

DESEMPENHO DE GENÓTIPOS PROMISSORES DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO FERRAMENTAS FISIOLÓGICAS E BIOMÉTRICAS

PERFORMANCE OF PROMISSING SUGAR CANE GENOTYPES USING PHYSIOLOGICAL AND BIOMETRICAL TOOLS

Julio Renovato SANTOS¹; Luiz Fernando Ganassali OLIVEIRA JR²;
João Paulo Silva SOUSA¹; Carlos Dias SILVA JUNIOR³; Claudia Ribeiro SARMENTO¹

1. Mestrando, programa de pós graduação em Agroecossistemas – NEREN- UFS, Laboratório de Ecofisiologia e Pós-Colheita – ECOPOC, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, SE, Brasil; 2. Professor, Doutor, ECOPOC, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil. lfg.ufs@gmail.com; 3. Professor, Doutor, Biologia, Laboratório de Fisiologia Vegetal, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

RESUMO: O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é uma fonte de renda de grande expressão para a agricultura, principalmente no Nordeste. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar quatro genótipos de cana-de-açúcar usando indicadores fisiológicos e biométricos em ambiente protegido. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos (genótipo 698B, 712B, 260B e 3B), quatro repetições e uma planta como parcela útil. As mudas foram transplantadas aos 45 dias para vasos de 18 dm³. Aos 154 dias do transplantio foram analisadas as seguintes variáveis: Fluorescência da clorofila *a*, teores de clorofila *a*, *b* e total, teores de prolina, rendimento quântico (ΦPS2), quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN), temperatura foliar (Tfo), altura da planta principal (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF). As avaliações foram realizadas no período entre as 10h30min e as 12h00min da manhã. Em condições de capacidade de campo os genótipos não apresentaram diferença estatística para os parâmetros de teores de clorofila *a*, *b* e total, eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II, temperatura foliar. Para teores de prolina o 712B diferenciou-se estaticamente dos demais apresentando maiores teores. Os genótipos também diferiram estatisticamente em relação à altura de planta principal (AP), número de folhas (NF) e área foliar (AF), destacando-se o 698B o 3B em número de folhas e área foliar, enquanto que o 712B e 260B apresentaram menores valores para estes parâmetros. Os genótipos 698B e 3B são os mais promissores para o programa de melhoramento.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum* spp. Fluorescência da clorofila *a*. Teores de clorofila. Prolina.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), é cultivada em diferentes classes de solo e sob influência de diversos fatores abióticos peculiares a cada região, resultando, com isso, distintos ecossistemas de produção (QUEIROZ et al., 2008).

Uma das características que permitem a cana-de-açúcar produzir em diferentes ecossistemas é o fato de ser considerada uma planta C4, apresentando elevadas taxas fotossintéticas e alta eficiência na conversão de energia radiante em energia química, sob condições tropicais. Estas plantas, em temperaturas entre 30°C - 40°C possuem alto desempenho fotossintético, quando comparadas com plantas C3, pois necessitam de menores concentrações de CO₂, devido aos mecanismos da planta que têm a função de concentração de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A demanda por cultivares tolerantes às adversidades ambientais como a restrição hídrica e com boa produtividade, tem gerado interesse por pesquisadores na investigação dos mecanismos fisiológicos que possam ser utilizados pelas plantas em respostas a estas questões (KAVI KISHOR et

al., 2005), como a prolina (osmorregulador que auxilia na identificação de indivíduos resistentes ao déficit hídrico) e a fluorescência da clorofila *a*. Cha-Um e Kirdmanee (2009) sugerem em programas de melhoramento de cana-de-açúcar, além da utilização de análise multivariada, o uso de parâmetros bioquímicos e fisiológicos visando à seleção de materiais promissores. Sendo esses parâmetros utilizados cada vez mais na seleção e melhoramento genético de plantas.

Neste sentido, as medidas de fluorescência da clorofila *a*, podem revelar o nível energético de excitação dos pigmentos fotossintéticos; dessa forma, a habilidade em manter elevadas razões Fv/Fm pode ser um dos indicativos de eficiência no uso da radiação pela fotoquímica e, assimilação de carbono (TESTER; BACIC, 2005), sendo esse um indicativo de produção para programas de melhoramento genético.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o desempenho de quatro genótipos de cana-de-açúcar em condições de capacidade de campo, usando indicadores fisiológicos e biométricos, além da prolina para auxiliar na identificação de características

promissoras para seleção e melhoramento genético de novas variedades de cana-de-açúcar.

MATERIAL E METODOS

O Experimento foi conduzido em estufa climatizada do tipo arco, situada na Universidade Federal de Sergipe localizada no município de São Cristóvão-SE. Foram utilizados genótipos baseando-se nas características produtivas dos progenitores, desenvolvidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA. Os genótipos utilizados foram o 698B (RB 9419 x BR99371), 712B (RB92579 x SP 801816), 260B (CB 49260 x BR72454) e 3B (F 150 x BR72910). Aos 45 dias após a brotação dos rebolos, os mesmos foram transplantados em vasos de polipropileno preto com volume de 18 dm³ de solo, selecionando as plantas mais uniformes. O solo usado foi coletado no campus experimental da Universidade Federal de Sergipe, localizado no povoado timbó município de São Cristóvão-SE (latitude 11°00' S e longitude 37° 12'W), em uma profundidade de 0,00 a 0,20 m no perfil do solo,

sendo classificado como Argissolo vermelho-amarelo. Após a coleta do solo, realizou-se a caracterização química junto ao laboratório do Instituto de Tecnologia e Pesquisa do Estado de Sergipe (ITPS).

Os valores encontrados foram: M. O. 16,5 g.dm⁻³, H⁺ + Al⁺³ 3,08 g.dm⁻³, K⁺ 44,2 Ppm, P 3,00 ppm, Soma de bases trocáveis 2,71 g.dm⁻³, Capacidade de troca catiônica (CTC) 5,79 g.dm⁻³ e Saturação por base (V) 46,8 %.

O teor de água no solo foi monitorado diariamente nos períodos da manhã e da tarde (9 e 15 horas), com o auxílio de um sensor de umidade modelo Watermark, instalado no centro dos vasos, na profundidade de 15 cm. A reposição hídrica foi realizada com base nas leituras obtidas com o sensor e a água foi reposta até a capacidade de campo (30 mm de lâmina de água). Esses cálculos foram realizados com o auxílio de uma planilha eletrônica, feita em função da curva de retenção de água do solo. Para determinar a curva característica de retenção de água do solo e da densidade (Tabela 1) utilizou-se o método adaptado segundo metodologia de Pacheco (2010), usando amostra deformada.

Tabela 1. Resultado da determinação da curva de retenção de água no solo realizado no laboratório de física de solo da Embrapa Tabuleiros Costeiros-CPATC. Aracaju (SE), 2010.

Identificação das amostras	Tensão aplicada (KPa)								
	0	1	4	6	10	33	100	500	1500
	UBM (m ³ m ⁻³)								
Repetição 1	0,542	0,433	0,351	0,329	0,243	0,187	0,147	0,081	0,064
Repetição 2	0,564	0,474	0,364	0,353	0,245	0,208	0,146	0,085	0,074
Repetição 3	0,586	0,492	0,378	0,372	0,272	0,208	0,155	0,082	0,073
Média	0,564	0,466	0,364	0,351	0,253	0,201	0,149	0,083	0,071

Identificação das amostras	Água disponível	Densidade do solo	Porosidade		
	(m ³ m ⁻³)	(g cm ⁻³)	Macro	Micro	Total
Repetição 1	0,179	1,406	0,214	0,329	0,542
Repetição 2	0,170	1,501	0,210	0,353	0,564
Repetição 3	0,199	1,546	0,215	0,372	0,586
Média	0,183	1,484	0,213	0,351	0,564

Com auxílio dos resultados da análise do solo foi realizada a correção da acidez, usando-se uma tonelada de calcário com PRNT de 75 %. O suprimento de macro e micronutrientes foi determinado pelo estande das plantas por hectare, sendo considerado 1,3 plantas por metro linear,

utilizando-se 60 Kg ha⁻¹ de N, 150 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 Kg ha⁻¹ K₂O.

Durante o período experimental as condições ambientais no interior da casa de vegetação, representadas pela temperatura média e umidade relativa média do ar, medidas diariamente

com termohigrógrafo, foram 29 ± 4.5 °C e $60 \pm 10.5\%$, respectivamente.

As medidas de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas pelo método do pulso saturado (MAXWELL; JOHNSON, 2000), utilizando a nomenclatura recomendada por Baker e Rosenqvist (2004). Sendo feitas em folhas maduras completamente expandidas, folha +1 (contada do topo para a base é a primeira a apresentar aurícula visível (*dewlap*)), aos 154 dias após transplântio, no período de 10:30 a 12:00 horas, período de alta disponibilidade de radiação solar, com o sistema portátil de medição de fotossíntese modelo Li-6400XP, equipado com a câmara modelo LI-6400-40XP (Leaf chamber fluorometer, LI-COR Inc.). Em cada medição, um clipe foliar foi colocado na folha por 30 minutos, antes do início das leituras de fluorescência, para que a área de medição na folha permanecesse no escuro e ocorresse a oxidação de todo centro de reação. Os sinais de fluorescência e temperatura (ambiente e foliar) foram registrados no sistema de dados do equipamento que calculou automaticamente a fluorescência mínima (F_0), excitada por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ($0,03 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$); máxima (F_m), obtida pela aplicação de um pulso de 0,8 s de luz actínica saturante ($> 6000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), o rendimento quântico potencial Máximo de fotossistema II (FS II) ($F_v/F_m = F_m - F_0/F_m$) (LAISK; LORETO, 1996), e 0,84 o valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelo folíolo. Os quenchings fotoquímico e não-fotoquímico são dados pela equação $qP = (F_m' - F_s / F_m' - F_0')$ e $qN = (F_m - F_m' / F_m - F_0')$.

O teor de clorofila *a*, *b* e total foi determinado de acordo com Arnon (1949) utilizando o terço médio da folha+1 (completamente expandida e com aurícula visível) aos 154 dias após transplântio, entre às 10:30 e 12:00 horas.

O teor de prolina livre foi determinado em 0,5 g de massa fresca da folha +1, utilizado-se o método descrito por Bates et al. (1973).

As variáveis biométricas foram realizadas os 154 dias de transplântadas em todas as plantas: alturas do colmo (AP) foram mensuradas a partir do colo até o primeiro *dewlap* visível da planta principal (não foram medidos os perfilhos); diâmetros do colmo (DC) foram avaliados logo acima do colo da planta principal com auxílio de um paquímetro digital; números de folhas (NF) foram determinados pela contagem das folhas expandidas da planta principal, iniciando da +1 e decrescendo até a última folha que apresentava no mínimo 80% do limbo foliar verde. A áreas das folhas da planta principal (AF) foram determinadas usando um

medidor de área foliar portátil (modelo LI-3000 LI-COR.inc), iniciando da folha +1 e seguindo de forma crescente até as folhas que apresentassem no mínimo 80% do limbo foliar verde.

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente ao acaso com quatro tratamentos (genótipos de cana-de-açúcar: 698B, 712B, 260B e 3B) e quatro repetições, sendo a parcela constituída por uma planta. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste de Tukey a 5 % de probabilidade usando o programa estatístico SISVAR® versão 4.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de clorofilas encontrados na Tabela 2 indicou que a clorofila *a* esteve presente em concentrações maiores nas plantas, próximo a proporção de 3:1 com relação à clorofila *b*. Esses resultados demonstram que os genótipos estavam em condições normais quanto aos teores deste pigmento (TAIZ; ZEIGER, 2009), exercendo assim, maior atuação na captação de energia luminosa quando comparado com a clorofila *b*, sendo esta última definida como pigmentos acessórios. As clorofilas *a* e *b* são pigmentos fotossintéticos com função de absorver energia luminosa atuando como complexo antena. Esses pigmentos estão diretamente associados ao centro de reação do fotossistema II, fornecendo energia para as reações químicas de oxidação e redução (CASTRO et al., 2008).

Ao verificar as médias entre os genótipos, observou-se que não houve diferença significativa, estando entre 1,81 – 2,16; 0,55 – 0,80 e 2,36 – 2,96 os valores para clorofila *a*, *b* e total respectivamente. Esses valores sugerem o pleno funcionamento em capacidade de campo para todos os genótipos. Gonçalves et al. (2010) também verificaram valores bem próximos a este trabalho com 2,07; 0,65 e 2,79 para a variedade RB92579 e 2,12; 0,89; 3,01 para a variedade RB72454 para as clorofila *a*, *b* e total, respectivamente. Tanto nos genótipos utilizados neste trabalho (698B, 712B, 260B e 3B) quanto nas variedades de cana-de-açúcar (RB92579 e RB72454) utilizadas por Gonçalves et al. (2010), a relação entre a clorofila *a* e *b* mantiveram-se próximo a relação de 3:1.

A fluorescência da clorofila *a* é usada no monitoramento do processo fotossintético, podendo ser utilizada para se obter informações sobre a inibição ou danos na transferência de elétrons no fotossistema II (FSII) (ZHAO et al., 2011). Para os genótipos analisados (Tabela 3) não se verificou

diferenças significativas para fluorescência da clorofila *a*.

Tabela 2. Valores médios (n=4) dos teores de clorofila *a* (Chl *a*) clorofila *b* (Chl *b*), teores de clorofila total (Chl *t*) e relação Clorofila *a/b* (Chl*a/b*) de quatro genótipos de cana-de-açúcar em condições de capacidade de campo em ambiente protegido. São Cristóvão (SE), 2011.

Genótipos	Variáveis			
	Chl <i>a</i> (mg g ⁻¹ MF)	Chl <i>b</i> (mg g ⁻¹ MF)	Chl <i>t</i> (mg g ⁻¹ MF)	Chl <i>a/b</i>
698B	1,81 a	0,55 a	2,36 a	3,29 a
712B	2,16 a	0,80 a	2,96 a	2,70 a
260B	2,10 a	0,70 a	2,80 a	3,00 a
3B	2,10 a	0,63 a	2,74 a	3,33 a
CV	9.07	23.69	11.61	9.46

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3. Valores médios (n=4) de eficiência fotoquímica máxima do FSII (Fv/Fm), fluorescência inicial (F_o), fluorescência variável (Fv) e fluorescência máxima (Fm) de quatro genótipos de cana-de-açúcar em condições de capacidade de campo em ambiente protegido. São Cristóvão (SE), 2011.

Genótipos	Variáveis			
	Fv/Fm	F _o	Fv	Fm
698B	0,75 a	401,09 a	1061,13 a	1414,21 a
712B	0,75 a	453,75 a	1345,48 a	1794,22 a
260B	0,76 a	407,55 a	1260,41 a	1648,97 a
3B	0,77 a	377,93 a	1125,64 a	1453,58 a
CV	3.71	13.02	13.46	11.92

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores das fluorescências inicial (F_o), máxima (Fm), variável (Fv) e da razão entre as fluorescências variável e máxima (Fv/Fm) são obtidos na “fase rápida” da cinética de emissão de fluorescência (BOLHÁR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993). Onde F_o é a fluorescência quando QA (quinona receptora primária de elétrons do FSII) está totalmente oxidada e o centro de reação do FSII está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas. O aumento de F_o é, portanto independente dos eventos fotoquímicos, refletindo a degradação do centro de reação do FSII ou a diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação do complexo antena para o centro de reação (BAKER; ROSENQVST, 2004). Entretanto, F_o nem sempre é uma constante, o seu valor pode aumentar caso os centros de reação do PSII estejam comprometidos, ou se a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação esteja prejudicada (BOLHÁR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993). O valor de F_o é alterado por estresses do ambiente que causam alterações estruturais nos pigmentos fotossintéticos

do PSII. Estresse por temperaturas infraótimas decresce significativamente os valores de F_o e o estresse por temperaturas supra-ótimas é caracterizado por incrementar drasticamente os valores de F_o (SCHREIBER; BERRY, 1987). Os dados de F_o encontrados mostram valores entre 453,75 e 377,93, esses valores estão abaixo dos encontrados por Gonçalves et al.(2005) que ficaram por volta de 500 para plantas saudáveis, indicando que os quatro genótipos não estavam sob estresse, pois Gonçalves et al., (2005) encontrou valores superiores a 500 para genótipos estressados.

A relação Fv/Fm é estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FSII, quando todos os centros de reação do FSII estão abertos (BAKER; ROSENQVST, 2004). Essa relação tem sido utilizada frequentemente para detectar perturbações no sistema fotossintético causada por estresses tanto ambientais quanto bióticos, visto que a diminuição indica inibição da atividade fotoquímica. Os genótipos não apresentaram diferença significativa com valores da razão Fv/Fm variando entre 0,75 a 0,77,

significando uma eficiência do uso dos pigmentos de clorofila, responsável pela absorção de energia luminosa, que é de fundamental importância para o fornecimento de elétrons que será usada no processo fotossintético. Bolhár-Nordenkamp e Öquist (1993), relataram que quando a planta está com seu aparelho fotossintético intacto, a razão Fv/Fm deve variar entre 0,75 e 0,85 enquanto que uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII. Gonçalves et al. (2010) encontrou valores de Fv/Fm de 0,76 em variedade de cana-de-açúcar RB92579, enquanto que Baker (2008), e Silva et al. (2007) encontraram valores maiores que 0,8 para cana-de-açúcar em capacidade de campo. Assim, os diferentes valores de Fv/Fm encontrados por esses autores, expressam o potencial genético de cada material, fundamentais na seleção e no melhoramento genético de diversas plantas, em especial a cana-de-açúcar, onde a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II pode ser usada como parâmetro para determinar o desempenho fotossintético dos genótipos em estudo.

Os dados de fluorescência variável (Fv) não apresentaram diferença significativa variando de 1061,13 a 1345,48. No trabalho de Durães et al. (2000), os valores encontrados para 4 genótipos de milho foram de (1316, 1265, 1234 e 1354) respectivamente, corroborando com os obtidos nesse trabalho. Fv é uma relação dependente dos valores de fluorescência máxima e basal ($Fv = (Fm - Fo)$), ela é a resposta mais importante da planta, em se tratando de fluorescência de folhas adaptadas ao escuro. Quanto maior a Fv maior a capacidade da planta em transferir a energia dos elétrons ejetados das moléculas dos pigmentos para a formação do redutor NADPH, ATP e ferredoxina reduzida (Fdr) e, conseqüentemente, maior a capacidade de assimilação do CO₂ na fase bioquímica da fotossíntese (BAKER, 2008).

Os valores encontrados de fluorescência máxima (Fm) alcançaram até 1794,22 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, foram menores que os apresentados por Gonçalves e Santos (2005) que ficaram em torno de 2500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Já no trabalho de Durães et al. (2000), com 4 genótipos de milho, os valores alcançaram (1720, 1763, 1783 e 1689) respectivamente, sendo esses semelhantes aos encontrados no presente trabalho. A fluorescência máxima (Fm) é o valor máximo de fluorescência de clorofila obtido para uma intensidade de luz contínua, obtida quando todos os centros de reação do PSII estão oxidados e adaptados ao escuro, sendo $qP = 1$ e $qN = 0$. Este parâmetro pode apenas ser denominado como fluorescência máxima se a intensidade de luz fornecida pelo fluorímetro for suficiente para saturar

completamente a capacidade da planta de absorver elétrons, que no caso desse experimento foi de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Assim, os dados não diferiram estatisticamente, mostrando que a capacidade de fluorescência máxima de todos os genótipos está equiparada. É provável que os genótipos utilizados não tenham uma capacidade de fluorescência máxima tão alta quanto aos materiais usadas por Gonçalves e Santos (2005), ou ainda que o ambiente de casa de vegetação restrinja de forma moderada tal capacidade. Isso não vem a afetar o desempenho das plantas visto que a relação Fv/Fm manteve-se padrão em relação a outros materiais.

O quenching fotoquímico (qP) demonstra a quantidade de energia extinta em processos primários das reações fotoquímicas (KRAUSE; WEIS, 1991). Valores maiores ou constantes de qP em paralelo ao decréscimo de QA indicam aumento da participação de dreno alternativo de elétrons (RIBEIRO et al., 2003). Quenching fotoquímico inclui fotossíntese e tende a ser maior em condições de pouca luz, já que é onde as folhas usam a luz de forma mais eficiente. Os dados foram altamente uniformes, não apresentando diferença estatística (Tabela 4). Valores semelhantes aos encontrados nesse trabalho (0,9 - 1,0) foram relatados por Cassol et al. (2008) indicando o pleno desenvolvimento dos genótipos, livres de estresses bióticos ou abióticos. Valores ao redor de 1 são ideais para qP, sendo os valores encontrados neste trabalho bem próximos a este.

O quenching não-fotoquímico (qN), é o coeficiente de extinção não-fotoquímica da fluorescência da clorofila, reflete o quanto de energia é dissipada (dissipação de calor) no centro de reação PSII (BILGER; BJORKMAN, 1990). O valor ideal para qN é de 0, dessa maneira, os valores encontrado estão próximos de zero, 0,04 (698B, 712B e 260B) e 0,02 (3B) apresentando diferença estatística, mesmo estando muito próximos a zero. Isto significa que os genótipos usados no presente estudo estão aproveitando quase 100% da energia luminosa recebida, sendo eles muito eficientes. Estando então a dissipação de calor uniforme e a cadeia de transporte de elétrons intacta. O qN da fluorescência inclui mecanismos tais como a dissipação de calor, e é calculado a partir $qN = Fm - Fm' / Fm - Fo'$. qN é maior quando a intensidade de luz é alta, sendo um mecanismo para evitar o excesso de energização das membranas dos tilacóides. Os valores (0,02 - 0,04) estão compatíveis com os vistos por Campos et al. (2009).

Tabela 4. Valores médios (n=4) de Fluorescência de estado estacionário (Fs), rendimento quântico (ϕ PS2), quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN) e fluorescência variável em quatro genótipos precoce de cana-de-açúcar em condições de capacidade de campo em ambiente protegido. São Cristóvão (SE), 2011.

Genótipos	Variáveis			
	ϕ PS2	qP	qN	Fv
698B	0,69 a	0,98 a	0,04 a	1061,13 a
712B	0,72 a	0,99 a	0,04 a	1345,48 a
260B	0,71 a	0,99 a	0,04 a	1260,41 a
3B	0,76 a	0,98 a	0,02 b	1125,64 a
CV	4.41	0.72	14.14	13.46

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O rendimento quântico ϕ PS2 eficaz representa a capacidade da planta de converter energia fotônica em energia química, uma vez que a fluorescência de estado estacionário e a taxa de transporte de elétrons têm sido alcançadas (GENTY et al., 1989). O ϕ PS2 é a proporção de energia absorvida usada na geração de NADPH e ATP. Os dados do experimento não diferiram estatisticamente, sendo os genótipos considerados equilibrados em relação ao rendimento quântico, os valores ficaram entre 0,69 e 0,76 (Tabela 4). Esses dados corroboram com os encontrados por Campos et al. (2009) onde os valores ficaram entre 0,65 e 0,72.

Com relação ao teor de prolina os resultados apresentados na Tabela 5, demonstram valores superiores para o genótipo 712B com 0,137 mg g⁻¹

MF, em condições de capacidade de campo, enquanto que para os demais genótipos não foi verificada diferença significativa, variando de 0,126 a 0,129 mg g⁻¹ MF, em relação a produção deste aminoácido. Assim, o genótipo 712B possivelmente tenha maior eficiência em adaptar-se as condições de estresse. Pois, a prolina sendo um aminoácido com função osmorreguladora, atua como estratégia adaptativa dos vegetais a diversas condições de estresse abiótico, principalmente a restrição hídrica. Contudo, os valores encontrados para a prolina em todos os genótipos foram inferiores aos obtidos por Queiroz et al. (2008), com (0,3460 μ moles g⁻¹) e (0,3345 μ moles g⁻¹) para cultivares IAC91- 5155 e IAC91-2195, respectivamente em capacidade de campo.

Tabela 5. Médias (n=4) dos teores de prolina (Pro), temperatura foliar (Tfo), de quatro genótipos de cana-de-açúcar em condições de capacidade de campo em ambiente protegido. São Cristóvão (SE), 2011.

Genótipos	Variáveis	
	Pro(mg g ⁻¹ MF)	Tfo(°C)
698B	0,129 b	32,66 a
712B	0,137 a	32,73 a
260B	0,126 b	31,97 a
3B	0,126 b	32,22 a
C.V.	2,81	1,37

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A temperatura foliar é outro parâmetro fisiológico também usado para a diferenciação entre variedades tolerantes e sensíveis a estresses (TRIBUZY et al., 2005). Essa variável está diretamente relacionada à transpiração foliar, pois a translocação de água realizada na transpiração contribui para dissipação de calor, controlando a temperatura da planta, podendo em altas

temperaturas ambiente ou na deficiência de água no solo, causar danos irreversíveis para a planta. Observou-se que os genótipos apresentaram valores de temperatura foliar variando de 31,97 a 32,73 °C (Tabela 5) menor que a temperatura do ar de 33,30 °C, demonstrando que não houve problema com as plantas em relação à dissipação de calor, evitando efeitos adversos negativos sobre os processos

reduzidos e oxidativos do metabolismo do carbono (ARAÚJO DINIZ et al., 2010).

De acordo com a Tabela 6, observou-se que o genótipo 3B destacou-se estatisticamente dos demais quanto à altura (64,50 cm), número de folhas (6,0) e área foliar (1377,56 cm²) apresentando maior crescimento, embora não diferenciando estatisticamente do genótipo 698B quanto ao número de folhas (6,5) e área foliar (1467,32 cm²). Provavelmente por apresentar um maior desenvolvimento biométrico, os genótipos 3B e 698B acabam tendo maior capacidade de produção, pois os genótipos estão equiparados fisiologicamente, porém, por apresentar maior número de folhas e área foliar, maior será a absorção de energia luminosa, resultando em uma maior absorção de nutrientes e CO₂, e

consequentemente uma provável maior produtividade desses genótipos. Em relação ao número de folhas sob condições 100 % da capacidade de campo, houve aumento em todos os genótipos como também encontrado por Pincelli e Silva, (2012). Já os menores valores para a variável altura (20,75 cm), número de folha (2,8) e área foliar (632,78 cm²) foi verificado no genótipo 260B. Quanto ao diâmetro não foi verificado diferença significativa entre os genótipos apresentando média de 2,95 cm, sendo superiores ao encontrado por Gonçalves et al. (2010) que verificou em seu trabalho diâmetro de 2,25 e 2,13 para as variedades RB72454 (2,25 mm) e RB92579, respectivamente. Resultados semelhantes também foram observados em trabalhos de Barbosa (2005) e Fernandes (2005) para valores de diâmetro.

Tabela 6. Médias (n=4) de altura, diâmetro, número de folha, área foliar de quatro genótipos de cana-de-açúcar em condições de capacidade de campo em ambiente protegido. São Cristóvão (SE), 2011.

Genótipos	Variáveis			
	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Folha (Nº)	Área Foliar (cm ²)
698B	41,25 b	3,05 a	6,5 a	1467,32 a
712B	38,50 b	2,85 a	5,0 b	789,67 b
260B	20,75 c	2,80 a	2,0 c	632,78 b
3B	64,50 a	3,10 a	6,0 ab	1377,56 a
CV	3,15	8,11	9.82	15.33

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Os genótipos estudados apresentaram a mesma tendência fisiológica.

Os genótipos 698B e 3B são biometricamente superiores aos demais, sendo considerados os mais promissores em relação a parâmetros de produção.

Em relação à adaptabilidade a uma possível restrição hídrica considera-se o genótipo 712B como destaque em função do maior teor de prolina.

AGRADECIMENTOS

À FAPITEC pela concessão da bolsa de pós-graduação e pelo fomento a pesquisa, Assim como a RIDESA pelos materiais.

ABSTRACT: The cultivation of the sugar cane in Brazil is a major source of income for agriculture, especially in the Northeast. Thus, the present study aimed to evaluate four genotypes of sugar cane using biometric and physiological indicators in a protected environment. The study used a completely randomized design with four treatments (genotype 698B, 712B, 260B and 3B), four replications and one plant as useful plot. The seedlings were transplanted at 45 days to vessels of 18 dm³. At 154 days after transplanting, were analyzed the following variables: Fluorescence of the chlorophyll a, levels of chlorophyll a, b and total, proline contents, quantum yield (ϕPS2), photochemistry quenching (qP), non-photochemical quenching (qN), leaf temperature (TFO), main plant height (PH), culm diameter (DC), number of leaves (NL) and leaf area (LA). The evaluations were conducted in the period between 10:30 and 12:00 in the morning. In conditions of field capacity genotypes showed no statistical difference for the parameters of levels of chlorophyll a, b and total, photochemical efficiency of photosystem II, leaf temperature. For the 712B, proline contents differentiated itself statistically from the others, showing higher levels. The genotypes also differ statistically with regard to the main plant

height (PH), number of leaves (NL) and leaf area (LA), standing out the 698B 3B in the number of leaves and leaf area, while the 712B and 260B had lower values for these parameters. Genotypes 3B and 698B are the most promising for the improvement program.

KEYWORDS: Saccharum spp. Chlorophyll a fluorescence. Chlorophyll levels. Proline.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO DINIZ, P. F.; OLIVEIRA, L. E. M.; GOMES, M. P.; CASTRO, E. M.; MESQUITA, A. C.; BONOME, L. T. S.; SILVA, L. . Crescimento, parâmetros biofísicos e aspectos anatômicos de plantas jovens de seringueira inoculadas com fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 65-72, 2010.
- ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasto polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. **Plant physiology**, Rockville, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 403, p. 1607–1621, 2004.
- BAKER, B. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review. of Plant Biology**, Boca Raton, v. 59, p. 89-113, 2008.
- BARBOSA, EDLENE. ALVES. **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas–MG**. 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia–Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v. 25, p. 173-185, 1990.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G.. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In D. Hall, J. M. O. Scurlock, H. R. R. Bolhàr-Nordenkampf, C. R. C. Leegood, S.P. Long, (Ed). **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual** . Chapman & Hall, London, 1993 p. 193-206.
- CAMPOS, W. F. ; VITÓRIA, Â. P. ; SOUZA F., GONÇALO A. Estresse salino afeta as trocas gasosas de dois genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). In: **5 Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, 2009, Guarapari. 5 Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 2009. p. 192-196.
- CAPUTO, M. M; BEAUCLAIR, E. G. F.; SILVA, M. A.; PIEDADE, S. M. S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, 2008.
- CASSOL, D; SILVA, F. S. P.; FALQUETO, A. R.; BACARIN, M. A. An evaluation of non-destructive methods to estimate total chlorophyll content. **Photosynthetica**, v. 46, p. 634-636, 2008.
- CASTRO, P. R. C.; Kluge, R. A. ; SESTARI, I. . **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

- 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, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2009.
- DURÃES, F. O. M. ; OLIVEIRA, A. C. ; MAGALHÃES, P. C. ; MARTINEZ, C. A. . Detecção de condições de estresse em plantas e potencial para "screening" em milho através da fluorescência da clorofila.. **Documentos Embrapa Clima Temperado**, Pelotas, RS, Brasil, p. 510-516, 2000.
- FERNANDES, Olivares Weber. **Avaliação de variedades de cana-de-açúcar para produção de cachaça artesanal e interferência dos resultados no comportamento do produtor na região de Salinas-MG**. 2005. 82p. Dissertação (Mestrado em educação Agrícola)- UFRRJ, Seropédica, 2005.
- GENTY, B; BRIANTAIS, J. M; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990, p. 87–92, 1989.
- GONÇALVES, M. C.; VEGA, J.; OLIVEIRA, J. G.; GOMES, M. M. A. *Sugarcane yellow leaf virus* infection leads to alterations in photosynthetic efficiency and carbohydrate accumulation in sugarcane leaves. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 10-16. 2005.
- GONÇALVES, J.F.C.; SANTOS JUNIOR, U.M. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 3, p. 307-313, 2005.
- GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; LAURÍCIO E; 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, PB, v. 14, n. 4, p. 378–386, 2010.
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Boca Raton, v. 42, p. 313-349, 1991.
- KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, n. 3, p. 424-438, 2005.
- LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence: rubisco specificity factor, dark respiration in the light, excitation distribution between photosystems, alternative electron transport rate and mesophyll diffusion resistance. **Plant Physiology**, v. 110. p. 903-912. 1996.
- MAXWELL, C. L.; JOHNSON, G.; Chlorophyll fluorescence-a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 11, n. 1, p. 659-668, 2000.
- PACHECO, E. P. **Estudo da compressibilidade e qualidade de um argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de alagoas**. 2010. 106f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2010.
- 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, July/Aug. 2012.

- QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D.; MARIN, A.; BANZATTO, D. A.; CAZETTA, J. O. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica no solo. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 107 - 115, 2008.
- QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M.; FERRAUDO, A. S.; Carlin, S. D.; SILVA, M. A. Biochemical and physiological responses of sugarcane cultivars to soil water deficiencies. **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol. 68, n. 4, pp. 469-476, 2011
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F.de; PIMENTEL, C. High temperature effects on the response of ph Otosynthesis to light in sweet Orange plants infected with xylella fastidiosa. **Brazillin Journal of Plant Physiology**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2003.
- SCHREIBER, U.; BERRY, J. A.. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in intact leaves correlated with damage of photosynthetic apparatus. **Planta**, v. 136: p. 233-238, 1987.
- SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 3, 2007.
- TAIZ, L; ZEIGER. E. Tradução: SANTARÉM. E. R... [et al.]. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artemed, 2009. 848p.
- TESTER, M.; BACIC, A. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. **Plant Physiology**, v. 137, p. 791-793, 2005.
- TRIBUZY, E. S. ; CHAMBERS, J. Q. ; FELSEMBURGH, C. A.; SANTOS , J. ; TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. ; HIGUCHI, N. . Efeito da temperatura sobre as respostas fotossintéticas em folhas de sol e sombra em plantas do dossel florestal da Amazônia Central. In: **II Congresso de Estudantes e Bolsistas do Experimento LBA**, 2005, Manaus. Anais do II Congresso de Estudantes e Bolsistas do Experimento LBA. Manaus: CNPq/LBA - NASA, 2005. v. 1.
- ZHAO, D., GLYNN, N. C., GLAZ, B., COMSTOCK, J. C. ; SOOD, S. Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane. **Plant Disease**, v. 95, n 6, p. 640-647, 2011.