

## RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E A REIDRATAÇÃO<sup>1</sup>

MARCELO DE ALMEIDA SILVA<sup>2\*</sup>, CLAUDIANA MOURA DOS SANTOS<sup>2</sup>, MARCEL TOMÁS ARANTES<sup>2</sup>,  
MARCELA CRISTINA BRUNELLI<sup>2</sup>, LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA<sup>2</sup>

**RESUMO** - O objetivo desse trabalho foi estudar as respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar com características contrastantes quanto à tolerância à seca submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, onde as cultivares SP83-2847, SP80-1842 e SP81-3250 foram cultivadas em vasos. Após 85 dias do plantio, foi realizada a primeira avaliação, em seguida foram implementados dois tratamentos, sem deficiência (-D) e com deficiência (+D) por suspensão da rega por 15 dias e posterior reidratação por 12 dias. Nas cultivares SP81-3250 e SP80-1842 foram observadas maiores reduções em  $F_v/F_m$ , no teor relativo de água na folha (TRA), no potencial hídrico da folha ( $\Psi_w$ ), no índice SPAD e nos teores dos pigmentos fotossintéticos quando submetidas à deficiência hídrica. Devido aos menores danos fisiológicos causados pela deficiência hídrica na cultivar SP83-2847, e ainda ter apresentado melhor recuperação durante a reidratação, inclusive da condutância estomática ( $g_s$ ), caracterizando esta cultivar com boa aclimação sob deficiência hídrica.

**Palavra-chaves:** *Saccharum* spp. Seca. Tolerância. Condutância Estomática. Fluorescência, Pigmentos Fotossintéticos.

## PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF SUGARCANE CULTIVARS SUBMITTED TO WATER STRESS AND REWATERING

**ABSTRACT** - The aim of this work was to study the physiological responses of three contrasting cultivars of sugar cane subject to water stress and rewatering. The experiment was carried out in a greenhouse, where the cultivars SP83-2847, SP80-1842 and SP81-3250 were grown in pots. The first assessment was done after 85 days of planting, then two treatments were implemented, i.e. without water stress (-D) and with water stress (+D) by withholding water for 15 days and rewatering imposed for 12 days after the stress period. Cultivars SP81-3250 and SP80-1842 showed a higher decline in the  $F_v/F_m$  ratio, leaf relative water content (RWC), leaf water potential ( $\Psi_w$ ), SPAD index and photosynthetic pigments due to water deficit. Drought caused less damage in the physiology of the variety SP83-2847, and it still showed rapid recovery during rewatering, including for the stomatal conductance ( $g_s$ ), so this variety had better adaptation under this condition. The traits  $F_v/F_m$ ,  $\Psi_w$ , RWC, SPAD index and photosynthetic pigments present as potential physiological indicators in order to select tolerant sugar cane cultivars to water deficit. The trait  $g_s$  is more effective in differentiating the tolerant cultivars during rewatering.

**Key words:** *Saccharum* spp. Drought. Tolerance. Stomatal Conductance. Fluorescence. Photosynthetic Pigments.

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 28/03/2012; aceito em 10/03/2013

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Caixa Postal 237, CEP 18603-970, Botucatu-SP; marcelosilva@fca.unesp.br, claudianabio@hotmail.com, marcel\_arantes@yahoo.com.br, maisbrunelli@hotmail.com, lucas\_holanda\_@hotmail.com.

## INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura de grande importância econômica mundial devido à sua utilização na indústria de alimentos, e também como fonte na produção de biocombustível renovável. O Brasil destaca-se por ser o maior produtor mundial de açúcar, sendo o estado de São Paulo como o maior produtor nacional. Nos últimos anos as fronteiras agrícolas no país vêm sendo ampliadas para o oeste do Estado de São Paulo, Goiás, Triângulo Mineiro, Paraná e Mato Grosso do Sul, regiões conhecidas por apresentarem deficiência hídrica por longo período durante o ano. Em contrapartida, a viabilidade da cultura canavieira nestas áreas ainda é baixa devido a pouca disponibilidade de cultivares comerciais adaptadas a seca.

A deficiência hídrica é um das principais limitações na produtividade da cana-de-açúcar e recentemente tem sido objeto de pesquisa no Brasil (MACHADO et al., 2009; ENDRES et al., 2010; GRAÇA et al., 2010). O aumento da produtividade em cana-de-açúcar é determinado pela capacidade das plantas em produzir fotoassimilados, sendo o processo de fotossíntese o principal para a acumulação de biomassa.

No início da deficiência hídrica ocorre o declínio nas taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> que é em grande parte resultado da redução da fotossíntese. Nesta situação, os estômatos se fecham em resposta tanto ao declínio do turgor das células da folha quanto à queda no potencial da água nas folhas ou à baixa umidade do ar (YORDANOV et al., 2003). O comportamento estomático tem sido sugerido como uma característica de resistência à seca em cana-de-açúcar (MACHADO et al., 2009; GONÇALVES et al., 2010). Segundo Yordanov et al. (2003), espécies tolerantes à seca controlam a função estomática permitindo a fixação de carbono durante o estresse, melhorando assim a eficiência do uso da água. O potencial hídrico foliar e o teor relativo de água (TRA) têm demonstrado alta correlação com maior tolerância a deficiência hídrica em diferentes trabalhos com cana-de-açúcar, sendo considerados potenciais indicadores fisiológicos na seleção de cultivares (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; SILVA et al., 2013).

Quando a planta é exposta à condição de deficiência hídrica, outros componentes do processo fotossintético também são afetados, tais como, inibição da biossíntese de clorofilas ocorrendo a diminuição da eficiência de absorção da energia luminosa (SILVA et al., 2013). A absorção de uso de energia luminosa pelos vegetais pode ser estimada pela análise da fluorescência da clorofila *a* que é um método não destrutivo, permite análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa por meio do fotossistema II (MAXWELL; JOHNSON, 2000), sendo avaliada pela redução na máxima eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ).

Diferentes estudos em cana-de-açúcar cultivada sob condições controladas (GONÇALVES et al., 2010; GRAÇA et al., 2010) e em campo (SILVA et al., 2013) vêm usando a variável razão  $F_v/F_m$  como um método de triagem na identificação de cultivares tolerantes à deficiência hídrica.

Dessa forma, a identificação de características fisiológicas relacionadas com a capacidade fotossintética ou a manutenção do status hídrico da planta podem ser empregadas na compreensão dos mecanismos de tolerância à seca em cultivares de cana-de-açúcar, permitindo direcionar os cruzamentos em programas de melhoramento da cultura.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi estudar de maneira comparativa características fisiológicas que podem ser usadas para avaliar respostas de cultivares de cana-de-açúcar à deficiência hídrica e à reidratação.

## MATERIAL E MÉTODOS

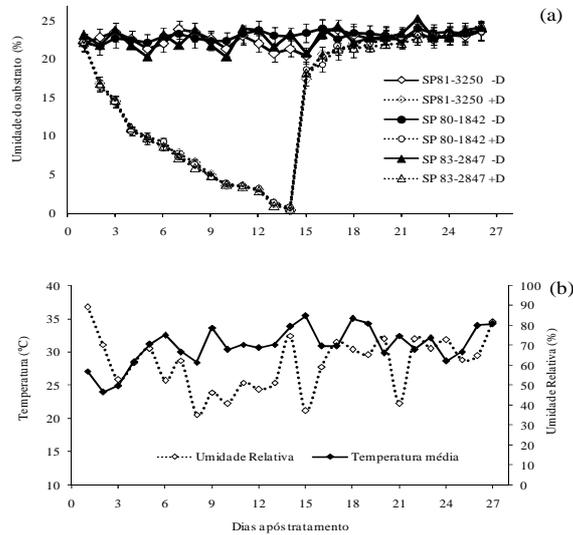
O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação localizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento da APTA Polo Centro-Oeste, Jaú, SP (22° 15' latitude Sul e 48° 33' longitude Oeste e altitude 580 m). Três cultivares contrastantes em relação à adaptabilidade à seca, SP83-2847 (tolerante), SP80-1842 e SP81-3250 (sensíveis), foram estudadas baseados em Graça et al. (2010) e Pincelli e Silva (2012).

As plantas foram obtidas por meio de brotação das gemas provenientes de toletes de mesma idade. Os toletes foram cultivados 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. Durante o experimento, a temperatura média do ar foi 27,4±5 °C, a umidade relativa média diária 62,8% (Figura 1b), enquanto a média diária da radiação fotossinteticamente ativa foi de 800 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com fatorial 3 x 2 (três genótipos x dois regimes hídricos), com quatro repetições.

Após 85 dias do plantio foi realizada a primeira avaliação (ponto zero), em seguida cada variedade foi separada em dois tratamentos, sem deficiência hídrica (-D), em que 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) e com deficiência (+D) por 15 dias de suspensão da rega, quando o teor de umidade no substrato atingiu 0% no décimo quinto dia (Figura 1a). Para o monitoramento da umidade nos vasos, utilizou-se do medidor ECH2O e de sensores dielétricos Echo Check (Decagon, Washington, DC, EUA) de 10 cm de

comprimento inseridos nos vasos. A reidratação foi imposta após o período de deficiência hídrica, e consistiu em reirrigar todas as plantas por 12 dias até a recuperação, sendo considerado assim três pontos de avaliações aos 0, 15 e 27 dias após o início dos tratamentos (DAT)



**Figura 1.** Teor de umidade do substrato (a), Umidade relativa do ar e temperatura média durante o experimento (b).

A condutância estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foi determinada por intermédio de um porômetro (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA). As leituras foram realizadas na região mediana da folha +1 na parte abaxial totalmente expandida entre 10 e 11 h da manhã medindo-se uma folha por planta. O porômetro permitiu, também, a medida da temperatura das folhas ( $T_f$ ), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e da umidade relativa da câmara porométrica ( $UR_{ar}$ ) no nível da folhagem, sendo calculado o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar,  $DPV_{(folha-ar)}$ .

O  $DPV_{(folha-ar)}$  foi obtido conforme Lobo et al. (2007), calculando-se a diferença entre as pressões de saturação ( $e_s$ ) e real ( $e$ ) do ar, utilizando-se medidas de  $T_f$ ,  $T_{ar}$  e  $UR_{ar}$ . Assim,  $DPV_{(folha-ar)} = (e_f - e_{ar})$ , em kPa, onde  $e_f$  = pressão de vapor na câmara subestomática da folha (kPa),  $e_{ar}$  = pressão de vapor no ar

$$at- \quad dpv = 0,61078 \times 10^{\frac{17,5 \times T_f}{237,5 + T_f}} - \frac{0,61078 \times 10^{\frac{17,5 \times T_{ar}}{237,5 + T_{ar}}} \times UR_{ar}}{100}$$

atmosférico (kPa). Portanto:

Em que:  $T_f$  = temperatura da folha (°C),  $T_{ar}$  = temperatura do ar atmosférico (°C) e  $UR_{ar}$  = umidade relativa do ar atmosférico (%).

A máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) foi determinada por meio de um fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH,

EUA) após adaptar as folhas ao escuro por 30 minutos utilizando-se cliques foliares. As leituras foram realizadas com pulsos de luz saturantes de 1s, para promover o fechamento dos centros de reação do PSII, de acordo com o método descrito por Maxwell e Johnson (2000). As leituras foram realizadas na região mediana da folha +1 totalmente expandida entre 10 e 11 h da manhã medindo-se uma folha por planta. A razão  $F_v/F_m$  expressa o rendimento quântico dos processos fotoquímicos desse fotossistema, ou seja, a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo fotossistema II, 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  $F_v$  é a fluorescência variável  $F_v = F_m - F_0$ .

O teor relativo de água na folha (TRA) foi obtido conforme a metodologia apresentada por Jammaux et al. (1997), em que foram determinadas a massa da matéria fresca (Mf), a massa da matéria túrgida (Mt) e a massa da matéria seca (Ms) de discos foliares extraídos da folha +2. Em seguida, os valores foram substituídos na fórmula:  $TRA = [(Mf - Ms) \times (Mt - Ms)^{-1}] \times 100$ .

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi avaliado entre 10:00 e 12:00 h e foi determinado na extremidade (ponta) da folha +2 do perfilho primário usando uma câmara de pressão Scholander (SoilMoisture Equipment, Santa Bárbara, CA, EUA).

A estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD foi determinada usando um clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA). Para a média da parcela (vaso) foram consideradas três leituras na folha +2. Também foram obtidos os conteúdos de clorofila *a* e *b* (Chl *a*, Chl *b*) e carotenóides pelo método descrito por Lichtenthaler (1987), que se baseia na utilização de 1 ml do extrato de clorofila obtido à partir da extração da clorofila por meio do ácido dimetilformamida em folhas +2, realizou-se a leitura de absorvância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 480, 647 e 664 nm.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O déficit de pressão de vapor,  $DPV_{(folha-ar)}$  apresentou no início do estresse, ou seja, sem restrição hídrica, valores menores com média de 1,4 kPa para todas as cultivares (Figura 2a). Pode-se verificar que deficiência hídrica por 15 dias causou nas cultivares, de maneira geral, aumento do  $DPV_{(folha-ar)}$  e diminuição da condutância estomática (Figura 2a e 2b), com maior aumento da variação do  $DPV_{(folha-ar)}$  em média de 3,2 kPa para a cultivar SP81-3250, enquanto a cultivar SP80-1842 esse aumento foi de 2,8

kPa e para a SP83-2847 de 2,7 kPa (Figura 2a). Com a reidratação, valores médios de  $DPV_{(folha-ar)}$  reduziram para 1,0 kPa em todas as cultivares, ocasião em que foram registrados os maiores valores de condutância estomática (Figura 2a e 2b).

A perda de água pelas folhas é determinada, de maneira geral, pelo  $DPV_{(folha-ar)}$ . A assimilação fotossintética de  $CO_2$  eleva-se com o aumento da umidade relativa do ar, ou seja, baixos valores de  $DPV_{(folha-ar)}$  e, frequentemente, observa-se que nessa condição que a condutância estomática ( $g_s$ ) também eleva-se. As condições de baixa umidade podem causar excessivas perdas de água nas folhas, levando ao considerável fechamento estomático, o que afeta significativamente as trocas de dióxido de carbono entre esses órgãos e o ar (REIS; CAMPOSTRINI, 2008).

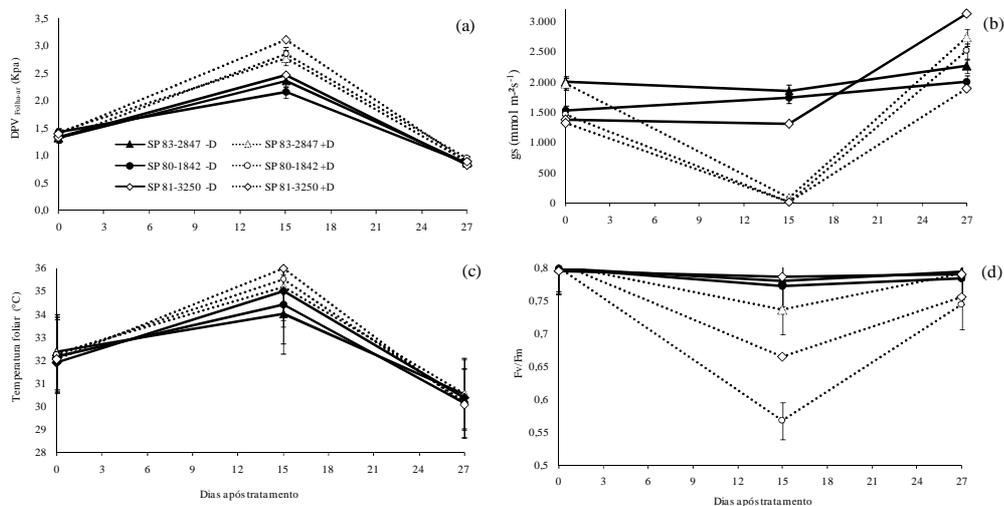
Em estudo com cana-de-açúcar em condições de campo foi verificado que valores de  $DPV_{(folha-ar)}$  acima de 3 Kpa apresentaram forte correlação negativa com a eficiência do uso da água em diferentes genótipos de cana-de-açúcar (ENDRES et al., 2010). Em outras espécies  $C_4$ , tais como milho (LOPES et al., 2009) e capim-elefante anão (ARAÚJO et al., 2010), os autores também verificaram que em condição de baixa disponibilidade hídrica do solo e  $DPV_{(folha-ar)}$  elevado, ocorreu redução na condutância estomática, provavelmente pelo efeito do  $DPV$  no fechamento estomático.

As plantas submetidas à deficiência hídrica severa por 15 dias de suspensão da rega apresentaram decréscimo significativo da  $g_s$  em relação às plantas-controle nas cultivares (Figura 2b). Porém, foi observado maior decréscimo de  $g_s$  na SP80-1842, com 99% e SP81-3250 com 98% de redução, enquanto na cultivar SP83-2847 a redução foi de 94%. Com a reidratação, a recuperação da  $g_s$  aos níveis iniciais foi constatada para SP83-2847 e SP80-1842

com valor, ao final de 12 dias, superando significativamente ao da SP81-3250 (Figura 2b). O fechamento estomático é uma forma da planta minimizar a perda de água, e resultados semelhantes foram encontrados em outras cultivares de cana-de-açúcar quando submetidas à deficiência hídrica (MACHADO et al., 2009; GONÇALVES et al., 2010), em que nestes estudos os autores verificaram que as cultivares tolerantes mantiveram maior condutância estomática quando comparada as sensíveis sob restrição hídrica. A recuperação mais acentuada da  $g_s$  na SP83-2847 durante a reidratação pode ser um sinal de tolerância à deficiência hídrica, pois segundo Machado et al. (2009), plantas mais produtivas selecionadas sob essa condição possuem maior  $g_s$  e maior fotossíntese.

Neste estudo, observou-se um padrão de resposta para a variável temperatura foliar semelhante ao  $DPV_{(folha-ar)}$ . Os valores de temperatura foliar na fase inicial apresentavam médias próximas de 32°C para as três cultivares (Figura 2c). No tratamento de deficiência hídrica, todas as cultivares tiveram aumento na temperatura foliar, porém nas cultivares sensíveis constatou-se aumento significativo para 36°C na SP81-3250 e para 35,5°C na SP80-1842, e menor aumento para 35°C na cultivar SP83-2847 (Figura 2c), o que sugere que a deficiência hídrica promoveu aumento da temperatura foliar, que associado a elevação do  $DPV_{(folha-ar)}$ , teve influência negativa sobre a condutância estomática nas cultivares. Na ausência de um suprimento de água adequado ocorre o fechamento estomático, o que reduz a transpiração, diminui a capacidade de refrigeração da folha e aumenta a temperatura deste órgão, e uma vez que a folha continua recebendo luz, causa elevação no  $DPV_{(folha-ar)}$  e levando à redução da fotossíntese (ARAÚJO et al., 2010).

Estes efeitos também foram evidenciados por Silva et al. (2011, 2013) que verificaram aumento da



**Figura 2.** Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar,  $DPV_{(folha-ar)}$ , (a); condutância estomática,  $g_s$  (b); temperatura foliar, TF (c); máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II,  $F_v/F_m$  (d) nas cultivares SP83-2847, SP80-1842 e SP81-3250 submetidas aos regimes hídricos adequado (-D) e deficiência hídrica (+D) por 15 dias e posterior reidratação por 12 dias

temperatura foliar em genótipos de cana-de-açúcar durante as fases de deficiência hídrica, sendo os maiores aumentos caracterizados nos genótipos sensíveis. Os autores sugerem que o crescimento da cana-de-açúcar é afetado nas plantas que não possuem controle eficiente da temperatura na folha durante um período de seca.

Durante a reidratação todas as cultivares apresentaram a manutenção da temperatura foliar igual ao controle com temperatura foliar média de 30°C, mantendo-se protegida das faixas térmicas muito elevadas (Figura 2c).

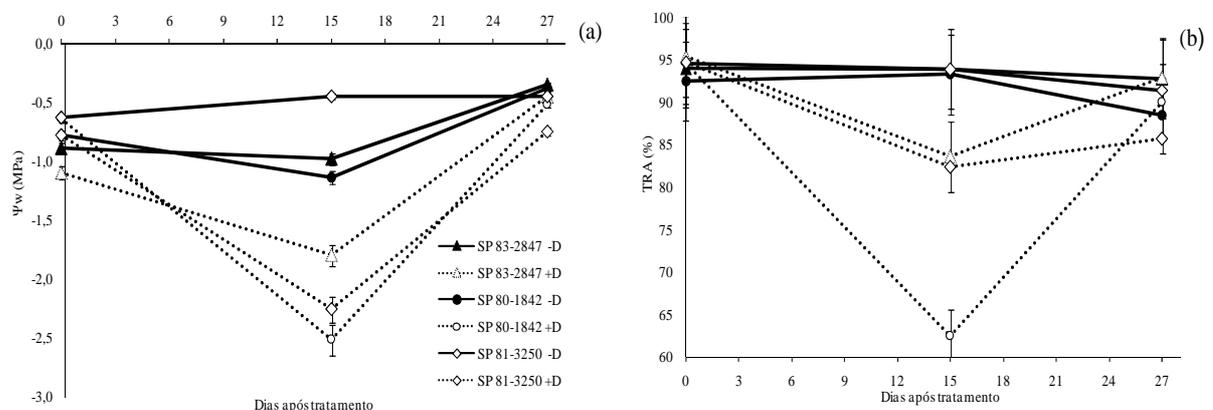
A razão  $F_v/F_m$  teve grande redução durante a deficiência hídrica na cultivar SP80-1842, havendo recuperação durante a reidratação, que resultou nos valores de 0,8, 0,56 e 0,74, e para cultivar SP81-3250 de 0,8, 0,66 e 0,75 aos 0, 15 e 27 DAT, respectivamente (Figura 2d). Enquanto na cultivar SP83-2847, os valores foram de 0,8, 0,74 e 0,8 aos 0, 15 e 27 DAT, respectivamente, os quais mantiveram-se próximos do tratamento sem deficiência hídrica ao longo de todo experimento, sugerindo maior capacidade desta última cultivar em tolerar as condições fotoinibitórias ocasionadas pelo estresse. Reduções mais severas de  $F_v/F_m$ , que levam a valores abaixo de 0,7, foram evidenciados em genótipos de cana-de-açúcar suscetíveis à condição de seca (SILVA et al., 2011, 2013; GRAÇA et al., 2010; GONÇALVES et al., 2010). De acordo com Maxwell e Johnson (2000), valores inferiores a 0,75 indicam que a planta está sob algum tipo de estresse e, portanto, redução do seu potencial fotossintético. Segundo Silva et al. (2013), a capacidade de manter alta razão  $F_v/F_m$  sob estresse hídrico pode indicar alta eficiência de uso da radiação pelas reações de assimilação de carbono.

O potencial da água na folha ( $\Psi_w$ ) médio no início da imposição dos tratamentos foi de -0,8 MPa para as cultivares SP83-2847 e SP81-3250 e de -0,7 MPa para a SP80-1842 (Figura 3a). Após 15 dias de suspensão da irrigação o decréscimo no  $\Psi_w$  foi mais acentuado nas cultivares SP80-1842 de -2,5 MPa e

SP81-3250 de -2,3 MPa, sendo verificado para a SP83-2847 menor redução, alcançando -1,8 MPa, portanto significativamente menos afetada pela deficiência hídrica. Após a reidratação, a SP83-2847 apresentou  $\Psi_w$  de -0,4 MPa, semelhante ao da SP80-1842 que teve valor médio de  $\Psi_w$  de -0,5 MPa, já a cultivar SP81-3250 apresentou menor recuperação com  $\Psi_w$  de -0,8 MPa. Estudos mostraram que o potencial hídrico da cana-de-açúcar com boa disponibilidade hídrica pode atingir  $\Psi_w$  de -0,5 MPa ao meio-dia, enquanto sob deficiência hídrica apresentam valores menores entre -1,5 a -2 MPa (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Endres et al. (2010) verificaram  $\Psi_w$  entre -1,8 a -2 MPa em genótipos sensíveis de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica e -1,5 MPa em tolerantes. Portanto, o  $\Psi_w$  foi eficiente em indicar o estado hídrico das plantas e em diferenciar as cultivares.

Em relação ao teor relativo de água na folha (TRA), esse valor permaneceu superior a 90% durante todo período experimental nas plantas hidratadas. Após 15 dias de supressão da água foram observadas reduções em todas as cultivares, entretanto o maior efeito foi verificado na SP80-1842 atingindo valor 62,4%, seguida da SP81-3250 com valor de TRA de 82%, enquanto na SP83-2847 o valor mais baixo foi de 83,5%, o que equivale a reduções de 32,8%, 13% e 10%, respectivamente (Figura 3b). Após 12 dias de reidratação, as cultivares SP83-2847 e SP80-1842 tiveram recuperação equivalente, em que apresentaram TRA próximo de 90%, enquanto SP81-3250 atingiu valor de TRA próximo de 85%, o que evidenciou sua pouca recuperação do estresse (Figura 3b). Graça et al. (2010), estudando a cultivar SP83-2847 sob condições de seca, também observaram pequena redução do TRA, sugerindo que o decréscimo do teor relativo de água estimulou o ajustamento da capacidade fotossintética da planta para tolerar as mudanças da disponibilidade hídrica.

Silva et al. (2013) verificaram, em campo, valores médios de TRA de 80% para cultivares de



**Figura 3.** Potencial hídrico foliar,  $\Psi_w$  (a) e teor relativo de água na folha, TRA (b) nas cultivares SP83-2847, SP80-1842 e SP81-3250 submetidas aos regimes hídricos adequado (-D) e deficiência hídrica (+D) por 15 dias e posterior reidratação por 12 dias (cada símbolo indica o valor médio de quatro repetições  $\pm$  desvio-padrão).

cana-de-açúcar sensíveis e 89% para as tolerantes à deficiência hídrica. Rodrigues et al. (2009) verificaram que a diminuição do TRA foi mais pronunciada na variedade de cana-de-açúcar sensível, que teve valores médios de 60%, e, ainda, evidenciaram que no mesmo período de avaliação a maioria dos genes expressos nas cultivares tolerantes em resposta a seca tinha sido reprimida nas plantas sensíveis. Estes estudos têm mostrado que cultivares de cana-de-açúcar que mantêm valores de TRA relativamente altos durante a escassez de água possuem forte indicativo de tolerância.

No conteúdo estimado de clorofila (índice SPAD) não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos sem deficiência e com deficiência hídrica na cultivar SP83-2847 (Tabela 1). Por outro lado, a deficiência hídrica por 15 dias promoveu diferença significativa entre os tratamentos sem deficiência e com deficiência hídrica nas cultivares SP80-1842 e SP81-3250, com médias de índice SPAD de 30,23 e 21,20, representando redução de

43% e 60,6%, respectivamente, o que sugere que a cultivar SP83-2847 possui maior capacidade de síntese de clorofila, portanto, maior intensidade de verde, mesmo sob deficiência hídrica. Esses resultados corroboram com os de Silva et al. (2011, 2013) que relataram valores de índice SPAD abaixo de 40 em genótipos sensíveis de cana-de-açúcar quando submetidos à condição de seca. E respostas semelhantes eram esperadas para os pigmentos fotossintéticos, devido à alta relação entre as leituras do clorofilômetro e o conteúdo de clorofila nas folhas (SILVA et al., 2013).

Para o conteúdo de pigmentos fotossintéticos, a cultivar SP83-2847 não apresentou diferenças, independente dos tratamentos, e se manteve com maiores valores por todo período experimental (Tabela 1). Já nas cultivares SP80-1842 e SP81-3250 foram verificadas diferenças significativas, em que se constatou maior redução nas concentrações de Chl *a*, Chl *b* e carotenóides para SP80-1842 de 53,6%, 51,3%, 37%, respectivamente, e de 53,4%, 46,4%, 29,3%,

**Tabela 1.** Teor estimado de clorofila (índice SPAD), conteúdo de clorofilas *a* (Chl *a*) e *b* (Chl *b*) e carotenóides nas cultivares SP83-2847, SP80-1842 e SP81-3250 submetidas aos regimes hídricos adequado (-D) e deficiência hídrica (+D) por 15 dias e posterior reidratação por 12 dias.

Variedades	Tratamento	0 Dia	15 Dias (Deficiência hídrica)	27 Dias (Reidratação)
<b>Índice SPAD</b>				
SP 83-2847	-D	56,40aA <sup>†</sup>	55,50aA	55,43aA
	+D	56,23aA	49,13aA	55,05aA
SP 80-1842	-D	54,03aA	52,70aA	54,10aA
	+D	54,00aA	30,23bAB	54,20aA
SP81-3250	-D	51,23aA	53,86aA	54,13aA
	+D	51,13aA	21,20bB	56,50aA
F			4,6*	
CV%			13,1	
<b>Chl <i>a</i> (µg cm<sup>-2</sup>)</b>				
SP 83-2847	-D	42,73aA	46,46aA	50,70aA
	+D	42,36aA	41,33aA	41,02aA
SP 80-1842	-D	40,42aA	48,66aA	52,03aA
	+D	41,41aA	22,55bAB	32,72bA
SP81-3250	-D	40,58aA	46,37aA	46,18aA
	+D	40,39aA	21,58bB	22,78bA
F			7,4**	
CV%			15,2	
<b>Chl <i>b</i> (µg cm<sup>-2</sup>)</b>				
SP 83-2847	-D	13,97aA	17,78A	20,35aA
	+D	13,52aA	16,47aA	20,83aA
SP 80-1842	-D	13,32aA	18,17aA	21,85aA
	+D	13,95aA	8,84bA	16,36aA
SP81-3250	-D	12,17aA	17,35aA	20,28aA
	+D	12,53aA	9,29bA	13,02bA
F			10,5**	
CV%			12,8	
<b>Carotenóides (µg cm<sup>-2</sup>)</b>				
SP 83-2847	-D	24,20aA	22,97aA	22,84aA
	+D	24,00aA	18,46aA	20,21aA
SP 80-1842	-D	24,38aA	24,82aA	24,70aA
	+D	24,85aA	15,65bA	17,58bA
SP81-3250	-D	23,54aA	23,33aA	22,81aA
	+D	23,20aA	16,50bA	15,06bA
F			13,8 <sup>ns</sup>	
CV%			12,7	

<sup>†</sup>Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna para tratamentos dentro de cultivares nas diferentes épocas (letras minúsculas), e na mesma coluna entre cultivares dentro de tratamentos nas diferentes épocas (letras maiúsculas), não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

<sup>ns</sup> Não-significativo; \* Significativo a  $p < 0,05$  e \*\* Significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

Após doze dias de reidratação, não foi observada recuperação nos teores de pigmentos fotossintéticos na cultivar SP81-3250 (Tabela 1). Por outro lado, a cultivar SP80-1842 teve recuperação mais rápida durante a reidratação, apesar de ainda apresentar diferenças significativas para Chl *a* e carotenóides. Assim, por essa variável a SP81-3250 apresenta indícios de maior sensibilidade à deficiência hídrica.

Esse padrão de resposta também foi verificado por Jangpromma et al. (2010) que constataram redução dos pigmentos fotossintéticos e no índice SPAD durante a deficiência hídrica em variedades de cana-de-açúcar, e classificaram como sensíveis aquelas que apresentaram recuperação lenta durante a reidratação. Silva et al. (2013) sugeriram que a leitura SPAD para avaliação de tolerância da cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica é eficaz, rápida, não destrutiva e de fácil manejo, sendo considerada boa ferramenta para seleção de genótipos com esse propósito.

## CONCLUSÕES

Sensibilidade das cultivares SP80-1842 e SP81-3250 à deficiência hídrica é verificada por maiores reduções nas variáveis fisiológicas  $F_v/F_m$ ,  $\Psi_w$ , TRA, índice SPAD e pigmentos fotossintéticos, e pela lenta recuperação desses valores durante a reidratação.

A cultivar SP83-2847 é tolerante à deficiência hídrica por apresentar menos danos na fisiologia, e ainda tem melhor recuperação durante a reidratação, inclusive para  $g_s$ .

As variáveis  $F_v/F_m$ ,  $\Psi_w$ , TRA, índice SPAD e pigmentos fotossintéticos são potenciais indicadores fisiológicos para a seleção de cultivares de cana-de-açúcar tolerantes durante a deficiência hídrica. A variável  $g_s$  é mais eficiente em diferenciar cultivares tolerantes durante a reidratação.

## AGRADECIMENTOS

A Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - APTA pela concessão do local e à FAPESP e ao CNPq pelo financiamento do projeto e concessão de bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado e produtividade em pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S.A.C.A. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v.32, n.1, p.1-7, 2010.

ENDRES, L. et al. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal*, Bussum, v.4, p.31-37, 2010.

GONÇALVES, E.R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades 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.

GRAÇA, J.P. et al. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Rio de Janeiro, v. 22, n.3, p.189-197, 2010.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.92, n.2, p.185-202, 2005.

JANGPROMMA, N. et al. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, Nova York, v.9, n.6, p.368-374, 2010.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, Nova York, v.148, n.22, p.350-382, 1987.

LOBO, F.A. et al. Intercâmbio gasoso em plantas jovens e adultas de *Tectona grandis* cultivadas no cerrado do Brasil central. *Revista Agricultura Tropical*, Cuiabá, v.9, p.126-143, 2007.

LOPES, J.P. et al. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.4, p.839-848, 2009.

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

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, Lancaster, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

PINCELLI, R.P.; SILVA, M.A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n.4, p.546-556, 2012.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'formosa' cultivado em condição de campo.

**Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.815-822, 2008.

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**, Shannon, v.176, n.2, p.286-302, 2009.

SILVA, M.A. et al. Use of physiological parameters in screening drought tolerance in sugarcane genotypes. **Sugar Tech**, Nova Deli, v.13, n.3, p.191-197, 2011.

SILVA, M.A. et al. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, *First View*, 2013. Acesso em: 30 jan. 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859612000834>.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, v.1, p.187-206, 2003.