UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA POR MEIO DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS

RENATA PASSOS PINCELLI

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

BOTUCATU - SP

Dezembro 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA POR MEIO DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS

RENATA PASSOS PINCELLI

Bióloga

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

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

BOTUCATU – SP

Dezembro 201

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA POR MEIO DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS**

ALUNA: RENATA PASSOS PINCELLI

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

PROFª DRª MARIA INES TIRABOSCHI FERRO

Data da Realização: 17 de dezembro de 2010.

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

Pincelli, Renata Passos, 1984-
P647t Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas / Renata Passos Pincelli. – Botucatu : [s.n.], 2010

xi, 65 f. : tabs., grafs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2010
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. *Saccharum* spp. 2. Cana-de-açúcar – Variedades. 3. Estresse hídrico. 4. Características morfológicas. 5. Características fisiológicas. I. Silva, Marcelo de Al-meida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

Aos meus lindos e queridos pais, Luiz Norberto Pincelli e Maria Ap. S. Passos Pincelli, que sempre me incentivaram e que são verdadeiros exemplos de garra, honestidade, respeito e paciência para com os desafios da vida.

Ao meu irmão Murilo Passos Pincelli e à minha irmã, garota esperta, Letícia Passos Pincelli pela solidariedade e momentos de descontração.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Infinitamente à Deus.

Ao meu orientador e amigo Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela paciência, credibilidade, apoio, enfim por todo alicerce e por todos os bons conselhos, que a gente só recebe de verdadeiros amigos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP), pelo apoio financeiro concedido através de auxílio à pesquisa.

Ao CNPq pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de estudos.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal (Agricultura), em especial à Lana e Vera, pelos auxílios.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA, da cidade de Jaú - SP, pela instalação e toda infra-estrutura para realização do experimento.

Aos funcionários da APTA, Valdir, João Paulo, Nico, Zelão, Adilson, Marcos, Ezequiel e em especial ao grande amigo Sr. Geraldo, que prepara o café mais gostoso do mundo.

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

À funcionária da APTA e amiga Silmara (Xucra), primeiramente pela amizade, e por toda ajuda na execução deste trabalho.

Ao amigo da pós-graduação Marcel, que sempre estava pronto para ajudar, e muito interessado em aprender, e também com muitas indagações: ENTÃO?!!

Ao pequeno William, meu amigo e estagiário que colaborou muito na condução desse experimento.

À Claudiana pela ajuda na coleta dos dados, sempre impaciente!

À Paula (Paulets) que me ajudou no início do experimento, estagiária e amiga do coração, sempre me apoiando, animando, e me confortando, obrigada!

À Andressa minha "irmã mais velha", que me auxiliou muito tanto profissionalmente quanto pessoalmente, que me fez enxergar a vida com mais simplicidade e simpatia. Difícil ficar longe de você!

À Suzana (Suzets), amiga batalhadora, que sempre me “perseguiu” no colégio de ensino fundamental e médio, na universidade, e também na pós-graduação. Sú, te admiro muito, obrigada pela convivência!

Aos amigos que estiveram sempre presente nesta caminhada proporcionando muita força e descontração: Marisilvia, Simone, Karin, Gisele, Aline Zambello, Oriel, Emerson (Itatinga), Jhonny (Feioso), Luiz (Broqueiro), e a todos que eu possa ter esquecido de citar aqui, meu muito obrigado por todo apoio.

À Silvia e Leandro pelo humor sarcástico e agradável convivência!

Aos meus familiares, em especial minha Vó Nega.

Aos meus anjos que estão no céu, Vó Diva, Vô Natim e Vô Jesus.

Aos amigos da ONG Bicho do Mato.

Sincera gratidão a todos!!!

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS IX

LISTA DE FIGURAS X

1 RESUMO 01

2 SUMMARY 03

3 INTRODUÇÃO 05

4 REVISÃO DE LITERATURA 08

4.1 Estresse por deficiência hídrica 08

4.2 Principais efeitos morfofisiológicos causados por deficiência hídrica 10

4.2.1 Limitação do crescimento da cana-de-açúcar sob deficiência hídrica 10

4.2.2 Densidade estomática da cana-de-açúcar sob deficiência hídrica 12

4.2.3 Trocas gasosas: condutância estomática 15

4.2.4 Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b* 16

4.2.5 Máxima eficiência do fotossistema II 17

4.2.6 Teor relativo de água na folha 19

4.2.7 Potencial de água na folha 20

5 MATERIAL E MÉTODOS 22

5.1 Local de realização do projeto 22

5.2 Material vegetal 22

5.3 Tratamentos, delineamento estatístico e análise dos dados 23

5.4 Avaliações morfológicas e fisiológicas em casa de vegetação 23

5.4.1 Variáveis morfológicas 24

5.4.1.1 Número de folhas 24

5.4.1.2 Área foliar 24

5.4.1.3 Densidade de estômatos 24

5.4.1.4 Massa foliar específica 25

5.4.2 Variáveis Fisiológicas 25

5.4.2.1 Estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD (CE) 25

5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) 25

5.4.2.3 Condutância estomática 26

5.4.2.4 Conteúdo de clorofila via espectrofotômetro 26

5.4.2.5 Teor relativo de água na folha (TRA) 26

5.4.2.6 Potencial hídrico foliar (Ψw) 27

5.4.3 Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes 27

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 28

6.1 Análises morfológicas 28

6.1.1 Altura das plantas e número de folhas verdes 28

6.1.2 Comprimento e largura da folha +3 32

6.1.3 Área foliar e massa foliar específica 35

6.1.4 Densidade estomática 37

6.2 Análises Fisiológicas 40

6.2.1 Condutância estomática 40

6.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II e conteúdo de clorofila via índice SPAD 42

6.2.3 Teor relativo de água e potencial hídrico foliar 44

6.2.4 Conteúdo de clorofila *a*, conteúdo de clorofila *b* e razão clorofila *a*/*b* 48

6.3 Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes 50

7 CONCLUSÕES 54

8 REFERÊNCIAS 55

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Análise de variância da altura do colmo e do número de folhas verdes de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 29

Tabela 2. Análise de variância do comprimento e largura da folha +3 de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 33

Tabela 3. Análise de variância da área foliar e da massa foliar específica de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 35

Tabela 4. Análise de variância da densidade de estômatos nas superfícies adaxial e abaxial de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 37

Tabela 5. Análise da condutância estomática (g_s) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 40

Tabela 6. Análise de variância da máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) e conteúdo de clorofila em índice SPAD (CE) em cana- de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 42

Tabela 7. Análise do teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar (Ψw) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 45

Tabela 8. Análise do conteúdo de clorofila *a*, conteúdo de clorofila *b* e a relação clorofila *a/b* em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 48

Tabela 9. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009. 51

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Altura do colmo de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 30

Figura 2. Número de folhas verdes de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 32

Figura 3. Largura das folhas +3 de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 34

Figura 4. Área foliar de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 36

Figura 5. Densidade estomática da face adaxial de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.....38

Figura 6. Densidade estomática da face abaxial de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.....39

Figura 7. Condutância estomática de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 41

Figura 8. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.....43

Figura 9. Estimativa do conteúdo de clorofila de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.....44

Figura 10. Teor relativo de água em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 46

Figura 11. Potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 47

Figura 12. Conteúdo de clorofila *a* em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 49

Figura 13. Conteúdo de clorofila *b* em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 50

Figura 14. Massa de matéria seca da parte aérea em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D) e à deficiência hídrica (+D) aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 52

Figura 15. Massa de matéria seca das raízes em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D) e à deficiência hídrica (+D) aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 53

1 RESUMO

A seca é um dos principais fatores limitantes à produtividade agrícola ao redor do mundo. Com a expansão da área de plantio da cana-de-açúcar para regiões brasileiras caracterizadas por apresentarem deficiência hídrica por longos períodos durante o ano, torna-se essencial a obtenção de germoplasma de cana-de-açúcar tolerante a esse estresse. Identificar ferramentas adequadas de seleção e características quantificáveis podem facilitar o processo de melhoramento da cultura para tolerância à seca, visto que há dificuldade em identificar características únicas que possam ser utilizadas para a seleção. O objetivo do presente trabalho foi verificar a habilidade de algumas variáveis morfofisiológicas para distinguir entre tolerantes e susceptíveis quatro cultivares comerciais de cana-de-açúcar sob dois regimes hídricos. O experimento foi conduzido em vasos contendo 22 litros de substrato, em casa de vegetação localizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento da APTA Polo Centro-Oeste, Jaú,SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2x3 (cultivares x regimes hídricos x épocas de avaliação), com três repetições. Aos 84 dias após a emergência, as cultivares RB72454, RB855453, SP81-3250 e SP83-2847 foram submetidas aos tratamentos de teor de umidade (%): sem deficiência (-D) e com deficiência (+D) promovida por 50% do teor de umidade ideal e avaliadas durante três épocas: 0, 28 e 56 dias após o início dos tratamentos. As variáveis avaliadas foram: altura do colmo, número de folhas verdes, comprimento e largura da folha +3, área foliar, densidade estomática, massa foliar específica, estimativa do conteúdo de clorofila (via SPAD e via espectrofotômetro), máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F*v*/F*m*), condutância estomática, conteúdo relativo de água, potencial hídrico foliar e massa de matéria seca da parte aérea e das raízes. Verificou-se maior altura do colmo, número de folhas verdes e área foliar, aumento da densidade estomática nas superfícies adaxial e abaxial, maiores valores de máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F*v*/F*m*), de estimativa de conteúdo de clorofila (índice SPAD) e potencial hídrico foliar nas cultivares SP81-3250 e SP83-2847 sob deficiência hídrica, e este efeito foi mais pronunciado aos 56 dias após os tratamentos (DAT). No entanto, não foi verificado padrão

de resposta que possa ser relacionado com o nível de tolerância para o resultado das variáveis comprimento e largura da folha +3, massa foliar específica, condutância estomática, conteúdo relativo de água na folha e conteúdo de clorofilas *a* e *b*. Ao final do período de avaliação, 56 dias sob deficiência hídrica, as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 produziram maiores massas de matéria seca de parte aérea e de raízes. Portanto, constatou-se que as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 foram tolerantes à deficiência hídrica e as variáveis altura do colmo, número de folhas verdes, área foliar, densidade estomática adaxial e abaxial, máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F*v*/F*m*), estimativa de conteúdo de clorofila (índice SPAD) e potencial hídrico foliar foram eficientes em avaliar essa tolerância, principalmente aos 56 DAT.

Palavras chave: *Saccharum* spp., estresse hídrico, variedades, características morfológicas, características fisiológicas.

TOLERANCE TO WATER DEFICIT IN SUGARCANE CULTIVARS EVALUATED BY MEANS OF MORPHOPHYSIOLOGICAL VARIABLES Botucatu, 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RENATA PASSOS PINCELLI
Adviser: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

2 SUMMARY

Drought is one of major limiting factors to agricultural productivity around the world. With the expansion of planting area of sugarcane for Brazilian regions characterized by water stress for long periods during the year, it becomes essential to obtain germplasm of tolerant sugarcane. Identify appropriate tools for selection and quantifiable characteristics can facilitate the process of crop breeding for drought tolerance, since there is difficulty in identifying unique characteristics that can be used for selection. This study aimed to verify the ability of some morphological and physiological variables to distinguish between tolerant and susceptible four sugarcane commercial cultivars under two water regimes. The experiment was carried out in pots containing 22 liters of substrate, in a greenhouse located in the Unit of Research and Development of APTA, Jaú, SP. The experimental design was randomized in factorial 4x2x3 (genotypes x water regimes x evaluation times) with three replicates. At 84 days after emergence, cultivars RB72454, RB855453, SP81-3250 and SP83-2847 were exposed to humidity treatments: no stress (-D) and stress (+ D) promoted by 50% of the ideal humidity and evaluated for three times: 0, 28 and 56 days after the initiation of the treatments (DAT). The variables evaluated were: stalk height, green leaf number, length and width of leaf +3, leaf area, stomatal density, specific leaf mass, estimated chlorophyll content (via SPAD and via spectrophotometer), maximum photochemical efficiency of photosystem II (F*v*/F*m*), stomatal conductance, relative water content, leaf water potential and dry weight of shoots and roots. We found a higher height of stalk, number of green leaves, leaf area, stomatal density at adaxial and abaxial surfaces, higher maximal photochemical efficiency of photosystem II (F*v*/F*m*), estimation of chlorophyll content (SPAD index) and leaf water potential on the cultivars SP81-3250 and SP83-2847 under water stress, and this effect was more pronounced

at 56 DAT. However, the variables length and width of leaf +3, specific leaf weight, stomatal conductance, leaf relative water content and chlorophyll *a* and *b* content showed no response pattern that might be related to the level of tolerance. At the end of the evaluation period, 56 days under water stress, the cultivars SP81-3250 and SP83-2847 produced higher dry matter weights of shoots and roots. Therefore, the cultivars SP81-3250 and SP83-2847 were tolerant to water stress and the variables stalk height, number of leaves, leaf area, stomatal density at adaxial and abaxial surfaces, maximum photochemical efficiency of photosystem II (F*v*/F*m*), estimated chlorophyll content (SPAD index) and leaf water potential were efficient in evaluating that tolerance, especially at 56 DAT.

Key words: *Saccharum* spp., water stress, varieties, morphological traits, physiological traits.

3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas mais antigas em exploração no Brasil, e atualmente ocupa uma das maiores áreas de cultivo, que se concentra nas regiões Sudeste e Nordeste, assumindo grande importância sócio-econômica.

O Brasil é o maior produtor mundial e apresentou grande expansão nas últimas três décadas do século XX. Porém, nos últimos dez anos, esse aumento do cultivo vem alcançando altos índices, principalmente nos estados de São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (CONAB, 2010). Nestes estados, além da ampliação da área cultivada, novas usinas entraram em funcionamento na safra de 2009/2010. O estado de São Paulo é o maior produtor (54,35%), seguido por Minas Gerais (8%), Paraná (7,5%), Goiás (7,4%), Alagoas (5,74%), Mato Grosso (4,2%) e Pernambuco (4,1%). Os demais estados produtores possuem áreas menores, mas com bons índices de produtividade (CONAB, 2010).

A produção total de cana-de-açúcar teve incremento de 9,9% em relação à safra 2009/2010 e as áreas de expansão devem ultrapassar 250 mil hectares na safra 2010/2011 (CONAB, 2010). Para ocupar estas novas áreas, a cultura deve manter níveis de produtividade, entretanto, os fatores ambientais podem influenciar negativamente o rendimento da lavoura canavieira. Entre os diversos estresses abióticos, a deficiência hídrica é considerada como o principal limitador ambiental à produção de cana-de-açúcar (SILVA et al., 2008). As novas regiões de expansão da cana-de-açúcar apresentam-se predominantemente ocupadas por pastagens e caracterizadas por um inverno seco, com períodos de deficiência hídrica bastante pronunciada e mais acentuada em comparação às regiões tradicionalmente ocupadas com a cultura; porém um aspecto positivo e comum entre as áreas são as condições topográficas, extremamente favoráveis à mecanização.

A utilização de genótipos tolerantes à deficiência hídrica nessas novas áreas torna-se a maneira mais econômica de contornar os problemas causados pela seca (SINGH & REDDY, 1980).

Pesquisadores têm se concentrado principalmente em estudos de variáveis morfológicas e fisiológicas, as quais podem levar à adaptação para essas condições ou serem

correlacionadas com tolerância à seca e que poderiam ser usadas para o melhoramento e desenvolvimento de novos genótipos (DOMAINGUE, 1996).

Em cana-de-açúcar, quatro estádios distintos de crescimento têm sido caracterizados, nomeados: germinação, perfilhamento, grande crescimento e maturação. 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). Portanto, é neste período onde os danos causados pela deficiência hídrica são mais prejudiciais à produção, e em que experimentos de avaliação de genótipos nos programas de melhoramento, sob essas condições, deveriam ser conduzidos, utilizando mecanismos apropriados, rápidos e eficientes.

Segundo O`Neill et al. (2006), técnicas que avaliem efeitos morfológicos e fisiológicos indiretos e rápidos podem ser bem efetivos para diferenciar genótipos tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica. Identificar ferramentas adequadas de seleção e características quantificáveis podem facilitar o processo de melhoramento da cultura para tolerância à escassez de água.

Seca é um estresse multi-dimensional, que causa vários efeitos fisiológicos e bioquímicos nas plantas (JAMAUX et al., 1997) e a tolerância à essa condição é uma característica multigênica (RODRIGUES et al., 2009), de extrema dificuldade em identificar características únicas que podem ser utilizadas para a seleção de genótipos tolerantes.

Variáveis morfológicas tais como volume e matéria seca de raízes, altura e número de perfilhos (WAGIH & KAIULO, 2001), área foliar, massa foliar específica, densidade de estômatos (JIFON et al., 2005) já foram avaliadas em cana-de-açúcar e outras culturas para diferenciar genótipos em relação à tolerância à pouca disponibilidade hídrica.

Quanto às variáveis fisiológicas, podem ser separadas em dois grupos, não-destrutivas e destrutivas, mas todas têm a vantagem de requererem pouco tempo para cada avaliação. As não-destrutivas tais como estimativa do conteúdo de clorofila (via SPAD), temperatura de folhas (SILVA et al., 2007a, 2007b, 2007d), máxima eficiência quântica do fotossistema II (SILVA et al., 2007a, 2007b, 2007d), condutância estomática (SMIT & SINGELS, 2006; SILVA et al., 2007a, 2007c), e índice de área foliar (ROBERTSON et al., 1999), e as destrutivas, conteúdo de clorofila (via espectrofotômetro), teor relativo de água na folha e

potencial de água na folha (KOONJAH et al., 2006) foram bem correlacionadas com tolerância à carência hídrica em diversas culturas, inclusive cana-de-açúcar.

Uma seleção criteriosa de características morfofisiológicas apropriadas, e de métodos expeditos para quantificá-las, seria muito valiosa aos programas de melhoramento da cana-de-açúcar para o desenvolvimento de plantas tolerantes a períodos de seca.

O presente trabalho fundamenta-se em aprimorar o conhecimento relacionado à tolerância à deficiência hídrica por meio da avaliação da habilidade de variáveis morfofisiológicas em distinguir entre tolerantes e susceptíveis quatro genótipos de cana-de-açúcar.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Estresse por deficiência hídrica

Uma planta pode estar submetida a vários tipos de estresses ambientais. Tratando-se de disponibilidade hídrica, a planta pode sofrer injúrias tanto por excesso como por falta de água, mas como o estresse por deficiência é mais comum na natureza, esse termo tem sido abreviado para *estresse hídrico* ou *déficit hídrico*, gerando conflito no modo de utilização (ANGELOCCI, 2002).

O termo estresse hídrico geralmente é definido como um fator externo, que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta, este conceito está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ & ZEIGER, 2004). O estresse causa desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanente (LARCHER, 2000).

Logo, deficiência hídrica pode ser definida como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ & ZEIGER, 2004). A deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que causa maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, acarretando em reduções na produtividade (PIMENTEL, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Como dito anteriormente, o termo estresse é relacionado ao conceito de tolerância, mas existe uma variabilidade muito grande no grau de tolerância à falta d'água entre espécies. Esta diferença é observada por meio do valor do potencial de água ideal para as plantas, e ocorre mesmo dentro de uma espécie, entre variedades. Além disto, o estádio de desenvolvimento da planta em que ocorre o estresse também é crítico para a produtividade agrícola (PIMENTEL, 2004; INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

Os mecanismos de resistência à deficiência hídrica podem ser divididos em escape, retardo e tolerância. No primeiro, as plantas adotam uma estratégia de "fuga", na qual apresentam rápido desenvolvimento fenológico e alto grau de plasticidade, sendo capazes de completar seu ciclo de vida antes que a falta de água torne-se severa o bastante para provocar danos fisiológicos. O retardo da desidratação corresponde à manutenção do turgor e volume celular, tanto pela absorção de água por um sistema radicular abundante quanto pela redução da perda por transpiração por intermédio do fechamento estomático ou por vias não estomáticas como a cutícula. E a tolerância à seca é um mecanismo que permite à planta manter o metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos, devido principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (TAIZ & ZEIGER, 2004; VERSLUES et al., 2006).

A tolerância das plantas frente a um estresse pode ser de dois tipos, se a tolerância aumenta como consequência de exposição anterior ao estresse, diz-se que a planta está aclimatada; já, se ocorre tolerância á um nível de resistência geneticamente determinado, adquirido por processo de seleção durante muitas gerações, a planta está adaptada (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A adaptação e a aclimatação aos estresses ambientais resultam de eventos integrados que ocorrem em todos os níveis de organização: anatômico, morfológico, celular, bioquímico e molecular (PIMENTEL, 2004; BUENO et al., 2006).

Em condição de deficiência hídrica, a cana-de-açúcar apresenta uma série de alterações morfofisiológicas, causando assim, distúrbios em seu metabolismo (PIMENTEL, 1998).

Dentre as alterações apresentadas pela cana-de-açúcar sujeitas à deficiência hídrica, e que serão tratadas neste trabalho, podem-se destacar: alterações na altura, no número de folhas verdes, no comprimento e na largura das folhas, na área foliar e massa foliar específica, na densidade estomática, na condutância estomática, na eficiência quântica do fotossistema II, no

teor relativo de água, no conteúdo de clorofila, e alterações no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes. Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios da baixa disponibilidade hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (PIMENTEL, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

O uso de irrigação para atenuar o efeito da escassez de água na produção de cana-de-açúcar é uma alternativa ainda pouco utilizada nos países produtores (INMAN-BAMBER, 2004; SANTOS, 2005), pois a disponibilidade de água é limitada em algumas regiões e os custos dos equipamentos tornam esse tipo de estratégia muito dispendiosa (BOYER, 1996); uma alternativa para amenizar tais custos seria a seleção e uso de genótipos tolerantes à deficiência hídrica (SINGH & REDDY, 1980; SILVA et al., 2007).

4.2 Principais efeitos morfofisiológicos causados pela deficiência hídrica

A diminuição do teor de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis (KELLING, 1995). A extensão dos efeitos da deficiência hídrica nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da duração da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente (CHAVES, 1991; SANTOS & CARLESSO, 1998). A resistência ao estresse hídrico se manifesta geralmente de quatro formas: limitação no crescimento, adaptações morfológicas, adaptações fisiológicas e alterações metabólicas.

4.2.1 Limitação do crescimento da cana-de-açúcar sob deficiência hídrica

O crescimento celular é considerado o processo mais sensível a baixa disponibilidade de água no solo, com a divisão e expansão celular sendo diretamente inibidas pelo estresse hídrico (ZHU, 2001; SAUSEN, 2007).

Esta sensibilidade deve-se ao impacto da falta de água sobre a taxa de expansão das células, devido à perda de turgor (TAIZ & ZEIGER, 2004; SAUSEN, 2007).

Pequena redução no potencial de água no solo afeta tanto a divisão celular quanto o alongamento celular em cana-de-açúcar (INMAM-BAMBER & SMITH, 2005;

GONÇALVES, 2008). A deficiência hídrica na fase inicial afeta o rendimento da cana, reduzindo o tamanho das plantas em geral, e algumas variáveis como a produção de perfilhos; número, altura e diâmetro de colmos industrializáveis; área foliar e finalmente o peso individual dos colmos (ROBERTSON et al., 1999; RAO et al., 2005; GONÇALVES, 2008).

Segundo Silva et al. (2008), a variação na altura da planta é um indicativo de tolerância ou susceptibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica. O baixo teor de umidade nos tecidos pode reduzir pela metade o comprimento de alguns entrenós, mas se houver disponibilidade de água novamente, a perda pode ser recompensada pelo maior comprimento dos entrenós seguintes (CASTRO & KLUGE, 2001). Esta característica morfológica observada com o período de estiagem é o "encarretelamento" dos colmos, ou seja, a formação de nós e entrenós muito curtos e próximos entre si, diminuindo o volume do parênquima para armazenamento de sacarose (SEGATO et al., 2006).

Há grande interesse entre os pesquisadores em conhecer as dimensões do aparato foliar de uma determinada planta, pois possibilitam estudos mais detalhados de análise de crescimento, nutrição mineral ou mesmo fenologia (HERMANN & CÂMARA, 1999).

As folhas são órgãos responsáveis por 90% da massa seca acumulada nas plantas, resultante da atividade fotossintética, assim, fatores como temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico causam diminuição da área foliar, e de acordo com Inman-Bamber (2004), o tempo de exposição à seca afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar. Neste sentido, Oliveira et al. (2007) descrevem que em condições de estresse ambientais, genótipos sensíveis seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa de folhas e sua área foliar, e que estudos da área foliar em variedades de cana-de-açúcar permitem correlacioná-la com o potencial produtivo das mesmas, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento.

A limitação à expansão da área foliar também é uma resposta à deficiência hídrica, não apenas limita o tamanho de cada folha, mas, também a área foliar pela diminuição no surgimento de novas folhas (SANTOS & CARLESSO, 1998; SHIGAKI et al., 2004; SCARPARI, 2007). A expansão das folhas é mais afetada pela falta de água do que o alongamento do colmo (INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

Diversos autores descrevem que a senescência foliar é responsiva à deficiência hídrica e que a redução do número de folhas verdes ocorre após a redução no surgimento de folhas

(ROBERTSON et al., 1999; INMAM-BAMBER, 2004; SMIT & SINGELS, 2006; MACHADO, 2009). Atribui-se que a redução de folhas verdes é uma estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; SMIT & SINGELS, 2006; INMAN-BAMBER et al., 2008).

Características foliares como massa foliar específica, espessura e densidade foliar, são afetados por fatores ambientais como a disponibilidade de nutrientes e água (CASTRO-DÍEZ et al., 1997; BUSSOTTI et al., 2000). Existe relação entre longevidade foliar e características morfológicas das folhas. As espécies que possuem maior longevidade foliar geralmente apresentam menor área foliar específica, ou maior massa foliar específica, devido à lâmina das folhas e à cutícula serem mais espessas, como também uma maior área lignificada, o que aumenta a razão massa/área; permitindo a folha resistir por um longo período em condições adversas, como a seca (LIMA et al., 2006).

4.2.2 Densidade estomática da cana-de-açúcar sob deficiência hídrica

O estômato consiste de um par de células-guarda, o poro estomático, e células subsidiárias, que circundam as células-guarda auxiliando no controle dos poros estomáticos. A resistência estomática, ou seja, o grau de fechamento dos estômatos, que por sua vez é o inverso da condutância estomática, é regulada pela planta de forma que a transpiração é proporcional ao balanço de energia, sem induzir aquecimento excessivo das folha (LARCHER, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2004). Acredita-se que o status hídrico das células da epiderme é responsável pela abertura estomática, e não o aumento do status hídrico da folha (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

A célula-guarda difere-se morfologicamente entre as espécies de plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004), a quantidade, distribuição, tamanho, forma e mobilidade dos estômatos são características específicas de cada espécie e podem ser alteradas em função das adaptações às condições ambientais (LARCHER, 2000). Em cana-de-açúcar, os estômatos possuem o formato paracítico, e apresentam-se enfileirados na epiderme da folha (VAN DILLEWIJN, 1952).

No limbo foliar da cana-de-açúcar os estômatos estão presentes tanto na face adaxial, como na face abaxial, ou seja, anfiestomático, e a maior densidade de estômatos é encontrada na superfície abaxial da folha (FERREIRA, 2005). Há descrições de que é mais provável que a face abaxial da folha possa ser responsável pelas trocas gasosas (de vapores de água com o meio), enquanto que os estômatos da superfície adaxial, que parecem ser mais sensíveis, fecham mais rapidamente, permitindo assim a face abaxial responder melhor ao arrefecimento e transpiração (VENKATARAMANA et al., 1986).

Os estômatos da face adaxial são menores e freqüentemente protegidos por pêlos ou estão situados no interior de criptas estomáticas; deste modo, o ar à volta dos estômatos fica mais úmido e a resistência à movimentação do ar da camada imediatamente adjacente à epiderme (camada limite) aumenta (LARCHER, 2000).

A densidade estomática presente em uma folha é inversamente proporcional à expansão das células da epiderme. Assim, quanto mais células da epiderme se expandir durante o crescimento da folha, menor será a densidade estomática. Ainda, a quantidade de estômatos de uma folha é definida no decorrer do processo de crescimento, e os fatores que afetam esta quantidade são as diferenças na intensidade luminosa e a disponibilidade hídrica (KOUWENBERG et al., 2004). Entre espécies há uma grande variação nas dimensões e freqüência de estômatos, o que tem grande importância nas diferenças de regulações das trocas gasosas (ANGELOCCI, 2002).

A regulação da abertura e fechamento estomático é um processo extremamente complexo, envolvendo fatores do ambiente e da própria planta. O rápido fechamento estomático é uma característica desejável e variável em genótipos de cana-de-açúcar, sendo causado pela eficiente sinalização entre as raízes e as folhas (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; MACHADO, 2009). Genótipos mais tolerantes à seca apresentam fechamento estomático em valores de potencial da água maiores quando comparados aos genótipos sensíveis (SMITH & SINGELS, 2006).

O fechamento precoce de estômatos é uma das primeiras respostas de tolerância à seca. O potencial da água na folha pode ser visto como uma medida de sensibilidade da cana-de-açúcar ao estado da água no solo, contudo a condução estomática diminui em resposta à seca do solo, sem alterações significativas no potencial hídrico (SMIT & SINGELS, 2006).

O ácido abscísico (ABA) estimula o fechamento dos estômatos em muitas espécies vegetais; desde que sua síntese seja estimulada pela deficiência hídrica. Então, com um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa aumento na concentração de ABA no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes; levando assim ao fechamento estomático (SANTOS & CARLESSO, 1998; STEUDLE, 2000; INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

O fechamento dos estômatos restringe a troca de gases entre o interior da folha e a atmosfera causando diminuição na assimilação de CO_2, que é utilizado no processo fotossintético, diminuindo a atividade carboxilase e aumentando a atividade oxigenase da rubisco. O ABA afeta o grau de abertura estomática, controlando o influxo e efluxo de K+ nas células guardas, assim como os de Cl- e ácidos orgânicos na plasmalema e tonoplasto dessas células, para o balanço iônico. Este processo controlará a entrada ou saída de água nas células guardas e consequente o movimento estomático (PIMENTEL, 1998; ANGELOCCI, 2002).

O ABA desempenha importante papel, por intermédio de sinais químicos para comunicação das raízes com o dossel vegetativo, na resposta à deficiência hídrica no solo, assim influencia as respostas da planta regulando suas características morfofisiológicas (SANTOS & CARLESSO, 1998; SASSAKI & MACHADO, 1999; INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

O fechamento estomático é um mecanismo útil de tolerância à seca, e quando há reidratação da cultura em questão, os estômatos conseguem melhorar o potencial hídrico da folha, mas os estômatos não conseguem se recuperar totalmente, pois a complexidade de resposta do estômato irá depender do genótipo e da intensidade da seca (VENKATARAMANA et al., 1986; SANTOS & CARLESSO, 1998; LARCHER, 2000; SHIGAKI et al.,2004; SMIT & SINGELS, 2006).

A capacidade de reduzir a transpiração permite que as plantas tenham melhor gestão da água disponível no solo. Quando as plantas fecham antecipadamente, mas reversivelmente os estômatos, essa adaptação é modulativa. Uma adaptação modificativa ocorre quando folhas que se desenvolvem sob condições de deficiência hídrica apresentam estômatos menores, porém, densidade estomática maior (LARCHER, 2000; PAIVA & OLIVEIRA, 2006).

A maior densidade e menor tamanho dos estômatos aumentam a resistência estomática, a qual limita o excesso de perda de água por transpiração (SILVA, 2008).

Uma característica muito comum em cana-de-açúcar, para diminuir a superfície de transpiração, é a ocorrência do enrolamento da folha, pois, em condições de deficiência hídrica, a folha enrola e cessa seu crescimento. O grau de enrolamento das folhas pode variar consideravelmente entre os genótipos de cana-de-açúcar de acordo com a tolerância; mas essa aparência muda rapidamente quando estas plantas forem irrigadas novamente (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

4.2.3 Trocas gasosas: condutância estomática

As trocas gasosas atuam no balanço energético das folhas, participando da regulação de sua temperatura, de maneira a deixá-la dentro da faixa de valores adequados aos processos fisiológicos das plantas e de adaptação destas ao ambiente.

O controle da transpiração é realizado pelo fechamento estomático, que é o único processo no *continuum* solo-planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea.

Quando a abertura estomática é reduzida, o fluxo de vapor d'água diminui proporcionalmente em maior grau do que a diminuição do fluxo de absorção de CO_2. Num caso extremo, em que as perdas por transpiração podem afetar irreversivelmente, o crescimento ou a sobrevivência da planta, os estômatos tendem a fechar completamente, limitando o suprimento de CO_2 (PIMENTEL, 1998).

A redução na assimilação de CO_2 ocorre devido ao fechamento estomático, afetando a fotossíntese devido à restrição ao fluxo de CO_2, resultando em efeitos prejudiciais diretamente sobre o aparelho fotossintético, enquanto que as taxas respiratórias não são afetadas (SASSAKI & MACHADO, 1999).

O controle das trocas gasosas é considerado um processo complexo, pois, as plantas enfrentam certo dilema onde, se ocorrer ligeira diminuição de turgescência celular, suficiente para causar o fechamento dos estômatos, vai tornar a absorção de dióxido de carbono extremamente difícil, diminuindo sensivelmente a atividade de assimilação de carbono, assim, elas necessitam abrir os estômatos para a entrada do CO_2 e também fechá-los para evitar a perda de água, porém a tendência é favorecer a assimilação fotossintética (PIMENTEL, 1998; ANGELOCCI, 2002).

Diversos são os trabalhos que mostram a influência da deficiência hídrica nas trocas gasosas sobre as culturas, em especial sobre a cana-de-açúcar (INMAN- BAMBER & SMITH, 2005; SMIT & SINGELS, 2006); desta forma, em condições de estresse hídrico as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de forma distinta, de acordo com a espécie, tanto por limitações difusivas, restringindo a disponibilidade de dióxido de carbono para assimilação, quanto por limitações metabólicas, pelo aumento do efeito fotoinibitório (GONÇALVES et al., 2010).

A condutância estomática decai rapidamente sob queda rápida da umidade do solo, pois a abertura estomática responde mais rapidamente à variação do conteúdo de água no solo do que no potencial da água na folha (SASSAKI & MACHADO, 1999).

4.2.4 Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b*

Grande parte da radiação incidente sobre a superfície da folha não é utilizada nos processos fotoquímicos. Esta radiação é perdida de várias formas, uma parte é refletida e outra porção é transmitida, ou seja, atravessa a folha sem ser absorvida, enquanto que uma terceira fração da radiação é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes. No entanto, nem todos esses fótons absorvidos pelos pigmentos são utilizados nos processos fotoquímicos (TAIZ & ZEIGER, 2004).

As clorofilas (*a* e *b*) e os carotenóides são os pigmentos fotossintéticos mais abundantes existentes no planeta. Por sua estrutura química ser instável, as clorofilas são facilmente degradadas, resultando em produtos de decomposição que modificam a percepção e qualidade dos vegetais (GONÇALVES, 2008).

As clorofilas localizam-se nos cloroplastos, sendo esta organela o local que se realiza a fotossíntese, a qual possui duas reações importantes: a *fotoquímica*, nas membranas dos tilacóides e a *bioquímica*, no estroma do cloroplasto. Tais organelas, além das clorofilas, contêm outros pigmentos denominados acessórios, tais como os carotenóides (carotenos e xantofilas) (LARCHER, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Ao absorver os fótons (energia luminosa), as moléculas de clorofila modificam temporariamente suas configurações eletrônicas, passando do estado basal para o estado excitado, o qual possui nível de energia superior, sendo ainda muito instável e de vida curta.

Assim, após absorver os fótons, esses pigmentos podem dissipar o excesso de energia proveniente da luz por meio de quatro formas competitivas: *dissipação fotoquímica* (utilizada na fotossíntese), *fluorescência* (re-emissão na forma de luz), *conversão direta de energia* (retorno da clorofila ao seu estado base sem ocorrer emissão de fótons) e *dissipação não-fotoquímica* (re-emissão na forma de calor) (TAIZ & ZEIGER, 2004; MAXWELL & JONHSON, 2000; CAMPOSTRINI, 2010).

A deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis pela diminuição de pigmentos nas folhas, fazendo com que o ciclo de vida da planta seja alterado. Em adição, a relação entre clorofila *a* e *b* em plantas terrestres pode ser usada como indicativo de resposta ao sombreamento e a senescência prematura, e a relação entre clorofila e carotenóides é usada em menor proporção para diagnosticar a taxa de senescência sob estresse hídrico (HENDRY & PRICE, 1993).

Assim, métodos de quantificação e de estimativa de tais pigmentos também podem ser utilizados como ferramentas para seleção de genótipos tolerantes à seca. Métodos destrutivos são citados na literatura como sendo relativamente eficientes. No entanto, o medidor portátil de clorofila SPAD-502 permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la, fazendo com que tal método seja caracterizado pela simplicidade e rapidez (ARGENTA et al., 2001). Em adição, medições com SPAD-502 podem ser significativamente correlacionadas com o conteúdo de nitrogênio em folhas de gramíneas temperadas e tropicais, auxiliando, sobremaneira nos processos de seleção e melhoramento de plantas (ARGENTA et al., 2001; GÁBORCÍK, 2003).

4.2.5 Máxima eficiência do fotossistema II

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 à molécula de clorofila P680 que possui um redutor muito forte que oxida a molécula de água em elétrons, prótons e oxigênio (TAIZ & ZEIGER, 2004).

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 ferrodoxina 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 CO_2, e demonstra que variações na disponibilidade hídrica geram menor eficiência do fotossistema II, ou seja, com recurso de água limitado, menos ATP e NADPH são formados e, como consequência, menos CO_2 é fixado (LU & ZHANG, 1999; SOUZA et al., 2005).

A técnica do rendimento quântico do fotossistema II (PSII), obtido a partir da fluorescência da clorofila *a*, pode estimar a integridade do PSII de uma determinada folha, pois revela o nível energético de excitação dos pigmentos que dirigem a fotossíntese. Esse nível depende do balanço entre irradiação e da soma das taxas de fotossíntese e dissipação térmica (SCHOLES & HORTON, 1993). Em adição, Campostrini (2010) afirma que essa técnica apresenta-se como uma ferramenta de grande potencial nos estudos relacionados aos efeitos dos fatores do ambiente sobre o processo fisiológico em plantas, indicando ausência ou presença de comprometimento no processo fotossintético.

As principais variáveis observadas nas medições da fluorescência da clorofila *a* são: fluorescência inicial, basal ou mínima (F_0) é a fluorescência quando todos os centros de reação estão abertos, fluorescência máxima (F_m) é a fluorescência quando todos os centros de reação estão fechados, fluorescência variável (F_v) é determinada pelo estado do centro de reação (aberto ou fechado), e é definida como diferença entre F_m e F_0, ou seja, $F_v=F_m-F_0$ e rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m). O F_0 refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do PSII. O F_m indica a completa redução da quinona A (Q_A) a partir da incidência de um pulso de luz no centro de reação Q_A, gerando fluorescência máxima. A diferença entre F_m e F_0 resulta na fluorescência variável (F_v), que representa o fluxo de elétrons do centro de reação do PSII (P680) até a plastoquinona (PQH2).

O rendimento quântico máximo é calculado como: $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ (MAXWELL & JOHNSON, 2000).

Em plantas sob condições de estresse, a menor eficiência fotossintética pode ser causada pela: 1) menor dissipação de energia por meio do transporte de elétrons, ocasionando um declínio na eficiência quântica potencial do PSII, indicada pelo menor F_v/F_m, e taxa de transporte de elétrons (ETR), sendo usualmente associados ao aumento na extinção não-fotoquímica da fluorescência (qN) e no "pool" de zeaxantina; 2) início dos processos de fotoinibição quando a capacidade de fotoproteção é excedida, sendo indicado pelo declínio na relação F_v/F_m, acompanhado pelo aumento de F_0, devido à redução excessiva da cadeia de transporte de elétrons (CHAGAS, 2007).

Parte dos elétrons envolvidos nos processos fotoquímicos é utilizada em outros processos que não a fixação de carbono. Em condições onde a fixação de carbono é limitada (ex.: baixa temperatura e fechamento estomático), drenos alternativos de elétrons, como fotorrespiração, excetuando-se plantas com metabolismo C_4, e a redução de oxigênio molecular podem aumentar suas atividades (FRACHEBOUD, 2010).

A presença de condições ambientais estressantes levam ao decréscimo característico na eficiência quântica potencial no PSII, podendo ser detectada pela queda na relação F_v/F_m; paralela à queda da fotossíntese devido à menor eficiência fotoquímica, pode ocorrer redução na atividade de algumas enzimas de ciclo de Calvin e mudanças nas rotas químicas, como acúmulo de aminoácidos e ácidos orgânicos (CHAGAS, 2007).

Dessa forma, a habilidade em manter elevadas razões de F_v/F_m sob estresse hídrico pode ser um indicativo de eficiência no uso as radiação pela fotoquímica e pela assimilação de carbono, assim como a resposta relativamente rápida de F_v/F_m ao estresse hídrico moderado pode ser uma traço importante para seleção de germoplasma de cana-de-açúcar tolerantes à seca (SILVA et al., 2007; GRAÇA, 2009), pois pode ser indicativo de fotoinibição associada a danos no PSII (MAXWELL & JONHSON, 2000).

4.2.6 Teor relativo de água na folha

O teor relativo de água (TRA) na folha é definido como sendo a quantidade de água de um tecido comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter em um dado momento (CAIRO, 1995). O TRA é considerado a variação de massa de água do tecido, a qual, por sua vez, decorre da variação da massa de água da célula e, consequentemente, da variação do volume celular, entre a turgescência plena e a perda da turgescência (ANGELOCCI, 2002).

O controle das funções fisiológicas está diretamente relacionado com o conteúdo hídrico da planta e alterações no TRA afetam diretamente todo o aparato fotossintético.

Verificou-se que houve diminuição entre 10% a 20% no TRA após 15 dias sob deficiência hídrica diminuindo consideravelmente a taxa de assimilação de CO_2 e a condutância estomática em plantas de *Phaesolus vulgaris* (BRESTIC et al. 1995). A resposta fotossintética frente à deficiência hídrica pode apresentar variação de acordo com a cultivar, como observado por Colom & Vazzana (2003) quando estudaram o TRA e a taxa fotossintética de cultivares da gramínea *Eragostris curvula,* em que constataram que a cultivar tolerante exibiu maior atividade fotossintética associada à maior TRA em comparação a cultivar sensível submetidas à deficiência hídrica. São várias as alterações ocorridas nas plantas devido a escassez de água, porém, é comum observar que 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).

Para que se tenha uma avaliação confiável do status hídrico de um vegetal, tanto o teor relativo de água como potencial hídrico são considerados essenciais e indispensáveis (CAIRO, 1995; PIMENTEL, 2004).

4.2.7 Potencial de água na folha

O potencial de água na folha (Ψw) diminui com o declínio da disponibilidade de água no solo, levando à perda da turgescência e induzindo também ao fechamento estomático, e tais respostas diferenciam-se de espécie para espécie (MANSUR & BARBOSA, 2000; TAVARES, 2009). O Ψw descreve o estado energético foliar, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera. Embora haja variação ao longo do dia, mesmo em plantas irrigadas, essa variável descreve o estado hídrico da planta, e tem sido

muito utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais. O valor do Ψw indica a diferença entre o estado energético da planta no sistema considerado e num estado de referência. No estado de referência, o potencial da água é considerado zero (BERGONCI et al., 2000).

O controle estomático da condutância foliar é um mecanismo pelo qual as plantas reduzem em suas perdas de água e na maioria das vezes indica uma condição de deficiência hídrica. O fechamento estomático pode ocorrer dentro de uma larga faixa de potencial de água na folha, dependendo da espécie (JONES, 1992). Em plantas sem restrição hídrica, a condutância estomática pode aumentar com a diminuição do potencial da água na folha, resultante de uma maior taxa de transpiração à medida que a abertura estomática aumenta. Estudos realizados em condições controladas e em condições de campo, sugerem que o ácido abscísico (ABA) produzido na raiz pode desempenhar papel importante no controle da condutância estomática e que a resposta dos estômatos ao ABA depende do estado hídrico da planta (SANTOS & CARLESSO, 1998; SASSAKI & MACHADO, 1999; INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

O limiar de fração de água disponível para a planta, quantidade de água existente no solo a partir da qual a condutância diminui, comparada com um valor de referência, varia para diferentes espécies. Além disso, o limiar de fração de água disponível para as plantas é maior para o potencial da água na folha e expansão foliar do que para a condutância estomática e trocas gasosas, e há variação intra-específica dependendo das condições experimentais, como o tipo de solo e demanda evaporativa principalmente (SADRAS & MILROY, 1996).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local de realização do projeto

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com controle de temperatura e umidade, localizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - APTA, município de Jaú, SP (22º 15' Latitude Sul e 48º 33' Longitude Oeste e Altitude 580 m).

Valores de temperatura e umidade relativa do ar máxima e mínima foram coletados diariamente utilizando-se de um aparelho portátil termohigrômetro (marca Acurite, China); e também a luminosidade através do fluxo de fótons fotossintéticos (marca Apogee Model QMSS-E Quantum PAR Meter). Portanto, durante o período experimental a temperatura máxima média do ar foi de 24,4^{o}C ± 3,7, temperatura mínima média do ar de 16,4^{o}C ± 2,5, e a radiação fotossinteticamente ativa foi em média 820 µmol m^{-2} s^{-1}.

5.2 Material vegetal

O experimento foi composto por quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), RB72454, RB855453, SP81-3250 e SP83-2847. As cultivares RB72454 e SP83-2847 foram utilizadas como padrão de susceptibilidade (GONÇALVES, 2008) e de tolerância (DEDEMO, 2006) à deficiência hídrica, respectivamente.

As plantas foram obtidas por meio de brotação das gemas provenientes de toletes de mesma idade e bom aspecto sanitário.

5.3 Tratamentos, delineamento estatístico e análise dos dados

Os toletes foram plantados em vasos de 22 litros, preenchidos com substrato Plantmax® (produto estéril elaborado a base de vermiculita expandida e material orgânico, contendo macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento inicial das mudas) misturados a 55 g do fertilizante formulado 8-28-16.

Em cada vaso foram plantados três mini toletes com gemas individuais de cada cultivar, posteriormente houve desbaste, deixando apenas uma única planta. Nesta planta apenas o perfilho primário foi mantido para a avaliação, para eliminar efeitos varietais de perfilhamento e ocupação desigual dos vasos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2x3, sendo os fatores: quatro cultivares, dois regimes hídricos (sem deficiência = -D, e com deficiência = +D) e três épocas de avaliações (0, 28 e 56 dias após 84 dias do plantio), com três repetições.

Do plantio até 84 dias após o plantio (DAP) todos os vasos receberam água na mesma quantidade a fim de proporcionar bom desenvolvimento a todas as plantas. Aos 84 DAP iniciaram-se os tratamentos: sem deficiência hídrica (-D) e com deficiência hídrica (+D). No tratamento -D as plantas foram hidratadas com quantidade necessária para manter o teor de umidade ideal no substrato, em torno de 22% (que corresponde a 100% da capacidade de campo) para o desenvolvimento das plantas, enquanto no tratamento +D as plantas foram mantidas com 50% do teor dessa umidade. Para o monitoramento de umidade nos vasos, o qual foi realizado três vezes ao dia (7h, 12h e 16h), utilizou-se do medidor ECH_2O (Decagon, Washington, USA), por se tratar de um aparelho bastante eficiente neste controle (PARSONS & BANDARANAYAKE, 2009). Para tanto, sensores dielétricos Echo Check (Decagon, Washington, USA) de 10 cm de comprimento foram inseridos nos vasos, na quantidade de um por vaso.

Para análise dos resultados foi empregado o tratamento estatístico das características individuais. A análise de variância foi realizada pelo teste de *F* utilizando-se do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias.

5.4 Avaliações morfológicas e fisiológicas em casa de vegetação

As avaliações foram iniciadas aos 84 DAP, e realizadas em três épocas, aos 0, 28 e 56 dias após o início dos tratamentos (DAT), ou seja, quando as plantas estavam com 84, 112 e

140 dias de idade. Apenas as variáveis matéria seca de raízes e matéria seca da parte aérea foram realizadas numa única data, aos 56 DAT (140 dias de idade).

Em todas as plantas foram utilizadas a primeira folha totalmente expandida e com lígula aparente (folha +1) para as avaliações, com excessão da área foliar e da densidade estomatal que utilizou-se a terceira folha totalmente expandida com lígula aparente (folha +3), iniciando-se pelas variáveis não destrutivas e em seguida pelas destrutivas.

5.4.1 Variáveis morfológicas

5.4.1.1 Número de folhas verdes

A contagem do número de folhas verdes ocorreu a cada avaliação, considerando-se as folhas totalmente expandidas e com pelo menos 20% da área foliar verde, contadas a partir da folha +1.

5.4.1.2 Área foliar

Durante as avaliações foram realizadas medições do comprimento e diâmetro do limbo foliar na porção mediana da folha +3, com auxilio de uma fita métrica e régua, respectivamente. A área foliar foi calculada segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999):

$$AF = C \times L \times 0{,}75 \times (N+2)$$

em que C é o comprimento da folha +3, L é a largura da folha +3, 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

5.4.1.3 Densidade de estômatos

Para o estudo de densidade estomatal, o método de Mazumdar et al. (1969) foi adotado. A folha +1 de cada planta foi cortada e imediatamente acondicionada e transportada para o laboratório em uma caixa térmica com gelo para minimizar perda do teor de umidade e degradação da clorofila. Retirou-se a impressão digital em quatro regiões mediana da folha de cada cultivar, duas impressões na face abaxial e duas na face adaxial da folha (impressões

paralelas à nervura central da folha). A impressão foi retirada com esmalte incolor e auxílio de uma fita adesiva transparente, do seguinte modo: passou-se uma fina camada de esmalte incolor na folha, de tamanho aproximado de 4 cm de comprimento, esperou-se secar; colou-se um pedaço de fita adesiva transparente (totalmente limpa e sem marcas de dedos) no local onde foi passado o esmalte, retirou-se a fita. As formas dos estômatos ficaram impressas na fita.

Para realizar a leitura da densidade estomática, aplicou-se a fita adesiva com a impressão dos estômatos em uma lâmina do tipo "Câmara de Neubauer" (milimetrada), e a contagem dos estômatos foi realizada em uma área de 0,5 x 0,5 mm em microscópio óptico, utilizando-se a objetiva de 10x de ampliação (Nikon – Eclipse E200, Shanghai, China).

5.4.1.4 Massa foliar específica

Dois discos foliares (0,69 cm^2 cada) por folha +1 foram amostrados por meio de um furador, entre a borda e a nervura central da folha. A relação massa do disco/área do disco foi determinada após a secagem dos discos foliares a 80^oC por 48 h, para obtenção da massa constante.

5.4.2 Variáveis Fisiológicas

5.4.2.1 Estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD (CE)

O CE foi determinado usando um clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA). A média da parcela (vaso) foi considerada a de três leituras nas folhas +1. A leitura (unidade SPAD) corresponde ao teor de pigmento na folha, e seu valor é equivalente à quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda, nas quais a absorção de clorofila é diferente (Malavolta et al., 1997). Dessa maneira, o valor fornecido é proporcional à quantidade de clorofila existente na folha.

5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m)

Determinada nas folhas +1 com um fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, EUA). As folhas foram pré-escurecidas por ≈30 minutos, com auxílio de clipes

específicos, antes das medidas de fluorescência. A variável F_v/F_m foi determinada seguindo os procedimentos de Maxwell & Johnson (2000), onde F_m é a máxima intensidade da fluorescência em que todos as reações do fotossistema II (FSII) se fecham; F_0 é a mínima intensidade de fluorescência, quando os centros de reações do FSII estão abertos, e *Fv* é a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$). As leituras foram realizadas entre às 7 e 9 horas da manhã.

5.4.2.3 Condutância estomática

A condutância estomática ($mmol.m^{-2}s^{-1}$) foi determinada por intermédio de um porômetro (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA), acompanhado da leitura do fluxo de radiação ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) realizada por meio de um medidor de radiação (Apogee Instruments, Inc., Roseville, CA, EUA). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1, e determinadas pela manhã, entre às 7 e 9 horas da manhã.

5.4.2.4 Conteúdo de clorofila via espectrofotômetro

Para conteúdo de clorofila (CC), dois discos foliares (0,69 cm^2 cada) foram amostrados da lâmina foliar por meio de um furador, entre a borda e a nervura central da folha. O CC foi determinado segundo a metodologia de Porra et al. (1989), o método se baseia na utilização de 1 ml do extrato de clorofila obtido à partir da extração por ácido dimetil-formamida (DMF). A solução foi mantida protegida da luz durante 24 h para a completa extração. Logo após realizou-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 480, 647 e 664 nm; a leitura foi realizada em 1ml de extrato de clorofila diluído em 1ml de água deionizada

5.4.2.5 Teor relativo de água na folha (TRA)

No laboratório, da mesma folha +1 foram extraídos dois discos (0,69 cm^2 cada) e determinou-se a massa do tecido fresco (Wf) dos discos em balança analítica (Tecnal Equip. Lab., Piracicaba, SP, Brasil). A massa do tecido túrgido (Wt) foi obtida depois da reidratação dos discos em água deionizada por 24 h. Para tanto, retirou-se o excesso de água com lenço de papel dos discos turgidos para determinar a massa do tecido túrgido. A massa do tecido seco (Wd) foi obtida depois que os discos foram secos por 48 h a 80ºC em estufa de circulação de

ar forçada. TRA foi calculado por intermédio de fórmula, conforme a metodologia apresentada por Jamaux et al. (1997):

$$TRA = [(Wf - Wd) . (Wt - Wd)^{-1}] \times 100$$

5.4.2.6 Potencial hídrico foliar (Ψw)

Nas mesmas folhas +1 coletadas e acondicionadas em saquinhos plásticos identificados, e imediatamente transportadas em caixa térmica com gelo, para minimizar a perda de umidade, da casa de vegetação até o laboratório. O Ψw foi determinado no período mais quente do dia, entre as 10 e 14 h. As leituras foram feitas na extremidade (ponta) da folha +1 do perfilho primário utilizando-se a câmara de pressão Scholander (SoilMoisture Equipment, Santa Bárbara CA, EUA).

5.4.3 Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes

Na última data de avaliação as massas das matérias secas da parte aérea e das raízes foram obtidas. Para tanto, as plantas foram retiradas dos vasos e as raízes separadas da parte aérea. As raízes foram peneiradas e lavadas em água corrente. Em seguida, ambas as partes foram levadas para estufa de circulação forçada de ar para serem secas a 70ºC durante 72 horas. Em seguida, as massas da matéria seca foram tomadas por meio de balança de precisã

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliações morfológicas

6.1.1 Altura do colmo e número de folhas verdes

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 1) verifica-se que para a variável altura do colmo os fatores isolados regime hídrico e época, bem como a interação entre regime hídrico x época foram significativos ao nível de 1% ($P<0,01$) de probabilidade.

Tabela 1. Análise de variância da altura do colmo e do número de folhas verdes de cana-de - açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da Variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		Altura (cm)	Número de folhas verdes
Cultivar	3	4,113^{ns}	1,258^{ns}
Regime hídrico	1	1041,879**	335,613**
Época	2	587,658**	2,766^{ns}
Cultivar x Regime hídrico	3	3,300^{ns}	3,591^{ns}
Cultivar x Época	6	3,284^{ns}	1,831^{ns}
Regime hídrico x Época	2	380,991**	44,056**
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	0,641^{ns}	3,745^{ns}
CV (%)		10,19	16,12

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Quanto ao número de folhas verdes, houve efeito altamente significativo sobre essa variável promovido por regime hídrico e pela interação regime hídrico x época (Tabela 1).

Conforme avanço das épocas de avaliação (0, 28 e 56 dias após o estabelecimento do estresse) todas as cultivares apresentaram aumento da altura do colmo sob regime hídrico adequado (Figura 1). A deficiência hídrica promoveu forte redução dessa variável nas quatro cultivares, entretanto a altura final das cultivares SP81-3250 e SP83-2847 (50,3 e 59,7 cm, respectivamente) foi maior que a das RB855453 e RB72454 (45 e 48,5 cm, respectivamente). Gonçalves (2008) também encontrou respostas diferenciais para altura em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. Segundo Silva et al. (2008), a variação na altura do colmo é um indicativo de tolerância ou susceptibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica.

Um dos processos fisiológicos mais sensíveis à deficiência hídrica é o crescimento celular, o qual afeta o crescimento das plantas (LARCHER, 2000); por este motivo a redução do crescimento é considerada a primeira e mais séria consequência da restrição hídrica nos vegetais (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Avaliações biométricas, como por exemplo, altura, são importantes em pesquisas com disponibilidade hídrica, pois o crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água (RODRIGUES, 1995), porém esse crescimento pode ser

diferencial entre cultivares e representar graus de tolerância entre as cultivares (SILVA & COSTA, 2004).

Inman-Bamber & Smith (2005) relatam que a susceptibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose (ROBERTSON et al., 1999). De fato, Silva & Costa (2004) verificaram que tanto sob regime hídrico adequado quanto sob deficiência hídrica, a altura dos colmos foi significativamente e positivamente correlacionada com produção de colmos.

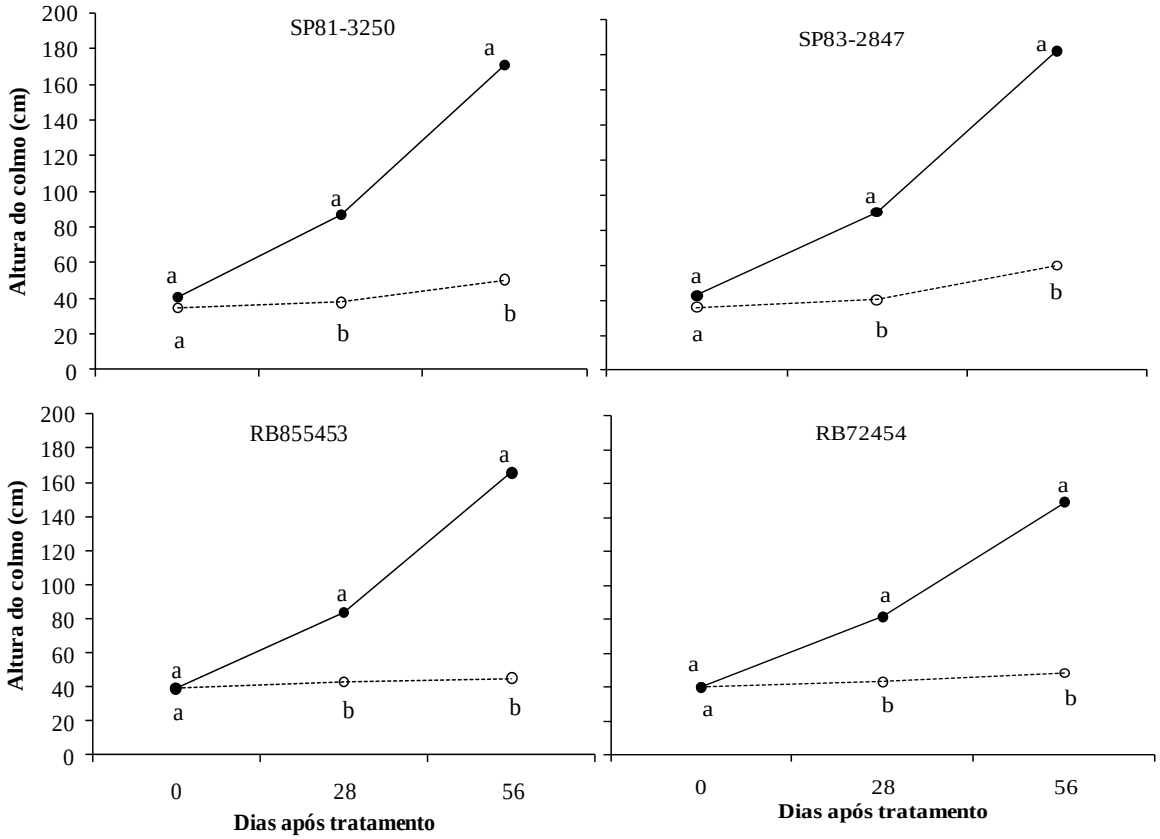


Figura 1. Altura do colmo de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─●─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

A variável número de folhas verdes caracteriza-se como importante, pois por intermédio desta pode-se verificar a eficiência fotossintética da planta frente aos estresses propostos.

Também, sob condições ideais de umidade no substrato houve aumento no número de folhas verdes em todas as cultivares, que foram maiores significativamente do que os valores sob restrição hídrica aos 28 e 56 dias após tratamento (DAT) (Figura 2). Para esta variável também foi possível identificar respostas diferenciais para cultivares sob deficiência hídrica, isto é, as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 apresentaram 5 e 7 folhas, respectivamente, aos 56 DAT, e as cultivares RB855453 e RB72454 ambas com 3 folhas sob o mesmo período.

Smit & Singels (2006) relataram que a senescência foliar é responsiva à deficiência hídrica e ocorre após a diminuição no surgimento de folhas. A redução de folhas verdes tem sido relatada em plantas com deficiência hídrica (INMAN-BAMBER, 2004; PIMENTEL, 2004) e é atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; SMIT & SINGELS, 2006; INMAN-BAMBER et al., 2008).

Entretanto, a manutenção de folhas verdes pode ser um indicativo de tolerância à seca. De fato, a senescência foliar e a paralisação do surgimento de folhas são respostas ao estresse promovido por deficiência hídrica dependentes do genótipo (SMIT & SINGELS, 2006), e o número de folhas verdes pode ser usado como indicador do efeito desse estresse em cana-de-açúcar, conforme sugere Inman-Bamber (2004).

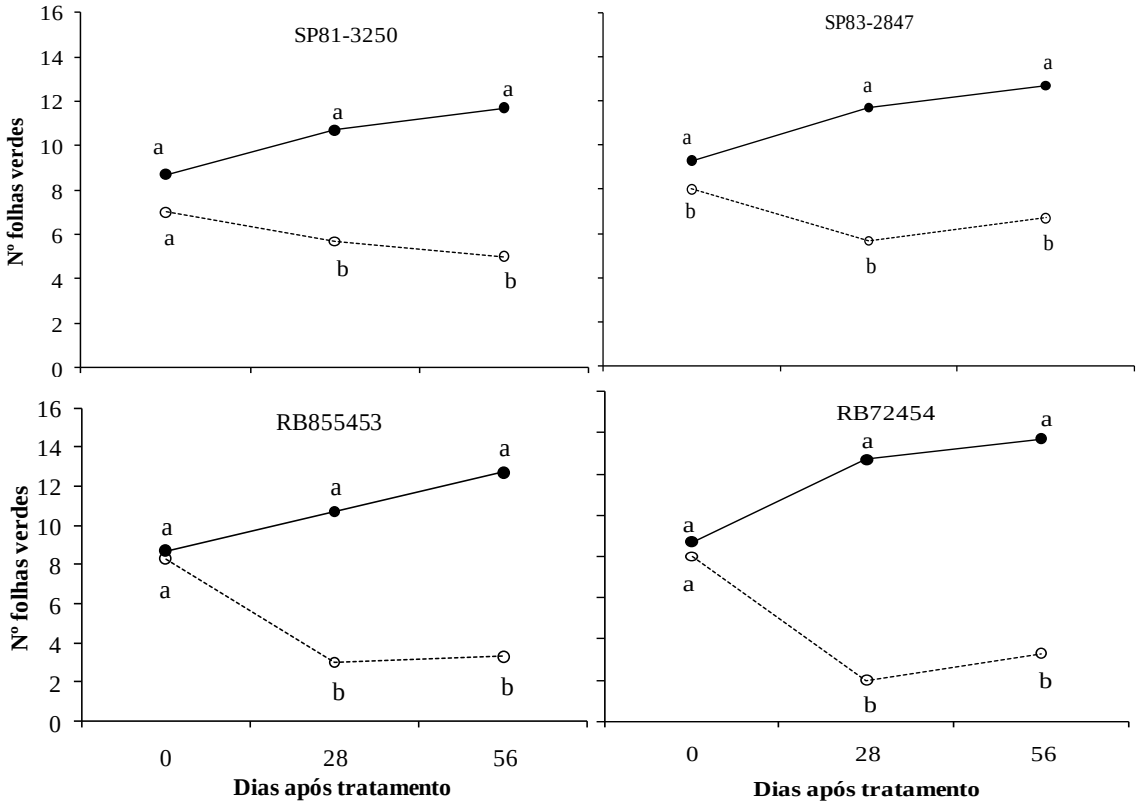


Figura 2. Número de folhas verdes de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─●─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.1.2 Comprimento e largura da folha +3

A análise de variância mostrou efeito significativo apenas para época de avaliação sobre a variável comprimento da folha +3 (Tabela 2). Portanto, por não ter havido nenhum efeito interativo entre as causas de variação, principalmente envolvendo cultivares, infere-se que essa variável não pode ser considerada como confiável para avaliar e caracterizar respostas diferenciais de cultivares de cana-de-açúcar à deficiência hídrica.

Tabela 2. Análise de variância do comprimento e largura da folha +3 de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		Comprimento da folha (cm)	Largura da folha (cm)
Cultivar	3	0,837^{ns}	18,893**
Regime hídrico	1	10,507^{ns}	124,901**
Época	2	71,313**	185,331**
Cultivar x Regime hídrico	3	2,328^{ns}	0,504^{ns}
Cultivar x Época	6	2,138^{ns}	1,330^{ns}
Regime hídrico x Época	2	1,018^{ns}	22,259**
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	1,806^{ns}	0,970^{ns}
CV (%)		9,09	12,15

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Para largura da folha +3, a análise de variância apontou efeito de cultivares, regime hídrico e época de avaliação, e da interação entre regime hídrico x época (Tabela 2).

Apesar do efeito negativo da deficiência hídrica sobre essa variável em todas as cultivares (Figura 3), observa-se que a resposta variou conforme a cultivar, não havendo um padrão de resposta que possa ser relacionado com nível de tolerância, ou seja, a cultivar SP83-2847, considerada tolerante, teve padrão de redução da largura da folha +3 semelhante a da cultivar RB855453, considerada susceptível. Por outro lado, as cultivares SP81-3250 e RB72454, contrastantes em termos de tolerância, tiveram menor redução dessa variável.

Não se tem observado na literatura estudos das variáveis comprimento e largura das folhas de cana-de-açúcar de forma isolada em resposta a diferentes fatores, mas apenas têm sido empregadas em fórmulas com a finalidade de se obter a área foliar da planta. Neste sentido, infere-se que alterações promovidas pela deficiência hídrica sobre o comprimento e a largura das folhas influenciam na obtenção da área foliar da planta e, conseqüentemente, no índice de área foliar (IAF - área total de folhas verdes existentes em uma determinada superfície do terreno), variáveis mais bem estudadas em relação as respostas à escassez de água.

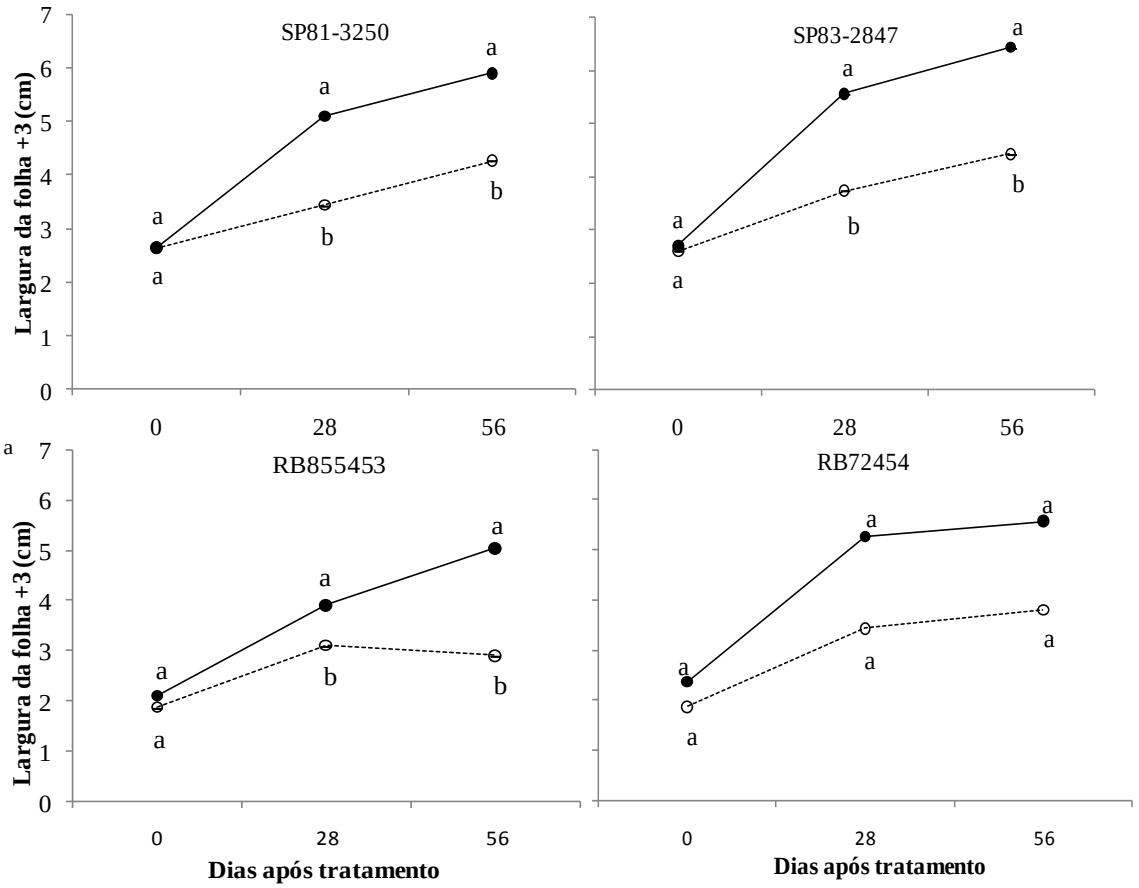


Figura 3. Largura das folhas +3 de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, —•—) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.1.3 Área foliar e massa foliar específica

O resultado da análise de variância indicou efeito significativo de regime hídrico, época de avaliação e dessa interação sobre a variável área foliar (Tabela 3). Enquanto para massa foliar específica, houve apenas efeito significativo de regime hídrico, indicando nenhuma relação entre as cultivares avaliadas e níveis de tolerância à deficiência hídrica, discordando de Björkman (1981), que afirmou que sob condições de estresse, há aumento na massa foliar específica, o que conduz a um maior volume interno para difusão de CO_2, para manter o status hídrico foliar e maior volume celular para abrigar o aparelho fotossintético.

Tabela 3. Análise de variância da área foliar e da massa foliar específica de plantas jovens de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		Área foliar (cm^2)	Massa foliar específica ($mg.cm^{-2}$)
Cultivar	3	6,947 ^{ns}	1,202^{ns}
Regime hídrico	1	332,216 **	30,405**
Época	2	105,449 **	4,945^{ns}
Cultivar x Regime hídrico	3	2,276 ^{ns}	0,682^{ns}
Cultivar x Época	6	2,324 ^{ns}	1,693^{ns}
Regime hídrico x Época	2	64,430 **	1,943^{ns}
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	1,082 ^{ns}	0,402^{ns}
CV (%)		24,10	8,57

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

A área foliar foi reduzida pela deficiência hídrica em todas as cultivares, entretanto as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 apresentaram maior área foliar sob falta de água que as cultivares RB855453 e RB72454 ao final do período de avaliação, isto é, aos 56 DAT (Figura 4). Reduções significativas na área foliar também foram encontradas por Smit & Singels (2006) e Gonçalves (2008) em cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica, na África do Sul e no Brasil, respectivamente. A redução da área foliar em situações de déficit hídrico causa a diminuição da interceptação da radiação solar (SANTOS & CARLESSO, 1998), o que leva à redução da transpiração e da fotossíntese, e senescência foliar precoce

(JAMIESON et al., 1995).Esta característica pode ser um indicativo de tolerância à deficiência hídrica, assim como número de folhas verdes (SMIT & SINGELS, 2006), devido à interdependência entre as variáveis, pois cultivares com maior número de folhas verdes possuem maior área foliar.

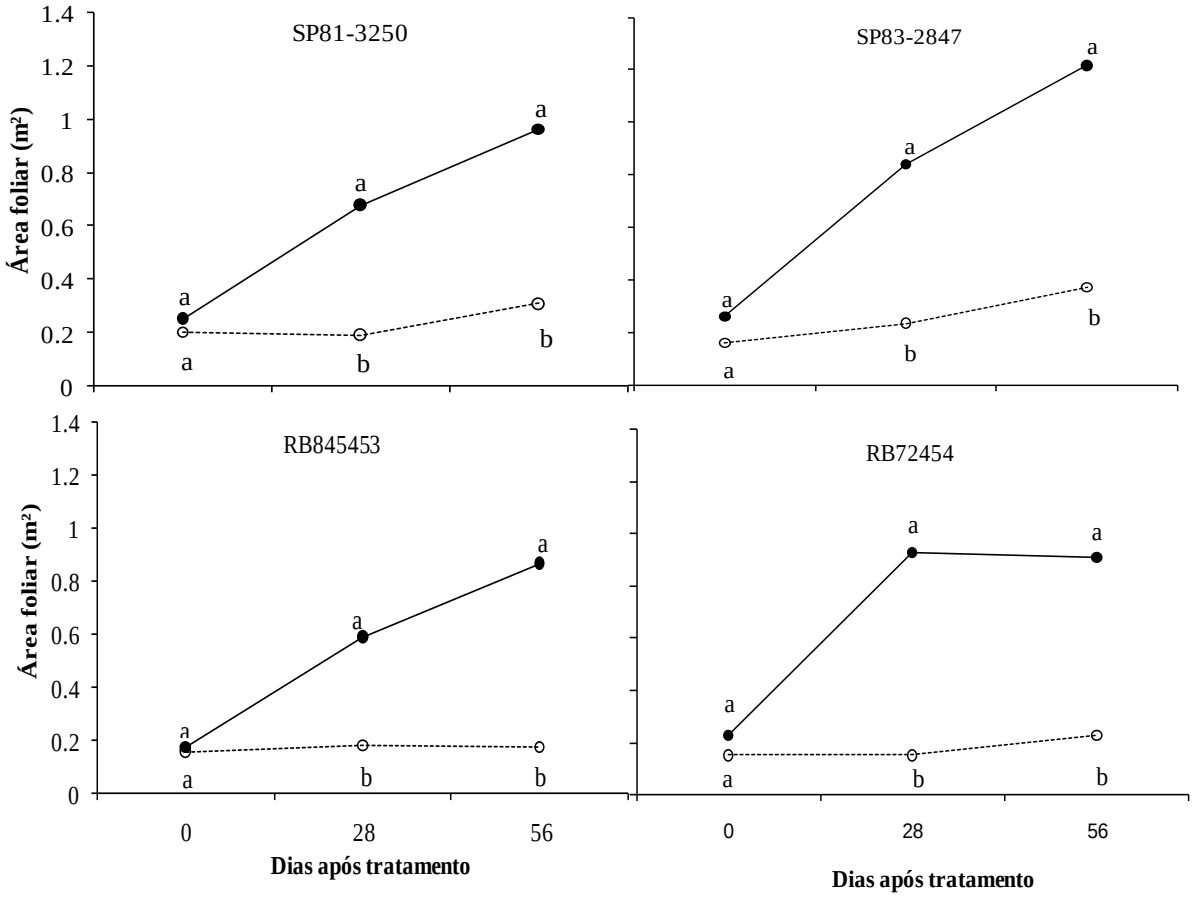


Figura 4. Área foliar de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─•─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.1.4 Densidade estomática

Segundo a análise de variância, foram observados efeitos significativos na variável densidade estomática na face adaxial promovidos pelo regime hídrico (P<0,05), cultivar (P<0,01) e época (P<0,01), entretanto nenhuma interação significativa foi encontrada entre essas causas de variação. E para densidade estomática na face abaxial, efeitos significativos foram observados para época (P<0,01), e para as interações cultivar x época (P<0,01), regime hídrico x época (P<0,05), e para a interação tripla (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância da densidade de estômatos nas superfícies adaxial e abaxial de cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		Densidade estomática adaxial (mm^2)	Densidade estomática abaxial (mm^2)
Cultivar	3	$10,857^{**}$	$2,957^{ns}$
Regime hídrico	1	$14,004^{*}$	$7,386^{ns}$
Época	2	$16,326^{**}$	$41,617^{**}$
Cultivar x Regime hídrico	3	$3,409^{ns}$	$5,040^{ns}$
Cultivar x Época	6	$1,784^{ns}$	$8,659^{**}$
Regime hídrico x Época	2	$1,886^{ns}$	$9,213^{*}$
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	$0,807^{ns}$	$5,589^{*}$
CV (%)		9,94	7,39

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Apesar de nenhuma interação para densidade estomática na face adaxial, observa-se aumento desses valores nas cultivares SP81-3250 e SP83-2847 em resposta à deficiência hídrica, sendo esse efeito mais pronunciado aos 56 DAT. Para a cultivar SP81-3250 sob deficiência hídrica aos 0 DAT a densidade estomática foi de 77 mm^2 e aos 56 DAT esse valor aumentou para 103 mm^2, e para a cultivar SP83-2847 a densidade era de 85 mm^2 aos 0 DAT e aumentou para 101mm^2 aos 56 DAT. Já para as cultivares RB855453 e RB72454 não houve

diferença significativa entre os tratamentos regime hídrico ideal e estresse por deficiência hídrica (Figura 5).

Como a quantidade de estômatos de uma folha é definida no decorrer do processo de crescimento (KOUWENBERG et al., 2004), as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 sob restrição de disponibilidade hídrica responderam com aumento da densidade estomática. De fato, o aumento na densidade estomática é geralmente observado em folhas de plantas expostas a estresses ambientais, e pode ser um indicativo de mecanismo de adaptação das plantas às condições de baixa disponibilidade hídrica no solo (ALMEIDA, 2001).

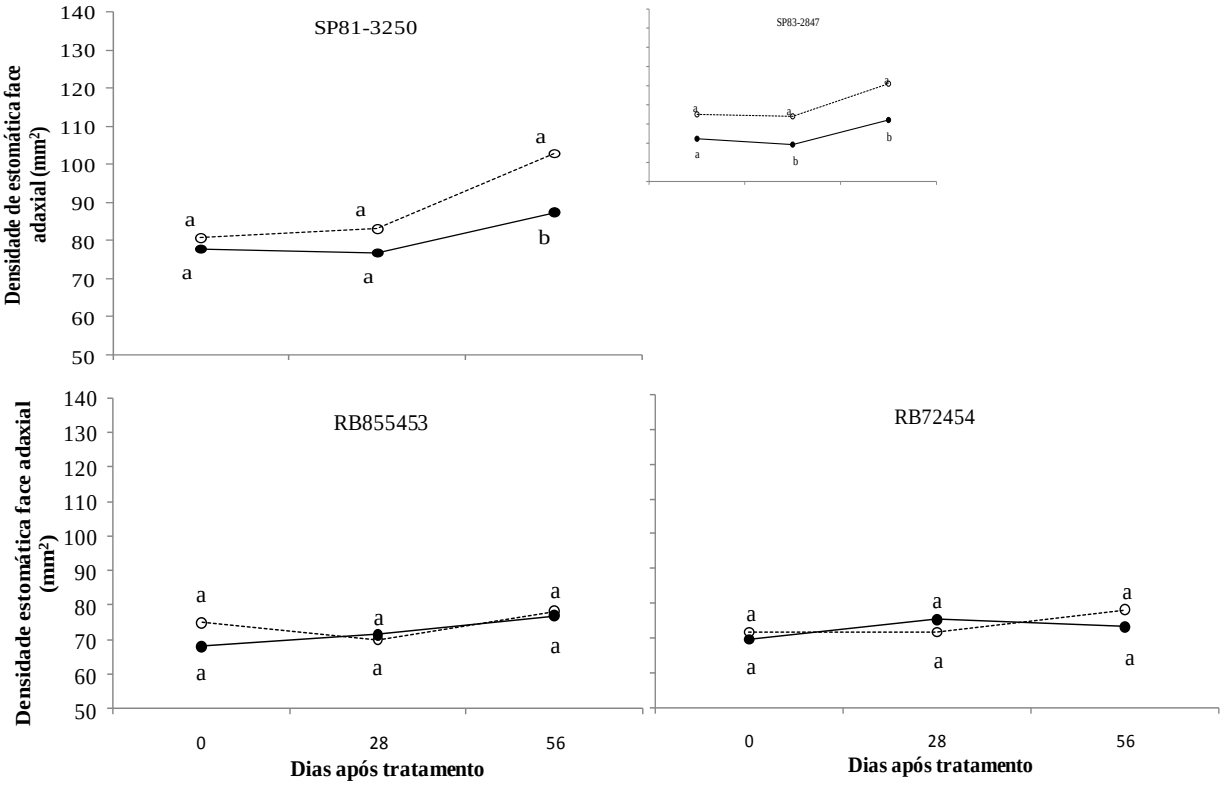


Figura 5. Densidade estomática da face adaxial de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─●─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Da mesma forma, o aumento da densidade estomática foi observado aos 56 DAT na face abaxial das cultivares SP81-3250 e SP83-2847 sob deficiência hídrica. Aos 0 DAT a cultivar SP81-3250 apresentava 141 mm^2 de densidade estomática, e aos 56 DAT esse valor aumentou para 228 mm^2, enquanto na cultivar SP83-2847 a densidade foi de 145mm^2 aos 0

DAT e aumentou para 211mm^2 aos 56 DAT. E, por sua vez, nenhuma resposta foi observada nas cultivares RB855453 e RB72454 (Figura 6).

De acordo com Larcher (2000), plantas tolerantes reagem à deficiência hídrica lançando novas folhas com maior densidade estomática, porém esses estômatos têm menor tamanho. Com estômatos menores, o ar à sua volta fica mais úmido e a resistência à movimentação do ar da camada imediatamente adjacente à epiderme aumenta, o que evita grandes danos às trocas gasosas. Assim, a densidade estomática está também relacionada com o tamanho, posição e controle de abertura dos estômatos (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997), o que afeta a absorção de CO_2. Fahn & Cutler (1992) identificaram algumas dessas características (menor área foliar, maior densidade estomática, maior espessura total e do parênquima paliçádico e presença de camadas sub-epidérmicas e de tecido esclerenquimático) como estratégias para aumentar a resistência cuticular contra a perda de água.

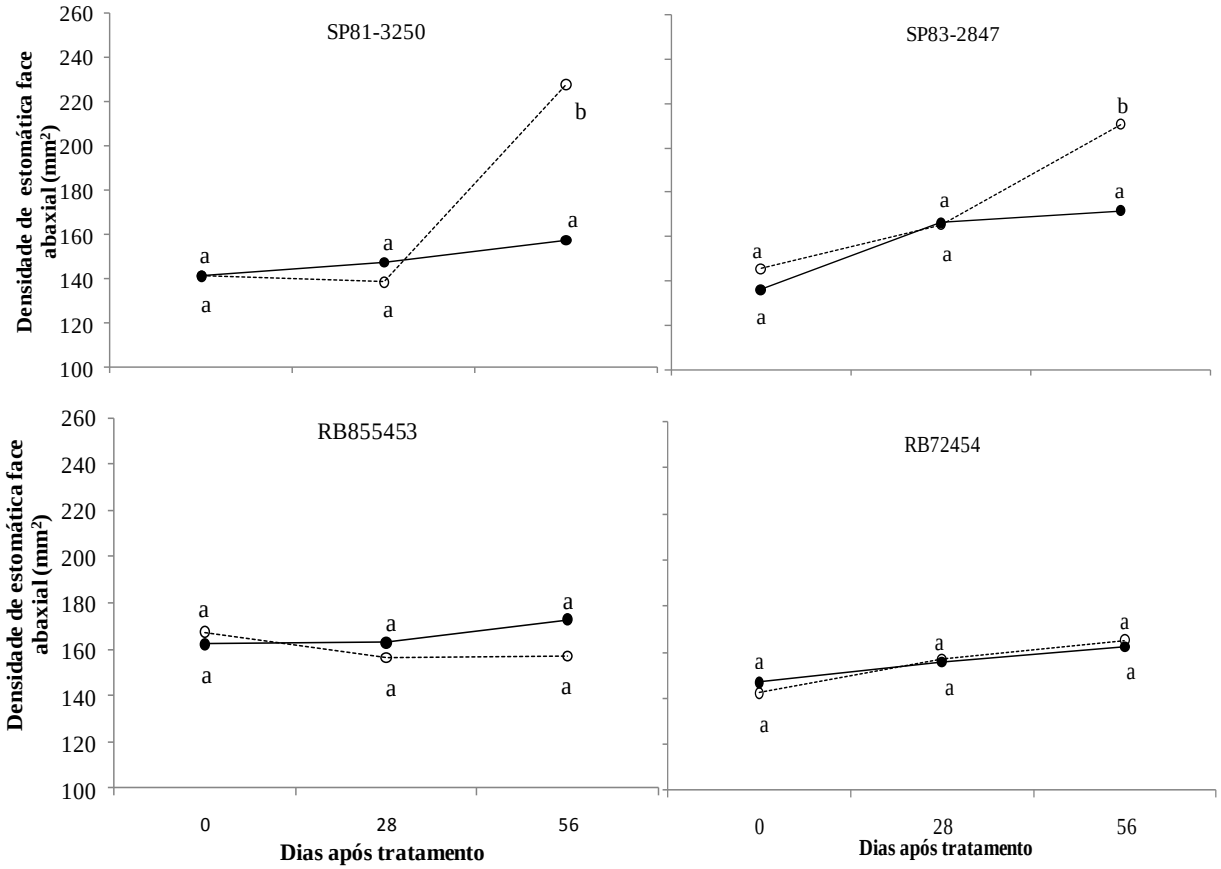


Figura 6. Densidade estomática da face abaxial de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, —•—) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.2 Avaliações Fisiológicas

6.2.1 Condutância estomática

As causas de variação cultivar, regime hídrico e época, além de todas as interações envolvendo esses fatores, tiveram efeito significativo (P<0,01) na condutância estomática (Tabela 5).

Tabela 5**.** Análise da condutância estomática (g_s) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da Variação	**G.L.**	**Valores de *F***
		g_s (mmol.m^{-2}s^{-1})
Cultivar	3	9,825**
Regime hídrico	1	424,549**
Época	2	140,305**
Cultivar x Regime hídrico	3	17,270**
Cultivar x Época	6	8,610**
Regime hídrico x Época	2	63,537**
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	11,734**
CV (%)		9,72

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Entretanto, essa variável não se caracterizou como confiável para diferenciação de cultivares de cana-de-açúcar. As cultivares SP83-2847 e RB855453, que haviam tido comportamento contrastantes para a maioria das variáveis avaliadas, apresentaram resposta semelhante aos 56 DAT, isto é, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos sob o regime hídrico ideal e deficiência hídrica (Figura 7). Por outro lado, as cultivares SP81-3250 e RB72454, que da mesma forma mostraram-se contrastantes em grande parte das variáveis avaliadas, apresentaram grande redução da condutância estomática promovida pela deficiência hídrica em comparação com o tratamento sem deficiência.

Gonçalves (2008) também observou efeito de cultivar, regime hídrico e época de avaliação em experimento utilizando quatro cultivares em três níveis de estresses por deficiência hídrica. Nesses resultados, observou-se na cultivar RB72454 a maior redução na

condutância estomática, entretanto na cultivar RB98710, também classificada como sensível à deficiência hídrica, a redução na condutância estomática foi equivalente às das cultivares tolerantes, SP79-1011 e RB92579.

Algumas características de tolerância à deficiência hídrica em cana-de-açúcar possuem grande variação genotípica (INMAN-BAMBER et al., 2005). Ainda, cultivares de mesma classificação quanto à tolerância podem mostrar diferentes respostas ao nível morfológico, fisiológico e moleculares, em virtude de muitas características em cana-de-açúcar terem controle multigênico (RODRIGUES et al., 2009).

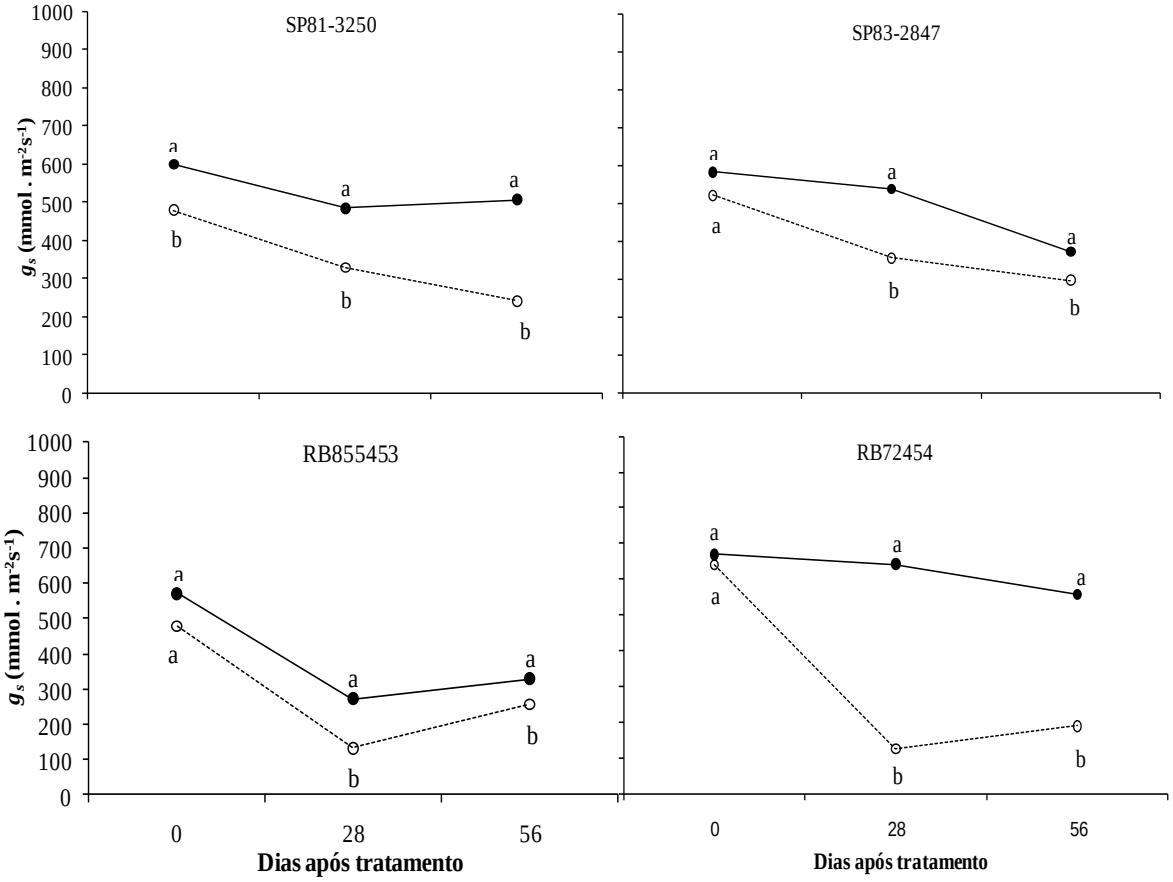


Figura 7. Condutância estomática de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─●─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II e estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD

Em relação à máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II, a análise de variância revelou efeito significativo de cultivar (P< 0,05), regime hídrico (P< 0,01), e época (P< 0,01), além das interações entre cultivar x regime hídrico (P< 0,05) e regime hídrico x época (P< 0,01) (Tabela 6).

Já a estimativa do conteúdo de clorofila teve efeito altamente significativo de todos os fatores e de suas interações.

Tabela 6. Análise de variância da máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) e conteúdo de clorofila em índice SPAD (CE) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		F_v/F_m	CE (unidade)
Cultivar	3	9,114*	27,591**
Regime hídrico	1	114,353**	128,175**
Época	2	37,473**	70,051**
Cultivar x Regime hídrico	3	7,105*	19,291**
Cultivar x Época	6	3,136^{ns}	14,260**
Regime hídrico x Época	2	25,287**	37,406**
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	3,029^{ns}	6,257**
CV (%)		3,10	8,48

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

A variável fluorescência da clorofila *a* (neste caso, máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II, F_v/F_m) foi afetada negativamente pela deficiência hídrica em todas as cultivares, entretanto a redução nos valores foi maior nas cultivares RB855453 (0,80, 0,69 e 0,66 aos 0, 28 e 56 DAT, respectivamente) e RB72454 (0,80, 0,63 e 0,68 aos 0, 28 e 56 DAT, respectivamente) , enquanto as cultivares SP81-3250 (0,80, 0,73 e 0,75 aos 0, 28 e 56 DAT, respectivamente) e SP83-2847 (0,80, 0,75 e 0,77 aos 0, 28 e 56 DAT, respectivamente) tiveram pouco efeito sobre esses valores (Figura 8). De acordo com Silva et al. (2007), a habilidade de manter altos valores de F_v/F_m sob condições de estresse promovido por

deficiência hídrica indica que a planta mantém alta eficiência do uso da radiação pela fotoquímica e assimilação de carbono. Ainda, Colom e Vazzana (2003) relataram correlação positiva entre tolerância à seca e altos valores de F_v/F_m assim como entre susceptibilidade à seca e baixos valores de F_v/F_m.

Portanto, a técnica da fluorescência da clorofila *a* mostrou ser confiável em diferenciar entre cultivares de cana-de-açúcar tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica, além de ser não destrutiva e de fácil obtenção por meio de fluorometria.

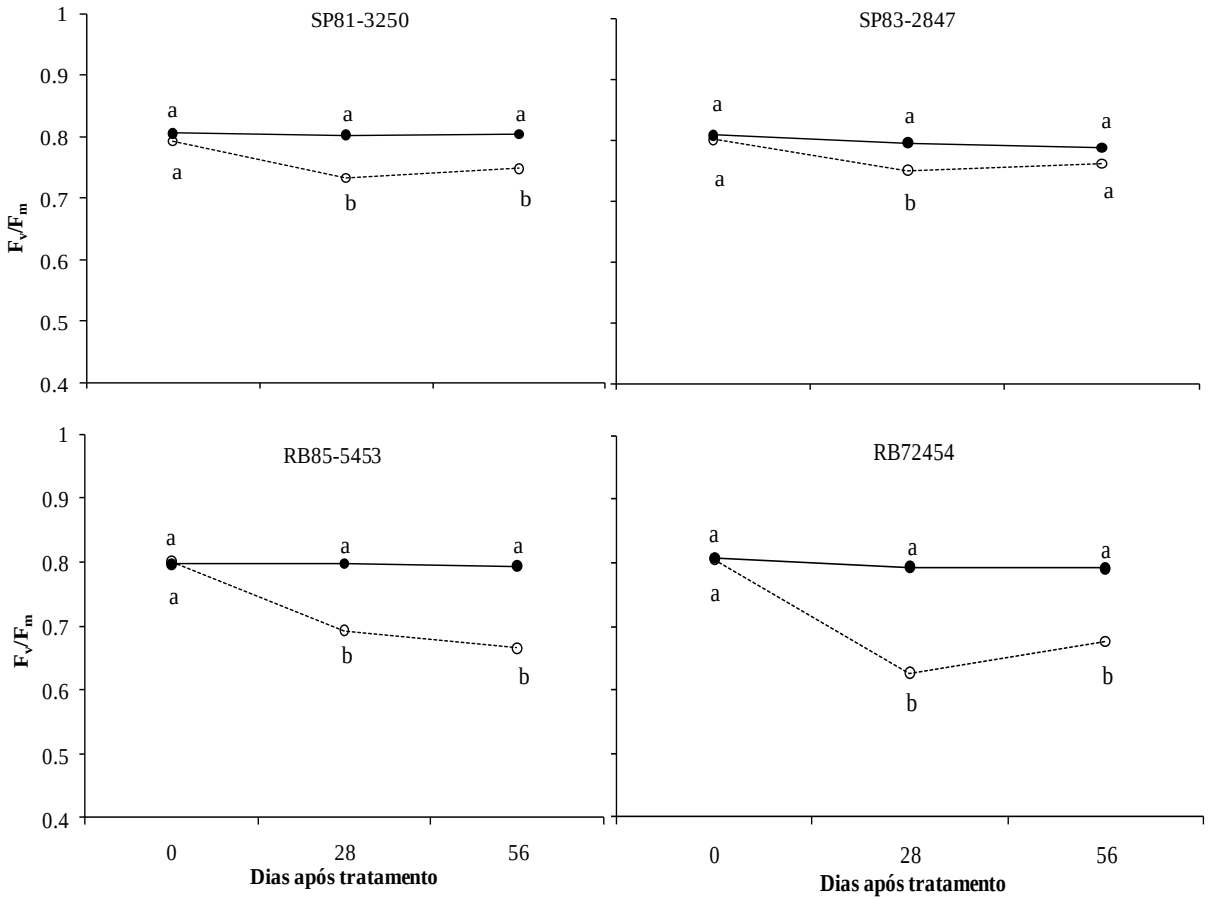


Figura 8. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, —•—) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Na variável estimativa do conteúdo de clorofila, avaliada pelo índice SPAD, foi observado o mesmo padrão de resposta sob deficiência hídrica obtido para fluorescência da clorofila *a* (Figura 9), ou seja, as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 tiveram pouca redução

nesse índice, enquanto as cultivares RB855453 e RB72454 tiveram grande redução nos valores de índice SPAD. Assim, essa variável também pode ser considerada uma ferramenta efetiva para diferenciar cultivares de cana-de-açúcar tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica.

Degradação da clorofila é uma das consequências da deficiência hídrica, que resulta na perda da cor verde das folhas (LONG et al., 1994). O uso dessa técnica também é de fácil obtenção e vem se mostrando confiável para diferenciar entre plantas tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica (O'NEILL et al., 2006).

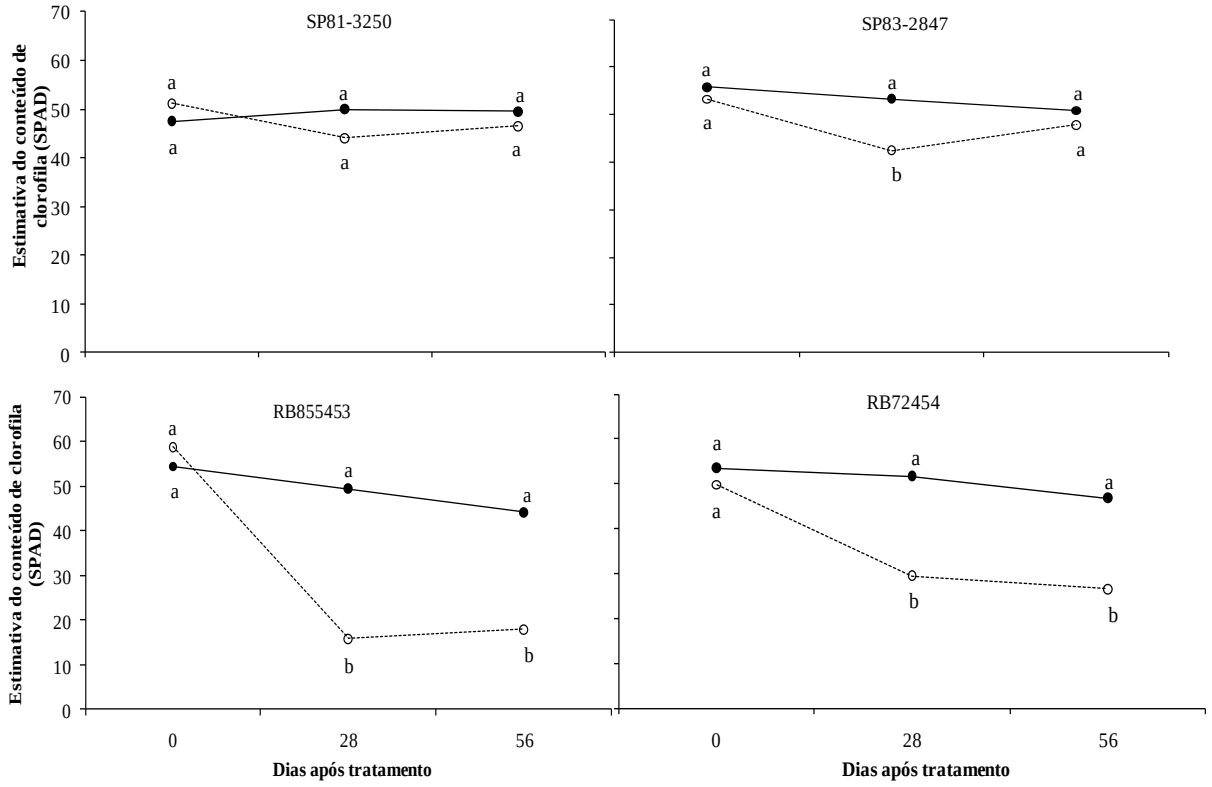


Figura 9. Estimativa do conteúdo de clorofila de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─●─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.2.3 Teor relativo de água e potencial hídrico foliar

A análise de variância revelou efeito significativo sobre teor relativo de água (TRA) das causas de variação cultivar (P< 0,05), regime hídrico (P< 0,01) e época de avaliação (P< 0,01), e das interações cultivar x regime hídrico (P< 0,05) e regime hídrico x época de avaliação (P< 0,01) (Tabela 7).

Enquanto que para potencial hídrico foliar (Ψw), todas as causas de variação, assim como suas interações promoveram efeito altamente significativo.

Tabela 7. Análise do teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar (Ψw) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		TRA (%)	Ψw (Mpa)
Cultivar	3	1,988*	12,772**
Regime hídrico	1	140,694**	293,947**
Época	2	16,186**	93,713**
Cultivar x Regime hídrico	3	2,180*	5,928**
Cultivar x Época	6	1,536^{ns}	7,207**
Regime hídrico x Época	2	19,183**	63,557**
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	1,314^{ns}	3,353**
CV (%)		3,10	8,48

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

As condições hídricas dos vegetais estão correlacionadas com o teor de água nas folhas, e uma maneira de expressar a deficiência de água nesses tecidos é medir o status de energia da água, ou seu potencial total (NOGUEIRA et al. 2000). Assim, avaliações de TRA e Ψw foliar têm sido bem responsivos e correlacionados com tolerância à deficiência hídrica (COLOM & VAZZANA, 2003; SASSAKI & MACHADO, 1999; SILVA et al., 2007).

Houve queda do TRA na folha nas quatro cultivares submetidas à deficiência hídrica (Figura 10). Entretanto, ao final do período do tratamento de estresse, as cultivares SP81-3250 (TRA = 85,7%) e SP83-2847 (TRA = 82,8%) apresentaram valores finais próximos aos das cultivares RB855453 (TRA = 83,5%) e RB72454 (TRA = 81,3%), revelando capacidade semelhante dos dois grupos em manter água nos tecidos.

Apesar dos resultados de TRA deste trabalho não terem sido muito bem relacionados com o grau de tolerância das cultivares, para Silva et al. (2007), TRA na folha é um indicador chave do grau de hidratação da célula e tecidos vegetais, o qual é crucial para ótimo funcionamento dos processos fisiológicos e de crescimento. E a manutenção de relativamente alto valor de TRA durante a deficiência hídrica é um indicativo de tolerância (COLOM & VAZZANA, 2003). Ainda, o TRA na folha é considerado o indicador mais seguro do status hídrico das plantas (SINCLAIR & LUDLOW, 1985), ainda que destrutivo.

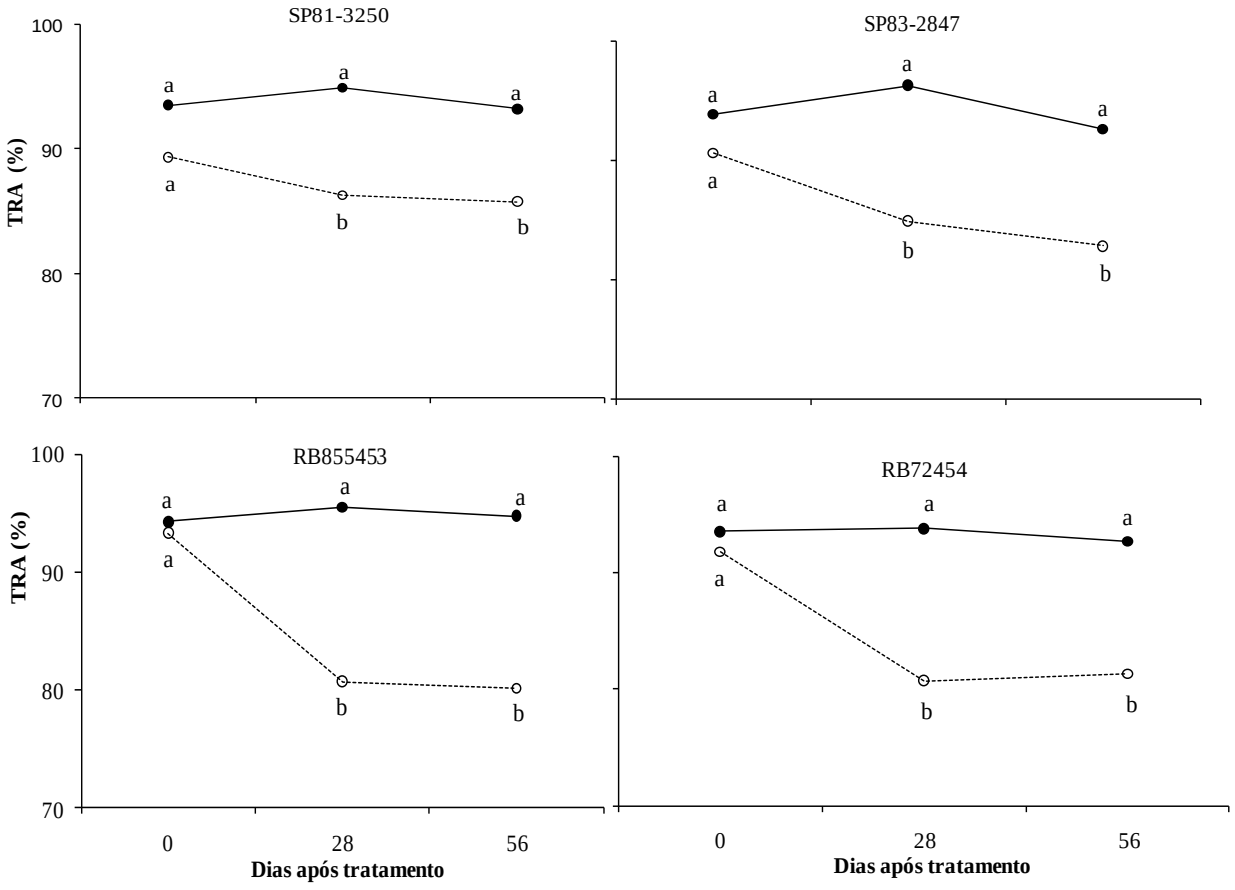


Figura 10. Teor relativo de água em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, —•—) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

O Ψw foliar reflete as condições da dinâmica do processo de transporte no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo-se no principal componente responsável pelo fluxo de

água na planta. Essa variável acompanhou o padrão de resposta do TRA, ou seja, houve decréscimo em todas as cultivares submetidas à escassez de água (Figura 11). Os valores do Ψw obtidos aos 28 DAT foram nítidos para diferenciar as cultivares tolerantes e susceptíveis, mantendo-se nesta tendência aos 56 DAT, de tal maneira que as cultivares SP81-3250 (-2,05 MPa e -2,11 MPa aos 28 e 56 DAT, respectivamente) e SP83-2847 (-1,67 MPa e -2,43 MPa aos 28 e 56 DAT, respectivamente) tiveram capacidade de manter seus valores de Ψw maiores que as cultivares RB855453 (-3,02 MPa e -3,09 MPa os 28 e 56 DAT, respectivamente) e RB72454 (-2,89 MPa e -2,74 MPa aos 28 e 56 DAT, respectivamente) sob deficiência hídrica. Desta maneira, o Ψw foliar foi eficiente em distinguir as cultivares de cana-de-açúcar à deficiência hídrica, podendo ser considerado uma ferramenta útil para caracterizar genótipos em relação a esse estresse.

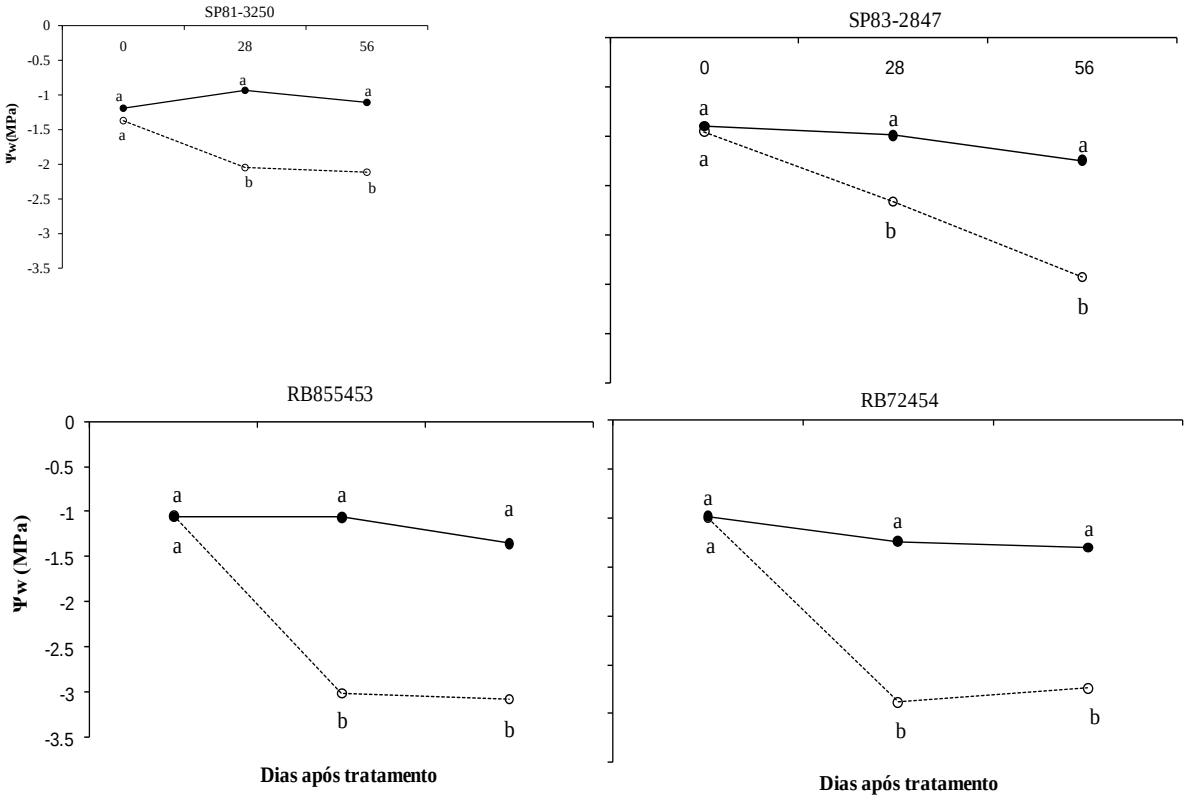


Figura 11. Potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, ─●─) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.2.4 Conteúdo de clorofila *a*, conteúdo de clorofila *b* e razão clorofila *a*/*b*

A análise de variância para conteúdo de clorofila *a* mostra efeito altamente significativo das causas de variância regime hídrico, época, e para a interação entre regime hídrico x época. Já para conteúdo de clorofila *b* houve efeito significativo (P< 0,05) para regime hídrico, e para as interações cultivar x regime hídrico e regime hídrico x época de avaliação. No entanto, para a razão clorofila *a/b* nenhuma causa de variação promoveu efeito significativo nesta variável.

Tabela 8. Análise do conteúdo de clorofila *a*, conteúdo de clorofila *b* e a relação clorofila *a/b* em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	G.L.	Valores de *F*		
		CC*a* (µg.cm^{-2})	CC*b* (µg.cm^{-2})	CC*a*/CC*b*
Cultivar	3	5,654^{ns}	5,1546^{ns}	6,175^{ns}
Regime hídrico	1	39,488**	19,826*	7,687^{ns}
Época	2	14,904**	8,442^{ns}	1,931^{ns}
Cultivar x Regime hídrico	3	6,803^{ns}	7,521*	4,401^{ns}
Cultivar x Época	6	0,447^{ns}	0,336^{ns}	0,944^{ns}
Regime hídrico x Época	2	23,964**	9,809*	8,786^{ns}
Cultivar x Regime hídrico x Época	6	1,703^{ns}	1,182^{ns}	2,025^{ns}
CV (%)		10,96	12,43	5,34

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

O conteúdo de clorofila nas folhas é uma variável fundamental para a compreensão das respostas de uma planta ao ambiente em que ela está inserida, e, portanto, é um indicador em potencial do grau de estresse, pois tem papel direto no processo fotossintético de captação de luz e início do transporte de elétrons (ZARCO-TEJADA et al., 2002). O potencial fotossintético é diretamente proporcional à quantidade de clorofila presente no tecido foliar (SCHLEMMER et al., 2005).

Apesar de Pardo & Delgado (1989), em cana-de-açúcar, e Rong-hua et al. (2006), em cevada, terem relatado sobre a diferenciação de cultivares sob deficiência hídrica por meio do

conteúdo de clorofila, em que a cultivar tolerante manteve maior conteúdo de clorofila que a cultivar susceptível, o tratamento de estresse por limitação hídrica promoveu grande redução tanto de clorofila *a* (Figura 12) quanto de *b* (Figura 13) nas cultivares SP81-3250 e RB72454. Por outro lado, menor redução foi observada nas cultivares SP83-2847 e RB855453.

Ainda que, conteúdo de clorofila das folhas é bem correlacionado com índice SPAD (MARKWELL et al., 1995), as respostas neste trabalho não foram coincidentes. Schlemmer et al. (2005) notaram que o uso do aparelho SPAD-502 em tecido de milho que sofreram estresse por deficiência hídrica subestimou o conteúdo de clorofila, o que levou a indicar que a deficiência hídrica não havia afetado o conteúdo de clorofila.

Devido à variabilidade das respostas para conteúdo de clorofila, e alta relação entre índice SPAD em produção de matéria seca de parte aérea (Figura 14) e de raízes (Figura 15), há indicação que a variável estimativa do conteúdo de clorofila pelo índice SPAD possui maior confiabilidade para distinguir cultivares tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica.

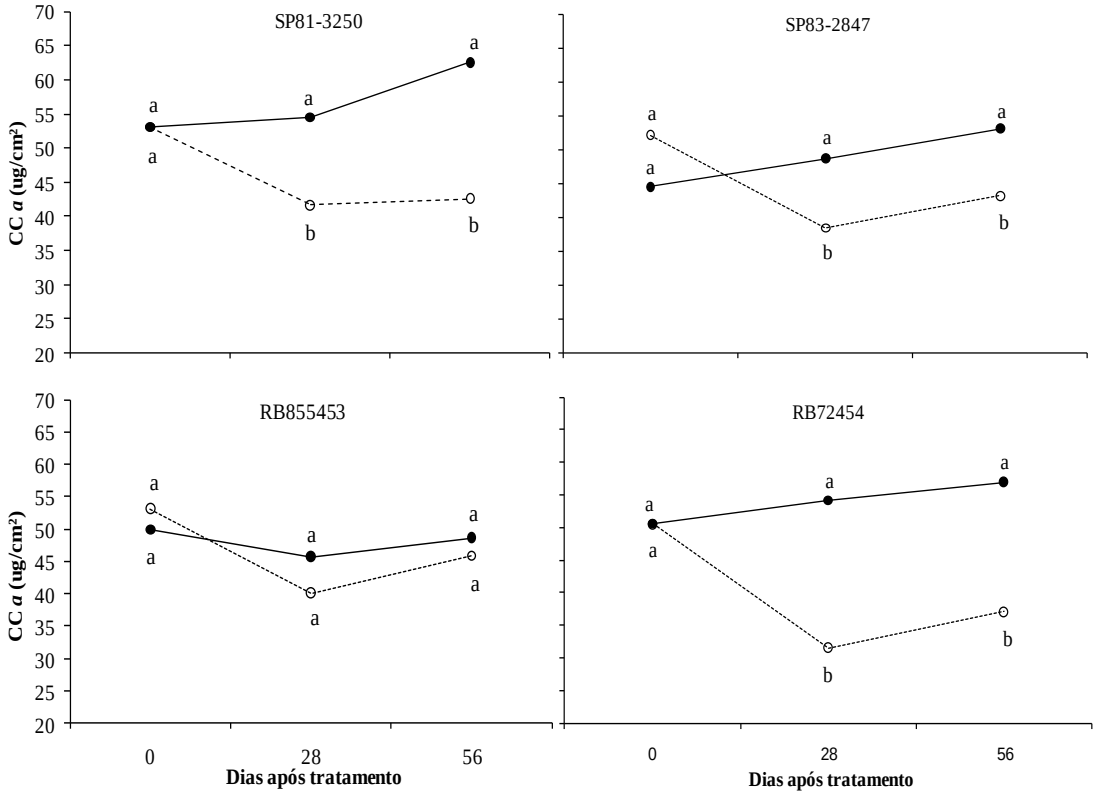


Figura 12. Conteúdo de clorofila *a* em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, —●—) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

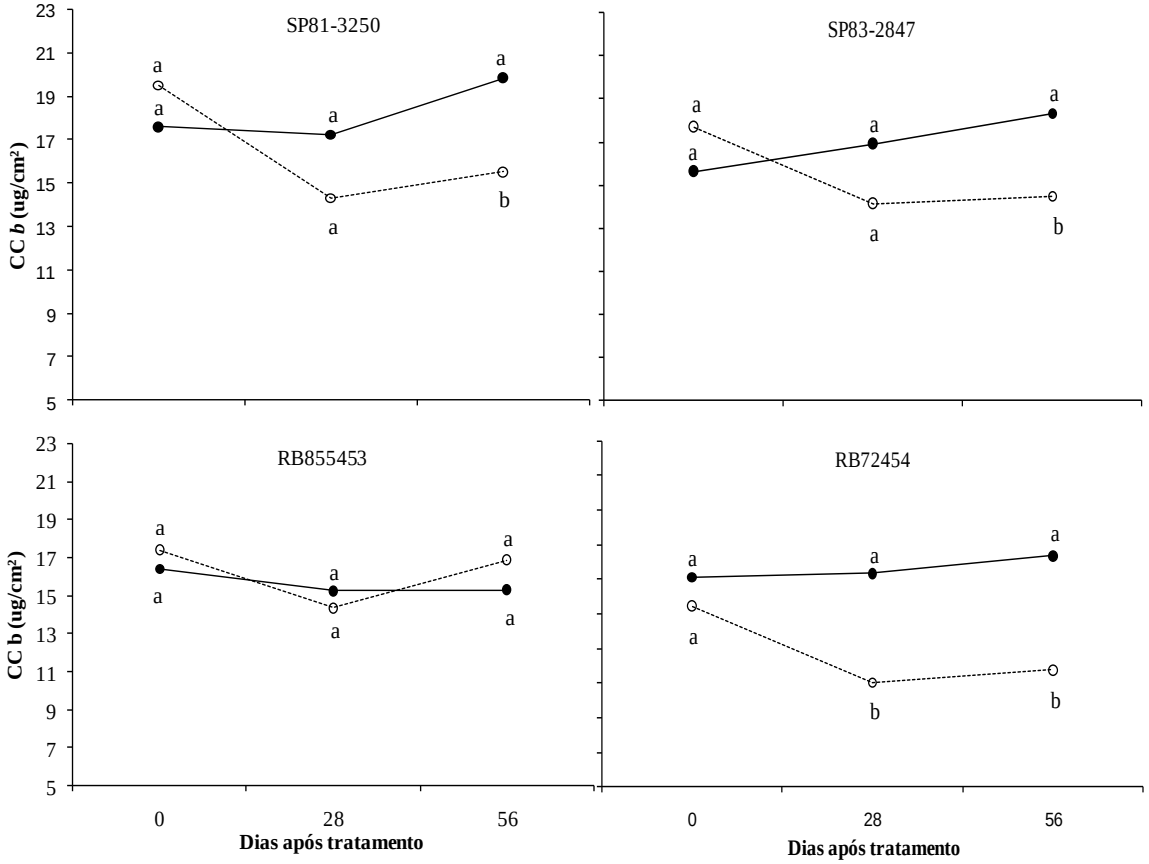


Figura 13. Conteúdo de clorofila *b* em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D, —●—) e à deficiência hídrica (+D, --o--), aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.3 Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes

De acordo com a análise de variância, verifica-se efeito altamente significativo da causa da variação regime hídrico sobre a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), não havendo influência das cultivares nessas respostas (Tabela 9).

No entanto, para massa da matéria seca das raízes (MSR), houve efeito significativo de todas as variáveis analisadas (Tabela 9).

Tabela 9. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivares, regimes hídricos e épocas de avaliação. Jaú, SP. 2009.

Causas da variação	**G.L.**	**Valores de *F***	
		MSPA (g)	MSR(g)
Cultivar	3	4,487^{ns}	10,639*
Regime hídrico	1	626,448**	133,284**
Cultivar x Regime hídrico	3	1,950^{ns}	20,170**
CV (%)		15,90	12,41

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo (P>0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Tanto a produção de matéria de massa seca da parte aérea como das raízes são variáveis que permitem inferir sobre a translocação orgânica, facilitando a compreensão do desempenho vegetal em termos de produtividade (BARBOSA, 1991), e a baixa disponibilidade hídrica pode implicar em reduções no acúmulo de matéria seca nessas regiões (SADRAS & MILROY, 1996).

A deficiência hídrica reduziu as massas de matéria seca da parte aérea nas quatro cultivares, entretanto foram verificadas as menores produções, portanto as maiores reduções, nas cultivares RB855453 (197,33g) e RB72454 (197,32g) quando comparadas a SP81-3250 (324,67g) e SP83-2847 (342,33g) (Figura 14).

Arias et al. (2006) descreveram que há alta correlação entre produção de matéria seca e consumo de água em cana-de-açúcar, também observaram que reduções nas variáveis de crescimento da planta em função da menor disponibilidade hídrica, e que a massa seca da parte aérea está relacionada com a área foliar, pois são responsáveis por 90% da massa seca acumulada pelas plantas, resultante da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004).

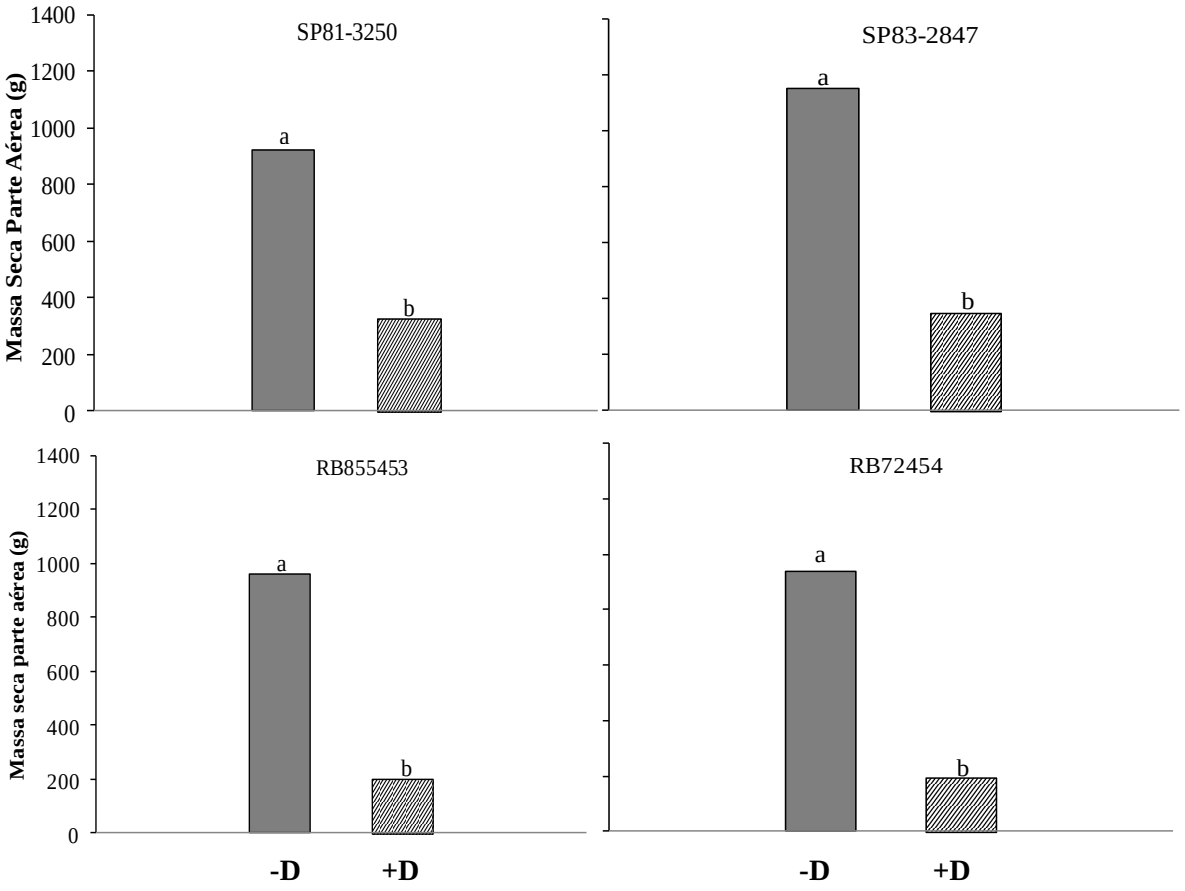


Figura 14. Massa de matéria seca da parte aérea em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D) e à deficiência hídrica (+D) aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Considerando a massa da matéria seca das raízes, a deficiência hídrica também reduziu a produção de raízes nas quatro cultivares, mas observa-se que as cultivares RB855453 (42,18g) e RB72454 (33,59g) apresentaram menor produção do que SP81-3250 (52,25g) e SP83-2847 (49,04g) (Figura 15). Santos e Carlesso (1998) e Robertson et al. (1999) afirmaram que a deficiência hídrica afeta o rendimento final da cultura, pois não ocorre bom desenvolvimento das estruturas vegetativas das plantas.

Segundo Aguilera et al. (1999), o grau de limitação promovido por um estresse ambiental sobre a produção de biomassa varia entre genótipos de uma mesma espécie. Assim,

a habilidade de manter processos fisiológicos chaves sob escassez de água é um potencial indicativo de manter também a produtividade.

Assim, a habilidade das cultivares SP81-3250 e SP83-2847 em produzir maiores massas de matéria seca da parte aérea e das raízes sob deficiência hídrica pode conferir maior grau de tolerância sobre RB855453 e RB72454.

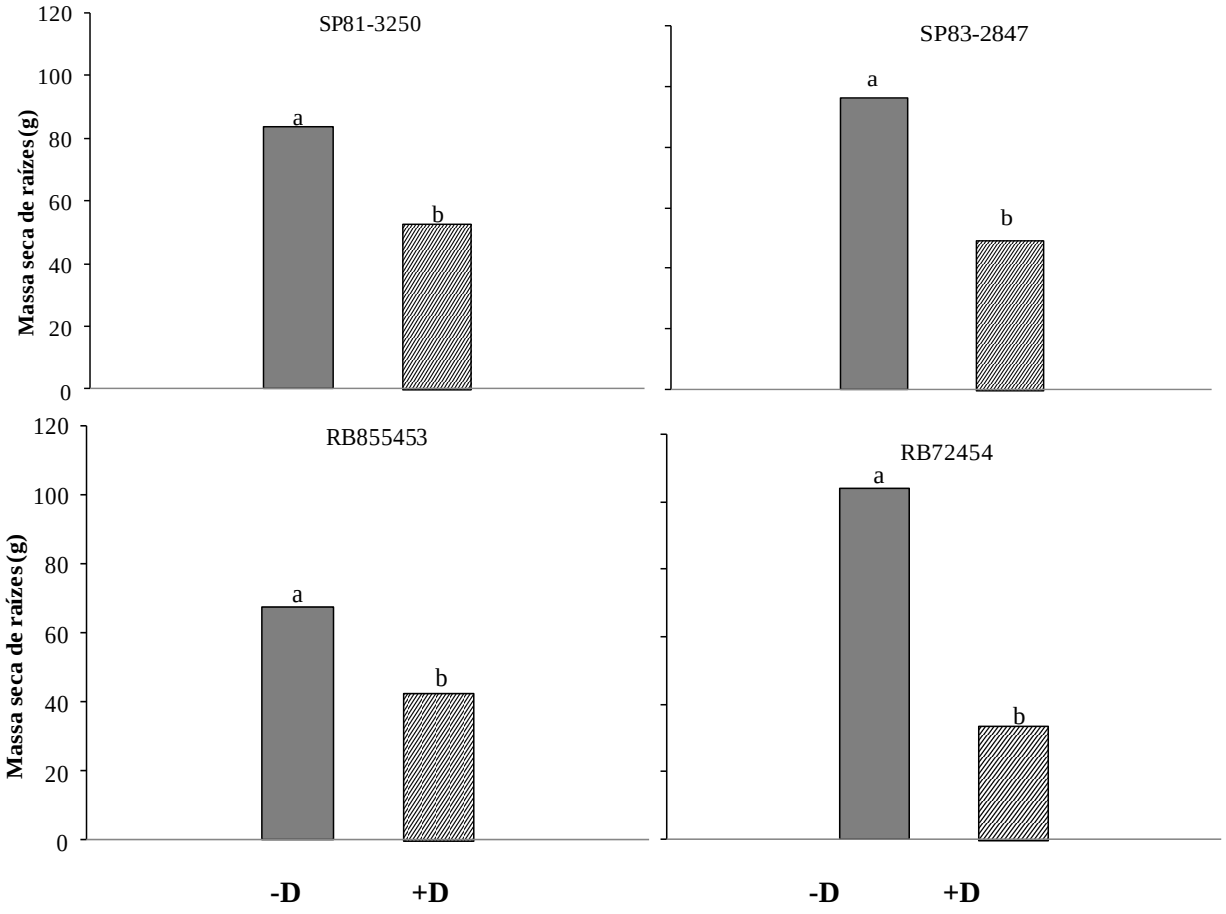


Figura 15. Massa de matéria seca das raízes em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (-D) e à deficiência hídrica (+D) aos 0, 28, 56 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

7 CONCLUSÕES

As variáveis morfológicas da cana-de-açúcar: altura do colmo, número de folhas verdes, área foliar e densidade estomática nas superfícies adaxial e abaxial foram eficientes em diferenciar cultivares tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica;

Em relação às variáveis fisiológicas, a máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), a estimativa de conteúdo de clorofila (índice SPAD) e o potencial hídrico foliar foram confiáveis para diferenciar as cultivares tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica;

Para cana-de-açúcar, as diferenças entre o tratamento testemunha e o de deficiência hídrica são mais pronunciadas e de fácil verificação após o maior período sob falta de água. Neste caso, o período de 56 dias após a implementação do estresse permitiu melhores respostas para identificar tanto diferenças morfológicas quanto fisiológicas dentro de cultivares;

Sob deficiência hídrica, a produção de matéria seca de parte aérea e de raízes foi maior nas cultivares SP81-3250 e SP83-2847, o que confirmou seus potenciais de produção sob limitação hídrica e suas classificações como tolerantes. Por outro lado, as cultivares RB855453 e RB72454 foram classificadas como susceptíveis à escassez de água devido à menor produção de parte aérea e de raízes.

8 REFERÊNCIAS

AGUILERA, C.; STIRLING, C. M.; LONG, S. P. Genotypic variation within *Zea mays* for susceptibility to and rate of recovery from chill-induced photoinhibition of photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, Spain, v. 106, n. 4, p. 429-436, 1999.

ALMEIDA, L. P. **Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de** *Cryptocarya aschersoniana* **Mez. sob diferentes níveis de radiação.** 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Edição do autor. 2002. 272 p.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.

ARIAS, M. I. B; DELGADO, E. O.; CARMENATE, R. V. **Cambios fisiológicos de la caña de azúcar ante el déficit hídrico**. Mexico: Universidad Autónoma Chapingo, 1996. p. 135.

AZEVEDO NETO, A. D. et al. 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.

BARBOSA, D. C. A. Crescimento de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan (Leguminosae – Mimosoideae), **Phyton**, Buenos Aires, v. 52, n. 1, p. 51-62, 1991.

BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.

BJORKMAN, O. Responses to different quantum flux densities. In: LANGE, O. L. et al. **Physiological plant ecology I**: responses to physical environment. Berlin: Springer-Verlag, 1981. p. 57-107.

BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 56, p. 187-218, 1996.

BRESTIC, M. et al. 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.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento de plantas:** princípios e procedimentos. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

BUSSOTTI, F. et al. Leaf morphology and macronutrients in broad-leaved tress in central Italy. **Trees** – Structure and Function, Berlin, v. 14, p. 361-368, 2000.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32 p.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila A:** considerações teóricas e aplicações práticas. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_1112121492.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2010.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de culturas extrativistas:** cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138 p.

CASTRO-DÍEZ, P. et al. Leaf morphology and leaf chemical compositions in three *Quercus* (Fagaceae) species along a rainfall radient in NE Spain. **Trees –** Structure and Function, Spain, v. 11, p. 127-134, 1997.

CHAGAS, R. M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 1-16, 1991.

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. **Acompanhamento de safra brasileira**: cana-de-açúcar. Primeiro levantamento, abril de 2010. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010. 17 p.

DEDEMO, G. C. **Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em duas cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Genética em Melhoramento de Plantas)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

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., 1996, Bangkok. **Proceedings…** Bangkok: ISSCT, 1996. p. 418-435.

FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, v. 13, p. 178, 1992.

FERREIRA, E. A. **Anatomia quantitativa, micromorfologia e sensibilidade a herbicidas em genótipos de cana-de-açúcar**. 2005. 83 f. Dissertação (Mestrado em Botânica)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

FRACHEBOUD, Y. **Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis**. Institute of Plant Sciences, Zurich: 2006. Disponível em: <http://www.ab.ipw.agrl.ethz.ch/~yfracheb/flex.htm>. Acesso em: 13 set. 2010.

GÁBORCÍK, N. Relationship between contents of Chlorophyll (*a*+*b*) (SPAD values) and nitrogen of some temperature grasses. **Photosynthetica**, Slovakia, v. 41, n. 2, p. 285-287, 2003.

GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedade de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

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

GRAÇA, J. P. **Avaliação de parâmetros fisiológicos em cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico.** 2009. 52 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

HENDRY, G. A. F; PRICE, A. H. Stress indicators: chorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Eds.) **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 148-152.

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

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, 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.

INMAN-BAMBER, N.G. et al. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, South Africa, v. 59, p. 13-26, 2008.

JAMAUX, I.; STEINMETZ, A.; BELHASSEN, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. **New Phytologist**, Oxford, v. 137, p. 117-127, 1997.

JAMIESON, P. D. et al. Effects of water deficits on evapotranspiration from barley. **Agricutural and Forest Meteorology**, New Zealand, v. 76, p. 41-58, 1995.

JIFON, J. L.; SYVERTSEN, J. P.; WHALEY, E. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in *Citrus* sp. leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science,** Amsterdam, v. 130, p. 152-158, 2005.

JONES, H. G. **Plant and microclimate**: a quantitative approach to environmental plant physiology. 2. ed. Cambridge: University Press, 1992. 428 p.

KELLING, C. R. S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

KOONJAH, S. S. et al. A quantitative study of water stress effect on sugarcane photosynthesis. **Proceedings South African Sugar Technology Association**, South Africa, v. 80, p 148-158, 2006.

KOUWENBERG, L. L. R.; KÜRSCHNER, W. M.; VISSCHER, H. Changes in stomatal frequency and size during elongation of *Tsuga heterophyla* Needles. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94, p. 561-569, 2004.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Physiology of woody plants. San Diego: **Academic Press**, San Diego, 1997. 657 p.

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

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.

LIMA, A. L. S et al. Nitrogenous compounds, phenolic compounds and morphological aspects of leaves: comparison of deciduous and semideciduous arboreal legumes. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 63, n. 1, p. 40-45, 2006.

LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, New York, v. 45, p. 633-662, 1994.

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.

MACHADO, R. S. **Respostas fisiológicas de genótipos de cana-de-açúcar ao déficit hídrico imposto na fase inicial de desenvolvimento**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)-Instituto Agronômico de Campinas - Campinas, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MANSUR, R. J. C. N.; BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton,** Buenos Aires, n. 68, p. 97-106, 2000.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J. C.; MITCHELL, J. L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research,** Dordrecht, v. 46, p. 467-472, 1995.

MAXWELL C.; JOHNSON, G. M. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 659-668, 2000.

MAJUMDAR, R. K.; CHAKIDER, B. P.; MUKHERJEE, S. K. Selection and classification of mango root stocks in the nursery stage. **Acta Horticulturae**, Indian, v. 24, p. 101-106, 1969.

NOGUEIRA, R. J. M. C. ; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1331-1342, 2000.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 681-687, 2006.

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.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e produção vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 104 p.

PARDO, J.; DELGADO, E. O. Efecto del estrés hídrico sobre los pigmentos fotosintéticos en dos variedades de caña de azúcar. **Ciencias de la agricultura**, Santo Domingo, p. 96-100, 1989.

PARSONS, L. R.; BANDARANAYAKE, W. N. Performance of a new capacitance soil moisture probe in sandy soil. **Soil and Water Management & Conservation**, Florida, v. 73, n. 4, p. 1378-1385, 2009.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998. 150 p.

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

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.

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 Agronony & Crop Science**, v. 185, p. 83-89, 2000.

RAO, C. M.; KUMAR, M. V.; REDDY, L. K. Management of sugarcane clones under limited moisture situations (drought) at formative stage. **Indian Sugar**, Indian, p. 949-953, 2005.

ROBERTSON, M. J. et al. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, Australia, v. 64, p. 211-227, 1999.

RODRIGUES, F. A.; LAIA, M. L.; ZINGARETTI, S. M. Analysis of gene expression profiles under water stress in tolerant and sensitive sugarcane plants. **Plant Science**, Irlande, v. 176, p. 286-302, 2009.

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

RONG-HUA, L. et al. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Science in China,** China, v. 5, p. 751-757, 2006.

SADRAS, V. O.; MILROY, S. P. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gás exchange: a review. **Field Crop Research**, Australia, v. 47, p. 253-266, 1996.

SANTOS, M. A. L. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

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.

SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1571-1579, 1999.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SCARPARI, M. S. **PREDPOL:** um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado. 2007. 120 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SCHLEMMER, M.R. et al. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 106-112, 2005.

SCHOLES, J. D.; HORTON, P. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Eds.). **Methods in comparative plant ecology:** a laboratory manual. London: Chapman & Hall, 1993. p. 130-135.

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

SHIGAKI, F. et al. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema - RJ. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Seropédica, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2004.

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**, Sri Lanka, v. 16, p. 1-12, 2004.

SILVA, E. C. **Respostas fisiológicas do umbuzeiro (Spondias tuberosa Arruda) aos estresses hídricos e salino**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Botânica)- Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 656-661, 2008.

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.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters to detect differences in drought tolerance among sugarcane genotypes. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 26., 2007, Durban. **Proceedings…** Durban: ISSCT, 2007a. p. 541-547.

SILVA, M. A. et al. Evaluation of physiological parameters as indicators of drought tolerance in sugarcane. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 11., 2007, Gramado. **Anais…** Gramado: SBFV, 2007b. CD-ROM.

SILVA, M. A. et al. Differential physiological responses to water deficit stress among sugarcane genotypesw. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 11., 2007. Gramado. **Anais...** Gramado: SBFV, 2007c. CD-ROM.

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

SINCLAIR, T. R.; LUDLOW, M. M. Who taugth plants thermodinamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 12, p. 213-17, 1985.

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, 17., 1980. Manila. **Proceedings…** Manila: ISSCT, 1980. p. 541-555.

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

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic responses of Young cashew plants to varying environmental conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 735-744, 2005.

STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water déficit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 350, p. 1531-1542, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVARES, A. C. S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ao excesso de água no solo**. 2009, 220 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. v.1. p. 53-58.

VENKATARAMANA, S.; RAO, P. N. G.; NAIDO, K. M. The effects of water stress during the formative phase on stomatal resistence and leaf water potential and relationship with yield in tem sugarcane varieties. **Field Crops Research**, Indian, v. 13, p. 345-353, 1986.

VERSLUES, P. E. et al. Methods and concepts in quantifying resistance to drought,salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, Michigan, v. 45, p. 523-539, 2006.

WAGIH, M. E.; KAIULO, J. V. Screening sugarcane varieties for drought tolerance. **Science in New Guinea**, v. 26, p. 38-45, 2001.

ZARCO-TEJADA, P. J. et al. Leaf Chlorophyll *a+b* and canopy LAI estimation in crops using R-T models and Hyperspectral Reflectance Imagery. In: CONGRESS OF THE EUROPEAN SOCIETY FOR AGRONOMY, 7., 2002. **Procceedings**… Cordoba, 2002.

ZHU, J. K. Cell signaling under salt, water and cold stresses. **Current Opnion in Plant Biology**, Arizona, v. 4, p. 401-406, 2001.