

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM
CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS AO
DÉFICIT HÍDRICO**

José Perez da Graça

Biólogo

JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL
Fevereiro de 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM
CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS AO
DÉFICIT HÍDRICO

José Perez da Graça

Orientadora: Profa. Dra. Sonia Marli Zingaretti

Co-orientadora: Dra. Clara Beatriz Hoffmann-Campo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL
Fevereiro de 2009

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOSÉ PEREZ DA GRAÇA – nascido em 8 de dezembro de 1980, na cidade de Cornélio Procópio – PR, filho de Manoel Feijó da Graça e Maria Perez da Graça. Formou-se biólogo pela Universidade do Norte do Paraná – Campus Luiz Meneguel – Bandeirantes - PR, em dezembro de 2005. Durante o curso de graduação trabalhou na área de entomologia com a avaliação de tricomas e lipoxigenases de genótipos de soja sob co-orientação da Dra. Clara Beatriz Hoffmann Campo. Em fevereiro de 2007 concluiu curso de pós-graduação em Bioquímica aplicada pela Universidade Estadual de Londrina e iniciou o curso de mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Estadual Paulista.

*E agora, José?
A festa acabou,
a luz apagou,
o povo sumiu,
a noite esfriou,
e agora, José?
e agora, você?
você que é sem nome,
que zomba dos outros,
você que faz versos,
que ama, protesta?
e agora, José?*

*Está sem mulher,
está sem discurso,
está sem carinho,
já não pode beber,
já não pode fumar,
cuspir já não pode,
a noite esfriou,
o dia não veio,
o bonde não veio,
o riso não veio,
não veio a utopia
e tudo acabou
e tudo fugiu
e tudo mofou,
e agora, José?*

*E agora, José?
Sua doce palavra,
seu instante de febre,
sua gula e jejum,*

*sua biblioteca,
sua lavra de ouro,
seu terno de vidro,
sua incoerência,
seu ódio – e agora?*

*Com a chave na mão
quer abrir a porta,
não existe porta;
quer morrer no mar,
mas o mar secou;
quer ir para Minas,
Minas não há mais.
José, e agora?*

*Se você gritasse,
se você gemesse,
se você tocasse
a valsa vienense,
se você dormisse,
se você cansasse,
se você morresse...
Mas você não morre,
você é duro, José!*

*Sozinho no escuro
qual bicho-do-mato,
sem teogonia,
sem parede nua
para se encostar,
sem cavalo preto
que fuja a galope,
você marcha, José!
José, para onde?*

José, Carlos Drummond de Andrade.

*À minha mãe Maria Perez da Graça e meu pai Manoel Feijó da Graça, pelo
amor incondicional, dedicação e incentivo!*

Ofereço,

*A minha irmã Vânia, meu cunhado Nilton, meus sobrinhos Otávio e Igor, pelo
carinho.*

Amada família.

Com amor

*Especialmente à meu amigo João Maurício, que foi um exemplo de perseverança
e me mostrou que nunca devemos desanimar e sempre sonhar e acreditar!*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, bem mais precioso, e pela força para desenvolver este trabalho, pois sem Ele nada seria possível.

A minha família, pelo incentivo.

A Profa Dra. Sonia Marli Zingaretti, pela orientação.

A Dra. Clara Beatriz Hoffmann Campo e Dr. José Renato Bouças Farias pela orientação, amizade, paciência e ensinamentos valiosos para a realização do meu trabalho.

A Dra. Maria Cristina Neves Batista e a equipe do laboratório de biometria Tânia e Marisa pelas sugestões e ensinamentos estatísticos.

A Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal - pela oportunidade de realização do curso.

A Dra. Janete A. Desidério e ao Dr. Manoel Victor F. Lemos pela participação no exame de qualificação e sugestões para o artigo.

Aos amigos Tiago, Ivana, Rafael e Paulo pela amizade.

Aos professores do programa de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelos ensinamentos e dedicação.

Aos funcionários Claudinei e Delatre e estagiários do laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa-Soja pela paciência e ensinamentos nas análises fisiológicas.

A todos os amigos da Embrapa-Soja, Selma, Mariana, Aguida, Sérgio, João Alves, Edimar, Sheila, Andréia, Lizandra, Amanda, Renata Fuganti, Vera, César, Silvana, Leonardo, Jaqueline, Débora e Giovani pelo convívio.

A amiga Máira Balestri pela ajuda durante o plantio e também durante a coleta do material e pelos momentos divertidos.

A meus pais Manoel e Maria pelo exemplo de vida, amor, dignidade e apoio.

A minha amiga Fabiana (Fá) pela amizade, por momentos de grande alegria tanto na vida profissional como pessoal. Suas dicas e auxílio foram cruciais para o trabalho. À você Fá, meu profundo agradecimento e admiração.

A Marilza Mota, pela amizade, ajuda, alegria e bons momentos vivenciados durante minha permanência em Jaboticabal.

Ao MsC. René de Assis Sordi (Centro de Tecnologia Canavieira) pelas sugestões e ao Gláucio Adriano Carrit Antiga (Usina Santa Adélia) pela doação dos toletes de cana-de-açúcar.

A CAPES, pelo auxílio financeiro.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização e enriquecimento deste trabalho.

Muito obrigado!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xiii
I. INTRODUÇÃO.....	1
II REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cana-de-açúcar.....	3
2.2. O Déficit Hídrico e as Características Fisiológicas das Plantas.....	5
III. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Instalação do Experimento.....	9
3.2. Avaliação dos Parâmetros Fisiológicos.....	10
3.3. Análise Estatística.....	11
IV. RESULTADOS	12
4.1. Teor Relativo de Água, Temperatura Foliar e Taxa de Transpiração.....	12
4.2. Eficiência Quântica do Fotossistema II	17
4.3. Taxa Fotossintética.....	19
4.4. Condutância Estomática e Concentração Intercelular de CO ₂	21
4.5. Quadro de Análise de Variância.....	25
V. DISCUSSÃO.....	27
VI. CONCLUSÕES	32
VII. REFERÊNCIAS.....	33

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Teor relativo de água (%) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula) sob condição de déficit hídrico. Comparação do TRA entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....14

Figura 2. Diferença entre a temperatura da folha e a temperatura do ar. Variação da temperatura dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula) sob condição de déficit hídrico. Comparação da temperatura entre as cultivares sob condição de controle (letra maiúscula na barra das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na barra das plantas estressadas). Valores positivos indicam temperatura foliar superior a temperatura do ambiente. Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....15

Figura 3. Taxa de transpiração (E) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....16

Figura 4. Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as

cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....18

Figura 5. Taxa fotossintética (A) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.20

Figura 6. Condutância estomática (g_s) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....23

Figura 7. Concentração intercelular de CO_2 (C_i) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....24

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Resumo da análise de variância (Graus de liberdade – GL; e valores de F) para eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) e teor relativo de água (TRA) de três cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois níveis de irrigação em diferentes períodos de avaliação.....25

Tabela 2. Resumo da análise de variância (Graus de liberdade – GL; e valores de F) para taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), temperatura ($^{\circ}C$) e concentração intercelular de CO_2 (C_i) de três cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois níveis de irrigação em diferentes períodos de avaliação.26

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO. A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas das regiões tropicais, cuja produtividade agrícola pode ser afetada pelo déficit hídrico. Para investigar o processo de tolerância e sensibilidade ao déficit hídrico, diferentes parâmetros fisiológicos foram avaliados em cultivares de cana-de-açúcar tolerantes (SP83-2847 e CTC15) e sensível (SP86-155) ao déficit hídrico. A deficiência hídrica afetou todo o aparato fotossintético das plantas de forma diferenciada dentro e entre as cultivares. A taxa fotossintética e condutância estomática diminuíram significativamente para todas as cultivares submetidas ao estresse. Nas plantas controle das cultivares (cv) tolerantes SP83-2847 e CTC15 observou-se que a taxa fotossintética apresentou valores mais altos em comparação a cultivar sensível SP86-155. Resultados do teor relativo de água mostraram que a cultivar CTC15 apresentou melhor condição hídrica durante o período de déficit hídrico. A eficiência quântica do fotossistema II da cultivar SP83-2847 mostrou maior estabilidade nos últimos dias do tratamento experimental, sugerindo que o decréscimo do teor relativo de água estimulou o ajuste da capacidade fotossintética frente às alterações da disponibilidade hídrica. De modo geral, as cultivares SP83-2847 e CTC15, consideradas tolerantes, sob déficit hídrico exibiram melhor desempenho em relação a cultivar sensível SP86-155. Os dados permitem sugerir que tais parâmetros fisiológicos podem ser empregados na avaliação e distinção de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Eficiência quântica do fotossistema II, teor relativo de água, *Saccharum*, estresse hídrico, taxa fotossintética, seca.

EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN SUGARCANE CULTIVARS SUBMITTED TO WATER DEFICIT

SUMMARY. The sugarcane (*Saccharum* spp.) is one of the main crops cultivated in tropical areas, whose agricultural productivity can be affected by drought. To investigate the tolerance and sensitivity process to water deficit, various physiological parameters were evaluated in sugarcane cultivars considered tolerant (SP83-2847 and CTC15) and sensitive (SP86-155) to drought. The water deficit affected the entire photosynthetic apparatus of all plants in different manners, inside and among cultivars. The photosynthetic rate and stomatal conductance decreased significantly for all cultivars, submitted to water stress. In control plants of the tolerant cultivars SP83-2847 and CTC15, it was observed that the photosynthetic rate showed better values in comparison to sensitive cultivar SP86-155. According to relative water content results of the cultivar CTC15 showed better condition water performance during the drought. The quantum efficiency photosystem II of the cultivar SP83-2847 showed greater stability in recent days of the experimental treatment, suggesting that the decline in the relative water content stimulated the adjustment of photosynthetic capacity to face the changes in water availability. Thus, cultivars SP83-2847 and CTC15, considered tolerant under water deficit, showed better performance in comparison to sensitive cultivar SP86-155. The data suggest that these physiological parameters can be used in the evaluation and distinction of drought tolerant and sensitive sugarcane genotypes.

Keywords: Quantum efficiency photosystem II, relative water content, *Saccharum*, water stress, photosynthetic rate, drought.

I. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das principais culturas destinada à produção de sacarose e etanol nas regiões tropicais e subtropicais. O Brasil se destaca no cenário mundial como o maior produtor, seguido da Índia, China e Tailândia. Na safra de 2007 as usinas brasileiras processaram cerca de 501,54 milhões de toneladas. No entanto, na safra de 2008 espera-se uma produção de 558,72 milhões de toneladas (CONAB, 2008). Sabe-se que a verdadeira produtividade agrícola em muitas regiões é apenas uma pequena parte do verdadeiro potencial genético da cultura (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Nesse contexto, o déficit hídrico é um dos principais fatores que diminuem a produção da maioria das culturas no mundo (BRAY et al., 2000), em especial a cultura de cana-de-açúcar (VENKATARAMANA et al., 1986). Uma das alternativas para atenuar o efeito do déficit hídrico na produção da lavoura de cana-de-açúcar baseia-se no uso de irrigação (INMAN-BAMBER, 2004), porém, a disponibilidade de água é limitada em determinadas regiões e os custos dos equipamentos tornam este tipo de estratégia muito dispendiosa (BOYER, 1996). Uma outra alternativa para amenizar tais custos seria a seleção e uso de genótipos com características de tolerância ao déficit hídrico para sua introdução em programas de melhoramento genético (SILVA et al., 2007).

O estresse ocasionado pelo déficit hídrico é sentido em toda a planta, desde os pêlos radiculares até os estômatos. Entre as principais modificações estão as alterações morfológicas, como a redução da área foliar, crescimento do sistema radicular e fechamento dos estômatos, durante a aclimação da planta à seca (DAVIES et al., 2002; GOMEZ-DEL-CAMPO et al., 2002; TAIZ & ZEIGER, 2004; LOPEZ et al., 2008). As respostas fisiológicas e bioquímicas variam de acordo com o genótipo da planta, mas de modo geral as modificações referentes ao déficit hídrico incluem um menor potencial hídrico no solo e nas folhas (STEUDLE, 2000; LIBERATO et al., 2006), aumento da síntese de osmoprotetores, como prolina e açúcares

(MOLINARI et al., 2007; MCCORMICK et al., 2008), diminuição da eficiência quântica do fotossistema II (ANGELOPOULOS et al., 1996; GONÇALVES et al., 2005; SILVA et al., 2007), redução no teor relativo de água da folha (SILVA et al., 2007; WAHID & CLOSE, 2007; LOBATO et al., 2008) e decréscimo da condutância estomática e taxa fotossintética (BRESTIC et al., 1995; DU et al., 1996; DAVIES et al., 2002; AZEVEDO NETO et al., 2004; SMIT & SINGELS, 2006; POLIZEL, 2007).

O balanço hídrico da planta é controlado pela transpiração foliar e a absorção de água no solo, que em condições adversas como o déficit hídrico, diminui o teor relativo de água e o turgor celular. Assim sendo, o conteúdo hídrico foliar em condições iguais ou inferiores a 75% diminuem significativamente a atividade fotossintética (SMIT & SINGELS, 2006). Entretanto, a eficiência quântica do fotossistema II (FSII), que promove a produção de elétrons requeridos na fotossíntese, apresenta maior estabilidade às altas temperaturas em plantas de *Tritium aestivum* submetidas ao déficit hídrico (Lu & Zhang, 1999). Ainda, a taxa fotossintética e condutância estomática são reduzidas rapidamente durante o déficit hídrico (MIYASHITA et al., 2005).

Diferentes métodos podem ser empregados na distinção entre genótipos tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico. Nosso grupo de pesquisa tem realizado estudos moleculares para investigar a expressão gênica de plantas de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico (RODRIGUES et al., 2009). Desta forma, a avaliação de parâmetros fisiológicos torna-se outra importante ferramenta para investigar o comportamento das plantas de cana-de-açúcar durante o períodos de estresse hídrico. Assim o objetivo do presente trabalho foi avaliar o processo de tolerância e sensibilidade ao déficit hídrico de cultivares de cana-de-açúcar durante o estágio vegetativo quando submetidas a condições de deficiência hídrica e comparar o desempenho fisiológico destas cultivares.

II REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea da família Poaceae originária na Ásia Meridional (Nova Guiné) e de grande importância mundial, principalmente em regiões de clima tropical e subtropical, para a produção de açúcar e etanol. Esta gramínea perene perfilha durante a fase inicial do desenvolvimento e, quando estabelecida, o autossombreamento inibe o perfilhamento e promove o desenvolvimento do colmo principal. Durante seu crescimento, especialmente na fase de maturação, a cana-de-açúcar acumula grande quantidade de sacarose nos internós (MCCORMICK et al., 2008). A duração dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar compreende a sua germinação e emergência (1 mês), brotação e estabelecimento do dossel (2 meses), grande crescimento (7 meses) e a maturação ou amadurecimento (2 meses) (GASCHO, 1985).

Esta gramínea passou a despertar grande interesse econômico após sua difusão a outros continentes desde séculos passados, onde o produto originário do seu beneficiamento (açúcar) apresentava um alto valor comercial. Na atualidade, o Brasil passou a ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e de acordo com dados de produtividade há uma estimativa de que o país se torne o principal fornecedor mundial de biocombustíveis, visto que as suas áreas de cultivo tendem a impulsionar o agronegócio para a produção de energias renováveis (GOLDEMBERG, 2007). Enquanto países como Índia e China, que são o segundo e terceiro maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, respectivamente, tendem a direcionar maior atenção à produção de alimentos, o Brasil é o único país que possui meios (área para plantio/subsídios) para elevar sua produção com custos baixos e manter sua competitividade.

Na safra de 2008, o Brasil processou um total 558,72 milhões de toneladas pelo setor sucroalcooleiro, atingindo um montante correspondendo a 11,4% a mais do que

os 501,54 milhões de toneladas processadas na safra passada. A maior parte desta produção se concentra na região Centro-Sul com destaque ao Estado de São Paulo, que é responsável por quase 60% da safra nacional de cana-de-açúcar (CONAB, 2008).

Como um país de vastas extensões territoriais, o Brasil também apresenta uma grande variação no tipo de clima, solo e pluviosidade que podem interferir no saldo produtivo de muitas culturas, assim como limitar a sua produção em determinadas regiões. Apesar do otimismo na atividade da cana-de-açúcar e nas demais culturas, existem fatores que prejudicam a capacidade produtiva como os danos que são ocasionados por diferentes tipos de doenças, pragas e estresses abióticos, a exemplo do déficit hídrico. A restrição hídrica imposta à planta em determinado estágio de desenvolvimento pode comprometer sua produtividade, principalmente se o período de seca exceder a capacidade de tolerância da espécie vegetal (INMAN-BAMBER, 2004; LISSON et al. 2005; SMIT & SINGLES, 2006).

A cana-de-açúcar é uma planta C_4 , em que o primeiro produto estável da fotossíntese formado durante a fixação da molécula de dióxido de carbono (CO_2) consiste no ácido oxalacético, que é reduzido à ácido málico e ácido aspártico, ambos com quatro moléculas de carbono ainda mais estáveis. Além da presença da enzima Rubisco nas células da bainha Kranz, plantas com metabolismo C_4 contam com a presença da fosfoenolpirúvico carboxilase (PEPcase) nas células do mesófilo foliar, onde esta enzima aumenta a capacidade de fixação de CO_2 devido a sua alta afinidade por esta molécula. A compartimentação espacial das duas enzimas faz com que o CO_2 fixado pela PEPcase se transloque, via malato e aspartato, até a bainha dos feixes vasculares, onde ocorre a descarboxilação com a entrada do carbono no ciclo de Calvin-Benson (TAIZ & ZEIGER, 2004). Por isso, para seu desenvolvimento, esta gramínea necessita de quantidades substanciais de água e nitrogênio para a máxima produtividade em campo. Períodos prolongados de seca na cultura de cana-de-açúcar, podem causar impactos significativos no crescimento, na produtividade e na qualidade do produto (WIEDENFELD, 2000).

2.2. O Déficit Hídrico e as Características Fisiológicas das Plantas

A água é um solvente de grande importância e essencial a todas as formas de vida conhecidas. As plantas são constituídas de 85% a 95% de água e o déficit hídrico pode promover alterações nas suas reações fisiológicas e bioquímicas (NEUMAIER & NEPOMUCENO, 1994). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) o déficit hídrico pode ser definido como o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do maior conteúdo de água exibido pela planta em um melhor estado de hidratação. Desta forma, o déficit é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo no crescimento e na produtividade das mesmas (LECOEUR & SINCLAIR, 1996) e o efeito pode variar de acordo com a espécie, época de ocorrência e a sua severidade.

As plantas quando submetidas à condição de déficit hídrico apresentam alterações que podem prevenir e tolerar a perda de água. Nestas alterações o sistema radicular é a primeira região da planta a detectar e sinalizar às demais células, tecidos e órgãos os efeitos do estresse. A emissão de sinais químicos pelas raízes são responsáveis por modificações no comportamento estomático durante o déficit hídrico. Desta maneira o ácido abscísico (ABA), o pH e a redistribuição iônica, parecem desempenhar um papel importante na sinalização de longa distância entre as raízes e a parte aérea. Raízes de plantas de *Zea mays* crescidas em vasos, com suprimento normal de água e com restrição de água, demonstraram que a desidratação de partes das raízes pode causar parcial fechamento dos estômatos, evidenciando que o fechamento estomático está mais relacionado ao conteúdo hídrico do solo do que ao próprio conteúdo hídrico da planta (SAUTER et al., 2001; DAVIES et al., 2002; TAIZ & ZEIGER 2004).

Nos programas de melhoramento, o uso de diferentes técnicas para a seleção de materiais, como por exemplo os marcadores moleculares, tem gerado resultados positivos diminuindo o tempo entre a seleção e comercialização de novas cultivares (FERREIRA & GRATTAPAGLIA, 1998). A análise de parâmetros fisiológicos também permite a seleção e classificação de cultivares através de testes comparativos com

genótipos já conhecidos quanto à tolerância ou sensibilidade ao déficit hídrico e, entre estes parâmetros, o teor relativo de água (TRA) é considerado uma ferramenta de rápido e baixo custo para esta análise (MATIN et al., 1989; SILVA et al., 2007).

O controle das funções fisiológicas está diretamente relacionado com o conteúdo hídrico da planta e alterações no TRA afetam diretamente todo o aparato fotossintético. BRESTIC et al. (1995), estudando plantas de *Phaseolus vulgaris*, verificaram que uma diminuição entre 10% a 20% no TRA após 15 dias sob déficit hídrico diminuiu consideravelmente a taxa de assimilação de CO₂ e a condutância estomática. A resposta fotossintética frente ao déficit hídrico pode apresentar variação de acordo com a espécie, como observado por COLOM & VAZZANA (2003) quando estudaram o TRA e a taxa fotossintética de cultivares da gramínea *Eragostris curvula*, em que os autores constataram que a cultivar tolerante exibiu maior atividade fotossintética em comparação à cultivar sensível submetidas ao déficit hídrico. São várias as alterações ocorridas nas plantas devido o déficit hídrico, porém, é comum observar que uma redução de 25% no TRA, é responsável por ocasionar uma repressão em todo o aparato fotossintético (LAWLOR & CORNIC, 2002; AZEVEDO NETO et al., 2004; SMIT & SINGELS, 2006).

Nas membranas dos tilacóides, os fotossistemas I e II são responsáveis por captar e converter a energia luminosa do sol (fótons) em energia química (ATP e NADPH) e neste processo a água é fundamental para o fotossistema II. O centro de reação do fotossistema II é formado por um complexo protéico junto a molécula de clorofila P680 que possui um redutor muito forte que oxida a molécula de água (H₂O) em elétrons, prótons e oxigênio. Os elétrons produzidos são transferidos para a plastoquinona que é um carregador de prótons H⁺, e tendo recebido os elétrons, transfere os prótons do estroma (externo) para o lúmen (interno) e doa os elétrons para o citocromo *f* que são transferidos para a plastocianina que se move até próximo ao fotossistema I e doa os elétrons para a ferredoxina que reduz NADP⁺ em NADPH. Os prótons produzidos pela oxidação da água junto aos prótons transferidos pela plastoquinona geram um potencial eletroquímico no interior dos tilacóides (lúmen) que são utilizados na síntese de ATP (TAIZ & ZEIGER, 2004). Desta forma o fotossistema II

depende da água para a geração de energia química, requerida posteriormente para a fixação de CO₂, e demonstra que variações na disponibilidade hídrica geram uma menor eficiência do fotossistema II, ou seja, com recurso de água limitado, menos ATP e NADPH são formados e como consequência menos CO₂ é fixado (LU & ZHANG, 1999; SOUZA et al., 2004).

MELONI et al. (2004) avaliaram o teor relativo de água e o desempenho de plantas de *Prosopis alba* submetidas ao estresse salino e verificaram que plantas sob estresse apresentavam redução de 11% no TRA em relação às plantas que não foram submetidas ao estresse, além de diminuição no crescimento de raízes e caules, assim como aumento na produção de osmoprotectores como betaina, prolina e açúcares solúveis.

A manutenção da temperatura foliar pela planta requer a evaporação de grande quantidade de água para que a temperatura foliar não exceda a temperatura ambiental e, como consequência, ocorra um adequado funcionamento do aparato fotossintético. Além disso, as aclimações que ocorrem durante o resfriamento pela planta incluem também uma diminuição no tamanho, ângulo e na orientação das folhas, no enrolamento foliar, nas camadas de cera refletora epicuticular, e nos tricomas da superfície foliar que minimizam a área exposta ao ambiente (TAIZ & ZEIGER 2004; HABERMANN et al., 2008). Sob condições de temperaturas altas, a fotossíntese e a respiração são inibidas principalmente pela redução na estabilidade da membrana celular, onde os prejuízos para a fotossíntese estão mais diretamente relacionados às mudanças nas propriedades de membrana e ao desacoplamento dos mecanismos de transferência de energia nos cloroplastos do que a uma desnaturação geral de proteínas (BJÖRKMAN et al., 1980; RAISON et al., 1982; HIKOSAKA et al., 2006; PRASAD, et al., 2008).

Desta maneira, a condutância estomática, a taxa fotossintética, a eficiência do fotossistema II e o teor relativo de água são alguns dos parâmetros fisiológicos que têm apresentado grande utilidade na categorização de genótipos tolerantes à seca, além também da capacidade de recuperação destes genótipos após serem submetidos ao déficit hídrico com o restabelecimento do suprimento hídrico (YORDANOV et al., 2000;

MUNNS, 2002; TARDIEU, 2003; BARTELS, 2005; BARTELS & SUNKAR, 2005; BUCKLEY, 2005; VINOCCUR & ALTMAN, 2005; LIBERATO et al., 2006; PETERS et al., 2007; SHAO et al., 2008; TEZARA et al., 2008).

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Instalação do Experimento

O material vegetal foi obtido no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, Piracicaba-SP e Usina Santa Adélia, Jaboticabal-SP). Foram utilizadas as cultivares SP83-2847 e CTC15, consideradas tolerantes, e a cultivar (cv) SP86-155, considerada sensível ao déficit hídrico. Estas cultivares foram avaliadas através de experimentos em campo e classificadas quanto à sua produtividade em períodos prolongados de seca (COPERSUCAR, 1999; CTC, 2007).

Os toletes foram cultivados individualmente, em vasos com volume de quatro litros utilizando como substrato o latossolo vermelho distroférrico ($\text{pH}=6,46$; $\text{H+Al}=1,93 \text{ cmolc/dm}^3$; $\text{Ca}^{2+}=9,43 \text{ cmolc/dm}^3$; $\text{Mg}^{2+}=0,83 \text{ cmolc/dm}^3$; $\text{K}^+=0,57 \text{ cmolc/dm}^3$; $\text{C}=16,18 \text{ g/dm}^3$; $\text{P}=0,8 \text{ mg/dm}^3$; $\text{B}=0,36 \text{ mg/dm}^3$; $\text{S}=17,52 \text{ mg/dm}^3$; $\text{Zn}=32,12 \text{ mg/dm}^3$; $\text{Cu}=2,8 \text{ mg/dm}^3$; $\text{Mn}=136,75 \text{ mg/dm}^3$; $\text{Fe}=84,75 \text{ mg/dm}^3$). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa entre 44 e 48%. A irrigação foi monitorada, com uso de irrigadores automáticos, quatro vezes ao dia (10h, 12h, 15h e 17h) durante 4 min, com volume de 80 mL de água por dia para todas as cultivares.

Para cada cultivar foram selecionadas 72 plantas, que foram distribuídas na casa de vegetação em blocos ao acaso. O delineamento experimental consistiu de 12 períodos de coleta (dias sob condições de déficit hídrico), utilizando três repetições biológicas para as plantas controle e três para as plantas sob déficit hídrico, totalizando 72 plantas para cada cultivar. O déficit hídrico foi imposto aos 60 dias após o plantio, através da supressão total da irrigação e as plantas foram analisadas no 1º, 2º, 4º, 5º, 7º, 8º, 9º, 10º, 11º, 12º, 13º e 14º dia após o início do tratamento experimental (déficit hídrico). As plantas controle foram mantidas sob irrigação diária durante todo o experimento.

3.2. Avaliação dos parâmetros fisiológicos

As análises foram realizadas pelo laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Soja, Londrina – PR, Brasil (23° 11 ' 37" S; 51° 11 ' 03" W), nos meses de março a maio de 2008. Utilizando-se a terceira folha totalmente expandida (MCCORMICK et al. 2006) foram avaliados os seguintes parâmetros fisiológicos no 1°, 2°, 4°, 5°, 7°, 8°, 9°, 10°, 11°, 13° e 14° dia após o início do déficit hídrico: diferença entre a temperatura da folha menos a temperatura ar (°C), taxa de transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A concentração intercelular de dióxido de carbono (CO_2) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) foi avaliada no 1°, 2°, 4°, 5°, 8°, 11°, 13° e 14° dia. Todas as variáveis descritas foram analisadas no período da manhã (8:30h à 10h) com o *Portable Photosynthesis System* (LICor, modelo LI-6400, "IRGA") com radiação fotossintética ativa de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Nestas análises, os valores foram anotados utilizando um coeficiente de variação menor que 1,0.

O teor relativo de água (TRA) e a eficiência quântica do fotossintética (FSII) foram determinados em todos os dias do tratamento experimental. A eficiência quântica FSII foi estimada usando o sistema portátil *Plant Efficiency Analyser* (PEA, Hansatech instruments, Morfolk, UK). A razão entre a fluorescência da variável (F_v) e a fluorescência máxima da clorofila (F_m) é proporcional à quantidade total da eficiência fotoquímica, servindo como um indicador da eficiência do FSII. Valores menores na razão (F_v/F_m) entre as plantas controle e submetidas ao tratamento experimental indicam redução na eficiência quântica FSII.

O TRA foi realizado baseado em SILVA et al. (2007), com algumas modificações. Foram coletados três fragmentos da segunda folha totalmente desenvolvida (MCCORMICK et al., 2006) e imediatamente acondicionado em frascos com tampa para aferir o peso fresco da amostra. O peso túrgido foi obtido com a reidratação do tecido em água deionizada (Milli-Q, Milipore), durante 48 horas à temperatura ambiente e sob ausência de luz. Após a reidratação, o peso túrgido foi medido e em seguida, as

amostras foram colocadas em estufa à 80°C, por 48 horas, para a obtenção do peso seco. O TRA foi calculado segundo MATIN et al. (1989), de acordo com a fórmula: $(\text{massa fresca} - \text{massa seca}) / (\text{massa túrgida} - \text{massa seca}) * 100$. Durante o experimento também foi avaliada a capacidade de recuperação dos parâmetros fisiológicos das cultivares sob déficit hídrico, com a realização de reidratações no 8º e 10º dia.

3.3. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados em arranjo fatorial, contendo três blocos com três repetições por tratamento dentro de cada bloco da seguinte forma: três cultivares, dois níveis de irrigação (irrigado e não irrigado) e tempos de amostragem sob condições de déficit hídrico, com total de 216 plantas. Todas as pressuposições para a ANOVA, como a normalidade dos dados, homogeneidade das variâncias dos tratamentos e a aditividade do modelo foram observadas (COCHRAN & COX, 1957). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com comparação múltipla das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os programas utilizados para as análises foram os pacotes estatísticos SAS - Statistical Analysis System (SAS Institute, 1996) e SANEST (ZONTA et al. 1986).

IV. RESULTADOS

4.1. Teor Relativo de Água, Temperatura Foliar e Taxa de Transpiração

Os resultados obtidos mostraram uma diferença significativa no teor relativo de água das plantas submetidas ao déficit hídrico, quando comparadas com as plantas controle (Figura 1). De acordo com o teste de médias ($P < 0,05$), o TRA apresentou diferença significativa entre os dias ao longo do déficit hídrico, principalmente a partir do 7º dia, para todas cultivares. Ainda neste dia, a cv CTC15 apresentou uma redução de 10,52% no TRA da planta estressada, comparada à planta controle. Nas cultivares SP83-2847 e SP86-155 foi observada uma redução de 19,55% e 23,12%, respectivamente, no mesmo período. O 8º e 10º dia correspondem a dois períodos de reidratação das plantas. A primeira reidratação (8º dia) foi responsável por alterações no status hídrico das folhas, no qual as cultivares sob déficit hídrico apresentaram um conteúdo relativo de água similar às plantas controle. Contudo, o mesmo não foi observado na segunda reidratação, no 10º dia. Apesar do notável aumento do TRA nas plantas submetidas à deficiência hídrica que foram reidratadas no 8º dia, não foi observado nestas plantas o mesmo comportamento durante o 10º dia, sugerindo que o ponto crítico da capacidade de recuperação destas plantas seja, no máximo, de aproximadamente oito dias (Figura 1).

Durante a condição de déficit hídrico, o TRA na cv CTC15 (tolerante) foi reduzido a 88,29% no 7º dia, assim como nas cultivares SP83-2847 (tolerante) e SP86-155 (sensível), nas quais ocorreu uma redução de 78,56% e 76,37%, respectivamente. Comparando o TRA entre as cultivares sob déficit hídrico (Figura 1), verificamos uma variação significativa entre as cultivares no 7º, 10º e 13º dia, nos quais a cv CTC15 apresentou maior TRA na maioria das avaliações. Na comparação das plantas controle não foi observada diferença significativa entre as cultivares, sendo mantido o TRA entre 95% a 100%.

Os resultados mostraram que a partir do 7º dia, foi verificado um aumento significativo da temperatura foliar para as cultivares SP83-2847 (tolerante) e SP86-155 (sensível) (Figura 2). O déficit hídrico causou um aumento significativo na temperatura foliar na cv CTC15 no 4º e, em todas as cultivares no 7º dia. As reidratações realizadas no 8º e 10º dia promoveram uma recuperação parcial da condição hídrica das plantas estressadas, reduzindo a diferença entre as temperaturas da folha e do ar. Durante o mesmo período também pode ser observado que a taxa de transpiração diferiu estatisticamente a partir do 7º dia para a cv tolerante SP83-2847 e a cv sensível SP86-155, e no 4º dia para a cv CTC15 (Figura 3).

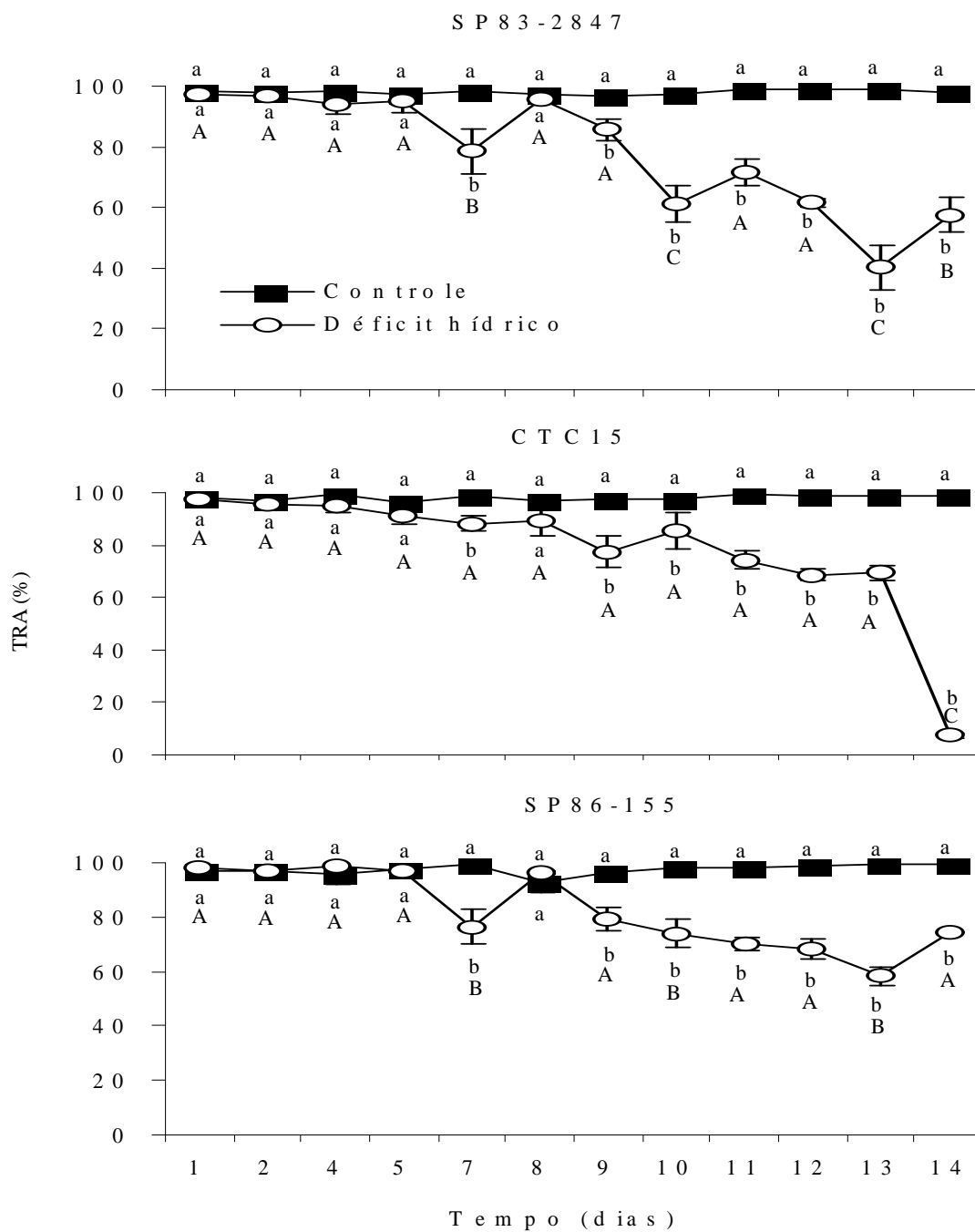


Figura 1. Teor relativo de água (%) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula) sob condição de déficit hídrico. Comparação do TRA entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

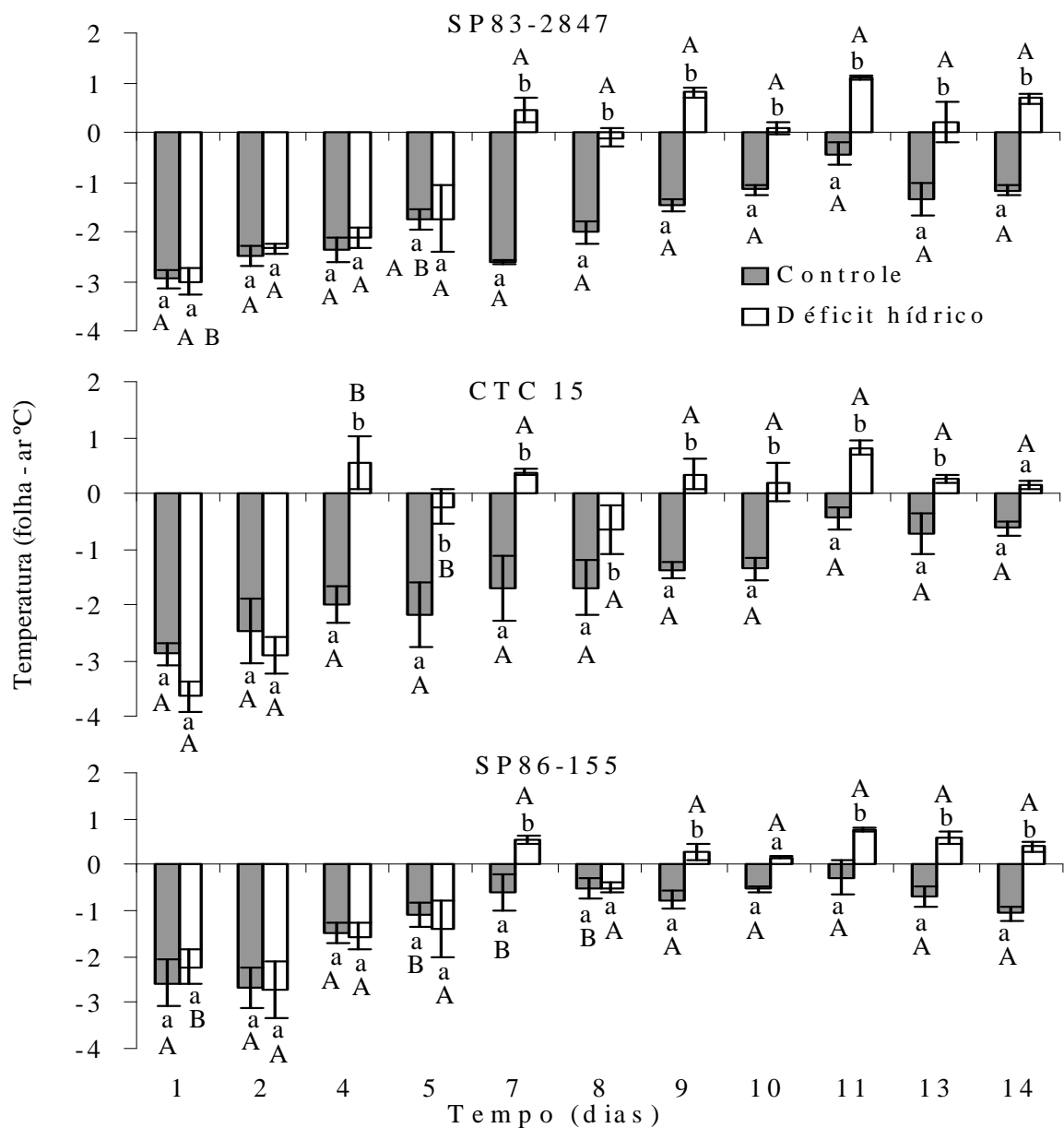


Figura 2. Diferença entre a temperatura da folha e a temperatura do ar. Variação da temperatura dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula) sob condição de déficit hídrico. Comparação da temperatura entre as cultivares sob condição de controle (letra maiúscula na barra das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na barra das plantas estressadas). Valores positivos indicam temperatura foliar superior a temperatura do ambiente. Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

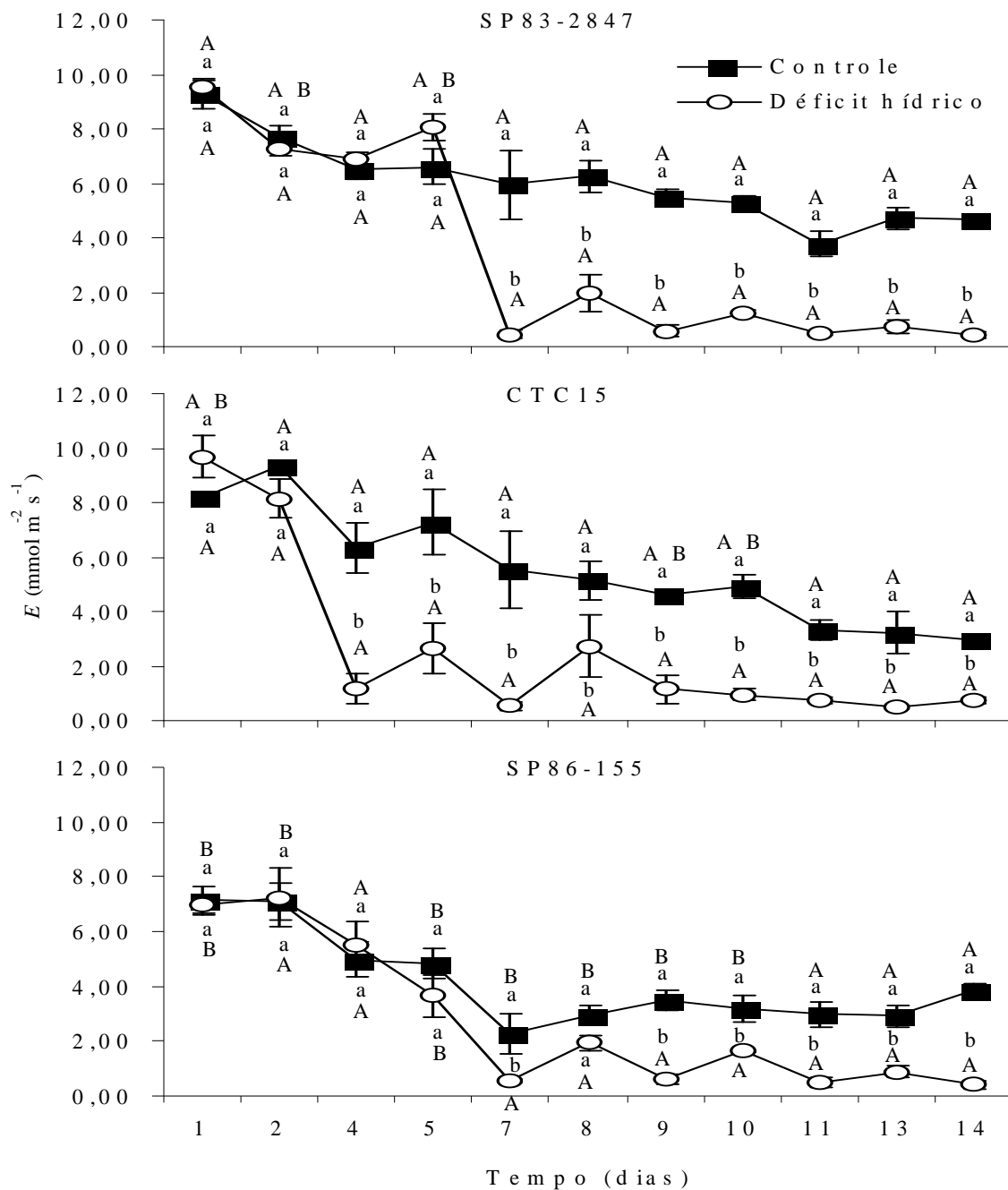


Figura 3. Taxa de transpiração (E) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2. Eficiência Quântica do Fotossistema II

As cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 apresentaram declínio da eficiência quântica FSII a partir do 5º dia do déficit hídrico, principalmente a cv SP83-2847 (Figura 4). Com a reidratação das plantas no 8º e 10º dia, houve restabelecimento da eficiência quântica destas cultivares observado no 9º e 11º di a. Nas plantas sensíveis, verificou-se um decréscimo menos acentuado na eficiência quântica FSII e sua diminuição foi interrompida em ambos os períodos de reidratação, 8º e 10º dia, nos quais pode-se observar uma taxa muito próxima as das plantas controle.

Comparando entre as diferentes cultivares sob déficit hídrico (Figura 4), observou-se uma diminuição significativa na eficiência quântica FSII no 13º e 14º dia para a cv CTC15, e entre o 12º, 13º e 14º dias para a cv SP86-155. Nas plantas da cv SP83-2847, neste mesmo período, exceto para o 12º dia, o déficit hídrico não comprometeu de maneira significativa a eficiência da cultivar em relação as plantas controle. Na cv sensível SP86-155 os valores para a eficiência FSII diminuíram para aproximadamente 0,40 no 12º dia chegando a 0,36 no 13º dia do déficit hídrico, enquanto que as plantas tolerantes apresentaram resultados com aproximadamente 0,60 (F_v/F_m), nos respectivos períodos. De modo geral, as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 mostraram uma melhor eficiência FSII em relação a cultivar SP86-155 quando submetidas ao déficit hídrico (Figura 4). Na reidratação do 8º dia, na cv SP86-155 foi verificado um aumento da eficiência quântica FSII nas plantas sob déficit hídrico. A eficiência FSII nas plantas controle foi semelhante entre as cultivares e estes dados não diferiram entre si estatisticamente (dados não apresentados).

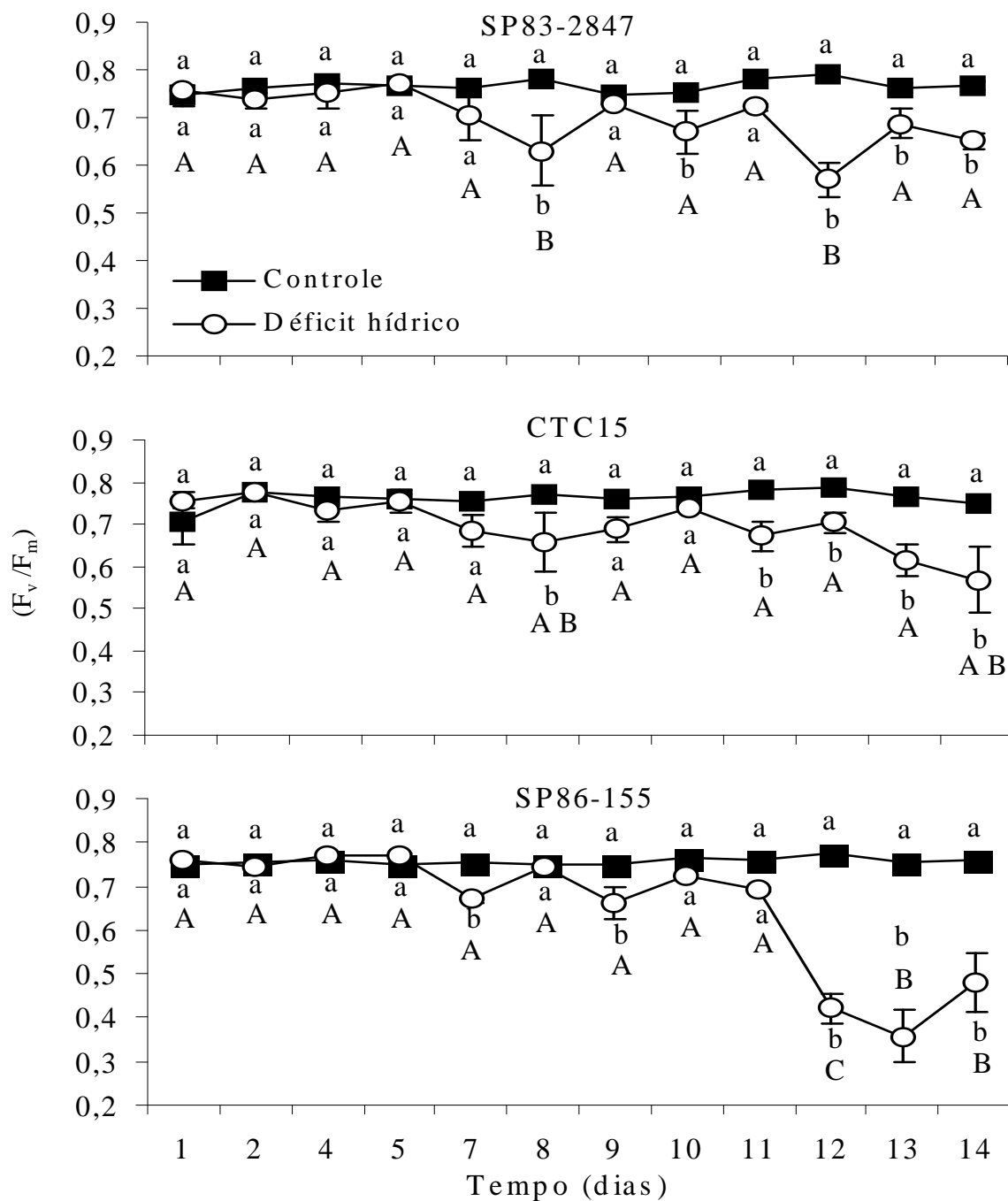


Figura 4. Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3. Taxa Fotossintética

A taxa fotossintética foi significativamente diferente entre plantas controles e submetidas ao déficit hídrico para as cultivares SP83-2847 e SP86-155 a partir do 7º dia, e para a cv CTC15 no 4º dia (Figura 5). No 8º dia a reidratação proporcionou um pequeno aumento na taxa fotossintética para as cultivares CTC15 e SP86-155, assim como observado a partir da segunda reidratação no 10º dia para as três cultivares.

De modo geral, as cultivares foram afetadas pela imposição do déficit hídrico e, como mostrado na Figura 5, as cultivares SP83-2847 ($1,77 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e SP86-155 ($2,12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) exibiram uma taxa fotossintética maior que a cultivar CTC15 ($0,38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no 14º dia. Entre as plantas submetidas ao déficit hídrico pode ser observada uma diferença significativa entre as cultivares apenas nos 4º e 5º dia (Figura 5). A taxa fotossintética também variou nas plantas controle, onde as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 mostraram um melhor desempenho em relação a cultivar sensível SP86-155 (Figura 5).

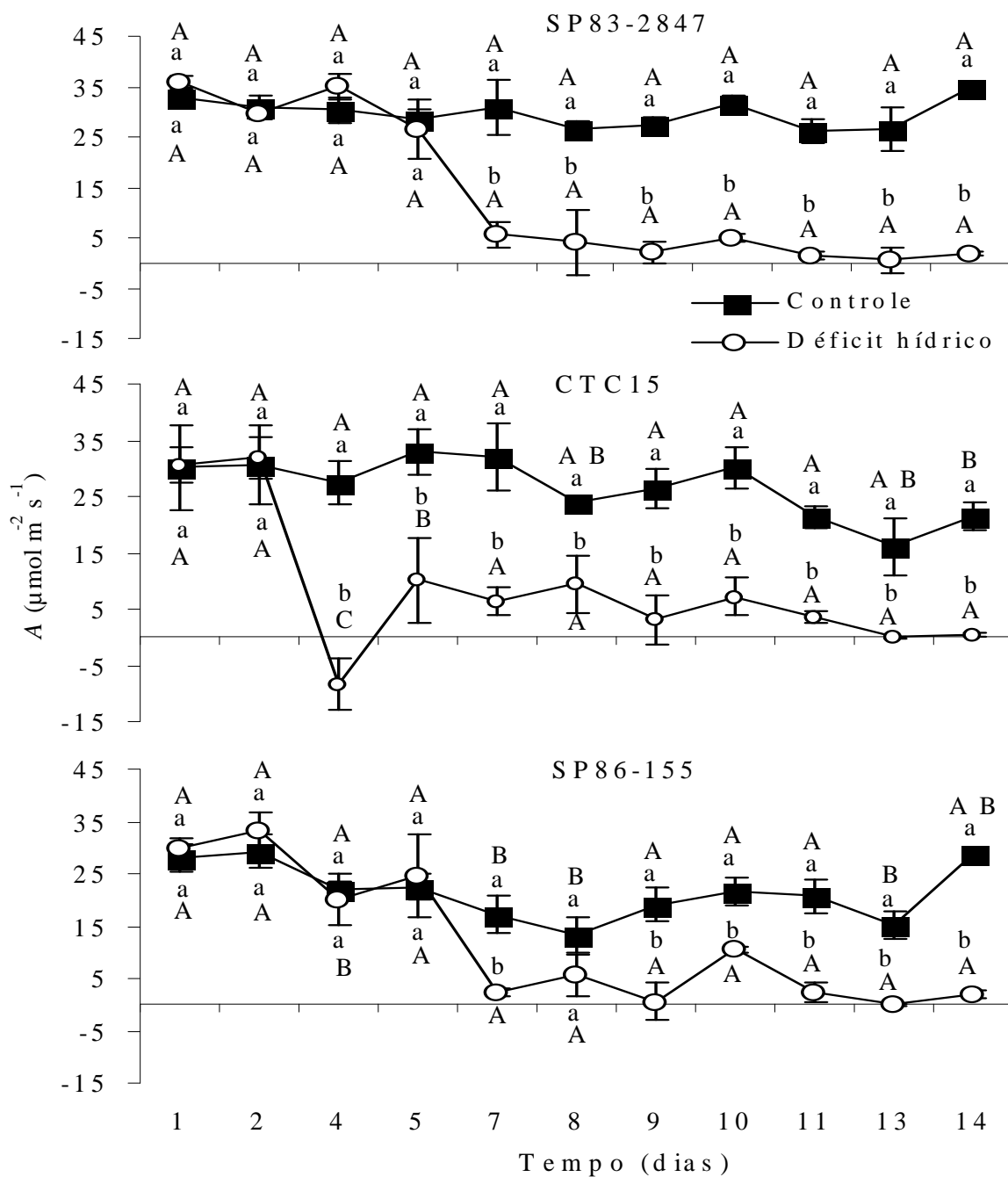


Figura 5. Taxa fotossintética (A) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4. Condutância Estomática e Concentração Intercelular de CO₂

Os valores de condutância estomática ao longo do déficit hídrico são apresentados na Figura 6. Para a cv SP83-2847 no 5º dia, as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentaram valores superiores ($1,16 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ao das plantas controle ($1,11 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), porém, no 7º dia este valor diminuiu rapidamente e permaneceu em $1,009 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ao longo do período experimental. A partir do 4º dia do déficit hídrico, a condutância estomática nas plantas submetidas à deficiência hídrica da cv CTC15 diferiram significativamente das plantas controle, diferenças que foram mantidas durante todo o período experimental. Contudo, as plantas da cv SP86-155 submetidas ao déficit hídrico, diferiram estatisticamente das plantas controle no 9º, 11º, 13º e 14º dia.

A comparação dos resultados de condutância estomática entre as plantas submetidas à deficiência hídrica das cultivares tolerantes (SP83-2847 e CTC15) e sensível (SP86-155), mostraram diferenças significativas ($P < 0,05$) no 1º, 4º e 5º dia (Figura 6). Já nas plantas controle, a cv SP83-2847 diferiu da SP86-155 no 7º e 8º dia, e de modo geral, ao longo dos dias, a cv SP83-2847 apresentou uma melhor performance para a condutância estomática, seguida da cv CTC15. Nos resultados obtidos no presente trabalho, as cultivares de cana-de-açúcar apresentaram uma diminuição para todos os parâmetros fisiológicos de modo geral a partir do 7º dia do déficit hídrico.

A concentração intercelular de dióxido de carbono (CO₂) mostrou diferença significativa para a cv SP83-2847 a partir do 11º ($295,80 \mu\text{mol mol}^{-1}$), 13º ($567,90 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e 14º ($150,97 \mu\text{mol mol}^{-1}$) dias nas plantas submetidas ao déficit hídrico (Figura 7). Nas plantas da cultivar CTC15 sob déficit hídrico os valores significativos foram observados no 1º, 4º, 13º e 14º, principalmente nos dois últimos dias com $520,53 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e $323,80 \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente. Em relação a cv SP86-155, a partir do 8º dia as plantas estressadas exibiram valores significativamente superiores as plantas controle com o maior valor observado no 13º ($430,47 \mu\text{mol mol}^{-1}$) nas plantas sob déficit hídrico.

Com a comparação de desempenho entre as três cultivares submetidas ao déficit hídrico observou-se que as plantas tolerantes exibiram uma concentração intercelular de CO₂ maior no 11º (295,80 μmol mol⁻¹) e 13º (567,90 μmol mol⁻¹) dia, para a cv SP83-2847 e no 14º (323,80 μmol mol⁻¹) dia para a cv CTC15, em relação a cultivar sensível SP86-155.

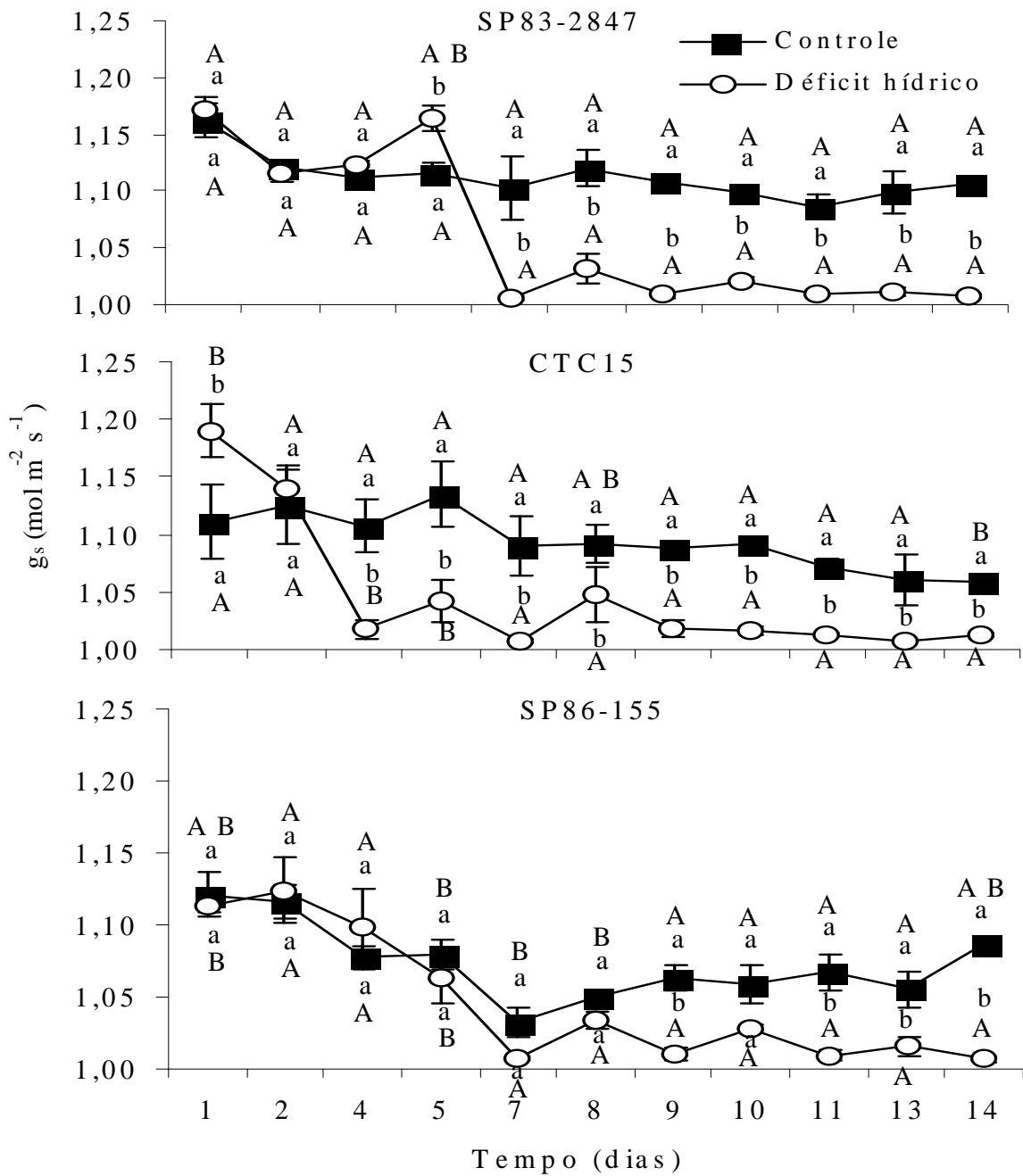


Figura 6. Condutância estomática (g_s) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

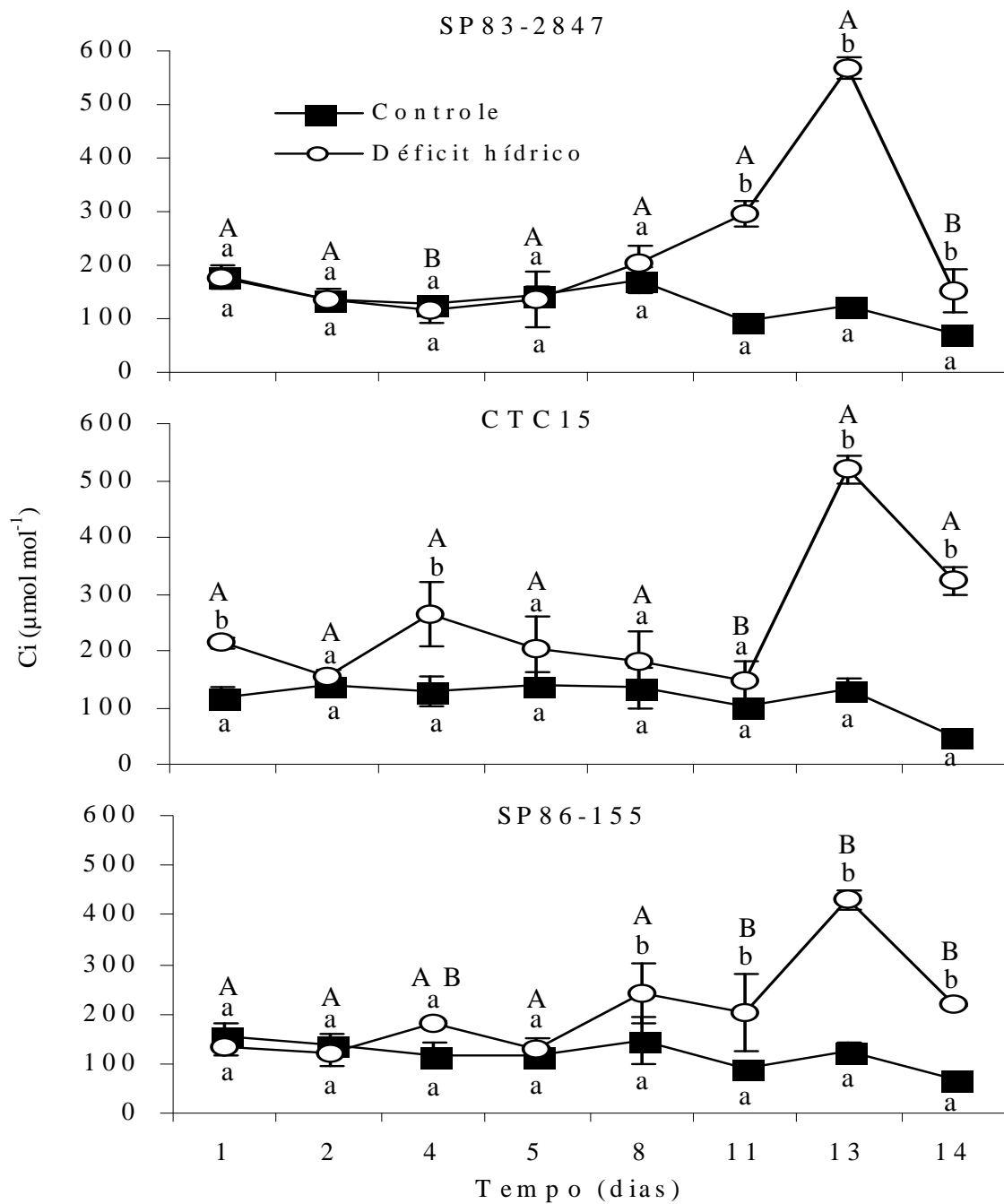


Figura 7. Concentração intercelular de CO₂ (Ci) dentro de cada cultivar de cana-de-açúcar SP83-2847, CTC15 e SP86-155 (letra minúscula). Comparação entre as cultivares mantidas sob irrigação (letra maiúscula na linha das plantas controle) e entre as cultivares sob déficit hídrico (letra maiúscula na linha das plantas estressadas). Médias seguidas de mesma letra no dia, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5. Quadro de Análise de Variância

Houve efeitos significativos ($P < 0,1$; $P < 0,01$ ou $P < 0,001$) dos fatores irrigação (I), cultivar (Cv) e dias (Ds) tanto na forma isolada como em suas combinações para as características eficiência quântica (FSII) e teor relativo de água (Tabela 1), assim como para taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática e temperatura (Tabela 2). Para a concentração intercelular de CO_2 (Tabela 2) o efeito da cultivar e da interação I X Cv não foi significativo ($P > 0,05$).

Tabela 1. Resumo da análise de variância (Graus de liberdade – GL; e valores de F) para eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) e teor relativo de água (TRA) de três cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois níveis de irrigação em diferentes períodos de avaliação.

Variação	GL	Valor de F	
		F_v/F_m	TRA
Irrigação (I)	1	172,75***	775,31***
Cultivar (Cv)	2	8,92**	3,46*
Dias (Ds)	11	12,46***	51,98***
I x Cv	2	4,80**	5,96**
I x Ds	11	15,79***	61,45***
Cv x Ds	22	3,91***	9,59***
I x Cv x Ds	22	3,96***	9,41***
Resíduo	142	-	-

* $P < 0,1$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$

Tabela 2. Resumo da análise de variância (Graus de liberdade – GL; e valores de F) para taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e concentração intercelular de CO_2 (Ci) de três cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois níveis de irrigação em diferentes períodos de avaliação.

Variação	GL	Valor de F				
		A	E	g_s	$^{\circ}\text{C}$	Ci
Irrigação (I)	1	306,04***	289,37***	161,01***	185,66***	151,45***
Cultivar (Cv)	2	12,63***	29,96***	22,45***	7,89**	2,08 ^{ns}
Dias (Ds)	10	28,17***	107,18***	45,39***	67,40***	88,25***
I x Cv	2	9,24**	10,77***	5,19**	7,53**	2,97 ^{ns}
I x Ds	10	12,20***	10,11***	10,22***	8,02***	31,60***

Tabela 2. (continua)

Variação	GL	Valor de F				
		A	E	g _s	°C	Ci
Cv x Ds	20	2,70**	3,43***	2,13**	2,45**	1,93*
I x Cv x Ds	20	2,96**	4,44***	4,07***	3,00**	2,35**
Resíduo	130	-	-	-	-	-

* $P < 0,1$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, ^{ns} não significativo $P > 0,05$

V. DISCUSSÃO

Este trabalho mostrou variações do teor relativo de água, temperatura, eficiência quântica (FSII), taxa de transpiração, taxa fotossintética, condutância estomática e concentração intercelular de CO₂, para três cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico. De modo geral, as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 apresentaram melhor desempenho sob condições de deficiência hídrica em relação à cv sensível SP86-155, de acordo com os parâmetros fisiológicos do TRA e eficiência quântica (FSII). COLOM & VAZZANA (2003) ao avaliarem a capacidade de recuperação de duas cultivares de *Eragrostis curvula*, tolerante e sensível, submetidas ao déficit hídrico também verificaram uma melhor recuperação no TRA das plantas tolerantes.

A porcentagem de redução do TRA das plantas submetidas ao déficit hídrico, no presente trabalho ficou próxima a 60% no 10º dia, para a cv SP83-2847 (61,04%) e para a cv SP86-155 (58,52%) e próximo a 70% para a cv CTC15 (69,33%). Em plantas de *Zea mays* submetidas ao déficit hídrico observou-se que apenas três dias foram suficientes para reduzir o TRA para 65% (SCHLEMMER et al., 2005). Já em *Lycopersicon esculentum* observou-se uma redução de 50% do TRA após 20 horas de déficit hídrico, porém, com 40 horas esse valor atingiu apenas 40%, sugerindo que nesta planta o efeito do déficit nas primeiras horas é mais acentuado (HAVAUX, 1992).

Sob condição de altas temperaturas, WAHID & CLOSE (2007) demonstraram que plantas de *Saccharum officinarum* também exibiram uma diminuição no TRA. Porém, 72 horas após o início do tratamento, as plantas sob deficiência hídrica apresentaram valores de TRA semelhantes aos das plantas controle, sugerindo que as plantas utilizam parte do seu conteúdo hídrico para minimizar os danos provocados pela alta temperatura. Os valores obtidos no presente trabalho para a cv CTC15 indicam a capacidade desta cultivar para detectar a mínima redução da quantidade de água disponível para absorção, pode favorecer a tolerância ao déficit hídrico, uma vez que a planta pode preservar seu conteúdo hídrico através do fechamento estomático.

Como a água é o principal doador de elétrons para o FSII, através de sua oxidação, um decréscimo no TRA pode diminuir o potencial eletroquímico da ATP sintase e do fotossistema I, comprometendo assim a formação de ATP e NADPH, respectivamente, e desta forma interferir negativamente no aparato fotossintético (LAWLOR & CORNIC, 2002; TAIZ & ZEIGER, 2004). Estas informações corroboram com os dados obtidos no presente trabalho, pois quando o TRA diminuiu nas plantas submetidas ao déficit hídrico também foi verificada uma diminuição da eficiência quântica (FSII). No 8º dia, quando as plantas foram reidratadas, o elevado TRA observado foi relacionado com o aumento da eficiência quântica (FSII). POLIZEL (2007) observou diminuição significativa na eficiência (FSII) em plantas de *Glycine max* submetidas ao déficit hídrico, com 10 dias após o início do tratamento experimental, e demonstrou que a eficiência quântica (FSII) da soja foi mais estável em condições de déficit hídrico quando comparado à taxa fotossintética e à taxa de transpiração, variáveis fisiológicas que declinaram logo no início do déficit hídrico. Isto foi observado também no presente trabalho com cana-de-açúcar.

O déficit hídrico é responsável por diminuir também a transpiração foliar devido o fechamento estomático, elevando assim, a temperatura foliar. Alterações na eficiência quântica (FSII), também ocorreram devido à exposição de *Tritium aestivum*, ao déficit hídrico associado ao estresse por calor, onde a menor eficiência (FSII) foi observada nas plantas irrigadas (controle) submetidas a 35°C, 40°C e 45°C (LU & ZHANG, 1999). Segundo os autores, existe um efeito antagônico entre o déficit hídrico e o estresse por alta temperatura, sendo o primeiro responsável por aumentar a resistência do fotossintético (FSII). No presente trabalho, foi verificado que a eficiência quântica (FSII) durante o déficit hídrico diminuiu significativamente em todos os cultivares, assim como o TRA, sugerindo que quando as plantas são submetidas apenas ao déficit hídrico não há aumento da resistência da eficiência quântica (FSII). Com isso, a alta eficiência quântica (FSII) em cana-de-açúcar sob condição de déficit hídrico deve estar mais relacionada ao conteúdo de água da planta do que o aumento da temperatura foliar.

As plantas de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico progressivo exibiram uma temperatura foliar superior às plantas controle, a partir do 7º dia, na cultivar tolerante SP83-2847 e sensível SP86-155. No entanto, na cv tolerante CTC15 este

aumento foi observado precocemente no 4º dia, indicando que a deficiência hídrica imposta pode ter influenciado no processo de resfriamento da planta. Deste modo, o TRA e a eficiência quântica (FSII) parecem estar relacionados, pois, quando o conteúdo de água começou a diminuir acentuadamente a partir do 7º dia, a eficiência quântica (FSII) também diminuiu no 8º dia, nas plantas submetidas ao déficit hídrico.

Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) um dos principais agentes inibidores da eficiência quântica (FSII) parece ser o excesso de fótons que levam à fotoinibição, causando o aumento de produtos fototóxicos como superóxidos (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^-) que oxidam a proteína D1 do FSII. Assim é possível sugerir que os danos causados pelo déficit hídrico, nas cultivares de cana-de-açúcar, foram menos prejudiciais à eficiência quântica (FSII), quando comparado aos parâmetros fisiológicos de taxa fotossintética e condutância estomática, que mostraram um rápido decréscimo nas plantas sob déficit hídrico. Na gramínea *Eragrostis curvula* adaptada a regiões semi-áridas da África, diferenças foram observadas na eficiência quântica (FSII) de uma cultivar sensível (0,20) e outra tolerante (0,50) após 15 dias sem irrigação. Quando foram reidratadas, por cinco dias, a eficiência quântica (FSII) dessa planta atingiu valores semelhantes ao observado nas respectivas plantas controle, evidenciando a capacidade de recuperação da eficiência quântica (FSII) (COLOM & VAZZANA, 2003).

Segundo a literatura, o tempo decorrente entre a reidratação e a resposta fisiológica da planta varia de acordo com a espécie em estudo, parâmetros sob avaliação e a condição de déficit hídrico que lhe foi imposta (LIBERATO et al. 2006; SOUZA et al., 2004). Em *Olea europaea*, cinco dias após a reidratação foram suficientes para a planta restabelecer a taxa fotossintética, o potencial hídrico da folha e a eficiência quântica (FSII) atingindo condições semelhantes às das plantas controle (ANGELOPOULOS et al., 1996). No entanto, em cana-de-açúcar, apenas os parâmetros fisiológicos TRA e eficiência quântica (FSII) apresentaram um aumento no 8º dia devido à reidratação. SILVA et al. (2007) avaliaram a eficiência (FSII) de outros genótipos de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico e observaram uma diminuição significativa na eficiência quântica (FSII) entre os genótipos. Esses dados corroboram com os valores obtidos neste trabalho, pois aqui se observou uma diferença

entre as plantas no 12^o, 13^o e 14^o dia, para as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15.

De acordo com CHARTZOULAKIS et al. (2002) e TAIZ & ZEIGER (2004), o rápido decréscimo na taxa fotossintética pode estar relacionado com o fechamento estomático. No presente trabalho a taxa fotossintética declinou rapidamente para todas as cultivares, em específico para a cv CTC15, no 4^o dia sob déficit hídrico. Por outro lado, em outras plantas como *Oryza sativa* a redução da taxa fotossintética ocorreu de forma gradativa (YANG et al., 2002). Em outras fases de desenvolvimento da planta pode ocorrer uma variação na taxa fotossintética. Segundo MCCORMICK et al. (2008), em plantas de cana-de-açúcar um declínio fisiológico ocorre naturalmente durante o estágio de maturação, uma vez que a atividade fotossintética diminui nas folhas maduras quando comparado às folhas jovens devido ao acúmulo de sacarose nos colmos.

A inibição fotossintética foi monitorada por ANGELOPOULOS et al. (1996) em *Olea europaea*, que observaram que sob déficit hídrico a taxa fotossintética chegou próxima a zero. Entretanto, quando as plantas sob déficit hídrico foram reidratadas por cinco dias os resultados obtidos evidenciaram recuperação das plantas. Já em plantas de cana-de-açúcar essa recuperação foi demonstrada por aumento na taxa fotossintética durante 8^o dia para a cv CTC15 ($9,39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e no 10^o dia para a cv SP86-155 ($10,47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O mesmo ocorreu com *Minuartia guianensis*, que também não perdeu a capacidade de recuperação da fotossíntese e da eficiência quântica (FSII) em até 35 dias sob condições de déficit hídrico (LIBERATO et al., 2006). Nas cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 a taxa fotossintética foi maior do que na cv sensível SP86-155, como observado nas plantas mantidas sob irrigação.

A transpiração foliar é controlada pela abertura e fechamento dos estômatos através de suas células-guarda pela ação do ácido abscísico (TAIZ & ZEIGER, 2004). Nossos resultados mostraram que, com um declínio no teor relativo de água da folha entre 10% e 20%, todas as cultivares de cana-de-açúcar apresentaram uma redução na condutância estomática. A condutância estomática parece estar diretamente relacionada a uma redução no TRA da planta pela ação do déficit hídrico. A diminuição da taxa fotossintética e condutância estomática, assim como o aumento da

concentração intercelular de CO₂ em plantas sob déficit hídrico, também se assemelha ao comportamento de plantas sob condições de estresse salino, pois, ambas as condições comprometem o balanço hídrico da planta (LÓPEZ-CLIMENT et al., 2008). Um aumento na concentração intercelular de CO₂ também foi descrito em plantas de *Sorghum bicolor* sob regime de déficit hídrico (COUSINS et al., 2002), bem como o observado no presente trabalho com plantas de cana-de-açúcar, que apresentaram um aumento significativo da concentração intercelular de CO₂ para todas as cultivares sob déficit hídrico. Além disso, mesmo mostrando uma alta concentração intercelular de CO₂, as plantas de cana-de-açúcar apresentaram um saldo negativo em todo o aparato fotossintético. Essa diminuição da atividade fotossintética se deve ao efeito que o déficit hídrico causa na planta, principalmente pela repressão de muitos genes relacionados a fotossíntese (RODRIGUES et al., 2009). Com o fechamento dos estômatos nas plantas sob déficit hídrico a concentração intercelular de CO₂ apresentou valores superiores ao observado em plantas mantidas sob irrigação e, esta alta concentração intercelular esta relacionada à respiração mitocondrial (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A diminuição da taxa fotossintética e da condutância estomática, em geral, estão relacionadas, pois o controle do fluxo de CO₂ na folha é mediado pela abertura estomática, assim como os processos fotossintetizantes são mediados pela disponibilidade hídrica regular (TAIZ & ZEIGER, 2004). Isso explica a diminuição significativa na taxa de transpiração de todas as cultivares, observada no presente trabalho ao longo do período de deficiência hídrica, além do aumento da temperatura foliar das plantas sob o déficit hídrico, provavelmente devido a baixa condutância estomática. A condutância estomática e a taxa fotossintética também declinaram rapidamente em plantas de *Phaseolus vulgaris* após dois dias sem irrigação (MIYASHITA et al., 2005). Assim, o fechamento estomático parece ser comum em muitas espécies de plantas durante o déficit hídrico e esse efeito também ocasiona uma menor taxa de transpiração foliar do mesmo modo que um aumento na temperatura foliar (AZEVEDO NETO et al., 2004; LIBERATO et al., 2006).

VI. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos conclui-se que:

- De modo geral, as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15 apresentaram melhor desempenho sob condições de deficiência hídrica em relação a cultivar sensível SP86-155, de acordo com os parâmetros fisiológicos do TRA e eficiência quântica (FSII).
- O teor relativo de água e a eficiência quântica (FSII) apresentaram aumento no 8º e 10º dia semelhante ao observado nas plantas controle devido a reidratação.
- As cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC15, apresentaram uma alta taxa fotossintética, condutância estomática e taxa de transpiração, nas plantas irrigadas diariamente.
- A cultivar SP86-155, considerada sensível ao déficit hídrico não apresentou um eficiente desempenho fisiológico, mesmo sob o fornecimento contínuo de água.
- As cultivares tolerantes (SP83-2847, CTC15) e sensíveis (SP86-155) submetidas ao déficit hídrico não apresentaram recuperação para os parâmetros fisiológicos taxa fotossintética e a condutância estomática, após o processo de reidratação no 8º e 10º dia do tratamento experimental.

VII. REFERÊNCIAS

- ANGELOPOULOS, K.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 47, n. 301, p. 1093-1100, 1996.
- AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2004.
- BARTELS, D. Desiccation Tolerance Studied in the Resurrection Plant *Craterostigma plantagineum*. **Integrative and Comparative Biology**, McLean, v. 45, n. 5, p. 696-701, 2005.
- BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and Salt Tolerance in Plants. **Plant Science**, Irlanda, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005.
- BJÖRKMAN, O.; BADGER, M. R.; ARMOND, P. A. Response and adaptation of photosynthesis to high temperature. In: TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. (Eds) **Adaptation of plants to water and high temperatures stress**. Wiley: New York, 1980, p. 233-249.
- BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, Beltsville, v. 56, p. 187-218, 1996.
- BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Response to abiotic stress. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (eds). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158–1203.
- BRESTIC, M.; CORNIC, G.; FRYER, M. J.; BAKER, N. R. Does photorespiration protect the photosynthetic apparatus in French bean leaves from photoinhibition during drought stress? **Planta**, Heidelberg, v. 196, n. 3, p. 450-457, 1995.
- BUCKLEY, T. N. The control of stomata by water balance. **New phytologist**, Lancaster, v.168, n. 2, p. 275-292, 2005.

- CHARTZOULAKIS, K.; PATAKAS, A.; KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. **Scientia Horticulturae**, Scottsville Pietermaritzburg, v. 95, n. 1-2, p. 39-50, 2002.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2. ed. New York: Wiley, 1957, p. 617.
- COLOM, M. R.; VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 49, n. 2, p. 135-144, 2003.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2008.
- COPERSUCAR, Cooperativa de produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Relatório Técnico Interno-RTB**. Campinas: Centro de Tecnologia Canavieira, 1999. 32p. (Boletim Técnico).
- COUSINS, A. B.; ADAM, N. R.; WALL, G. W.; KIMBALL, B. A.; PINTER JUNIOR, P. J.; OTTMAN, M. J.; LEAVITT, S. W.; WEBBER, A. N. Photosystem II energy use, non-photochemical quenching and the xanthophylls cycle in *Sorghum bicolor* grown under drought and free-air CO₂ enrichment (FACE) conditions. **Plant, Cell & Environmental**, Logan, v. 25, p. 1551-1559, 2002.
- CTC, Centro de Tecnologia Canavieira. Relatório Técnico Interno. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2007. 20p. (Boletim Técnico).
- DAVIES, W. J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytologist**, Lancaster, v. 153, n. 3, p. 449-460, 2002.
- DU, Y. C.; KAWAMITSU, Y.; NOSE, A.; HIYANE, S.; MURAYAMA, S.; WASANO, K.; UCHIDA, Y. Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane (*Saccharum* sp.). **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 23, n. 6, p. 719-726, 1996.

- FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1998. 220p.
- GASCHO, G. J. Water-sugarcane relationships. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 48, n. 6, p. 11-17, 1985.
- GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. **Science**, United State, v. 315, p. 808-810, 2007.
- GOMEZ-DEL-CAMPO, M.; RUIZ, C.; LISSARRAGUE, J. R. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 53, p. 138-143, 2002.
- GONÇALVES, M. C.; VEGA, J.; OLIVEIRA, J. G.; GOMES, M. M. A. Sugarcane yellow leaf virus leads to alterations in photosynthetic efficiency and carbohydrate accumulation in sugarcane leaves. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 10-16, 2005.
- HABERMANN, G.; MACHADO, S. R.; GUIMARÃES, V. F.; RODRIGUES, J. D. Leaf heliotropism in *Styrax camporum* Pohl from the Brazilian cerrado – distinct gas exchange and leaf structure, but similar leaf temperature and water relations. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 71-83, 2008.
- HAVAUX, M. Stress tolerance of photosystem II in vivo: antagonistic effects of water, heat, and photoinhibition stress. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 100, p. 424-432, 1992.
- HIKOSAKA, K.; ISHIKAWA, K.; BORJIGIDAI, A.; MULLER, O.; ONODA, Y. Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 57, n. 2, p. 291–302, 2006.
- INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Ontario, v. 89, n. 1, p. 107-122, 2004.
- LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.
- LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JUNIOR, A. R.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U. M. Leaf water potential, gas exchange and

- Chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minqartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.
- LISSON, S. N.; INMAN-BAMBER, N. G. ROBERTSON, M. J. KEATING, B. A. The historical and future contribution of crop physiology and modelling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Ontario, v. 92, n. 2-3, p. 321-335, 2005.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, n. 2, p.331-335, 1996.
- LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) walp. under water stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Sciences**, Pakistan, v. 7, n. 1, p. 44-49, 2008.
- LOPEZ, F. B.; CHAUHAN, Y. S.; JOHANSEN, C. Effects of Timing of Drought Stress on Leaf Area Development and Canopy Light Interception of Short-duration Pigeonpea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, California, v. 178, n. 1, p. 1-7, 2008.
- LÓPEZ-CLIMENT, M. F.; ARBONA, V.; PÉREZ-CLEMENTE, R. M.; GÓMEZ-CADENAS, A. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 62, n. 2, p. 176-184, 2008.
- LU, D.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 50, n. 336, p. 1199-1206, 1999.
- MATIN, M.A.; BROWN, J. H.; FERGUNSON, H. Leaf water potencial, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. **Agronomy Journal**, Cornell, v. 81, p.100-105, 1989.
- MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M. D.; WATT, D. A. Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. **New Phytologist**, Lancaster, v. 171, n. 4, p. 759-770, 2006.

- MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M. D.; WATT, D. A. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. **Field Crops Research**, Ontario, v. 108, n. 3, p. 250-258, 2008.
- MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTINEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 39-46, 2004.
- MIYASHITA, K.; TANAKAMARU, S.; MAITANI, T.; KIMURA, K. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 53, p.205-214, 2005.
- MOLINARI, H. B. C.; MARUR, C. J.; DAROS, E.; CAMPOS, M. K. F.; CARVALHO, J. F. R. P.; BESPALHOK –FILHO, J. C.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E. Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 130, n. 2, p. 218-229, 2007.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environmental**, Logan, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.
- NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Water management. *In* FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, ed, Tropical soybean: Improvement and production. **FAO - Plant Production and Protection Series**, 27, Rome, Italy, pp 153-160, 1994.
- PETERS, S.; MUNDREE, S. G.; THOMSON, J. A.; FARRANT, J. M.; KELLER, F. Protection mechanisms in the resurrection plant *Xerophyta viscosa* (Baker): both sucrose and raffinose family oligosaccharides (RFOs) accumulate in leaves in response to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1947-1956, 2007.
- PRASAD, P. V. V.; PISIPATI, S. R.; MUTAVA, R. N.; TUINSTRAN, M. R. Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 1911-1917, 2008.

- POLIZEL, A. M. **Avaliações moleculares, morfo-anatômicas e fisiológicas de soja geneticamente modificada com a construção *rd29A:DREB1A* de *Arabidopsis thaliana*, visando tolerância à seca.** 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.
- SAS Institute. **SAS Propriety Software Release 6.12.** SAS-STAT User's guide. Vol II. SAS Institute, Cary, N.C., 1686p. 1996.
- RAISON, J. K.; PIKE, C. S.; BERRY, J. A. Growth temperature induced alterations in the thermotropic properties of Nerium oleander membrane lipids. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 70, n. 1, p. 215-218, 1982.
- RODRIGUES, F. A.; LAIA, M. L.; ZINGARETTI, S. M. Analysis of gene expression profiles under water stress in tolerant and sensitive sugarcane plant. **Plant Science**, Irlanda, v. 176, n. 2, p. 286-302, 2009.
- SAUTER, A.; DAVIES, W. J.; HARTUNG W. The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot . **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 52, n. 363, p. 1991-1997, 2001.
- SCHLEMMER, M. R.; FRANCIS, D. D.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agronomy Journal**, Cornell, v. 97, p. 106-112, 2005.
- SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A. Z. C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, St. Louis, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.
- SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; DA SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.
- SMIT, M. A.; SINGELS, S. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Ontario, v. 98, n. 2-3, p. 91-97, 2006.
- SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGÔA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 51, n. 1, p. 45-56, 2004.
- STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water deficit. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 51, n. 350, p. 531-1542, 2000.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TARDIEU, F. Virtual plants: modelling as a tool for the genomics of tolerance to water déficit. **Trends in Plant Science**, St. Louis, v. 8. n. 1, p. 9-14, 2003.
- TEZARA, W.; DRISCOLL, S.; LAWLOR, D.W. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ assimilation and O₂ reduction in sunflower plants under water deficit. **Photosynthetica**, Netherlands v. 46 (1): 127-134, 2008
- VENKATARAMANA, S.; GURUJA, R. P. N.; NAIDU, K. M. The effects of water stress during the formative phase on stomatal resistance and leaf water potential and its relationship with yield in ten sugarcane varieties. **Field Crops Research**, Ontario, v. 13, n. 4, p. 345-353, 1986.
- VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. **Current Opinion in Biotechnology**, St. Louis, v. 16, n. 2, p. 123-132, 2005.
- WAHID, A.; CLOSE, T. J. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. **Biologia Plantarum**, Netherlands, v. 51, n. 1, p. 104-109, 2007.
- WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, St. Louis, v. 43, p. 173-182, 2000.
- YANG, J.; ZHANG, J.; WANG, Z.; ZHU, Q.; LIU, L. Abscisic acid and cytokinins in the root exudates and leaves and their relationship to senescence and remobilization of carbon reserves in rice subjected to water stress during grain filling. **Planta**, Heidelberg, v. 215, n. 4, p. 645-652, 2002.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought, Acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, Netherlands, v. 38, n. 2, p. 171-186, 2000.
- ZONTA, E. P.; SILVEIRA, O. S.; ALMEIDA, A. **Sistema de análise estatística para microcomputadores - SANEST**. Pelotas: Instituto de Física e Matemática, UFPel. 1986.