

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS EM VARIEDADES DE CANA SOCA SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO

FRANCISCO RODOLFO JUNIOR¹; WALTER QUADROS RIBEIRO JUNIOR²; MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS³; OMAR CRUZ ROCHA²; FÁBIO PEDRO SILVA BATISTA⁴ E CRISTIANE ANDRÉA DE LIMA²

¹ Universidade Federal do Piauí-CPCE, BR 135, km 03, Planalto Horizonte, CEP 64900-000, Bom Jesus, Piauí, Brasil, rodolfo@ufpi.edu.br;

² Embrapa Cerrados, BR 020 Km 18, Planaltina - DF, CEP 73310-970, walter.quadros@embrapa.br, omar.rocha@embrapa.br, agro.cristiane@gmail.com;

³ Universidade de Brasília/FAV, Instituto Central de Ciências, Sul (ICC-Sul), CEP 70.910-970, lucrecia@unb.br;

⁴ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de Brasília/FAV, ICC-Sul, CEP 70.910-970, pedro.fabio@gmail.com;

1 RESUMO

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente os cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade no setor sucroalcooleiro no Brasil. O objetivo deste trabalho foi caracterizar fisiologicamente as variedades da cana-de-açúcar, submetidas a diferentes regimes hídricos. O experimento foi conduzido em uma área de 0,36 hectares, localizada na Embrapa Cerrados, próxima a Planaltina-DF. O delineamento foi em blocos ao acaso com três repetições em parcelas subdivididas no tempo, com três variedades (RB855156, RB835486 e RB867515-parcela), ausência e presença da irrigação (irrigado e sequeiro - subparcela) e quatro coletas de dados no tempo (100; 150; 200 e 250 dias após o corte) que foram as subsubparcelas. Foram avaliadas as seguintes características fisiológicas: prolina livre a folha, trocas gasosas: transpiração (E), condutância estomática (g_s), fotossíntese líquida (A), eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), eficiência da carboxilação (EC), clorofila tipo a (Clo-a) e clorofila total (Clo-a+b). As variedades de cana-de-açúcar cultivadas em sistema de sequeiro apresentaram aumento na concentração foliar de prolina e EIUA, e redução de E, g_s , A, EC, Clo-a e Clo-a+b.

Palavras-Chave: *Saccharum spp.* L.; estresse abiótico; prolina; trocas gasosas.

RODOLFO JUNIOR, F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; BATISTA, F. P. S.; LIMA, C. A.
PHYSIOLOGICAL RESPONSES IN VARIETIES OF RATOON SUGARCANE SUBMITTED TO WATER DEFICIT

2 ABSTRACT

Low water supply affects negatively agricultural crops and is the main cause of reduced productivity in the sugar and ethanol industry in Brazil. The objective of this paper was to physiologically characterize the varieties of sugar cane under different water regimes. The experiment was conducted in an area of 0.36 hectares, located in Embrapa Cerrado, near Planaltina-DF. The design was randomized with three replicates in parcels subdivided in time,

with three varieties (RB855156, RB835486 and RB867515-plots), with absence and presence of irrigation (irrigated and rainfed- subplots) and four data collections over time (100; 150; 200 and 250 days after harvest), that formed the subsubplots. The following physiological characteristics were assessed: free proline in leaves, leaf gas exchange: transpiration (E), stomatal conductance (gs), net photosynthesis (A), intrinsic water use efficiency (EIUA), efficiency of carboxylation (EC), chlorophyll type a (Clo-a) e total chlorophyll (Clo-a+b). The varieties of sugarcane cultivated in rainfed system presented increase in leaf concentration of proline and EIUA, and reduced E, gs, A, EC, Cloa, Clo-a+b.

Keywords: *Saccharum* spp. L.; abiotic stress; proline; gas exchange.

3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. L.) e responsável pela produção de aproximadamente 665,6 milhões de toneladas (safra 2015/16), em uma área de aproximadamente 8.654,2 mil hectares, e em constante expansão (CONAB, 2016).

Com o recente desafio da exploração canavieira na Região Centro-Oeste do país, onde quase sua totalidade está em áreas de Cerrado, a regularidade das chuvas e a disponibilidade hídrica devem ser cuidadosamente observadas, devido ao longo período de estiagem característico do Bioma (SANO; ALMEIDA; RIBEIRO, 2008). Isso faz com que o clima seja um fator determinante na escolha das variedades para o plantio (SMIT; SINGELS, 2006).

Sob estresse hídrico, as plantas têm como primeira linha de defesa a manutenção do status hídrico foliar, aumentando a eficiência do uso da água através do fechamento estomático antecipado em plantas submetidas ao déficit hídrico (YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2000), o que pode impactar diretamente na eficiência fotossintética (PINCELLI; SILVA, 2012; JALEEL et al., 2008). Pugnaire, Endolz e Pardos (1994) explicam que uma expressiva redução na eficiência fotossintética das plantas, causada pelo déficit hídrico, desencadeia uma seqüência de efeitos fisiológicos e morfológicos para tolerar a situação de estresse, proporcionando a otimização do uso da água.

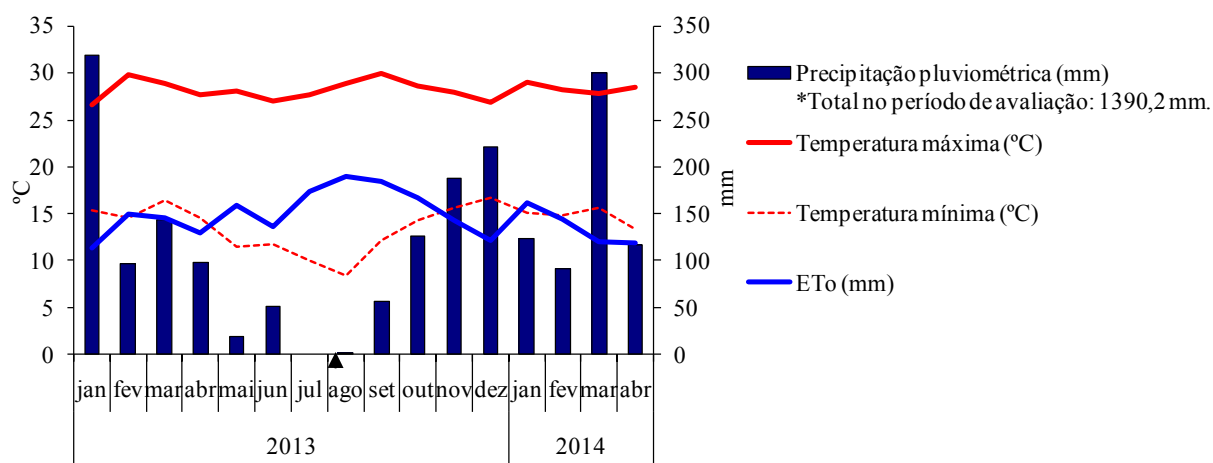
Uma das estratégias adaptativas dos vegetais aos múltiplos efeitos causados pelos estresses é o ajustamento osmótico pela síntese de substâncias celulares com função osmoprotetora, como a prolina, e que está correlacionada ao grau de resistência da planta, sendo considerada como umas das principais respostas das plantas ao estresse hídrico (CARLIN; SANTOS, 2009). A avaliação dos efeitos do estresse hídrico sobre os parâmetros fisiológicos e sua relação com a produtividade da cana-de-açúcar pode ser usada como indicador em plantas submetidas a estresses abióticos, auxiliando também os programas de melhoramento vegetal a selecionar genótipos produtivos para condições de regiões que tenham períodos de restrição hídrica e gerar alternativas sustentáveis para a agricultura, como a seleção de cultivares eficientes no uso da água (PINCELLI; SILVA, 2012; AMUDHA; BALASUBRAMANI, 2011; CARLIN; SANTOS, 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar fisiologicamente as variedades da cana-de-açúcar, submetidas a diferentes regimes hídricos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre abril de 2013 e abril de 2014, em uma área de 0,36 hectares, localizada na EMBRAPA Cerrados (CPAC), situada na BR 020, Km 18 (latitude 15°39'84" Sul e longitude 47°44'41" Oeste), próxima à Região Administrativa de Planaltina-DF. A altitude da área é de aproximadamente 1014 m com temperatura e pluviosidade média anual de 21,9°C e 1.395,6 mm, respectivamente. O clima da região é o tropical estacional (Aw), conforme Köppen, e é caracterizado por duas estações bem definidas: seca e chuvosa. Podem ocorrer períodos de estiagem (veranicos) durante a estação chuvosa (SANO; ALMEIDA; RIBEIRO, 2008). Os dados de precipitação pluviométrica (mm), evapotranspiração de referência (ET_o), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) durante a condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Precipitação pluviométrica, evapotranspiração de referência (ET_o), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) da Região Administrativa de Planaltina-DF durante o período de 05/05/2013 a 24/04/2014. Dados coletados na Estação Meteorológica da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF (2013).



*(▲) - Coleta de dados das trocas gasosas foliares.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura argilosa, A moderado. A análise química e granulométrica foi obtida na profundidade de 0 a 20 cm, sendo: pH H₂O=5,08; Al=0,39cmol_cdm⁻³; P=0,22mg dm⁻³; K=8,0 mg dm⁻³; Ca=0,56cmol_cdm⁻³; Mg=0,26 cmol_cdm⁻³; H+Al=3,7 cmol_cdm⁻³; M.O=0,87%; SB=0,84cmol_cdm⁻³; V=18,5%; areia grossa=236 g kg⁻¹; areia fina = 47 ; silte = 116 g kg⁻¹; argila=601 g kg⁻¹.

A área experimental foi quimicamente corrigida de acordo com o resultado da análise de solo. Foi feita calagem na dose de 4 t ha⁻¹, sendo repetida anualmente e de forma manual. Na sequência, foi realizada na área uma adubação corretiva (a lanço e incorporada) de 500 kg ha⁻¹ de gesso e 50 kg ha⁻¹ de FTE BR-10 (pó) como fonte de micronutrientes (Zn, B, Cu, Fe, Mn e Mo com 7,0; 2,5; 1,0; 4,0; 4,0 e 0,1%, respectivamente) e em seguida a adubação de plantio foi feita na dose de 600 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 04-30-16. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado de forma manual em 18 de junho de 2010, sendo utilizadas três variedades, a RB855156, RB835486 ambas de maturação precoce e a RB867515 como variedade de referência por ser a mais plantada no Brasil.

A adubação de cobertura, aplicada de forma manual e após o primeiro corte das plantas, foi realizada em dois períodos, no início de maio na dose de 400 kg ha⁻¹ de NPK (formulação 20-00-20) e em novembro de 2011 na dose de 600 kg ha⁻¹ de NPK (formulação 20-00-24), se repetindo nos anos posteriores.

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado de forma manual em 18 de junho de 2010, com distância entre linhas de 1,5 m e 15 gemas por metro de sulco. As mudas das variedades RB855156 e RB835486 foram adquiridas na Usina Jalles Machado em Goiatuba – GO e a RB867515 foi adquirida no próprio CPAC-Embrapa. O primeiro corte que foi realizado em maio de 2011 (cana-planta), em abril de 2012 (cana-soca), maio de 2013 e abril de 2014 (ressoca). Aproximadamente 20 a 30 dias após cada corte foi feita uma irrigação de salvamento com uma lâmina de água de 60 mm devido à baixa precipitação neste período. Em seguida as três variedades de cana-de-açúcar foram submetidas a dois regimes hídricos: sequeiro (S) e irrigado (I).

No tratamento com regime hídrico irrigado a cana-de-açúcar foi plantada sob um sistema mecanizado de aspersão do tipo autopropelido com barra de irrigação dotada de emissores XI-Wobber com diferentes bocais conjugados (HANKS; RASMUSSEN; WILSON, 1976), de modo a fornecer 100% da ETc. O critério de manejo de irrigação fundamentou-se no monitoramento climático (balanço hídrico), sendo o turno de rega fixado em 9 dias. A evaporação da cultura foi obtida a partir da evaporação de referência estimada pelo modelo Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) e dos coeficientes de cultura estimados em função do número de dias após o corte, conforme Silva et al. (2012). Para o tratamento de sequeiro, o suprimento hídrico foi completamente suspenso após a irrigação de salvamento, na tentativa de reproduzir a realidade dos sistemas de produção de algumas usinas da região Centro-Oeste, que tem canais implantados em áreas sob longos períodos de deficiência hídrica (Figura 2).

Figura 2. Sistema mecanizado de aspersão do tipo autopropelido com barra de irrigação, mostrando as parcelas experimentais: sequeiro (S) e irrigada (I).



O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos ao acaso com três repetições em parcelas subdivididas no tempo, com três variedades: RB855156, RB835486 e RB867515 (parcela), ausência e presença da irrigação (irrigado e sequeiro - subparcela) e seis coletas de dados no tempo, sendo: 100; 150; 200 e 250 dias após o corte (DAC) que foram as subsubparcelas. Cada parcela foi composta por uma fileira de plantas com 4,0 m de comprimento e 1,5 m de largura, sendo a área útil formada pelos 3,0 m centrais da mesma, descartando-se 0,5 m de cada lado para evitar o efeito da bordadura.

Para os diferentes parâmetros analisados, cinco plantas de cada variedade foram utilizadas de forma aleatória na área útil da parcela, utilizando-se a folha +3, de acordo com o sistema de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), por ser completamente desenvolvida do ponto de vista fisiológico e morfológico. Foram avaliados os seguintes parâmetros fisiológicos:

prolina livre na folha, transpiração (E), condutância estomática (g_s), fotossíntese líquida (A), carbono intracelular (Ci), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso de água (EIUA), eficiência da carboxilação (EC), clorofila-a (Clo-a), clorofila-b (Clo-b) e clorofila total (Clo-a+b).

Os teores de prolina livre da parte aérea foram determinados aos 100; 150; 200 e 250 DAC e analisado conforme método descrito por Bates, Waldrew e Teare (1973), sendo calculados com base na massa de matéria fresca.

Os parâmetros de trocas gasosas analisados foram avaliados aos 100 DAC, quando as plantas estavam no pico do período de restrição hídrica na região do presente estudo. Foi utilizado o medidor de trocas gasosas IRGA (Marca ADC, Modelo LC Pro S/ 32662), com avaliações realizadas das 8:00 às 11:00 horas.

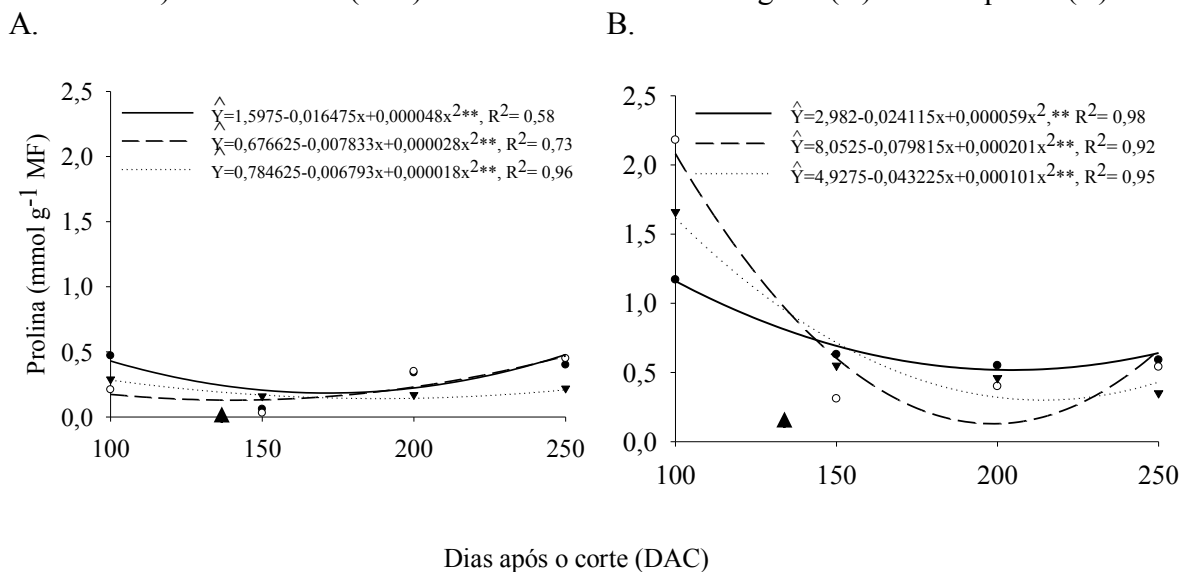
Os índices de clorofilas foram determinados no mesmo período dos parâmetros fotossintéticos, com o auxílio de um medidor portátil de clorofila, ClorofiLOG (Falker, CFL-1030).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e, quando necessário, foi realizada a análise de regressão polinomial. As médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos teores foliares de prolina nos tratamentos em sistema irrigado ajustaram-se significativamente em um modelo quadrático, onde aos 100 DAC os teores foliares de prolina livre eram de 0,17, 0,29 e 0,43 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF nas folhas das variedades RB855156, RB867515 e RB835486, respectivamente (Figura 3A.). Aos 250 DAC a concentração foliar de prolina apresentou teor semelhante aos registrados no início do ciclo para o cultivo em sistema irrigado, exceto para a RB855156 que ficou com teores de prolina 52,94% maior do que o observado no início do ciclo. No entanto, nenhuma das variedades ultrapassou a concentração de 0,5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF durante o período avaliado, ficando abaixo do que foi proposto por Hanson (1980) como sendo de 1 a 5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF a concentração foliar de prolina considerada normal para a maiorias das espécies vegetais, como arroz, sorgo, milho, trigo e cevada.

Figura 3. Teor de prolina livre na folha +3 das variedades RB835486 (— ●), RB855156 (--- ○) e RB867515 (... ▼) cultivadas em sistema irrigado (A) e em sequeiro (B).



* (▲) - início do período chuvoso.

Nas folhas das plantas cultivadas em sistema de sequeiro, todas as variedades apresentaram teores elevados de prolina livre aos 100 DAC (Figura 3B.), sendo a variedade RB855156 a com maior quantidade de prolina por grama de massa fresca, apresentando valores de $2,07 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF, equivalente a 1117,65 % maior que nas plantas da mesma variedade no mesmo período que receberam a irrigação, seguida da RB867515 com $1,61 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF (incremento de 455,17%) e da RB835486 com $1,16 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF (incremento de 169,77%). No entanto, para todas as variedades avaliadas, esses valores decresceram rapidamente com o início do período chuvoso (137 DAC).

Os dados do presente trabalho corroboram com os obtidos por Carlin e Santos (2009), quando avaliaram indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar, e verificaram que a concentração de prolina livre na folha aumentou concomitantemente com o aumento da restrição hídrica para as plantas. De acordo com Hanson (1980), o aumento de 20 a 100 vezes na concentração de prolina, ocorre poucos dias após a exposição das plantas a situação de estresse. Isto ocorre porque a prolina se acumula como soluto compatível atuando no ajuste osmótico de folhas sob baixo potencial hídrico e, principalmente, na estabilização de proteínas e na proteção das membranas contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio, evitando a desidratação do citosol (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Estes resultados confirmam que, o acúmulo de prolina da cana-de-açúcar tem relação com a maior resistência de cultivares à seca, por se acumular em diferentes intensidades entre as variedades testadas (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; CARLIN; SANTOS, 2009).

Para as demais variáveis testadas, a variedade BR867515 apresentou valores de E com incrementos de 10,91 e 27,05%; g_s com 14,29 e 26,32%; e A com 14 e 27,3% superior às variedades RB855156 e RB835486, respectivamente (Tabela 1). No entanto, não diferenciou significativamente da RB855156 para estes parâmetros.

Tabela 1. Médias dos parâmetros fisiológicos na folha +3 das variedades RB835486, RB855156 e RB867515 de cana-de-açúcar cultivada em sistema irrigado e em sequeiro, aos 100 dias após o corte (DAC)

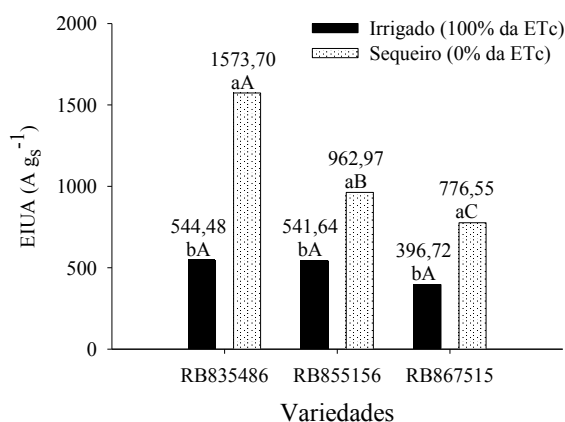
Tratamentos		Características fisiológicas avaliadas								
		E	g_s	A	Ci	EUA	EC	Clo-a	Clo-b	Clo-a+b
Variedades	RB835486	4,88b	0,19b	16,59b	150,33a	3,40a	0,11a	37,91c	10,44b	48,35b
	RB855156	5,59ab	0,21ab	18,92ab	135,77a	3,38a	0,14a	42,81a	13,73a	56,54a
	RB867515	6,20a	0,24a	21,19a	127,00a	3,42a	0,17a	41,15a	15,05a	56,20a
Irrigação	I	6,79a	0,30a	24,00a	142,88a	3,53a	0,17a	41,20a	13,21a	54,41a
	S	4,31b	0,13b	13,81b	132,51a	3,20a	0,10b	40,04b	12,93a	52,98b

*Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; E - transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); g_s - condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); A - fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Ci - carbono intracelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$); EUA - eficiência instantânea do uso da água (A E^{-1}); EC - eficiência da carboxilação (A Ci^{-1}); Clo-a - clorofila tipo a (índice de clorofila falker, ICF); Clo-b - clorofila tipo b (ICF); Clo-a+b - clorofila total.

Para o efeito isolado da irrigação, as plantas sob cultivo irrigado apresentaram resultados superiores para E, g_s , A, EC, Clo-a e Clo-a+b, com os respectivos incrementos: 57,54%; 138%; 73,79%; 54,55%; 2,90% e 29,70% comparado ao cultivo sob sequeiro e não diferiram significativamente para Ci, EUA e Clo-b. Assim, é possível considerar que houve uma resposta adaptativa das variedades quando cultivadas sob estresse hídrico. Observou-se ainda que a variedade RB835486 também apresentou os menores valores para o índice de clorofilas na folha (Tabela 1), sendo provavelmente decorrente da incidência da podridão vermelha (*Colletotrichum falcatum*) ocorrida com o uso da irrigação e o início do período chuvoso da região, confirmando a susceptibilidade da variedade ao ataque de fungos em altitudes elevadas (DAROS et al., 2010).

Verificou-se que para a interação entre variedades e irrigação (Figura 4), os valores de eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) das variedades não diferenciaram entre si quando cultivadas sob irrigação. No entanto, quando cultivadas em regime de sequeiro, as variedades diferiram entre si em diferentes intensidades. A variedade RB835486 quando cultivada em sequeiro foi a que apresentou maior acréscimo da EIUA (189,03%) comparada ao cultivo da mesma variedade sob irrigação, seguida da RB867515 (95,74%) e RB855156 (77,74%).

Figura 4. Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) na folha +3 das variedades RB835486, RB855156 e RB867515 cultivadas em sistema irrigado e em sequeiro, aos 100 dias após o corte (DAC).



*Médias seguidas de mesma letra minúsculas na mesma variedade, e maiúsculas entre variedades diferentes na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Machado et al. (2009) também não observaram diferenças significativas para EC e EIUA entre variedades de cana-de-açúcar (IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042) em crescimento inicial, crescimento máximo e de acúmulo de sacarose no colmo. Provavelmente estes resultados na elevação da EIUA foram em consequência da redução da g_s que foi proporcionalmente superior à redução de A (Tabela 1) nos tratamentos cultivados em regime de sequeiro. Isso proporcionou o aumento na EIUA das variedades testadas, ocorrendo em resposta à diminuição da área efetiva dos estômatos, o que faz diminuir diretamente os valores de g_s e altera a relação correspondente à EIUA, sendo considerado um padrão de resposta da cultura quando submetidas em situações de restrição hídrica, como explicaram Pincelli e Silva (2012).

Esses resultados confirmam que nas variedades testadas sob estresse severo que, além da elevação da concentração foliar de prolina, outro comportamento observado foi o fechamento estomático para impedir a desidratação excessiva das folhas e o conseqüente declínio na fotossíntese líquida, de forma a minimizar a perda de água e aumentar a eficiência no uso desta (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; INMAN-BAMBER et al., 2008), podendo ser, portanto, considerado como um mecanismo de resistência à seca. Outro aspecto importante verificado foi a redução na E em condição de déficit hídrico, o que provavelmente foi consequência direta da redução na g_s , reduzindo assim o uso da água, o que, segundo Machado et al. (2009), pode-se considerar como uma estratégia bem-sucedida nos genótipos em resposta à restrição hídrica. Ferraz et al. (2012) explicam que, de modo geral, as plantas sob estresse hídrico tendem a adotar um mecanismo conservativo, reduzindo g_s e E, e aumentando a EUA fazendo com que nessas condições a taxa de fotossíntese também seja reduzida.

Estes resultados corroboram com os relatados por Smit e Singels (2006) que notaram redução na condutância estomática em variedades de cana-de-açúcar (N22 e NCo376) em Mount Edgecombe, África do Sul. Da mesma forma, Gonçalves et al. (2010) também observaram que ocorreu redução nas variáveis de trocas gasosas (E, g_s e A), em variedades de cana-de-açúcar (SP79-1011, RB72454, RB98710 e RB92579) submetidas à deficiência hídrica durante a fase inicial de crescimento vegetativo, os autores verificaram que sob condições em que não houve limitação hídrica, a fotossíntese líquida permaneceu entre 19 e 24 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Entretanto, os autores afirmaram que a fotossíntese decresceu até o estresse hídrico severo, em que as taxas de assimilação líquida de CO_2 atingiram valores inferiores a 5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, bem inferiores aos 13,81 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ verificados no presente trabalho.

Como não foi verificada uma redução significativa na concentração do carbono intercelular (C_i) para os regimes hídricos testados e, principalmente, sem variações entre variedades (Tabela 1), se confirma então que também houve uma inibição não estomática da fotossíntese em condições de estresse hídrico, como proposto por Quick et al. (1992). Tal afirmação é confirmada pela redução da EC, que representa a velocidade com que o CO_2 fixado é processado e é limitada principalmente pela disponibilidade de CO_2 e pela quantidade e atividade enzimática, indicando que houve distúrbios metabólicos ocorridos em decorrência do estresse hídrico (ANJOS et al., 2014; JALEEL et al., 2008), como observado também nos valores de prolina das variedades testadas no presente trabalho.

A restrição hídrica nas plantas promoveu decréscimos significativos nos teores da Clo-a, sem, no entanto, promover qualquer diferença na razão Clo-a/b que foi de 3,12 para o tratamento irrigado, e 3,10 para o sequeiro, como propuseram Carlin, Rhein e Santos (2012). De acordo com Cha-Um e Kirdmanee (2009), a diminuição gradual dos teores dos pigmentos de clorofila causada pelo estresse hídrico em plantas de cana-de-açúcar é um dos principais

fatores que limitam a atividade fotossintética, comprometendo a produtividade da cultura pela dificuldade em alocar fotoassimilados. Tal redução pode ser atribuída ao aumento da atividade da clorofilase e a produção de ABA e etileno que também afetam a molécula de clorofila em consequência do estresse hídrico (PÁDUA et al., 2009), e que por sua vez serve como uma medida rápida usada como indicador do estresse hídrico podendo ser utilizados como ferramenta para a seleção de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (CARLIN; SANTOS, 2009). Além disso, Carlin, Rhein e Santos (2012) afirmam que a baixa disponibilidade hídrica no solo interfere na quantidade de nitrogênio da planta, limitando seu crescimento, influenciando diretamente a fotossíntese, seja na formação dos cloroplastos, síntese de clorofilas, síntese protéica ou atividade da enzima Rubisco, o que pode provocar a redução da concentração das clorofilas.

6 CONCLUSÕES

Houve elevação no teor de prolina livre nas folhas e redução dos índices de clorofila-a (Clo-a) e clorofila total (Clo-a+b) em diferentes intensidades para as variedades RB835486, RB855156 e RB867515.

As variedades de cana-de-açúcar RB835486, RB855156 e RB867515 cultivadas em sistema de sequeiro apresentaram aumento da eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) e redução na transpiração (E), condutância estomática (g_s), fotossíntese líquida (A), e eficiência da carboxilação (EC).

7 REFERÊNCIAS

- AMUDHA, J.; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnology and Molecular Biology Review**, Kota Kinabalu, v. 6, n. 1, p. 31-58, 2011.
- ANJOS, D. N.; VASCONCELOS, R. C.; MENDES, H. T. A.; CANGUSSU, A. C. V. Trocas gasosas em plantas de feijoeiro submetidas à fitorreguladores, NPK e micronutrientes. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 176-182, 2014.
- BATES, L. S.; WALDREW, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for waterstress studies. **PlantSoil**, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.
- CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 553-564, 2012.
- CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 9, p. 1106-1113, 2009.
- CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. **Agricultural Sciences in China**, Beijing, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. **Conab**, Brasília, v.1, n.5, p.15-23, 2016.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; ZAMBON, J. L. C.; FILHO, J. C. B. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: Ridesa, 2010. 136 p.

FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Revista Pesquisa Tropical**, Goiânia, v.42, n.2, p.181-188, 2012.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. 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.

HANKS, R. J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line-source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 426-429, 1976.

HANSON, A. D. Interpreting the metabolic responses of plants to water stress. **HortScience**, Alexandria, v. 5, n. 1, p. 623-629, 1980.

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.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; LAKSHMANAN, G.M. A.; GOMATHINAYAGAM, M.; PANNEERSELVAM, R. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 298-303, 2008.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. 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.

MONTEITH, J. L. Evaporation and Environment. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, Cambridge, v. 19, p. 205-234, 1965.

PÁDUA, G. P.; CARVALHO, M. L. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; GUERREIRO, M. C.; GUIMARÃES, R. M. Response of soybean genotypes to the expression of green seed under temperature and water stresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 140-149, 2009.

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.

PUGNAIRE, F. I.; ENDOLZ, L. S.; PARDOS, J. Constraints by water stress on plant growth. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop Stress**. New York: Dekker, 1994. p. 247-259.

QUICK, W. P.; CHAVES, M. M.; WENDLER, R.; DAVID, M.; RODRIGUES, M. L.; PASSARINHO, J. A.; PEREIRA, J. S.; ADCOCK, M. D.; LEEGOOD, R. C.; STITT, M. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. **Plant, Cell and Environment**, Amsterdam, v. 15, p. 25-35, 1992.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1279 p.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

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

VAN DILLEWIJN, C. V. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botânica, 1952. 371 p.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, Prague, v. 38, n. 1, p. 171-186, 2000.