



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EFEITO DA SALINIDADE NAS TROCAS GASOSAS DE DUAS CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR¹

Lenildo Teixeira Souto Filho², Eduardo Maciel Oliveira Laime³, Pedro Dantas Fernandes⁴,
Janivan Fernandes Suassuna³, Renato Costa da Silva⁵

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar está se expandindo na região semiárida devido a sua importância econômica. Nos solos da referida região, localizada no Nordeste brasileiro, ocorre problemas de salinidade, devido ao mau uso da água de irrigação. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a tolerância de duas cultivares de cana-de-açúcar quanto a salinidade da água de irrigação. O experimento foi conduzido na Unidade Acadêmica da Engenharia Agrícola/UFCG, em Campina Grande-PB, utilizando-se de um delineamento experimental em blocos casualizados compondo um fatorial 5 x 2 (5 níveis de salinidade da água x 2 variedades), resultando em 10 tratamentos em quatro blocos. Foram utilizados lisímetros de drenagem, onde foram implantadas as variedades: 'SP 813250' e a 'RB 92579', e aplicados os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, sendo: 0,6; 1,6; 2,6; 3,6 e 4,6 dS m⁻¹. Foram realizadas análises fisiológicas através da avaliação das trocas gasosas (fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de carbono). Observou-se que a condutância estomática (*gs*) e transpiração (*E*) apresentaram o mesmo comportamento ao longo das avaliações, apresentando reduções nos valores médios obtidos e que a concentração interna de carbono teve comportamento contrario a esses dois fatores e a fotossíntese teve redução ao longo do período experimental.

Palavras chave: irrigação, semiárido, *saccharum officinarum* L.

EFFECT OF SALINITY ON GAS EXCHANGE OF TWO VARIETIES OF CANE SUGAR

ABSTRACT

The cultivation of sugar cane is expanding in the semiarid region due to its economic importance, The soils this region, located in the Brazilian Northeast, has salinity problems due to misuse of irrigation water. Therefore, the aim of this work is to study the tolerance of two cultivars of cane sugar as the salinity of irrigation water. The experiment was conducted at the Academic Unit of Agricultural Engineering / UFCG in Campina Grande, using an experimental design in randomized blocks composing a 5 x 2 factorial (5 levels of salinity x 2 varieties), resulting in 10 treatments in four blocks. Were used drainage lysimeters, which were implanted varieties: 'SP 813 250' and 'RB 92579', and applied levels of electrical conductivity of irrigation water, as follows: 0.6, 1.6, 2.6, 3, 6 and 4.6 dS m⁻¹. Physiological analysis was performed through the evaluation of gas exchange (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and internal concentration of carbon). It was observed that stomatal conductance (*gs*) and transpiration (*E*) showed the same behavior throughout the evaluations, with reductions in average values and that the internal concentration of carbon behavior was contrary to these two factors and photosynthesis was reduced over the experimental period.

Keywords: irrigation, semiarid, *saccharum officinarum* L.

¹Parte da dissertação do curso de mestrado em Engenharia Agrícola - UFCG, Paraíba

²Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande, (UFCG), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande-PB. Email: teixeirasouto@hotmail.com

³Doutorandos em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande, (UFCG), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande-PB. Email: edu_laime@hotmail.com

⁴Professor Doutor Visitante, da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB

⁵Graduando em Engenharia Agrícola -UFCG, Paraíba

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira localizada na região Nordeste corre riscos permanentes de salinização e/ou sodificação, devido, na maioria das vezes, à qualidade da água e ao manejo inadequado da irrigação.

As áreas comprometidas por sais vêm crescendo a cada ano. Estima-se que no mundo 45 milhões de hectares de terras irrigadas estejam afetadas por sais e 32 milhões de hectares das terras que não são irrigadas passam pelo mesmo problema, respectivamente esses valores representam 19,5 % e 2,1 %. No Brasil o percentual estimado varia entre 20 e 25 % sendo a região semiárida a mais atingida (FAO, 2006).

As espécies de plantas reagem de maneira diferente em condições de estresse. Portanto, segundo Marcum (2001), há genótipos de plantas, que em condições de estresse salino, são capazes de produzir rendimentos, economicamente aceitáveis, mesmo quando não se consegue manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância da maioria dos genótipos. Tal característica, segundo o mesmo autor, pode ser empregada para se selecionar plantas tolerantes aos sais. Nesse sentido o estudo das trocas gasosas podem servir de

parâmetro para identificar plantas de cana-de-açúcar tolerante a sais.

Padate et al. (2008) relatam existir um milhão de hectares de solos cultivados com cana-de-açúcar no mundo, afetados pela salinidade ou sodicidade, em razão de se situarem em zonas tropicais e subtropicais. Essa é uma cultura de grande importância para o Brasil de acordo com Galvão et al. (2005) e que vem se expandindo para a região semiárida, a qual enfrenta problemas de salinidade.

Em condições de estresse hídrico, que pode ser causado por excesso de sais no solo devido a mau uso da água de irrigação, pois esses podem provocar aumento do potencial osmótico da solução do solo, o que pode acarretar decréscimo de absorção de água pelas plantas ou, que não haja absorção ou até perda água para o solo, até mesmo em condições em que o solo esteja alta umidade (DIAS & BLANCO, 2010). Nesse sentido pode ocorrer as situações em que condições de estresse hídrico a condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E) e fotossíntese tende a diminuir, sendo a gs acompanhada pela taxa transpiratória (E), isso para evitar perdas de água e assim evitar a desidratação das plantas, ajudando a sobrevivência das plantas em condições críticas (MACHADO et al., 2009; GONÇALVES et al., 2010).

Em conhecimento contido em Yordanov et al. (2003) e Inman-Bamber et al. (2005) a redução da condutância estomática é uma estratégia da cana-de-açúcar, para evitar a desidratação das folhas.

Neste contexto torna-se importante o conhecimento das trocas gasosas da cana-de-açúcar sob condições salinas, pois não há estudos neste aspecto em cana-de-açúcar, portanto o objetivo deste trabalho é avaliar as trocas gasosas desta cultura em duas cultivares da referida espécie, em seu primeiro ciclo de cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em área experimental da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola/UFCG, em Campina Grande-PB, nas coordenadas $-07^{\circ} 13' 50''$ de latitude, $-35^{\circ} 52' 52''$ de longitude e altitude de 551 m.

Os dados climáticos, registrados durante o período experimental de aplicação dos tratamentos, estão expostos na figura 1.

Empregaram-se duas cultivares de cana-de-açúcar, a 'SP 813250' e a 'RB 92579', plantadas em lisímetros e posteriormente submetidas a diferentes níveis de estresse salino 0,6, 1,6, 2,6, 3,6, 4,6 dS m^{-1} constituindo dez tratamentos

com quatro repetições compondo delineamento experimental em blocos casualizados e quatro touceiras por lisímetro, fornecidos por meio da água de irrigação. Os lisímetros têm as seguintes dimensões: 1,5 m de comprimento, 1,0 m de largura e 1,0 m de profundidade, contendo na base uma camada de brita de 10 cm e outra de areia sobre ela, de mesma espessura, para contenção do solo, em seu interior, e facilitar a drenagem.

Previamente à instalação do trabalho, coletaram-se amostras do solo contido nos lisímetros, na profundidade de 0 - 20 cm, para análises químicas. Considerando-se terem sido cultivados, antes, com pinhão-manso, em um experimento envolvendo níveis de irrigação com águas salinizadas, quinze dias antes da amostragem do solo, realizaram-se lavagens com água do sistema de abastecimento local, em volume suficiente para drenagem e lixiviação dos sais, três vezes por semana. As análises químicas foram processadas em duas etapas, inicialmente, em amostras individuais por lisímetro, para os atributos de salinidade. Constatando-se não haver efeito residual da salinidade do experimento anterior, fez-se análise completa, em uma amostra composta, obtendo-se os valores químicos (médias). São eles: Cálcio ($cmol_c kg^{-1}$) = 2,21, Magnésio ($cmol_c kg^{-1}$) = 1,85, Sódio

($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) = 0,05, Potássio ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) = 0,17, Hidrogênio ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) = 0,44, Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$) = 0,00, CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) = 4,90, Carbonato de Cálcio Qualitativo = ausente, Carbono Orgânico (g kg^{-1}) = 5,20, Matéria Orgânica

(g kg^{-1}) = 8,90, Nitrogênio (g kg^{-1}) = 5, Fósforo Assimilável (mg kg^{-1}) = 47,7, pH H_2O (1:2,5) = 6,53, Cond. Elétrica mmhos/cm(Suspensão Solo-Água) = 0,06, PST = 1,17.

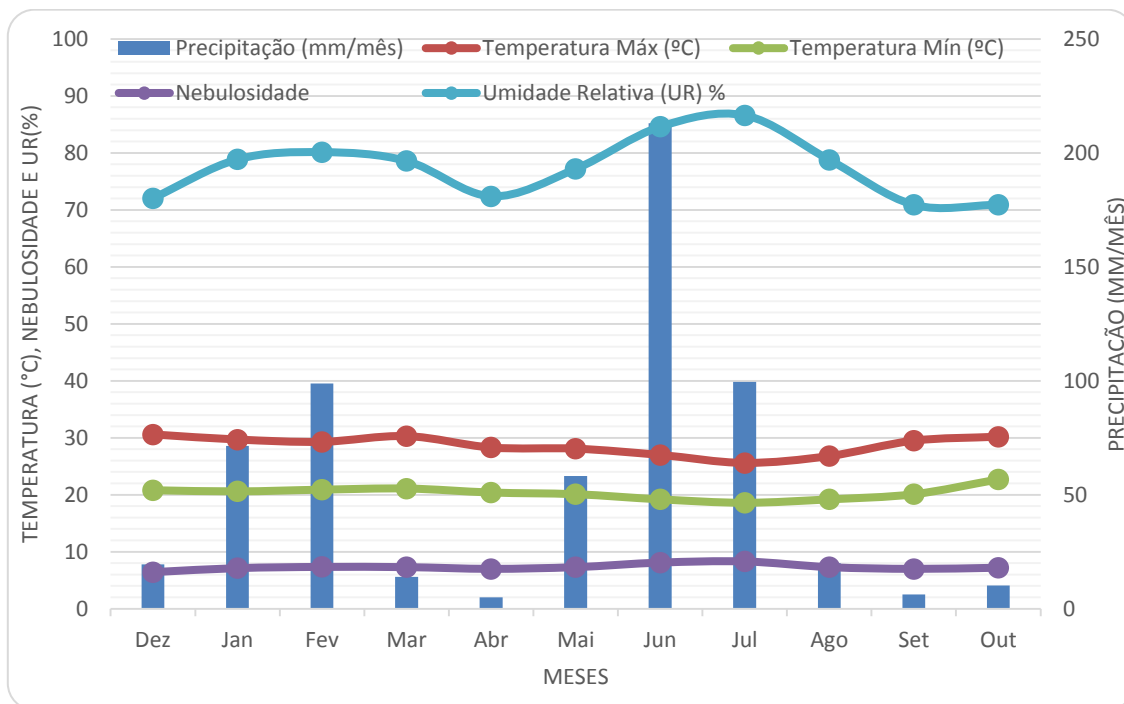


Figura 1. Dados dos componentes climáticos, registrados durante o período experimental de dezembro de 2011 a outubro de 2012, em uma estação automatizada, localizada próximo ao local do experimento. UFCG, Campina Grande-PB. AESA, (2012)

O plantio foi realizado em 22 de dezembro de 2011 e a colheita foi realizada de 31 de outubro a 3 de novembro de 2012 e a adubação foi adaptada de acordo com as recomendações de Alvarez et al. (1991), realizando-se no momento do plantio com P_2O_5 , na quantidade correspondente a de 180 kg/ha e 100 kg de K_2O (adubação de fundação); após 60 dias, no mês de fevereiro, foi aplicado o correspondente a

100 kg/ha de K_2O e 90 kg/ha de N; a adubação nitrogenada foi repetida em mais três aplicações de 45 Kg/ha de N, nos meses de março, maio e agosto, coincidindo as duas últimas adubações nitrogenadas com aplicações de potássio, na quantidade correspondente a 100 Kg/ha de K_2O em cada aplicação. A irrigação ocorreu todos os dias até a emergência das plantas até os 12 DAP (dias após plantio),

a cada dois até os 56 DAP e a cada três até 80 DAP, isso com água não salina, a partir daí a irrigação passou a ser salina e a cada três dias, sendo a última irrigação aos 305 DAP.

As variáveis estudadas foram feitas em duas avaliações de trocas gasosas, uma no período de maior número de perfilhos, chuvoso e período de estabilização do número de perfilhos por colmo, respectivamente, aos 120, 180, 210 e 300 DAP. As variáveis fisiológicas analisadas, baseando-se em Gonçalves et al. (2010), foram: concentração interna de CO₂ (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa transpiratória (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e fotossíntese líquida (A - expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ m}^{-1}$). Essas variáveis foram avaliadas na porção mediana do limbo da folha +3, utilizando-se de um analisador a gás infravermelho portátil (IRGA, modelo ADC - LCpro - SD da ADC/England), com acoplamento de uma fonte luminosa externa, ajustada em $1200 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa. As medições foram realizadas no horário da manhã entre as 8 h 30 min e 10 h e 30 min.

Após coleta dos dados realizou-se a média dos tratamentos. São essas médias provenientes de 2 leituras por lisímetro, portanto, 8 leituras por tratamento, considerando as quatro repetições. Não foi

feita análise estatística, pela variação ocorrida nas avaliações, demorando entre 1h e 30 minutos e 2 horas, entre o início e o final das leituras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estresse salino, segundo vários autores (HASEGAWA et al., 2000; TESTER & DAVENPORT, 2003; EPSTEIN & BLOOM, 2006; MUNNS & TESTER, 2008), prejudica a fotossíntese por aumentar a resistência à difusão de CO₂ por meio estômatos e mesófilo foliar e alterações no metabolismo fotossintético. O fechamento estomático, em geral, reduz a condutância estomática, a concentração interna de CO₂ e a taxa de assimilação de CO₂ (MUSYIMI et al., 2007; HASEGAWA et al., 2000).

Os valores médios de condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (C_i) e fotossíntese (A) estão na tabela 1. São médias provenientes de 2 leituras por lisímetro, portanto, 8 leituras por tratamento, considerando as quatro repetições. Não foi feita análise estatística, pela variação ocorrida nas avaliações, demorando entre 1h e 30 minutos e 2 horas, entre o início e o final das leituras.

Em geral, constata-se diferença entre as épocas, com maiores valores dos

parâmetros fisiológicos aos 120 DAP, decrescendo em taxas superiores a 50% na avaliação realizada aos 300 DAP. Tal diferença pode ser explicada pela coincidência das últimas leituras (300 DAP) com um período mais quente

(outubro) (Figura 1), forçando as plantas a fecharem os estômatos; nesse período, também, foi menor a pluviosidade, embora tenham sido maiores as lâminas de água aplicada (Figura 2).

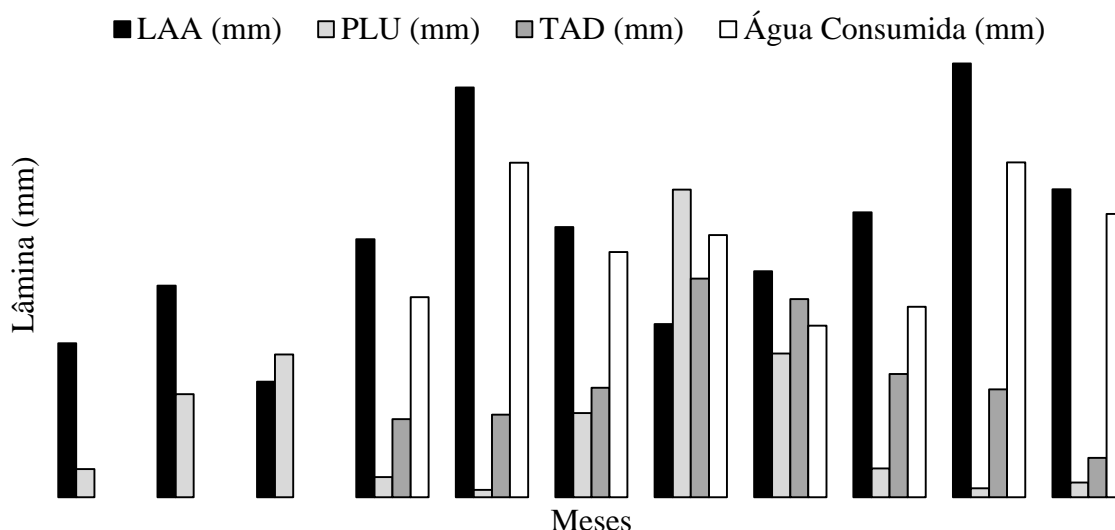


Figura 2. Balanço hídrico dos lisímetros, nos meses em que as plantas foram irrigadas com águas salinizadas. UFCG, Campina Grande-PB, 2012 (LAA - lâmina de água aplicada; PLU - pluviosidade; TAD - total de água drenada).

Tabela 1. Valores médios de condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E), concentração interna de CO_2 (Ci) e Taxa fotossintética (A), nas datas de 120 e 300 dias após plantio (DAP). UFCG, Campina Grande-PB, 2012

Época (DAP)	Cultivar	Salinidade ($dS\ m^{-1}$)	gs	E	Ci	A
120	SP 813250	0,6	0,12	2,79	86,00	18,00
		1,6	0,15	3,71	58,80	22,68
		2,6	0,14	3,48	36,00	23,92
		3,6	0,15	2,76	36,50	23,40
		4,6	0,14	3,44	32,67	23,08
	RB 92579	0,6	0,11	2,95	83,25	16,09
		1,6	0,15	3,45	38,88	22,97
		2,6	0,15	3,71	48,00	22,79
		3,6	0,13	3,34	42,00	24,56
		4,6	0,15	3,69	28,38	24,59

180	SP 813250	0,6	0,10	1,68	165,5	11,88
		1,6	0,09	1,52	149,25	9,70
		2,6	0,06	1,24	139,33	8,78
		3,6	0,04	0,90	132,13	5,83
		4,6	0,08	1,47	96,63	11,68
	RB 92579	0,6	0,07	1,28	176,75	6,67
		1,6	0,08	1,38	160,13	8,71
		2,6	0,07	1,28	129,38	8,43
		3,6	0,07	1,43	102,75	10,80
		4,6	0,07	1,27	103,38	10,20
210	SP 813250	0,6	0,05	1,05	210,13	4,32
		1,6	0,08	1,34	193,75	6,67
		2,6	0,07	1,33	161,50	7,58
		3,6	0,06	1,21	215,88	6,29
		4,6	0,07	1,17	238,37	6,74
	RB 92579	0,6	0,09	1,44	174,75	9,09
		1,6	0,08	1,39	183,25	8,04
		2,6	0,09	1,53	152,33	10,73
		3,6	0,08	1,35	199,13	7,22
		4,6	0,07	1,09	205,5	5,75
300	SP 813250	0,6	0,04	0,87	183,50	3,93
		1,6	0,04	0,96	152,13	4,22
		2,6	0,03	0,69	144,13	3,36
		3,6	0,03	0,65	126,67	5,41
		4,6	0,02	0,47	124,50	2,90
	RB 92579	0,6	0,05	0,98	151,25	4,97
		1,6	0,04	0,81	136,50	4,94
		2,6	0,03	0,73	129,75	4,08
		3,6	0,04	0,87	173,50	4,22
		4,6	0,04	0,80	185,75	3,75

Legenda: Ci = $\mu\text{mol mol}^{-1}$, E = $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, gs = $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, A = $\text{CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Condutância estomática (gs)

Aos 120 DAP houve tendência de aumento da condutância estomática, nas plantas submetidas aos níveis de salinidade, em comparação ao tratamento testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$), em ambas as cultivares. isso significa que os estômatos das folhas das plantas estavam mais abertos, ao serem irrigadas com água salinizada, com pouca variação entre os

níveis de concentração de sais.

A cana-de-açúcar é uma espécie C4, sendo uma das características dessas plantas a maior eficiência na abertura e fechamento dos estômatos, em condições de algum estresse (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Como tal fato não se repetiu aos 300 DAP, presume-se que na primeira avaliação (120 DAP) as plantas não

estavam, ainda, sob estresse salino, embora estivessem sendo irrigadas com águas salinizadas, que havia se iniciado há apenas 50 dias e, ao contrário, os sais as estimularam a abrir mais os estômatos, o que resultou em maior absorção de água e, conseqüentemente, maior transpiração (Tabela 1). Outro fato pode estar relacionado à coincidência com a fase de maior perfilhamento (120 DAP), podendo ter ocorrido diluição dos íons no interior das plantas, decorrente do maior número de perfilhos, com base em conhecimentos contidos em Garcia & Medina (2003).

Ainda relacionado à diferença na magnitude dos dados, entre as avaliações, vale ser ressaltado que o maior perfilhamento é uma necessidade biológica das plantas (perpetuação da espécie), aumentando o número de plantas por touceira, mesmo em condições de algum fator de estresse; enquanto na fase de colheita, é menor a atividade fisiológica, por estarem em fase final de amadurecimento dos colmos. Tais conhecimentos são úteis para se entender os resultados obtidos.

Aos 300 DAP, fase de maturação das plantas, o número de perfilho é menor e já se estabilizou há mais de 100 dias, em comparação ao início do desenvolvimento da cana-de-açúcar (DIOLA & SANTOS, 2010); portanto, nesse período volta a ser maior o efeito dos sais por ter cessado a

diluição dos íons decorrente do aumento de perfilhos, o que pode explicar a redução da condutância estomática. Ao final do ciclo, coincidindo com meses em que foram mais constantes as irrigações com águas salinizadas, correspondentes aos tratamentos, devem ter se acumulado sais no solo, afetando as plantas, pelo efeito osmótico dos íons, diminuindo o potencial da água no solo e, conseqüentemente, sua disponibilidade para as plantas. A redução da condutância estomática passa a ser uma estratégia da cana, para evitar a desidratação das folhas, com base em conhecimento contido em Yordanov et al. (2003) e Inman-Bamber et al. (2005).

Entre os 180 e 210 DAP a gs tendeu a diminuir comparando-se seus valores com os encontrados aos 120 DAP no entanto foram superiores aos encontrados aos 300 DAP, esses resultados foram possivelmente resposta ao acúmulo de sais ao longo do período experimental, culminando aos 300 DAP, como já mencionado e também a diminuição dos perfilhos devido ao fato as plantas estar na fase de maior crescimento e essa fase é acompanhada da redução dos perfilhos, conforme é relatado por Santos & Diola (2010), decrescendo possivelmente o efeito de diluição dos sais caso o número de perfilhos fossem maior conforme é citado por Garcia & Medina (2003), outro fator para essa tendência vale ser relatado com a

maior precipitação culminando com uma maior drenagem lixiviando parte dos sais, além de passar 28 dias sem aplicação dos tratamentos.

Em condições de ambientes controlados, como foi o caso desta pesquisa, pelo cultivo em lisímetros, Medeiros et al. (2010) relatam ser necessário um manejo cuidadoso da aplicação de águas salinizadas, devendo-se usar lâminas excedentes, para lixiviação dos sais do solo, resultando, assim, em equilíbrio favorável dos íons na zona radicular da cultura. De acordo com os mesmos autores, essa lâmina de lixiviação pode ser aplicada, intencionalmente, ou pode ocorrer como consequência das perdas espontâneas resultantes da irrigação. No caso deste experimento, nas épocas de 180 e 210 DAP pode ter ocorrido o que está relatado no trabalho destes autores, porém a água de lixiviação veio da precipitação pluvial.

Pode-se observar, também, serem similares as reduções percentuais em cada cultivar para gs, entre os genótipos, além de serem menores as reduções, se comparadas com os decrementos encontradas na literatura para cana-de-açúcar, sob condições de estresse, como em trabalho realizado por Gonçalves et al. (2010), que reportam reduções de 74 a 60 % na gs em condições de estresse hídrico severo e até 64 % em condições de

fornecimento de água entre 80-100 % da capacidade de água disponível.

Taxa transpiratória (E)

Os dados obtidos de transpiração (Tabela 1) tiveram a mesma tendência já discutida em condutância estomática, com valores mais altos na primeira avaliação, tendendo a diminuir nas avaliações subsequentes; aos 120 DAP, a transpiração foi menor no tratamento testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$), ocorrendo o contrário aos 300 DAP, sendo coerentes com os dados de gs, aos 180 DAP teve o mesmo comportamento da avaliação aos 120 DAP com transpiração menor no tratamento testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$), aos 210 DAP a variedade SP 813250 teve comportamento semelhante aos 300 DAP e a RB 92579.

Em geral, a taxa transpiratória foi maior na cultivar RB 92579; na primeira avaliação, os acréscimos, entre o primeiro e último tratamento (níveis de CEa) foram 18,90 % e 20,05 %, respectivamente para os genótipos SP 813250 e RB 92579, com base nos valores de $2,79$ a $3,44 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $2,95$ a $3,69 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Aos 300 DAP (Tabela 1) os valores de E decresceram para ambas as cultivares SP 813250 e RB 92579, com o aumento da salinidade, estimando-se decréscimos de 27,69 % em 'SP813250' e 18,37 % em 'RB92579'.

Aos 180 houve acréscimo de E comparando a menor salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) com a maior ($4,6 \text{ dS m}^{-1}$), sendo 12,5 % e 0,78% respectivamente para SP 813250 e RB 92579 e aos 210 houve decréscimo em RB 92579 com valor de 24,31 % e acréscimo de 10,26 % em SP 813250. Vale destacar que nestes períodos de 180 e 210 DAP os valores foram menores em relação aos 120 DAP e superiores aos 300 DAP.

De acordo com Bezerra et al. (2003), o estresse osmótico, associado ao acúmulo total de sais no solo, reduz a disponibilidade de água para os vegetais e pode, conseqüentemente, afetar as trocas gasosas e o crescimento das plantas. A salinidade é causada pelo excesso de íons na solução do solo, diminuindo o potencial osmótico da água no solo, podendo alcançar valores inferiores aos da planta, fazendo com que a água se transloque da

cultivares, em função dos tratamentos, pois os valores de E não variaram na cultivar RB 98710; nas variedades SP 79-1011, RB 72454 e RB 92579 as reduções da transpiração foram mais pronunciadas, sobretudo quando submetidas a estresse hídrico severo.

Ainda segundo aqueles autores, interpretando valores mais altos de condutância estomática e de transpiração, em plantas mais novas, como aconteceu

planta para o levando-a ao déficit hídrico, o que é denominado de seca fisiológica.

A estreita tendência entre g_s e E , em ambas as épocas de avaliação, segundo Gonçalves et al. (2010), é esperada, tendo em vista a diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração, à medida em que se fecham os estômatos. Machado et al. (2009) observaram em seus estudos de déficit hídrico em cana-de-açúcar, em diferentes fases fenológicas, que a redução de g_s também causou decréscimo na transpiração (E), nos genótipos estudados (IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042), como consequência do déficit hídrico.

Gonçalves et al. (2010), estudando deficiência hídrica em quatro genótipos submetidos a três níveis de déficit hídrico, observaram reduções na transpiração, com variação da transpiração entre as neste trabalho (120 DAP), nas primeiras fases de crescimento da cana, as plantas são menores e têm número reduzido de folhas, sendo maior a radiação incidente sobre elas, elevando, por conseguinte, a temperatura, o que as impulsiona a maiores taxas transpiratórias, como forma de resfriamento foliar; outra explicação pode estar no maior crescimento das plantas, ao final do experimento, podendo passar por deficiência hídrica, mesmo que seja

temporário, pois plantas com maior tamanho consomem mais água e devido a isso a quantidade de água fornecida talvez não tenha atendido às suas necessidades, ao consumo pela planta por um período curto de tempo. Pode ter ocorrido, também, no presente trabalho, como efeito de estresse hídrico, aliado aos sais, nos tratamentos com maior condutividade elétrica.

Aos 300 DAP, fase de maturação das plantas, onde o número de perfilho é menor e estável, em comparação ao início de crescimento da cana-de-açúcar (DIOLA & SANTOS, 2010), não há diluição dos efeitos tóxicos dos sais, o que pode resultar em menor abertura dos estômatos e conseqüente diminuição da transpiração (E). Nesse segundo período pode ter ocorrido uma maior concentração de sais no solo já que a drenagem foi menor, principalmente nos tratamentos com água

nas variáveis citadas, em relação aos valores reportados por Gonçalves et al. (2010), pode estar associada ao fato de ambas cultivares serem tolerantes ao estresse hídrico, pois a 'SP 813250' é citada por Dellabiglia et al. (2013) como tolerante à seca, o mesmo acontecendo com a 'RB 92579', em trabalho realizado por Barbosa et al. (2003). Ressalte-se que uma das conseqüências da concentração de sais no solo é a redução do potencial

de maior salinidade, o que levou as plantas a diminuir transpiração. Segundo Dudy & Gilard (2000), os efeitos do estresse hídrico, provocados pela salinidade, incluem mudanças fisiológicas como fechamento dos estômatos, redução das taxas fotossintéticas, acúmulo de moléculas orgânicas, alterações nos níveis de hormônios e mudanças na atuação de gens.

Analisando-se os dados de g_s e de E , constata-se similaridade entre os genótipos, quanto à tolerância à salinidade, isto é, não se observaram grandes diferenças entre eles. Segundo Bezerra et al. (2003), o estresse osmótico, associado ao acúmulo total de sais no solo, reduz a disponibilidade de água para os vegetais e pode, conseqüentemente, afetar as trocas gasosas e o crescimento das plantas. Nesse contexto, uma explicação para a possível igualdade de tolerância das cultivares à salinidade, com menores reduções hídrico, diminuindo a absorção de água pelas plantas (TESTER & DAVENPORT, 2003; WAHID, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Concentração interna de CO_2 (C_i) e Fotossíntese (A)

Inicialmente, é notória a diferença na concentração de CO_2 , entre as duas avaliações, o inverso do que ocorreu em condutância estomática (Tabela 1). A alta

concentração aos 300 DAP é sinal que não houve fluxo do processo fotossintético, não sendo, portanto, reduzido o carbono a compostos orgânicos (TAIZ & ZEIGER, 2009), por ser final do ciclo. Interessante é que aconteceu em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, em que a CEa era $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, não podendo ser interpretado como efeito do sódio ou de sais, em geral. Durante o período de 180 e 210 DAP houve tendência de aumento dos valores de C_i , sendo os valores de 180 menores em relação a 210 e estes por inferiores aos 300 DAP.

Como os dados de fotossíntese (A) estão na coluna seguinte, constata-se que o mesmo aconteceu com a fixação de CO_2 e formação de compostos orgânicos.

A explicação possível para os dados obtidos aos 300 DAP está na coincidência com a fase final do ciclo da cana-de-açúcar, já em processo de amadurecimento, sendo menor a fotossíntese líquida, necessária apenas para a manutenção do metabolismo das plantas. A seguir, a discussão passa a ser por época de avaliação.

Aos 120 DAP (Tabela 1), o carbono interno tendeu a decrescer com o aumento dos níveis de sais na água de irrigação, em ambas as cultivares; os decréscimos entre a testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) e o tratamento com CEa de $4,6 \text{ dS m}^{-1}$ foram 62,01% em

‘SP813250’ (de 86,00 para $32,67 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e 65,91% em ‘RB9257’ (83,25 a $28,38 \mu\text{mol mol}^{-1}$).

Aos 300 DAP, a concentração de carbono, entre as cultivares, variou de forma diferente, decrescendo as médias na cv. SP 813250, com aumento da CEa e com tendência de aumento em ‘RB9257’, com o aumento da salinidade da água de irrigação. Os valores para as duas cultivares variaram de 183,5 a 124,5 e de $151,25$ a $185,75 \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente, representando decréscimo de 32,15% e acréscimo de 18,57%.

Aos 180 DAP, o carbono interno (C_i) tendeu a decrescer com o aumento dos níveis de sais na água de irrigação, em ambas as cultivares; os decréscimos entre a testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) e o tratamento com CEa de $4,6 \text{ dS m}^{-1}$ foram 42,00 % em ‘SP813250’ (de 165,50 para $96,00 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e 41,50 % em ‘RB9257’ (176,38 a $103,38 \mu\text{mol mol}^{-1}$).

Aos 210 DAP, o carbono interno (C_i) tendeu a crescer com o aumento dos níveis de sais na água de irrigação, em ambas as cultivares; os acréscimos entre a testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) e o tratamento com CEa de $4,6 \text{ dS m}^{-1}$ foram 11,86 % em ‘SP813250’ (de 210,1 para $238,37 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e 15,09 % em ‘RB9257’ (174,50 a $205,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$).

Embora seja outra espécie, bem diferente, relatam-se dados obtidos por Musyimi et al. (2007) em abacateiro, pela peculiaridade de terem obtido grande aumentos de C_i , em torno de 300%, em plantas sob condições de salinidade, com reflexos negativos em sua taxa fotossintética. Resultados similares foram verificados por Freire (2011), em maracujazeiro. Segundo Lucena (2009), as elevações na C_i do tecido foliar podem estar associadas à queda na atividade de enzimas do metabolismo do carbono, em razão da sensibilidade à acumulação de Na^+ e Cl^- nas folhas, resultando em fitotoxicidade.

Especificamente sobre a taxa fotossintética, aos 120 DAP a fotossíntese foi 34,57% maior em ‘RB92579’, comparando-se a testemunha com o nível mais alto de CEa, enquanto que na cultivar ‘SP813250’ cresceu apenas 22,01%.

Aos 300 DAP foram pequenas as diferenças de A , entre ambas as cultivares. Aos 180 foi 34,61% maior com relação a ‘RB 92579’ e 1,85% menor em relação a ‘SP813250’ e aos 210 DAP houve acréscimo de 37,19% em Ana cultivar ‘RB92579’ e acréscimo de 31,32% em ‘SP 813250’.

Em estudo de trocas gasosas em cana-de-açúcar, Gonçalves et al. (2010) observaram decréscimo da taxa de

fotossíntese líquida, entre as épocas de avaliação, em função dos dias de exposição ao estresse hídrico. Nas plantas submetidas aos tratamentos de estresse moderado e estresse severo a redução foi de 49,53 e 78,34%, respectivamente, uma evidência de ter sido a taxa de assimilação líquida de CO_2 fortemente afetada pela deficiência hídrica. Nos tratamentos de estresse hídrico severo, as taxas de assimilação líquida de CO_2 atingiram valores inferiores a $5 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; quando não houve limitação hídrica, a fotossíntese líquida permaneceu entre 19 e $24 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Neste trabalho, sendo estudados tratamentos de salinidade da água de irrigação, na avaliação aos 300 DAP, os valores de A foram próximos de $5 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e entre 16,09 e $24,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na avaliação realizada aos 120 DAP (Tabela 1).

A taxa fotossintética (A) pode estar relacionada, ou não, ao movimento dos estômatos (REIS & CAMPOSTRINI, 2008). Dentre os de natureza estomática, os autores relatam a relação com a condutância. Os maiores valores de A , registrados aos 120 DAP, corresponderam a dados mais altos de g_s e E , no mesmo período, observando-se a mesma relação na avaliação realizada aos 300 DAP, decrescendo os valores de g_s e E_e , conseqüentemente, os de A , o valores

intermediários encontrados ao 180 e 210 DAP para *gs* e *E* foram acompanhados por valores intermediários de *A*.

A grandeza dos valores de fotossíntese é, também, relacionada a características genéticas de cada espécie, pois de acordo com Ghannoum et al. (2003), estudando a tolerância ao estresse hídrico de quatro espécies de gramíneas C4, há redução de *A* com o aumento do estresse hídrico, no entanto, há casos de valores similares de *A*, sob condições extremas de maior e menor disponibilidade hídrica, uma característica, de acordo com os autores, ligada ao genótipo.

4. CONCLUSÕES

Com aumento da salinidade, a redução da transpiração foi maior em ‘SP 813250’, ao final do ciclo.

Próximo à colheita, reduz-se a atividade fisiológica, com decréscimo de todos os parâmetros de trocas gasosas, em ambas as cultivares, com exceção da concentração interna de carbono, que se acumulou nas folhas.

Na fase de maior perfilhamento, aos 120 dias após plantio, a taxa fotossintética em ‘RB92579’ é 35 % maior que em ‘SP 813250’.

5. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R. ; WUTKE, A. C. P. ; ARRUDA, H. V.;VAN RAIJ, B. ; GOMES, A.C. ; ZINK F. Adubação da cana-de-acúcar: XIV. Adubação NPK em latossolo roxo. **Bragantia**,v. 50 n.2. p 359-374,1991.
- AYERS, R. S. **Quality of water for irrigation. Journal Irrigation and Drainage** Div. n.103, p.135-154, 1977.
- BEZERRA, M. A.; OLIVEIRA, R. A.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Fotossíntese de plantas de cajueiro-anão precoce submetidas ao estresse salino. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v. 47, p. 149-152, 2003.
- DELLABIGLIA, W. J.; SILVA, M. A.; PINCELLI, R. P.; RHEIN, A. F. L.; ARANTES, M. T.; SANTOS, C. M.; SORRILLA, P. F.; BASSETTO, S. C. **Avaliação de tolerância à seca em cultivares comerciais de cana-de-açúcar por meio de marcadores morfo-fisiológicos.** Disponível: www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutov.../RE10310.pdf. Acesso em 20 /fev/ 2013.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e na planta. In: GHEYI,H.R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos**

- básicos e Aplicados.** Fortaleza-CE: INCTSal, 2010. Cap. 9, p.130-141.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fase de cultivo. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Bioenergia, açúcar e álcool-tecnologia e perspectivas.** Viçosa, MG, 2010. Cap. 2, p 25-49.
- DUDY, B. Z; GILARD, A. Studies of salt stress-and water stress – regulated genes: The stress-regulated asrl gene encodes a DNA – binding protein. In: Smallwood, C.M. DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, A.C.; MAGALÃES, P. C.; MARTINEZ, L. A.. Detecção de condições de estresse em plantas e potencial para screening em milho através da fluorescência da clorofila In: Reunião Técnica Anual do Sorgo, 28, Reunião Técnica Anual do Milho, 45, 2000, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas. Embrapa de Clima Temperado, 2000p 510-516. CD ROM.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** 2. Edição Trad.. Londrina: Editora Planta. 2006.392p.
- FAO. Water in agriculture: opportunity untapped. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations,** 2006.
- FREIRE, J. L. O. **Crescimento e desenvolvimento de maracujazeiro amarelo sob salinidade e uso de biofertilizante e cobertura.** Areia. 2011.
- 185f. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Paraíba. . Areia. 2011.
- GALVÃO, L. S. FORMAGGIO, A. R. TISOT, D. A. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor Hyperion/eo-1. **Revista Brasileira de Cartografia,** N 57/01, p. 7-14, 2005.
- GARCÍA, M.; MEDINA, E. Crecimiento y acumulación de prolina en dos genotipos de caña de azúcar sometidos a salinización con cloruro de sódio. **Revista de la Facultad de Agronomía,** v.20, p.168-179, 2003.
- Ghannoum, O.; Conroy, J. P.; Driscoll, S. P.; Paul, M. J.; Foyer, C. H.; Lawlor, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist,** v.159, n. 3, p.599-608, 2003.
- 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.** v.14, n.4, p. 378–386, 2010.
- HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review Plant Molecular Biology,** New York. v. 51, p. 463 – 499, 2000.

- INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SMITH, D.M.; THORBURN, P.J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005.
- LUCENA, C. C. **Crescimento vegetativo, absorção de nutrientes e trocas gasosas em mangueiras submetidas a estresse salino**. Viçosa: UFV, 2009. 178p. Dissertação Mestrado.
- Machado, R. S.; Ribeiro, R. V.; Marchiori, Paulo E. R.; Machado, D. F. S. P.; Machado, E. C.; Landell, Marcos G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.
- MARCUM, K.B. Salinity tolerance of 35 bentgrass cultivars. **Hortscience**, v.36, n.2, p.374-376, 2001.
- MEDEIROS, P.R.F.; SILVA, E.F.F.; DUARTE, S. N. **Salinidade em ambiente protegido**. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e Aplicados. Fortaleza-CE: INCTSal, 2010. Cap. 6, p 84-92.
- MUNNS, R.; TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.
- MUSYIMI, D. M.; NETONDO, G. W.; OUMA, G. Effects of salinity on gas exchange and nutrients uptake in avocados. **Journal of Biological Sciences**, v.7, n.3, p.496 – 505, 2007.
- PATADE, V. Y.; SUPRASANNA, P.; BAPAT, V. A. Effects of salt stress on relation to osmotic adjustment on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) callus cultures. **Plant Growth Regulation**, v. 55, p. 169-173, 2008.
- REIS, F. G.; Campostrini, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo. **Bragantia**. v.67 n.4 , p. 815-822, 2008
- TAIZ, T.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4a Ed, Porto Alegre: ArtMed, 2009.828p.
- TESTER M.; DAVENPORT, R.J. Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants. **Ann. Bot.**, v.91, p.503–527, 2003.
- WAHID, A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.45, p.133- 141, 2004.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Journal of Plant Physiology**, Special Issue, p.187-206, 2003.