

ÁUREO RODRIGUES PEREIRA

**EFEITOS DE LÂMINAS TOTAIS DE ÁGUA E DE ÉPOCAS DE PLANTIO  
SOBRE A PRODUTIVIDADE, O AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL E OS  
ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P436e  
2012

Pereira, Áureo Rodrigues, 1953-  
Efeitos de lâminas totais de água e de épocas de plantio  
sobre a produtividade, o açúcar total recuperável e os atributos  
qualitativos da cana-de-açúcar / Áureo Rodrigues Pereira. –  
Viçosa, MG, 2012.  
x, 59f. : il. ; (algumas color.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Demetrius David da Silva

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 48-53

1. Cana-de-açúcar - Irrigação - Bambuí (MG). 2. Cana-de-  
açúcar - Variedades. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.6187

ÁUREO RODRIGUES PEREIRA

**EFEITOS DE LÂMINAS TOTAIS DE ÁGUA E DE ÉPOCAS DE PLANTIO  
SOBRE A PRODUTIVIDADE, O AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL E OS  
ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

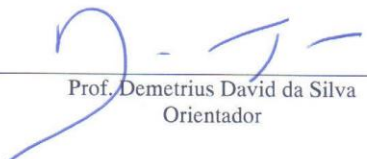
APROVADA: 18 de outubro de 2012

  
Prof. Márcio Mota Ramos  
Coorientador

  
Profa. Sheila Isabel do Carmo Pinto

  
Prof. Silvío Bueno Pereira

  
Prof. Rogério Amaro Gonçalves

  
Prof. Demetrius David da Silva  
Orientador

## DEDICO

Aos meus pais, Lázara Rodrigues Pereira e Gessy Pereira (in memorian), pelos ensinamentos, dedicação, desprendimentos, afeição e amor durante todos os anos de minha vida.

As minhas filhas, Rachel Rodrigues Pereira e Sarah Rodrigues Pereira, por existirem e me fazerem feliz.

A minha esposa, Geisiany Rodrigues Pereira, por presentear-me com nossas queridas filhas, pelo carinho e admiração durante todos os anos de casados, enfim pelo incentivo e paciência durante o período de realização deste estudo.

As minhas irmãs, Áurea Maria Pereira e Maria Aparecida Pereira, pelo apoio, amor, carinho e amizade.

As minhas sobrinhas Lauane Pereira de Carvalho, Tatiane Pereira de Carvalho e meu sobrinho Thales Pereira de Alvarenga, por compartilharem os bons momentos de minha vida e pelo carinho de sempre.

Ao meu enteado, Intens Monteiro Vilela Neto, pela amizade, incentivo e confiança.

A todos meus amigos, pela confiança depositada e pelas energias positivas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha existência, saúde, inteligência e pelas pessoas que me acompanham.

Ao meu orientador, professor Demetrius David da Silva , pela amizade, ensinamento, serenidade, competência e profissionalismo.

Aos meus coorientadores, professores Márcio Mota Ramos e Paulo Roberto Cecon, pelo o apoio e confiança.

Ao professor Rogério Amaro Gonçalves e a professora Sheila Isabel do Carmo Pinto , pela ajuda, paciência, incentivo e amizade.

Ao meu amigo professor Flávio Vasconcelos Godinho, Diretor Geral do IFMG – Campus Bambuí, pela realização do DINTER, cooperação e incentivo.

Ao professor Neimar de Freitas Duarte pelo empenho na concretização do DINTER Bambuí e por me convencer a realizar este doutorado.

A professora Leda Rita D`Antonino Faroni pela dedicação à UFV e a responsabilidade pelo DINTER.

Ao DAP Bi em especial à Luciana Gomes Germano Andrino, ao Cláudio Norberto, Chiquinho e Iter. Aos alunos de Agronomia do IFMG Bambuí Fernando Carvalho Nascimento, Taylor e Júlio. Ao pessoal da ADMINAS representada pelo Adriano De Carvalho Pereira e a TOTAL Agroindústria Canavieira, pelo auxílio na execução do presente trabalho.

A Universidade Federal de Viçosa - UFV, pela excepcional estrutura de ensino e pesquisa e a CAPES pelo incentivo financeiro.

Muito obrigado!

## BIOGRAFIA

ÁUREO RODRIGUES PEREIRA, filho de Lázara Rodrigues Pereira e de Gessy Pereira, nasceu em 25 de novembro de 1953, na cidade de Campo Belo-MG.

Em novembro de 1972, concluiu o ensino médio pelo colégio Dom Cabral, em Campo Belo-MG.

Em março de 1974, iniciou-se no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa – UFV, MG. Graduou-se no segundo semestre de 1977.

Foi concursado como engenheiro agrônomo pela EMATER-MG (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais) em 1978, na qual trabalhou até 1992.

Iniciou-se no mestrado na Universidade Federal de Lavras em 1992, UFLA/DEA, no programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Área de Irrigação e Drenagem, titulando-se em setembro de 1994.

Em agosto de 1995, foi concursado como professor do 1º e 2º grau da Área Agrícola, EAFB-MG (Escola Agrotécnica Federal de Bambuí-MG), hoje IFMG Campus Bambuí-MG. Permanece nesta Instituição como professor e como diretor administrativo.

Em fevereiro de 2009, iniciou-se no doutorado na área de Engenharia Agrícola pela UFV/DEA.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	3
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. A CANA-DE-AÇÚCAR.....	4
3.2. FASES DE CRESCIMENTO VEGETATIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR: DO.....	4
PLANTIO À MATURAÇÃO .....	4
3.3. COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) .....	6
3.4. PROFUNDIDADE EFETIVA DAS RAÍZES .....	7
3.5. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	8
3.6 RESPOSTAS DA CANA-DE-AÇÚCAR À IRRIGAÇÃO.....	11
3.7. PRINCIPAIS TIPOS, SISTEMAS E MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO UTILIZADOS NA CANA-DE- AÇÚCAR NO BRASIL E NO MUNDO .....	12
3.8. TECNOLOGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO DISPONÍVEIS NO MERCADO BRASILEIRO E INDICADAS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	18
4.3. IRRIGAÇÃO .....	23
4.4. PRODUTIVIDADE E FATORES DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	25
4.4.1. Peso médio de colmos .....	25
4.4.2. Comprimento médio de colmos.....	25
4.4.3. Diâmetro médio de colmos.....	25
4.4.4. Determinação da produtividade em TCH (toneladas de colmos industrializáveis, por hectare).....	26
4.4.5. Determinação da produtividade em toneladas de ATR ha <sup>-1</sup> (açúcares totais recuperáveis por hectare).....	26
4.5. AVALIAÇÃO DE COLMOS NAS FASES DE CRESCIMENTO VEGETATIVO DA CANA-DE- AÇÚCAR, DO PLANTIO À MATURAÇÃO .....	26
4.6. ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	26
4.6.1. Pol do caldo (S) .....	27
4.6.2. Açúcares redutores do caldo (AR).....	27

4.6.3. Pol da cana-de-açúcar (PC) .....	28
4.6.4. Açúcares redutores da cana (ARC) .....	28
4.6.5 Açúcares totais recuperáveis (ATR).....	28
4.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1. PRODUTIVIDADE DE COLMOS INDUSTRIALIZÁVEIS .....	29
5.2. PRODUTIVIDADE DE AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL (ATR).....	32
5.3. FATORES DE PRODUTIVIDADE DE COLMOS .....	35
5.4. NÚMERO DE COLMOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS FASES DE PERFILHAMENTO, CRESCIMENTO E MATURAÇÃO DOS COLMOS .....	38
5.5. ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	45
6. CONCLUSÕES .....	47
7. LITERATURA CITADA .....	48
ANEXOS .....	54

## RESUMO

PEREIRA, Áureo Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2012. **Efeitos de lâminas totais de água e de épocas de plantio sobre a produtividade, o açúcar total recuperável e os atributos qualitativos da cana-de-açúcar.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Márcio Mota Ramos e Paulo Roberto Cecon.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de lâminas totais de água e de épocas de plantio no número de colmos nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação da cana-planta, variedade SP911049, na produtividade, em toneladas de colmos industriais por hectare (TCH), no açúcar total recuperável por hectare ( $ATRha^{-1}$ ) e, também, nos atributos qualitativos da cana-de-açúcar. Os experimentos foram conduzidos em épocas de plantio distintas, maio e agosto de 2010, sob delineamento em blocos ao acaso (DBC), com cinco tratamentos: T1 - parcela sem irrigação, T2 - lâmina correspondente a 40% da irrigação total necessária (ITN), T3 - 70% da ITN, T4 - 100% da ITN e T5 - 130% da ITN e 5 repetições. No cálculo das lâminas totais de água aplicadas em cada tratamento, a ITN foi acrescida da precipitação efetiva considerada durante o período de experimentação. Os tratamentos responderam bem ao aumento da lâmina total de água, apresentando produtividades de até 169 e 151  $t ha^{-1}$  de cana-de-açúcar (TCH) e de 25 e 21,5  $t ha^{-1}$  de ATR, para os plantios de maio e agosto de 2010, respectivamente. A irrigação não alterou os atributos qualitativos da cana-de-açúcar para as duas épocas de plantio estudadas. Não houve diferença do diâmetro médio dos colmos nas distintas lâminas totais de água, nas duas épocas de plantio, entretanto o peso médio de colmos sofreu um incremento de 1.624,9 para 2.009,8 gramas à medida que se aumentou a lâmina total de água de 934 mm para 1.561 mm, na época de plantio de maio, mas não houve diferença no plantio efetuado em agosto. O comprimento médio de colmos, no plantio de agosto, aumentou de 196,4 para 231 cm com o incremento da lâmina total de água de 921 para 1.258 mm, aumento de 18%, mas no plantio de maio não houve diferença significativa entre os tratamentos. O número de colmos de cana por hectare, no plantio de maio, passou de 71.346 para 84.216 à medida que se aumentou a lâmina total de água de 934 mm para 1.561 mm, aumento de 18%. Já em agosto obteve-se 108.023 colmos para uma lâmina total de 1.189,38 mm, aumento de 37% em relação ao tratamento sem irrigação. Nas três fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar avaliadas, nas duas épocas de plantio, a variação da lâmina total de água foi mais importante na fase de perfilhamento. O aumento da lâmina total de água proporcionou

incremento da produtividade de colmos industriais assim como de Açúcar Total Recuperável para os plantios de cana-de-açúcar efetuados em maio e agosto de 2010, sendo os melhores resultados obtidos para o plantio realizado em maio, destacando-se o fato de não ter sido observada variação dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar em decorrência da aplicação de lâminas de irrigação. A irrigação proporcionou incremento de 44,5% e 44% na produtividade de colmos industriais e de 56% e 35% na produtividade de Açúcar Total Recuperável para os plantios de cana-de-açúcar efetuados em maio e agosto de 2010, respectivamente, em relação ao tratamento sem irrigação suplementar.

## ABSTRACT

PEREIRA, Áureo Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October 2012. **Effects of water depths and epochs of planting productivity, total recoverable sugar and qualitative attributing qualities of cane sugar.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-Advisers: Márcio Mota Ramos and Paulo Roberto Cecon.

The object of this work was to evaluate the effects of total water slides and planting epochs in the number of stems in phases, growth stages and maturity of the cane plant, variation SP911049, for productivity, in tons of cane per industrial hectare (Known as TCH), total recoverable sugar per hectare ( $ATRha^{-1}$ ), as well as qualitative attributes of sugar cane. The experiments were conducted in different planting periods, May and August 2010, in a randomized block design (DBC) with five treatments: T1 - without irrigation, T2 – water depths corresponding to 40% of total necessary irrigation (ITN), T3 - 70% ITN, T4 - 100% ITN and T5 - 130% ITN and 5 repetitions. To calculate the total water depths applied in each treatment, an ITN was figured taking into consideration the effective rainfall during the experimental period. The treatments well represent the increase in total water depth, representing of 169 and 151  $t ha^{-1}$  of sugar cane (TCH), and 25 and 21.5  $Tha^{-1}$  ATR, for the said planting in May and August 2010, respectively. The irrigation did not alter the attributing qualities of the sugar cane for the two periods of planting which were studied. No differences were found in averages of stem dimensions for the varying water depths during the periods studied, resulting in an average stem size of 1.624,9 per 2.009,8 grams, with an average water depth of 934 mm for 1.561 mm, for the planting period in May. However, some differences were found during the planting study conducted in August. The average stem dimensions, in August, increased from 196,4 to 231 cm, with an average water depth of 921 for 1.258 mm, for an increase of 18%. The planting in May did not show significant differences between the plantings. The number of stems of sugar cane per hectare during the May plantings ranged from 71,346 to 84,216, with the average water depth ranging from 934 mm to 1.561 mm, increasing 18%. In August the number of stems of sugar cane per hectare obtained was 108,023 per total water depth of 1.189,38 mm, increasing 37% in relation to treatments without irrigation. For the three growth phases of sugar cane evaluated during the two planting periods, a variation of total water depth was found to be more important during the growth stage. The increase of water depths in proportion to the stages of industrial production of stalks as to Total Recoverable Sugar for the sugar cane plantings studied in My and August, 2010, resulted in the best being

obtained for the planting in May, taking into consideration the fact that we did not see much variation in the sugar cane in regards to the variations of irrigated water depths. Proportional increments of irrigation of 44,5% and 44% in industrial production of the plants and 56% and 35% in Total Recoverable Sugar for plantings of sugar cane during May and August, 2010, respectively, in relation to treatment without irrigation supplemented.

## 1. INTRODUÇÃO

A importância socioeconômica da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo remonta há séculos, iniciando-se no local de origem, provavelmente na Nova Guiné (Oceania), e depois se espalhando para o mundo. Atualmente a cultura tem grande expressividade no Brasil, China, Paquistão, México e Tailândia (DIOLA e SANTOS, 2010).

No Brasil a sua importância se refletiu nos ciclos da cana-de-açúcar, principalmente no Nordeste brasileiro. Atualmente, com a crescente demanda por etanol e com o alto valor do açúcar no mercado externo, a cultura tem grande importância econômica nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Alagoas.

Em Minas Gerais, a expansão da área cultivada com cana-de-açúcar deverá sofrer forte aceleração, com previsão de crescimento de 24,5% até a safra 2020/2021, quando o Estado se tornará o segundo maior produtor (MAPA, 2011). A expansão da cana-de-açúcar em Minas Gerais deverá ocorrer principalmente nos Cerrados, em razão da facilidade de mecanização, no entanto por este bioma ser muito importante do ponto de vista ambiental é fundamental a adoção de novas tecnologias que maximizem a produtividade da cultura da cana-de-açúcar, a eficiência de uso do solo e da água, com menores custos financeiros e ambientais. Dentre as tecnologias, a irrigação se destaca pela aumento da produtividade, pela redução do risco de frustração de safra e pela maior eficiência do uso da solo.

A sustentabilidade da agricultura irrigada depende, primariamente, do manejo eficiente da irrigação, de modo a aumentar a produtividade de uma cultura em determinada localidade (NOVA, 2006). Se a precipitação efetiva não for suficiente para atender a demanda hídrica das plantas e a disponibilidade de água no solo se esgotar poderá haver redução expressiva da produtividade. Assim, um sistema de monitoramento e controle, baseado em medições em tempo real de parâmetros do sistema solo-planta-atmosfera, deve ser usado para estabelecer estratégias de manejo da irrigação (GOMIDE, 1998).

A irrigação da cana-de-açúcar traz diversos benefícios diretos e indiretos. Como diretos pode-se citar o aumento da produtividade de colmos e do teor de sacarose, precocidade da colheita, longevidade do canavial e maior resistência a pragas e doenças (SANTOS et al., 2010). E como benefícios indiretos os que envolvem a diminuição do custo de renovação do canavial, a logística, o ganho industrial e a

eficiência operacional da indústria. O aumento de produtividade propiciado pela irrigação permite concentrar as operações em áreas menores e mais próximas da unidade industrial. Com isso, há redução nos custos de transporte e de arrendamento de áreas mais distantes (COELHO et al., 2009).

As diferentes épocas de maturação dos cultivares, associadas aos diversos tipos de ambiente, pode garantir melhor manejo da colheita da cana-de-açúcar e a máxima eficiência na exploração da cultura (MAULE et al., 2001). É possível que o aproveitamento pleno das condições climáticas naturais, aliado à adoção de irrigação – seja ela plena, suplementar ou de salvação – leve a relações custo/benefício interessantes (CARVALHO, 2008). Em algumas fazendas de São Paulo, Minas Gerais e Alagoas a taxa interna de retorno para um período de 12 anos foi de 61,4% para a cana irrigada e de 26,9% para a cana de sequeiro, sendo o custo de produção médio por tonelada de US\$ 7,86 e US\$ 9,27, respectivamente (MACHADO et al., 2002). Em termos de ATR (açúcares totais recuperáveis), a cana irrigada com 100% da ETc (evapotranspiração da cultura) produziu 6,7% a mais que a média das plantas irrigadas com 75 e 50% da ETc e 15,3% a mais que a cana irrigada com 25% da ETc. A diferença entre a cana irrigada com a maior lâmina e a cultivada sob regime de sequeiro foi de 31,4% (FARIAS et al., 2009).

O uso da irrigação pode promover maiores produtividades de colmos e de açúcar, maior eficiência de uso da água e a concentração adequada de açúcar com menores valores de fibra, o que indica a viabilidade técnica deste manejo como alternativa para o aumento da produtividade dos canaviais brasileiros (OLIVEIRA et al., 2011).

O recurso água deve ter seu uso otimizado, possibilitando, sem maiores riscos, o aumento dos demais fatores de produção e, por consequência, maior produtividade com uma melhor combinação dos insumos empregados. Para tanto, o conhecimento das funções de produção ou superfícies de resposta é fundamental para auxiliar nas decisões e escolher as soluções mais condizentes com a realidade regional (BERNARDO e SOUZA, 2009).

## **2. Objetivo geral**

Avaliar os efeitos de diferentes lâminas totais de água (irrigação+precipitação efetiva) na produtividade, fatores de produção e atributos qualitativos da cana-de-açúcar, variedade SP911049, plantada em duas épocas distintas.

### **2.1. Objetivos específicos**

1- Avaliar o número de colmos nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação da cana-de-açúcar;

2- Avaliar o diâmetro, o peso e o comprimento dos colmos da cana-de-açúcar no final da fase de maturação;

3- Avaliar a produtividade da cana-de-açúcar em toneladas de colmos industriais por hectare (TCH) e em toneladas de açúcar total recuperável por hectare (ATR ha<sup>-1</sup>), na fase final de maturação da cana-de-açúcar;

4- Avaliar os atributos qualitativos da cana-de-açúcar.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. A cana-de-açúcar

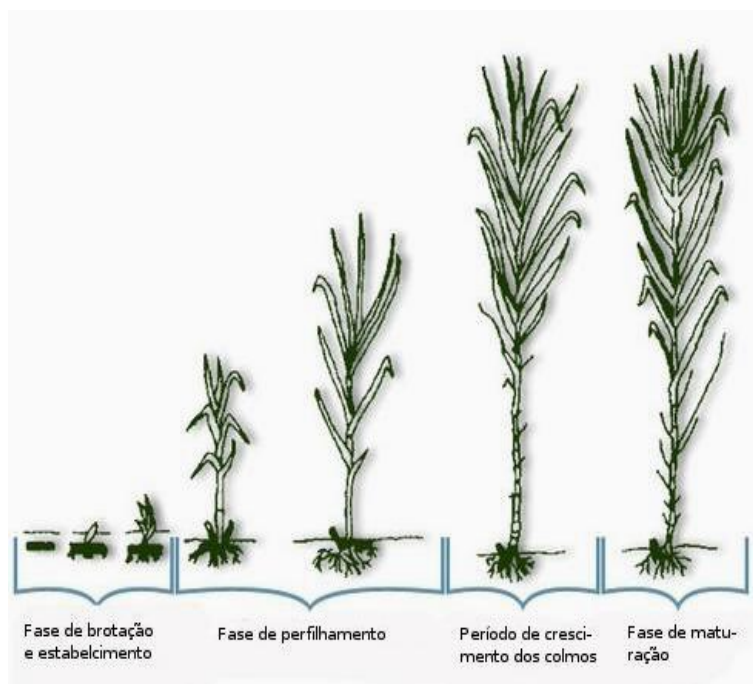
Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira, sendo o Brasil o maior produtor mundial de açúcar e de etanol extraído da cana-de-açúcar e o etanol alcança, cada vez mais, o mercado externo como biocombustível. É uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, gerando centenas de milhares de empregos diretos e indiretos.

A cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, é uma planta pertencente à classe monocotiledônea e família Poaceae. As principais espécies surgiram na Oceania (Nova Guiné) e na Ásia (Índia e China) e as variedades cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos multiespecíficos. As características dessa família são a inflorescência em forma de espiga, o crescimento do caule em colmos, as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e a bainha aberta. A planta, na forma nativa, é perene, de hábito ereto e levemente decumbente na fase inicial do desenvolvimento. Nas fases seguintes, a cana-de-açúcar sofre seleção dos perfilhos por autossombreamento. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de baixas temperaturas ou, ainda, devido ao florescimento. Vários são os produtos obtidos desta planta, sendo o componente atualmente mais valioso a sacarose, pois a partir desta se obtêm os dois produtos de maior exploração econômica, o açúcar e o álcool etílico (DIOLA e SANTOS, 2010). O rendimento médio da cultura no Brasil é 77,5 t ha<sup>-1</sup> (MAPA, 2008). Já o rendimento médio mundial é 53 t ha<sup>-1</sup> de colmos com teores de sacarose de 10 a 18% e 11 a 16% de fibra (DIOLA e SANTOS, 2010).

A cana-de-açúcar é a planta com maior eficiência energética para a produção de etanol. Pode-se aumentar ainda mais esta eficiência com a utilização dos seus resíduos no processo de industrialização e com isto reduzir o custo de produção. Em suas pesquisas, Soares et al. (2009) chegaram a um balanço energético final (saldo entre a energia total contida no biocombustível produzido e a energia fóssil investida em sua produção) de 9,35 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

#### 3.2. Fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar: do plantio à maturação

As fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar (Figura 1), de acordo com Santos et al. (2010) são:



**Figura 1:** Fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar, do plantio à maturação (Gascho e Shih, 1983).

1<sup>a</sup>) brotação e de estabelecimento: esta fase vai do plantio até a completa brotação das gemas. A brotação é marcada por um acentuado aumento da atividade respiratória e pelo transporte ativo de substâncias para o ponto de crescimento. Após esse período, inicia-se o desenvolvimento das raízes dos perfilhos primários, secundários e, assim, sucessivamente. A brotação é influenciada por fatores externos e internos. Os fatores externos são: umidade, temperatura e aeração do solo, variedade, presença da bainha, intervalo entre o corte da muda e o seu plantio e presença da palha na muda. Os fatores internos são saúde da gema, umidade e redução de açúcar do entre nó e estado nutricional da planta.

2<sup>a</sup>) Perfilhamento: é o processo contínuo de ramificação subterrânea das juntas nodais compactas do rebento. Ele proporciona ao cultivo o número de colmos necessários para uma boa produção. Vários fatores, como variedade, luz, temperatura, umidade do solo, espaçamento e práticas de fertilização influenciam o perfilhamento.

3<sup>a</sup>) Crescimento dos colmos: é a fase em que ocorre a formação e alongamento do colmo, que resulta na produção. A produção foliar é contínua e rápida durante essa fase. Irrigação, fertilização, calor, umidade e condições climáticas locais favorecem o alongamento.

4<sup>a</sup>) Maturação: a síntese e o acúmulo rápido de sacarose no colmo acontecem durante essa fase, por isso o crescimento vegetativo é reduzido. Bastante luz solar,

noites frescas e dias quentes (maior amplitude térmica diária) e clima seco são altamente favoráveis para a maturação.

Em trabalho desenvolvido por Almeida et al. (2008), em Rio Largo-AL, num solo classificado como Latossolo Amarelo coeso argissólico, o aumento do perfilhamento foi acentuado da emergência até 120 DAP (dias após o plantio) na cana-planta e 60 DAC (dias após o corte) na cana-soca, quando atingiram o pico de perfilhamento. Essa maior rapidez das variedades na obtenção do pico na cana-soca deve-se ao sistema radicular já estar estabelecido, enquanto na cana-planta o sistema radicular ainda está em desenvolvimento. Isso também se deve ao fato das condições ambientais terem sido ótimas, através da combinação de suprimento hídrico adequado e temperaturas altas (25,5°C e 27°C) na cana-planta e primeira cana-soca, respectivamente.

Estudos realizados por Sugawara e Rudorff (2011), em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, no estado de São Paulo, localizadas entre as latitudes 19°46' e 25°19' e as longitudes 44°09' e 53°07', nas safras 2006/07 e 2008/09 respectivamente, utilizando séries temporais de NDVI (derivadas do sensor Modis/Terra), mostraram variação no crescimento vegetativo da cultura da cana-de-açúcar ao longo de um ano safra, em diferentes anos safra e em função do estágio de corte. Desta forma, estas séries temporais podem ser utilizadas para estimar variáveis biofísicas utilizadas em modelos agronômicos de estimativa de produtividade agrícola da cana-de-açúcar.

### **3.3. Coeficiente de cultura (Kc)**

O coeficiente de cultura (Kc) é definido como a razão entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo).

O Kc, de acordo com Allen et al. (1998), depende da cultura e do estágio de seu desenvolvimento. Isso permite a utilização de valores padrão do coeficiente de cultura em qualquer área de cultivo, os quais são determinados com base na evapotranspiração de referência (ETo) estimada usualmente pelo método de Penman-Monteith (PEREIRA et al., 1997).

De modo geral, são muito utilizados os valores de Kc para a cana-de-açúcar propostos por Doorenbos e Kassam (1994), Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores de Kc para cana-planta.

Período de desenvolvimento	Dias do ciclo	Coefficiente de cultura (Kc)
Do plantio até 25% de cobertura	30 a 60 dias	0,40 a 0,60
De 25 a 50% de cobertura	30 a 40 dias	0,75 a 0,85
De 50 a 75% de cobertura	15 a 25 dias	0,90 a 1,00
De 75 a cobertura completa	45 a 55 dias	1,00 a 1,20
Utilização máxima	180 a 330 dias	1,05 a 1,30
Início de senescência	30 a 150 dias	0,80 a 1,05
Maturação	30 a 60 dias	0,60 a 0,75

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994)

### 3.4. Profundidade efetiva das raízes

O sistema radicular é um importante componente a ser considerado na irrigação das culturas. Em cana-de-açúcar, as raízes desenvolvem-se logo após o plantio, utilizando-se para isso as reservas contidas nos toletes, formando primeiramente as raízes de fixação que suprirão os rebentos que brotarão das gemas. É desejável que as variedades apresentem rápido desenvolvimento inicial (bom perfilhamento) e adequado fechamento das entrelinhas para minimizar a competição com plantas invasoras. Para tanto, o sistema radicular precisa desenvolver-se rapidamente a fim de evitar acamamento. As raízes da cana-de-açúcar são fasciculadas e relativamente superficiais. A metade do sistema radicular distribui-se nos primeiros 30 cm de profundidade (COSTA et al., 2007).

A profundidade efetiva do sistema radicular (Z) é aquela onde se concentram 80% das raízes das plantas. O seu valor depende da cultura e seu estágio de desenvolvimento, com o tipo de solo e seu manejo, além do manejo da irrigação. Para a cultura da cana-de-açúcar irrigada são normalmente utilizados os seguintes valores de profundidade efetiva das raízes: estágio I (fase de brotação e estabelecimento), 15 cm; estágio II (fase de perfilhamento de colmos), 27 cm e estágio III (fase de crescimento de colmos), 40 cm (SANTOS et al., 2010). Para o estágio IV (fase de maturação de colmos) pode-se utilizar 40 cm se a irrigação for prolongada até esta fase (FRIZZONE et al., 2008).

Para fins de irrigação, o conhecimento da profundidade efetiva das raízes é de grande importância tanto para estimativa da lâmina de irrigação para instalação de sensores para monitoramento da umidade do solo. O desenvolvimento radicular depende de vários fatores do solo como sua resistência mecânica, umidade, aeração, fertilidade, acidez e presença de elementos tóxicos no seu perfil. A observação do

sistema radicular pode ser feita pela abertura de trincheiras no local de cultivo (PIRES et al., 2008).

Segundo Blackburn (1984), a distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar apresenta aproximadamente 50% (em peso) de raízes nos primeiros 20 cm de profundidade e 85% até os 60 cm de profundidade do solo. Por outro lado, Sampaio et al. (1987) constataram que 75% das raízes encontravam-se nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e que 55% delas estavam concentradas num raio de 30 cm da touceira. Já Farias et al. (2008) verificaram que a concentração da fitomassa de raízes da variedade SP 79 1011 nos primeiros 60 cm de profundidade foi superior a 90% no cultivo irrigado e 80% no de sequeiro e que, de forma geral, 75% das raízes se encontram nos primeiros 45 cm de profundidade.

### **3.5. Importância da água na cultura da cana-de-açúcar**

O consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (ciclo fenológico), das condições climáticas, da água disponível no solo, da variedade de cana-de-açúcar utilizada, dentre outros fatores (Santos, 2005). Por outro lado, é muito difícil estabelecer uma relação geral entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, devido às variações geográficas de plantio, clima e variedade (Gascho et al., 1983). A época de suprimento de água à cultura da cana-de-açúcar também é importante na produção. Neste sentido, Rosenfeld e Leme (1984), estudando épocas de irrigação para cana-de-açúcar em Ribeirão Preto-SP, concluíram que as maiores reduções de produção ocorreram com déficit hídrico nos primeiros oito meses do ciclo da planta.

A análise biométrica realizada por meio de medidas de dimensões lineares como a altura da planta, comprimento e largura de unidades estruturais morfológicas ou anatômicas, número de unidades estruturais e medidas de superfície (SINCLAIR et al., 2005) e o levantamento de informações sobre o desenvolvimento da parte aérea da cana-de-açúcar são de grande importância pois permitem inferir sobre a influência de fatores como a irrigação da cana-planta ou cana-soca no rendimento final da cultura (GILBERT et al., 2006). Outras variáveis relacionadas à população de perfilhos (SINGELS et al., 2005), evolução da estatura dos colmos (ALMEIDA et al., 2008) e crescimento dos internódios (SINCLAIR et al., 2005), também são importantes no rendimento final da cultura.

Quando o suprimento de água atende plenamente às necessidades hídricas da cultura, a produtividade máxima depende, principalmente, das suas características

genéticas e do grau de adaptação ao ambiente predominante. Caso contrário, a produtividade é determinada pela possibilidade de atendimento das necessidades hídricas totais durante o ciclo da cultura (DOOREMBOS e KASSAN, 1979).

A água é um fator limitante para a produção da cana-de-açúcar e, na medida que se aumenta sua disponibilidade, a cultura pode expressar melhor o seu potencial produtivo até um determinado ponto, após o qual a produtividade passa a decrescer devido ao excesso de água no solo, que causa baixa aeração na zona radicular e lixiviação de nutrientes (BERNARDO e SOUZA, 2009).

As preocupações da maioria dos irrigantes são os questionamentos de quando e quanto irrigar. Saber o momento certo de iniciar as irrigações e o quanto de água aplicar são objetivos do manejo tradicional da irrigação. Nos dias atuais tem-se verificado não somente uma elevação dos custos de energia, mas também a escassez do recurso água, o que obriga o irrigante a assumir posturas diferenciadas acerca desse assunto. Outro componente importante é que tanto o excesso quanto a falta de água podem ter reflexos expressivos na produtividade da cultura. Então surge a necessidade de conhecer a fisiologia da cultura e saber quais os períodos críticos de consumo de água e seus reflexos na produtividade. Portanto, o manejo da irrigação requer a interação de diversos conhecimentos (COSTA et al., 2007).

O estresse hídrico é uma ocorrência comum na produção de sequeiro. Entender o processo e como as culturas reagem às condições desfavoráveis de escassez de água é fundamental para a escolha das melhores práticas de cultivo e para melhor explorar os recursos naturais (SMIT e SINGELS, 2006).

Pesquisas para determinar o estresse máximo que uma cultura pode suportar, sem perdas expressivas na produtividade, estabelecendo indicadores deste, são promissoras tanto para reduzir o uso de água em cultivos irrigados, quanto para melhorar a qualidade da cana. O número de folhas do colmo, o alongamento foliar, a redução da matéria seca, a condutância estomática, o acúmulo de sacarose, entre outros, são atributos para indicação de limites de estresses de água para fins de manejo de irrigação, porém é necessário estabelecer valores destes atributos para cada um das cultivares. (INMAN BAMBER e SMITH, 2005).

Dantas et al. (2006) verificaram que as irrigações realizadas na cultura de cana-de-açúcar, variedade SP79-1011, influenciaram positivamente na fase inicial de crescimento da cana-soca e no início do máximo desenvolvimento. Observaram, ainda, que os parâmetros de crescimento e a qualidade da “cana-soca” foram mais influenciados pela adubação de cobertura do que pela irrigação, sendo que ambas

atuaram de forma independente sobre as variáveis analisadas. Os parâmetros de crescimento e a sacarose (POL) da cana-soca variaram positivamente em função das lâminas de irrigação de forma linear e quadrática, respectivamente, independente da adubação.

Em estudo conduzido no litoral sul do Estado de Alagoas, com irrigação suplementar em cana-soca no mês de janeiro durante o seu primeiro estágio de desenvolvimento, Santos (2005) avaliou os valores esperados dos retornos financeiros nas diferentes alternativas disponíveis. Nas condições analisadas, os resultados dos estudos permitiram obter as seguintes conclusões: existe um grande potencial de viabilidade técnica e econômica para irrigação do início do ano (janeiro), conseguindo os benefícios diretos e indiretos de aumento da produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras, tratos culturais e transporte de cana. A receita líquida esperada apresentou pequena sensibilidade às variáveis de custos como tratos culturais de soqueiras, preparo de solo e plantio.

A aplicação adequada das práticas de irrigação com déficit pode gerar uma economia significativa na alocação de água para irrigação das culturas do amendoim, soja, feijão e cana-de-açúcar, sendo que a cana-de-açúcar pode mostrar proporcionalmente menor redução de rendimento quando o déficit de evapotranspiração relativa é imposto no estágio de crescimento da planta (KIRDA et al., 1999).

A cultivar Co 6806 de cana-de-açúcar irrigada quando a água disponível no solo atingia valores de 55% a 60% apresentou aumento de 11% na produtividade e de 7% e 12% da produção de açúcar e diminuição do volume de água aplicado de 19% e 20% na primeira e segunda épocas de plantio, respectivamente (WAHAB, 2005).

A temperatura e a disponibilidade de água no solo são fatores importantes na síntese de sacarose. Durante o ciclo, a cana-de-açúcar apresenta dois períodos bem distintos em relação ao teor de sacarose: o primeiro é marcado pelo intenso crescimento vegetativo e acúmulo gradual de sacarose; no segundo ocorre o acúmulo de sacarose devido principalmente à queda de temperatura e menor disponibilidade de água no solo (MAGALHÃES, 1987).

A interrupção da irrigação no final do ciclo da cana-de-açúcar visa o acúmulo de açúcares no colmo, melhorando, assim, a produtividade final, já que os açúcares que permanecem na folhagem não podem ser extraídos no processo final, representando mais uma perda de produção (SEGATO et al., 2006).

Em termos gerais, o regime de fornecimento de água mais eficiente em promover o amadurecimento da cana-de-açúcar é aquele que apresenta maior restrição

ao crescimento, embora mantendo um suprimento de água suficiente para síntese, transporte e armazenamento do açúcar. Estudos incluindo a análise de enzimas, num dos primeiros esforços para tentar definir o mecanismo de controle da água sobre o nível de carboidratos, mostraram que plantas com adequado suprimento de água e com boa luminosidade continham mais sacarose nas folhas e menos sacarose armazenada nos colmos, do que aquelas cultivadas com deficiência hídrica. No entanto, a água disponível é essencial para a síntese de sacarose nas folhas e para a translocação dessa sacarose para o colmo e ótima para qualidade do caldo na extração (RODRIGUES, 1995).

### **3.6 Respostas da cana-de-açúcar à irrigação**

O aumento da produção agrícola pode ser conseguido por duas vias: pela expansão da fronteira agrícola e pelo incremento da produtividade. A irrigação, tradicionalmente vista como inviável para a cultura canavieira, especialmente na região Centro-Sul do Brasil, é importante para o incremento da produtividade sem expansão da fronteira agrícola. Todavia, mesmo no Estado de São Paulo, onde a irregularidade das chuvas causa sensíveis reduções de produtividade, pesquisas têm mostrado que, embora a irrigação plena seja geralmente inviável, a irrigação suplementar pode contribuir para o aumento de produtividade, bem como para a longevidade do canavial (redução das quedas de produtividade das soqueiras de um ciclo para outro), resultando em redução dos custos de reforma (LEME FILHO, 2009).

O déficit hídrico é um dos principais fatores que limitam a produção de cana, especialmente em áreas onde há um longo período de deficiência hídrica, como a região centro-oeste brasileira. Em Goianésia (GO), análises comparativas foram realizadas entre as famílias de cana-de-açúcar, 25 progênies, sob dois regimes de irrigação, um sob condições ambientais regulares e outro sob irrigações mensais, durante o período de deficiência hídrica. Algumas famílias de cana-de-açúcar apresentaram valores elevados para o diâmetro de caule, número e altura de colmos, sob condições de estresse hídrico. Este estudo mostrou que é possível selecionar famílias de cana-de-açúcar tolerantes ao déficit hídrico, associado com maior diâmetro de caule, número e altura dos colmos (SILVA et al., 2008).

Em Kibos, no Quênia, a uma altitude de 1128 m, clima sub-úmido, caracterizado por temperaturas elevadas durante o dia, noites frias e chuvas com padrão bimodal, estudos confirmaram que a irrigação pode melhorar consideravelmente a produtividade da cana-de-açúcar das variedades comerciais cultivadas na zona de Nyando. A cana

irrigada apresentou 10% de sacarose em média, mais do que a cana de sequeiro (MUTURI et al., 2010).

Guazzelli e Paes (1997), estudando a resposta de diversas variedades de cana-de-açúcar à irrigação, com uma lâmina equivalente a 75% da evapotranspiração potencial, obtiveram para as variedades RB 72-454, SP 80-1842, SP 79-2233 e SP 80-1836 produtividades de 181, 170, 167 e 155 t ha<sup>-1</sup> de colmos industrializáveis, respectivamente. Souza et al. (1999), encontraram para as variedades RB72-454, RB76-418 e SP70-1011 produtividades máximas de 155,8, 126,9 e 141,9 t ha<sup>-1</sup>, com lâminas totais de água de 1.568, 1.424 e 1.589 mm, respectivamente. Já Gomes (1999) obteve, com a cana-planta, variedade RB72-454, produtividade média de colmos de 130 t ha<sup>-1</sup> para lâmina média de 1.195 mm.

Maule et al. (2001) encontraram no Estado de São Paulo, para a variedade SP79 – 1011, produtividades médias de 149, 154 e 170 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para precipitações totais de 1.478 mm com 14 meses de cultivo, de 1.695 mm com 17 meses de cultivo e de 1.829 mm com 19 meses de cultivo. Dalri (2004) obteve para a cultivar RB72454, na região de Botucatu, SP, em três ciclos de cultivo (cana-planta, 1ª e 2ª soca), uma produtividade média de 202 t ha<sup>-1</sup> para a cana irrigada por gotejamento e uma produtividade média de 145 t ha<sup>-1</sup> para a cana não irrigada.

Em estudos sobre os efeitos da aplicação de vinhaça, com e sem complementação nitrogenada, na produtividade e nos atributos qualitativos da cana-de-açúcar (ATR, Brix, Pol e AR), em ambiente irrigado e não irrigado, Oliveira et al., (2009) concluíram que o uso da irrigação por aspersão proporcionou um rendimento médio de colmos 15,25% maior que o obtido no ambiente não irrigado, em Perdões MG.

Em seus trabalhos de pesquisas no município de Capim, na Paraíba, Dantas Neto et al. (2006), analisando os parâmetros de crescimento, qualidade e rendimento da cana-de-açúcar, concluíram que as irrigações influenciaram na fase inicial de crescimento da cana-soca, no início do máximo desenvolvimento e nos parâmetros de crescimento.

### **3.7. Principais tipos, sistemas e métodos de irrigação utilizados na cana-de-açúcar no Brasil e no mundo**

A irrigação é a tecnologia utilizada na agricultura para aplicar água ao solo, possibilitando o cultivo em locais onde o déficit hídrico é acentuado e prolongado. A

aplicação de água ao solo pode ser feita de diversas maneiras: total, complementar, com déficit hídrico e de salvação, conforme descrição abaixo:

- Irrigação total: quando toda a água necessária para atender a demanda hídrica das culturas é aplicada via irrigação.
- Irrigação complementar: neste tipo de manejo apenas parte da demanda evapotranspirométrica das culturas é atendida pela irrigação, ou seja, a irrigação suplementará a precipitação efetiva no atendimento da demanda das culturas.
- Irrigação com déficit: quando se planeja atender somente uma fração da demanda hídrica da cultura. Pode ser praticada com irrigação total e complementar. O déficit controlado pode ser imposto durante todo o ciclo da cultura ou somente nas fases não críticas ao déficit de água. Neste último caso, se obtém menores quedas na produtividade potencial da cultura.
- Irrigação de salvação: neste caso a irrigação é aplicada somente num período relativamente curto do ciclo de desenvolvimento ou em um estágio do cultivo. Na cana-de-açúcar o exemplo típico ocorre, com o aproveitamento da água de lavagem da cana e do vinhoto aplicados logo após o plantio ou corte da cana, visando potencializar a brotação das gemas. A aplicação é feita em duas ou três irrigações de 60 mm/mês (REZENDE e ANDRADE JR, 2010).

A cana-de-açúcar pode, em princípio, ser irrigada por qualquer sistema de irrigação: superficial, aspersão ou localizada. Não existe um sistema mais indicado e sim vantagens e desvantagens, as quais precisam ser avaliadas. Para cada situação deverá existir um sistema adequado. Em virtude da preocupação, em nível mundial, com a questão de gerenciamento, conservação e economia de recursos hídricos, tem sido recomendado, para a grande maioria das culturas, o uso de sistemas de irrigação pressurizada. Dentre estes, destaca-se o sistema localizado, tanto para novas áreas, quanto para a substituição dos de superfície e de aspersão, por ser mais eficiente na aplicação de água e de fertilizantes (fertirrigação), nas mais diversas condições ambientais. A escolha do sistema de irrigação deve ter como base a análise de fatores como tipo de solo, clima, topografia, custo do sistema, uso de mão de obra e energia, resistência de pragas e doenças, quantidade e qualidade de água disponível (COSTA et al., 2007).

O pivô central, muito utilizado em cana-de-açúcar, é constituído por uma tubulação de aço suspensa, dotada de aspersores e sustentada por armações metálicas com rodas pneumáticas, denominadas torres, e por um sistema de comando. O carretel enrolador é constituído por um conjunto motobomba, uma tubulação adutora e

tubulações dotadas de hidrantes, onde o carretel enrolador é conectado. Já o sistema montagem direta é composto por um conjunto motobomba auto-escorvante, um guindaste e um aspersor setorial do tipo canhão hidráulico. O conjunto é montado sobre um chassi dotado de quatro rodas pneumáticas.

No método de irrigação por superfície, a irrigação por sulcos é o mais utilizado. Neste sistema, são abertos sulcos paralelos às fileiras de plantio da cana-de-açúcar, nos quais é feita a aplicação de água.

O método de irrigação localizada é caracterizado pela aplicação de água em pequena intensidade e com alta frequência, para manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo. Na cana-de-açúcar, o gotejamento subsuperficial, que aplica água diretamente abaixo da superfície do solo, com uso de tubulação enterrada é o mais utilizado (OLIVEIRA et al., 2011).

As principais vantagens do pivô central são: economia de mão de obra; uniformidade em todas as irrigações; após completar uma irrigação o sistema estará na posição para iniciar a próxima e boa uniformidade de aplicação. As principais desvantagens são: alta intensidade de aplicação na extremidade da linha lateral do pivô, o que pode acarretar escoamento superficial; perda de 20% de área irrigada, comparado com áreas retangulares ou quadradas (MANTOVANI et al., 2009). No caso do carretel enrolador, as principais vantagens são: mobilidade e versatilidade do equipamento, facilidade de operação, menor quantidade de tubos e acessórios, maior rendimento operacional, menor perda de áreas com canais e menor quantidade de mudanças e transporte da máquina e motobomba. Suas limitações resumem-se ao alto consumo de energia e à alta intensidade de aplicação. Além disso, exige maior cuidado e atenção por se tratar de um equipamento grande e pesado, necessitando de alta potência e dois operadores para o manuseio do equipamento, além de um trator (BERNARDO e SOUZA 2009).

A irrigação localizada tem interesse crescente no Brasil pelo fato da maior economia de água, entre outros fatores. No sistema de irrigação por gotejamento um dos maiores problemas é a ocorrência de entupimento dos emissores. As causas podem ser devido à natureza física, química e biológica da água de irrigação e, no caso de gotejamento subsuperficial, o entupimento pode ocorrer também por intrusão radicular nos gotejadores. Na cana-de-açúcar, o problema de intrusão se agrava por causa de seu sistema radicular fasciculado, composto por raízes finas, que crescem e penetram nos gotejadores. Outro fator que também provoca o entupimento dos emissores é a ocorrência de vácuo na linha lateral enterrada, que pode succionar partículas do solo

para o interior dos gotejadores. Apesar desses problemas, o gotejamento subsuperficial tem sido usado na cultura da cana-de-açúcar por proporcionar aumento de produtividade com otimização de água e energia, além de não interferir nas práticas culturais. O uso de sistema de irrigação por sulcos demanda muita mão de obra por unidade de área, usada principalmente no controle da água nos canais e na aplicação da vazão aos sulcos (SANTOS et al., 2010).

O método de irrigação nas áreas de produção das usinas brasileiras concentram-se basicamente na aspersão, utilizando os sistemas pivô central, montagem direta e carretel enrolador, entre outros, para garantir a distribuição de águas residuárias de processos industriais e vinhaça. Um outro método de irrigação que tende a se difundir é a irrigação por gotejamento, que já conta com mais de 320 mil hectares de cana-de-açúcar irrigados no mundo (DONZELLI, 2006).

Na Jamaica, dos 100.000 hectares irrigados por pivô central, 46.000 hectares são utilizados na irrigação da cana-de-açúcar. Segundo Gayle (2010), os sistemas de irrigação por pivô estão proporcionando mais de 300% de aumento na produtividade da cana-de-açúcar e ampliação do ciclo de 3 para 5 anos, resultando em economia anual de 4.800 dólares por hectare de cana-de-açúcar plantado.

No Sub-Médio Vale do São Francisco, o melhor sistema de irrigação da cana-de-açúcar avaliado pelas variáveis de produção por hectare e custo por hectare foi o gotejamento, considerado o mais viável dos sistemas, apresentando uma alta eficiência de aplicação da água, em torno de 90% a 95%. No entanto, este sistema requereu um alto investimento inicial (AMORIN et al., 2007).

### **3.8. Tecnologias de manejo de irrigação disponíveis no mercado brasileiro e indicadas para a cana-de-açúcar**

Seja qual for o processo utilizado de monitoramento é fundamental entender que o manejo da irrigação só será adequado se forem consideradas as inter-relações solo-água-atmosfera-planta. Na literatura são amplas as citações de equipamentos e processos aplicados no monitoramento com objetivo de manejo da irrigação (DOOREMBOS e PRUITT, 1975; KELLER e BLIESNER, 1990; BERNARDO, 2006). No entanto, elas são muito restritas na definição dos métodos de monitoramento adotados para o manejo da irrigação nas diferentes regiões do mundo. Na maioria das vezes somente apresentam informações referentes à área irrigada e principais problemas, não descrevendo qual manejo da irrigação vem sendo utilizado e quais os problemas associados (MANTOVANI et al., 2009).

No cultivo irrigado da cana-de-açúcar é de capital importância definir os estágios de desenvolvimento da cultura a fim de otimizar a eficiência de aplicação da irrigação. Assim, os quatro estágios do ciclo da cana de doze meses tem as seguintes durações: germinação e emergência (1 mês); perfilhamento e estabelecimento da cultura (2 a 3 meses); desenvolvimento da cultura (6 a 7 meses) e maturação (2 meses). Os dois primeiros estágios são os mais críticos ao déficit hídrico. O terceiro estágio responde à lâmina aplicada, mas o déficit hídrico não causa tantos prejuízos à produtividade quanto nos dois primeiros. O quarto estágio responde positivamente ao déficit hídrico e o teor de açúcar costuma ser afetado adversamente pelo excesso de umidade neste estágio. Ressalta-se que o consumo diário de água é maior no terceiro estágio do que nos dois primeiros, em função do maior índice de área foliar (BERNARDO, 2006).

Para fins de manejo da irrigação torna-se fundamental o conhecimento de algumas características físico-hídricas do solo, da cultura e do clima, entre as quais: a capacidade de campo (Cc); o ponto de murcha permanente (Pm); a densidade do solo; a profundidade efetiva do sistema radicular e a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). De maneira geral, quando o sistema de irrigação for dimensionado e manejado adequadamente pode-se considerar uma eficiência de aplicação de água ( $E_a$ ) em torno de 90% para gotejamento subsuperficial; 85% para pivô central e sistema linear; 75% para os sistemas carretel enrolador, montagem direta, autopropelido e canhão hidráulico portátil; e 60% para sistema de irrigação por sulco (SANTOS et al., 2010).

No manejo da irrigação da cana-de-açúcar pode-se utilizar a tensiometria. De modo geral, a determinação das tensões de água no solo com tensiômetro tem uma precisão relativamente boa. O tensiômetro pode ser utilizado para automatizar a operação do sistema de irrigação (BERNARDO, 2006).

No manejo, as irrigações podem ser realizadas com lâminas e intervalos fixos ou variáveis, e a adoção dos critérios envolvidos na tomada de decisão depende do nível tecnológico da propriedade, da instrumentação disponível, da cultura, das condições edafoclimáticas, do custo, da qualidade e disponibilidade de água, do método e da rentabilidade associada à atividade (COSTA et al., 2007).

Em suas pesquisas, Dantas Neto et al. (2006) utilizaram no manejo da irrigação da cana-de-açúcar lâminas de irrigação aplicadas em intervalos de 12 dias e calculadas com base na evaporação diária do tanque Classe A, utilizando-se coeficientes de tanque,  $K_p$  (Doorenbos e Pruitt, 1975), e de cultura,  $K_c$  (Doorenbos e Kassam, 1979), definidos em função das condições locais, e consideraram como precipitação aproveitável a

quantidade de chuva igual ou menor que a capacidade de água disponível do solo e/ou da evapotranspiração do turno de irrigação de 12 dias. Já Dalri e Cruz (2008) adotaram lâmina bruta de irrigação fixa, variando-se o turno de rega, com a evapotranspiração diária da cana-de-açúcar sendo estimada pelo tanque Classe A. O momento correspondente ao início da irrigação foi quando o somatório da evapotranspiração diária da cultura superava 20 mm.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na fazenda Varginha, Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, Campus Bambuí, em área cuja latitude é de 20°02'43" S e longitude 46°00'40" W.

O tipo climático da área experimental é subtropical, Cwa, segundo classificação de Koeppen, com inverno seco (meses de junho, julho e agosto) e verão chuvoso (meses de novembro, dezembro e janeiro). A temperatura média anual é de 20,7°C e a precipitação média anual em torno de 1.425 mm.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Figura 2). Amostras de solo da área experimental foram retiradas e encaminhadas ao Laboratório de Solos do IFMG-Bambuí para determinação de suas características químicas e orgânica ( Tabela 2).



**Figura 2.** Vista parcial da área experimental (Latossolo Vermelho Distroférico).

**Tabela 2.** Análise química das amostras de solo da área dos dois experimentos.

Variáveis	Unidade	Maio/2010	Agosto de 2010
pH(H <sub>2</sub> O)	- log H <sup>+</sup>	6,00	6,40
t		9,15	12,59
T	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11,83	14,83
SB		9,15	12,59
P	mg dm <sup>-3</sup>	4,6	11,27
K		178	170
Ca <sup>2+</sup>		7,13	10,20
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,56	1,70
Al <sup>3+</sup>		0,00	0,00
H+Al		2,68	2,24
MO	dag.kg <sup>-1</sup>	2,07	2,50
Zn		1,4	5,1
Fe		30,3	17,4
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	33,6	41,2
Cu		1,41	2,60
B		0,81	0,95
S		7,21	10,08

Fonte: Laboratório de Análises Químicas de Solo do IFMG-Bambuí.

Amostras de solo das áreas dos experimentos 1 e 2, implantados em maio e agosto de 2010, respectivamente, também foram submetidas à análises físico-hídricas, realizadas no Laboratório de Hidrodinâmica de Irrigação Soil Physics, Piracicaba, SP (Tabelas 3 e 4 e Figura 3). Estes dados foram utilizados para fins de estimativa da lâmina de água a ser aplicada nas irrigações.

Para a determinação da umidade atual do solo utilizou-se a equação de Genutchtem (1980):

$$\theta_a = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n\right]^{(1-1/n)}} \quad (1)$$

em que:

$\theta_a$  = umidade atual (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\theta_r$  = umidade residual (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\theta_s$  = umidade de saturação (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\Psi_m$  = potencial matricial (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\alpha$ ,  $n$  = coeficientes gerados pelo modelo.

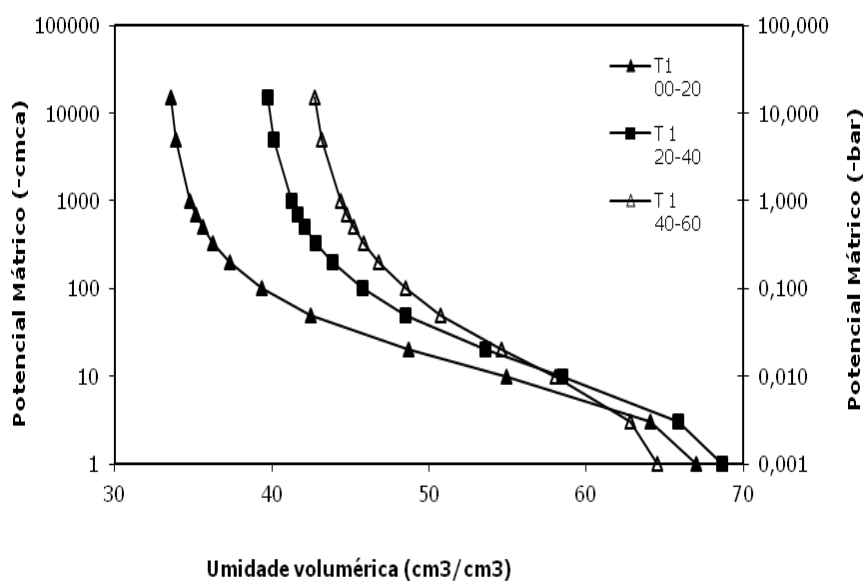
Os parâmetros ajustados da equação de Genutchtem (1980) para o Latossolo Vermelho distroférico, das duas áreas experimentais, são apresentados no Anexo A.

**Tabela 3.** Parâmetros físico-hídricos do Latossolo Vermelho distroférico da área do experimento 1 ( $E_1$ ), implantado em maio de 2010.

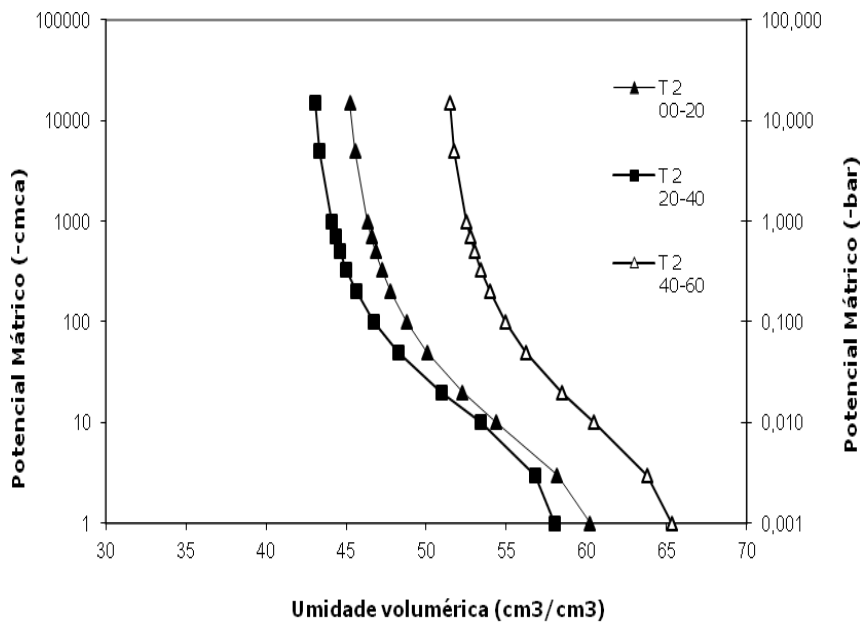
Identifi- cação	Profundi- dade amostrada (cm)	Densidade ( $g\ cm^{-3}$ )	Umidade de saturação (%)	Umidade atual (%)	Micropo- rosidade (%)	Macropo- rosidade (%)
$E_1$ (20)	0 – 20	1,15	67,81	26,11	61,49	38,51
$E_1$ (40)	20 – 40	1,27	69,46	22,14	68,13	31,87
$E_1$ (60)	40 – 60	1,30	65,05	14,31	78,00	22,00

**Tabela 4.** Parâmetros físico-hídricos do Latossolo Vermelho distroférico da área do experimento 2 ( $E_2$ ), implantado em agosto de 2010.

Identifi- cação	Profundi- dade amostrada (cm)	Densidade ( $g\ cm^{-3}$ )	Umidade de saturação (%)	Umidade atual (%)	Micropo- rosidade (%)	Macropo- rosidade (%)
$E_2$ (20)	0 – 20	1,45	61,13	11,38	81,39	18,61
$E_2$ (40)	20 – 40	1,34	58,39	10,44	82,11	17,89
$E_2$ (60)	40 – 60	1,32	65,90	9,75	85,21	14,79



**Figura 3.** Curva de retenção da água para o Latossolo Vermelho distroférico da área experimental onde foi instalado o experimento 1 ( $T_1$ ), com plantio em maio de 2010.



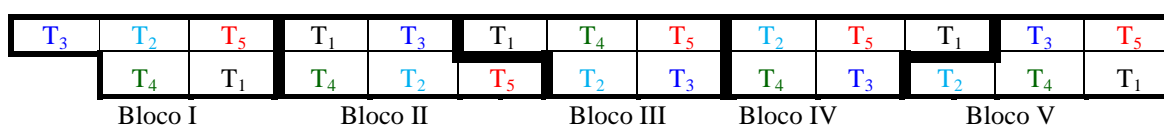
**Figura 4.** Curva de retenção da água para o Latossolo Vermelho distroférico da área experimental onde foi instalado o experimento 2 (T<sub>2</sub>), com plantio em agosto de 2010.

Os experimentos 1 e 2 foram conduzidos em duas épocas de plantio, maio e agosto de 2010, respectivamente. As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de plantio de cana-de-açúcar com 12 metros de comprimento, espaçadas de 1,40 m, totalizando 84 m<sup>2</sup>, sendo considerada como área útil as 3 linhas centrais, descartando-se 3,0 metros nas extremidades de cada linha, totalizando 25,20 m<sup>2</sup>.

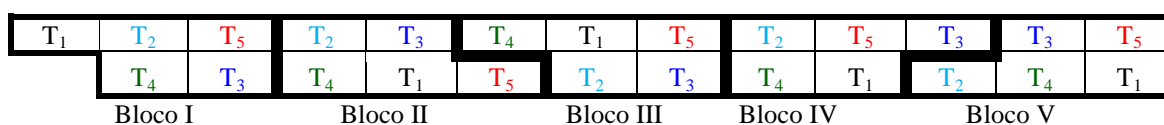
Os experimentos foram implantados em uma área total de 6.000 m<sup>2</sup>, sendo 4.800 m<sup>2</sup> irrigados e 1.200 m<sup>2</sup> em condições de sequeiro, sob delineamento em blocos ao acaso (DBC), com 5 tratamentos: T1 - parcela sem irrigação, T2 - lâmina correspondente a 40% da irrigação total necessária (ITN), T3 - 70% da ITN, T4 - 100% da ITN e T5 - 130% da ITN e 5 repetições (Figuras 5 e 6).

A utilização da variedade de cana-de-açúcar SP9-11049 (Figura 7) para a implantação dos experimentos ocorreu em função de seu expressivo uso na região. Conforme setor técnico da Total Agroindústria Canavieira de BambuÍ-MG, a referida variedade é o resultado do cruzamento das variedades SP8-03328 x SP-81-3250, destacando-se pela precocidade e alto teor de sacarose, sendo recomendada para colheita no início da safra; apresenta hábito semi-ereto, médio teor de fibra, floresce pouco e é resistente às principais doenças e pragas.

O plantio foi realizado com toletes de aproximadamente 40 cm, em uma profundidade de 35 cm, mantendo-se o espaçamento de 1,40 m entre linhas. No fundo do sulco de plantio foi aplicado 500 kg ha<sup>-1</sup> do adubo 4-30-16 mais 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, correspondendo a 20 kg de N, 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 140 kg de K<sub>2</sub>O. Em cobertura foi aplicado 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Como fontes destes nutrientes foram utilizados os produtos comerciais uréia e cloreto de potássio, respectivamente. Para o controle das plantas daninhas foi aplicado herbicida com princípio ativo Diuron na dose de 3 L ha<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Croqui da área total e da subdivisão em blocos do experimento 1, implantado em maio de 2010.



**Figura 6.** Croqui da área total e da subdivisão em blocos do experimento 2, implantado em agosto de 2010.



**Figura 7.** Variedade de cana-de-açúcar SP911049 utilizada nos experimentos 1 e 2.

### 4.3. Irrigação

Para efeito de obtenção da lâmina de irrigação o sistema utilizado nos dois experimentos foi o de microaspersão, que teve como objetivo cobrir 100% das parcelas irrigadas e aplicar eficientemente as lâminas correspondentes aos tratamentos indicados. Alguns dados sobre os microaspersores utilizados nos experimentos para a obtenção das lâminas de irrigação correspondentes a 40, 70, 100 e 130% da ITN são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Dados sobre os microaspersores utilizados nos experimentos, obtidos no sistema de irrigação por microaspersão em funcionamento no campo.

Micro-aspersor	Pressão serviço (kPa)	Espaçamento (m x m)	Vazão (L/H)	Intensidade de aplicação (mm/h)	Lâmina aplicada (% da ITN)	CUC (coef. uniformidade Christiansen) %
Vermelho	200	3,50x2,80	70,07	7,15	130	96,17
Verde	200	3,50x2,80	53,92	5,50	100	96,70
Azul escuro	200	3,50x2,80	37,74	3,85	70	97,20
Azul claro	200	3,50x2,80	21,57	2,20	40	97,49

A irrigação total necessária (ITN) foi determinada de acordo com os parâmetros físico-hídricos do solo, dados climáticos obtidos na estação climatológica instalada no Campus do IFMG Bambuí-MG e valores de Kc (coeficiente de cultura) propostos por Doorenbos e Kassam (1994). Para fins de monitoramento da umidade do solo foram utilizados tensiômetros com coluna de mercúrio, instalados na área experimental (Figura 8). A precipitação efetiva do período foi considerada em função da média mensal da precipitação e da evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>pc</sub>), calculada com base no método do Serviço de Conservação de Solos dos EUA (BERNARDO, 2006).



**Figura 8.** Baterias de tensiômetros com coluna de mercúrio instaladas nos experimentos.

Na determinação das lâminas totais de água aplicadas em cada tratamento foi considerada a irrigação total necessária (ITN) acrescida da precipitação efetiva considerada durante o período de experimentação, tabela 6 e tabela 7.

**Tabela 6.** Lâmina total de água - mm (irrigação + precipitação efetiva) do experimento 1 de cana-de-açúcar implantado em maio de no IFMG BAMBUÍ-MG.

Mês/ano	S/irrigação	40% ITN	70% ITN	100% ITN	130% ITN
mai/10	26,00	35,18	42,06	48,94	55,82
jun/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
jul/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
ago/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
set/10	64,00	91,53	112,17	132,82	153,47
out/10	103,00	112,18	119,06	125,94	132,82
nov/10	120,00	129,18	136,06	142,94	149,82
dez/10	130,00	148,35	162,11	175,88	189,64
jan/11	140,00	149,18	156,06	162,94	169,82
fev/11	92,00	119,81	140,67	161,53	182,39
mar/11	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
abr/11	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
mai/11	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Total	934,00	1127,00	1271,70	1416,45	1561,19

**Tabela 7.** Lâmina total de água - mm (irrigação + precipitação efetiva) do experimento 2 de cana-de-açúcar implantado em agosto de 2010 no IFMG BAMBUÍ-MG.

Mês/ano	S/irrigação	40% ITN	70% ITN	100% ITN	130% ITN
ago/10	18,33	18,33	32,08	45,83	59,60
set/10	65,00	81,33	95,08	108,83	122,58
out/10	105,00	132,50	153,12	173,74	194,36
nov/10	116,00	125,16	132,04	138,91	145,78
dez/10	130,00	139,16	146,04	152,91	159,78
jan/11	125,00	143,33	157,08	170,83	184,58
fev/11	90,00	99,16	106,04	112,91	119,78
mar/11	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
abr/11	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
mai/11	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
jun/11	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Total	921,33	1011,00	1093,48	1175,96	1258,46

#### **4.4. Produtividade e fatores de produção da cana-de-açúcar**

Para avaliação da produtividade e dos fatores de produção da cultura foi realizada a colheita manual da cana-de-açúcar utilizando-se a seguinte metodologia: em cada linha da área útil de cada parcela, constituída por três linhas centrais, foi coletado um feixe de cana contendo 10 colmos industrializáveis, retirados em sequência, totalizando 30 colmos, conforme proposto por Assis et al. (2004) e Gava et al. (2011).

##### **4.4.1. Peso médio de colmos**

Para determinação do peso médio de colmos foram pesados os 30 colmos de cana-de-açúcar colhidos em cada parcela.

##### **4.4.2. Comprimento médio de colmos**

Para mensuração do comprimento médio de colmos da planta de cana-de-açúcar foram utilizados os 30 colmos colhidos em cada parcela, os quais foram medidos com uma trena, da base à ponta, sendo determinado o comprimento médio de colmos por parcela.

##### **4.4.3. Diâmetro médio de colmos**

Na mensuração do diâmetro médio de colmos da planta de cana-de-açúcar também foram utilizados os 30 colmos colhidos em cada parcela, que foram medidos com paquímetro digital no centro do segundo entrenó, acima do solo, sendo determinado o diâmetro médio dos colmos por parcela, conforme proposto por Assis et al. (2004) e Gava et al. (2011).

#### **4.4.4. Determinação da produtividade em TCH (toneladas de colmos industrializáveis, por hectare)**

Os 30 colmos industrializáveis colhidos foram submetidos à pesagem. Para determinação da produtividade da cana, em  $t\ ha^{-1}$ , foi medida a área na qual os colmos foram colhidos e obtido o peso dos colmos em kg, fazendo-se na sequência a conversão para toneladas por hectare.

#### **4.4.5. Determinação da produtividade em toneladas de ATR $ha^{-1}$ (açúcares totais recuperáveis por hectare)**

Foi determinada a quantidade de ATR, em Kg, dos 30 colmos industrializáveis colhidos e medida a área na qual estes colmos foram coletados. De posse destes dados foram determinados a produtividade da cana em kg de ATR  $m^{-2}$ . Em seguida, a produtividade em kg de ATR  $m^{-2}$  foi transformada em t de ATR  $ha^{-1}$ .

#### **4.5. Avaliação de colmos nas fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar, do plantio à maturação**

Para avaliação de colmos nas diversas fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar contou-se, nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação, todos os colmos da área útil de cada tratamento. Em seguida, determinou-se o número de colmos por parcela, por metro e por hectare.

#### **4.6. Atributos qualitativos da cana-de-açúcar**

Para determinação dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar foram colhidos 30 colmos em cada parcela útil. Em seguida, estes colmos foram despontados, despalhados, pesados e encaminhados ao laboratório da Total Agroindústria Canavieira de Bambuí-MG, onde foram determinados os seguintes atributos: peso do bolo úmido (PBU), teor de sólidos solúveis de caldo (SST) ou BRIX do caldo (B), teor de sacarose aparente do caldo ou Pol do caldo (S), açúcares redutores do caldo (AR), fibra, teor de sacarose aparente da cana ou pol da cana-de-açúcar (PC), açúcar redutor da cana (ARC) e açúcar total recuperável (ATR).

As análises laboratoriais seguiram a metodologia do CONSECANA (2006). Primeiramente fracionou-se cada amostra separadamente e homogeneizou-se o bagaço para depois retirar uma amostra de 500 g, para a prensagem, determinação do peso do bagaço úmido e coleta do caldo para leitura de brix e pol. A prensagem foi realizada

durante um minuto, a uma pressão constante de 24,5 MPa e logo após obteve-se o peso do bagaço úmido em balança analítica de 500 g, com precisão de 0,5 g.

O caldo retirado das amostras foi dividido em duas partes, uma para a leitura do brix, por meio de um sacarímetro digital, e a outra para a leitura da pol da cana. Na leitura da pol da cana primeiramente aplicou-se ao caldo um clarificante a base de alumínio e, em seguida, o mesmo foi passado em um filtro de papel com espessura de 205 µm e realizada a leitura no sacarímetro digital. Após análise de cada amostra todo o equipamento utilizado foi lavado com água destilada para evitar contaminação da próxima amostra.

A Pol do caldo (S), os açúcares redutores do caldo (AR), a Pol da cana-de-açúcar (PC), os açúcares redutores da cana-de-açúcar (ARC) e o açúcar total recuperável (ATR) foram calculados utilizando-se as equações apresentadas a seguir (CONSECANA, 2006).

#### 4.6.1. Pol do caldo (S)

A pol do caldo extraído (S), % em peso, reflete o teor de sacarose aparente do caldo.

$$S = LPb \times (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad (2)$$

em que:

*LPb* = leitura sacarimétrica obtida com o clarificante subacetato de chumbo e corrigida para 20°C, em °Z;

*B* = brix (teor de sólidos solúveis), % em peso do caldo, corrigido para 20°C.

#### 4.6.2. Açúcares redutores do caldo (AR)

Os açúcares redutores do caldo (AR), em % em peso de caldo, foram calculados pela equação de correlação obtida entre a pureza do caldo (Q) e os açúcares redutores analisados.

$$AR = 3,641 - 0,0343 \times Q \quad (3)$$

em que:

*Q* = pureza aparente do caldo, expressa em %, calculada com a equação:

$$Q = \frac{S}{B} \times 100 \quad (4)$$

#### 4.6.3. Pol da cana-de-açúcar (PC)

A pol da cana (PC), em %, foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$PC = S \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad (5)$$

em que:

$F$  = fibra industrial da cana, calculada em função da massa, em gramas, do material fibroso residual da prensagem da amostra (bolo úmido):

$$F = 0,08 \times PBU + 0,876 \quad (6)$$

$PBU$  = peso do bagaço (bolo) úmido (g);

$C$  = coeficiente utilizado para a transformação da pol do caldo extraído pela prensa ( $S$ ) em pol de cana (PC).

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F \quad (7)$$

#### 4.6.4. Açúcares redutores da cana (ARC)

A transformação do AR em açúcares redutores da cana (ARC), em % em peso, foi feita pela seguinte expressão:

$$ARC = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad (8)$$

#### 4.6.5 Açúcares totais recuperáveis (ATR)

A obtenção do ATR, em  $\text{kg t}^{-1}$  cana-de-açúcar, foi obtida pela seguinte expressão:

$$ATR = 9,5263 \times PC + 9,05 \times ARC \quad (9)$$

#### 4.7. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de variância, teste Dunnet e regressão. Para comparar a média de cada tratamento correspondente às diferentes lâminas efetivas totais de água com a parcela sem irrigação foi utilizado o teste Dunnet ao nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (lâminas de irrigação) a escolha do modelo de regressão baseou-se na significância dos coeficientes de regressão e no coeficiente de determinação.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Produtividade de colmos industrializáveis

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados os valores médios observados da variável TCH (toneladas de colmos industrializáveis, por hectare), em função de diferentes lâminas de irrigação, para a variedade de cana SP911049 plantada em maio e agosto de 2010, respectivamente.

**Tabela 8.** Valores médios observados da variável TCH em função de diferentes lâminas de irrigação, para cana plantada em maio de 2010.

Lâmina de irrigação (mm)	Lâmina total (mm)	TCH (t ha <sup>-1</sup> )
0 (0% ITN)	934	117
193 (40% ITN)	1127	138
337 (70% ITN)	1272	161 *
482 (100% ITN)	1416	163 *
626 (130% ITN)	1561	169 *

CV= 10,93% DMS = 31,70

As médias com asteriscos diferem da testemunha ou padrão (0) ao nível de 5% pelo teste de Dunnett.

**Tabela 9.** Valores médios observados da variável TCH em função de diferentes lâminas de irrigação, para cana plantada em agosto de 2010.

Lâmina de irrigação (mm)	Lâmina efetiva total (mm)	TCH (t ha <sup>-1</sup> )
0 (0% ITN)	921	105
110 (40% ITN)	1011	129 *
192 (70% ITN)	1093	150 *
275 (100% ITN)	1176	147 *
357 (130% ITN)	1258	151 *

CV= 10,01% DMS = 26,45

As médias com asteriscos diferem da testemunha ou padrão (0) ao nível de 5% pelo teste de Dunnett.

De acordo com os dados da Tabela 8, houve resposta positiva da cana-de-açúcar à irrigação, em termos de TCH, quando se comparou as lâminas de irrigação de 70%, 100% e 130% da ITN (irrigação total necessária) com a testemunha (0% da ITN), para a cana-de-açúcar SP911049 cultivada em Latossolo Vermelho distroférico, no município de Bambuí-MG, e plantada em maio.

Analisando-se os dados da Tabela 9 verifica-se que houve resposta positiva da cana-de-açúcar à irrigação, em termos de TCH, quando se comparou as lâminas de irrigação de 40%, 70%, 100% e 130% da ITN (irrigação total necessária) com a testemunha (0% da ITN), para a variedade de cana-de-açúcar SP911049 cultivada em Latossolo Vermelho distroférico, no município de Bambuí-MG, e plantada em agosto.

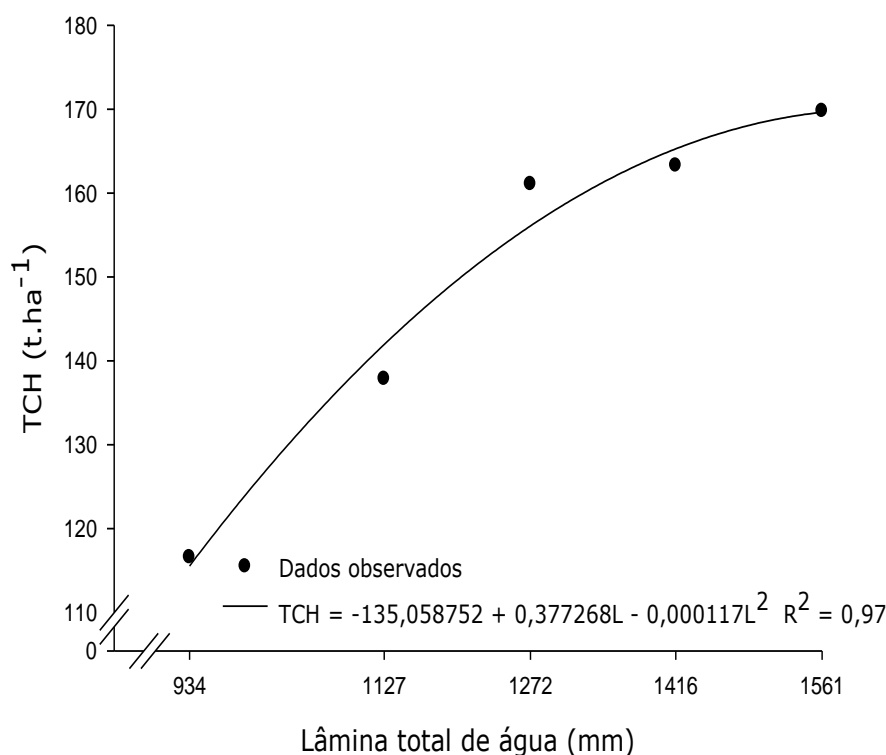
A maior uniformidade dos valores de TCH para os tratamentos nos quais as lâminas de irrigação foram de 40%, 70%, 100% e 130% da ITN pode ser justificada pela maior uniformidade na distribuição das chuvas e menor demanda

evapotranspirométrica para o plantio de agosto comparativamente ao de maio, fato que pode ser comprovado pela diferença nas lâminas de irrigação correspondentes aos distintos períodos de plantio (Tabelas 8 e 9).

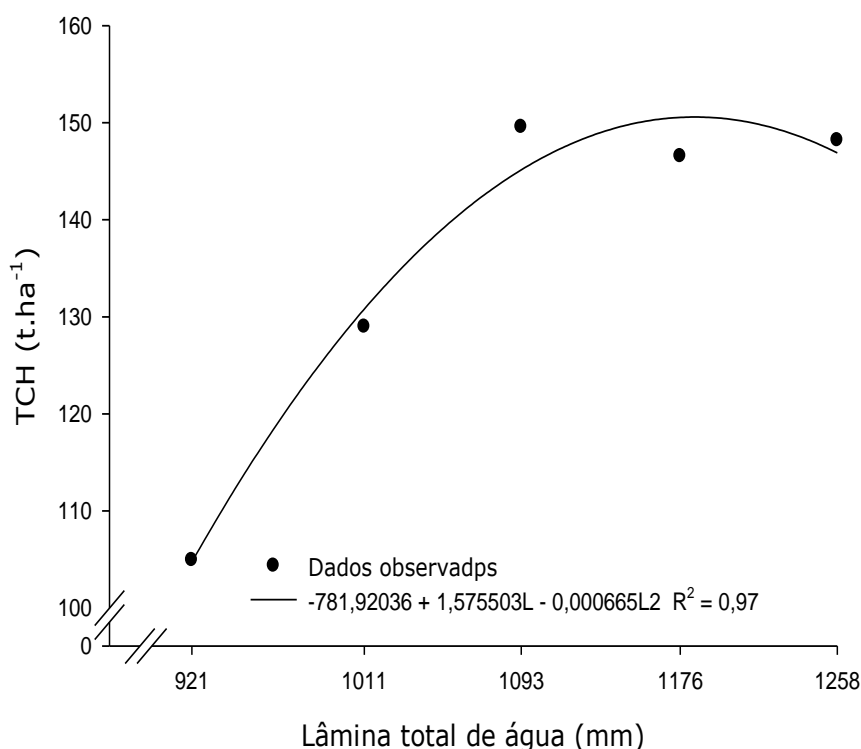
As menores produtividades encontradas para o plantio em maio, comparativamente a agosto, podem ser justificadas pela redução do ciclo de cultivo para a planta cultivada em agosto, acarretando melhoria nos parâmetros de produtividade de colmos, destacadamente peso médio por colmos (PMC) e número de colmos por hectare (NCH).

Destaca-se, ainda, que para se definir qual a lâmina de irrigação é mais viável tanto para o plantio de maio quanto de agosto, deve-se fazer uma análise técnica criteriosa levando-se em conta as variáveis econômica e ambiental.

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os valores médios e equações ajustadas de TCH em função das lâminas efetivas totais de água, obtidas da variedade de cana-de-açúcar SP911049 cultivada nos meses de maio e agosto de 2010, respectivamente.



**Figura 9.** Valores médios e equações ajustadas de TCH em função de diferentes lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em maio de 2010.



**Figura 10.** Valores médios e equações ajustadas de TCH em função de diferentes lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em agosto de 2010.

O maior valor de TCH (169 t ha<sup>-1</sup>) no plantio de maio (Figura 9) foi obtido com a lâmina total de água de 1.561 mm, correspondente a 130% da ITN, sendo coerente com os resultados obtidos por Doorenbos e Kassan (1979), que consideram como satisfatórios, em áreas irrigadas, rendimentos acima de 100 t ha<sup>-1</sup> e demanda hídrica da cultura entre 1.500 e 2.500 mm.

No experimento plantado em agosto de 2010 (Figura 10), o máximo valor de TCH (151 t ha<sup>-1</sup>) foi obtido com a lâmina total de água de 1.184 mm, estando de acordo com Blackburn (1984), o qual relata que o suprimento adequado de água é essencial para o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar, com demanda em torno de 1.200 mm ao ano.

Foram constatados incrementos na produtividade de colmos superiores a 45% e a 44%, em relação à menor lâmina total de água aplicada (parcela sem irrigação), nos resultados dos experimentos implantados em maio e agosto de 2010, respectivamente (Figuras 9 e 10), sendo estes incrementos atribuídos à disponibilidade hídrica adequada durante todo o período de crescimento, o que proporcionou uma maior disponibilidade de nutrientes para o sistema radicular da cana-de-açúcar. Com isto, deve ter ocorrido remobilização de energia e de carboidratos nas raízes, que contribuiram para o aumento

do perfilhamento e alongamento do colmo (Inman-Bamber e Smith, 2005; Singh et al., 2007). A remobilização de energia e carboidratos pode ter sido estimulada pela produção do hormônio vegetal citoquinina, responsável pelo crescimento vegetativo da parte aérea das plantas (Takei et al., 2002).

As respostas positivas obtidas na produtividade da cana-de-açúcar em função da lâmina total de água, demonstrado nas equações obtidas (Figuras 9 e 10), foram coerentes com resultados obtidos por diversos pesquisadores: Guazzelli e Paes (1997), Souza et al. (1999), Gomes (1999), Maule et al. (2001) e Dalri (2004).

## 5.2. Produtividade de açúcar total recuperável (ATR)

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os valores médios observados da variável ATR, em função de diferentes lâminas de irrigação, para a variedade de cana SP911049 plantada em maio e agosto de 2010, respectivamente.

**Tabela 10.** Valores médios observados da variável ATR, em  $t\ ha^{-1}$ , em função de diferentes lâminas de irrigação, para variedade de cana SP911049 plantada em maio de 2010.

Lâmina de irrigação mm	Lâmina efetiva total mm	ATR $t\ ha^{-1}$
0 (0% ITN)	934	16,020
193 (40% ITN)	1127	20,161 *
337 (70% ITN)	1272	23,978 *
482 (100% ITN)	1416	23,468 *
626 (130% ITN)	1561	23,750 *

CV= 11,11% DMS = 4,64

As médias com asteriscos diferem da testemunha ou padrão (0) ao nível de 5% pelo teste de Dunnett.

**Tabela 11.** Valores médios observados da variável ATR, em  $t\ ha^{-1}$ , em função de diferentes lâminas de irrigação, para a variedade de cana SP911049 plantada em agosto de 2010.

Lâmina de irrigação mm	Lâmina efetiva total mm	ATR $t\ ha^{-1}$
0 (0% ITN)	921	15,906
110 (40% ITN)	1011	18,502
192 (70% ITN)	1093	20,552 *
275 (100% ITN)	1176	21,224 *
357 (130% ITN)	1258	20,824 *

CV= 14,01% DMS = 5,26

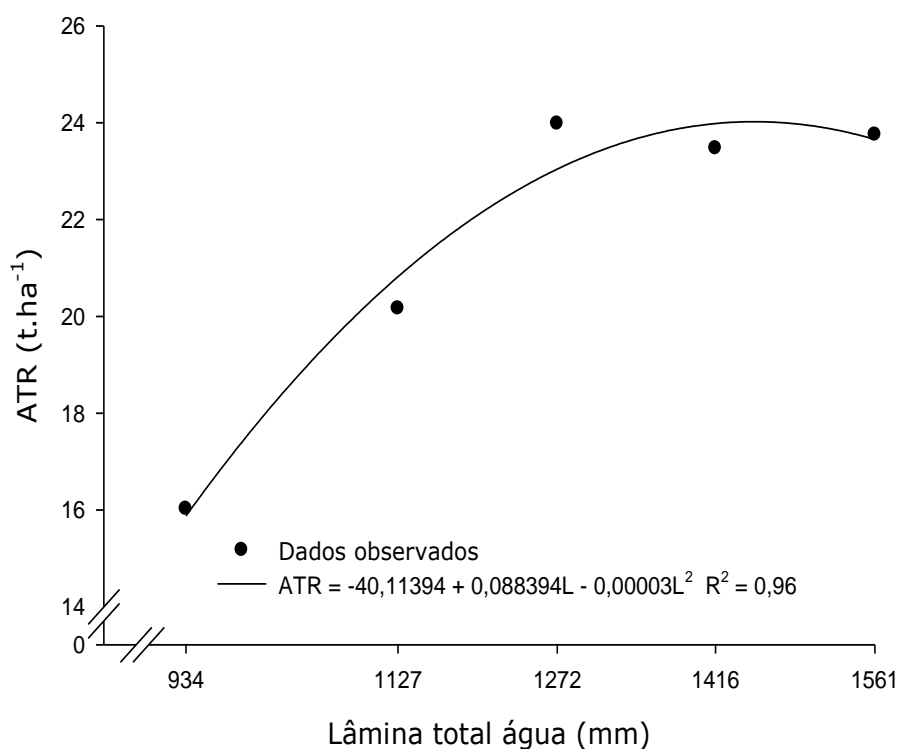
As médias com asteriscos diferem da testemunha ou padrão (0) ao nível de 5% pelo teste de Dunnett.

De acordo com os dados da Tabela 10 houve uma resposta positiva da cana-de-açúcar à irrigação, em termos de  $t\ ha^{-1}$  de ATR, quando se comparou as lâminas de irrigação de 40%, 70%, 100% e 130% da ITN (irrigação total necessária) com a testemunha (0% da ITN). Isto é válido para a variedade de cana-de-açúcar SP911049, cultivada em Latossolo Vermelho distroférico no município de Bambuí MG e plantada

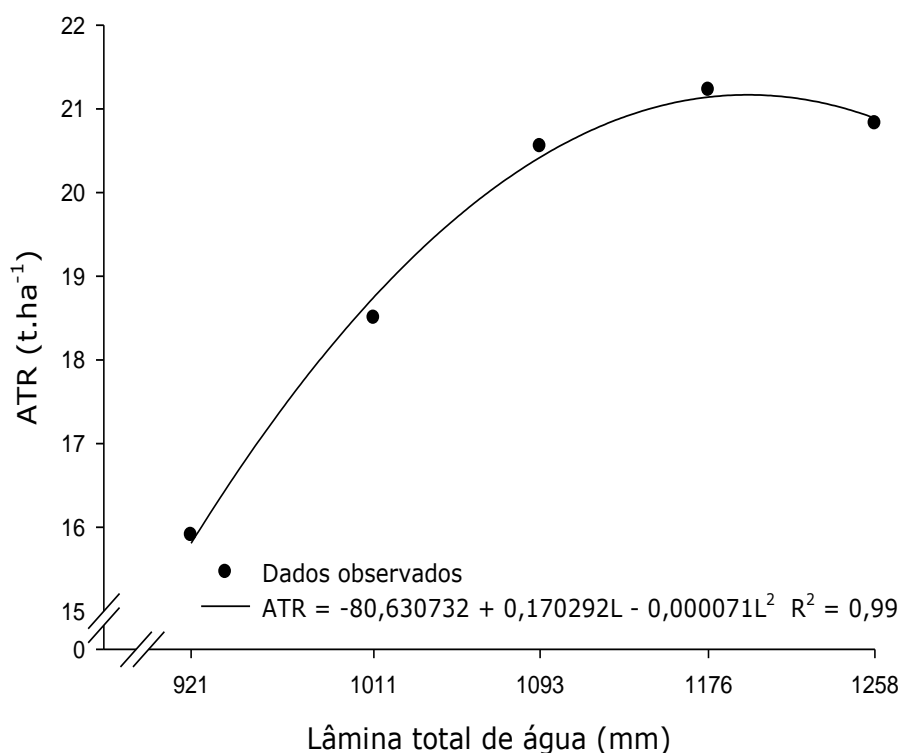
em maio. Entretanto, para se definir qual a lâmina de irrigação mais viável, deve-se fazer uma análise econômica dos resultados.

Com base nos dados Tabela 11 verifica-se que houve resposta positiva da cana-de-açúcar à irrigação, em termos de  $t\ ha^{-1}$  de ATR, quando se relacionou as lâminas de irrigação de 70%, 100% e 130% da ITN (irrigação total necessária) com a testemunha (0% da ITN). Para a lâmina de irrigação correspondente à 40% da ITN, equivalente à aplicação adicional de 110 mm ao longo do ciclo da cultura, não verificou-se diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Dunnet, em relação ao tratamento sem irrigação. Destaca-se que para se definir qual a lâmina de irrigação é mais viável deve ser feita uma análise econômica dos resultados.

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os valores médios e equações ajustadas de ATR, em  $t\ ha^{-1}$ , em função das lâminas efetivas totais de água, obtidas da variedade de cana-de-açúcar SP911049 cultivada nos meses de maio e agosto de 2010, respectivamente.



**Figura 11.** Valores médios observados e equação de regressão ajustada de ATR em função de diferentes lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em maio de 2010.



**Figura 12.** Valores médios observados e equação de regressão ajustada de ATR em função de diferentes lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em agosto de 2010.

Observa-se nas Figuras 11 e 12 que à medida que se aumentou a lâmina total de água houve incrementos positivos de produtividade de ATR até atingir um valor máximo  $25 \text{ t ha}^{-1}$  para lâmina efetiva total de água de  $1473,23$  e  $21,5 \text{ t ha}^{-1}$  para lâmina efetiva total de água de  $1199,23$  mm para os plantios de maio e agosto de 2010, respectivamente. Após esse valor houve decréscimo de rendimento nas duas épocas de plantio. Para Bernardo e Souza (2009), isso pode ser explicado pelo fato de a água ser um fator limitante à produção. De modo geral, quando aumenta a sua disponibilidade, a cultura pode expressar melhor o seu potencial produtivo até um determinado valor, após o qual a produtividade passa a decrescer, devido ao excesso de água no solo, à baixa aeração na zona radicular e a lixiviação de nutrientes.

Verifica-se, portanto, um incremento de  $8,98 \text{ t ha}^{-1}$  do menor valor de ATR obtido, correspondente ao tratamento sem irrigação, para o máximo valor de ATR, correspondente à lâmina efetiva total de  $1.473,23$  mm, ou seja: 56% de aumento no valor de ATR em decorrência da irrigação para o plantio em maio de 2010. Já para o plantio de agosto de 2010 o incremento de ATR foi de  $5,58 \text{ t ha}^{-1}$  considerando o valor máximo obtido, equivalente à lâmina de irrigação de  $1.199,24$  mm, ou seja, 35% de aumento em função da irrigação. Estas constatações são coerentes com as afirmações de

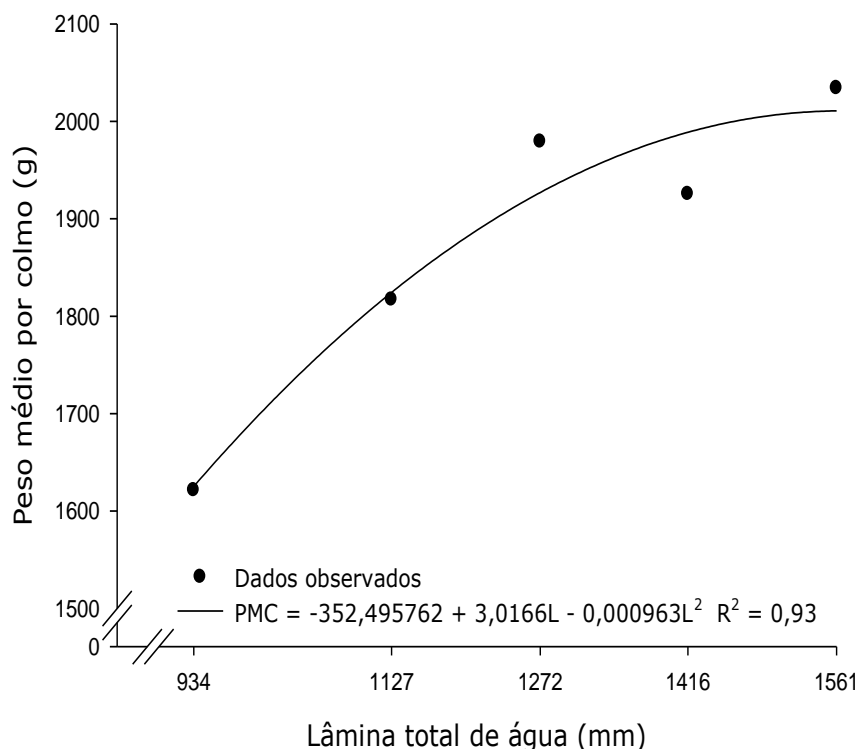
Farias et al. (2009), que em termos de ATR, a cana-de-açúcar irrigada com 100% da ETC produziu 31,35% a mais em relação à cultivada sob regime de sequeiro. Do mesmo modo, Gava et al. (2011) observaram em cana-de-açúcar irrigada por aspersão, em Jaú-SP, um incremento médio de 23% na produção de açúcar. Wiedenfeld (1995), estudando os efeitos da irrigação sobre a qualidade da cana CP65-357 no Texas, submetida a três níveis de irrigação (alto: 95%, médio: 85% e baixo: 65% da fração de esgotamento da água do solo), obteve rendimento em açúcar de 13, 10 e 7,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sem variar a pureza (87, 86 e 85%).

Os valores de ATR para as diferentes épocas de plantio seguiram a mesma tendência quanto à variação da produtividade de açúcar em função da lâmina efetiva total de água (ITN + precipitação efetiva), tendo o plantio em maio apresentado maior resposta à produtividade de açúcar do que o plantio efetuado em agosto.

### 5.3. Fatores de produtividade de colmos

O peso médio de colmos (PMC), comprimento médio de colmos (CMC) e número de colmos por hectare (NCH), que influenciaram expressivamente na produtividade de colmos (TCH), são apresentadas nas Figuras 13 a 16.

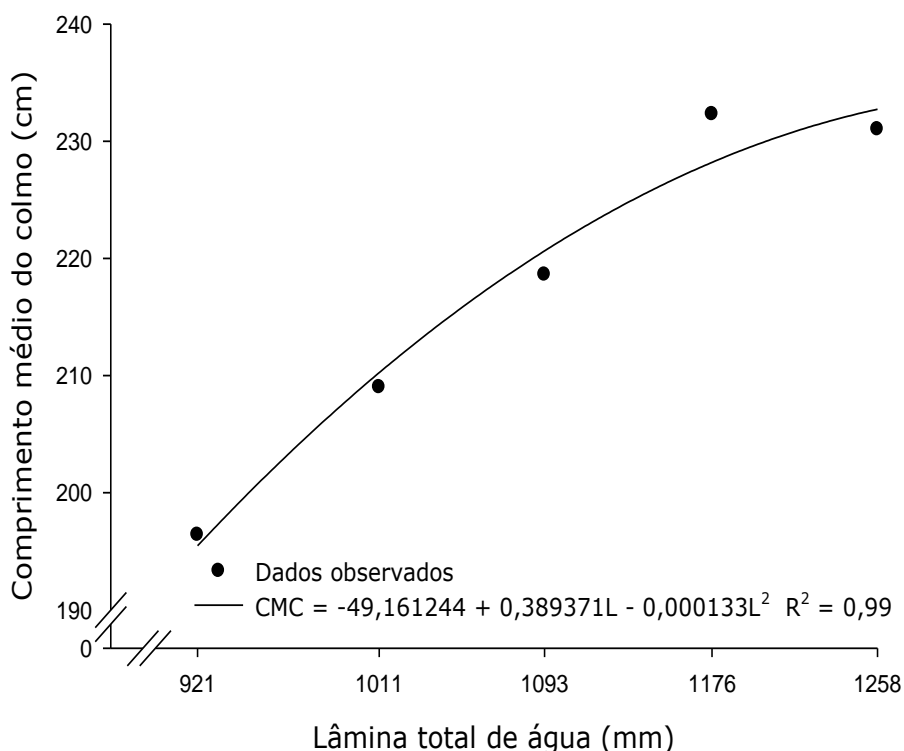
Não houve efeito da lâmina total de água sobre o diâmetro médio dos colmos da variedade SP911049 de cana-de-açúcar, tanto no plantio realizado em maio de 2010, quanto no plantio realizado em agosto de 2010 no município de Bambuí-MG.



**Figura 13.** Valores médios observados e equação de regressão ajustada de Peso Médio por Colmo (PMC) em função de lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em maio de 2010.

Observa-se na Figura 13, relativa ao plantio em maio de 2010, um aumento do peso médio de colmos (PMC) de 1.624,9 gramas para 2.009,8 gramas à medida que se aumentou a lâmina total de água de 934 mm para 1.561 mm. Verifica-se, portanto, que o aumento da lâmina efetiva total de água ocasionou elevação do peso médio de colmos e, conseqüentemente, contribuiu para o aumento da produtividade de colmos industriais de cana assim como da ATR, que atingiram até 169,1 e 25 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 9 e 11).

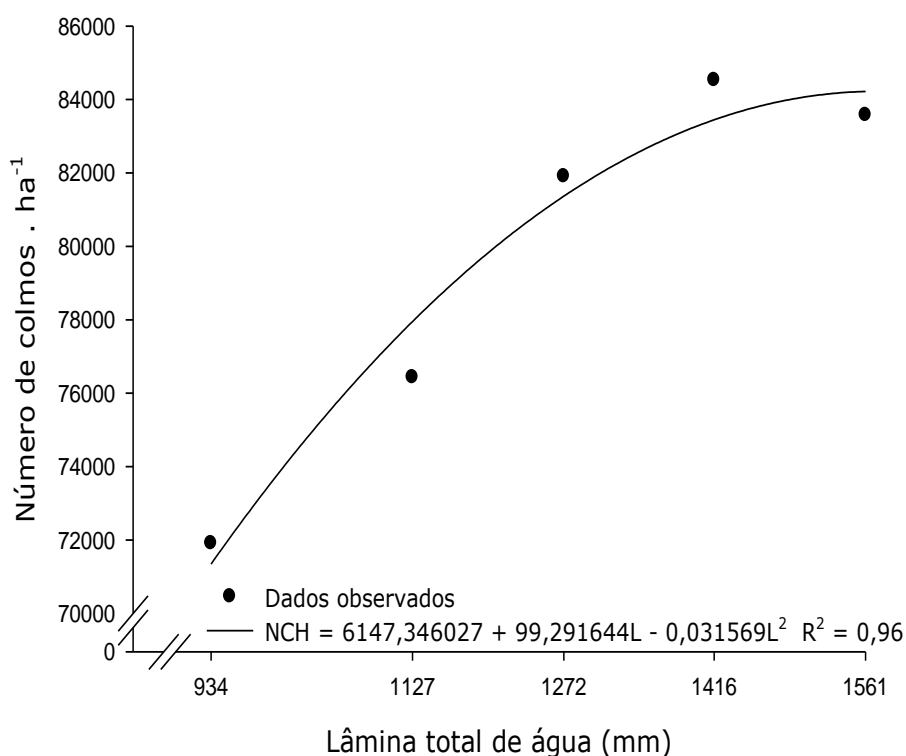
No plantio efetuado em agosto de 2010 o modelo é  $PMC = 1376,56 g$ , ou seja, é uma reta paralela ao eixo da lâmina total de água. Tal comportamento provavelmente decorreu da melhor distribuição das chuvas, fato que resultou inclusive na redução expressiva das lâminas de irrigação aplicadas nos diferentes tratamentos.



**Figura 14.** Valores médios observados e equação de regressão ajustada de Comprimento Médio de Colmo (CMC) em função de lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em agosto de 2010.

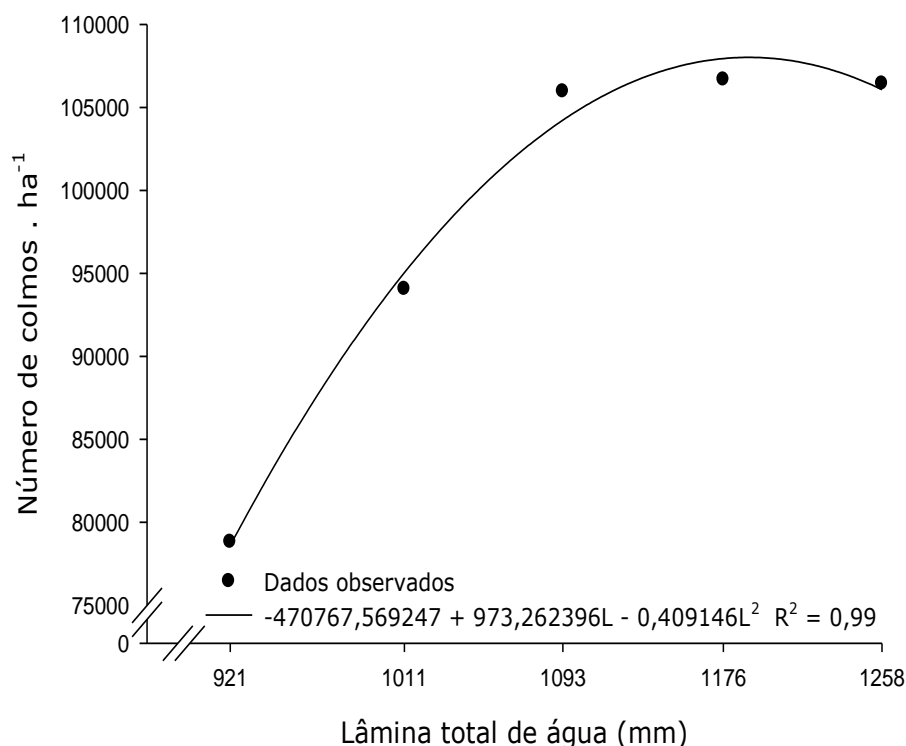
Na Figura 14, relativa ao plantio realizado em agosto de 2010, verifica-se que o comprimento médio de colmos (CMC) aumentou de 196,40 cm para 231,00 cm com o

incremento da lâmina total de água de 921 para 1.258 mm (Figura 14), correspondendo a um aumento de 18% no CMC. Resultado semelhante foi descrito por Azevedo (2002), em pesquisas com cana-de-açúcar irrigada, obteve-se o comprimento médio de colmo de 234,83 cm e, sem irrigação 187,92 cm, ou seja, um aumento de 25% no comprimento médio de colmos em condições irrigadas. Para o plantio efetuado em maio de 2010 o modelo é  $CMC = 260,20$  cm, ou seja, é uma reta paralela ao eixo da lâmina efetiva total de água.



**Figura 15.** Valores médios observados e equação de regressão ajustada de Número de Colmos por hectare(NCH) em função de lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em maio de 2010.

No plantio de maio de 2010, o número de colmos de cana por hectare (NCH) passou de 71.346 para 84.216 à medida que se aumentou a lâmina total de água de 934 mm para 1.561 mm (Figura 15). Houve um aumento de 18% no NCH quando se compara o tratamento sem irrigação, com o tratamento à 130% da ITN. Este aumento de número de colmos certamente contribuiu expressivamente para o aumento da produtividade em termos de TCH e de ATR, da variedade SP911049 plantada em maio de 2010 (Figura 9).



**Figura 16.** Valores médios observados e equação de regressão ajustada de Número de Colmos por hectare(NCH) em função de lâminas totais de água, para a variedade de cana SP911049 plantada em agosto de 2010.

O plantio em agosto teve comportamento similar ao plantio de maio, com uma resposta positiva do NCH com a lâmina total . Neste plantio, o número de colmos por hectare (NCH) atingiu o valor máximo de 108.023 colmos para uma lâmina total de 1.189,38 mm, constatando-se um aumento de 37% no NCH em relação ao tratamento sem irrigação. Este aumento expressivo do número de colmos pode ter sido mais um fator de contribuição para o aumento da produtividade da cana, em TCH e em ATR, da variedade SP911049 plantada em agosto de 2010, que atingiu valores de 149,8 e 21,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 10 e 12).

#### **5.4. Número de colmos de cana-de-açúcar nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos**

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentadas a lâmina de irrigação, precipitação efetiva e lâmina total para os cinco tratamentos utilizados no experimento, nas diversas fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar variedade SP911049 plantada em maio e agosto de 2010, respectivamente. Estes dados foram utilizados para elaboração das Figuras 17 e 18.

**Tabela 12.** Lâminas de irrigação (mm), precipitação efetiva (mm) e Lâmina total (mm) nas fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar plantada em maio de 2010.

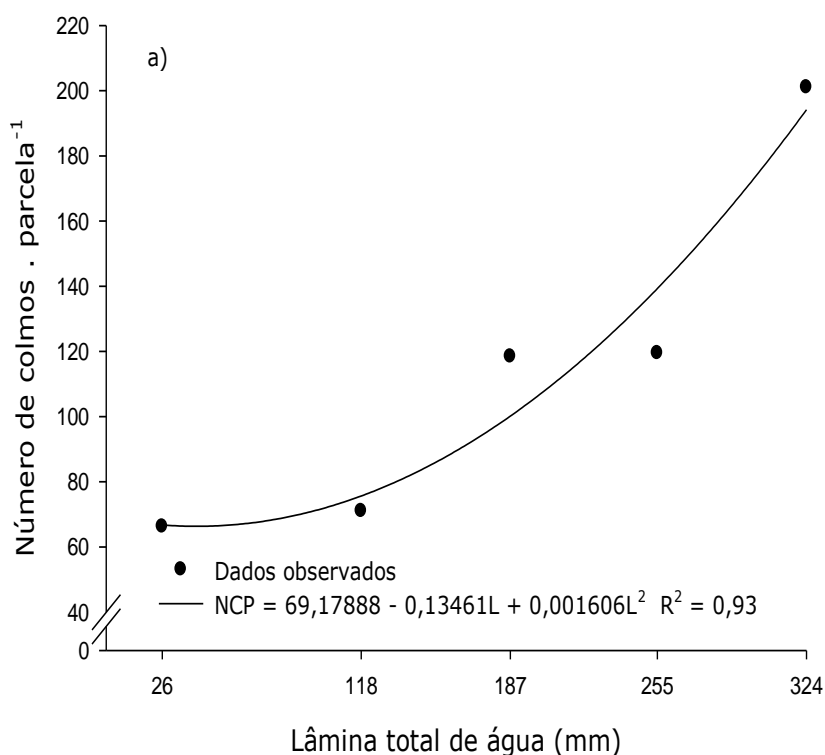
Tratamentos	Fases de cultivo da cana-de-açúcar											
	Brotação e estabelecimento (11/05 a 02/06/10)			Perfilhamento (03/06 a 08/09/10)			Crescimento dos colmos (09/09/10 a 10/02/11)			Fase de maturação (11/02 a 10/06/11)		
	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)
T1 - s/irrigação	0,00	26,00	26,00	0,00	0,00	0,00	0,00	557,00	557,00	0,00	351,00	351,00
T2 - 40% ITN	9,18	26,00	35,18	82,59	0,00	82,59	73,42	557,00	630,42	27,81	351,00	378,81
T3 - 70% ITN	16,06	26,00	42,06	144,53	0,00	144,53	128,48	557,00	685,48	48,67	351,00	399,67
T4 - 100% ITN	22,94	26,00	48,94	206,47	0,00	206,47	183,54	557,00	740,54	69,53	351,00	420,53
T5 - 130% ITN	29,82	26,00	55,82	268,41	0,00	268,41	238,60	557,00	795,60	90,39	351,00	441,39

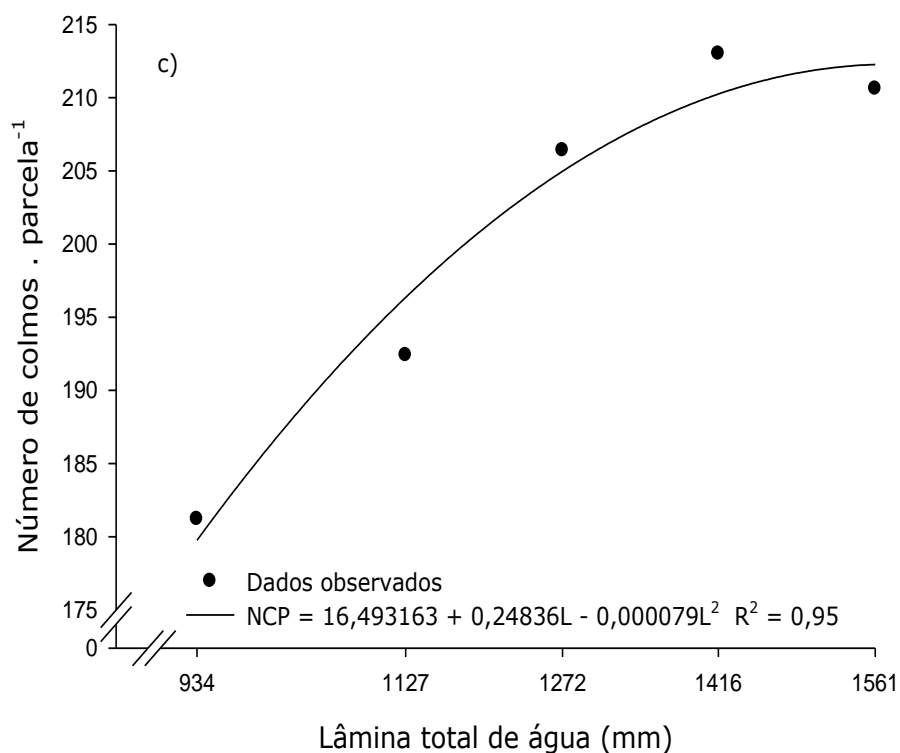
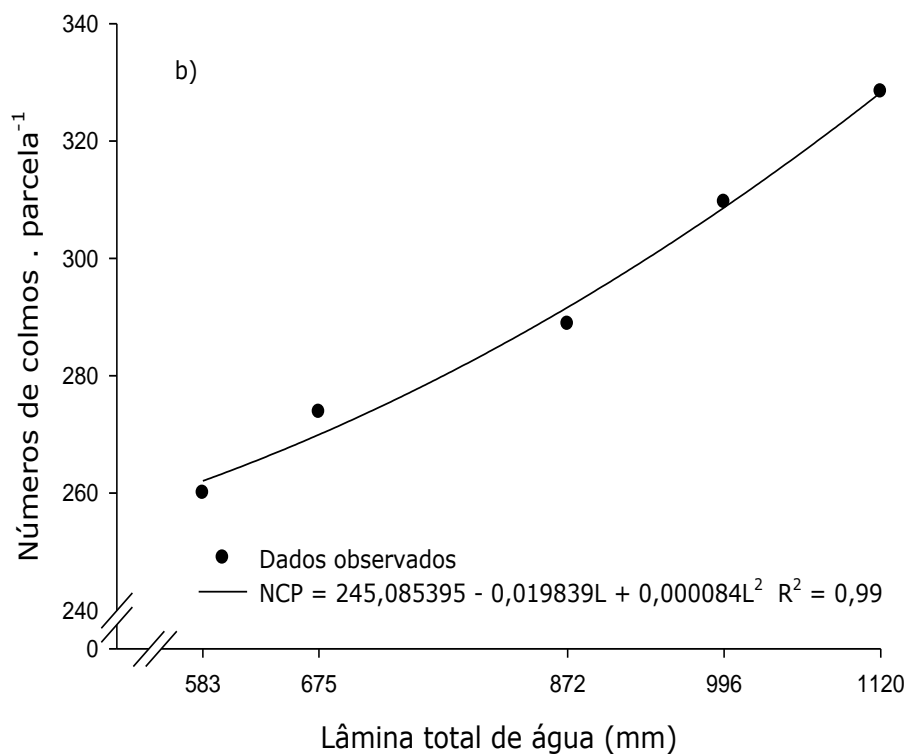
**Tabela 13.** Lâminas de irrigação (mm), precipitação efetiva (mm) e Lâmina total (mm) nas fases de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar plantada em agosto de 2010.

Tratamentos	Fases de cultivo da cana-de-açúcar											
	Brotação e estabelecimento (12/08 a 30/08/10)			Perfilhamento (01/09 a 01/12/10)			Crescimento dos colmos (02/12/10 a 30/04/11)			Fase de maturação (01/05 a 10/07/11)		
	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	Lâm. Irrig. (mm)	Prec. Efetiva (mm)	Lâmina total (mm)	
T1 - s/irrigação	18,33	0,00	18,33	0,00	284,00	284,00	0,00	595,00	595,00	0,00	22,00	22,00
T2 - 40% ITN	18,33	0,00	18,33	54,99	284,00	338,99	36,66	595,00	631,66	0,00	22,00	22,00
T3 - 70% ITN	32,08	0,00	32,08	96,24	284,00	380,24	64,16	595,00	659,16	0,00	22,00	22,00
T4 - 100% ITN	45,83	0,00	45,83	137,48	284,00	421,48	91,65	595,00	686,65	0,00	22,00	22,00
T5 - 130% ITN	59,60	0,00	59,60	178,72	284,00	462,72	119,15	595,00	714,15	0,00	22,00	22,00

Verifica-se na Tabela 12 que para o plantio realizado em maio a lâmina efetiva total de água acumulada ao final das fases de brotação e estabelecimento, perfilhamento, crescimento vegetativo e maturação, correspondente ao tratamento com 130% da ITN, foram 55,82, 324,23, 1.119,83 e 1.561,22 mm, respectivamente, em função dos diferentes tratamentos utilizados. Já para o plantio realizado em agosto (Tabela 13) os valores foram 59,60, 522,32, 1.236,47 e 1.258,47 mm, respectivamente. Destaca-se que a principal razão da diferença nas lâminas totais referentes aos dois plantios foi a expressiva precipitação efetiva (351 mm) na fase de maturação da cana-de-açúcar plantada em maio de 2010.

Nas Figuras 17 e 18 apresentam-se, para os experimentos implantados em maio e agosto de 2010, respectivamente, os dados observados de número de colmos por parcela (NCP) e respectivas equações de ajuste em função das lâminas efetivas totais de água acumuladas, obtidos nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação de colmos da cana-de-açúcar irrigada.





**Figura 17.** Valores médios e equação de ajuste de número de colmos por parcela (NCP) em função de diferentes lâminas totais de água, nas diferentes fases de desenvolvimento – perfilhamento (a); crescimento (b) e maturação (c), para plantio realizado em maio de 2010.

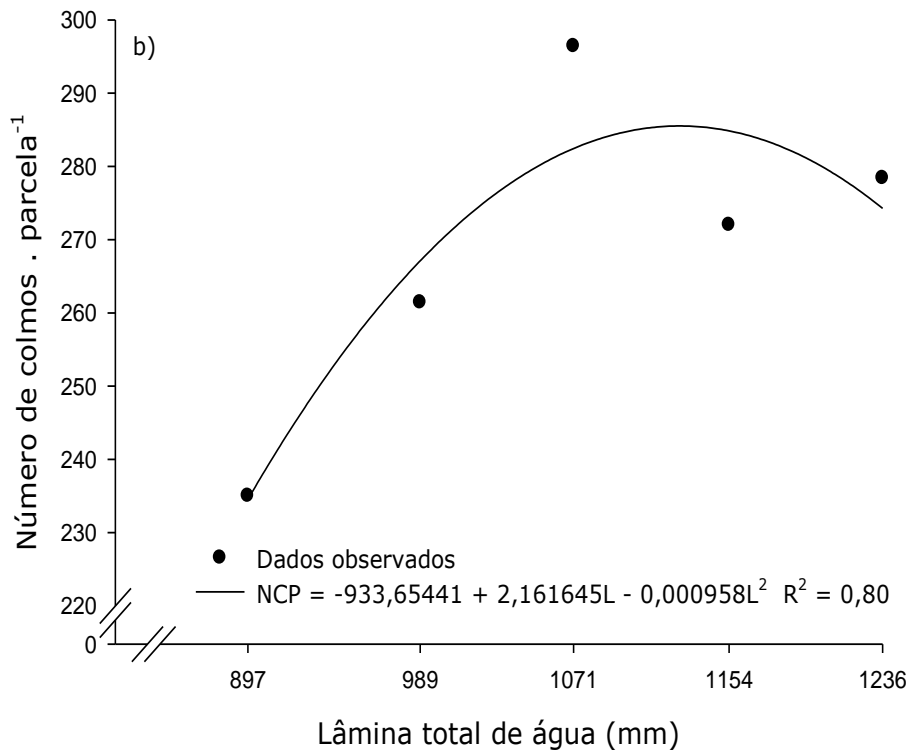
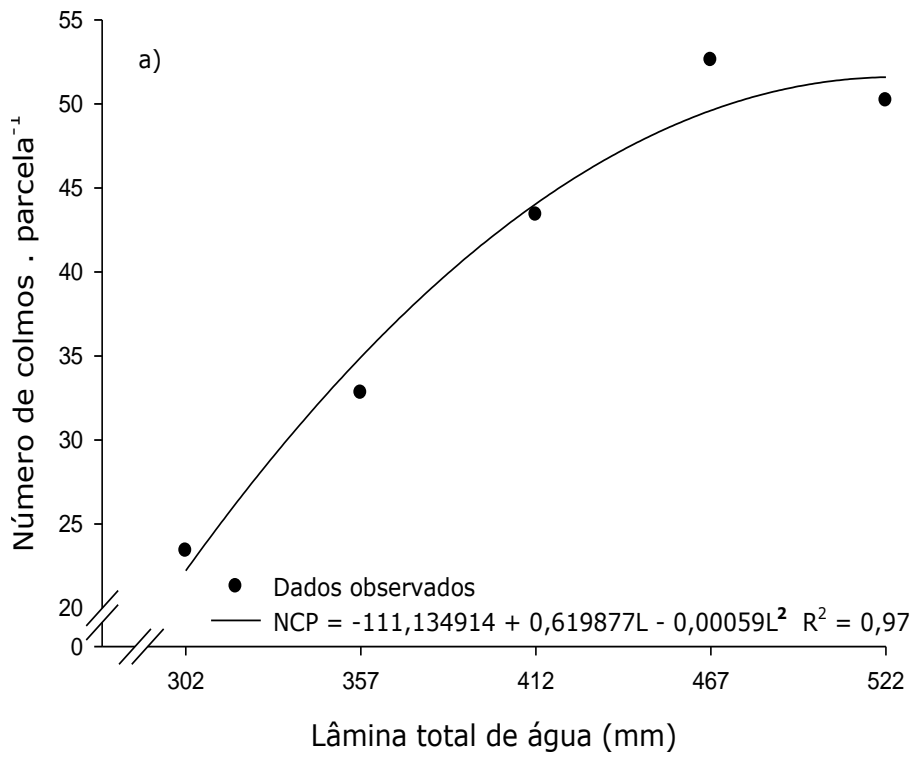
Observa-se na Figura 17(a) que na fase de perfilhamento da cana-de-açúcar, plantada em maio de 2010, à medida que se aumentou a lâmina total de água ocorreu o

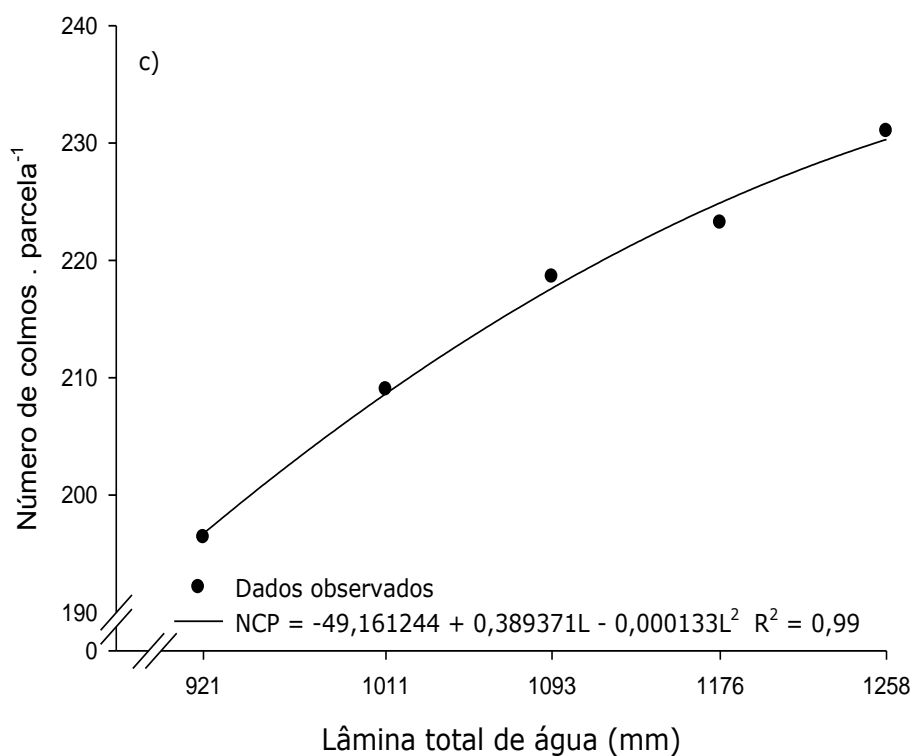
aumento médio expressivo do número de colmos. Foram obtidos, sem irrigação, 66 colmos por parcela útil de 25,20 m<sup>2</sup> (18 metros lineares) ou 3,66 colmos m<sup>-1</sup>, até atingir, com a lâmina total máxima de 324 mm, 201 colmos por parcela útil ou 11,16 colmos m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 205% no número de colmos por parcela. Diola e Santos (2010) argumentam que a grande variação do número de perfilhos nesta fase se justifica pela grande influência da umidade do solo no processo de perfilhamento.

Na fases de crescimento de colmos (Figura 17(b)) e de maturação (Figura 17(c)) da cana-de-açúcar plantada em maio de 2010 também se observou aumento médio do número de colmos com a elevação da lâmina total de água. Para a fase de crescimento foi obtido, sem irrigação, 260 colmos por parcela útil de 25,20 m<sup>2</sup> (18 metros lineares) ou 14,44 colmos m<sup>-1</sup> até atingir, com a lâmina efetiva total máxima de 1.120 mm, 328 colmos por parcela útil ou 18,22 colmos m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 26% no número de colmos por parcela. Já na fase de maturação obteve-se, com a menor lâmina total de água, 181 colmos por parcela útil ou 10,05 colmos m<sup>-1</sup> até atingir, com a lâmina efetiva total de água máxima de 1561 mm, 211 colmos por parcela útil ou 11,72 colmos m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 16,5% no número de colmos por parcela.

Em seus trabalhos de pesquisas, Moura et al. (2005) obtiveram aumento no número de colmos por metro de 7,8 para 9,8, na fase de maturação, correspondendo a um aumento de 25,6%, para a variedade SP-79 1011 cultivada sob sistema irrigado.

Com os resultados obtidos nas três fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, com relação ao aumento de número de colmos por parcela, ou seja, 205% na fase de perfilhamento, 26% na fase de crescimento e 16,5% na fase de maturação, pode-se afirmar que a variação da lâmina total de água foi mais importante na fase de perfilhamento da planta, para a variedade SP911049 plantada em maio de 2010.





**Figura 18.** Valores médios e equação de ajuste de número de colmos por parcela (NCP) em função de diferentes lâminas de água, nas diferentes fases de desenvolvimento – perfilhamento (a); crescimento (b) e maturação (c), para plantio realizado em agosto de 2010.

Observa-se na Figura 18(a), referente à fase de perfilhamento de colmos da cana-de-açúcar, plantada em agosto de 2010, que à medida que se aumentou a lâmina total de água houve acréscimo do NCP. Foram obtidos, sem irrigação, 23 colmos por parcela útil de 25,20 m<sup>2</sup> (18 m.l) ou 1,27 colmos m<sup>-1</sup> até atingir, com a lâmina total máxima, 50 colmos por parcela útil ou 2,77 colmos m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 118% no número de colmos por parcela. Resultado diferenciado do plantio efetuado em maio de 2010, cujo tratamento sem irrigação apresentou um número de colmos bem maior, ou seja 3,66 colmos m<sup>-1</sup> e o tratamento com lâmina efetiva total máxima também apresentou um número de colmos bem maior, com 11,16 colmos m<sup>-1</sup>, Figura 17(a). Esta diferenciação pode ser explicada devido a contagem do número de colmos do plantio de maio 2010 ter sido realizada mais no início do perfilhamento e a do plantio de agosto 2010 mais no final e, também, pela maior uniformidade de umidade do solo, no plantio de agosto, devido às chuvas no período de perfilhamento. A umidade do solo tem grande influência na fase de perfilhamento de colmos (DIOLA e SANTOS, 2010).

Nas fases de crescimento de colmos (Figura 18(b)) e de maturação da cana-de-açúcar plantada em agosto de 2010 (Figura 18(c)), também se observou aumento médio do número de colmos com a elevação da lâmina total de água. Para a fase de

crescimento foi obtido, com 897 mm de lâmina total de água, 235 colmos por parcela útil de 25,20 m<sup>2</sup> ou 13,00 colmos m<sup>-1</sup>, até atingir o número máximo de 278 colmos por parcela ou 15,44 colmos m<sup>-1</sup> com 1.236 mm de lâmina total de água, correspondendo a um aumento de 18,29 % no NCP. Já na fase de maturação obteve-se, com 921 mm de lâmina efetiva total de água, 196 colmos por parcela útil ou 10,88 colmos m<sup>-1</sup>, até atingir o número máximo de 231 colmos por parcela útil ou 12,83 colmos m<sup>-1</sup> com 1.258 mm de lâmina total de água, correspondendo a um aumento de 17,85% no NCP.

Com os resultados obtidos nas três fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar plantada em agosto de 2010, com relação ao aumento de número de colmos por parcela, ou seja, 118% na fase de perfilhamento, 18,29% na fase de crescimento e 12,83% na fase de maturação, pode-se afirmar que a variação da lâmina total de água foi mais importante na fase de perfilhamento da planta, corroborando com os resultados obtidos para o plantio realizado em maio de 2010. Estes resultados também estão coerentes com experimentos realizados por diversos autores como Moura et al. (2005); Souza et al. (1999) e Albuquerque (2010).

### 5.5. Atributos qualitativos da cana-de-açúcar

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os resultados de valores médios estimados dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar colhida nas áreas úteis das parcelas dos experimentos 1 e 2, implantados em maio e agosto de 2010, respectivamente.

**Tabela 14.** Média dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar em função da lâmina efetiva total de água, do experimento implantado em maio de 2010.

Variável <sup>(1)</sup>	Equação dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar
PBU (g)	$\hat{Y} = 136,41$
SST (%)	$\hat{Y} = 19,19$
S (%)	$\hat{Y} = 17,17$
AR (%)	$\hat{Y} = 0,56$
FIBRA (%)	$\hat{Y} = 11,79$
PC (%)	$\hat{Y} = 14,60$
ARC (%)	$\hat{Y} = 0,48$
ATR (kg t <sup>-1</sup> )	$\hat{Y} = 143,56$

<sup>(1)</sup>PBU, peso do bolo úmido; SST ou B ou BRIX, teor de sólidos solúveis do caldo; S, teor de sacarose ; AR, açúcares redutores do caldo; FIBRA, fibra industrial da cana-de-açúcar; PC, Pol cana ; ARC, açúcares redutores da cana-de-açúcar e ATR, açúcar total recuperável da cana-de-açúcar.

<sup>NS</sup> não significativo.

**Tabela 15.** Média dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar em função da lâmina total de água do experimento implantado em agosto de 2010.

Variável <sup>(1)</sup>	Equação dos atributos qualitativos da cana-de-açúcar
PBU (g)	$\hat{Y} = 136,99$
SST (%)	$\hat{Y} = 19,58$
S (%)	$\hat{Y} = 16,83$
AR (%)	$\hat{Y} = 0,67$
FIBRA (%)	$\hat{Y} = 11,86$
PC (%)	$\hat{Y} = 14,27$
ARC (%)	$\hat{Y} = 0,57$
ATR (kg t <sup>-1</sup> )	$\hat{Y} = 142,34$

<sup>(1)</sup>PBU, peso do bolo úmido; SST ou B ou BRIX, teor de sólidos solúveis do caldo; S, teor de sacarose ; AR, açúcares redutores do caldo; FIBRA, fibra industrial da cana-de-açúcar; PC, Pol cana ; ARC, açúcares redutores da cana-de-açúcar e ATR, açúcar total recuperável da cana-de-açúcar.

<sup>NS</sup> não significativo.

Analisando a Tabela 14 pode-se observar que não houve variação nos atributos qualitativos da cana-de-açúcar, plantada em maio de 2010, em função da variação de lâmina total de água. Assim, pode-se afirmar que o aumento da lâmina total de água proporcionou incremento da produtividade em TCH e ATR sem prejuízos aos atributos qualitativos da cana-de-açúcar.

Para a cana-de-açúcar plantada em agosto de 2010 observa-se na Tabela 15 que também não houve variação nos atributos qualitativos da cana-de-açúcar em função da variação de lâmina total de água. Do mesmo modo que para o plantio em maio de 2010, pode-se afirmar que o aumento de lâmina efetiva total de água proporcionou o aumento de produtividade em TCH e ATR sem prejuízos aos atributos qualitativos da cana-de-açúcar.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- a irrigação proporcionou incremento de 44,5% e 44% na produtividade de colmos industriais e de 56% e 35% na produtividade de Açúcar Total Recuperável para os plantios de cana-de-açúcar efetuados em maio e agosto de 2010, respectivamente;
- o aumento da lâmina total de água proporcionou incremento da produtividade de colmos industriais assim como de Açúcar Total Recuperável para os plantios de cana-de-açúcar efetuados em maio e agosto de 2010, sendo os melhores resultados obtidos para o plantio realizado em maio;
- não houve aumento significativo no diâmetro médio de colmos da cana-de-açúcar, nas duas épocas avaliadas, em função do aumento da lâmina efetiva de água, entretanto no plantio realizado em maio de 2010 houve aumento significativo no peso médio dos colmos;
- a época de plantio interferiu no comprimento médio de colmos da cana-de-açúcar para o plantio realizado em agosto de 2010;
- o aumento do número de colmos por hectare, em função do aumento da lâmina total de água, provavelmente foi um dos fatores que contribuíram para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar nas duas épocas estudadas.
- dentre as três fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar avaliadas, a fase de perfilhamento foi a que apresentou maior resposta à variação da lâmina total de água, nas duas épocas de plantio avaliadas;
- O aumento da lâmina total de água e a época de plantio não afetaram os atributos qualitativos da variedade SP911049 de cana-de-açúcar.

## 7. LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, P.E.P. Circular técnica 136: Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo, **EMBRAPA**, Sete Lagoas, MG, setembro, 2010. 25 p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. **FAO – Irrigation and Drainage**. Rome: FAO, 1998. 319 p. (Paper 56).

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 à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e agrotecnologia**, vol.32, n.5, p.1441-1448, Lavras, Sept./Oct. 2008

AMORIM, F.A.M.; AMORIM, J.N.; BRITTO, W.S.F. **Custos de Irrigação na Cana-de-Açúcar: Um Estudo Realizado com os Diversos Sistemas de Irrigação em Juazeiro-BA**. XIV Congresso Brasileiro de Custos – João Pessoa - PB, Brasil, 05 de dezembro a 07 de dezembro de 2007.

ASSIS, P. C. O.; LACERDA, R. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 01-12, 2004.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. Campina Grande: UFCG, 2002. 112p. Tese Doutorado.

BERNARDO, S. **Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar**. Alcoolbrás, São Paulo, n.106, p.72-80, 10 out. 2006.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação** / Salassier Bernardo, Antonio Alves Soares, Everardo Chartuni Mantovani, 8. ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

BERNARDO, S.; SOUZA, E.F. **Otimização da Eficiência de Uso da Água na Agricultura**. Palestra no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Belo Horizonte-MG, 2009.

BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York: Longman, 1984. 414 p.

CARVALHO, C.M.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J.; MELO, M.P.; SILVA, C.T.S.; GOMES FILHO, R.R. Resposta dos parâmetros tecnológicos da terceira folha de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.337-342, UFRPE, Recife, PE, out-dez, 2008.

**Classificação climática de Köppen- Geiger**, Contributors: Alchimista, Angrense, DCandido, Dante Raglione, Darwinius, Fasouzafreitas, Felipe Menegaz, Heitor C. Jorge, Juntas, LeonardoG, Manuel Anastácio, Marcelo-Silva, Ne8rd, OS2Warp, PatríciaR, Ramonne, Reynaldo, SangeYasha, 41 edições anônimas, Source: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16801300>. Acesso em: 15/02/2012.

COELHO, R.D.; NETO, J.A.L.; CUNHA, A.B.; **Cana irrigada produz mais, mas custo de produção aumenta.** Agriannual 2009. p.240 - 242, 2009.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Instruções.** Piracicaba: Consecana, 2006. 112p.

COSTA, E.L.; MACÊDO, G.A.R.; SIMÃO, F.R.; DINIZ, R.S. Irrigação da cana-de-açúcar: métodos de irrigação. **Informe Agropecuário**, v.28, n.239, p.56-63, ago, 2007.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos.** Botucatu: UNESP, 2004. 89p. Tese Doutorado.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524, jul-set, 2008.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J.L.da C.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, Pa, v.10, n.2, p.283-288, Abr-Jun, 2006.

DA SILVA, T.G.F.; DE MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J.DE S.; F.JUNIOR, W.G.F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, vol.16, n.1, p.64-71, , jan. 2012.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **CANA-DE-AÇÚCAR: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologia e perspectiva**, Viçosa, MG, 2010, p.25.

DONZELLI, J.L. O uso inteligente da água. **Revista H2O Água**, nov-dez, 2006.

DOORENBOS, H.; KASSAN, A.H. **efectos del agua sobre el rendimiento de las cultivos.** Roma: FAO, 1994. 212 p. il. (FAO, Riego y Drenaje. Paper 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. D. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome: FAO, 1975. 179p. Irrigation and Drainage Paper, 24

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.D. **Las necesidades de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 1977. 194p. Riego y Drenaje, n.24.

FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.A.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.4, p.356–362, UAEA/UFCEG, Campina Grande, PB, 2008.

FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.A.; GHEVI, H.R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, n.4, p.419–428, UAEA/UFCEG, Campina Grande, PB, 2009.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para o Windows versão 4.0. In...**Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**. UFSCar, São Carlos, SP, julho de 2000. p.255-258.

FRIZZONE, J.A.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, R.D.; BOTTREL, T.A. **Irrigação: Tabelas Completas.pdf. Disponível em: < [www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Folegatti/.../Tabelas%20completas.p.>](http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Folegatti/.../Tabelas%20completas.p.>)**. Acesso em: 03 de abril de 2008.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLLI, C.S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, Paraná, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.). **Crop water relations**. New York: John Willey, 1983. p.445-479.

GAVA, G.J. de C.; SILVA, M.de A.; SILVA, R.C.; JERONIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S. & KOLLN, O.T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n.3, p.250-255, 2011.

GAYLE, J. Our T-Ls Are Giving Us As Much As 300 Percent Increase In Sugarcane Yields. **TL experience the difference.** Disponível em: [www.tlir.com/difference/testimonials/77](http://www.tlir.com/difference/testimonials/77). Acesso em 01 de novembro de 2010.

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

GILBERT, R. A., SHINE JR., J.M., MILLER, J.D., RICE, R.W., RAINBOLT, C.R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 95, n. 02/03, p.156-170, 2006.

GOMES, M. C. R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes**. Rio de Janeiro: UENF, 1999. 51p. Dissertação Mestrado.

GOMIDE, R.L. **Monitoramento para Manejo da Irrigação: instrumentação, automação e métodos** In: Manuel Alves Faria (ed.), Manejo de Irrigação. Lavras - MG. UFLA/SBEA, 1998, p. 133 –134.

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

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

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KIRDA, C., MOUTONNET, P., HERA, C. & NIELSEN, D.R (eds.). **Crop yield response to deficit irrigation**. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1999. 262 p.

LEME FILHO J.R.A. **Desenvolvimento da cana-de-açúcar (Saccharum spp.) sob diferentes formas de colheita e de manejo do palhço**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 111p. Tese de Doutorado.

MACHADO, T.; NEVES, M.F.; NETO, S.B – Viabilidade Econômica da Irrigação Localizada na Cultura da Cana-de-Açúcar - **Anais do XL Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural - SOBER, Equidade e Eficiência na Agricultura Brasileira**, Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo – Rio Grande do Sul, p.48, 28 a 31 de Julho, 2002.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono da planta. In: Castro, P. R. C.; Ferreira, S. O.; Yamada, T. (Coord.) **Ecofisiologia da Produção**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa do Potássio e do Fosfato, 1987. p. 113-118.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV. 3 ed. 2009. 355p.

MAULE, R. F.; MAZZA, A. J.; MARTIN JÚNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Setor sucoalcooleiro**. Brasília, DF, 2008. 1 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **BRASIL PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília, junho de 2011, 59 p.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

MUTURI, S.M.; G.O. ABAYO, G.O.; JAMOZA, J. **Effect of irrigation on sugarcane productivity in nyando sugar zone**. Kenya Sugar Research Foundation. Em: [www.kari.org/fileadmin/publications/.../Volone/EffectIrrigation Sugar.pdf](http://www.kari.org/fileadmin/publications/.../Volone/EffectIrrigation%20Sugar.pdf). Acesso em: 23 de outubro de 2010.

NOVA N.A.V. Ajuste do método de priestley-taylor às condições climáticas locais, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.26, n.2, p.395-405, maio/ago. 2006.

OLIVEIRA, E.L.; ANDRADE, L.A. de B.; FARIA, M.A.; CUSTÓDIO, T.N. Vinhaça de alambique e nitrogênio na cana-de-açúcar, em ambiente irrigado e não irrigado. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v.13, n.6, p. 617-625, nov- dez, 2009.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, A.C.; SIMÕES NETO, D.E.; ROCHA, A.T.; CARVALHO, L.A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p. 617-625, jun, 2011.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PIRES, R.C.de M.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. De O.; BRUNINI, O. Agricultura irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, Junho de 2008.

REZENDE, R.S.; ANDRADE JUNIOR, A.S. **Métodos de irrigação**. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_56\\_711200516718.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_56_711200516718.html). Acesso em: 21 de outubro de 2010.

RODRIGUES, D.J. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, SP, 1995. 101 p.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1989. 88p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

ROSENFELD, U.; LEME, F.J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por Aspersão: estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1084. São Paulo, ANAIS...São Paulo: STAB, 1984. p.77-84.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, J. H. & CAVALCANTE, F. J. H. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III Conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.425-431, 1987.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **CANA-DE-AÇÚCAR: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologia e perspectiva** – Fernando Santos, Aluizio Borém, Celso Caldas, editores – Viçosa, MG, 2010, 577p.

SANTOS, M.A.L. **Irrigação suplementar em cana-de-açúcar (*Saccharum Spp*): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 101p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. **Terminologias no setor sucroalcooleiro**. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E. NÓBREGA, J. C. M. (org.) Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 397-405.

SILVA, M. de A.; SOARES, R.A.B.; LANDELL, M.G. de A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.655-661, 2008.

SINCLAIR, T. R., GILBERT, R.A., PERDOMO, R.E., SHINE, J.M., POWELL, G., MONTES, G. Volume of individual internodes of sugarcane stalks. **Field Crops Research**, v. 91, n. 02/03, p. 207-215, 2005.

SINGELS, A. *et al.* The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 92, n. 02/03, p. 249-260, 2005.

SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95-100, 2007.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **South African Sugarcane Research Institute**, Mount Edgecombe, South Africa, p.91-97ca, v.98, isones 2-3, aug-sep, 2006.

SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil**. 27. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14 p. (Circular Técnica).

SOUZA, E. F; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de Produção da Cana-de-açúcar em Relação à Água para Três Cultivares, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal – SP, V. 19, n.1, p.28- 42, 1999.

SUGAWARA, M.; RUDORFF, B.F.T. Acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por meio de séries temporais de NDVI do sensor Modis. Anais xv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p.391.

TAKEI, K.; TAKAHASHI, T.; SUGIYAMA, T.; YAMAYA, T.; SAKAKIBARA, H. Multiple routes communicating nitrogen availability from roots to shoots: a signal transduction pathway mediated by cytokinin. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.971-977, 2002.

WAHAB, A. Effect of irrigation at different soil moisture levels on yield and yield components of sugarcane. **University of Khartoum Journal of Agricultural Science**, v.2, n.13, p.276-291, 2005 .

Wiedenfeld, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugar cane yield and quality. **Field Crop Research**, v.43, p.101-108, 1995.

## ANEXOS

### ANEXO A

**Tabela A<sub>1</sub>.** Parâmetros ajustados da equação de van Genutchem (1980) para o Latossolo Vermelho distroférico da área do experimento 1 (E<sub>1</sub>), implantado em maio de 2010.

Identifi- cação	Profundidade amostrada (cm)	1/cca alfa	m=1-1/n	n	tr.	ts	r <sup>2</sup>
E <sub>1</sub> (20)	00 – 20	0,1750	0,3771	1,6055	0,3330	0,6780	0,9860
E <sub>1</sub> (40)	20 – 40	0,3315	0,2847	1,3979	0,4470	0,6110	0,9660
E <sub>1</sub> (60)	40 – 60	0,3049	0,2320	1,3021	0,4260	0,5630	0,9170

**Tabela A<sub>2</sub>.** Parâmetros ajustados da equação de van Genutchem (1980) para Latossolo Vermelho distroférico da área do experimento 2 (E<sub>2</sub>), implantado em agosto de 2010.

Identifi- cação	Profundidade amostrada (cm)	1/cca alfa	m=1-1/n	n	tr.	ts	r <sup>2</sup>
E <sub>2</sub> (20)	00 – 20	0,1933	0,3370	1,5083	0,3920	0,6950	0,9820
E <sub>2</sub> (40)	20 – 40	0,1789	0,3184	1,4671	0,4270	0,5840	0,9850
E <sub>2</sub> (60)	40 – 60	0,2394	0,2749	1,3792	0,4060	0,5540	0,9740

**Tabela A3.** Dados de curva de retenção – potencial mátrico (cm.c.a) x umidade (%), Latossolo Vermelho distroférico, da área do experimento 1 (E<sub>1</sub>), implantado em maio de 2010.

Identi- ficação	Prof. (cm)	UMIDADE, BASE EM VOLUME %, CORRESPONDENTE A DIFERENTES TENSÕES									
		1 SAC	10 cm.c.a	20 cm.c.a.	50 cm.c.a	100 cm.c.a	200 cm.c.a	333 cm.c.a	500 cm.c.a	700 cm.c.a	15400 cm.c.a
E <sub>1</sub> (20)	00-20	67,81	57,00	46,19	41,69	39,67	38,57	37,32	36,52	34,59	33,34
E <sub>1</sub> (40)	20-40	69,46	60,43	51,41	47,32	46,05	44,99	43,85	42,99	41,01	39,23
E <sub>1</sub> (60)	40-60	65,05	58,99	52,93	50,74	49,08	47,84	46,69	45,78	42,45	41,97

**Tabela A4.** Dados de curva de retenção – potencial mátrico (cm.c.a) x umidade (%), Latossolo Vermelho distroférico, da área do experimento 1 (E<sub>2</sub>), implantado em agosto de 2010.

Identi- ficação	Prof. (cm)	UMIDADE, BASE EM VOLUME %, CORRESPONDENTE A DIFERENTES TENSÕES									
		1 SAC	10 cm.c.a	20 cm.c.a.	50 cm.c.a	100 cm.c.a	200 cm.c.a	333 cm.c.a	500 cm.c.a	700 cm.c.a	15400 cm.c.a
E <sub>2</sub> (20)	00-20	61,13	55,74	50,35	49,76	49,23	48,56	47,73	47,15	46,05	44,72
E <sub>2</sub> (40)	20-40	58,39	54,20	50,01	47,95	46,93	46,25	45,59	45,00	43,63	42,74
E <sub>2</sub> (60)	40-60	65,05	61,41	56,93	56,15	55,54	54,78	54,00	53,56	51,39	50,94

## ANEXO B

**Tabela B<sub>1</sub>.** Dados de irrigação de cana-de-açúcar do Experimento I, implantado em maio/2010.

Época Mês/ano	T <sub>1</sub> L(mm) (S/irrigação)	T <sub>2</sub> L(mm) (40% ITN)	T <sub>3</sub> L(mm) (70% ITN)	T <sub>4</sub> L(mm) (100% ITN)	T <sub>5</sub> L(mm) (130% ITN)
mai/10	0,00	9,18	16,06	22,94	29,82
jun/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
jul/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
ago/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
set/10	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
out/10	0,00	9,18	16,06	22,94	29,82
nov/10	0,00	9,18	16,06	22,94	29,82
dez/10	0,00	18,35	32,12	45,88	59,64
jan/11	0,00	9,18	16,06	22,94	29,82
fev/11	0,00	27,53	48,17	68,82	89,47
Total	0,00	192,70	337,22	481,74	626,26

**Tabela B<sub>2</sub>.** Dados de irrigação de cana-de-açúcar do Experimento 2, implantado em agosto/2010.

Época Mês/ano	T <sub>1</sub> L(mm) (S/irrigação)	T <sub>2</sub> L(mm) (40% ITN)	T <sub>3</sub> L(mm) (70% ITN)	T <sub>4</sub> L(mm) (100% ITN)	T <sub>5</sub> L(mm) (130% ITN)
ago/10	0,00	18,33	32,08	45,83	59,58
set/10	0,00	18,33	32,08	45,83	59,58
out/10	0,00	27,50	48,12	68,74	89,36
nov/10	0,00	9,16	16,04	22,91	29,78
dez/10	0,00	9,16	16,04	22,91	29,78
jan/11	0,00	18,33	32,08	45,83	59,58
fev/11	0,00	9,16	16,04	22,91	29,78
Total	0,00	109,98	192,47	274,96	357,45

## ANEXO C

**TABELA C<sub>1</sub>.** Resumo da análise de variância das variáveis toneladas de colmos industrial/hectare - TCH, Açúcar total recuperável/hectare - ATR, Comprimento médio do colmo em metros - CMC, Diâmetro médio do colmo em cm - DMC, Peso médio do colmo em gramas - PMC e Colmos/ha - CPH ao final da maturação da cana plantio realizado em maio de 2010.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS					
		TCH	ATR	CMC	DMC	PMC	CPH
Blocos	4	222,8073	3,0839	0,0159	1,2985	18240,5400	133450240,4400
Lâminas	4	2441,7550**	58,5963**	0,0496	1,2934	133023,0400**	143221090,8400*
Resíduo	16	267,5473	5,6933	0,0178	1,8459	22412,7650	47386807,9150
CV%		10,93	11,11	5,14	4,59	7,98	8,64

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de F.

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

**TABELA C<sub>2</sub>.** Resumo da análise de variância das variáveis toneladas de colmos industrial/hectare - TCH, Açúcar total recuperável/hectare - ATR, Comprimento médio do colmo em metros - CMC, Diâmetro médio do colmo em cm - DMC, Peso médio do colmo em gramas - PMC e Colmos/ha - CPH ao final da maturação da cana plantio realizado em agosto de 2010.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS					
		TCH	ATR	CMC	DMC	PMC	CPH
Blocos	4	1126,1478	29,7279	127,3400	0,7029	9987,9400	493523013,7600
Lâminas	4	1822,1020**	24,6203**	895,1400**	0,6406	6467,7400	740697123,6600**
Resíduo	16	213,4079	7,3837	87,4900	0,5968	1168,5900	76552486,4350
CV%		10,77	14,01	4,34	2,92	7,68	8,89

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de F.

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

## ANEXO D

**TABELA D<sub>1</sub>.** Resumo da análise de variância das variáveis Número de colmo/parcel útil – NCP nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação da cana plantio realizado em maio de 2010.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		NCP – Perf.	NCP – Cresc.	NCP – Matur.
Blocos	4	727,4000	456,7600	913,6600
Lâminas	4	14680,2000**	3750,1600**	3750,1600*
Resíduo	16	1315,4700	1003,6800	300,91
CV%		31,48	10,85	8,64

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de F.

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

**TABELA D<sub>2</sub>.** Resumo da análise de variância das variáveis Número de colmo/parcel útil – NCP nas fases de perfilhamento, crescimento e maturação da cana plantio realizado em agosto de 2010.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		NCP – Perf.	NCP – Cresc.	NCP – Matur.
Blocos	4	39,3600	2362,5600	127,3400
Lâminas	4	750,7600**	5839,8600**	895,1400**
Resíduo	16	90,4800	2544,0600	87,4900
CV%		23,50	13,00	4,34

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

## ANEXO E

**TABELA E<sub>1</sub>.** Resumo da análise de variância das variáveis peso do bolo úmido (g) – PBU, teor de sólidos solúveis do caule (°brix) – SS, teor de sacarose (%) – S, açúcar total recuperado (kg/tonelada) – ATR, açúcar redutor do caldo estimado (%) – AR, pol da cana (%) PC, pol do caldo (%) – PCAL, açúcar redutor da cana (%) – ARC, fibra industrial de cana de açúcar (%) - Fibra dos atributos qualitativos da cana realizadas no final da maturação da cana plantio realizado em maio de 2010.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS <sup>NS</sup>								
		PBU	SS	S	ATR	AR	PC	PCAL	ARC	FIBRA
Blocos	4	25,7991	1,3148	30,9687	92,8476	0,0036	1,0646	1,6028	0,0026	0,1645
Lâminas	4	37,6866	1,3133	30,0916	85,7965	0,0007	1,0819	1,5281	0,0005	0,2407
Resíduo	16	41,2103	0,6073	16,2039	40,8774	0,0017	0,5175	0,8370	0,0014	0,2633
CV%		4,71	4,06	5,69	4,45	7,37	4,93	5,33	8,04	4,35

<sup>NS</sup>Não significativo.

**TABELA E<sub>2</sub>:** Resumo da análise de variância das variáveis peso do bolo úmido (g) – PBU, teor de sólidos solúveis do caule (°brix) – SS, teor de sacarose (%) – S, açúcar total recuperado (kg/tonelada) – ATR, açúcar redutor do caldo estimado (%) – AR, pol da cana (%) PC, pol do caldo (%) – PCAL, açúcar redutor da cana (%) – ARC, fibra industrial de cana de açúcar (%) - Fibra dos atributos qualitativos da cana realizadas no final da maturação da cana plantio realizado em agosto de 2010.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS <sup>NS</sup>								
		PBU	SS	S	ATR	AR	PC	PCAL	ARC	FIBRA
Blocos	4	135,3291	3,4898	58,6316	149,827784	0,0349	0,8705	1,8023	0,0246	0,7431
Lâminas	4	106,8613	2,5000	27,6325	52,9082	0,0715	0,5027	0,9159	0,0559	0,7169
Resíduo	16	59,4579	2,1806	49,0491	165,6997	0,0433	2,3382	3,1516	0,0292	0,4074
CV%		5,63	7,54	10,02	9,04	31,17	10,75	10,55	30,19	5,38

<sup>NS</sup>Não significativo.