:

$$Fibra = 0{,}08\ PBU + 0{,}876;$$

Onde:

PBU: Peso do bagaço úmido da prensa, em gramas.

A pureza do caldo foi determinada através da seguinte equação:

$$Pureza = 100\ (Pol/Brix).$$

O teor de açúcares redutores do caldo (AR) foi determinado através da seguinte equação:

$$AR = 3{,}641 - 0{,}0343\ Pureza.$$

O açúcar total recuperável (ATR) foi calculado através da seguinte equação:

$$ATR = 9{,}5263\ PC/9{,}05\ ARC;$$

Onde:

PC: Pol da cana

ARC: Açúcar redutor da cana.

Com a obtenção dos valores de ATR e produção de colmos (Prod) calculou-se o Rendimento de Açúcar Teórico Recuperável por hectare (RTR). Para este cálculo usou-se a seguinte equação:

$$RTR = (ATR.Prod)/1000$$

Onde:

RTR: Rendimento de Açúcar Teórico Recuperável, Mg ha^{-1};

ATR: Açúcar total recuperável, Kg Mg^{-1};

Prod: Produtividade, Mg ha^{-1};

1000: Fator de conversão de Kg para Mg.

3.6 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade para número de perfilhos, comprimento, diâmetro e massa fresca do colmo, AF, IAF e produção de colmos. Para essas análises utilizou-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009).

Realizou-se análise de correlação pelo teste de Pearson a 5% de probabilidade entre algumas variáveis agronômicas a fim de se conhecer a dependência dos parâmetros avaliados. A análise de correlação foi realizada com o auxílio do software de análise de dados e gráfico Oringin 8.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ciclo de cultivo da cana-planta

4.1.1 Condições climáticas no ciclo da cana-planta

Os valores mensais de temperatura, precipitação e evapotranspiração de referência (ETo), ocorridos durante o ciclo de cultivo da cana-planta, são apresentados na Figura 3.

A temperatura média registrada na área experimental, durante o ciclo da cana-planta foi de aproximadamente 23ºC, neste ciclo de cultivo a temperatura mensal mais baixa foi de 20ºC ocorrendo nos meses de julho de 2005 e maio de 2006, já a temperatura mensal mais elevada foi de 27ºC ocorrendo em outubro de 2005.

Na época do plantio, em maio de 2005, a temperatura do ar estava decaindo, estando nesta época com o valor próximo a 21,5ºC (Figura 3). A redução observada na temperatura do ar é um fator prejudicial aos processos de emergência e brotação da cana-de-açúcar. LIU et al, (1998) relata que a temperatura do ar abaixo de 24ºC, pode

provocar algum efeito prejudicial ao processo de emergência e brotação, para WHITMAN et al. (1963) citado por CASAGRANDE & VASCONCELOS (2008) a brotação é significativamente reduzida quando a temperatura do ar está abaixo de 22°C.

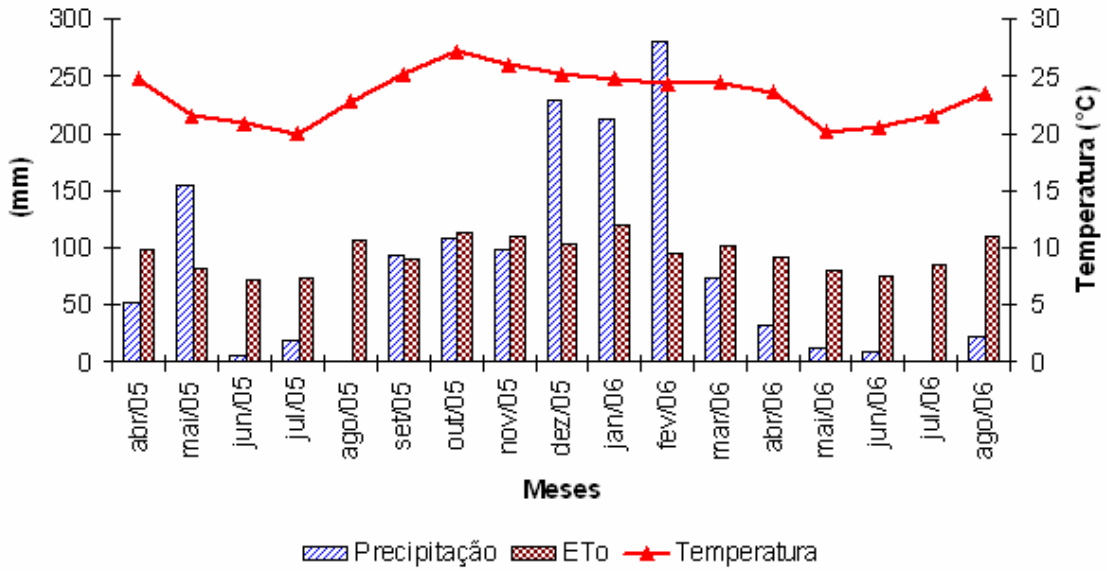

Figura 3 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da cana-planta.

Após o mês de julho de 2005 a temperatura do ar se elevou, mantendo-se boa na fase de desenvolvimento vegetativo, não limitando o desenvolvimento da cultura, desta maneira um dos únicos fatores possíveis de limitar o desenvolvimento da cana-de-açúcar seria a disponibilidade hídrica.

A partir de abril de 2006 foi observada novamente uma redução na temperatura do ar, porém favorável ao cultivo de cana-de-açúcar, já que as plantas tinham passado por um bom período de desenvolvimento vegetativo. O abaixamento da temperatura do ar reduz a atividade vegetativa, diminuindo o consumo de açúcares redutores e aumentando o armazenamento de sacarose nos colmos (FERNANDES, 1977; RODRIGUES, 1995).

O total precipitado na área experimental, neste ciclo de cultivo foi de 1225 mm, com as maiores precipitações ocorrendo nos meses dezembro de 2005, janeiro e fevereiro de 2006, sendo que neste último mês foi registrada a maior chuva, 281 mm. Nos meses de junho a agosto de 2005 e maio a agosto de 2006 ocorreu as menores

precipitações na área experimental, sendo que nos meses de agosto de 2005 e julho de 2006 não choveu na área experimental.

Verifica-se que ocorreram baixas precipitações nos meses de junho, julho e agosto (Figura 3), limitando o desenvolvimento da cultura, principalmente o processo de perfilhamento (ROBERTSON et al., 1999), da cana cultivada em sequeiro (T1NI).

A entrada de água no sistema, pelas chuvas, durante o ciclo ficou abaixo da faixa de consumo potencial de água pela cultura. DOORENBOS & KASSAM, (1994) em seu extenso trabalho de revisão sobre o consumo de água pelas culturas verificaram que o consumo de água pela cana-de-açúcar está em torno de 1500 a 2500 mm. Realizando o balanço entre o total precipitado e o total evapotranspirado, verificou-se que a precipitação foi 218 mm inferior a evapotranspiração durante o ciclo de cultivo.

É importante ressaltar a má distribuição das chuvas, sendo que 67,5% do total precipitado ocorreram nos meses de outubro de 2005 a fevereiro de 2006, com o valor total de chuvas neste período de 827 mm.

A evapotranspiração de referência (ETo) total calculada durante o ciclo da cana-planta foi de 1505 mm. A evapotranspiração mais elevada foi observada no mês de janeiro de 2006, com o valor de 120 mm e a menor evapotranspiração foi verificada em agosto de 2005, com o valor total de 55 mm.

Com os dados climatológicos coletados no ciclo da cana-planta, realizou-se o balanço hídrico seqüencial, conforme apresentado na Figura 4. Observa-se que a deficiência hídrica total foi de – 397 mm, ocorrendo em dois períodos, o primeiro de junho a novembro de 2005 (-165, mm) e o segundo de abril a junho de 2006 (-232 mm).

Os períodos de deficiência hídrica e excesso hídrico observados no balanço hídrico seqüencial caracterizam bem a má distribuição das chuvas e a necessidade do uso de algum tipo de sistemas de irrigação após o plantio ou colheita, para promover a boa brotação, etapa de desenvolvimento fortemente dependente de água no solo, segundo SINGH & SRIVASTAVA (1974). Certamente no ciclo da cana-planta não ocorreu reduções no número de brotações em função da deficiência hídrica, devido às irrigações realizadas em todos os tratamentos logo após o plantio, para a uniformização da brotação.

A reposição de água no solo, no ciclo da cana-planta, ocorreu no início de dezembro (Figura 4), sendo que a cultura plantada em maio passou todo o período de perfilhamento e parte do período de alongamento do colmo na condição de stress hídrico. INMAN-BAMBER (2004) verificou que déficit hídrico acima de 38 mm

causou reduções no processo de alongamento do colmo e foliar. O déficit hídrico estava próximo deste valor em julho (Figura 4), quando as plantas estavam iniciando a fase de alongamento do colmo (ALMEIDA et al. 2008).

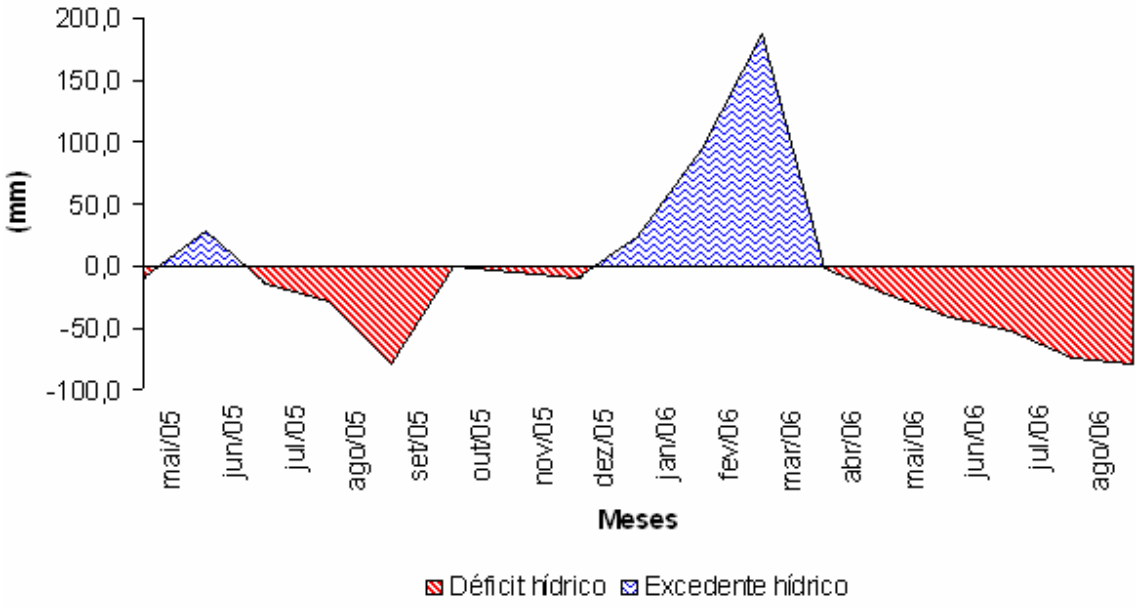

Figura 4 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da cana-planta.

De dezembro de 2005 até março de 2006 foi observado excedente hídrico no solo, que atingiu o valor total de 301 mm, no mês de fevereiro de 2006 foi registrado o maior excedente hídrico, com um total de 186 mm. O excedente hídrico nesta época favoreceu o desenvolvimento das plantas, reduzindo as possíveis perdas na produção de colmos, pois o déficit hídrico nesta fase causa os maiores danos à produção de colmos segundo ROBERTSON et al. (1999).

Após o mês de março de 2006 ocorreu uma queda acentuada no excedente hídrico devido à redução das chuvas e a superioridade da evapotranspiração em relação à precipitação (Figura 3). A partir deste mês foi registrado o segundo período de déficit hídrico no solo.

O segundo período de déficit hídrico é benéfico para o bom desenvolvimento da cultura, como discutido anteriormente. O déficit hídrico nesta fase promove a predominância do processo de maturação sobre o processo de desenvolvimento

vegetativo (FERNANDES, 1977). Conforme o processo de maturação foi evoluindo o déficit hídrico no solo foi aumentando, atingindo o valor de 80 mm no mês de agosto.

4.1.2 Desempenho agronômico da cana-planta

Durante o ciclo da cana-planta foi realizada a contagem dos perfilhos aos 257 DAP, mensuração da massa fresca, comprimento e diâmetro do colmo. A medição da área foliar dos perfilhos (AF) e cálculo do índice de área foliar aos 330 DAP. A colheita e a pesagem dos colmos foram realizadas no mês de agosto de 2009.

Os valores médios e os resultados da análise estatística referentes à massa fresca, comprimento e diâmetro do colmo e o número de perfilhos, estão na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios da massa fresca, comprimento e diâmetro do colmo aos 330 dias após o plantio (DAP) e número de perfilhos por metro linear aos 257 DAP em Guaíra, SP. *

Tratamentos	Perfilhos (n^o m^{-1})	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Massa (kg $colmo^{-1}$)
	(257 DAP)	(330 DAP)		
T1NI	15,8 a	3,20 a	29,8 a	2,11 a
T2I	17,3 b	3,40 a	29,4 a	2,10 a
T3Iv	17,6 b	3,60 a	29,0 a	2,04 a
T4IV	17,6 b	3,20 a	29,6 a	1,98 a
Erro padrão	0,33	0,07	0,30	0,08
C.V. (%)	4,31	4,63	2,31	8,53

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os parâmetros massa fresca, diâmetro e comprimento do colmo aos 330 DAP, não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste de Duncan. A boa disponibilidade hídrica conferida pelas precipitações ocorridas na fase de alongamento do colmo, proporcionou um bom desenvolvimento das plantas cultivadas na condição de sequeiro, relatando a importância da disponibilidade hídrica nesta fase da cultura, conforme discutido por INMAN-BAMBER (1995); ROBERTSON et al. (1999); SOARES et al. (2004); INMAN-BAMBER & SMITH (2005).

As canas dos tratamentos T3Iv e T4IV obtiveram os menores valores de massa fresca do colmo, e é interessante observar que houve uma redução na massa fresca dos

colmos de aproximadamente 65 e 125 g dos tratamentos que receberam a dose de 80 e 200 m^3 de vinhaça, respectivamente, quando comparadas aos tratamentos T1NI e T2I.

Os resultados do comprimento do colmo estão de acordo com os obtidos por WANG et al. (2006), que aplicando doses crescentes de vinhaça até a dose máxima de 105 Mg ha^{-1} nas variedades de cana-de-açúcar ROC16 e ROC22, irrigadas, não verificaram alteração na altura do perfilho, quando as canas estavam entrando na fase de maturação dos colmos.

É interessante observar que o aumento em comprimento do colmo da cana-de-açúcar proporcionou um efeito inverso em seu diâmetro (Figura 5). Realizando a análise de correlação pelo teste de Pearson, verificou que estas duas variáveis, possuem correlação negativa, significativa a 5% de probabilidade, com o valor de r = - 0,67.

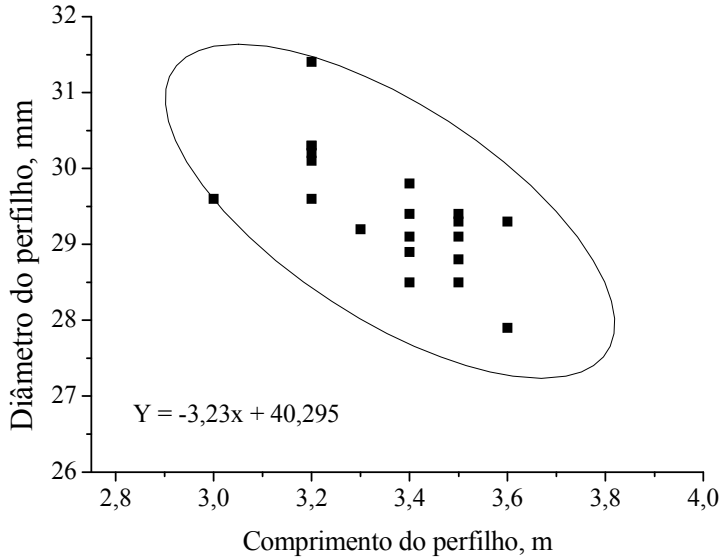

Figura 5 – Relação entre o comprimento e o diâmetro dos perfilhos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP. Valor da correlação pelo método de Pearson, r = - 0,67.

OLIVEIRA et al. (2004) avaliando o crescimento e desenvolvimento de três variedades de cana-de-açúcar, verificaram que a variedade RB8555836 apresentou o menor diâmetro e o maior comprimento do colmo, entre as três variedades analisadas aos 323 DAP, mas estes autores não realizaram a análise de correlação entre essas duas variáveis para averiguação da suas dependências.

O número de perfilhos aos 257 DAP foi afetado significativamente pelo uso da irrigação. Os tratamentos irrigados apresentaram diferença significativa ao nível de 5%

de probabilidade pelo teste de Duncan do tratamento submetido à condição de sequeiro (T1NI), conforme pode ser observado na Tabela 14.

Segundo SEGATO et al (2006a) a competição entre os perfilhos pelos fatores de crescimento (luz, área, água e nutrientes) resulta em uma acentuada diminuição e paralisação do processo de perfilhamento. Durante o período de junho a agosto de 2005, foram registradas baixas precipitações resultando em um déficit hídrico no solo (Figura 3 e 4), com isso o tratamento T1NI passou por um longo período de déficit hídrico, durante sua fase de perfilhamento intenso (30 aos 90 DAP), afetando sensivelmente o desenvolvimento dos perfilhos, diferenciando negativamente dos tratamentos com boa disponibilidade hídrica.

O resultado obtido com o perfilhamento ao final do período chuvoso, no inicio da fase de maturação, estão de acordo com os obtidos por DALRI et al. (2008) utilizando o sistema de irrigação por gotejamento enterrado nas variedades RB 72454, em Botucatu – SP, mas discorda dos resultados obtidos por SOARES et al. (2004), quando estudaram o comportamento das variedades SP84-1431 e SP87-344 em condições irrigadas e de sequeiro, em Goianésia – GO, onde esses autores observaram um perfilhamento semelhante entre os tratamentos após o período das chuvas.

O número de perfilhos nos tratamentos fertirrigados com vinhaça, não diferiram significativamente do tratamento T2I, discordando neste ciclo de cultivo, dos resultados obtidos por WANG et al. (2006), que aplicando doses crescentes de vinhaça via autopropelido, nas variedades de cana ROC16 e ROC22, na China, relataram um maior número de perfilhos nos tratamentos irrigados e fertirrigados com vinhaça em relação aos que foram somente irrigados, e propuseram que o aumento no número de perfilhos, foi devido a maior atividade da enzima catalise, nos tratamentos com alta dose de vinhaça, nas duas variedades estudadas.

Os valores médios e as respectivas análises estatísticas da área foliar do perfilho (AF) e índice de área foliar aos 330 DAP e da produção de colmos estão apresentados na Tabela 15.

Os tratamentos irrigados apresentaram os maiores valores de área foliar por perfilho aos 330 DAP (Tabela 15). INMAN-BAMBER & SMITH (2005) relatam que a expansão foliar é dependente tanto da divisão celular como da elongação celular e esses dois processos, por sua vez, são altamente dependentes do estado hídrico da planta.

O tratamento T4IV apresentou maior área foliar por perfilho, com um valor de 0,4 m^2, diferindo significativamente do tratamento T1NI pelo teste Duncan a 5% de

probabilidade. Neste tratamento aplicou-se uma alta dose de vinhaça, portanto, com fornecimento de uma grande quantidade de potássio.

Tabela 15 - Valores médios da área foliar do perfilho, índice de área foliar (IAF) e produção de colmos na cultura da cana-de-açúcar em Guaíra, SP. *

Tratamentos	AF	IAF	Produção de colmos
	$m^2\ pl^{-1}$	$m^2\ m^{-2}$	$Mg\ ha^{-1}$
T1NI	0,33 a	3,51 a	214,6 a
T2I	0,36 ab	4,15 b	225,2 ab
T3Iv	0,36 ab	4,51 bc	231,2 b
T4IV	0,40 b	4,75 c	223,6 ab
Erro padrão	0,02	0,15	4,46
C.V. (%)	10,44	7,79	4,46

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O potássio é essencial para a regulação osmótica das células e responsável pelo acionamento das bombas de prótons que promove a passagem dos prótons para o interior da célula e que irá ativar expansina, enzima responsável pelo afrouxamento da parede celular e expansão da mesma pela pressão da água (TAIZ & ZEIGER, 2006). MENGEL & ARNEKE [2](1982) citado por MARSCHENER (1995) relataram que a expansão das folhas, turgor celular, tamanho de célula e área foliar foram significativamente reduzidos em plantas de feijão com deficiência de potássio em relação às plantas bem supridas.

O maior número de perfilhos coadunados à maior área foliar obtida pelo tratamento T4IV resultou em um maior IAF para este tratamento, 4,75 $m^2\ m^{-2}$. O tratamento T4IV apresentou um valor médio de IAF estatisticamente superior aos tratamentos T1NI e T2I, já os tratamentos T2I e T3Iv obtiveram o IAF estatisticamente superior ao tratamento T1NI (Tabela 15).

Os tratamentos irrigados, T2I, T3Iv e T4IV, apresentaram valores de IAF superior ao do tratamento T1NI em 18,2, 28,5 e 35,3%, respectivamente. Esses resultados ratificam a importância do uso da irrigação para o suprimento hídrico,

[2] MENGEL, K.; ARNEKE, W.W. Effect of potassium on the water potential, the osmotic potential, and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*. **Physiol. Plant**, v.54, p.402-408, 1982.

melhorando o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente aumentando sua área de captação da radiação solar. SMIT & SINGEL (2006) verificaram que um período de déficit hídrico acima de 28 dias, na fase de alongamento do colmo, resultou em uma redução significativa no IAF, e diminuição na interceptação da radiação.

Os tratamentos irrigados apresentaram valores de IAF superior a 4 m^2 m^{-2}, portanto, bom para a cultura, pois segundo MACHADO et al. (1982) o IAF próximo de 4 m^2 m^{-2} seria suficiente para que a planta interceptasse 95% da radiação solar incidente. Já as plantas submetidas à condição de sequeiro (T1NI) obtiveram o valor médio de IAF abaixo desse patamar. o que certamente provocou reduções na assimilação da radiação incidente, diminuindo a produção de fotoassimilados.

Os tratamentos fertirrigados apresentaram as maiores produtividades (Tabela 15). O tratamento T3Iv apresentou uma produção média de colmos significativamente ($p < 0,05$) superior ao T1NI. A produção de colmos do T3Iv foi de 16,6 Mg ha^{-1} superior ao T1NI. DALRI et al. (2008) verificaram que o uso da irrigação por gotejamento enterrado proporcionou maior produtividade da cana-de-açúcar em relação ao tratamento não irrigado, em Botucatu – SP, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

O IAF apresentou correlação positiva com a produção de colmos, sendo significativa ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Pearson, com o valor r = 0,41. Na Figura 6 está ilustrada a correlação entres as duas variáveis. Verifica-se que a produção máxima de colmos ocorreu com o IAF entre 4,15 a 4,75 m^2 m^{-2}.

A área foliar do perfilho (AF) não apresentou correlação com a produção de colmos, conforme observado na Figura 7, indicando que estes dois fatores não apresentam dependência entre si.

O número de perfilhos aos 257 DAP apresentou correlação positiva com a produção de colmos, sendo significativa pelo teste de Pearson a 5% de probabilidade, com o valor de r = 0,52. Na Figura 8 está ilustrado o gráfico de correlação entre as duas variáveis.

Esses resultados sugerem que a produção de colmos é bastante dependente do número de perfilhos e do IAF da cultura, sendo esses dois fatores os que mais apresentaram dependências com a produção de colmos.

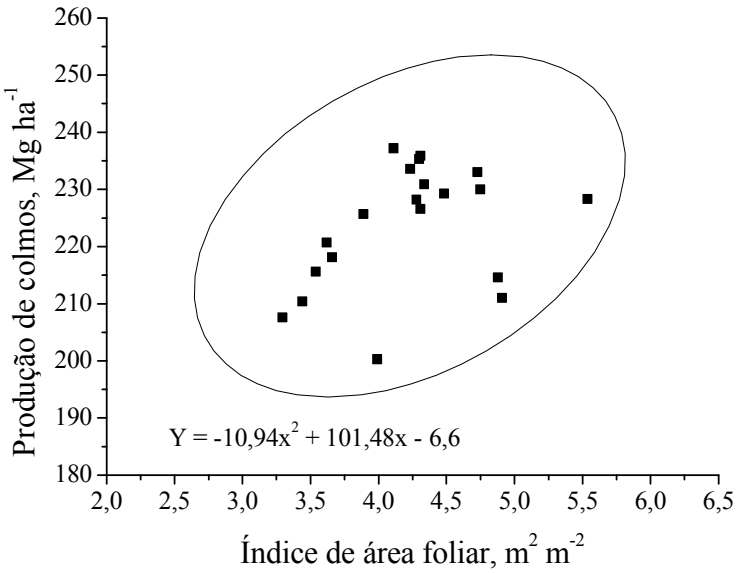

Figura 6 - Relação entre o índice de área foliar (IAF) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP. Valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,41.

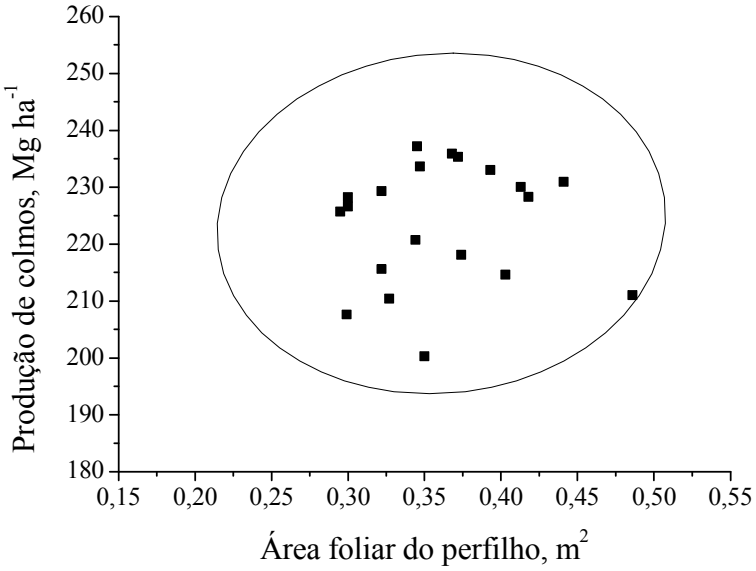

Figura 7 - Relação entre a área foliar (AF) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP.

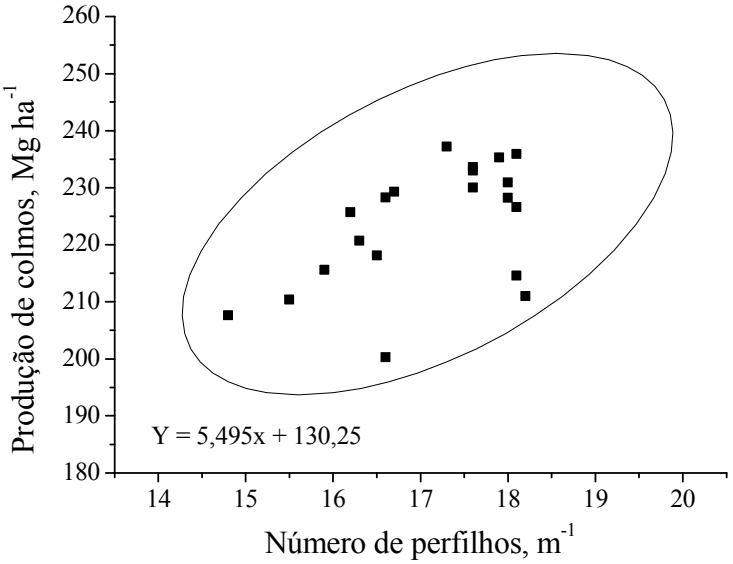

Figura 8 - Relação entre o número de perfilhos e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP. Valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,52.

4.1.3 Análise tecnológica da cana-planta

Os valores médios e os resultados da análise estatística do teor de sólidos solúveis (Brix), fibra, sacarose (Pol), açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) estão apresentados na Tabela 16. Os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da cana-planta em Guaíra, SP. *

Tratamento	Brix (°)	Fibra	Pol	Pureza (%)	AR	ATR (kg Mg^{-1})	RTR (Mg ha^{-1})
T1NI	19,6 a	9,51 a	16,3 a	83,1 a	0,71 a	143,4 a	30,8 a
T2I	20,8 b	9,83 a	16,7 a	80,3 a	0,78 a	146,8 a	33,0 ab
T3Iv	19,8 a	9,70 a	16,5 a	82,9 a	0,70 a	144,4 a	33,4 ab
T4IV	20,9 b	9,81 a	17,5 a	83,7 a	0,67 a	152,8 a	34,1 b
Erro padrão	0,30	0,27	0,49	2,12	0,06	3,31	0,98
C.V. (%)	3,31	6,27	6,66	5,76	20,56	5,05	6,65

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Dentre os parâmetros avaliados o teor de sólidos solúveis (Brix) e o rendimento teórico de açúcar recuperável apresentaram diferenças significativas, conforme observado na Tabela 16.

Os tratamentos T2I e T4IV apresentaram os maiores valores de Brix, diferindo significativamente de T1NI e T3Iv. No tratamento T2I o alto teor de Brix, se deve ao teor alto de AR observado, uma vez que a Pol do T2I foi similar as obtidas pelos tratamentos T1NI e T3Iv. Já a diferença no Brix no tratamento T4IV se deve à sua Pol, parâmetro superior aos obtidos nos demais tratamentos, com o teor de sacarose de 17,5% no caldo. Todavia, as médias da Pol entre os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

O Brix e a Pol, de todos os tratamentos, estão de acordo com o proposto por RODRIGUES (1995), sendo superior aos valores mínimos recomendado, que são da ordem de 18 e 14,4%, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos por GONÇALVES (1987), o teor de fibra obtida neste experimento foi considerado bom para a extração de açúcar, uma vez que o índice de fibra próximo a 10% proporciona a maior extração absoluta de sacarose. Contudo, abaixo da faixa recomendado por LEITE (2009), de 12 a 13%, para a boa disponibilidade de bagaço para queima. O teor de fibra não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Os tratamentos apresentaram elevado teor de AR, principalmente o tratamento T2I, ocasionando reduções na pureza do caldo. A pureza do caldo, obtida em todos os tratamentos, ficaram abaixo do recomendado por RIPOLI & RIPOLI (2004), que sugerem uma pureza maior que 85%, mas acima do recomendado pela CONSECANA (2006) para recebimento pela unidade industrial. De acordo com a CONSECANA (2006) é passível de recusa da cana pela indústria quando a pureza do caldo estiver abaixo de 75%. O tratamento T4IV foi o que apresentou melhor qualidade do produto com a pureza do caldo de 83,7% e o menor valor de açúcares redutores (AR).

Os valores de ATR entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas, conforme observado na Tabela 16. O tratamento T4IV se destacou dos demais, apresentando o maior valor de ATR, com o valor de 152,8 kg Mg^{-1}, e foi devido à sua maior produção de sacarose.

À primeira vista, a produção de colmos (Tabela 15) e a ATR (Tabela 16) do T4IV não apresentou diferenças significativas se comparado com o tratamento T1NI, dando a idéia que eles produziriam o mesmo valor teórico de açúcar recuperável.

Porém, se observarmos a RTR, resultado da multiplicação destas variáveis entre si, evidencia-se a superioridade do T4IV, que diferiu significativamente do T1 NI, ao nível de 5% pelo teste de Duncan. O acréscimo na RTR foi da ordem de 3,3 Mg ha^{-1}. Os tratamentos T2I e T3Iv não diferiram significativamente do T1NI, mas apresentaram um maior RTR.

Os resultados de RTR indicam que o sistema de irrigação foi eficiente na disponibilidade hídrica e apresentou-se eficiente na aplicação de vinhaça no primeiro ano de cultivo.

4.2 Ciclo de cultivo da primeira cana-soca

4.2.1 Condições climáticas referentes ao ciclo da primeira cana-soca

Os valores mensais de temperatura do ar e precipitação registrados e a evapotranspiração de referência (ETo) calculada durante o ciclo de cultivo da primeira cana-soca estão apresentados na Figura 9.

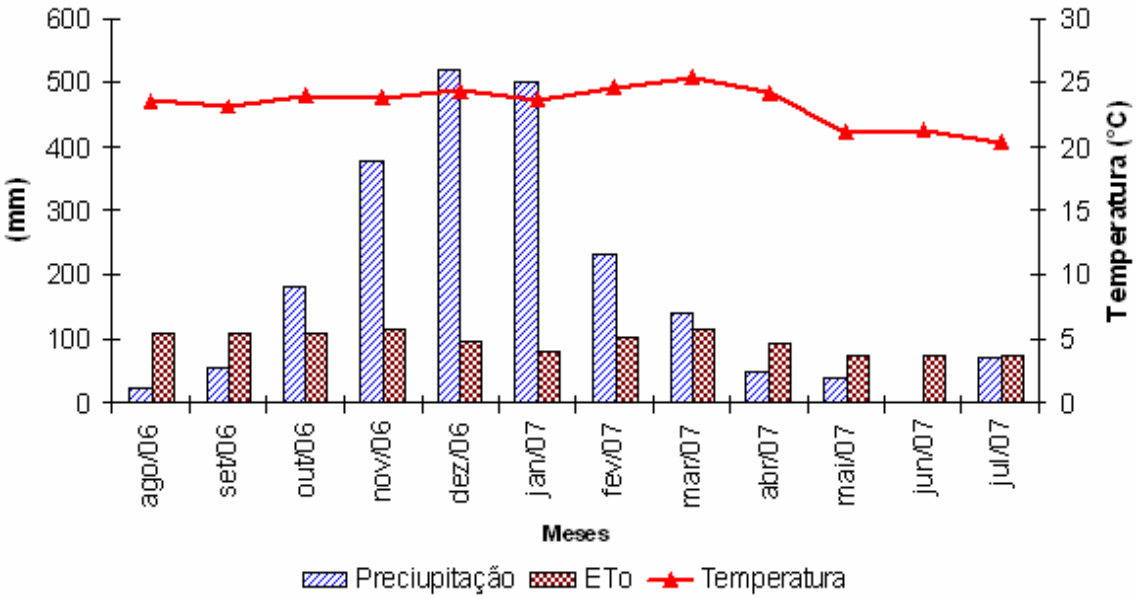

Figura 9 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da primeira cana-soca.

A temperatura do ar média durante o ciclo da primeira cana-soca foi de 23,3ºC, com as temperaturas mais baixas ocorrendo nos meses de maio e junho de 2007, com o

valor médio de 21° C e a temperatura do ar mensal mais elevada ocorrendo no mês de março de 2007, com o valor médio de 25,4°C.

A temperatura durante a fase de brotação da primeira cana-soca foi de 23,5°C, estando próxima dos valores obtidos por LIU et al. (1998) para o adequado processo de brotação, sendo o valor limite da faixa adequada para este processo igual a 24°C. As temperaturas mensais apresentaram baixa oscilação ao longo do ciclo, exceto a partir de abril de 2007, quando houve queda na temperatura, favorecendo o processo de maturação (FERNANDES, 1977; RODRIGUES, 1995).

O total precipitado durante o ciclo da primeira cana-soca foi de 2122 mm, valor superior ao registrado durante o ciclo da cana-planta (1225 mm), o qual foi de 897 mm. As maiores precipitações ocorreram nos meses de dezembro de 2006 e janeiro de 2007, com respectivamente 520 mm e 502 mm. Esses dois meses juntos representaram 83% do total precipitado no ciclo da cana-planta e 48% das chuvas deste ciclo. Os menores índices pluviométricos ocorreram nos meses de agosto e setembro de 2006, e abril, maio e junho de 2007, sendo que neste ultimo mês não foi registrada nenhuma chuva na área experimental.

No ciclo da primeira cana-soca, as precipitações foram adequadas para o desenvolvimento da cultura, pois a entrada de água no sistema, pelas chuvas, esteve dentro da faixa de consumo potencial de água pela cultura, conforme citado por DOORENBOS & KASSAM, (1994). Realizando o balanço entre a precipitação e a evapotranspiração verifica-se que a evapotranspiração foi 1045 mm inferior à precipitação ao longo do ciclo. Durante os 10 meses do ciclo de cultivo, em cinco a precipitação foi superior a evapotranspiração, relatando a boa disponibilidade hídrica durante o cultivo.

A evapotranspiração de referência (ETo) total durante o ciclo da primeira cana-soca foi de 1074 mm, com as maiores evapotranspirações ocorrendo nos meses de novembro de 2006 e março de 2007, com o valor de 114 mm. Já a menor evapotranspiração foi verificada no mês de junho de 2007, com o valor de 71,4 mm.

O balanço hídrico seqüencial, conforme apresentado na Figura 10, indica que o excedente hídrico no solo, foi elevado e duradouro no ciclo da primeira cana-soca, apresentando o valor total de 1236 mm e chegando em 423 e 422 mm nos meses de dezembro e janeiro, respectivamente. A deficiência hídrica total durante o ciclo foi baixa, 194 mm, ocorrendo durante dois períodos distintos da cultura.

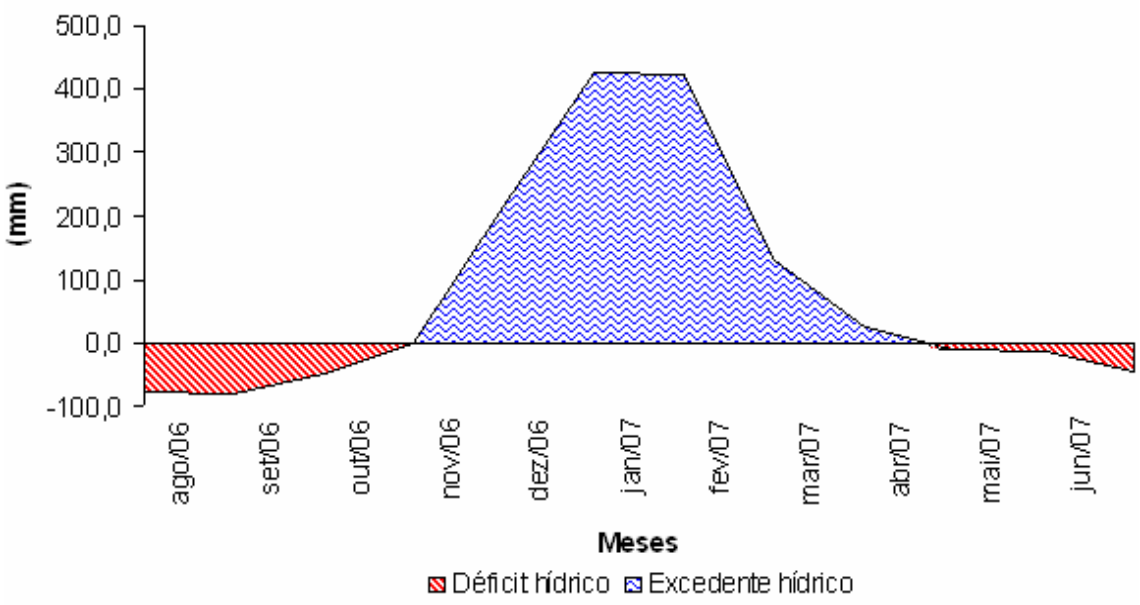

Figura 10 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da primeira cana-soca.

O primeiro período de déficit hídrico ocorreu na fase de estabelecimento e intenso perfilhamento da cultura (agosto a setembro de 2006). O déficit hídrico durante o período de brotação foi acentuado, tendo o valor de – 80 mm. INMAN-BAMBER & SMITH (2005) citam que a germinação e brotação da cana-de-açúcar são sensivelmente afetadas pelo déficit hídrico no solo, reduzindo este processo. É importante ressaltar que dez dias após a colheita da cana-planta (16 de agosto de 2006) ocorreram precipitações que totalizaram 23 mm, em dois dias consecutivos, proporcionando melhorias no processo de brotação.

O excedente hídrico neste ciclo foi 3,9 vezes superior ao ocorrido no ciclo da cana-planta (300 mm), favorecendo o desenvolvimento das plantas cultivadas na condição de sequeiro. A disponibilidade hídrica nesta fase é essencial para o alongamento do colmo e ganho de fitomassa pela cana-de-açúcar (ROBERTSON et al., 1999; INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

O segundo período de déficit hídrico ocorreu no final do ciclo, em abril de 2007, sendo de baixa intensidade, conforme verificado na Figura 10. Os valores de déficit hídrico durante os meses de abril e maio não ultrapassaram os 15 mm, causando uma baixa redução no processo vegetativo. Conforme citado anteriormente, INMAN-BAMBER (2004) verificou que apenas déficits acima de 36 mm causariam reduções no

processo de alongamento do colmo e foliar, reduções que segundo FERNANDES, (1977) seriam responsáveis pelo processo de acumulação de sacarose.

4.2.2 Desempenho agronômico da primeira cana-soca

Durante o ciclo da primeira cana-soca foram realizadas três avaliações do número de perfilhos, aos 70, 200 e 245 DAC, uma pesagem da massa fresca do colmo aos 245 DAC e em junho realizou a colheita dos colmos. Os valores médios dos parâmetros avaliados e as suas respectivas análises estatísticas estão ilustrados na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores médios do número de perfilhos em diferentes épocas, massa fresca do colmo e produção de colmos no ciclo da primeira cana-soca, em Guaíra, SP.*

Tratamentos	Perfilhos (70 DAP)	Perfilhos (200 DAP)	Perfilhos (245 DAP)	Massa (245 DAP)	Produção de colmos
		m^{-1}		Kg	Mg ha^{-1}
T1NI	45,2 a	23,8 a	17,6 a	1,54 a	172,8 a
T2I	43,0 a	24,6 a	17,7 a	1,47 a	165,1 a
T3Iv	47,2 a	24,3 a	17,7 a	1,52 a	166,8 a
T4IV	43,4 a	24,8 a	18,0 a	1,59 a	171,5 a
Erro padrão	4,01	0,21	0,25	0,04	3,70
C.V. (%)	20,09	2,63	3,43	6,06	4,94

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Durante o período de estabelecimento da primeira cana-soca, a cultura estava submetida à condição de déficit hídrico no solo, conforme foi discutido anteriormente, mas as plantas, do tratamento T1NI, não apresentaram redução significativa no número de perfilhos em relação às plantas irrigadas, aos 70 DAC (Tabela 17). Certamente as precipitações que ocorreram nos dias 25 e 26 de agosto, que juntas totalizaram 23 mm e as ocorridas no início de setembro (12 mm), favoreceram o estabelecimento da cultura, fazendo com que o seu perfilhamento inicial não fosse afetado.

Os resultados da primeira análise de perfilhamento estão de acordo com os encontrados por ROBERTSON et al. (1999), que não observaram diferenças significativas entre o número de perfilho dos tratamentos irrigado e os submetido ao déficit hídrico inicial. Estes autores observaram também que logo após o plantio ocorreu precipitações que chegaram a 40 mm, mas eles verificaram diferenças significativas

entre o número de perfilhos após os 90 DAP, diferença que se estendeu durante toda a fase de alongamento do colmo.

Pode-se constatar que o balanço hídrico seqüencial mensal (Figura 10), oculta algumas informações essenciais para o entendimento do desenvolvimento da cultura, principalmente efeitos de chuvas de baixa intensidade no estabelecimento da cultura.

O número de perfilhos aos 200 e 245 DAC não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan. As altas precipitações ocorridas durante o desenvolvimento da cultura, permitiram o bom desenvolvimento das plantas cultivadas sem irrigação, minimizando os fatores adversos do ambiente, proporcionando um desenvolvimento bastante similar aos das plantas irrigadas.

A dinâmica de perfilhamento está de acordo com os resultados obtidos por ALMEIDA et al. (2008), sendo observado um alto perfilhamento aos 70 DAC (época de perfilhamento máximo para a cana-soca) e reduções no número de perfilhos, durante a fase de alongamento do colmo. Para SOARES et al (2004) após a fase de perfilhamento máximo, há uma redução acentuada no número de perfilhos, devido á morte de alguns perfilhos ocasionada pela competição por luminosidade e água.

A massa fresca do colmo não foi afetada pelas fontes de variação, evidenciando o bom desenvolvimento das plantas submetidas à condição de sequeiro (T1NI). Os resultados de massa fresca do colmo obtidos neste ciclo estão de acordo com os resultados obtidos no ciclo da cana-planta, não sendo evidenciados efeitos da irrigação ou aplicação da vinhaça na massa fresca do colmo.

Em consonância com os valores obtidos durante o desenvolvimento da primeira cana-soca, a produção de colmos não foi afetada significativamente. Numericamente, verifica-se que o tratamento submetido à condição de sequeiro apresentou a maior produção de colmos, obtendo um valor 7,7 Mg ha^{-1} superior a obtida pelo tratamento T2I, que apresentou a menor produção de colmos, conforme observado na Tabela 17.

A massa fresca dos colmos não apresentou correlação significativa pelo teste de Pearson a 5% de significância com a produção de colmos, conforme ilustrado na Figura 11. Este resultado está de acordo com o obtido no ciclo anterior, mas neste ciclo o coeficiente de correlação (r) foi maior do que o obtido no ciclo anterior, sendo de 0,26.

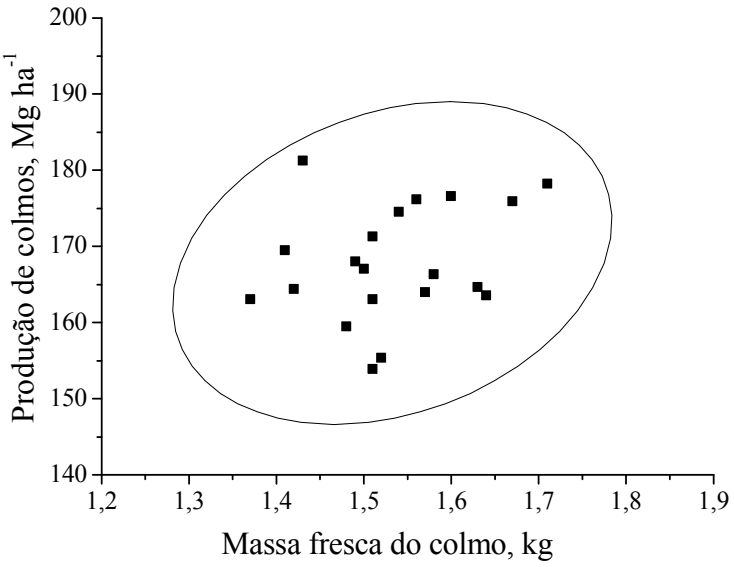

Figura 11 - Relação entre a massa fresca do colmo e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP.

Os valores obtidos na produção de colmos foram correlacionados com os valores de perfilhamento nas três épocas avaliadas. Não foi observado correlação da primeira e segunda avaliação do perfilhamento com a produção de colmos, conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13.

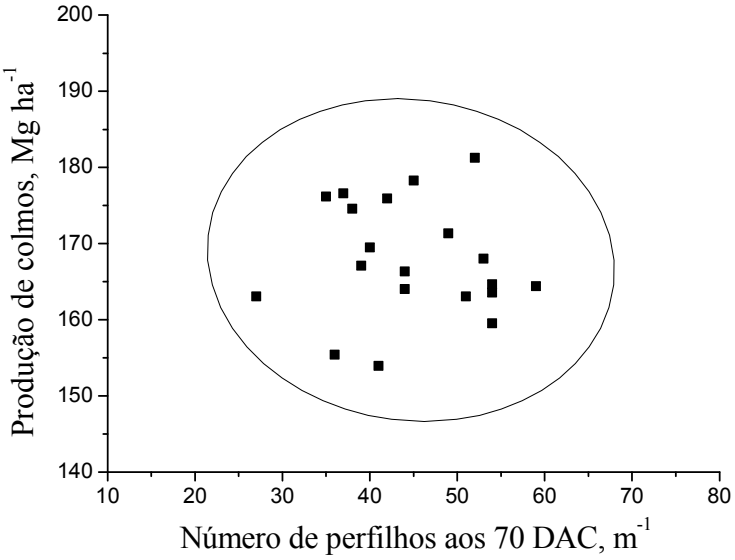

Figura 12 - Relação entre o número de perfilhos aos 70 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP.

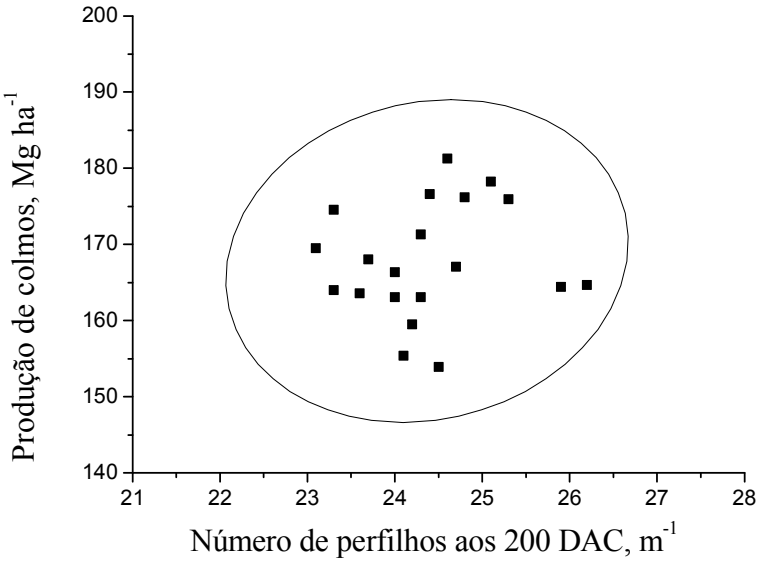

Figura 13 - Relação entre o número de perfilhos aos 200 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP.

A terceira avaliação apresentou correlação positiva com a produção de colmos, sendo significativa pelo teste de Pearson a 5% de probabilidade, indicando que o perfilhamento nesta época já estava praticamente estabilizado, confirmando o observado no ciclo anterior de que a produção de colmos é dependente do número de perfilho nesta fase da cultura. O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de 0,60. A correlação entre essas duas variáveis pode ser observada na Figura 14.

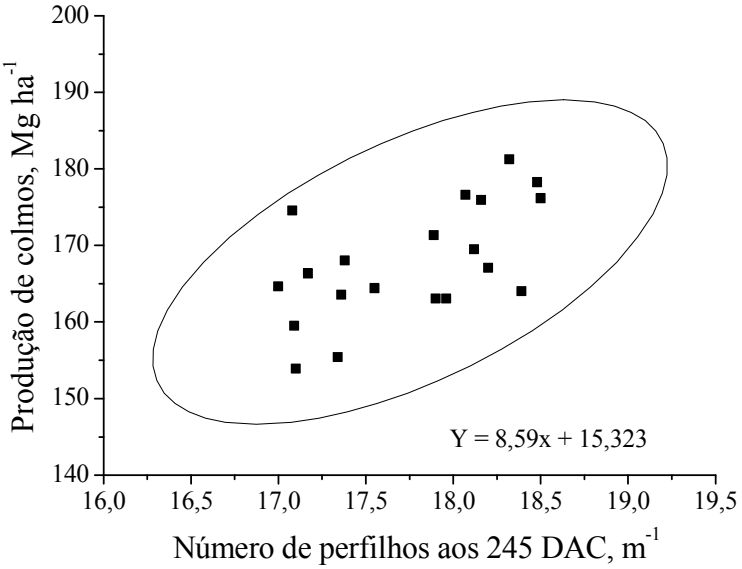

Figura 14 - Relação entre o número de perfilhos aos 245 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,60.

4.2.3 Análise tecnológica da primeira cana-soca

Os valores médios e os resultados da análise estatística do teor de sólidos solúveis (Brix), fibra, sacarose (Pol), açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da primeira cana-soca em Guaíra, SP. *

Tratamento	Brix (°Brix)	Fibra	Pol	Pureza (%)	AR	ATR (kg Mg^{-1})	RTR (Mg ha^{-1})
T1NI	17,4 a	9,8 a	14,2 a	81,9 a	0,73 a	125,8 a	21,1 a
T2I	17,3 a	9,4 a	14,6 a	84,6 a	0,65 a	129,3 a	21,4 a
T3Iv	17,3 a	9,6 a	14,3 a	83,1 a	0,70 a	127,2 a	21,2 a
T4IV	16,6 a	8,9 a	13,6 a	81,8 a	0,75 a	122,6 a	21,0 a
Erro padrão	0,28	0,34	0,34	0,97	0,03	2,31	0,67
C.V. (%)	3,72	8,07	5,37	2,62	9,80	4,10	7,11

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise de variância, dos parâmetros tecnológicos, revelam que os fatores de variação, não alteraram a qualidade da matéria prima, pois não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os parâmetros avaliados.

O tratamento T1NI apresentou o maior valor médio de brix e de teor de fibra, mas o maior valor médio da Pol e o menor valor médio de AR foram observados no tratamento T2I, resultando em uma maior pureza do caldo e consequentemente na maior ATR. Neste ano agrícola o T2I apresentou a menor produção de colmos (Tabela 17), mas no computo final obteve numericamente o maior valor de RTR.

A duração do déficit hídrico foi à menor entre os anos analisados, sendo de 45 dias, além de ser de baixa intensidade, variando de 7,5 mm no mês de abril a 43,7 mm na colheita, Figura 10. A temperatura após abril esteve próxima dos 21° C, sendo considerada boa para a maturação, segundo SEGATO (2006). Ao contrario do que foi observado no ciclo da cana-planta, o tratamento T4IV apresentou os menores valores dentre os parâmetros de qualidade tecnológica, com exceção dos AR (Tabela 18).

O Brix e Pol dos tratamentos foram baixos e, praticamente todos os parâmetros, exceto o Pol do T2I, ficaram abaixo dos valores mínimos recomendado por RODRIGUES (1995), que segundo este autor os valores mínimos desejáveis são da ordem de 18 e 14,4%, respectivamente.

Os resultados de Pol obtidos na colheita estão de acordo com os apresentados por MATSUOKA et al., (1998), que colhendo esta variedade em junho obteve o valor de Pol próximo a 14%, semelhante ao verificado neste trabalho.

De maneira geral, os valores de qualidade tecnológica foram baixos, indicativo que houve fatores que interferiram negativamente no processo de maturação. Certamente se deva à colheita precoce realizada com apenas 10 meses após a colheita da cana planta, portanto, não completando todo o seu ciclo de cultivo recomendado, de 12 meses. Em outras palavras, a cultura quando colhida ainda estava no processo de maturação e acumulação de sacarose nos colmos.

O teor de fibra obtido no ciclo da primeira soca foi ideal para a extração de sacarose, ou seja, abaixo dos 10%, valor considerado ótimo para a máxima extração de sacarose segundo GONÇALVES (1987), tendo assim uma maior quantidade de matéria prima para a indústria sucroalcooleira. Para LEITE (2009), o teor de fibra ideal para colheita varia de 12 a 13%, pois nesta faixa não compromete a quantidade de bagaço disponível para a queima, mas conforme citado por GONÇALVES (1987) esta faixa pode desfavorecer a extração de sacarose na usina.

A pureza do caldo (Tabela 18) apresentou valores medianos, estando acima do valor recomendado pela CONSECANA (2006), para reclusa da usina frente ao fornecedor, que é 75%, mas abaixo do recomendado por RIPOLI & RIPOLI (2004) que recomendam uma pureza do caldo superior a 85%, fato não verificado em nenhum dos tratamentos.

Neste ano agrícola o teor de açúcares redutores esteve abaixo do registrado no primeiro ano de cultivo, mas a pureza do caldo apresentou valores bem próximos aos observados no ciclo da cana-planta, devido ao maior teor de sacarose do caldo observada no ciclo da cana-planta.

Neste ciclo de cultivo não foi observado nenhum efeitos deletérios da vinhaça na qualidade da matéria prima, conforme verificado por STUPIELLO et al. (1977), quando analisaram o efeito da aplicação de diferentes doses de vinhaça (0 a 210 m^3 ha^{-1}) na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Esses autores relataram que a aplicação de vinhaça causou reduções no teor de sacarose, brix e pureza do caldo, e elevou o teor de açúcares redutores em comparação com a testemunha não fertirrigada com vinhaça.

4.3 Ciclo de cultivo da segunda cana-soca

4.3.1 Condições climáticas referentes ao ciclo da segunda cana-soca

Os valores mensais de temperatura do ar e precipitação registrados, e a evapotranspiração de referência (ETo) calculada, durante o ciclo da segunda cana-soca, estão apresentados na Figura 15.

A temperatura média do ar durante o ciclo foi de 23,2ºC, com as temperatura do ar mais baixas ocorrendo nos meses de julho de 2007, e maio, junho e julho de 2008 com o valor médio de aproximadamente 20,5°C, as temperaturas médias do ar mais elevadas ocorreram nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2007, com o valor médio de aproximadamente 26,5°C.

A temperatura durante a fase de brotação da segunda cana-soca foi de 21°C, estando abaixo do limite observado por LIU et al. (1998) e WHITMAN et al. (1963) citado por CASAGRANDE & VASCONCELOS (2008), para se obter uma adequada brotação da cana-de-açúcar.

Após o mês de julho de 2007, a temperatura do ar passou a se elevar, entrando na faixa para o adequado alongamento do colmo (LIU et al., 1998; INMAN-BAMBER, 1995), não sendo um fator deletério ao desenvolvimento das plantas nesta fase de

cultivo. Durante o mês de abril houve uma redução na temperatura do ar, favorável ao processo de maturação, mas ainda acima do valor de paralisação do desenvolvimento vegetativo, conforme citado por (RODRIGUES, 1995).

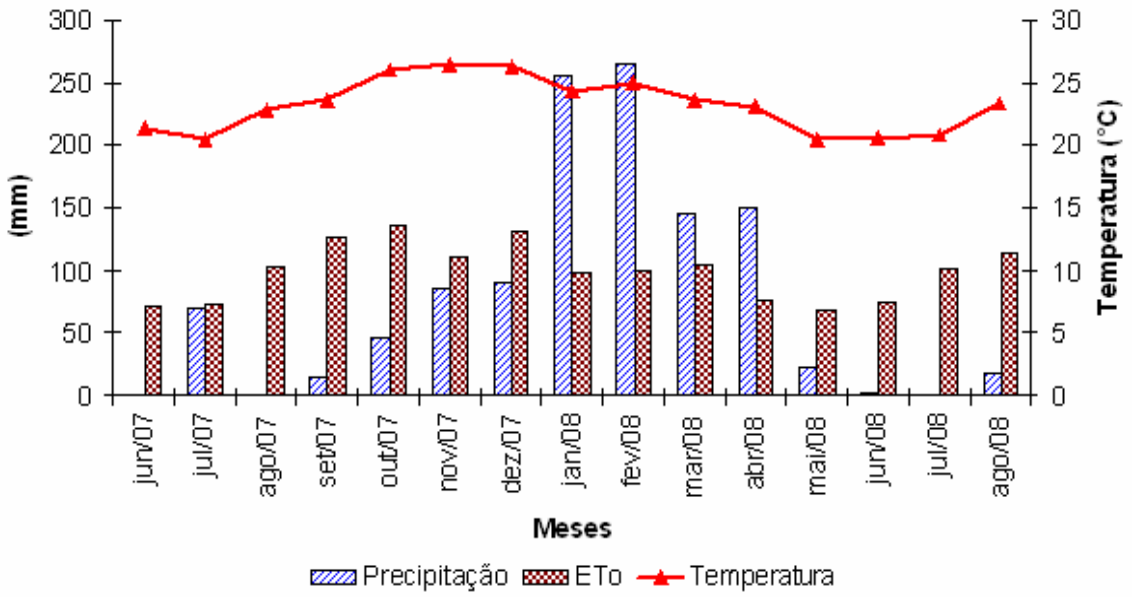

Figura 15 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da segunda cana-soca.

O total precipitado durante o ciclo foi de 1147 mm, as precipitações mais elevadas ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro de 2008, com um total de chuvas nos dois meses de 520 mm. As menores precipitações foram registradas nos meses de junho, agosto e setembro de 2007, e junho e julho de 2007. Nos meses de junho e agosto de 2007 e julho de 2008, não foram observadas nenhuma chuva na área experimental. Neste ciclo as chuvas ocorridas nos meses de janeiro, fevereiro e março representaram quase 60% do total precipitado durante o ciclo.

O total precipitado durante o ciclo (1147 mm) esteve abaixo dos valores citados por DOORENBOS & KASSAM, (1994) para o bom desenvolvimento da cultura, porém dentro dos valores de consumo de água pela cultura, observado PERES et al. (1992), quando estudaram o consumo de água pela variedade de cana-de-açúcar NA56-79, por meio de lisimetro, durante o ciclo da primeira cana-soca, em Araras, SP. Esses autores verificaram que o consumo de água pela cana-soca foi de 1063 mm.

Após a colheita da primeira cana-soca, houve um longo período de estiagem, não sendo registrada nenhuma chuva durante o período de 35 dias após a colheita, aumentando os riscos de queda no processo de brotação das plantas cultivadas na condição de sequeiro. Durante a fase de maturação, a partir de maio de 2008, praticamente não houve registros de chuvas (Figura 15), favorecendo este processo.

A evapotranspiração de referência (ETo) total durante o ciclo da segunda cana-soca foi de 1378 mm, com o maior valor de evapotranspiração ocorrendo no mês de outubro de 2007, com o valor total de 137 mm e a menor evapotranspiração foi observada no mês de maio de 2008, com o valor total de 69,5 mm.

Com os dados climáticos coletados durante o ciclo da segunda cana-soca, realizou-se o balanço hídrico seqüencial, conforme apresentado na Figura 16. Através do mesmo, observa-se que a deficiência hídrica total durante o ciclo foi alta, atingindo o valor total de 501 mm, a maior deficiência dentre os quatro anos de cultivo e o excedente hídrico total foi de 436 mm, o segundo menor excedente, sendo inferior apenas ao registrado no ciclo da cana-planta.

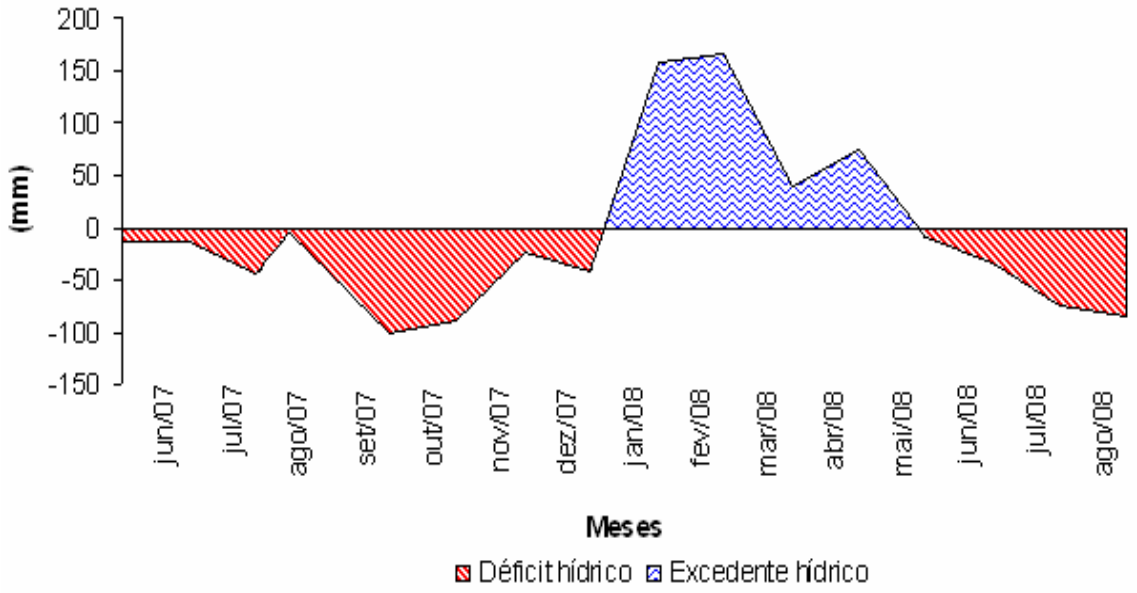

Figura 16 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da segunda cana-soca.

Logo após a colheita da primeira cana-soca, em junho de 2007, houve um aumento no déficit hídrico do solo até meados do mês de julho (35 DAC), quando foram registradas as primeiras chuvas no ciclo, gerando uma redução na deficiência hídrica no solo, mas a partir de agosto o déficit hídrico voltou a se acentuar, chegando a 100 mm nos meses de setembro e outubro, déficit hídrico no solo limitante ao desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER, 2004).

No final de dezembro foi observado o excedente hídrico no solo, fenômeno que se estendeu até maio de 2008. As chuvas que promoveram o excedente hídrico no solo, ao longo da fase de alongamento do colmo, certamente evitaram maiores perdas de produção nas plantas submetidas à condição de sequeiro.

O segundo período de déficit hídrico ocorreu a partir de maio de 2008 se estendendo até a colheita. A deficiência hídrica total neste período foi de 117 mm. A deficiência hídrica neste período foi aumentando na medida em que a planta seguia seu processo de maturação, chegando a 75 mm na colheita. A deficiência hídrica para o processo de maturação é tida como mediana, pois ela foi suficiente para provocar reduções no desenvolvimento da cultura (INMAN-BAMBER, 2004), mas os valores registrados estiveram abaixo do verificado por este autor, para a maior obtenção de sacarose, que encontrou o valor de 145 mm, para as variedades Q96 e Q124.

4.3.2 Desempenho agronômico da segunda cana-soca

Durante o ciclo da segunda soqueira, foram coletados dados de número de brotações aos 14 DAC, número de perfilhos aos 125 e 225 DAC, altura da cana aos 125 DAC e produção de colmos. Os valores médios de cada parâmetro e as suas respectivas análises estatísticas estão apresentados na Tabela 19.

O uso da irrigação favoreceu significativamente a brotação da cana-de-açúcar, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, conforme observado na Tabela 19, sendo que os tratamentos irrigados apresentaram os maiores números de brotações em relação ao tratamento sequeiro (T1NI). A redução no número de brotações do tratamento T1NI se deve a deficiência hídrica registrada durante esta fase da cultura, conforme discutido anteriormente.

O aumento do déficit hídrico no solo, variando na faixa encontrada causou uma redução de 16,5% no número de brotações. SMIT & SINGELS (2006) verificaram que a brotação na cana-de-açúcar, submetida ao déficit hídrico, apresentou uma redução de

8,0 e 4,4 brotos m^{-2} para as variedades N22 e NCo376, respectivamente, após 40 dias de déficit hídrico no solo. Os resultados estão de acordo com os encontrado neste trabalho.

Tabela 19 - Valores médios do número de brotações aos 14 DAC, perfilhos aos 125 e 225 DAC, altura do perfilho aos 125 DAC e produção de colmos no ciclo da segunda cana-soca em Guaíra, SP. *

Tratamentos	Brotações	Perfilhos (125 DAC)	Altura (125 DAC)	Perfilhos (225 DAC)	Produção de colmos
	m^{-1}		M	m^{-1}	Mg ha^{-1}
T1 NI	43,1 a	31,3 a	46,6 a	15,8 a	160,3 a
T2 I	50,8 b	-	-	17,4 b	166,4 ab
T3 Iv	51,2 b	37,4 b	93,4 b	17,2 b	174,8 ab
T4 Iv	53,1 b	-	-	16,8 ab	179,6 b
Erro padrão	2,09	1,72	3,45	0,65	6,16
C.V. (%)	9,39	11,17	11,02	8,75	4,69

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Não foi verificado nenhum efeito residual da aplicação de vinhaça no ciclo da primeira cana-soca, na brotação da segunda cana-soca, pois os tratamentos T3Iv e T4IV não apresentaram diferenças significativas em relação ao tratamento T2I, sendo a irrigação o principal fator promovedor das melhorias na brotação.

O perfilhamento aos 125 DAC manteve o padrão de diferença observado na brotação. O tratamento T3Iv apresentou um perfilhamento de aproximadamente 16% a mais que a testemunha não irrigada (T1NI). Os resultados indicam que a brotação inicial definiu a diferença de perfilhos durante todo o período de seca. Tal idéia é reforçada quando analisamos o balanço hídrico até os 125 DAC. Verifica-se que a cana-de-açúcar submetida à condição de sequeiro passou toda a sua fase inicial e parte da fase mediana, sob a condição de déficit hídrico no solo (Figura 16). Mesmo assim a relação observada na brotação, entre os tratamentos irrigados e o tratamento sequeiro, manteve-se a mesma, que foi de 0,84.

O crescimento inicial do tratamento T3I foi superior ao verificado no tratamento T1NI, sendo que a altura do T3Iv diferiu significativamente da altura obtida pelo T1NI. INMAN-BAMBER (2004) relatou que as plantas de cana-de-açúcar bem hidratadas

apresentaram uma taxa de crescimento superior às plantas submetidas à condição de sequeiro durante sua fase de desenvolvimento vegetativo.

Através dos resultados obtidos no ciclo da segunda cana-soca, pode-se inferir que a melhor disponibilidade hídrica, na fase de desenvolvimento vegetativo, produz um efeito mais pronunciado no alongamento do colmo do que na intensificação do perfilhamento das plantas.

O número de perfilhos aos 225 DAC apresentou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan (Tabela 16). Os tratamentos T2I e T3Iv apresentaram o maior perfilhamento em relação ao tratamento T1NI. Verifica-se que durante a época das chuvas, houve redução na relação do tratamento irrigado T3Iv com o tratamento sequeiro T1NI que foi de 0,91. O aumento na relação irrigado/sequeiro indica que a perda relativa de perfilhos foi superior nos tratamentos irrigados, durante a fase de alongamento do colmo.

ROBERTSON et al. (1999) verificou que as plantas submetidas à boa disponibilidade hídrica inicial apresentaram maior redução no número de perfilhos na fase de alongamento do colmo, mas estes autores relataram que ocorreu uma igualdade no número de perfilhos aos 180 dias após o plantio, igualdade que se manteve até a colheita. Neste ciclo de cultivo não foi constatado a igualdade entre o número de perfilhos, certamente devido à alta diferença inicial no número de perfilhos.

O número de perfilhos, nos tratamentos que se aplicou a vinhaça, T3Iv e T4IV, não apresentou diferença significativa em relação ao tratamento T2I, não sendo observado efeito benéfico da vinhaça no aumento ou manutenção dos perfilhos, conforme foi observado por WANG et al (2006).

Apesar do tratamento T4IV não ter apresentado um maior número de perfilhos, este tratamento foi o que apresentou a maior produção de colmos, diferindo significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, do tratamento T1NI, apresentando uma produção de colmos na segunda soqueira de 179,6 Mg ha^{-1}. A produção do T4IV foi 11% superior à produção obtida pelo tratamento T1NI. Não houve efeito significativo da aplicação de vinhaça na produção de colmos, quando comparado ao tratamento T2I, mas a produção de colmos, dos tratamentos T3Iv e T4IV, foram superiores ao tratamento T2I em 8,4 e 13,2 Mg ha^{-1}, respectivamente.

A brotação da cana-de-açúcar apresentou correlação positiva (r = 0,45) com a produção de colmos, sendo significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de

Pearson, relatando que a variável produção de colmos foi dependente da brotação, conforme ilustrado na Figura 17.

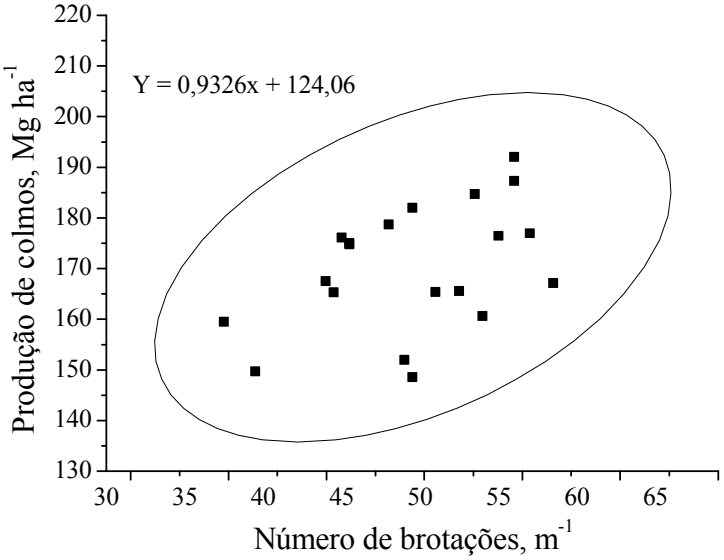

Figura 17 - Relação entre o número de brotações e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,45.

Para CASAGRANDE & VASCONCELOS (2008), o déficit hídrico pode causar morte de gemas e de brotos, pois a água tem papel fundamental nos processos bioquímicos que ativam a brotação, resultando em redução no estande, devido à falha na brotação. Outro fato citado por estes autores é o ataque de pragas de solo, como, por exemplo, o ataque de cupins, que irão atacar os toletes em busca de água, causando assim danos às gemas e intensificando o efeito do déficit hídrico. Durante a fase de brotação não foi registrado nenhuma precipitação, resultando em perda de brotações no tratamento submetido à condição de sequeiro, afetando a produção de colmos.

O número de perfilhos aos 225 DAC apresentou baixa correlação com a produção de colmos (r = 0,35), não sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Pearson, mas é significativa ao nível de 10% de probabilidade, conforme ilustrado na Figura 18. Neste ciclo de cultivo foi observada a menor correlação entre o número de perfilhos na fase de maturação e a produção de colmos.

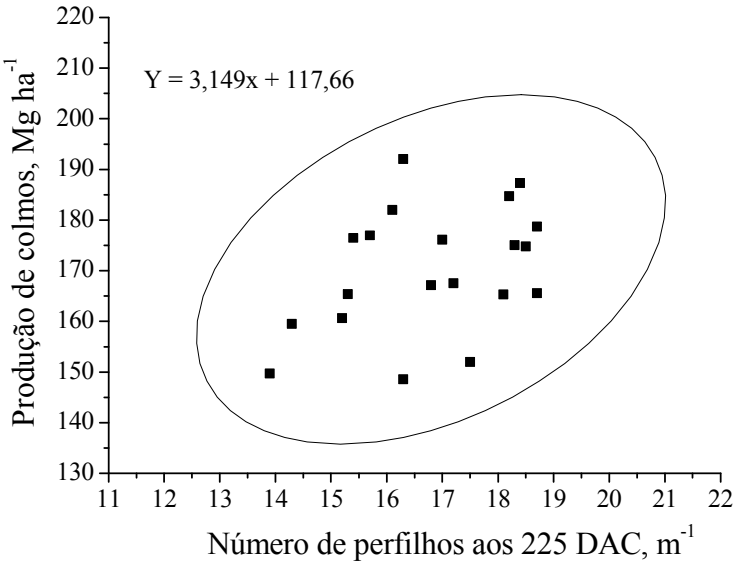

Figura 18 - Relação entre o número de perfilhos aos 225 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,35.

4.3.3 Análise tecnológica da segunda cana-soca

Os valores médios de cada parâmetro do ciclo da segunda cana-soca e a diferença estatística entre as médias de cada tratamento, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, estão apresentados na Tabela 20.

O resultado da análise de variância, dos parâmetros tecnológicos, revela que a fertirrigação e aplicação de vinhaça não alteraram a qualidade da matéria prima, pois não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os parâmetros avaliados, exceto sobre o rendimento de açúcar teórico recuperável.

Os fatores climáticos foram favoráveis ao processo de maturação, cronologicamente, havendo déficit hídrico e temperatura de aproximadamente de 21° C três meses antes da colheita, que de acordo com SEGATO (2006) favorece o processo de maturação da cultura.

No ciclo da segunda cana-soca, o Brix e o Pol estão de acordo com o proposto por RODRIGUES (1995), sendo superior aos valores mínimos recomendados, que são da ordem de 18 e 14,4%, respectivamente.

Tabela 20 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da segunda cana-soca em Guaíra, SP. *

Tratamento	Brix (°Brix)	Fibra	Pol	Pureza (%)	AR	ATR (kg Mg^{-1})	RTR (Mg $há^{-1}$)
T1NI	18,1 a	9,9 a	15,6 a	86,2 a	0,60 a	135,9 a	21,8 b
T2I	18,8 a	10,1 a	16,3 a	86,7 a	0,58 a	141,2 a	23,5 ab
T3Iv	18,9 a	10,1 a	16,5 a	87,2 a	0,57 a	142,6 a	25,0 a
T4IV	19,0 a	10,1 a	16,7 a	87,8 a	0,55 a	144,0 a	25,9 a
Erro padrão	0,45	0,27	0,53	0,90	0,03	3,74	1,03
C.V. (%)	5,39	5,97	7,35	2,32	11,63	5,94	9,64

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O tratamento que recebeu a maior dose de vinhaça, T4IV, apresentou a melhor qualidade de matéria prima, obtendo os maiores valores de Brix, Pol, pureza do caldo, ATR e RTR, e o menor valor de açúcares redutores. O tratamento conduzido na condição de sequeiro, T1NI, apresentou a pior qualidade da matéria prima, obtendo os menores valores de Brix, Pol, Pureza, ATR e RTR e o maior valor de açúcares redutores, embora muitos desses atributos, as diferenças estatisticamente não tenham sido significativas (Tabela 20).

A pureza do caldo esteve dentro dos padrões adequados, acima dos valores recomendados por RIPOLI & RIPOLI (2004) e CONSECANA (2006), estando acima dos valores mínimos de 85 e 75%, respectivamente. Os valores de pureza do caldo estiveram acima de 86%, conforme pode ser observado na Tabela 20.

Neste ciclo de cultivo os valores de açúcares redutores estiveram abaixo dos registrados nas duas primeiras safras (cana-planta e primeira cana-soca), inferindo uma melhoria na qualidade do caldo neste ciclo de cultivo. O teor de fibra foi considerado bom para a máxima extração de sacarose segundo GONÇALVES (1987), mas ruim para a geração de energia pela queima do bagaço (LEITE, 2009).

A variável, rendimento de açúcar teórico recuperável (RTR) diferiu significativamente entre os tratamentos, sendo significativamente maiores nos tratamentos que receberam vinhaça (T3Iv e T4IV) em relação ao tratamento T1NI. A superioridade dos tratamentos T3Iv e T4IV em relação ao T1NI foram da ordem de 3,1 e 4,2 Mg ha^{-1}, respectivamente.

Mesmo não sendo constatando diferenças significativas em alguns parâmetros da qualidade tecnológica, como no presente ciclo de cultivo, o resultado da RTR apresentou diferença significativa. Segundo PRADO & PANCELLI (2006) muitas das vezes os maiores valores de RTR se deve ao fato do maior rendimento de colmos e não na melhoria da qualidade tecnológica dos colmos.

4.4 Ciclo de cultivo da terceira cana-soca

4.4.1 Condições climáticas referentes ao ciclo da terceira cana-soca

Os valores mensais de temperatura do ar e precipitação registrados, e a evapotranspiração de referência (ETo) calculada, durante o ciclo de cultivo da terceira cana-soca, estão apresentados na Figura 19.

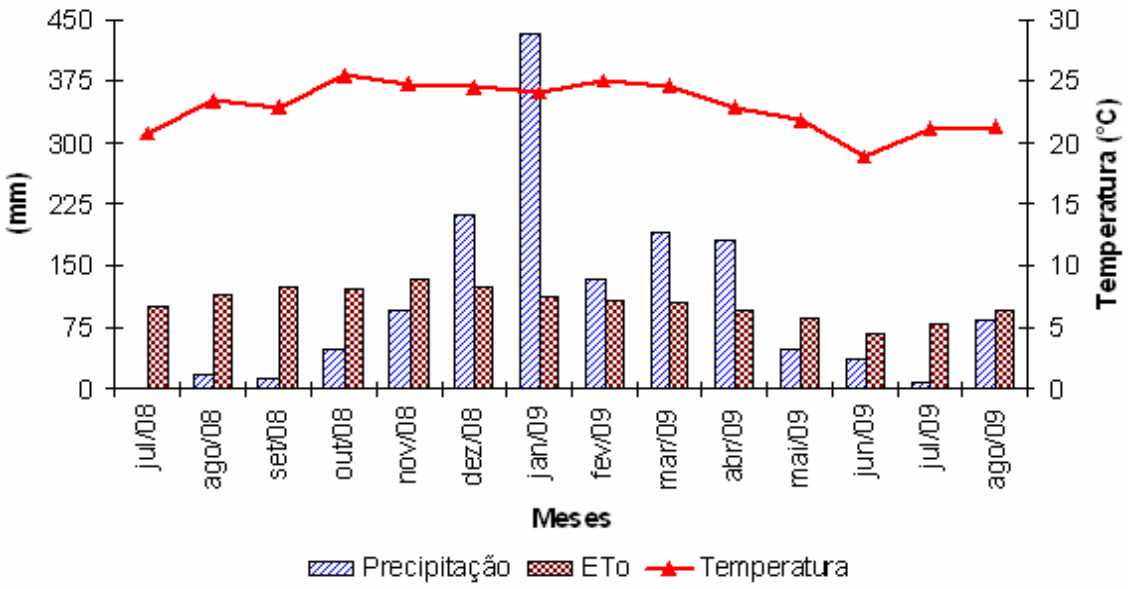

Figura 19 - Valores mensais da temperatura média do ar e total precipitado e evapotranspirado (ETo) em Guaíra-SP, durante o ciclo da terceira cana-soca

A temperatura média no ciclo da terceira cana-soca foi de 23ºC. A temperatura do ar mais baixa ocorreu no mês de junho de 2009, com o valor médio de 18,9°C. Já a temperatura média mensal mais elevada foi observada no mês de outubro de 2008, com o valor médio de 25,5°C, essa temperatura manteve-se praticamente estável durante os meses de outubro de 2008 a março de 2009.

No início do processo de brotação da terceira cana-soca a temperatura média do ar estava abaixo do valor mínimo encontrado por WHITMAN et al. (1963) citado por

CASAGRANDE & VASCONCELOS (2008), que é de 22°C, mas a temperatura se elevou rapidamente durante o mês de julho, havendo uma elevação de 2,6°C. Com isso a temperatura atingiu os 23,4°C no mês de agosto, melhorando o estabelecimento da cultura e o processo de perfilhamento.

Durante a fase de alongamento dos colmos a temperatura do ar apresentou baixa variação, estando acima dos 24°C (Figura 19), temperatura base para que não haja perdas no processo de alongamento do colmo, segundo LIU et al. (1998). A partir de março a temperatura começou a baixar, atingindo seu valor mínimo e conseqüentemente favorecendo o processo de acúmulo de sacarose nos colmos (FERNANDES, 1977).

O total precipitado durante o ciclo foi de 1500 mm. A precipitação mais elevada ocorreu no mês de janeiro de 2008, com o valor total de 432 mm, este valor representa 29% do total de chuvas ocorrido durante o ciclo da terceira cana-soca. No mês de julho de 2008 não houve registros de chuvas, e foram registradas baixas precipitações até setembro de 2008 (Figura 19).

Após a colheita da segunda cana-soca, a brotação das plantas submetidas à condição de sequeiro certamente foram afetadas, por falta de chuvas. A primeira chuva só foi observada 34 dias após a colheita, com um total de 16 mm, fato similar ao observado no ciclo da segunda cana-soca, porém com a quantidade de chuvas inferior ao ciclo passado.

Neste ano agrícola a precipitação e a evapotranspiração de referência apresentaram valores bem próximos, sendo a precipitação superior à evapotranspiração em apenas 34 mm. Mas vale ressaltar que as chuvas ocorridas em janeiro representaram 29% do total precipitado no ano, refletindo a irregularidade na distribuição das chuvas.

A evapotranspiração de referência (ETo) calculada durante o ciclo da terceira cana-soca foi de 1466 mm. A evapotranspiração mais elevada ocorreu no mês de novembro de 2008, com o total mensal de 132 mm, já a menor evapotranspiração foi verificada no mês de junho de 2009, com o total de 67 mm.

Com os dados climáticos coletados durante o ciclo da terceira cana-soca, realizou-se o balanço hídrico seqüencial, conforme apresentado na Figura 20. O déficit hídrico registrado durante todo o ciclo de cultivo foi de 437 mm, divididos em dois períodos, já o excedente hídrico total foi de 516 mm.

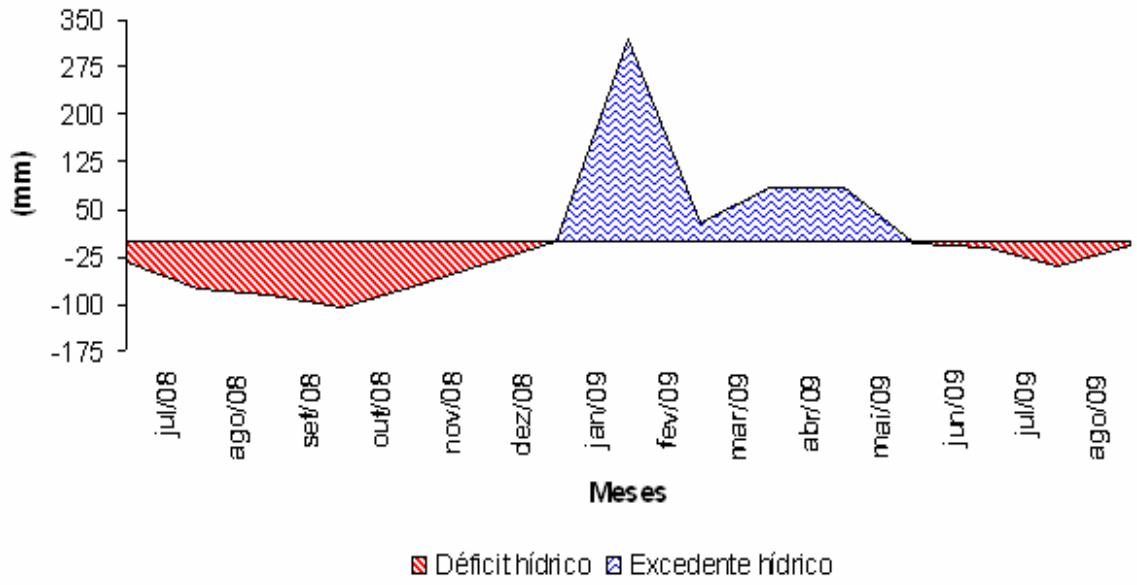

Figura 20 - Balanço hídrico seqüencial em Guaíra-SP, durante o ciclo da terceira cana-soca.

Através do balaço hídrico seqüencial da terceira cana-soca verificou-se que logo após a colheita as plantas não irrigadas estavam submetidas a uma condição de déficit hídrico, com valores acima de 100 mm, como os registrados no mês de setembro de 2008. A brotação deste ciclo deve ter sido similar à brotação da segunda cana-soca, ou até mais afetada, devido ao maior déficit hídrico registrado neste ciclo.

Em dezembro de 2008 foi observado o excedente hídrico no solo, permanecendo até maio de 2009, quando foi verificado o segundo déficit hídrico no ciclo. Como foi discutido no ciclo passado, o aparecimento do excedente hídrico ao longo da fase de alongamento do colmo evitou maiores perdas nas plantas submetidas à condição de sequeiro. Ao contrario do observado no ano anterior, o déficit hídrico não foi tão acentuado, atingindo o valor mínimo de – 39 mm no mês de julho, mas a sua duração foi maior do que a registrada no ciclo anterior, estando as plantas submetidas a um maior período de déficit hídrico.

4.4.2 Desempenho agronômico da terceira cana-soca

Durante o ciclo da terceira cana-soca, foram realizadas avaliações em três épocas. Os parâmetros avaliados nas duas primeiras avaliações foram: número de perfilho, cobertura vegetal (Cob veg) e altura do perfilho, sendo avaliados aos 85 e 165

DAC, os resultados obtidos e as suas respectivas análises estatísticas estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores médios do número de perfilho, altura dos perfilho e cobertura vegetal aos 85 e 165 DAC no ciclo da terceira cana-soca em Guaíra, SP. *

Tratamento	Perfilhos	Altura	Cob veg	Perfilhos	Altura	Cob veg
	85 DAC			165 DAC		
	m-1	m	%	m-1	m	%
T1NI	13,2 a	0,50 a	13,8 a	15,9 a	0,99 a	22,0 a
T2I	21,6 b	0,61 b	19,1 b	21,7 b	1,41c	33,0 b
T3Iv	20,2 b	0,59 b	18,9 b	21,0 b	1,30 b	33,1 b
T4IV	18,8 b	0,61 b	18,9 b	20,4 b	1,28 b	32,3 b
Erro padrão	0,88	2,94	1,16	0,61	0,03	1,58
C.V. (%)	10,72	11,36	14,73	6,97	5,55	11,76

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os tratamentos submetidos à irrigação (T2I, T3Iv e T4IV) apresentaram melhor desenvolvimento vegetativo, quando comparado ao tratamento não irrigado (T1NI), conforme observado na Tabela 21.

Na Figura 20, verifica-se que as plantas submetidas à condição de sequeiro estavam submetidas a uma situação de déficit hídrico, durante o período de estabelecimento, perfilhamento e alongamento do colmo.

O número de perfilhos aos 85 DAC dos tratamentos irrigados diferiu significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, do número de perfilhos do tratamento submetido à condição de sequeiro (T1NI).

Os resultados obtidos do perfilhamento aos 85 DAC corroboram os benefícios da irrigação na fase inicial de desenvolvimento da cultura, conforme foi evidenciado nos outros anos de cultivos deste experimento e nos resultados obtidos por ROBERTSON et al. (1999); INMAN-BAMBER (2004) e ALMEIDA et al. (2008).

O uso da irrigação favoreceu o crescimento das plantas, sendo que as plantas submetidas à boa disponibilidade hídrica apresentaram crescimento de 16% superior ao das plantas submetidas à situação de sequeiro, valores condizentes com os observados por ROBERTSON et al. (1999) e INMAN-BAMBER (2004).

O maior crescimento ligado ao maior número de perfilhos dos tratamentos irrigados resultou em uma maior cobertura vegetal aos 85 DAC dos tratamentos submetidos à boa disponibilidade hídrica. A cobertura vegetal dos tratamentos irrigados diferiu significativamente da cobertura vegetal do tratamento T1NI.

Não houve efeito da aplicação da vinhaça no desenvolvimento da cultura até os 85 DAC, pois os tratamentos T3Iv e T4IV, não diferiram significativamente do tratamento T2I em nenhum dos parâmetros analisados. Esses resultados indicam que a aplicação de água foi o principal fator pelo bom desenvolvimento das plantas na fase inicial de desenvolvimento.

A segunda análise do desenvolvimento vegetativo (165 DAC) revelou novamente a superioridade dos tratamentos submetidos à boa disponibilidade hídrica, conforme observado na Tabela 21. Mas o principal incremento da irrigação nesta fase foi no crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal, pois o perfilhamento apresentou pequena variação em relação à primeira avaliação. Estes resultados estão de acordo com os apresentados por SOARES et al. (2004).

Os tratamentos irrigados (T2I, T3Iv e T4IV) diferiram significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, do T1NI, em relação ao número de perfilhos da segunda avaliação, apresentando pouca variação com a primeira avaliação. Os resultados de perfilhamento indicam que a irrigação não promove o aumento do perfilhamento das plantas submetidas à boa disponibilidade hídrica. Certamente houve o favorecimento da brotação, como foi observado no ciclo da segunda cana-soca.

O Tratamento T2I apresentou a maior altura do perfilho, diferindo significativamente dos demais tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, conforme apresentado na Tabela 21. Os tratamentos T3Iv e T4IV apresentaram um crescimento maior que o tratamento submetido à condição de sequeiro (T1NI), diferindo significativamente deste tratamento, mas a aplicação de vinhaça promoveu um efeito deletério no desenvolvimento das plantas, pois os tratamentos T3Iv e T4IV apresentaram uma redução na altura quando comparado ao tratamento T2I. A redução na altura até a data da medição foi de 8,5%.

O tratamento T2I não apresentou diferença em relação à cobertura vegetal dos tratamentos T3Iv e T4IV, mesmo os perfilhos das canas do tratamento T2I tendo apresentado um maior crescimento em relação às plantas dos tratamentos T3Iv e T4IV. Já os tratamentos irrigados, quando comparados ao T1NI, apresentaram diferenças significativas na cobertura vegetal aos 165 DAC.

A terceira avaliação no ciclo da terceira cana-soca foi realizada aos 295 DAC, logo após a estação chuvosa, quando as plantas iniciaram o processo de maturação. Os parâmetros analisados foram: número de perfilhos, área foliar do perfilho (AF), índice de área foliar (IAF), massa fresca por colmo e produção de colmos. Os valores médios de cada parâmetro e as suas respectivas análises estatísticas estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores médios do número de perfilho, área foliar do perfilho (AF), índice de área foliar (IAF) e massa fresca do perfilho aos 295 DAC e produção de colmos no ciclo da terceira cana-soca em Guaíra, SP. *

Tratamento	Perfilhos (m^{-1})	AF (m^2)	IAF (m^2 m^{-2})	Massa (kg $colmo^{-1}$)	Produção de colmos (Mg ha^{-1})
	305 DAC				
T1 NI	14,6 a	0,47 a	4,58 a	1,54 a	140,4 a
T2 I	16,6 c	0,51 a	5,62 c	1,61 a	151,5 a
T3 Iv	16,0 bc	0,50 a	5,29 bc	1,59 a	151,0 a
T4 Iv	15,2 ba	0,49 a	4,91 ba	1,65 a	149,5 a
Erro padrão	0,36	0,02	0,19	0,08	4,48
C.V. (%)	5,3	8,24	8,45	11,87	6,76

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A manutenção dos perfilhos, durante a sua fase de senescência, ou seja, entre a segunda e terceira contagem (Tabela 21 e 22, respectivamente), foi superior no tratamento T1NI, a redução no número de perfilhos do tratamento não irrigado foi praticamente insignificante se comparado aos irrigados. Nos tratamentos irrigados por sua vez, as reduções foram da ordem de 23 a 25%.

ORLANDO FILHO & RODELLA (1995) e ROBERTSON et al. (1999) chegaram a resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, verificando que a cana-de-açúcar irrigada apresentava uma maior redução no número de perfilhos durante a fase de alongamento do colmo das plantas submetidas à condição de sequeiro, mas ao contrario do que foi observado por estes autores, não houve igualdade no número de perfilhos após esta fase, onde os tratamentos T2I e T3Iv apresentaram um perfilhamento significativamente superior ao verificado no T1NI (Tabela 22).

É interessante observar que neste ciclo, alta dose de vinhaça provocou efeito negativo no número de perfilho, pois o tratamento T4 Iv não diferiu significativamente dos tratamentos T3Iv e T1NI e apresentou o perfilhamento significativamente inferior ao T2I. Já o tratamento que recebeu baixa dose de vinhaça (T3Iv) diferiu significativamente do tratamento T1NI, mas não apresentou diferença significativa com os tratamentos T2 I e T4 IV, conforme verificado na Tabela 22.

Diferentemente do que ocorreu no ciclo da cana-planta não houve efeito significativo das fontes de variação sobre a da área foliar do perfilho, não sendo observada diferença significativamente entre os tratamentos. Esperava-se uma maior AF nos tratamentos irrigados e principalmente no T4IV, pois este tratamento recebeu uma alta dose de vinhaça e conseqüentemente uma alta dose de potássio, porém esse efeito não foi verificado.

O potássio é o principal elemento da regulação osmótica e abertura e fechamento estomático, processo fundamental para a captação de CO_2. MARSCHENER (1995) cita que na maioria dos casos a extensão celular é conseqüente do acúmulo de potássio na célula, fato necessário para a estabilização do pH no citoplasma e aumento do potencial osmótico no vacúolo.

Mesmo não havendo diferença significativa em relação à área foliar entre os tratamentos, o índice de área foliar (IAF) apresentou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, conforme observado na Tabela 22.

O IAF apresentou o mesmo comportamento do número de perfilhos, sendo que o tratamento T2I apresentou o maior IAF diferindo significativamente dos tratamentos T1NI e T4IV. O IAF do tratamento T4IV não diferiu significativamente dos tratamentos T1NI e T3Iv, já o tratamento T3Iv diferiu significativamente do T1NI, conforme observado na Tabela 22. A diferença entre os tratamentos foi semelhante ao observado no perfilhamento, pois a AF dos perfilhos apresentou pouca diferença, sendo o número de perfilhos o principal fator de variação.

Todos os tratamentos apresentaram o IAF acima do valor apontado (4,0 m^2 m^{-2}) por MACHADO et al. (1982), para que a planta interceptasse 95% da radiação solar incidente, fato que não ocorreu no ciclo da cana-planta, com o tratamento T1NI. Neste ciclo a AF registrada foi 30% superior à registrada no ciclo da cana-planta para o T1NI.

Não foi observado efeito significativo dos tratamentos sobre a massa fresca do colmo. Esta observação fortalece os resultados obtidos nos ciclos anteriores, podendo inferir que o uso da irrigação e da vinhaça não promove efeitos significativos ao

incremento de massa fresca por colmo, nas condições de clima e solo em que foi realizada a pesquisa.

Neste ciclo não houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan sobre a produção de colmos, conforme a Tabela 22, mas é interessante salientar que a produção de colmo apresentou diferença significativa a 10% de significância pelo teste de Duncan, sendo que os tratamentos irrigados diferiram a este nível do tratamento em sequeiro. Os tratamentos irrigados obtiveram as maiores produções médias de colmos, com os tratamentos T2I, T3Iv e T4IV apresentando uma produção de 11,1; 10,6 e 9,1 Mg ha^{-1} superior a observada no T1NI.

A produção de colmos apresentou boas correlações com o número de perfilhos nas três avaliações, sendo significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Pearson. A correlação entre o perfilhamento e a produção de colmos foi aumentando conforme a cultura foi se desenvolvendo. O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de 0,44, 0,49 e 0,68 para a primeira, segunda e terceira avaliação, respectivamente. As correlações entre o número de perfilhos e a produção de colmos da primeira, segunda e terceira avaliação estão apresentadas nas Figuras 21, 22 e 23.

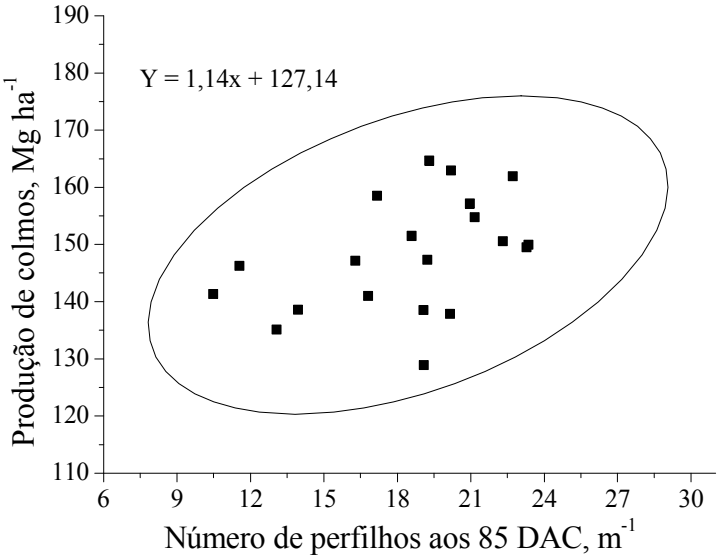

Figura 21 - Relação entre o número de perfilhos aos 85 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,44.

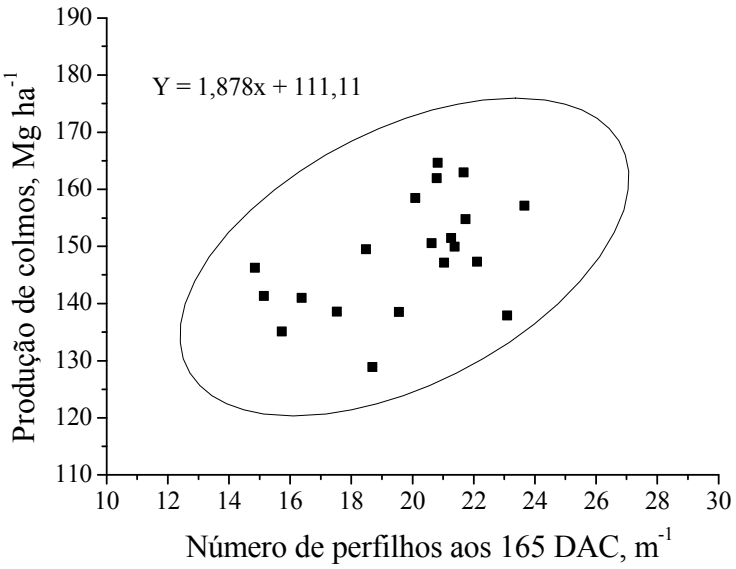

Figura 22 - Relação entre o número de perfilhos aos 165 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,49.

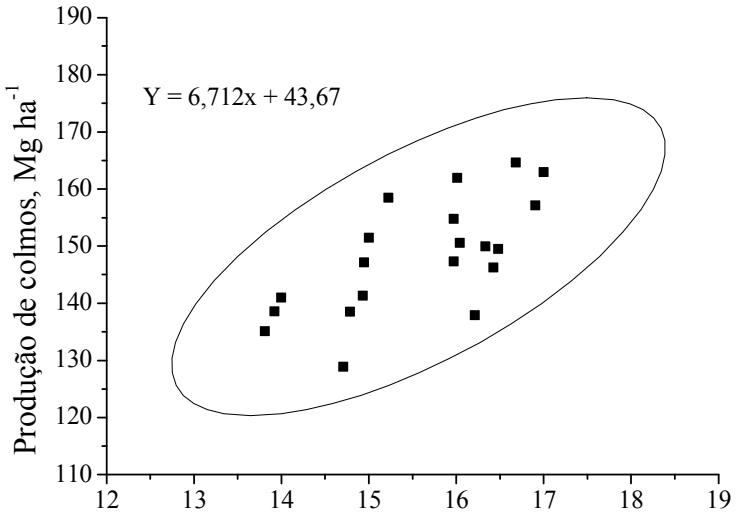

Figura 23 - Relação entre o número de perfilhos aos 305 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,68.

Em todos os anos de cultivo a produção de colmos apresentou correlação com o número de perfilhos na fase de maturação, sendo que em apenas um ano (ciclo da segunda cana-soca) a correlação não foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Pearson. Estes resultados indicam que na fase de maturação há uma estabilização do número de perfilhos na área, corroborando os resultados obtidos por ORLANDO FILHO & RODELLA (1995); ROBERTSON et al. (1999); BEZUIDENHOUT et al. (2003); SMIT & SINGEL (2006) e ALMEIDA et al. (2008).

Conforme foi observado no ciclo da cana-planta a área foliar do perfilho (AF) não apresentou correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Pearson, conforme é ilustrado na Figura 24.

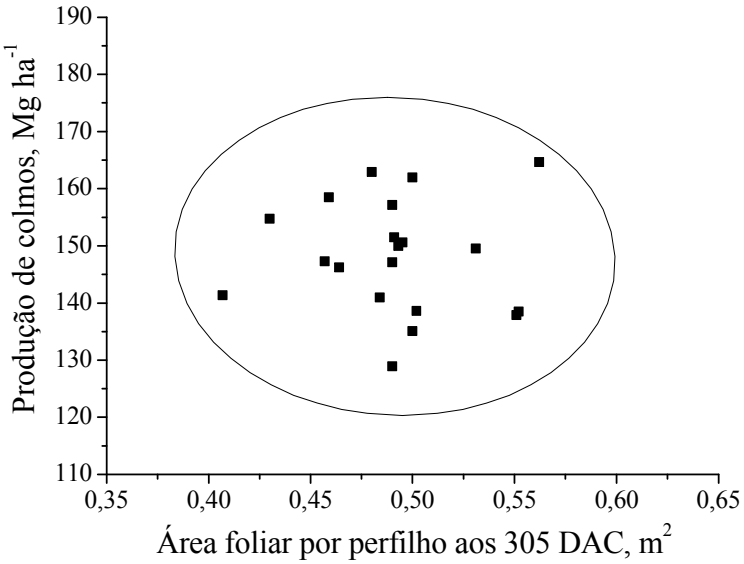

Figura 24 - Relação entre a área foliar do perfilho aos 305 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP.

A produtividade apresentou correlação positiva significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Pearson com o índice de área foliar (IAF). O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de 0,55. A correlação entre as duas variáveis está ilustrada na Figura 25.

Os resultados de correlação obtidos no ciclo da cana-planta e terceira cana-soca indicam que na avaliação da produção de colmos a área foliar do perfilho é suplantada em importância pela área total de todos os perfilhos, expressa pelo índice de área foliar

(IAF). Há uma forte dependência da produção no número de perfilhos e no IAF da cultura de cana-de-açúcar, dependência essa que se acentuou com a idade, nos quatro ciclos analisados.

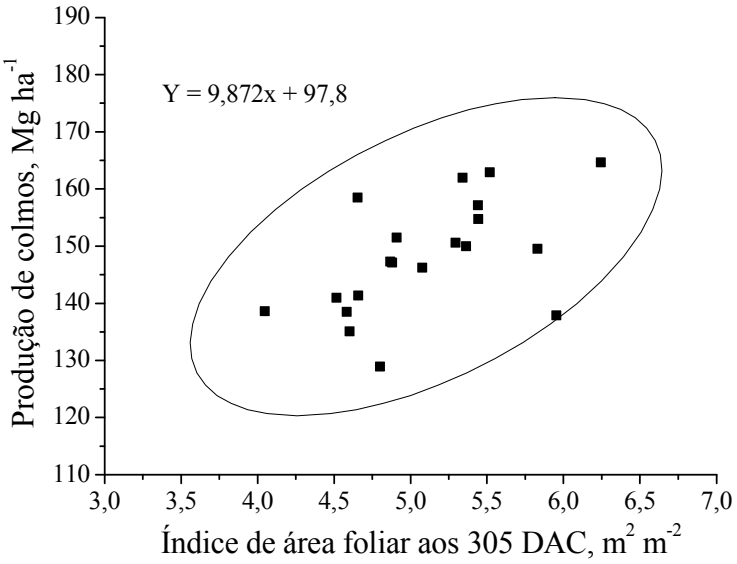

Figura 25 - Relação entre o índice de área foliar aos 305 dias após a colheita (DAC) e a produção de colmos, no ciclo da cana-planta, Guaíra – SP, valor da correlação pelo método de Pearson, r = 0,55.

4.4.3 Análise tecnológica da terceira cana-soca

Os valores médios do Brix, fibra, Pol, pureza do caldo, AR, ATR e RTR do ciclo da primeira cana-soca e a diferença estatística entre as médias de cada tratamento, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, estão apresentados na Tabela 23.

O resultado da análise de variância, dos parâmetros tecnológicos, revela que a fertirrigação e aplicação de vinhaça não alteraram a qualidade da matéria prima, pois não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os parâmetros avaliados.

Os valores climáticos observados neste ano agrícola foram bons para o processo de maturação da cana, tanto pela ocorrência da deficiência hídrica quanto pela baixa temperatura do ar, ambas ocorrendo a partir de maio de 2009, a temperatura do ar no neste mês foi de 19ºC e a temperatura média durante a fase de maturação foi de 20,5ºC.

Tabela 23 - Valores médios do Brix, teores de sacarose (Pol), fibra e açúcares redutores (AR), pureza do caldo, açúcar total recuperável (ATR) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) no ciclo da terceira cana-soca em Guaíra, SP. *

Tratamento	Brix (°Brix)	Fibra	Pol	Pureza (%)	AR	ATR (kg Mg^{-1})	RTR (Mg ha^{-1})
T1 NI	21,2 a	10,7 a	18,8 a	88,4 a	0,52 a	159,5 a	22,4 a
T2 I	20,4 a	10,6 a	17,8 a	87,1 a	0,57 a	152,2 a	23,0 a
T3 Iv	20,1 a	10,9 a	17,7 a	88,2 a	0,53 a	150,7 a	22,8 a
T4 IV	20,8 a	10,8 a	18,3 a	88,4 a	0,58 a	155,7 a	23,3 a
Erro padrão	0,46	0,27	0,49	0,59	0,02	3,41	0,84
C.V. (%)	4,99	5,60	6,01	1,50	7,86	4,94	3,43

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A combinação da baixa temperatura do ar com o déficit hídrico proporcionou uma boa maturação da cana-de-açúcar, em todos os tratamentos, refletindo nos maiores valores de Pol e menores valores de AR, registrados nos quatro anos de cultivo.

O tratamento T1NI apresentou os maiores valores de Brix, Pol, ATR e pureza do caldo, sendo a média da pureza igual à obtida pelo T4IV, e o T1NI obteve o menor valor de açúcares redutores, no entanto, mesmo apresentando os melhores valores médios da análise tecnológica o resultado da RTR foi inferior ao obtido pelos tratamentos irrigados. Isto ocorreu devido a maior produção de colmos dos tratamentos irrigados (Tabela 22).

O tratamento T4IV foi numericamente o tratamento com o maior valor de RTR, devido ao seu desempenho na produção de colmos e ATR. Apesar de produzir menor quantidade de colmos que os outros dois tratamentos irrigados (T2I e T3Iv), houve compensação na RTR pela superioridade na ATR.

O teor de fibra registrado em todos os tratamentos foi bom para a máxima extração de sacarose segundo GONÇALVES (1987), mas pouco para a geração energia pela queima de bagaço, segundo LEITE (2009).

Quanto à pureza do caldo, os resultados mostraram-se adequados, estando acima dos valores recomendado por RIPOLI & RIPOLI (2004) e CONSECANA (2006), que definem os valores mínimos de 85 e 75%, respectivamente.

Neste ciclo de cultivo o tempo de maturação e a colheita ocorreram no momento oportuno, como indicado pela análise da qualidade da matéria prima para o setor

sucroalcooleiro, e a aplicação de vinhaça não apresentou nenhum efeito deletério na sua qualidade, discordando dos resultados obtido por STUPIELLO et al.(1977).

4.5 Análise dos quatro ciclos de cultivo

Analisando os dados climáticos dos quatro anos de cultivo verificou-se que a região de Guaíra – SP apresenta duas épocas bem definidas quanto à disponibilidade hídrica para as plantas: um verão chuvoso e um inverno seco.

Através dos balanços hídricos seqüenciais verifica-se que de dezembro a março há um excedente hídrico no solo e de abril a novembro há déficit hídrico. O longo período de seca realça a importância de se utilizar algum método de irrigação para a produção agrícola nesta época do ano.

A temperatura média do ar na região foi de aproximadamente 23,4°C, durante os quatro anos de cultivo. A temperatura mais elevada ocorreu no mês de outubro de 2005, com o valor médio de 27°C. A menor temperatura nos quatro anos foi registrada no mês de junho de 2009, com o valor médio de 19°C.

Durante o ciclo da primeira cana-soca foi registrado o maior índice pluviométrico e a menor evapotranspiração. As chuvas registradas neste ciclo foram superiores às registradas no ciclo da cana-planta, segunda cana-soca e terceira cana-soca em 36,5%, 46% e 29,3% respectivamente. Neste ciclo, em outubro, já se verificava excedente hídrico no solo, fato que só ocorreu no mês de dezembro nos outros três ciclos agrícolas. O excedente hídrico no ciclo da primeira cana-soca estendeu-se até maio, conforme o observado nos outros ciclos.

O ciclo agrícola da segunda cana-soca apresentou a menor precipitação, com o valor total de 1147 mm. Este menor índice pluviométrico acarretou um maior valor de déficit hídrico, com o valor total de – 415 mm. Já o menor valor de excedente hídrico registrado ocorreu no ciclo da cana-planta, com o valor total de 300 mm, valor bem abaixo do verificado no ciclo da primeira cana-soca (1159 mm).

A precipitação e evapotranspiração potencial média mensal durante os quatro anos de cultivo foram de 121,8 mm e 99,4 mm, respectivamente. Através desses valores verifica-se que a precipitação média mensal é superior à evapotranspiração em 22,4 mm, mas o maior problema é a má distribuição das chuvas ao longo do ano, enfatizando o usa da irrigação suplementar às chuvas nesta região.

Realizando uma média da evapotranspiração ocorrida em cada mês, dos quatro anos de cultivo, verificou que a evapotranspiração média mais elevada ocorreram nos

meses de fevereiro, outubro e novembro, com um valor médio de 3,8 mm dia^{-1}, no mês de fevereiro e 3,9 mm dia^{-1} nos outros dois meses. As menores ETo médias foram registradas nos meses maio, junho e julho, com o valor médio diário de 2,5; 2,4 e 2,7 mm dia^{-1}, respectivamente.

Com os resultados dos quatro anos de cultivo realizou-se o somatório da produção de colmo e rendimento de açúcar teórico recuperável (RTR) e calculou o valor médio do açúcar total recuperável (ATR). Os resultados foram submetidos ao teste de Duncan a 5% de significância e estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores do somatório da produção de colmos e de rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) e valor médio do açúcar total recuperável (ATR) dos quatro anos de cultivo da cana-de-açúcar em Guaíra – SP.*

Tratamentos	Produção total de colmos	RTR total	ATR média
	(Mg ha^{-1})		(kg Mg^{-1})
T1NI	684 a	96 a	141,2 a
T2I	708 ab	101 ab	142,4 a
T3Iv	724 b	102 b	141,4 a
T4IV	724 b	104 b	143,8 a
Erro padrão	4,54	0,21	0,61
C.V.	3,50	3,81	2,53

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A produção total de colmos e o rendimento de açúcar teórico recuperável dos tratamentos que receberam doses de vinhaça (T3Iv e T4IV) diferiram significativamente da testemunha não irrigada, conforme ilustrado na Tabela 24.

Os tratamentos T3Iv e T4IV obtiveram a mesma produção total de colmos, e no computo final esses tratamentos apresentaram um incremento de 40 Mg ha^{-1} em relação ao cultivo em sequeiro (T1NI). O tratamento T2I não diferiu significativamente de nenhum dos tratamentos, obtendo uma produção intermediaria entre o não irrigado e aqueles que receberam vinhaça.

Em relação à RTR o tratamento T4IV obteve o maior valor, apresentando um aumento de 8 Mg ha^{-1} em relação ao T1NI. O tratamento T3Iv, apresentou um aumento significativo de 6 Mg ha^{-1} em relação ao T1NI. Em consonância com o ocorrido na

produção de colmos, o tratamento T2I não deferiu significativamente de nenhum tratamento, apresentando um valor intermediário entre o cultivo em sequeiro e os tratamentos fertirrigados com vinhaça.

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos na ATR média, nem tampouco ficou evidenciado efeito positivo ou negativo da aplicação da vinhaça na maturação da cana-de-açúcar. Os resultados obtidos nos quatro anos de cultivos estão de acordo com as observações feitas por SOBRAL et al. (1988), que não constataram efeito da vinhaça na qualidade da cana.

A fertirrigação com vinhaça ao longo dos quatro de cultivo proporcionou melhorias no sistema produtivo e promoveu um aumento na produção de colmos e RTR. Não ficou evidenciado qualquer tipo de redução na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar pela aplicação de vinhaça, no presente trabalho, discordando dos resultados obtidos por STUPIELLO (1977).

Através dos resultados apresentados pode-se inferir que o sistema foi eficiente na aplicação de vinhaça, pois houve aumento no rendimento de colmo e de açúcar nos tratamentos que receberam a vinhaça e irrigação localizada subterrânea.

Com o intuito de melhorar o entendimento da resposta da produção de colmos e do rendimento de açúcar teórico recuperável da cana-de-açúcar irrigada nos diferentes regimes hídricos, proporcionado pelos quatro ciclos de cultivo, realizou-se um balanço entre a precipitação (P) e a evapotranspiração de referência (ETo), conforme a Tabela 25. No ciclo da cana-planta e da segunda cana-soca a evapotranspiração de referência foi superior à precipitação e nestes dois ciclos houve resposta significativa a produção de colmo e a RTR, de um ou mais tratamento irrigado, em relação a testemunha não irrigada.

No ciclo da primeira cana-soca a precipitação foi superior a ETo em 1048 mm (Tabela 25). Este ciclo agrícola pode ser considerado atípico pelas elevadas precipitações registradas na área experimental, não havendo resposta significativa da produção de colmo e da RTR. Neste ciclo agrícola foram verificados os piores valores de qualidade tecnológica, dentre os quatro anos analisados, atribuído ao ano de elevadas precipitações, nebulosidade e menor radiação solar, juntamente com a colheita precoce.

Já no ciclo da terceira cana-soca a precipitação foi superior à ETo, em apenas 34 mm. Não houve diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade nos dois parâmetros analisados, mas foi verificada a ocorrência de diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Tabela 25 - Resposta da produção de colmo e rendimento de açúcar teórico recuperável (RTR) da cana-de-açúcar irrigada, em relação à diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETo) ocorrido nos diferentes ciclos agrícolas em Guairá – SP.

Ciclo agrícola	P-ETo	Produção de colmo	RTR
	(mm)	Significância	
Cana-planta	-157	Significativo	Significativo
1º Cana-soca	1048	Não Significativo	Não Significativo
2º Cana-soca	-231	Significativo	Significativo
3º Cana-soca	34	Não significativo*	Não significativo

* Ocorrência de significância a 10% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Pela análise climática e de desenvolvimento da cultura a data de colheita induz à diferenças no próximo ciclo no nível de produtividade e resposta a irrigação. Pressupõe-se que a cana-de-açúcar colhida nos meses de abril e maio, na região de Guairá-SP, no ciclo seguinte estará mais susceptível a redução na produção de colmos, pois as fases de brotação, perfilhamento e alongamento foliar e do colmo ocorrerão nos meses de seca e início do período das chuvas, portanto, estarão sujeitas a uma condição de déficit hídrico. Por outro lado a colheita em agosto favorece a ocorrência dessas fases da cultura, no próximo ciclo, em um período mais curto de seca.

Durante os quatros anos de cultivo não foi verificado dentro da área experimental o odor nauseabundo da vinhaça aplicada, revelando a eficiência do sistema de irrigação por gotejamento enterrado para disposição de águas residuárias na agricultura.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, nas condições de solo argiloso e de alta fertilidade, em Guairá-SP, permitiram as conclusões apresentadas a seguir.

A técnica da irrigação pelo método do gotejamento enterrado na produção de cana-de-açúcar, melhorou o desempenho da cultura, aumentando a sua produção de colmo e rendimento de açúcar teórico recuperável.

A cana-de-açúcar irrigada apresentou maior número de perfilhos e índice de área foliar. Estes parâmetros na fase de maturação, apresentaram correlação positiva com a produção de colmo.

A disposição de vinhaça na produção da cana-de-açúcar via gotejamento enterrado, não alterou a sua qualidade tecnológica. No computo final, a sua aplicação proporcionou aumentos na produção de colmos e rendimento de açúcar teórico recuperável em relação ao cultivo tradicional sem irrigação.

Houve uma forte influência climática no nível de produção e resposta a irrigação. Nos ciclos de cultivo em que a evapotranspiração de referencia foi superior a precipitação, acumuladas no ciclo de cultivo, o uso da irrigação por gotejamento enterrado proporcionou aumentos significativo na produção de colmos e rendimento de açúcar teórico recuperável em pelo menos um tratamento.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Gidelines for computing crop water requirementes.** Irrigation and Drainage, Roma: FAO. 1998. 300p.

ALMEIDA, A.C.S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G.V.S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R.A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidade térmica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1441-1448, 2008.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A.C.P.; ARRUDA, H.V.; RAIJ, B.V.; GOMES, A.C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em Latossolo roxo**. Bragantia**, Campinas, v.50, n.2, 1991.

ARRUDA, F.B.; BARRETO, G.A.; OJIMA, M.; Efeito da irrigação por gotejamento e taças e da cobertura morta na produtividade da ameixa "Carmesim". **Bragantia**, Campinas, v 43, p.605-614, 1984.

ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: Simpósio sobre o manejo de água na agricultura. **Anais**. Fundação Cargill. Campinas, p.177-199, 1987.

BARRETO, G.B. **Projeto experimental de um sistema de irrigacao por gotejo**. Instituto Agronomico, Campinas, 1973. 24 p. Boletim Técnico no. 5.

BARRETO, G.B.; RIGITANO, O.; OJIMA, M. **Irrigação de nectarinas. Comparação entre sistemas de gotejo e de pequenas bacias de inundações**. Instituto Agronomico, Campinas, 1976. 16 p. Boletim técnico no. 36.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MATOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 2005, 611p

BEZUIDENHOUT, C.N., O'LEARY, G.L.; SINGELS, A.; BAJIC, V.B.; A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural systems**, v.76, p.589-599, 2003.

BISWAS, A.K. Sustainable water development for developing countries. **International Journal of Water Resources Development**, v.4, n.2, p.232-242, 1988.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R. Concentração de cátions presentes no lixiviado de solos tratados com vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p. 773-781, 2007.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.9, p. 52-56, 2005.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.A.A.; PEDROSA, E.M.R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.11, n.3, p. 318-323, 2007.

CASAGRANDE, A.A; VASCONCELOS, A.C. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 882p.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. Norma P4.231 de dezembro de 2006. São Paulo, SP, 6 p. Acesso em: março de 2008. Disponível em: http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/doc_oficina/Vinha%C3%A7a.pdf.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR, ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções**. Piracicaba, 5ºed., 2006, 112p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, C.J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.1-11, 2008.

DALRI, A.B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO et al. (ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p. 157-193.

DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J.A.; FANCELLI, A.L; PIRES, R.C. de M. Fertirrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, M.R. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001, 410p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF. 1999. 412 p.

ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CITRICULTURA DE BEBEDOURO. **Dados meteorológicos**. Disponível em <www.estacaoexperimental.com.br/download.aspx> Acesso em: 7 de Novembro de 2009.

FERNANDES, J. Fatores de amadurecimento da cana-de-açúcar. **Brasil açucareira**, Rio de Janeiro, n. 3, p.116-122, 1977.

FGV. FACULDADE GETULIO VARGAS. **Revista de Economia Agrícola da FGV** – AGROANALYSIS, v. 18, n. 3, 1998, 80p.

FIGUEIREDO, P. Breve histórico da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agronômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 882p.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 203p.

GLÓRIA, N. & ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **R. Álcool Açúcar**, 16:32-39, 1984.

GONÇALVES, L.A.C. Influência da fibra e da pol da cana e da pureza do caldo no processo de fabricação de açúcar e álcool. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.105, p.49-64, 1987.

HAAG, H.P.; Dechen, A.R.; Carmello, Q.A.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: S.B. Paranhos (ed.) **Cana-de-açúcar, Cultivo e Utilização**. Campinas: Fundação Cargill. V.1, pág 88-162. 1987.

HAMADA, E.; MEDEIROS, G.A; FILIZOLA, H.F.; ZULLO JR., J.; GOMES, M.A.F.; QUEIROZ, S.C.N. I Workshop sobre água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: Relatos e Considerações. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p.77-84, 2004.

HOROWITZ, A.; SÁ JÚNIOR, J.P.M.; ALMEIDA, L.M.; DUARTE, P.J. Transformação do vinhoto em fertilizante completo I. tecnologia**. Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.103, n.1, p.7-15, 1985.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, v.21, n.8, 2009, 80p.

INMAN-BAMBER, N.G.Automatic plant extension mensurement in sugarcane in relation to temperature and soil moisture. **Field Crops Research**, v.42, p. 135-142, 1995.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits**. Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

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.

LAMM, F.R; AYARS, J.E.; NAKAYAMA, F.S. **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Elsevier: Amesterdam, 2007. 618p.

LAVANHOLI, M.G.D.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de álcool e açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 882p.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIEL, C.A.C; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G. qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.527-534, 2009

LINGLE, S.E. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. **Crop Science**, v.39, p. 480-486, 1999.

LIU, D.L.; KINGSTON, G.; BULL, T.A. A new technique for determining the thermal parameters of phonological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and forest meteorology**, v.90, p.119-139, 1998.

LUDOVICE, M. T. F.; VIEIRA, D. B.; GUIMARAES, J. R.. Infiltração de vinhaça em canal de terra: alteração no teor de matéria orgânica e sais no solo e na água. In: 23a. Reunião da Sociedade Brasileira de Química, 2000, Poços de Caldas. 23a. **Anais** da Reunião da Sociedade Brasileira de Química, 2000.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índice biométrico de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesq. Agrop. Brasileira**, Brasília, v.17, p. 1323-1329, 1982.

MAGRO, J.A. Irrigação em cana. **STAB**, Piracicaba v.19, n.1, p.44-46, 2000.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, 1995, 889p.

MATIOLI, C.S.; FRIZZONE, J.A.; PERES, F.C. Irrigação suplementar de cana-de-açucar: modelo de análise de decisão para a região norte do Estado de São Paulo. **STAB**, Piracicaba, v.17, n.2, p.42-45, 1998.

MATSUOKA, S.; ARIZONO, H.; BASSINELLO, A.I.; GARCIA, A.A.F.; GHELLEER, A.C.A.; GIGLIOTI, E.A.; HOFFMANN, H.P.; MASUDA, Y. **Seis novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Araras, CCA/UFSCar, 1998, 24p.

MEDINA, C.C.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B.; TORRETI, A.F. Crescimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação**. Semena: Ciências Agrárias**, Londrina, v.23, n.2, p.179-184, 2002.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. Historia e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP, 2006, 415p.

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. WOOD, A.W. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australian. II. Sucrose accumulation and commercial yield, **Field Crops Research**, v.48, p.27-36, 1996.

NEUFELD, J. **Water conservation with subsuperface drip irrigation**, 2001. Disponível em: <www.uidaho.edu/extension/dronght/neufeld.pdf> Acesso em: 13 de Janeiro de 2008.

NEUFELD, J.; DAVISON, J.; STEVENSON,T. **Subsurface drip irrigation**. Disponível em: <www.unce.unr.edu/publications/files/ag/other/fs9713.pdf> Acesso em: 13 de Janeiro de 2008.

OLIVEIRA, E.C.A. Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção. Pernambuco, 2008.71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHELER, H.S.; SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado de Paraná. **Scientia Agrária**, v.5, n.1, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHELER, H.S. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado de Paraná: taxas de crescimento**. Scientia Agrária**, v.6, n.2, p. 85-89, 2005.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. **STAB**, v.13, n.3, p.16-18, 1995.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: Situação atual e perspectiva para o futuro. In: FOLEGATTI, M.V. **Fertirrigação – Citrus, Flores, Hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999, 460p.

PAULINO, A.; MEDINA, C.; ROBAINA, C.; LAURANI, R. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.23, n.2, p.145-150, 2002.

PERES, J.G.; SCARDUA, R.; VILLA NOVA, N.A. Coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar: ciclo de cana-soca. **Álcool & Açúcar**, n.62, p.34-42, 1992.

PHENE, C.J. **Nitrate management of wastewater with subsurface drip irrigation**, 2005. Disponível em: <www.southerwatersolutions.com/documnts/nitrate.pdf> Acesso em 11 de Janeiro de 2008.

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 882p.

PRADO, D.M.; PANCELLI, M.A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB**, v.25, n.2, 2006

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO. J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubações e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996, p.39. (Boletim Técnico).

RESENDE, S.R. Intrusão radicular e efeito do vácuo em gotejamento enterrado na irrigação de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2003. 124p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.

RIDESA. REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Caracterização morfológica e agronômica: RB855536**, 2008. Disponível em <www.pmgca.com.br> Acesso em 24 de Novembro de 2009.

RIPOLI, T.C.C; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2004, 302p.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar: Estado da arte**, Piracicaba, T.C.C. Ripoli, 2006, 216p.

ROBAINA, A.A.; VIEIRA, J.R.; AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; MANHÃES, M.S. Doses e complementação mineral da vinhaça em socas de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.--, p.26-32, 1983.

ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, v.64, p.211-227, 1999.

ROBERTSON, M.J.; WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C. Growth of sugarcane under input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, v.48, p.11-25, 1996.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Unesp, 1995. 75 p.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.4, pp. 711-720. 2007

SANTANA, M.J.; CARVALHO, J.A.; SOUZA, K.J.; SOUSA, A.M.G.; VASCONCELOS, C.L.; ANDRADE, L.A.B. Efeito da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, p.1470-1476, 2007.

SANTOS, M.A.L. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. Piracicaba, 2005. 100p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açucar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açucar: cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, 1987, v.1, cap. 3, p.373-431.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO et al. (ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006a. 415p.

SEGATO, S.V; ALONSO, O.; LAROSA, G. Terminologias no setor sucroalcooleiro. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de Cana-de-açúcar**. Piracicaba:, 2006b, 415p.

SIMABUCO, S.M.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Study on vinasse dynamics in soil using energy dispersive X-ray fluorescence with radioisotopic excitation. **Sci. Agricola**, Piracicaba, v.5, n.2, p.207-215. 1994.

SINGH, S.; SRIVASTAVA, K.K. Effects of soil-water potential on germination of sugarcane sets. **Indian Journal of Agricultural Science**, v.44, p.184-187, 1973.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedade física de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Eng. Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.579-585, 2006.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal components analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: World congress on computers in agriculture, **Anais**. Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SIMÕES, M.S.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Spectral variables, growth analysis and yield of sugarcane. **Sci. Agricola**, Piracicaba, v.62, n.3, p. 199-207, 2005.

SLONEHER, L.L.; MODENHAUER, WC. Measuring the amounts of crops residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.32, p.231-236, 1977.

SMIT, M.A.; SINGEL, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.

SOARES, R.A.B.; OLIVEIRA, P.F.M.; CARDOSO, H.R.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.H.; ROSENFELD, V. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhida em início de safra. **STAB**, v.22, n.4, p.38-41, 2004.

SOBRA, A.F.; LIRA, L.J.A.; GUIMARÃES, V.O.S. Efeito da suplementação mineral da vinhaça na fertilização da cana-soca. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.106, p.11-15, 1988.

SOUSA, A.P.; SERRA, G.E.; LEOPOLDO, P.R.; Irrigação em cana-de-açúcar: II. Efeito sobre produção, características tecnológicas e elementos minerais no caldo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.--, p.31-35, 1979.

STUPIELLO, P.; PEIXE, C.A.; MONTEIRO, C.A. Efeitos da apIicação da vinhaça como fertilizante na qualidade de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Piracicaba, v. 90, p.41-50, 1977.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, Artmed, 3ed. 2006, 716p.

TERUEL, D.A.; BARBIERI, V.; FERRARI Jr, L.A.; Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Sci. Agricola**, Priracicaba, v.54, p.39-44, 1997.

ÚNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Acesso em: janeiro de 2010. Disponível em: www.unica.com.br/default.asp.

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. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.335-340, 1983.

VOLL, C.E. Aplicação de vinhaça e do extrato de palhiço de cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas. Piracicaba, 2005. 45p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.

WANG, Y.; MO, Y.; WANG, W.; LI, Y.; YE, Y. Effect of vinasse irrigation on the activity of three enzymes and agronomic characters at seedling stage of sugarcane. **Sugar tech**, v.8, n.4, p.264-267, 2006.