

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

**POTENCIAL PRODUTIVO DE CULTIVARES DE CANA-DE-  
AÇÚCAR SOB OS MANEJOS IRRIGADO E SEQUEIRO**

**MARCEL TOMÁS ARANTES**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP –  
Câmpus de Botucatu, para a obtenção do  
título de Mestre em Agronomia  
(Agricultura).

BOTUCATU - SP

Janeiro 2012

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

**POTENCIAL PRODUTIVO DE CULTIVARES DE CANA-DE-  
AÇÚCAR SOB OS MANEJOS IRRIGADO E SEQUEIRO**

**MARCEL TOMÁS ARANTES**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP –  
Câmpus de Botucatu, para a obtenção do  
título de Mestre em Agronomia  
(Agricultura).

BOTUCATU - SP

Janeiro 2012

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "POTENCIAL PRODUTIVO DE CULTIVARES DE CANA-DE-ACÚCAR  
SOB OS MANEJOS IRRIGADO E SEQUEIRO"

ALUNO: MARCEL TOMÁS ARANTES

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. EDGAR GOMES FERREIRA DE BEAUCLAIR

Data da Realização: 27 de janeiro de 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A662p      Arantes, Marcel Tomás, 1986-  
Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro / Marcel Tomás Arantes. - Botucatu : [s.n.], 2012  
xii, 65 f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Marcelo de Almeida Silva  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Produtividade agrícola. 3. Biometria. 4. Irrigação. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Dedico a minha namorada Elizandra, que de maneira muito especial, foi amiga e companheira, sendo meu porto-seguro nos momentos difíceis, me inspirando e estimulando a cada novo dia; aos meus pais Mário e Maria Bernadete, pelo carinho e educação que me deram e formação que me proporcionaram e aos meus irmãos Eudes e Kátina, pelo companheirismo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, grande criador, arquiteto do universo e meu protetor.

Ao meu orientador Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela confiança, apoio, ensinamentos, amizade e conselhos.

A Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA de Jaú-SP, por me permitir usufruir das instalações e infra-estrutura para realização do experimento.

Aos funcionários da APTA: Antônio Carlos, Adilson, Geraldo (Xerife), Valdir (Vardi), João Paulo (Jão), Nico, Zelão, Marcos (Marcão), Ezequiel que sempre foram muitos prestativos.

A funcionária da APTA, Silmara, pela amizade e disposição em ajudar durante a execução do experimento.

Aos pesquisadores da APTA, Dra. Samira, Dr. Glauber, Dr. Mario Campana, Dra. Elisângela, Dra. Juliana, pela amizade, convivência e conselhos.

Às amigas de Pós-Graduação: Renata, Andressa, Claudiana, Paula, Silvia sempre brincalhonas e dispostas a ajudar, mesmo em serviços pesados.

Aos amigos de Pós-Graduação: Jhonny (Debb), Luis (Broquero), Willian (Pequeno Willian), em especial ao grande amigo Oriel (Gaúcho), pela amizade e disponibilidade em ajudar nas tarefas difíceis.

Aos meus familiares: Vó Joaninha, tios e tias, primos e primas, por fazerem parte de minha vida.

Aos meus queridos sobrinhos: João Matheus, Caroline (Carol) e Caetano (Cacá).

À família Olivatto Scian: João Roberto (Futuro Sogro), Maria Helena (Futura Sogra) e Rafael (Saci), Cristiane (Cris), Graziela Cristina (Grá) e Thiago (Tiaguera) meus futuros cunhados, pelos conselhos, amizade e presença nos momentos de grande felicidade.

Aos cães da fazenda: Preto e Feio por serem fiéis amigos.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para mais essa grande vitória alcançada.

## SUMÁRIO

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 1 RESUMO.....                                     | IX |
| 2 SUMMARY.....                                    | XI |
| 3 INTRODUÇÃO.....                                 | 13 |
| 4 REVISÃO DE LITERATURA .....                     | 15 |
| 4.1 A cultura da cana-de-açúcar .....             | 15 |
| 4.2 Deficiência hídrica.....                      | 17 |
| 4.2.1 Aspectos gerais .....                       | 17 |
| 4.2.2 Deficiência hídrica em cana-de-açúcar ..... | 18 |
| 4.3 Manejo da irrigação em cana-de-açúcar .....   | 19 |
| 4.4 Resposta das plantas ao déficit hídrico.....  | 22 |
| 5 MATERIAL E MÉTODOS.....                         | 25 |
| 5.1 Descrição geral da área do experimento.....   | 25 |
| 5.2 Cultivares.....                               | 27 |
| 5.3 Condução do experimento .....                 | 27 |
| 5.4 Avaliações morfológicas .....                 | 31 |
| 5.4.1 Número de perfilhos (NP) .....              | 31 |
| 5.4.2 Altura de plantas (ALT) .....               | 31 |
| 5.4.3 Número de entrenós (NE).....                | 32 |
| 5.4.4 Diâmetro de colmos (DIAM) .....             | 32 |
| 5.4.5 Índice de área foliar (IAF).....            | 32 |
| 5.4.6 Matéria seca total (MST).....               | 33 |
| 5.4.7 Eficiência do uso da água (EUA) .....       | 33 |
| 6 RESULTADO E DISCUSSÃO.....                      | 35 |
| 6.1 Avaliações Morfológicas .....                 | 35 |
| 6.1.1 Número de perfilhos .....                   | 35 |
| 6.1.2 Altura de plantas.....                      | 38 |
| 6.1.3 Número de entrenós.....                     | 40 |
| 6.1.4 Diâmetro de colmos.....                     | 41 |
| 6.1.5 Índice de área foliar (IAF) .....           | 43 |
| 6.1.6 Matéria seca total.....                     | 46 |
| 6.2 Eficiência do uso da água .....               | 48 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3 Produtividade de colmos .....                                 | 49 |
| 6.4 Correlação entre variáveis morfológicas e produtividade ..... | 50 |
| 7 CONCLUSÃO.....                                                  | 57 |
| 8 REFERÊNCIAS .....                                               | 58 |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                            | <b>Páginas</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Tabela 1. Caracterização química do solo amostrada da área experimental, Jaú-SP. ....                                                                      | 26             |
| Tabela 2. Análise de variância de número de perfilhos (NP) de cana-de-açúcar sob<br>efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP .....                  | 36             |
| Tabela 3. Análise de variância de altura de plantas (ALT) de cana-de-açúcar sob<br>efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP .....                   | 38             |
| Tabela 4. Análise de variância do número de entrenós de cana-de-açúcar sob<br>efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP .....                        | 40             |
| Tabela 5. Análise de variância diâmetro de colmos (DIAM) de cana-de-açúcar sob<br>efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP, 2010 .....              | 42             |
| Tabela 6. Análise de variância do índice de área foliar (IAF) em cana-de-açúcar<br>sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP, 2010 .....         | 44             |
| Tabela 7. Análise de variância do acúmulo de matéria seca total em cana-de-<br>açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP, 2010 .....      | 47             |
| Tabela 8. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 60 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010 .....   | 51             |
| Tabela 9. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 60 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010 .....   | 52             |
| Tabela 10. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 120 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010 ..... | 52             |
| Tabela 11. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 120 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010 ..... | 53             |
| Tabela 12. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 180 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010 ..... | 53             |
| Tabela 13. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 180 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010 ..... | 54             |
| Tabela 14. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 240 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010 ..... | 55             |
| Tabela 15. Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade<br>aos 240 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010 ..... | 56             |

## LISTA DE FIGURAS

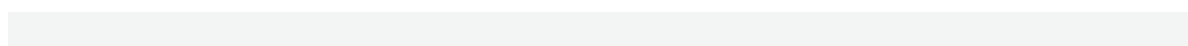
|                                                                                                                                                                            | <b>Páginas</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Figura 1. Produção, rendimento médio e área plantada de cana-de-açúcar no Brasil (AGRIANUAL, 2010).....                                                                    | 16             |
| Figura 2. Instalação dos tubos gotejadores nos tratamentos irrigados. ....                                                                                                 | 26             |
| Figura 3. Precipitação pluvial, déficit hídrico no solo e evapotranspiração da cultura durante o período experimental, no tratamento irrigado, Jaú-SP, 2009/2010 .....     | 30             |
| Figura 4. Precipitação pluvial, déficit hídrico no solo e evapotranspiração da cultura durante o período experimental, nos tratamentos sequeiro, Jáu-SP, 2009/2010 .....   | 31             |
| Figura 5.: Número de perfilhos de quatro cultivares cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).....           | 37             |
| Figura 6. Altura de plantas de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC). ....          | 39             |
| Figura 7. Número de entrenó de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).....           | 41             |
| Figura 8. Diâmetro de colmos de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).....          | 43             |
| Figura 9. Índice de área foliar (IAF) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC)..... | 45             |
| Figura 10. Acúmulo de matéria seca de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).....    | 47             |
| Figura 11. Eficiência do uso da água (EUA) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento (I) e sequeiro (S).....                           | 49             |
| Figura 12. Produtividade de colmos (TCH) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento (I) e sequeiro (S).....                             | 50             |

## 1 RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar vem ganhando imensa expressão no agronegócio brasileiro, entretanto essa grande expansão está ocorrendo em áreas de baixo potencial de produtividade, devido, principalmente, à deficiência hídrica. A presença de água é fundamental nos processos metabólicos dos vegetais, influenciando diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, através das alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das células. Estudos sobre variáveis morfológicas são importantes para auxiliar na caracterização e entendimento dos mecanismos de tolerância ao estresse e na escolha de cultivares de melhor desempenho em ambientes contrastantes como o irrigado e o de sequeiro. O presente trabalho teve como objetivo diferenciar cultivares de cana-de-açúcar sob ambiente irrigado via gotejamento sub-superficial e sequeiro, por meio de variáveis morfológicas e sua correlação com a produtividade. A instalação do experimento foi realizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) da APTA, Pólo Centro-Oeste, Jaú-SP, em parcelas constituídas por cinco linhas de sulco duplo (0,40 x 1,40 m) de 8 m de extensão, em quatro repetições. As variáveis morfológicas analisadas foram: número de perfilhos (NP), número de entrenós (NE), altura de plantas (ALT), diâmetro de colmos (DC), índice de área foliar (IAF), matéria seca total (MST), avaliadas aos 60, 120, 180, 240 dias após o corte (DAC) e na última avaliação obteve-se a eficiência do uso da água (EUA) e a produtividade de colmos. As cultivares analisadas foram RB867515, RB855536, SP83-2847, SP89-1115. Foi realizada correlação entre as variáveis morfológicas e o potencial produtivo das cultivares sob irrigação e sequeiro. Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, com ajuste de equações e comparações entre médias dos tratamentos experimentais pela aplicação do teste F seguido da aplicação do teste tukey 5% de probabilidade. As variáveis morfológicas número de

perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmos e índice de área foliar foram eficientes na diferenciação dos tratamentos irrigado e sequeiro, indicando serem variáveis responsivas a aplicação de água. A eficiência do uso da água mostrou ser uma excelente ferramenta na diferenciação das cultivares estudadas. As cultivares não diferiram em relação à produtividade de colmos. A cultivar RB867515 teve produtividade de colmos 13,15% no manejo irrigado em relação ao sequeiro. As variáveis morfológicas índice de área foliar, altura de plantas e número de entrenós correlacionaram positivamente com a produtividade colmos, nos dois manejos.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., variedades, irrigação, biometria - índice de área foliar, produtividade.



**YIELD POTENTIAL OF SUGAR CANE CULTIVARS UNDER IRRIGATED AND RAINFED MANAGEMENT SYSTEMS.** Botucatu, 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCEL TOMÁS ARANTES

Adviser: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

## **2 SUMMARY**

The sugar cane crop has gained immense expression in agribusiness, however, this boom is occurring in areas of low productivity potential, mainly due to water deficit. The presence of water is critical in the metabolic processes of plants, directly influencing the growth and development of plants, through morphological, physiological and biochemical modifications in the cell. Studies on morphological variables are important to assist in the characterization and understanding of the mechanisms of stress tolerance and choice of cultivars better performance in different environments such as irrigated and rainfed. This study aimed to identify the yield potential of sugar cane cultivars under irrigated environment via subsurface drip irrigated and rainfed and the cultivar differentiate responses through morphological variables and its correlation with productivity. The experiment was performed at the Unit of Research and Development of APTA, Jaú, SP, in plots consisting of five lines of double groove (0.40 x 1.40 m) of 8 m in length. The morphological variables analyzed were: number of tillers (NT), number of internodes (NI), plant height (PH), stem diameter (SD), leaf area index (LAI), total dry matter (TDM), evaluated at 60, 120, 180, 240 (days after the last cut (DAC) and in the trial harvest the efficiency of water use (EUA) and stalk productivity were obtained. The cultivars analyzed were: RB867515, RB855536, SP83-2847, SP89-1115. All morphological variables were correlated with the productive potential of the cultivars under irrigation and dryland systems. The data were subjected to analysis of variance and regression, with different

equations and comparisons between means of experimental treatments by applying the F test followed by application of Tukey 5% probability. The morphological variables: number of tillers, plant height, stem diameter and leaf area index were efficient in the differentiation of irrigated and rainfed treatments, indicating that these are responsive to variable water application. The efficiency of water use was found to be an excellent tool in the differentiation of cultivars. The stalk productivity was not significantly different among the cultivars. The cultivar RB867515 showed significant increase of 13.15% in the stem productivity under irrigated system in relation to rainfed treatment. The morphological variables leaf area index, plant height and number of internodes were positively correlated with productivity stems in the both management systems.

**Keywords:** *Saccharum* spp. varieties, irrigation, biometrics - leaf area index, productivity.

### 3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar ocupa posição de destaque entre as principais culturas cultivadas no Brasil, tanto em relação à área plantada quanto ao volume e valor da produção. O grande interesse pela produção desta cultura está na valorização de seus derivados, com destaque para o açúcar e etanol. Além destes produtos, a busca por energia renovável tem destacado a cana-de-açúcar, devido ao seu alto potencial energético, como matéria prima na co-geração de energia elétrica. O Brasil atualmente é o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China, detendo em média 40% do comércio internacional do açúcar. (AGRIANUAL, 2010) O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor (52,6%), seguido por Minas Gerais (9,0%), Goiás (8,0%), Paraná com (7,3%), Mato Grosso do Sul (5,7%), Alagoas (5,4%) e Pernambuco (3,8%) (CONAB, 2011).

Nos últimos anos, o setor sucroalcooleiro vem se expandindo para regiões não tradicionais no cultivo de cana-de-açúcar como o oeste e noroeste do Estado de São Paulo, áreas de cerrado de Goiás, Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Os critérios utilizados para a ocupação destas novas fronteiras agrícolas vêm sendo a topografia plana por favorecer a mecanização e o baixo custo da terra, principalmente as áreas de pastagens degradadas. Devido a essa expansão, surgiram alguns problemas de adaptação climática e ambiental da cana-de-açúcar, entre eles a deficiência hídrica em consequência da irregularidade pluviométrica nos meses de maior necessidade hídrica da

cultura (ROLIM et al., 2007). A ausência de chuvas preocupa os produtores de maneira geral, e não apenas nas regiões não tradicionais, pelo impacto negativo na produtividade e pelo motivo reduzir a disponibilidade de áreas para expansão (OLIVEIRA et al., 2010).

No Estado de São Paulo, o cultivo de cana-de-açúcar é exclusivamente sem uso de irrigação, com meras exceções como a fertirrigação que utiliza vinhaça como fonte de potássio. Sendo assim, existe um paradigma de que não se têm recursos hídricos suficientes para este fim, tornando inviável esta prática pelo alto custo de implantação e manutenção de um projeto de irrigação. Entretanto, grande parte dos canaviais irrigados está sendo conduzida em áreas inadequadas, de baixa fertilidade, com uso de cultivares não responsivas à irrigação, o que limita o crescimento vertical da cultura, elevando o custo dessa tecnologia (OLIVEIRA et al., 2010).

O estudo das características morfológicas é uma ferramenta para a investigação das respostas de diferentes cultivares ao estresse hídrico, sendo que visualmente pode ser identificada a tolerância ou susceptibilidade de materiais genéticos.

Algumas das ferramentas para que ocorra o aumento do rendimento em produtividade é o desenvolvimento de novas cultivares por meio dos programas de melhoramento e também a utilização de tecnologias de irrigação em áreas cultivadas com cana-de-açúcar (DALRI, 2004).

A identificação da capacidade produtiva de diferentes cultivares e a investigação dos efeitos do manejo da cultura são geralmente realizadas por intermédio da análise de crescimento e pela avaliação de algumas variáveis morfológicas das plantas como: altura, número de plantas por metro, área foliar e produção (ALMEIDA et al., 2008). Smit; Singels (2006) afirmam serem necessárias mais pesquisas para o esclarecimento dos mecanismos de resposta da cultura da cana-de-açúcar ao estresse hídrico. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial produtivo de diferentes cultivares sob os manejos irrigado via gotejamento subsuperficial e não irrigado e identificar variáveis morfológicas que sejam correlacionadas com a produtividade nesses ambientes.



## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 A cultura da cana-de-açúcar

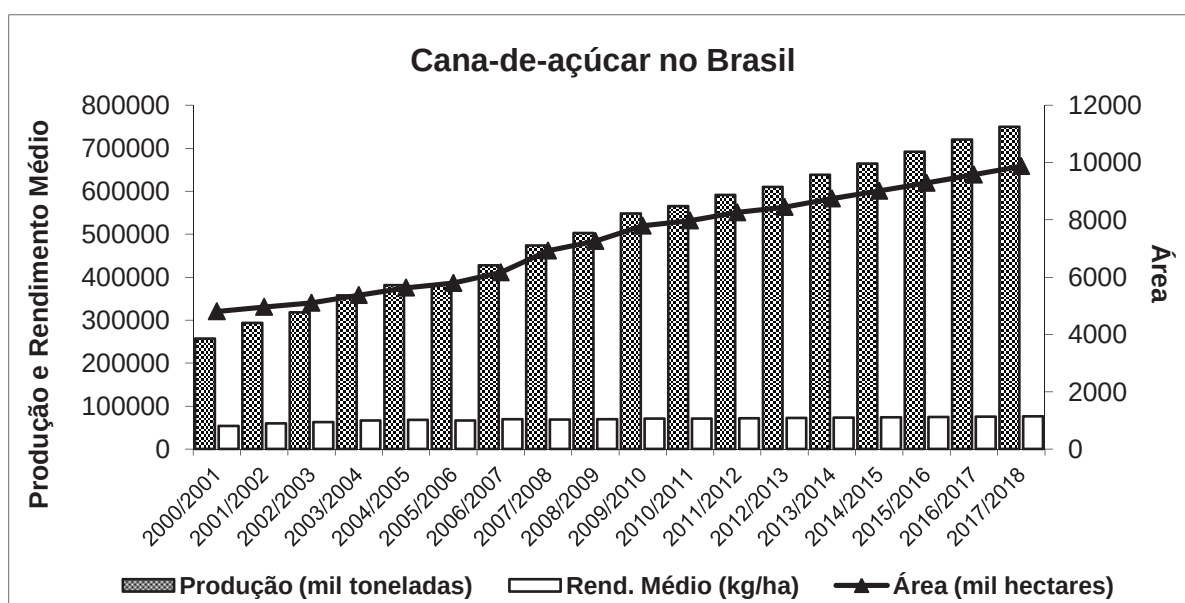
A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é originária do sudeste asiático, mais precisamente na região central da Nova Guiné e Indonésia, onde o clima tem como características temperaturas elevadas e alta umidade relativa do ar. Sendo enquadrada como planta alógama, pertencente à tribo Andropogoneae, família Poaceae, e seus atuais cultivares são híbridos interespecíficos com constituições genéticas em diferentes proporções das espécies *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule* (MATSUOKA et al., 2005; GUPTA et al., 2010).

Durante a história, a cana-de-açúcar foi expandida pelo mundo, sendo encontrada em regiões situadas entre os paralelos 35°N e 35°S, apresentando larga escala de adaptação a ambientes diversos (ALFONSI et al., 1987). No Brasil foi introduzida pelos portugueses que trouxeram as primeiras mudas da Ilha da Madeira, ganhando terras brasileiras em 1502, fazendo parte da história nacional, onde a mão-de-obra escrava movimentava os engenhos da época (FIORAVANTI, 2000).

Atualmente a cana-de-açúcar é uma das principais culturas em destaque no país e no mundo, sendo caracterizada como uma das melhores fontes de energia renovável, com perspectivas extremamente favoráveis tanto no mercado de

biocombustíveis, produção de açúcar, como também na co-geração de energia. O Brasil atualmente é o maior produtor de cana-de-açúcar, sendo responsável por mais de um terço da cultura cultivada no mundo (UNICA, 2010), representando um papel importante no cenário nacional, gerando emprego e renda. A previsão total de cana moída para a safra 2011/2012 é de 588,915 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em 8,43 milhões de hectares em produção, com um total de área plantada de 9,96 milhões de hectares, sendo a região Centro-Sul responsável por 86% da produção de cana do país. A média nacional em produtividade em 2011 ficará em torno de 69,8 toneladas por hectare, onde o Estado de São Paulo obteve o índice de 72,3 toneladas por hectare (CONAB, 2011).

Associada à condição de deficiência hídrica está à baixa produtividade, sendo assim, o aumento da produção de cana-de-açúcar no Brasil está correlacionado com a ampliação da área cultivada, diferentemente da condição ideal de se aumentar o rendimento por área plantada, como mostra a Figura 1.



**Figura 1.** Produção, rendimento médio e área plantada de cana-de-açúcar no Brasil (AGRIANUAL, 2010).

Considerada uma cultura altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química, através de sua alta atividade fotossintética, a cultura da cana-de-açúcar tem como característica o elevado acúmulo de matéria seca (RODRIGUES, 1995).

Comparativamente, as plantas de metabolismo  $C_4$  possuem alta

taxa de crescimento, adaptação a condições climáticas adversas, como temperaturas elevadas e deficiência hídrica e eficiência do uso da água de duas a três vezes maior que as plantas  $C_3$  (TAIZ; ZEIGER, 2006). Mesmo de certa tolerância à deficiência de água, a cultura necessita de grandes quantidades desse elemento para suprir suas necessidades hídricas (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

## **4.2 Deficiência hídrica**

### *4.2.1 Aspectos gerais*

As plantas são freqüentemente submetidas a diferentes adversidades ambientais, resultando em estresses, afetando de maneira negativa o desenvolvimento dos vegetais, reduzindo a produtividade. Tais estresses podem ser bióticos (resultado de organismos) ou abióticos (resultado do excesso ou déficit de algum fator físico ou químico do ambiente), podendo ocorrer de forma isolada ou concomitante (GONÇALVES, 2008).

Entre os principais estresses considerados abióticos estão o estresse hídrico (deficiência ou excesso), nutrientes minerais (deficiência ou excesso) e temperatura (alta ou baixa) (BRAY, 1997; CAMBRAIA, 2005).

A deficiência hídrica é um dos principais fatores de redução do crescimento, limitando a produtividade e a distribuição dos vegetais, apresentando influência negativa em mais de 10% das áreas agrícolas do globo terrestre (BARTELS; SUNKAR, 2005), principalmente em lavouras de espécies economicamente importantes como o arroz, o milho, o trigo e a cana-de-açúcar (GARG et al., 2002).

O nível de deficiência hídrica difere entre as espécies e dentro da espécie, dependendo da cultivar, uma vez que as características morfofisiológicas podem ser diferentes, sendo que a maioria das culturas possui um estágio de desenvolvimento no qual a deficiência hídrica causa maior redução na produção (PIMENTEL, 2004; FLEXAS et al., 2006). O déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semi-áridas do mundo, de vez que mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento (TAIZ; ZEIGER, 1991).

#### 4.2.2 Deficiência hídrica em cana-de-açúcar

Para manter índices de produção satisfatórios, esta cultura necessita de um período quente e úmido, com intensa radiação solar durante o estágio vegetativo, seguido de um período seco na fase de maturação e colheita (ALFONSI et al., 1987). Períodos de deficiência hídrica, afetam o desenvolvimento celular principalmente nas fases de brotação, perfilhamento e alongamento dos colmos, por serem fases de maior exigência hídrica, interferindo no rendimento em produtividade.

Maule et al. (2001) verificaram que a produção da cana-de-açúcar foi negativamente influenciada pela deficiência hídrica do solo, apresentando variações na produtividade. Nas regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar tem-se observado, nos últimos anos, alterações na distribuição pluviométrica, com consequente aumento de “veranicos”, que causam maiores prejuízos quando ocorrem no estágio vegetativo da planta (DIAS, 1999).

Embora adaptada às condições de elevada intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, a cana-de-açúcar necessita de grandes quantidades de água, uma vez que somente 30% do peso constituem-se de massa seca e 70% de água, dependendo do estágio fenológico. Segundo Dillewijn (1952), a cana-de-açúcar apresenta elevado consumo hídrico, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta.

A cana-de-açúcar pertence ao grupo das plantas de metabolismo C<sub>4</sub>, tipicamente tropical, de clima quente e úmido (FERNANDES, 1984). As plantas com esse metabolismo apresentam maior eficiência fotossintética devido à abundância de cloroplastos dispostos em duas camadas na folha. A capacidade de assimilação hídrica pelas folhas é superior às outras gramíneas, de forma que o orvalho e os chuviscos, que não atingem o solo, também são absorvidos (SEGATO et al., 2006).

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo o principal responsável pela redução das produtividades agrícolas (PIMENTEL, 2004). Como qualquer outro cultivo agrícola, a cultura da cana-de-açúcar tem sua produção diretamente influenciada pelos estresses ambientais, os quais podem ser passíveis ou não de manejo (MAULE et al., 2001).

### 4.3 Manejo da irrigação em cana-de-açúcar

Em relação à água, nem sempre as chuvas atendem a real necessidade hídrica das plantas; surge assim a importância da irrigação, a qual, quando bem planejada, tem retorno econômico inquestionável. A irrigação tem como objetivo aumentar a produtividade agrícola seja em quantidade como em qualidade da matéria prima e ainda proporcionar expansão de novas terras agricultáveis onde o fator limitante é a falta de água.

É de conhecimento geral que a produtividade real de muitas culturas em diversas regiões representa apenas parcialmente o potencial genético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2006). Para se alcançar altos índices de produtividade alguns produtores têm buscado o uso de técnicas de irrigação para amenizar os efeitos negativos do déficit hídrico, potencializando a absorção de água e nutrientes. Porém, é uma técnica que requer grandes investimentos principalmente por causa do alto custo de equipamentos e da escassez de água em algumas regiões.

A disponibilidade hídrica do solo é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar, pois determina o estabelecimento da cultura durante o estágio vegetativo (RAMESH, 2000).

Rozeff (1998) cita trinta motivos de redução de produtividade das soqueiras de cana-de-açúcar. Entre todos motivos citados, treze têm alguma relação com a disponibilidade de água no solo.

A finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender as exigências hídricas durante todo o seu ciclo, possibilitando altas produtividades e produtos de boa qualidade; sendo que a lâmina de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio.

O rendimento e a produção de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar irrigada dependem do volume de água aplicada, do manejo de irrigação combinado com a quantidade certa de adubação, da cultivar utilizada, da idade do corte, do tipo de solo e do clima (SCARDUA; ROSENFELD, 1987). O cultivo irrigado da cana-de-açúcar proporciona aumento da produtividade, da produção e do número de cortes por plantio, além de promover a sustentabilidade econômica, social e ambiental.

As técnicas de irrigação trazem diversos benefícios para a cultura da cana-de-açúcar, garantindo condições ideais de umidade no solo, proporcionando maior absorção de água e nutrientes, o que traduz em maior produtividade.

A tecnologia de irrigação vem sendo introduzida em algumas áreas como alternativa na melhoria da qualidade total do processo de produção do setor sucroenergético.

Pesquisadores vêm estudando os benefícios da introdução da irrigação, obtendo altos índices de produtividade em vários ciclos da cultura, prorrogando a longevidade do canavial assim reduzindo custos. Todavia, há grande variação nos resultados de pesquisa, sendo importante levar em consideração o clima regional, solo, tratos culturais e manejo da irrigação utilizado.

A disponibilidade de água no solo governa a produção vegetal, assim sua redução ou excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas (REICHARDT, 1996), pois altera a absorção de água e nutrientes, interferindo diretamente nos processos metabólicos das células (HUMBERT, 1968).

Entre os fatores que compõem o clima regional, a disponibilidade hídrica é totalmente dependente das precipitações pluviais, sendo de fundamental importância para os sistemas agrícolas implantados, principalmente devido a sua distribuição ao longo do mês e do ano. As baixas quantidades pluviométricas e a irregularidade de distribuição das chuvas restringem o crescimento da cultura e proporcionam impactos negativos da produtividade e qualidade dos canaviais (WIEDENFELD; ENCISO, 2008).

As limitações ambientais como as sazonalidades pluviométricas podem inviabilizar investimentos agrícolas, principalmente nas regiões tropicais onde a demanda por precipitações resulta em instabilidade na produção. Considerando-se este aspecto, a irrigação é uma importante ferramenta para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, de forma que a frequência, a quantidade, a uniformidade e a eficiência da irrigação, juntamente com a precipitação, são variáveis que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cultura (SOUZA et al., 1999). O uso da água para a irrigação é um recurso limitado e incontestável e seu manejo efetivo é crítico, não somente na redução do uso, mas também na redução do custo de produção e para uma produtividade sustentável (SILVA et al., 2007).

O manejo adequado implica em conhecer os padrões de crescimento de cada cultivar, fazendo com que as fases de máximo desenvolvimento coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar, permitindo que a cultura expresse todo seu potencial genético (KEATING et al., 1999; STONE et al., 1999).

Praticamente, toda a cana produzida no Estado de São Paulo é cultivada em condições de sequeiro, isto é, sem o emprego da técnica de irrigação. A tradição do cultivo de cana de sequeiro é alicerçada no paradigma de que a irrigação de cana-de-açúcar é economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo (FRIZONNE et al., 2001). O clima predominante da região de Jaú-SP é o Aw (Köppen), seco definido nos meses de inverno, temperatura média anual de 21,6°C, com umidade relativa média mensal de 70%, com extremos de 99% em fevereiro e 19% em agosto. Sendo na estação seca, entre abril a setembro, ocorre situação de intenso déficit hídrico, reduzindo a produção agrícola sendo necessário a utilização da irrigação suplementar (CASTRO et al., 1987). A média pluviométrica anual do município é de 1.344 mm. Segundo Doorenbos; Kassan (1979), produções em áreas irrigadas em torno de 100 a 150 t ha<sup>-1</sup> demandam 1.500 a 2.000 mm por ciclo de 365 dias. Uma vez que nas áreas canavieiras brasileiras a precipitação total anual é em torno de 1.100 a 1.500 mm ano<sup>-1</sup>, torna-se indispensável à irrigação complementar para se obter as produções desejadas (ALFONSI et al., 1987). Porém, alguns autores consideram que precipitações de 1200 mm anuais bem distribuídos são suficientes para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar; no mínimo 850 mm durante o período vegetativo é suficiente para se alcançar ótimos rendimentos em produtividade (ZINK et al., 1978; BLACKBURN, 1984; OLIVEIRA et al., 2002).

Doorenbos; Kassan (1994) relatam que os rendimentos da cana-de-açúcar produzida em condições de sequeiro nos trópicos úmidos variam entre 70 a 100 t ha<sup>-1</sup> e nos trópicos e sub-trópicos secos, com irrigação, rendimentos entre 100 e 150 t ha<sup>-1</sup>, que podem ser considerados satisfatórios. De acordo com Mاتيoli (1998), os benefícios da irrigação da cultura da cana-de-açúcar dividem-se em “benefícios diretos” e “benefícios indiretos”. Segundo os autores, os benefícios diretos consistem nos aumentos de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade.

#### 4.4 Resposta das plantas ao déficit hídrico

O efeito da deficiência hídrica nas plantas se manifesta quando os níveis de transpiração são superiores aos índices de absorção de água pelas raízes, sendo assim indicação de necessidade de água no solo. A falta de água no solo se torna fator limitante importante na produção sustentável em todo o mundo, pois afeta simultaneamente um número variado de características morfológicas nas plantas (SILVA et al., 2008). As plantas submetidas ao déficit hídrico têm como primeiro efeito a redução do turgor celular, responsável pelo alongamento de células que dirigem à expansão foliar (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). O déficit hídrico afeta vários aspectos do crescimento vegetal; os efeitos mais óbvios do estresse hídrico se referem à redução do tamanho das plantas, de sua área foliar e da produtividade da cultura (KRAMER, 1983; TAIZ; ZEIGER, 2002).

Dentre estas características morfológicas afetadas pela deficiência hídrica pode-se destacar área foliar e número de folhas (INMAN-BAMBER, 2004; OLIVEIRA et al., 2005), senescência foliar (SMIT; SINGEL, 2006), altura da plantas (ALMEIDA et al., 2008), diâmetro de colmos, número de perfilhos (RAMESH; MAHADEVASWANY, 2000; SILVA et al., 2008). De acordo com Landell; Silva (2004), os atributos de produção decisivos para o potencial agrícola são: altura de plantas, diâmetro de colmos e número de perfilhos.

Segundo alguns autores, o número de perfilhos industrializáveis é reduzido com a restrição da disponibilidade de água (SINGH; REDDY, 1980; ROBERTSON et al., 1999; RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000; SILVA; COSTA, 2004; SOARES et al., 2004).

As fases de perfilhamento juntamente com a de grande crescimento, também conhecidas como fase de formação, têm sido identificadas como um período crítico por demanda de água (RAMESH, 2000).

Ramesh; Mahadevaswamy (2000), estudando diferentes fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar sob o efeito do estresse hídrico, observaram que as cultivares que perfilham menos têm perfilhos com maior altura, maior diâmetro de colmo e maior acúmulo de matéria seca, indicando correlação positiva com as cultivares mais produtivas.



Silva; Costa (2004) afirmam que o diâmetro de colmo é influenciado pelo regime de água; no entanto, ele também pode ser afetado pelo genótipo. Outras variáveis importantes são o alongamento e a altura de colmo de cana-de-açúcar que são negativamente afetados pelas condições de seca (SINGH; REDDY, 1980; RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000; SILVA; COSTA, 2004; SOARES et al., 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). De acordo com Domaingue (1995) e Soares et al. (2004), a altura de colmo é a variável mais severamente reduzida em condições de seca.

O déficit hídrico durante o desenvolvimento da cultura restringe os processos fisiológicos interferindo na divisão e alongamento celular, diminuindo o acúmulo de matéria seca e consequentemente a taxa de crescimento e o índice de área foliar (INMAN-BAMBER, 2004). O índice de área foliar (IAF) é responsável pela captação da energia luminosa e transformá-la em ATP que irá suprir as necessidades energéticas das células no processo de divisão celular. Devido a esse fator o número e a permanência de folhas fotossinteticamente ativas são de extrema importância para o aproveitamento da luminosidade solar (GHANNOUM, 2009).

Outro fator importante dentro do estudo dos efeitos da deficiência hídrica é a eficiência do uso da água, que é a medida pela relação entre a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura e sua produção de matéria seca (SILVA et al., 2011). Assim, culturas mais eficientes no uso da água produzem mais matéria seca por grama de água transpirada. O uso mais eficiente da água está diretamente correlacionado ao tempo de abertura estomática, pois enquanto a planta absorve CO<sub>2</sub> para o processo de fotossíntese, a água é perdida por transpiração dependendo do gradiente de potencial entre a superfície foliar e a atmosfera (GALON et al., 2010).

A produtividade de colmos é afetada pela deficiência hídrica, sendo que com o uso da irrigação é possível alcançar elevadas produtividades. A seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico e sua introdução no melhoramento genético é uma das ferramentas para se driblar os efeitos da falta de água, porém a associação de técnicas de irrigação trás mais segurança ao produtor na manutenção da produtividade dos canaviais.

Gava et al. (2011) trabalhando com irrigação por gotejamento em três cultivares de cana-de-açúcar obtiveram, em média, incremento de 20% em cana-planta e de 28% em cana-soca com o uso da irrigação localizada. Dalri (2004) também

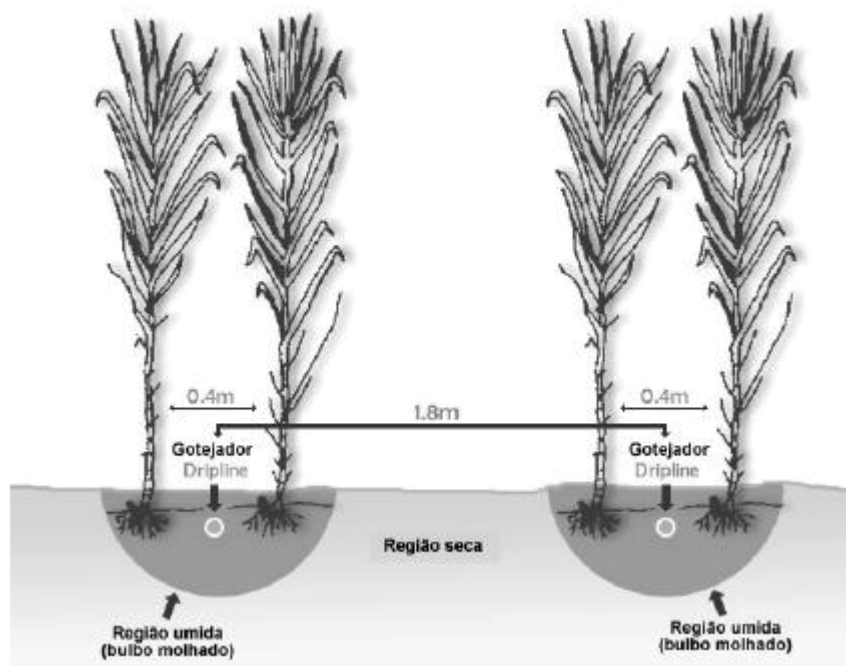
trabalhando com irrigação por gotejamento obteve resultados semelhantes com incrementos médios de 28,21% em produtividade de colmos.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Descrição geral da área do experimento**

A instalação do experimento foi realizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) Pólo Regional Centro-Oeste, Jaú, Estado de São Paulo, localizada nas coordenadas geográficas latitude 22°15' S e longitude 48°34' W e numa altitude média de 580 m. Conduzido em quarto ciclo (soqueira de terceiro corte) no período de setembro de 2009 a julho de 2010, sendo o plantio realizado em setembro de 2006.

As parcelas constituíram-se de cinco sulcos de 8 m de comprimento, sendo utilizado o espaçamento em linha dupla de 0,4 m (plantio em “W” ou plantio em “abacaxi”) com espaçamento de 1,80 m entre os gotejadores em linhas duplas. A Figura 2 exemplifica a disposição das linhas de plantio de cana-de-açúcar e do tubo de irrigação nas parcelas do experimento.



**Figura 2.** Instalação dos tubos gotejadores nos tratamentos irrigados.

(GASCHO; SHIH, 1983, adaptado por GAVA et al., 2011).

O clima predominante da região é o Aw (Köppen), com clima seco definido, temperatura média anual de 21,6°C, umidade relativa média mensal de 70%, com extremos de 99% em fevereiro e 19% em agosto. A média pluviométrica anual de 1.344 mm.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico - PVe, segundo a classificação de Prado (2005), composta de 66, 70, 270 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, o qual apresentou na camada de 0-25 cm os valores apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo amostrada da área experimental, Jaú-SP.

| pH                   | M.O.               | P                   | S-SO <sub>4</sub> | K    | Ca    | Mg    | Al   | H+Al  | CTC    | V %   |
|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|------|-------|-------|------|-------|--------|-------|
| (CaCl <sub>2</sub> ) | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> |                   |      |       |       |      |       |        | %     |
| 5,20                 | 19,00              | 19,00               | 3,00              | 0,90 | 27,00 | 14,00 | 0,00 | 22,00 | 105,00 | 66,00 |

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 2, constituído, portanto, por quatro cultivares, RB867515, RB855536, SP83-2847, SP89-1115 e dois regimes hídricos, irrigado e sequeiro, com quatro repetições.

## 5.2 Cultivares

A seguir é apresentada a descrição de cada cultivar.

- **RB867515:** Destaca-se pelo crescimento rápido, rusticidade e alta produtividade agrícola em solos de baixa fertilidade. Possui boa adaptação à colheita mecanizada, principalmente pelo crescimento ereto e boa brotação de soqueira. Alto teor de sacarose com maturação média/tardia. Resistente às principais doenças, possuindo média tolerância à deficiência hídrica (HOFFMANN et al., 2008);

- **RB855536:** Possui as principais características para mecanização como a excelente brotação de soqueira (inclusive sob a palha), fácil despalha e, principalmente, a alta produtividade agrícola e industrial. Possui hábito ereto, baixa exigência em fertilidade do solo, baixo teor de fibra e maturação média. É considerada sensível à deficiência hídrica (HOFFMANN et al., 2008);

- **SP83-2847:** As características positivas que mais se destacam nesta cultivar são a alta produtividade e a rusticidade, sendo considerada tolerante ao déficit hídrico. Possui maturação tardia com recomendação de colheita para o final de safra e média exigência em fertilidade. Apresenta hábito levemente decumbente e teor de sacarose baixo (COPERSUCAR, 1999);

- **SP89-1115:** Tem como características importantes a ótima brotação de soqueira (inclusive sob a palha), precocidade na maturação e alto teor de sacarose; é recomendada para colheita até o meio de safra, respondendo positivamente à melhoria dos ambientes de produção. Apresenta hábito semi-ereto, baixa fibra; floresce frequentemente, porém com pouca isoporização (COPERSUCAR, 2003), sendo susceptível à ferrugem alaranjada.

## 5.3 Condução do experimento

As parcelas receberam no plantio uma dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples, 220 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 30

kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia. O controle de plantas daninhas foi feito com a aplicação de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de diuron + 1,5 L ha<sup>-1</sup> de tebutiuron.

Nas soqueiras a aplicação de nitrogênio e potássio foi realizada ao longo do crescimento da cultura, sendo aplicado 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio purificado.

Para irrigação sub-superficial, o tubo gotejador foi enterrado a 20 cm de profundidade da superfície do solo, entre as linhas duplas. Os tubos gotejadores utilizados foram o DRIPNET PC 22135 FL, espaçados a cada 0,5 m, possuindo uma vazão de 0,60 L h<sup>-1</sup>.

A irrigação foi controlada por um sistema automatizado, sendo que os dados sobre a condição hídrica do solo, determinados por meio de tensiômetros dispostos na área experimental, eram enviados por sinais via rádio para uma central informatizada, cujos computadores calculavam a necessidade ou não de irrigação. O sistema foi programado para manter o solo na capacidade de campo, porém em lâminas diferentes.

A frequência de irrigação foi realizada contabilizando o suprimento de água no solo, pela chuva (P) e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração da cana-de-açúcar (ETC), com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm, assim foi elaborada estimativa de balaço hídrico descendial e calculada a deficiência hídrica (DEF)

De acordo com a média de precipitação no município de Jaú, cujo valor é de 1344 mm, está abaixo da necessidade hídrica de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo da cana-de-açúcar (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Assim, conforme a média histórica do município de Jaú, houve fornecimento de 393 mm a mais de água no ciclo de 11 meses.

Toda informação sobre dados climáticos e de água por período (fase) foi armazenada automaticamente no sistema computacional para posterior utilização nos estudos do balanço hídrico local.

Os dados meteorológicos foram coletados da estação meteorológica da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Pólo Regional Centro-Oeste, Jaú-SP.

A precipitação pluvial (P) e a lâmina de água aplicada (I) foram coletadas diariamente e somadas a cada 10 dias para análise dos dados.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi determinada pelo método de Penman-Monteith – FAO, conforme descrito por Allen et al. (1998), utilizando a fórmula:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900U_2}{T + 273}\right)(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

em que:

$ET_0$  = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

$R_n$  = saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$G$  = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$\gamma$  = coeficiente psicométrico (kPa °C<sup>-1</sup>);

$T$  = temperatura do ar em °C;

$U_2$  = velocidade do vento a 2m de altura (m s<sup>-1</sup>);

$e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa);

$e$  = pressão do vapor d'água do ar (kPa);

$\Delta$  = inclinação da curva de pressão de vapor saturado versus temperatura (kPa °C<sup>-1</sup>).

Para a determinação da evapotranspiração potencial da cultura (ETC), utilizou-se da fórmula:

$$ETc = ET_0 \cdot kc$$

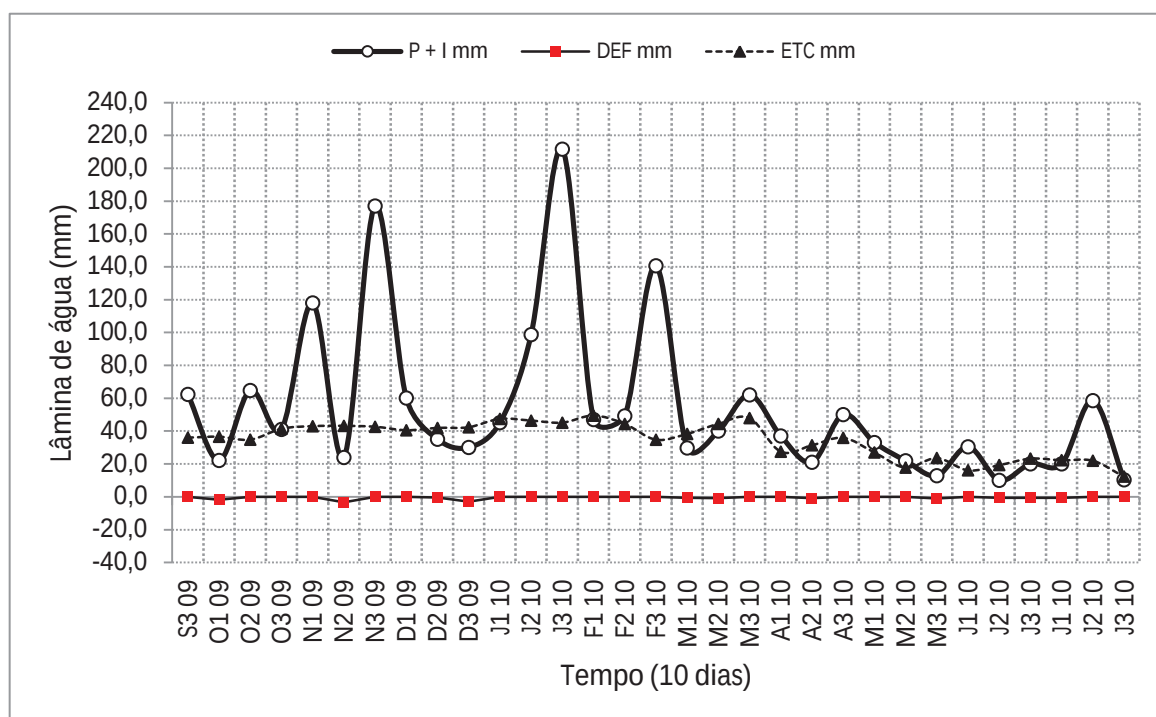
Onde o coeficiente da cultura (kc) foi utilizado conforme tabela descrita por Doorenbos; Kassam (1994).

Na interação do sistema solo-planta-atmosfera, o direcionamento da água para regiões de diferentes potenciais de energia faz com que a água armazenada no solo esteja em constante variação. Esta variação do armazenamento de água no volume de solo considerado por intervalo de tempo representa o balanço do que entrou e do que saiu de água no sistema.

O estudo dessa contabilização da água no solo é chamado balanço hídrico (BH), sendo o seu conhecimento muito importante tanto na determinação imediata

da necessidade hídrica de uma cultura quanto na tomada de decisões em projetos agrícolas. É caracterizado também como indicador do potencial climático de uma região para qualquer cultura (OMETTO, 1989; PEREIRA et al., 2002).

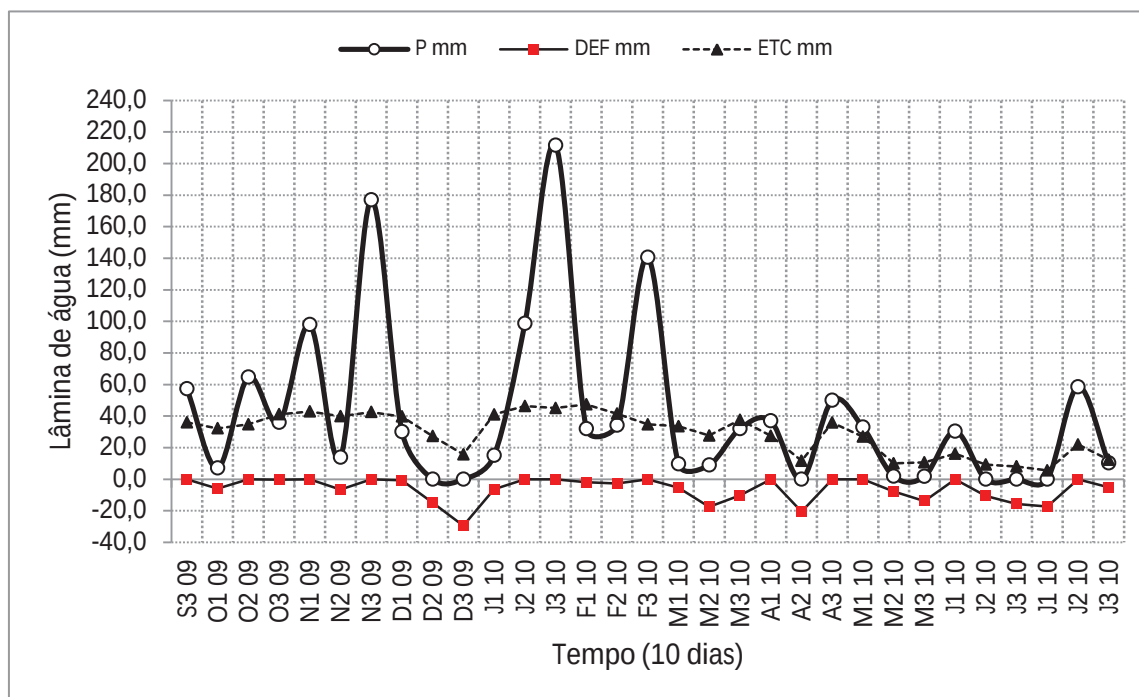
Na Figura 3 está representado o balanço hídrico do tratamento irrigado, onde está contabilizado o total de água proveniente da chuva mais a água aplicada via fertirrigação.



**Figura 3.** Precipitação pluvial, déficit hídrico no solo e evapotranspiração da cultura durante o período experimental, no tratamento irrigado, Jaú-SP, 2009/2010

Na Figura 4 é apresentado o balanço hídrico do tratamento de sequeiro (sem irrigação).





**Figura 4.** Precipitação pluvial, déficit hídrico no solo e evapotranspiração da cultura durante o período experimental, nos tratamentos sequeiro, Jáu-SP, 2009/2010

#### 5.4 Avaliações morfológicas

As medições das variáveis morfológicas das cultivares foram determinadas através de coletas periódicas aos 60, 120, 180, 240 dias após a colheita do terceiro ciclo (DAC).

##### 5.4.1 Número de perfilhos (NP)

A contagem do número de perfilhos foi realizada de maneira direta, em um metro linear, na linha central e no centro da parcela, em cada uma das repetições, no próprio campo.

##### 5.4.2 Altura de plantas (ALT)

As medidas de altura foram feitas nos perfilhos avaliados em cada amostragem. Utilizando-se uma fita graduada em centímetros, medindo a altura do início

do colmo até a inserção da folha +1 (aurícula visível) de acordo com o sistema de KUIJPER.

#### 5.4.3 Número de entrenós (NE)

Os valores de número de entrenós foram obtidos por meio da contagem em cada perfilho analisado durante a biometria do experimento.

#### 5.4.4 Diâmetro de colmos (DIAM)

O diâmetro de colmos foi obtido utilizando um paquímetro no primeiro terço do colmo, acima da superfície do solo em cada um dos perfilhos amostrados.

#### 5.4.5 Índice de área foliar (IAF)

A variável IAF foi determinada utilizando o equipamento Ceptômetro PAR/LAI Decagon PAR-80, que possui 80 sensores fotossensíveis acoplados a um controle único (JONCKHEERE et al., 2004). O IAF foi obtido por meio de leituras da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) acima e abaixo do dossel foliar através da fórmula já embutida no equipamento.

Nas amostragens foram feitas mensurações da radiação a pleno sol ( $R_o$ ) e sob o dossel ( $R$ ) e o IAF foi calculado através da Lei de Lambert-Beer:

$$IAF = - \frac{Ln\left(\frac{R}{R_o}\right)}{k},$$

$k$  – é o coeficiente de extinção da luz.

$R$  – radiação fotossinteticamente ativa a pleno sol. ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )

$R_o$  – radiação fotossinteticamente ativa sob o dossel. ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )

As leituras em cada parcela foram tomadas entre às 10h e 14h em cada época de avaliação após a implantação dos tratamentos.

#### 5.4.6 *Matéria seca total (MST)*

As amostras foram coletadas em um metro linear de cada parcela, posteriormente foram pesadas e retiradas amostras de colmos, folhas verdes + palmito, folhas secas e levadas para estufa a 65°C.

Para a obtenção de massa de matéria fresca (*MF*) das plantas foi utilizada uma balança semi-analítica e para massa de matéria seca (*MS*), as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada por 72 horas a 65°C. Com os valores de *MF* e *MS* obteve-se a porcentagem de matéria seca.

$$\text{Matéria seca (\%)} = (MS:MF) \cdot 100^{-1}$$

Através da obtenção da porcentagem de matéria seca das secções da planta, foi multiplicado pelo valor total das partes e adquirindo o valor total de matéria seca por hectare para os diferentes tratamentos.

#### 5.4.7 *Eficiência do uso da água (EUA)*

A eficiência do uso da água foi definida como sendo a relação entre a produtividade e o volume total de água utilizado durante a avaliação do experimento.

Para a determinação da eficiência do uso da água utilizou-se a seguinte fórmula:

$$EUA = \frac{\text{Produtividade de colmos (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volume total de água (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}} = \text{kg m}^{-3}$$

Utilizando os valores de produtividade de colmos em (kg ha<sup>-1</sup>) e o volume total de água durante a avaliação do experimento, sendo que para o tratamento irrigado foi somado à precipitação do período com a lâmina total aplicada, resultando em 1682,9 mm e no tratamento sequeiro apenas a precipitação do período que foi de 1289,9 mm.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e de regressão com uso do programa estatístico Sisvar. Também foi realizada análise de

correlação linear para determinar a associação entre NP, ALT, DIAM, IAF, MST e produtividade de colmos em cada época de avaliação.

## **6 RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **6.1 Avaliações Morfológicas**

#### *6.1.1 Número de perfilhos*

Para a variável números de perfilhos foi observado efeito significativo do fator regime hídrico (Tabela 2). Apenas aos 120 DAC a significância foi de 5% de probabilidade e nas outras épocas de avaliação o grau de significância de 1% de probabilidade. Não houve efeito significativo para as demais causas da variação.

A capacidade de perfilhamento das variedades de cana-de-açúcar é um dos fatores determinantes na produção de colmos industrializáveis, sendo uma característica desejável relacionada ao rápido crescimento vegetativo. A fase de perfilhamento ocorre até o quarto mês após o corte e a partir deste período ocorre a redução do número de perfilhos (CASTRO, 2000; OLIVEIRA et al., 2005). Aos 120 dias paralisa-se a emissão de novos perfilhos, havendo competição pelos fatores de crescimento (luz, água e nutrientes) refletindo na inibição do processo de divisão celular, além da morte dos perfilhos mais jovens (SILVA, 2007).

**Tabela 2.** Análise de variância de número de perfilhos (NP) de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP

| Causas da variação         |      | Valores de F        |         |          |          |
|----------------------------|------|---------------------|---------|----------|----------|
|                            | G.L. | Número de perfilhos |         |          |          |
|                            |      | 60DAC               | 120DAC  | 180DAC   | 240DAC   |
| <b>Bloco</b>               | 3    | 2,03ns              | 1,00ns  | 10,83ns  | 42,69ns  |
| <b>Cultivar (C)</b>        | 3    | 19,56ns             | 18,81ns | 3,41ns   | 10,78ns  |
| <b>Regime Hídrico (RH)</b> | 1    | 145,34**            | 163,49* | 105,12** | 108,78** |
| <b>C x RH</b>              | 3    | 4,56ns              | 3,88ns  | 2,54ns   | 3,70ns   |
| <b>CV (%)</b>              |      | 11,67               | 12,08   | 16,17    | 18,42    |

<sup>ns</sup> Não Significativo, \*Significativo a 5% de probabilidade. \*\* Significativo a 1% de probabilidade.

G.L.: graus de liberdade; C.V: coeficiente de variação

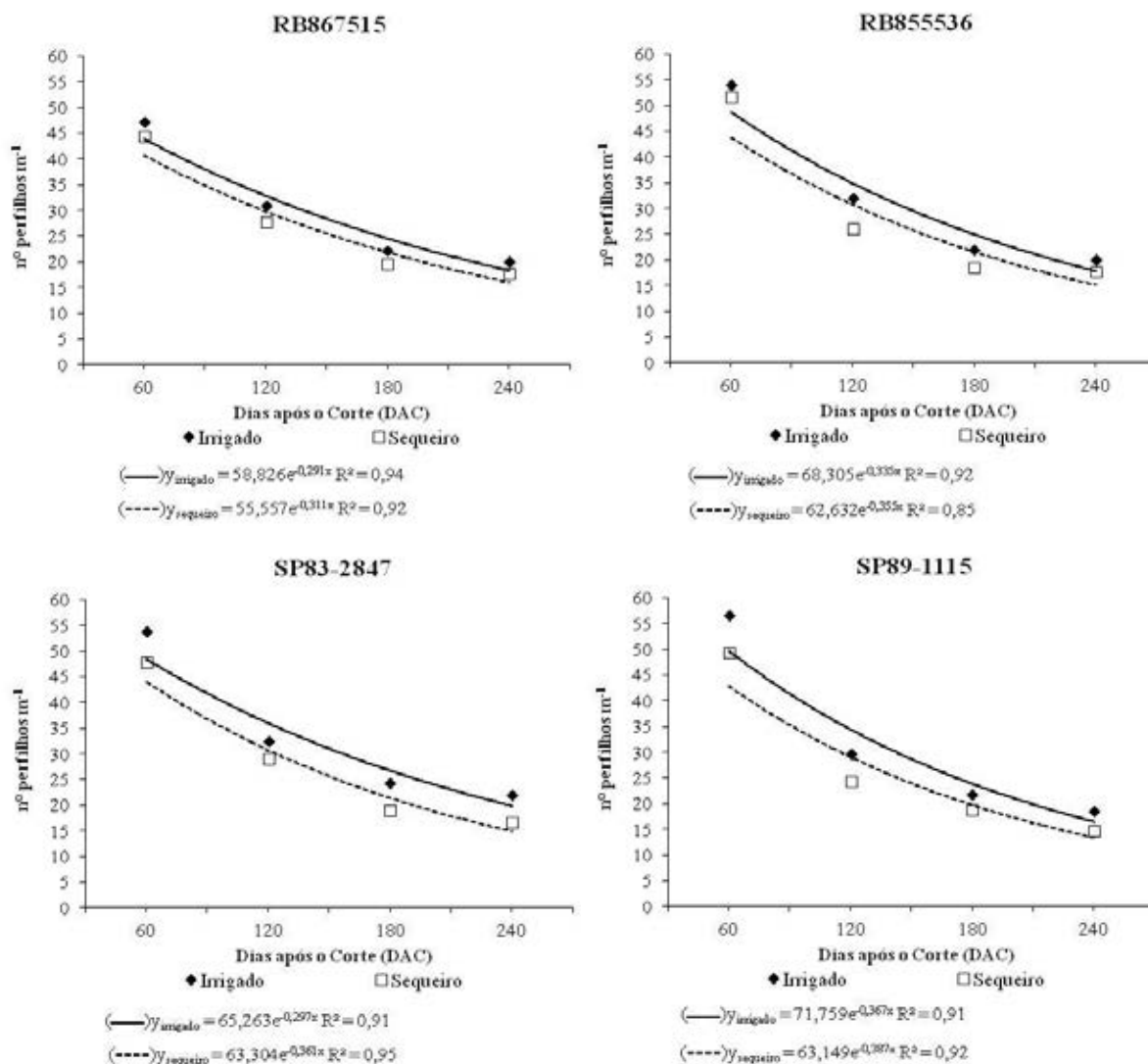
Durante a avaliação do experimento é possível observar que não houve diferença significativa no perfilhamento entre as cultivares onde não há grandes variações nos valores obtidos, que variaram entre 50 e 40 perfilhos  $m^{-1}$  no início da avaliação e entre 20 e 15 perfilhos  $m^{-1}$  aos 240 DAC (Figura 5). As médias gerais obtidas foram 28,74; 30,25; 30,58; 29,20 perfilhos  $m^{-1}$  de linhas duplas para as cultivares RB867515, RB855536, SP83-2847, SP89-1115, respectivamente.

Na presença da irrigação houve respostas positivas para as cultivares em relação à emissão de novos perfilhos, sendo que na média geral durante o período avaliado sob tratamento irrigado houve 31,45 perfilhos  $m^{-1}$  contra 27,60 perfilhos  $m^{-1}$  para o tratamento sequeiro, ocorrendo, portanto, redução de 12,24%. Vale salientar que os resultados não foram tão expressivos como o esperado, provavelmente devido ao alto índice de pluviosidade durante o período avaliado (Figuras 3 e 4).

Dalri (2004), trabalhando com diferentes frequências de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar, reportou valores médios de 27 perfilhos por metro nos tratamentos irrigado e 22 perfilhos sem o uso da irrigação. Almeida et al. (2008) obtiveram valores médios de 23 perfilhos por metro, trabalhando em cana-soca na presença da irrigação. Silva et al. (2008), trabalhando com componentes da produção de cana-de-açúcar como indicadores de tolerância a seca, relataram redução de 15,93% nos valores médios de número de perfilhos para os tratamentos sem aplicação de água.

Na Figura 5 são apresentados os valores de número de perfilhos por metro das quatro cultivares estudadas sob os tratamentos irrigado e sequeiro. A cultivar

RB867515 teve as menores diferenças entre os regimes hídricos, confirmando sua tolerância à deficiência hídrica e na baixa capacidade de resposta a irrigação. Houve intenso perfilhamento aos 60 DAC tanto na presença quanto na ausência da irrigação e posteriormente queda dos 120 dias até os 180 DAC.



**Figura 5.:** Número de perfilhos de quatro cultivares cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).

Por outro lado, a cultivar SP89-1115 foi a que apresentou a maior diferença no perfilhamento entre os regimes hídricos aos 60 DAC, entretanto aos 240 DAC essa diferença já não havia. A cultivar SP83-2847 foi a que apresentou maior diferença entre os números de perfilhos aos 240 DAC sendo que o regime irrigado obteve os maiores resultados. Portanto, a SP83-2847 teve melhor resposta para a irrigação por produzir maior

número de colmos industrializáveis. Já a RB867515 mostrou maior tolerância à deficiência hídrica por sustentar maior número de perfilhos sob o regime de sequeiro.

### 6.1.2 Altura de plantas

Segundo a análise de variância para altura de plantas, observou-se que o fator Cultivar (C) foi significativo ao nível de 5% ( $P < 0,05$ ) de probabilidade apenas aos 120 DAC. (Tabela 3). Para Regime Hídrico (RH), houve diferença significativa em todas as épocas avaliadas nível de 1% ( $P < 0,01$ ) de probabilidade. Já a interação entre essas causas da variação não promoveu efeito significativo para altura de plantas.

**Tabela 3.** Análise de variância de altura de plantas (ALT) de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP

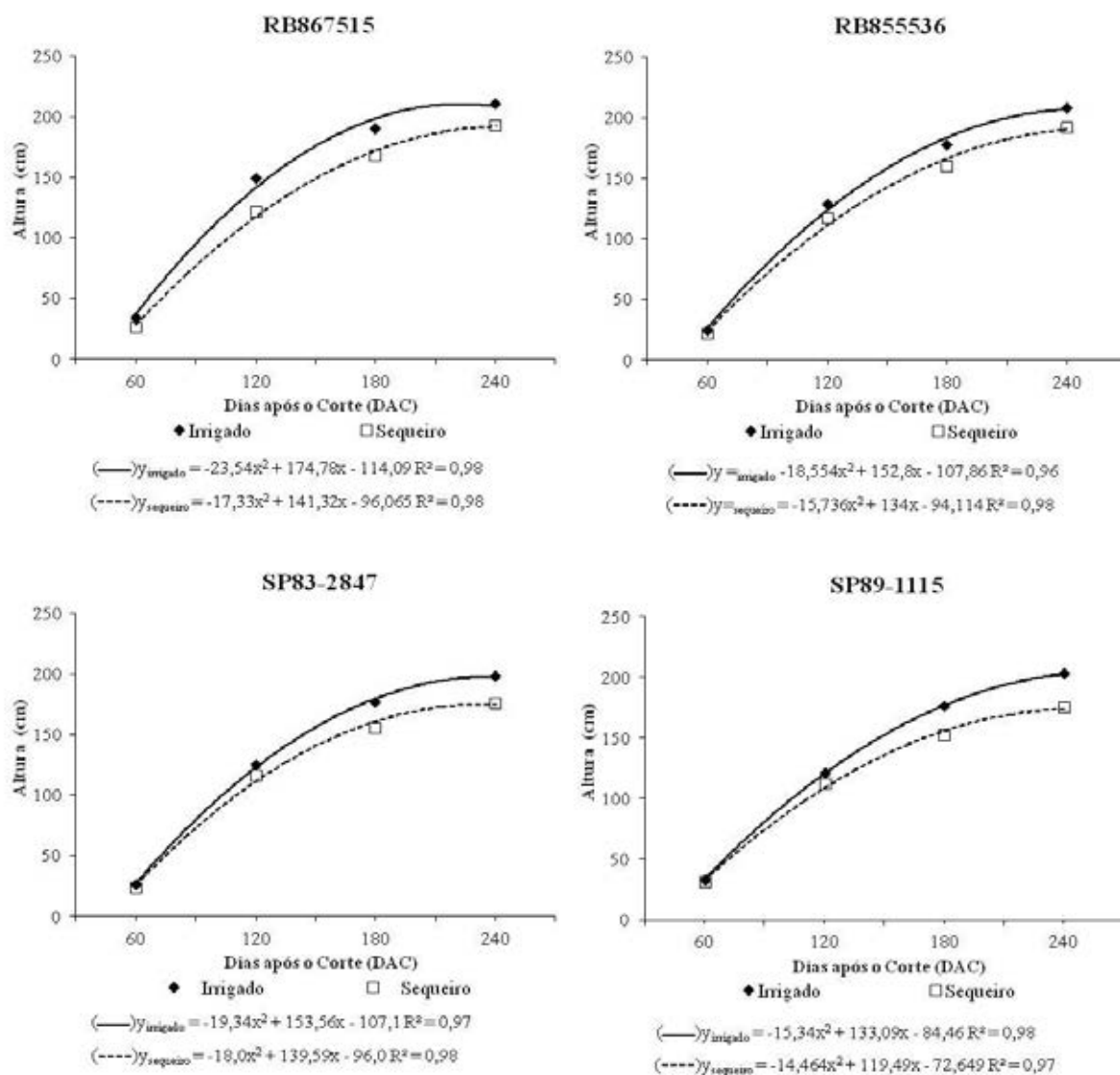
| Causas da variação         |      | Valores de F      |           |           |           |
|----------------------------|------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
|                            | G.L. | Altura de plantas |           |           |           |
|                            |      | 60DAC             | 120DAC    | 180DAC    | 240DAC    |
| <b>Bloco</b>               | 3    | 34,67ns           | 24,12ns   | 78,42ns   | 196,72ns  |
| <b>Cultivar (C)</b>        | 3    | 435,56ns          | 521,64*   | 350,47ns  | 461,27ns  |
| <b>Regime Hídrico (RH)</b> | 1    | 2345,45**         | 1702,36** | 3634,64** | 3541,66** |
| <b>C x RH</b>              | 3    | 121,34ns          | 165,06ns  | 13,44ns   | 52,64ns   |
| <b>CV (%)</b>              |      | 8,58              | 9,33      | 10,80     | 7,08      |

<sup>ns</sup> Não Significativo, \*Significativo a 5% de probabilidade. \*\* Significativo a 1% de probabilidade.

G.L.: graus de liberdade; C.V: coeficiente de variação

Em relação às cultivares avaliadas, apenas a RB867515 diferenciou das demais aos 120 DAC. Durante o período de avaliação, as cultivares apresentaram aumento em altura de plantas, entretanto com diferenças entre os regimes hídricos, em que de maneira geral a presença de água via irrigação promoveu maior crescimento em altura nas plantas aos 180 e 240 DAC (Tabela 3).





**Figura 6.** Altura de plantas de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).

A partir dos 180 DAC, as cultivares SP89-1115 e SP87-2847 diferiram estatisticamente em relação os tratamentos irrigado e sequeiro, já a cultivar RB855536 não teve diferenças significativas em nenhuma das épocas avaliadas para altura de plantas. Oliveira et al. (2010), trabalhando com cana-de-açúcar sob irrigação plena, obtiveram resultados expressivos na utilização da cultivar RB867515 em cana planta que alcançou altura de 304 cm. A cultivar RB867515 diferenciou em altura das demais cultivares a partir dos 120 (DAC), indicando seu rápido crescimento nas fases de maior exigência hídrica. Em relação aos tratamentos irrigado e sequeiro a cultivar RB867515 mostrou ser responsiva a aplicação de água, sendo apontada para uso em áreas irrigadas.

### 6.1.3 Número de entrenós

Os resultados da análise de variância para número de entrenós mostram que não houve diferença significativa para cultivares (C) e regime hídrico (RH) (Tabela 4). O comportamento das cultivares mostra que a deficiência hídrica, principalmente nas fases de maior crescimento e desenvolvimento da cultura, não interfere no número de entrenós, sendo justificada a igualdade entre tratamentos.

O número de entrenós acompanha o crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar, por participar diretamente no processo de divisão e alongamento das células meristemáticas. Em condições de restrição hídrica há tendência de reduzir o comprimento dos entrenós (RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000; MACHADO et al., 2009).

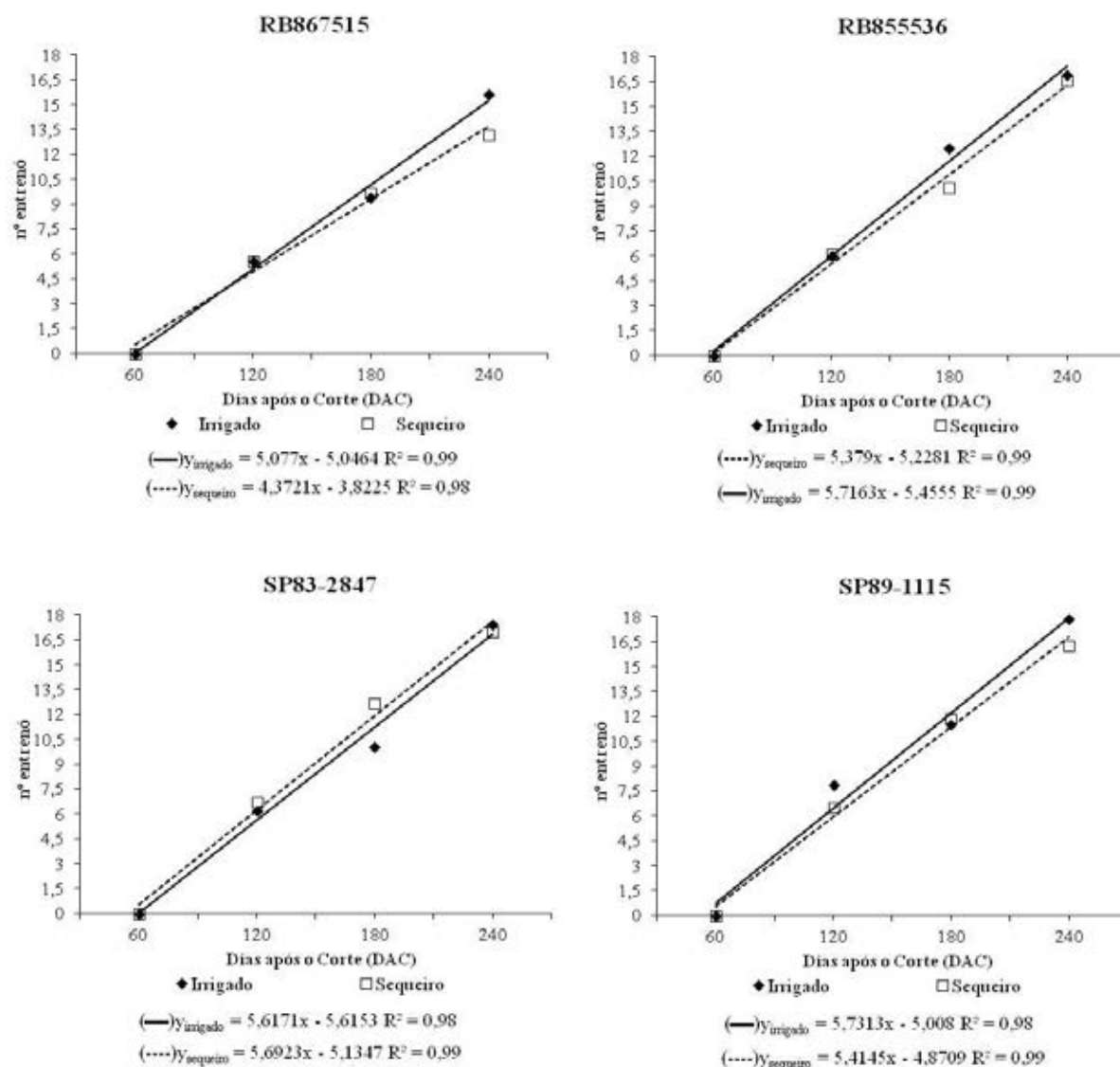
**Tabela 4.** Análise de variância do número de entrenós de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP

| Causas da variação         |      | Valores de F      |           |           |            |
|----------------------------|------|-------------------|-----------|-----------|------------|
|                            | G.L. | Número de entrenó |           |           |            |
|                            |      | 60DAC             | 120DAC    | 180DAC    | 240DAC     |
| <b>Bloco</b>               | 3    | 1001,85ns         | 1120,42ns | 3223,12ns | 21345,54ns |
| <b>Cultivar (C)</b>        | 3    | 3245,29ns         | 2111,45ns | 2045,27ns | 4536,31ns  |
| <b>Regime Hídrico (RH)</b> | 1    | 2134,34ns         | 1986,20ns | 7456,01ns | 45335,23ns |
| <b>C x RH</b>              | 3    | 3912,23ns         | 3321,11ns | 4212,32ns | 6543,98ns  |
| <b>CV (%)</b>              |      | 10,54             | 9,65      | 10,89     | 15,78      |

<sup>ns</sup> Não Significativo. G.L: graus de liberdade; C.V: coeficiente de variação

A avaliação de número de entrenós se torna dependente do desenvolvimento dos perfilhos, sendo que a emissão de novos entrenós é variável, podendo ser inibida pelos estresses ambientais, seja hídrico ou nutricional.

Observa-se na Figura 7 que o número de entrenós não sofreu grandes alterações tanto entre cultivares como entre os regimes hídricos.



**Figura 7.** Número de entrenó de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).

#### 6.1.4 Diâmetro de colmos

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 5) para a variável diâmetro de colmos, os fatores isolados Cultivar (C) e Regime Hídrico (RH) foram significativos ao nível de 1% ( $P < 0,01$ ) de probabilidade. A interação entre os dois fatores, Cultivar (C) e Regime Hídrico (RH) mostrou diferença significativa a partir dos 180 DAC ao nível de 1% ( $P < 0,01$ ) de probabilidade

**Tabela 5.** Análise de variância diâmetro de colmos (DIAM) de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP, 2010

| Causas da variação         |      | Valores de F       |         |         |         |
|----------------------------|------|--------------------|---------|---------|---------|
|                            | G.L. | Diâmetro de colmos |         |         |         |
|                            |      | 60DAC              | 120DAC  | 180DAC  | 240DAC  |
| <b>Bloco</b>               | 3    | 0,67ns             | 0,97ns  | 1,51ns  | 0,19ns  |
| <b>Cultivar (C)</b>        | 3    | 5,12**             | 3,14**  | 5,50**  | 9,42**  |
| <b>Regime Hídrico (RH)</b> | 1    | 25,45**            | 10,27** | 42,20** | 47,55** |
| <b>C x RH</b>              | 3    | 0,89ns             | 0,40ns  | 3,55**  | 7,17**  |
| <b>CV (%)</b>              |      | 3,03               | 3,77    | 3,14    | 4,44    |

<sup>ns</sup> Não Significativo, \*Significativo a 5% de probabilidade.\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

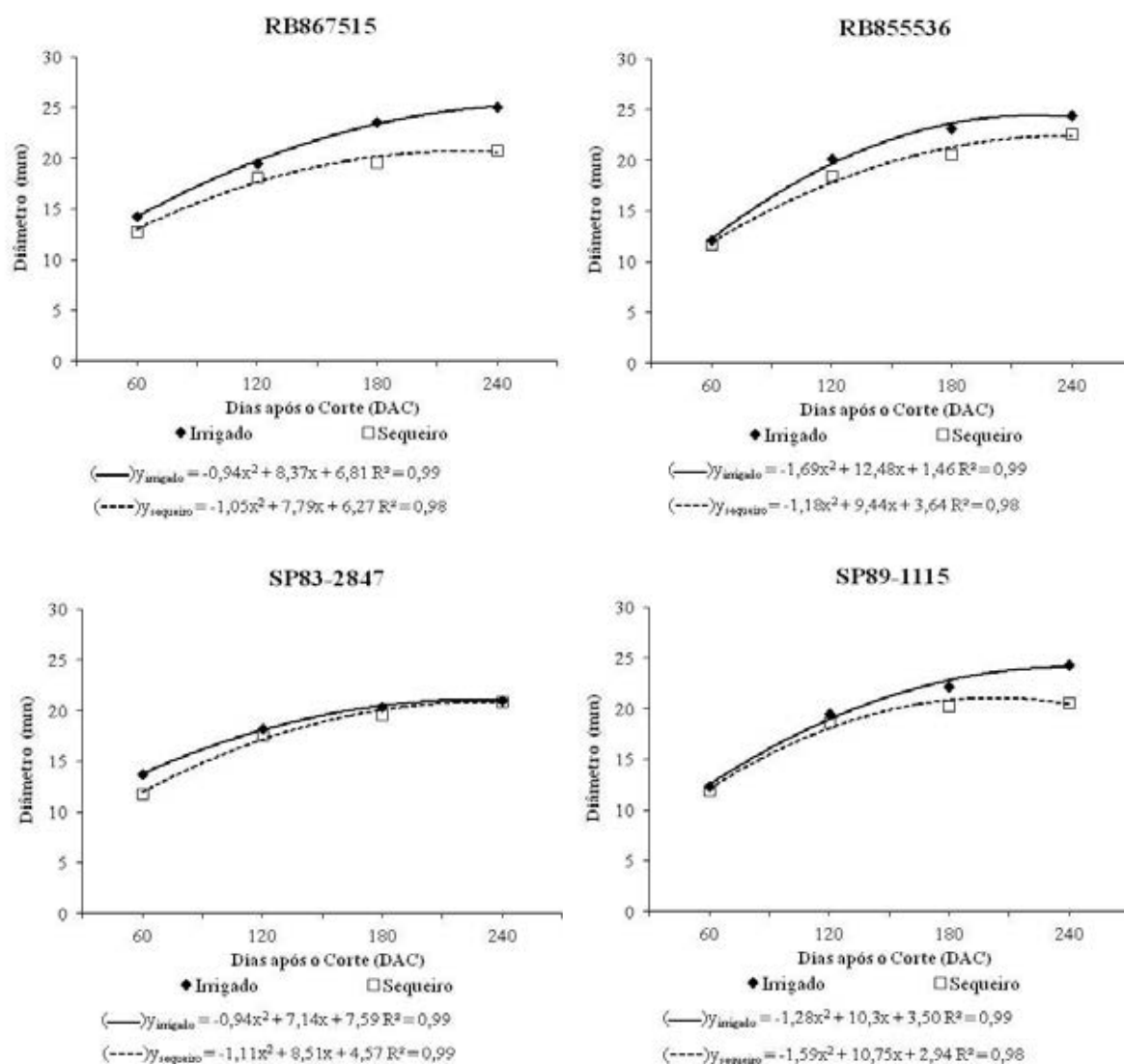
G.L: graus de liberdade; C.V: coeficiente de variação

Houve pequenas variações nos resultados de diâmetro de colmos na primeira avaliação (60 DAC) entre os tratamentos irrigado e sequeiro, por coincidir com a fase de emissão de novos perfilhos, onde os fotoassimilados são transferidos para o ápice das células meristemáticas, ocorrendo o crescimento vertical dos colmos. O aumento de diâmetro de colmos se dá de forma rápida nos primeiros 90 dias, estabilizando a partir dos 120 dias (OLIVEIRA, 2010). A partir dos 120 DAC o crescimento em espessura é baixo.

É de conhecimento que o diâmetro de colmos pode sofrer alterações conforme as características genéticas das variedades e sua disposição no campo, podendo variar conforme o espaçamento utilizado, número de perfilhos e condições climáticas. A cultivar RB867515 foi a que apresentou as maiores diferenças durante as avaliações, sendo que dos 60 aos 240 dias após o corte o tratamento irrigado mostrou maiores diferenças. A cultivar SP83-2847 não mostrou diferença estatística de diâmetro de colmos dos 120 aos 240 dias após o corte. Esta cultivar tem a característica de colmos de pequeno calibre, sendo considerada rústica e de baixo teor de açúcar, provavelmente por ter baixo potencial de armazenamento de sacarose nos colmos(Figura 8).

Barbosa (2005), estudando o efeito da irrigação sobre o comportamento de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, na região de Salinas - MG, observou valores no diâmetro do colmo variando entre 31,0 mm e

37,3 mm em plantas irrigadas. Quando as mesmas foram cultivadas em condições de sequeiro, o diâmetro observado foi inferior a 30 mm.



**Figura 8.** Diâmetro de colmos de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC)

### 6.1.5 Índice de área foliar (IAF)

Para a variável índice de área foliar (IAF) houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $P < 0,01$ ) para a causa de variação Cultivar (C), dos 60 aos 120 DAC, coincidentemente com a fase de emissão de perfilhos, onde o crescimento foliar

tende a se estabilizar, não havendo modificações no IAF neste período (Tabela 6.) Para a causa de variação Regime Hídrico (RH) houve efeito significativo a 1% de probabilidade ( $P < 0,01$ ) dos 60 aos 180 DAC e significância de 5% ( $P < 0,05$ ) aos 240 DAC (Tabela 6.).

**Tabela 6.** Análise de variância do índice de área foliar (IAF) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP, 2010

| Causas da variação         |      | Valores de F                |        |        |        |
|----------------------------|------|-----------------------------|--------|--------|--------|
|                            | G.L. | Índice de área foliar (IAF) |        |        |        |
|                            |      | 60DAC                       | 120DAC | 180DAC | 240DAC |
| <b>Bloco</b>               | 3    | 0,15ns                      | 0,11ns | 0,11ns | 0,19ns |
| <b>Cultivar (C)</b>        | 3    | 0,94**                      | 0,54** | 0,28ns | 0,84ns |
| <b>Regime Hídrico (RH)</b> | 1    | 3,02**                      | 3,44** | 3,55** | 2,95*  |
| <b>C x RH</b>              | 3    | 0,39ns                      | 0,11ns | 0,15ns | 0,33ns |
| <b>CV (%)</b>              |      | 8,54                        | 9,30   | 10,77  | 12,54  |

<sup>ns</sup> Não Significativo, \*Significativo a 5% de probabilidade \*\* Significativo a 1% de probabilidade.

G.L.: graus de liberdade; C.V: coeficiente de variação

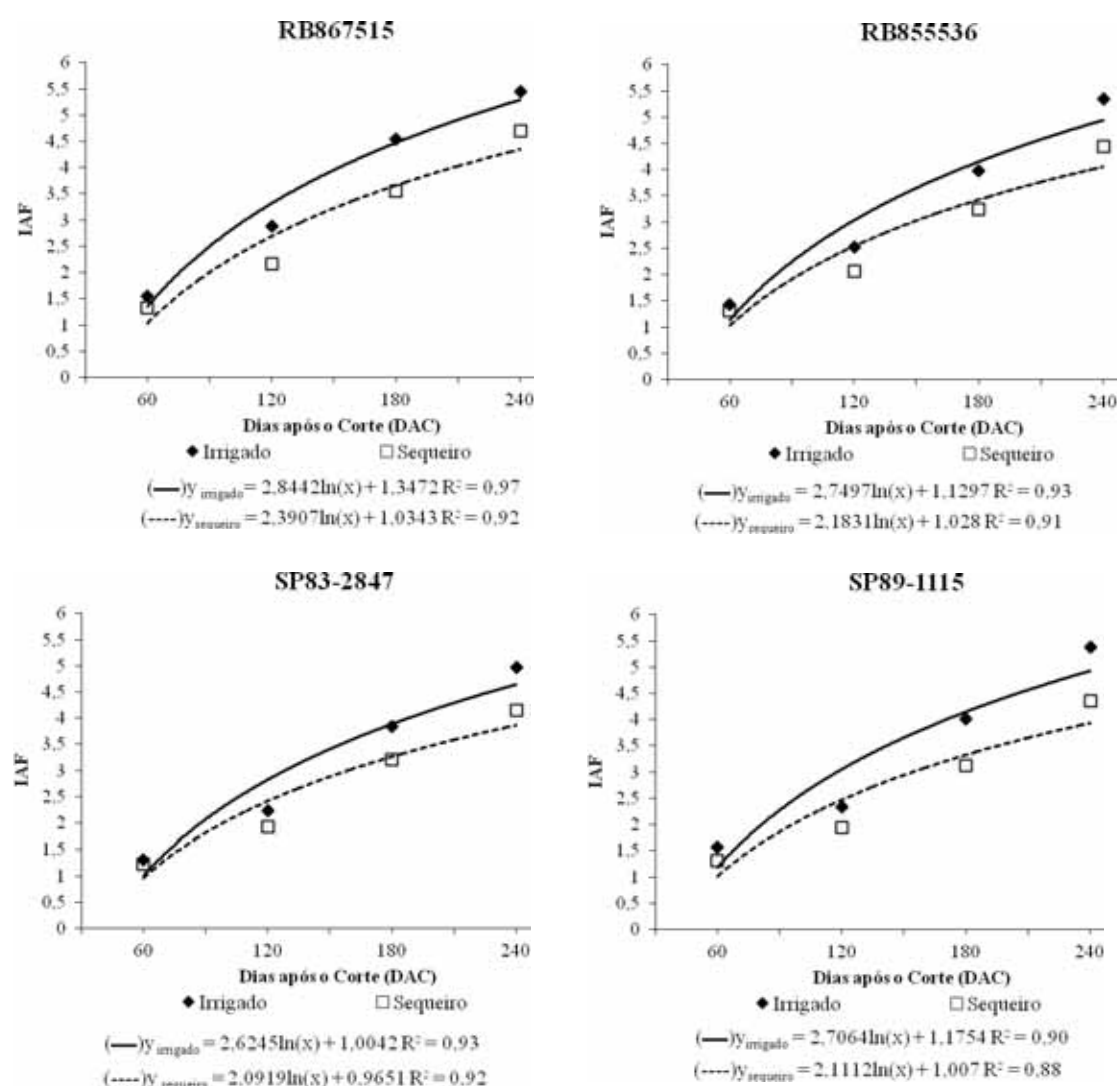
O índice de área foliar (IAF) representa a quantidade em área de folhas sobre a área de cobertura do terreno. Esta medida é de extrema importância em relação à interceptação da radiação solar responsável pelo processo metabólico da fotossíntese. O aumento do IAF ocorre em função tanto do aumento do número de folhas por colmo, assim como do aumento da área foliar individual, existindo uma significativa associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa (FARIAS et al., 2008). Os regimes hídricos irrigado e sequeiro interferem no desenvolvimento e no crescimento foliar, o que influencia o IAF.

Foram observados efeitos de cultivares e de regimes hídricos no índice de área foliar, podendo ser uma ferramenta importante na avaliação da morfologia foliar. Brenner et al. (1995) compararam vários métodos para a estimativa da área foliar em dosséis arbustivos e relataram que o equipamento ceptômetro, além de fornecer estimativas instantâneas do IAF, também possibilita realizar medições ao longo do dia, e foi o equipamento de mais fácil manuseio a campo.

Farias et al. (2008), trabalhando com cana-de-açúcar sob regime irrigado e sequeiro em cana-planta, obtiveram índice de área foliar máximo de 6,82 na presença de irrigação e 6,80 nos tratamentos sequeiro. Keating et al. (1999) também

observaram valores máximos em torno de 7,00. Por outro lado, Oliveira et al. (2004) conseguiram resultados inferiores trabalhando com a cultivar RB855536, que apresentou IAF máximo de 4,5, ou seja, próximo aos resultados obtidos neste estudo. Robertson et al. (1999) encontraram valores máximos de 4,92 para a cultura irrigada e 4,11 para a cultura sob déficit hídrico.

Na Figura 9, a cultivar RB867515 diferiu em relação ao índice de área foliar entre os regimes hídricos dos 60 aos 120 DAC, sendo que é nesta fase de desenvolvimento que as folhas estão em pleno crescimento e novos perfilhos são emitidos. Para as cultivares RB855536, SP83-2847, SP89-1115 não houve grandes alterações entre elas, podendo ser observadas apenas as diferenças entre regimes hídricos.



**Figura 9.** Índice de área foliar (IAF) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC)

As diferenças nos valores encontrados entre os regimes hídricos mostram que o IAF é influenciado pela aplicação de água, interferindo diretamente nos processos de divisão e diferenciação celular. Os resultados mostram que dos 60 aos 180 dias a curva se torna mais acentuada indicando serem épocas sensíveis ao déficit hídrico. Aos 240 DAC a curva se torna menos acentuada, diminuindo as diferenças entre os regimes hídrico, devido ser uma época de baixa intensidade metabólica, com baixa dependência hídrica (Figura 9).

#### *6.1.6 Matéria seca total.*

Para acúmulo de matéria seca total em cada período de avaliação não foi observado efeito significativo das causas de variação cultivares, regime hídrico e sua interação (Tabela 7). Esses resultados podem ser explicados devido ao volume pluviométrico durante o período avaliado como mostram as Figuras 3 e 4, sendo pouco evidenciado o efeito do estresse hídrico. Inmam-Bamber; Smith (2005) afirmam que a disponibilidade hídrica afeta as características morfológicas na cultura da cana-de-açúcar devido principalmente a redução da partição dos fotoassimilados, afetando diretamente o acúmulo de matéria seca.

No crescimento da cana-de-açúcar, segundo Machado (1987), existem três fases perfeitamente caracterizadas: uma fase inicial de crescimento lento; uma fase de crescimento rápido em que 70% a 80% de toda matéria seca é acumulada e uma última fase na qual o crescimento é novamente lento acumulando cerca de 10% da matéria seca total.

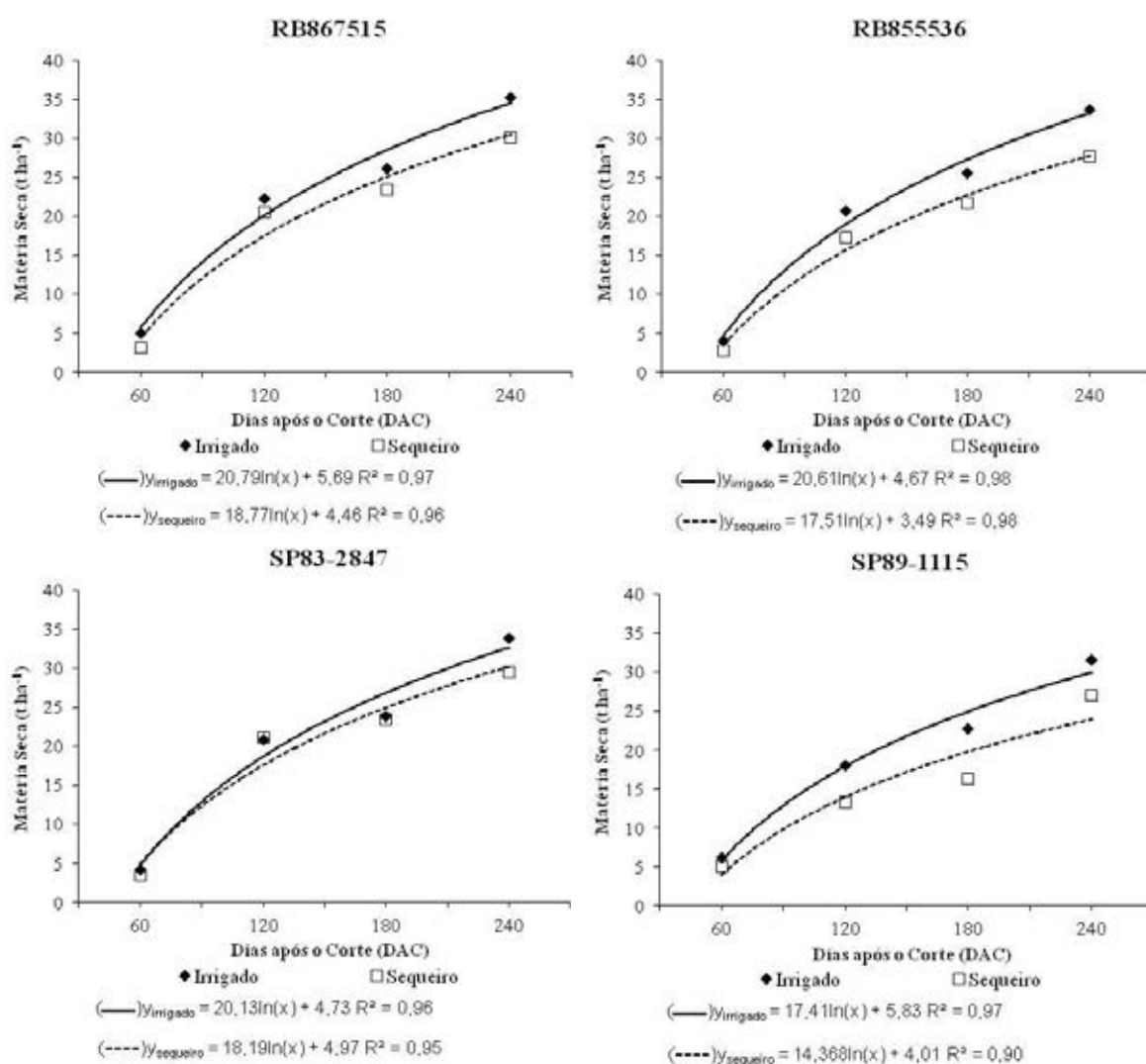
Apesar de serem observadas visualmente diferenças entre as curvas de acúmulo de matéria seca, ao longo do ciclo de crescimento (Figura 10), com maiores valores absolutos para o tratamento irrigado, não foram identificadas diferenças significativas nas cultivares submetidas aos regimes hídricos irrigado e sequeiro, provavelmente devido ao alto valor de coeficiente de variação encontrado. O que demonstra que esta variável ficou mais sujeita ao erro experimental, e que maior atenção deve ser dada para minimizar a variação nos resultados.



**Tabela 7.** Análise de variância do acúmulo de matéria seca total em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, Jaú-SP, 2010

| Causas da variação         | G.L. | Valores de F |         |          |          |
|----------------------------|------|--------------|---------|----------|----------|
|                            |      | Matéria seca |         |          |          |
|                            |      | 60DAC        | 120DAC  | 180DAC   | 240DAC   |
| <b>Bloco</b>               | 3    | 18,65ns      | 20,58ns | 64,97ns  | 247,07ns |
| <b>Cultivar (C)</b>        | 3    | 59,43ns      | 85,03ns | 64,63ns  | 25,21ns  |
| <b>Regime Hídrico (RH)</b> | 1    | 101,56ns     | 62,30ns | 128,32ns | 299,82ns |
| <b>C x RH</b>              | 3    | 12,56ns      | 14,39ns | 18,97ns  | 2,00ns   |
| <b>CV (%)</b>              |      | 16,78        | 18,25   | 27,41    | 26,93    |

<sup>ns</sup> Não Significativo, G.L: graus de liberdade; C.V: coeficiente de variação

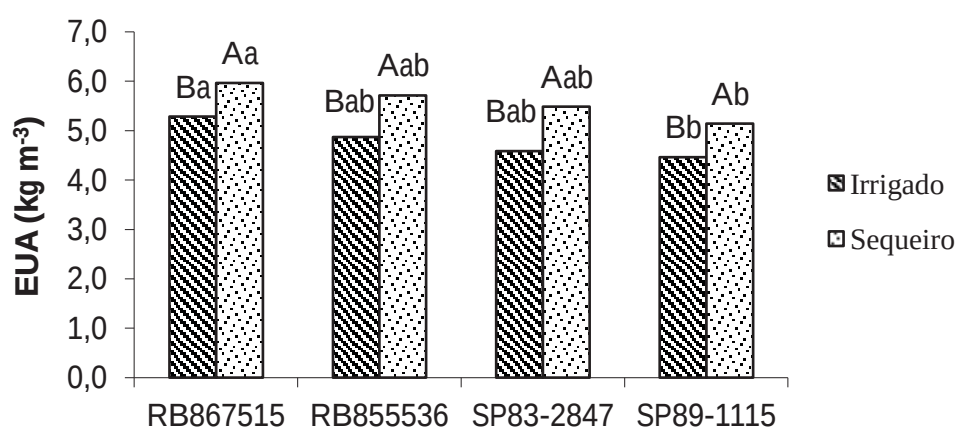


**Figura 10.** Acúmulo de matéria seca de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação (I) e sequeiro (S) aos 60, 120, 180 e 240 dias após o corte (DAC).

## 6.2 Eficiência do uso da água

Em relação à eficiência do uso da água (EUA), observa-se que o uso da irrigação não proporcionou maior EUA nas cultivares. Os maiores valores de EUA foram verificados no tratamento sequeiro. As precipitações no ano agrícola 2009/2010 (Figuras 3 e 4) contribuíram para o bom desempenho dos tratamentos sequeiro, diminuindo assim as diferenças entre os tratamentos irrigado e sequeiro. Gava et al. (2011), trabalhando com irrigação por gotejamento em três cultivares, obtiveram valores de eficiência do uso da água de  $7,2 \text{ kg m}^{-3}$  para os tratamentos irrigado e  $6,8 \text{ kg m}^{-3}$  sem irrigação, mostrando que o tratamento irrigado proporcionou melhor aproveitamento da água aplicada. Inman-Bamber; Smith (2005) afirmam que a eficiência do uso da água (EUA) em cana-de-açúcar pode atingir valores elevados variando entre 4,8 a  $12,1 \text{ kg m}^{-3}$ , dependendo do acúmulo de biomassa da cultura. Singh et al. (2007), estudando diferentes lâminas de irrigação em cana-de-açúcar, obtiveram valores de EUA variando entre 5,8 e  $7,6 \text{ kg m}^{-3}$ . Doorembos; Kassam (1994) citam que a cana-de-açúcar sob condições irrigadas podem apresentar entre 5 e  $8 \text{ kg m}^{-3}$  em termos de colmos por metro cúbico de água aplicada. De acordo com Matioli (1998), torna-se difícil estabelecer uma relação geral entre a produção e o consumo de água pela cana-de-açúcar devido às variações de localização, clima e variedades. Em áreas onde a irrigação é restrita, o conhecimento das relações hídricas e mecanismos de resistência à seca podem auxiliar na escolha dos melhores cultivares, sendo o uso eficiente da água um dos parâmetros de maior importância a ser avaliado (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Em relação às cultivares utilizadas, foi observada diferença significativa para eficiência do uso da água, em que a cultivar RB867515, foi superior à cultivar SP89-1115 nos dois regimes hídricos aplicados (Figura 11). A EUA é considerada uma variável importante no estudo do comportamento de características morfológicas sob irrigação e sequeiro, sendo que através dela podemos avaliar a eficiência na produção conforme a quantidade de água aplicada.



\*\*\* Médias seguidas de letras maiúsculas iguais referentes a regime hídrico e médias seguidas de letra minúsculas iguais referentes a cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

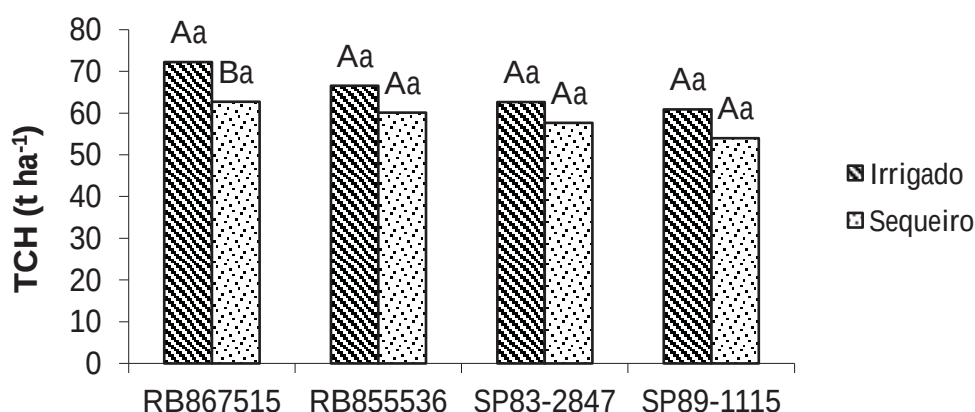
**Figura 11.** Eficiência do uso da água (EUA) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento (I) e sequeiro (S)\*\*\*.

### 6.3 Produtividade de colmos

Na Figura 12 é mostrada a produtividade de colmos, em toneladas por hectare (TCH), de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento (I) e sequeiro (S). Não houve diferenças entre as cultivares, porém entre os tratamentos irrigado e sequeiro pode-se observar uma tendência de aumento de TCH com a aplicação de irrigação conforme a cultivar. Sob irrigação, as cultivares RB867515, RB855536, SP83-2847 e SP89-1115 produziram, respectivamente, 9,5; 6,5; 4,9; 6,9 toneladas por hectare a mais que no sequeiro.

Apenas a cultivar RB867515 mostrou diferença significativa entre os tratamentos irrigado e sequeiro, obtendo aumento de 13,15% em produtividade de colmos quando foi irrigada. Este resultado pode ser um indicativo desta cultivar ser responsiva à aplicação de água, expressando seu potencial produtivo sob a utilização da irrigação. Carretero (1982) obteve aumento de 20 t ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 16% de incremento na produtividade de colmos sob condições de irrigação por gotejamento. Silva (2007), trabalhando com sete cultivares, obteve resultados semelhantes aos tratamentos irrigado em produtividade para a cultivar RB867515 sendo na média de 73,0 t ha<sup>-1</sup>. Gava et al. (2008), investigando o rendimento de cultivares de cana-de-açúcar sob irrigação subsuperficial por gotejamento, obteve na primeira colheita rendimentos de 115,8 t ha<sup>-1</sup>,

112,1  $\text{ha}^{-1}$ , 91,9  $\text{t ha}^{-1}$  para as cultivares RB867515, RB855536, SP80-3280, respectivamente.



\*\*\* Médias seguidas de letras maiúsculas iguais referentes a regime hídrico e médias seguidas de letra minúsculas iguais referentes a cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Figura 12.** Produtividade de colmos (TCH) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento (I) e sequeiro (S)\*\*\*.

Por outro lado, a cultivar SP83-2847 foi a que apresentou menor aumento na produtividade sob irrigação, podendo ser um indicativo de sua tolerância à condições de menor disponibilidade hídrica.

#### 6.4 Correlação entre variáveis morfológicas e produtividade

As variáveis morfológicas foram correlacionadas entre si e com a produtividade final dos tratamentos irrigado e sequeiro, sendo uma importante ferramenta na indicação de quais variáveis interferem diretamente umas as outras e quais delas tem correlação com a produtividade de colmos nas diferentes fases de desenvolvimento sob os dois regimes hídricos.

A Tabela 8 mostra a correlação das variáveis morfológicas e produtividade (TCH) aos 60 DAC no tratamento irrigado. Apenas a altura de plantas teve correlação significativa a 1% de probabilidade com a matéria seca total. Aos 60 DAC foram observadas poucas variações na matéria seca total, sendo que nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura o acúmulo de matéria seca é baixo, porém essa variável pode

influenciar diretamente na altura de plantas por estar diretamente correlacionada com o crescimento celular.

**Tabela 8.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 60 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF   | Diâmetro | Altura  | n° perfilhos | TCH    |
|---------------------|-------|----------|---------|--------------|--------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.080 | 0.051    | 0.636** | 0.435        | -0.101 |
| <b>IAF</b>          |       | 0.259    | 0.289   | 0.274        | 0.368  |
| <b>Diâmetro</b>     |       |          | 0.351   | 0.287        | -0.025 |
| <b>Altura</b>       |       |          |         | 0.061        | -0.002 |
| <b>n° perfilhos</b> |       |          |         |              | -0.273 |
| <b>n° entrenó</b>   |       |          |         |              | 0.000  |

\*\* : valor significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 9 é possível observar os valores correlacionados entre matéria seca total com altura de plantas, sendo essa correlação significativa a 1% de probabilidade. A variável número de perfilhos correlacionou positiva mente com matéria seca total, também obtendo grau de significância de 1% de probabilidade. O diâmetro de colmos mostrou correlação positiva com altura de plantas, obtendo valores significativos de 5% de probabilidade. A correlação positiva das variáveis morfológicas ao acúmulo de matéria seca total nos tratamentos sem irrigação é um indicativo que nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura essas variáveis já interferem no acúmulo de matéria seca, principalmente as duas características mais importantes na composição da produtividade, que são a altura de plantas e o número de perfilhos. Silva; Costa (2004) encontraram correlação positiva entre altura de plantas e número de perfilhos com a produtividade de colmos, não observando correlação significativa entre diâmetro de colmos e a produtividade. Oliveira et al. (2007), utilizando a cultivar RB855536, obteve correlação negativa entre matéria seca total e número de perfilhos. Segundo Matsuoka (2000), o elevado perfilhamento na fase inicial pode ser uma característica inadequada à obtenção de novos cultivares de cana-de-açúcar, pois isso promoveria um gasto energético maior para a produção destes perfilhos, não refletindo em aumento de produtividade

Apesar dos resultados não terem constatado correlação positiva com a produtividade de colmos, a matéria seca total está diretamente relacionada com a produtividade, sendo um componente da produção de colmos.

**Tabela 9.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 60 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF   | Diâmetro | Altura  | n° perfilhos | TCH    |
|---------------------|-------|----------|---------|--------------|--------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.374 | 0.410    | 0.881** | 0.646**      | -0.465 |
| <b>IAF</b>          |       | 0.266    | 0.357   | 0.131        | 0.189  |
| <b>Diâmetro</b>     |       |          | 0.595*  | 0.032        | 0.360  |
| <b>Altura</b>       |       |          |         | 0.355        | -0.359 |
| <b>n° perfilhos</b> |       |          |         |              | -0.441 |
| <b>n° entrenó</b>   |       |          |         |              | 0.000  |

\* e \*\*: valores significativos a 5% e 1% de probabilidade.

Nas avaliações aos 120 dias após o corte nos tratamentos irrigado, a análise mostrou correlação positiva entre altura de plantas com número de entrenós e produtividade e número de entrenós com produtividade (TCH), todos ao nível de 5% de probabilidade (TCH). (Tabela 10). Estas variáveis morfológicas fazem parte de composição da produção, indicando correlação positiva com os índices de produtividade.

Aos 120 dias as plantas estão em plena fase de perfilhamento, emitindo novos perfilhos, e o sistema radicular está em desenvolvimento. As correlações positivas entre altura de plantas e número de entrenós indicam este rápido crescimento da cultura sendo correlacionado à produtividade final de colmos, indicando ser variáveis importantes para a obtenção de cultivares responsivos a aplicação de água.

**Tabela 10.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 120 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF   | Diâmetro | Altura | n° perfilhos | TCH    |
|---------------------|-------|----------|--------|--------------|--------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.270 | 0.024    | 0.163  | 0.097        | -0.003 |
| <b>IAF</b>          |       | 0.412    | 0.456  | -0.046       | 0.096  |
| <b>Diâmetro</b>     |       |          | -0.005 | 0.020        | 0.302  |
| <b>Altura</b>       |       |          |        | 0.173        | 0.545* |
| <b>n° perfilhos</b> |       |          |        |              | -0.075 |
| <b>n° entrenó</b>   |       |          |        |              | 0.514* |

\* valor significativos a 5% de probabilidade.

As correlações entre as variáveis morfológicas aos 120 dias após o corte para os tratamentos sequeiro obtiveram correlação positiva entre o índice de área foliar (IAF) e a produtividade de colmos (TCH), obtendo resultados significativos ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 11). Os resultados mostram que o índice de área foliar está diretamente relacionado com a produtividade de colmos.

O aumento do IAF ocorre em função tanto do aumento do número de folhas por colmo como do aumento da área foliar individual, existindo uma significativa associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa, representada pelo IAF (FARIAS et al., 2008). Portanto, sob restrição hídrica a manutenção de IAF por uma cultivar influi na manutenção de sua produtividade.

**Tabela 11.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 120 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF   | Diâmetro | Altura | n° perfilhos | n° entrenós | TCH    |
|---------------------|-------|----------|--------|--------------|-------------|--------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.406 | -0.199   | 0.070  | 0.325        | 0.440       | 0.273  |
| <b>IAF</b>          |       | -0.238   | 0.141  | 0.308        | 0.379       | 0.511* |
| <b>Diâmetro</b>     |       |          | -0.013 | -0.192       | -0.357      | 0.242  |
| <b>Altura</b>       |       |          |        | 0.217        | -0.258      | 0.115  |
| <b>n° perfilhos</b> |       |          |        |              | 0.031       | 0.483  |
| <b>n° entrenó</b>   |       |          |        |              |             | 0.106  |

\* valor significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 12 observa-se que houve correlação positiva entre o índice de área foliar e matéria seca total no tratamento irrigado. Houve correlação positiva entre o número de perfilhos e o diâmetro de colmos. Todas essas variáveis correlacionadas foram significativas a 5% de probabilidade.

Aos 180 dias após o corte, a cultura está em pleno crescimento, ocorrendo o aumento do índice de área foliar (IAF) e o intenso acúmulo de matéria seca (MS). Nesta fase, na translocação de carboidratos, a cultura de cana-de-açúcar direciona-os preferencialmente para emissão de novas folhas, engrossamento dos colmos, acumulando assim matéria seca, principalmente na parte aérea da planta.

**Tabela 12.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 180 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF    | Diâmetro | Altura | n° perfilhos | n° entrenós | TCH   |
|---------------------|--------|----------|--------|--------------|-------------|-------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.586* | 0.105    | 0.401  | 0.258        | 0.290       | 0.103 |
| <b>IAF</b>          |        | 0.187    | 0.335  | -0.029       | -0.014      | 0.327 |
| <b>Diâmetro</b>     |        |          | 0.212  | -0.513*      | -0.111      | 0.415 |
| <b>Altura</b>       |        |          |        | -0.305       | -0.333      | 0.012 |
| <b>n° perfilhos</b> |        |          |        |              | 0.396       | 0.113 |
| <b>n° entrenó</b>   |        |          |        |              |             | 0.013 |

\* valor significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 13 observa-se que apenas a variável índice de área foliar (IAF) foi correlacionada com produtividade aos 180 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, sendo um indicativo favorável à produtividade de colmos. Sabe-se que a falta de água afeta a expansão das folhas que conseqüentemente diminui a evapotranspiração foliar. Além disso, a redução do índice de área foliar afetaria diretamente a interceptação da radiação solar nas folhas (SILVA; PINCELLI, 2010), porém se houve correlação dessa variável com TCH sob condição de restrição hídrica, isso pode ser indício de que cultivares que mantém elevado IAF sob essa condição são mais produtivas. O IAF é importante na determinação dos limites de produtividade sendo que valores reduzidos são ineficientes na captação da energia disponível e valores elevados prejudicam o crescimento pelo sombreamento das folhas inferiores (SANTOS; CARLESSO, 1998)

Aos 180 dias a cultura da cana-de-açúcar é mais susceptível a falta de água no solo por estar na fase de alongamento dos colmos, fase esta em que a deficiência hídrica causa prejuízos na produção de fitomassa (INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

**Tabela 13.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 180 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF   | Diâmetro | Altura | n° perfilhos | n° entrenós | TCH    |
|---------------------|-------|----------|--------|--------------|-------------|--------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.115 | -0.313   | 0.303  | -0.116       | -0.098      | 0.212  |
| <b>IAF</b>          |       | 0.234    | 0.157  | 0.186        | -0.289      | 0.544* |
| <b>Diâmetro</b>     |       |          | -0.203 | -0.186       | -0.018      | 0.161  |
| <b>Altura</b>       |       |          |        | -0.039       | -0.197      | 0.151  |
| <b>n° perfilhos</b> |       |          |        |              | -0.149      | -0.075 |
| <b>n° entrenó</b>   |       |          |        |              |             | -0.489 |

\* valor significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 14 observa-se que as variáveis morfológicas são um indicador positivo na correlação com a produtividade final de colmos para o tratamento irrigado. Dentre as variáveis que mais se correlacionam nesta fase está o índice de área foliar (IAF), sendo significativo a 5% de probabilidade. O número de entrenós indicou correlação positiva com matéria seca total e altura de plantas sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Aos 240 dias após o corte, a cultura de cana-de-açúcar está finalizando a fase de grande crescimento e entrando na fase de maturação de colmos. Nesta



fase os fotoassimilados produzidos no processo da fotossíntese, através da captação da energia luminosa das folhas estão sendo armazenados em açúcar durante o processo de maturação (ARALDI et al., 2010). Apesar do processo de maturação cessar o crescimento, é possível observar que o índice de área foliar para tratamento irrigado correlacionou positivamente com produtividade de colmos (TCH). O número de entrenós mostrou ser uma variável morfológica influente nos estádios finais de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar devido provavelmente ao crescimento e acúmulo de açúcar nesta fase, interferindo no acúmulo de matéria seca total e também na altura de plantas.

No tratamento irrigado provavelmente o processo de crescimento de colmos e acúmulo de matéria seca total demora mais tempo para ser interrompido, sendo que nos tratamentos sequeiro o processo de maturação de colmos inicia mais precocemente.

**Tabela 14.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 240 dias após o corte nos tratamentos irrigado, Jaú-SP, 2010

|                     | IAF   | Diâmetro | Altura | n° perfilhos | n° entrenós | TCH    |
|---------------------|-------|----------|--------|--------------|-------------|--------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.403 | .0056    | 0.154  | 0.334        | 0.555*      | 0.035  |
| <b>IAF</b>          |       | -0.047   | 0.080  | 0.226        | 0.328       | 0.521* |
| <b>Diâmetro</b>     |       |          | 0.387  | -0.289       | -0.222      | 0.386  |
| <b>Altura</b>       |       |          |        | 0.413        | 0.561*      | 0.390  |
| <b>n° perfilhos</b> |       |          |        |              | 0.445       | 0.076  |
| <b>n° entrenó</b>   |       |          |        |              |             | 0.042  |

\* valor significativo a 5% de probabilidade.

Aos 240 dias após o corte o tratamento sequeiro, houve correlação positiva entre índice de área foliar (IAF) com altura de plantas e produtividade de colmos (TCH), sendo significativo a 5% de probabilidade (Tabela 15). O índice de área foliar está diretamente relacionado com os rendimentos em produção final de colmos (SILVA; PINCELLI, 2010), sendo uma importante ferramenta no monitoramento e investigação do acompanhamento da produção de colmos.

**Tabela 15.** Análise de correlação entre as variáveis morfológicas e produtividade aos 240 dias após o corte nos tratamentos sequeiro, Jaú-SP, 2010

|                     | <b>IAF</b> | <b>Diâmetro</b> | <b>Altura</b> | <b>n° perfilhos</b> | <b>n° entrenós</b> | <b>TCH</b> |
|---------------------|------------|-----------------|---------------|---------------------|--------------------|------------|
| <b>MS (total)</b>   | 0.296      | 0.115           | 0.332         | 0.128               | 0.083              | 0.121      |
| <b>IAF</b>          |            | 0.252           | 0.615*        | 0.147               | 0.076              | 0.521*     |
| <b>Diâmetro</b>     |            |                 | 0.479         | 0.406               | 0.392              | 0.091      |
| <b>Altura</b>       |            |                 |               | -0.014              | 0.066              | 0.304      |
| <b>n° perfilhos</b> |            |                 |               |                     | 0.492              | 0.055      |
| <b>n° entrenó</b>   |            |                 |               |                     |                    | 0.079      |

\* valor significativo a 5% de probabilidade.

## **7 CONCLUSÃO**

As variáveis morfológicas número de perfilhos, altura de plantas, diâmetro de colmos e índice de área foliar foram eficientes na diferenciação de cultivares de cana-de-açúcar sob os tratamentos irrigado e sequeiro.

A eficiência do uso da água no tratamento irrigado não respondeu positivamente a aplicação de água.

A cultivar RB867515 teve produtividade de colmos 13,15% no manejo irrigado em relação ao sequeiro.

As variáveis morfológicas índice de área foliar, altura de plantas e número de entrenós correlacionaram positivamente com a produtividade colmos, nos dois manejos.

## 8 REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário estatístico da agricultura**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2010. p. 239-242.

ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: Paranhos, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 42-55, 1987.

ALLEN, R. A. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, A. C. S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p.1441-1448, set./out. 2008.

ARALDI, R. et al. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 694-702, 2010.

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

BAKER, N.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1607-1621, 2004.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BARBOSA, E. A. **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas-MG**. 2005. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.

BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 2, p. 48-54, 1997.

BRENNER, A. J. et al. A comparison of direct and indirect methods for measuring leaf and surface areas of individual bushes. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 18, n. 11, p. 1332-1340, 1995.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. cap. 2, p. 95-104.

CARRETERO, M. V. **Utilização do tanque de evaporação Classe “A” para o controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum Spp*)**. 1982. 98 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000, p.1-9.

CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 249 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar: segundo levantamento**, agosto de 2011. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011. 21 p.

COPERSUCAR. **Nona geração de variedades de cana-de-açúcar Copersucar**. Piracicaba: 2003. 15 p. (Boletim Técnico Copersucar, Edição Especial).

COPERSUCAR. **Sétima geração de variedades de cana-de-açúcar Copersucar**. Piracicaba, 1999. 32 p. (Boletim Técnico Copersucar, Edição Especial).

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 2004. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In.: HEINZ, D. J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

DANTAS NETO, J. et al. Resposta de cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DIAS, F. L. F. Produtividade de cana-de-açúcar em relação ao clima e solo da Região Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 627-634, 1999.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chonica Botanica, 1952. 371 p.

DOMAINGUE, R. Family and varietal adaptation of sugarcane to dry conditions and relevance to selection procedures. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 21., Bangkok, 1995. **Proceedings...** Bangkok: ISSCT, 1995. p. 418-435.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

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

FARIAS, C. H. A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

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

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

FLEXAS, J. et al. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **New Phytologist**, Cambridge, v. 172, p. 73-82, 2006.

FRIZZONE, J. A. et al. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GALLACHER, D. J. Optimised descriptors recommended for Australian sugarcane germplasm (*Saccharum* spp. hybrid). **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 48, p. 775-779, 1997.

GALON, L. et al. Eficiência de uso da água em genótipos de cana-de-açúcar submetidos a aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 777-784, 2010.

GHANNOUM, O. C. Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, London, v. 103, p. 635-644, 2009.

GARG, A. K. et al. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, DC, v. 99, n. 25, p. 15898-15903, 2002.

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

GAVA, G. J. G. et al. Produtividade e atributos tecnológicos de três cultivares de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 751-755.

GAVA, G. J. G. et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal)-Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.

GUPTA, V. et al. The water-deficit stress- and red-rot-related genes in sugarcane. **Functional and Integrative Genomics**, Berlin, v. 10, n. 2, p. 207-214, 2010.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

HOFFMANN, H. P. et al. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Araras: Universidade Federal de São Carlos, 2008. 30 p.

HUMBRET, R. P. **The growing of sugar cane**. New York: Elsevier, 1968.

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

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

IRVINE, J. E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science**, Madison, v. 15 p. 671-676, 1975.

JONCKHEERE, I. et al. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 121, p. 19-35, 2004.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. cap.6, p.146-186.

KEATING, B. A. et al. Modeling sugar cane production systems I. Development and performance of the sugar cane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 253-271, 1999.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 18-23, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LEME, E. J. A.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Cadernos PLANALSUCAR**, Piracicaba, n. 2, p. 3-9, 1984.

MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 115 f. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, cap.1, p. 56-87.

MACHADO, R. S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MACLEAN, F. G.; MCDAVID, C. E.; SINGH, Y. Preliminary results of net assimilation rate studies in sugarcane. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, Brisbane, v. 13, p. 849-858, 1968.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. p. 225-274.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, 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.

OLIVEIRA, R. A. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R. A. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.



OLIVEIRA, R. A. et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

OMETTO, J. C. **Registros e estimativas de parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba**. Piracicaba: Fealq, 1989. 76 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, C. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicação prática**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. 4. ed. Piracicaba, 2005. 282 p.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 85, p. 83-89, 2000.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, p. 249-258, 2000.

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

ROBERTSON, M. J. et al. Physiology and productivity of sugar cane with early and mid-season water deficit. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 64, p. 211-227, 1999.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 100 p.

ROLIM, G. S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 771-720, 2007.

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

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

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

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

SILVA, L. C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Coruripe - AL**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SILVA, M. A.; PINCELLI, R. P. Alterações morfofisiológicas na cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. In: CRUSCIOL, C. A. C. et al. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010, v. 1, p. 43-48.

SILVA, A. L. C.; COSTA, W. A. J. M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, Peradeniya, v. 16, p. 1-12, 2004.

SILVA, T. G. F. et al. Demanda hídrica e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1257-1265, 2011.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3 p. 193-201, 2007.

SILVA, M. A. et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, p. 171-178, 2004.

SINGH, S.; REDDY, M. S. Growth, yield and juice quality performance of sugarcane varieties under different soil moisture regimes in relation to drought resistance. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 17., Manila, 1980. **Proceedings...** Manila: ISSCT, 1980. p. 541-555.

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**, Amsterdam, v. 90, p. 95-100, 2007.

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

SOARES, R. A. B. et al. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em início de safra. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 22, p. 38-41, 2004.

SOUZA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-12, 1999.

STONE, P. J.; SORENSEN, I. B.; JAMIESON, P. D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 169-178, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Rewood City: Benjamin Cummings, 1991. 565p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. p. 423-460.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Dados e cotações. 2010. Disponível em <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 14 dez. 2010.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, n. 41, p. 41-76, 1947.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. 665-671, 2008.

ZINK, F.; GONÇALVES, R.; PASSOS, S. M. **Cultura de cana-de-açúcar**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1978. 15 p. (Boletim técnico, n. 121).