



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOSSISTEMA**



CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS À RESTRIÇÃO HÍDRICA

RICARDO BARBOSA DOS SANTOS

2011



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOSSISTEMA**



RICARDO BARBOSA DOS SANTOS

CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS À RESTRIÇÃO HÍDRICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Renata Silva-Mann

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE-BRASIL
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA

S237c Santos, Ricardo Barbosa dos
Cultivares de cana-de-açúcar submetido à restrição hídrica / Ricardo Barbosa dos Santos. - São Cristóvão, 2011. 88 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2011.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Renata Silva-Mann.

1. Cana-de-açúcar - Cultivares. 2. Estresse hídrico. 3. Água na agricultura. I. Título.

CDU 633.61:556.18

RICARDO BARBOSA DOS SANTOS

CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS À RESTRIÇÃO HÍDRICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em ____ / ____ / 2011.

Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali Oliveira
UFS

Prof.Dr. Carlos Dias Silva Júnior
UFS

Prof^a. Dr^a. Renata Silva-Mann
UFS
(Orientadora)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE-BRASIL

Dedico este trabalho aos meus pais, José Barbosa dos Santos e Vitorina Matias dos Santos, que me apoiaram incondicionalmente durante toda minha vida acadêmica, e meus irmãos Kátia Barbosa dos Santos, Clebson Barbosa dos Santos, Rosana Barbosa dos Santos e Simone Barbosa dos Santos que nunca deixaram de acreditar em mim e sempre me encorajaram a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros e muitos agradecimentos a minha orientadora Prof^ª. Dra. Renata Silva-Mann “Mamãe”, pela paciência e fé dispensada digna de uma verdadeira mãe para com um filho um pouco rebelde.

Ao meu Co-Orientador Prof^º. Dr. Luiz Fernando pelo apoio digno de um grande orientador.

Aos amigos Júlio Renovato, Lucas Oliveira, Gabriel, Marília Cavalcante e Yvesmar Resende pela ajuda incondicional no momento mais importante desse trabalho.

As minhas amigas do Laboratório de Pesquisa em Melhoramento Genético, Susi Alves, Ângela Maria, Luciana Oliveira, Daniela Gondim, pelos conselhos e apoio.

A Embrapa Tabuleiro Costeiros nas pessoas do Pesquisador Dr. Fernando Cintra, Roberto, Bruno e Inácio por terem me auxiliado durante minha estada nos laboratórios dessa conceituada Empresa de Pesquisa e orgulho de todos profissionais da área de Ciências Agrárias.

A Universidade Federal de Sergipe, por toda minha formação acadêmica e pela possibilidade concedida a mim, para hoje poder estar concluindo minha Pós-Graduação.

E ao grupo RIDESA-UFRPE pela disponibilidade de contato e materiais para conclusão do meu trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa.

MUITÍSSIMO OBRIGADO!

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vii
NOMECLATURA, SIMBOLOS E ABREVIACÕES	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. A cultura da cana-de-açúcar e sua importância para o Brasil	4
2.2. Características agronômicas da cana-de-açúcar	7
2.3. O déficit hídrico e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar	12
2.4. O agroecossistema canavieiro do Estado de Sergipe	16
2.5. Efeitos de estresse abióticos no fotossistema vegetal	22
2.7. Avaliação de danos ao aparato fotossintético	26
2.8. Mecanismos morfofisiológicos de adaptação ao déficit hídrico	31
2.9. Acúmulo de osmoprotetores e o ajustamento osmótico	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Delineamento experimental e análise estatística	39
3.2. Coleta e preparo do solo para implantação do experimento	39
3.3. Obtenção das plântulas de cana-de-açúcar, implantação do experimento e condições ambientais	42
3.4. Mensuração dos parâmetros de fluorescência e de pigmentos fotossintéticos	43
3.5. Determinação dos teores de prolina livre	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5. CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
7. ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1	Área colhida nos municípios produtores de cana-de-açúcar do Estado de Sergipe na safra 2008. 20
FIGURA 2	Curva de retenção de água de amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 41
FIGURA 3	Condições de temperatura e umidade em estufa agrícola durante o período experimental. UFS, São Cristóvão-SE, 2010 43
FIGURA 4	Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper. 44
FIGURA 5	Índice de clorofila <i>a</i> mensurados com medidor portátil Clorofilog em folhas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 47
FIGURA 6	Índice de clorofila <i>b</i> mensurado com medidor portátil Clorofilog em folhas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 48
FIGURA 7	Índice de clorofila total mensurados com medidor portátil Clorofilog em folhas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 49
FIGURA 8	Valores da fluorescência inicial (F0) de cultivares testada de cana-de-açúcar sob efeitos dos níveis de água e períodos de estresse. (A) Cultivar RB85-5536 e (B) Cultivar RB 93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 52
FIGURA 9	Valores da fluorescência máxima (Fm) de cultivares testada de cana-de-açúcar sob efeitos dos níveis de água e períodos de estresse. (A) Cultivar RB85-5536 e (B) Cultivar RB 93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 54
FIGURA 10	Valores da relação Fv/Fm de cultivares testada de cana-de-açúcar sob efeitos dos níveis de água e períodos de estresse. (A) Cultivar RB85-5536 e (B) Cultivar RB 93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 57
FIGURA 11	Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> no período inicial de estresse hídrico. (A) Cultivar RB93-509 e (B) Cultivar RB85-5536. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 59
FIGURA 12	Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> no período final de estresse hídrico. (A) Cultivar RB93-509 e (B) Cultivar RB85-5536. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 61
FIGURA 13	Teor de prolina acumulada nas folhas da cultivar RB 85-5536 sob efeito de diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 67
FIGURA 14	Teor de prolina acumulada nas folhas da cultivar RB 93-509 sob efeito de diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010. 68

LISTA DE TABELAS

	Pag
TABELA 1 Resultado da análise físico-química de amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo. São Cristóvão-SE, 2010	40
TABELA 2 Diluições do padrão de prolina para posterior montagem da curva analítica padrão. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.	46
TABELA 3 Teores de prolina livre em folhas de cultivares de cana-de-açúcar sob efeito de diferentes níveis de água no solo. São Cristóvão-SE, 2010.	65

NOMECLATURA, SIMBOLOS E ABREVIACOES

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
$\mu\text{g.g}^{-1}$	Micrograma por grama
cmolc.cm^{-3}	Centimol de carga por centímetro cúbico
CTC	Capacidade de troca cati�nica
F0	Fluorescência Inicial
Fm	Fluorescência máxima
Fv/Fm	Eficiência quântica do fotossistema
g.cm^{-3}	Grama por centímetro cúbico
g.dm^{-3}	Gama por dec�metro cúbico
KPa	Quilo pascal
$\text{m}^3.\text{m}^{-3}$	Metro cúbico por metro cúbico
P5CR	Pirrolina-5-carboxialse redutase
P5CS	Pirrolina-5-carboxilase sintetase
PPM	Parte por milhão
ProDH	Prolina desidrogenase
RIDESA	Rede Interuniversit�ria de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro
SB	Soma de bases
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UR	Umidade relativa
V	Satura�o por bases

RESUMO

SANTOS, Ricardo Barbosa dos. **Cultivares de cana-de-açúcar submetida à restrição hídrica**. São Cristóvão: UFS, 2011, 88 p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas).*

A crescente demanda por biocombustíveis tem proporcionado aumentos significativos das áreas de cana-de-açúcar no Brasil e nas últimas décadas os períodos prolongados de seca têm limitado a produção dessa espécie. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento das cultivares RB 85-5536 e RB 93-509 de cana-de-açúcar quanto à restrição hídrica visando à seleção precoce. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrônômica da UFS em delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, duas cultivares (RB 85-5536 e RB 93-509) e quatros níveis de água no solo predefinidos com base na capacidade de campo (100% Cc, 80% Cc, 60% Cc e 40% Cc), com quatro repetições, sendo cada repetição constituída por uma planta. Foram avaliadas a emissão de fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), rendimento quântico do fotossistema (Fv/Fm) e fluorescência transiente OJIP, índices de pigmentos fotossintetizantes e teores de prolina determinados nas folhas +1. As medições da emissão de fluorescência foram realizadas durante o período de sete dias, a cada dois dias, entre 10 e 12 h da manhã, com auxílio de fluorímetro (OS-30P) e cliques fixados na porção mediana do limbo foliar, os índices de pigmentos foram determinados no mesmo período com auxílio de um medidor portátil de clorofila (Clorofilog CFL 1030) enquanto que o teor de prolina no final do experimento. Os níveis de emissão de fluorescência e os índices de pigmentos fotossintéticos reduziram com o aumento da restrição hídrica em ambas cultivar. A cultivar RB 93-509 acumulou maior teor de prolina ao nível de estresse de 60% da Cc. Com o aumento do estresse severo de restrição hídrica ocorre redução total nos níveis de fluorescência da clorofila e índices de pigmentos fotossintéticos ao sétimo dia de estresse em ambas cultivar de cana-de-açúcar. A cultivar RB 93-509 apresenta maior sensibilidade ao estresse hídrico que a cultivar RB 85-5536.

Palavras-chave: prolina, estresse hídrico, fluorescência da clorofila

*Comitê Orientador: Renata Silva-Mann – UFS (Orientadora), Luiz Fernando Ganassali – UFS, Carlos Dias Silva Júnior – UFS.

ABSTRACT

SANTOS, Ricardo Barbosa dos. **Cultivars of sugar cane submitted to water restriction.** São Cristóvão-SE: UFS, 2011, 88 p. (Dissertation - Master Science in Agroecosystems).*

The increasing demand for biofuels has provided significant increases in the areas of sugar cane in Brazil and in recent decades, and long periods of drought have limited the production of this species. This study aimed to evaluate the performance of cultivars RB 85-5536 and RB 93-509 of cane sugar on water restriction during the first stages of development. Experiment was carried out in the greenhouse of the Department of Agronomic Engineering at UFS in randomized blocks in factorial 2×4 , two cultivars (RB 85-5536 and RB 93-509) and four levels of water in the soil based on predefined at field capacity (100% Cc, 80% Cc, 60% Cc and 40% Cc), with four replications, each replicate consisting of a plant. Were evaluated the initial fluorescence emission (F0), maximum fluorescence (Fm), the quantum yield of photosystem (Fv/Fm) and fluorescence transient OJIP, indices of photosynthetic pigments and proline contents determined in leaves determined +1. The measurements of emission of fluorescence were performed during the period of seven days every two days, from 10 to 12 am, with the aid of fluorometer (OS-30P) and clips fixed on the central portion of the leaf, the contents of pigments were determined in the same period with the aid of a portable chlorophyllmeter (Clorofilog CFL 1030) whereas the proline content in the end of the experiment. The fluorescence emission levels and rates of photosynthetic pigments decreased with the increase of water restriction in both cultivars. The cultivar RB 93-509 has accumulated higher proline content at the level of stress 60% of Cc. With the increase of stress severe by water restriction occurs a reduction in total levels of chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigment contents from the seventh day of stress in both varieties of sugar cane. The cultivar RB 93-509 presents greater sensitivity to water stress than the cultivar RB 85-5536.

Key words: proline, water stress, chlorophyll fluorescence

*Guidance Committee: Renata Silva-Mann – UFS (Orientadora), Luiz Fernando Ganassali – UFS, Carlos Dias Silva Júnior – UFS.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por biocombustíveis como o etanol produzido da cana-de-açúcar tem se elevado e promovido a ampliação das áreas de cultivos dessa cultura cada vez mais no Brasil, criando dessa maneira, grandes possibilidades para geração de emprego e renda bem como para utilização dessa cultura como uma nova matriz energética, pois, em termos comparativos cada tonelada de cana-de-açúcar tem potencial energético equivalente a 1,2 barris de petróleo (NETO *et al.*, 2006).

De acordo com levantamento realizado pelo Instituto de Economia Aplicada (IEA), em 2007, sobre os níveis de empregabilidade do setor sucroalcooleiro, só no Estado de São Paulo, mais de 90% dos 163 mil trabalhadores empregados nesta safra foram contratados de maneira formal, e em Sergipe, no ano de 2008 apenas em duas das seis unidades agroindustriais atuantes no Estado foram gerados 2.446 empregos formais (AMARANTE, 2009).

A introdução dos veículos flex-fuel no mercado nacional e a crescente demanda mundial na busca de combustíveis sustentáveis tem incentivado grandes investimentos na produção da cultura da cana-de-açúcar (OLIVETTE *et al.*, 2010).

Projeções mais recentes estimam um aumento da demanda por etanol carburante no mercado interno brasileiro, passando dos 20 bilhões de litros estimados em 2008 para cerca de 53 bilhões de litros até 2017, contabilizando um crescimento de 165% nesse segmento (JORNAL DA CANA, 2008).

Devido ao crescimento da demanda interna e externa por açúcar e principalmente por etanol, aumentos significativos da área

plantada dessa cultura tem se tornado mais frequentes nas regiões produtoras do Brasil (ALBINO *et al.*, 2006).

No entanto, o Brasil, se caracteriza por apresentar grande variabilidade de clima, solo e pluviosidade; o que não é diferente no Estado de Sergipe, que pode interferir no desempenho das culturas agrícolas como a cana-de-açúcar e assim limitar a sua produção em determinadas regiões.

Nos últimos anos nas áreas de produção da região Nordeste, o déficit hídrico tem reduzido de maneira significativa a produtividade das lavouras de cana-de-açúcar e trazido grandes prejuízos para o setor sucroalcooleiro, dificultando o estabelecimento das plantas em campo e proporcionando aumentos significativos na mortalidade de suas soqueiras, fato que tem motivado a renovação precoce dos canaviais e gerado, conseqüentemente, aumento dos custos de produção.

Em função de limitações ambientais como o estresse por restrição hídrica, processos fisiológicos como a fotossíntese tem suas taxas reduzidas, provocando reduções na produção e emissão de folhas e brotações novas, aceleração do processo de senescência foliar, além de reduções nas taxas de crescimento e acúmulo de matéria seca nos colmos.

A restrição hídrica representa dessa maneira uma das principais causas de perda de rendimento agrícola, sendo responsabilizada por reduções de até 35% na produção da fitomassa da cana-de-açúcar (MACHADO *et al.*, 2009) exercendo efeitos variados sobre a planta, dependendo do estágio fenológico de seu desenvolvimento, do nível e duração da deficiência hídrica, bem como do material genético vegetal em questão.

Em virtude disso, os programas de melhoramento genético têm adotado como estratégia para selecionar materiais adaptados às condições de deficiência hídrica, a utilização de ferramentas fisiológicas como a fluorescência, pigmentos fotossintéticos, teor de prolina além de parâmetros agronômicos que possam contribuir para a seleção de materiais promissores nos primeiros estádios de desenvolvimento.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento das cultivares RB 85-5536 e RB 93-509 de cana-de-açúcar quanto à restrição hídrica visando à seleção precoce de materiais, e avaliação do desempenho de cultivares no período de estabelecimento da cultura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A cultura da cana-de-açúcar e sua importância para o Brasil

Cultivada em regiões tropicais e subtropicais de mais de 70 países, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil por sua importância relevante para a economia nacional, pois, o setor sucroalcooleiro gera para o país em produto final cerca de dez bilhões de dólares por ano (QUEIROZ *et al.*, 2008) sendo responsável por 2,4% do PIB brasileiro (ALBINO *et al.*, 2006).

A partir da segunda metade da década de 90, além de assumir a posição de maior produtor e exportador mundial de açúcar, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de álcool combustível e de cana, detendo volumes expressivos do total global para cada um desses bens (COSTA *et al.*, 2006).

A elevação da demanda por etanol juntamente com as perspectivas do aumento das exportações de açúcar, motivada principalmente pela redução dos subsídios praticados pela União Européia à produção de açúcar de beterraba, estão sendo responsáveis por aumentos significativos da expansão das áreas canavieiras do Brasil (ALBINO *et al.*, 2006).

Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) revelam um aumento de 9,2 % da área plantada de cana-de-açúcar no país na safra 2010/2011 em relação à safra anterior, totalizando cerca de 8,09 milhões de hectares cultivados com essa espécie, sendo os maiores aumentos relatados para os Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. Da produção nacional de cana, estimada em 664,3 milhões de toneladas, foram produzidas mais de 38

milhões de toneladas de açúcar e cerca de 18 bilhões de litros de etanol. Deste total de produção 45,4% para o fabrico do açúcar e 54,6% para a produção de etanol (CONAB, 2010).

Dos 27 Estados brasileiros, praticamente 21 são importadores e apenas seis são exportadores de etanol. Na safra 2005/2006, os cinco maiores produtores foram responsáveis por 85% da produção nacional de etanol, sendo o Estado de São Paulo responsável por 62% dessa produção, seguido pelo Paraná (7%), Minas Gerais (6%), Mato Grosso (5%) e Goiás (5%) (NEVES & CANEJERO, 2007).

A cana-de-açúcar se destaca ainda como uma das melhores opções de fonte de energia renovável, justificando-se como importante cultura no país e no mundo, cujas perspectivas são extremamente favoráveis em médio e longo prazo.

Por ser uma matéria-prima renovável, de crescimento rápido e corte anual, essa cultura possui elevado poder de absorção e fixação do principal responsável pelo aquecimento global, o gás carbônico (CO₂), presente na atmosfera. Essa característica é assegurada graças ao comportamento fisiológico C₄ apresentado por essa espécie, representando máxima eficiência no processo de assimilação de carbono com taxas de fixação estimadas em até 100 mg de CO₂ fixado por dm² de área foliar por hora (PAULA *et al.*., 2010).

Estudos realizados para avaliar a qualidade das emissões de gases por automóveis mostram que os veículos movidos a etanol emitem menos monóxido de carbono, hidrocarbonetos e dióxido de enxofre que os veículos movidos à gasolina (BORGES & ARBEX, 1994).

De um modo geral uma das características do etanol é o elevado teor de oxigênio, que constitui aproximadamente 35% da sua

massa molecular, possibilita uma combustão mais limpa e o melhor desempenho dos motores, o que contribui para reduzir essas emissões poluidoras (BNDES, 2008). Isto implica em um balanço energético positivo, o que possibilita apoio de políticas governamentais em países, como o Brasil, que abastece aproximadamente 40% do combustível para veículos de passageiros (GOLDEMBERG, 2009).

Globalmente, existem oportunidades para expandir a produção de etanol da cana-de-açúcar, pois, quase 100 países produzem essa espécie e as tecnologias de conversão são disponíveis e, além disso, a experiência brasileira sugere que os impactos ambientais adversos associados com a produção em larga-escala do etanol podem ser significativamente mitigados (GOLDEMBERG & COELHO, 2004).

Além do açúcar e do álcool, co-produtos da indústria canavieira como o bagaço pode ser utilizado para a produção de energia, plástico e papel, enquanto que a vinhaça e a torta de filtro podem ser aplicadas ao solo como fertilizante (SOUZA *et al.*, 1999).

A bioeletricidade é outro nicho de mercado que há décadas vem sendo explorada pela agroindústria canavieira, utilizando o bagaço como combustível em sistemas de co-geração. Essa potencialidade de utilização da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica se deve à sua grande capacidade de produção de matéria seca (SILVA, 2007).

No Estado de São Paulo, as usinas e destilarias são auto-suficientes nesse segmento e empregam esse bagaço para gerar a energia que consomem durante o processo de obtenção do etanol e açúcar gerando excedentes estimados, na safra 2001/2002 em 85 megawatts (MW), o suficiente para abastecer cerca de 270 mil

residências com consumo médio de 250 KWh.mês⁻¹ (COMITRE *et al.*, 2007).

2.2. Características agronômicas da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta caracterizada como alógama, pertencente à família das Poaceas originária do sudeste Asiático, na região central da Nova Guiné e Indonésia, de ciclo semi-perene e elevada rusticidade (GRAÇA, 2009).

Devido ao seu metabolismo fotossintético C₄, a cana-de-açúcar, é considerada altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química, resultando numa capacidade de produção elevada de matéria seca com taxa de crescimento médio estimado em 18 g.m⁻².dia⁻¹ (PAULA *et al.*, 2010).

O crescimento da parte aérea dessa cultura ocorre de forma sigmoidal e podendo ser dividida nas fases de crescimento inicial ou de estabelecimento, crescimento rápido ou linear e maturação. A fase de crescimento inicial ou de estabelecimento é caracterizada por apresentar taxa de crescimento lento na ordem de 0,2 a 0,9 cm.dia⁻¹. A fase de crescimento rápido ou linear se caracteriza pelo surgimento e alongação de entrenós nos quais são acumulados 75% da fitomassa total da espécie, com taxas de crescimento superior a 0,9 cm.dia⁻¹. Durante essa fase de crescimento, as plantas de cana-de-açúcar apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de trocas gasosas com a atmosfera. E, por fim, a fase final ou de maturação, que como a fase inicial também apresenta crescimento lento, porém, com taxas inferiores a 0,2cm.dia⁻¹

sendo caracterizada pelo acúmulo de sacarose (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Nessa última fase de crescimento, a cultura da cana-de-açúcar, exige temperaturas baixas e/ou deficiência hídrica para que haja repouso fisiológico e maior acúmulo de sacarose nos colmos (LEITE *et al.*, 2008).

Quando as temperaturas se encontram na casa dos 32°C essa espécie apresenta ótima brotação, no entanto, temperaturas inferiores a 20°C praticamente paralisam esse processo (BARBIERI, 1981). Ainda com relação ao crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar, temperaturas oscilantes entre 30-34°C favorecem o máximo crescimento, entretanto, acima de 35°C esse crescimento se torna lento e praticamente nulo em temperaturas superiores a 38°C (FALCONNIER & BASSEREAU, 1975).

Sobre determinadas condições climáticas (fotoperíodo, temperatura e umidade), essa espécie floresce emitindo panículas com flores hermafroditas, cuja cor, forma e tamanho variam de acordo com cada cultivar (BORÉM, 1999; BACCHI, 1985).

O florescimento na cultura da cana-de-açúcar tem sido encarado como prejudicial durante o processo de acumulação de sacarose, pois, é comumente aceito que a formação da flor drena considerável quantidade desse carboidrato (CAPUTO *et al.*, 2007) e em decorrência disso, os programas de melhoramento genético tem selecionado materiais que apresentem baixas taxas de florescimento nos campos de produção.

O fruto dessa espécie é seco, tipo cariopse, e com semente de endosperma abundante. Suas folhas são simples, estreito-lanceoladas de ápice longamente acuminado, com os bordos cerrados por pêlos

simples e filotaxia alternada, constituindo-se nos órgãos assimiladores dessa cultura, formadas a partir do meristema apical de cada colmo (MELO *et al.*, 2007).

No início do ciclo da cultura o crescimento foliar, representado pelo índice de área foliar, é pequeno. Durante essa fase as folhas apresentam um crescimento lento aumentando rapidamente até atingir um valor máximo e a partir daí permanece praticamente constante ou pode diminuir em condições climáticas desfavoráveis (FARIAS *et al.*, 2007).

Em plantas jovens de cana-de-açúcar o número de folhas por colmo é relativamente pequeno e à medida que o colmo cresce há um aumento considerável nesse número, atingindo um valor máximo de dez ou mais folhas dependendo da cultivar e das condições de crescimento (MACHADO *et al.*, 1982).

Durante a fase de crescimento inicial da cana-de-açúcar um crescimento lento para as folhas foi constatado até aproximadamente 150 dias após plantio e um rápido crescimento durante a fase de desenvolvimento vegetativo, estabilizando-se aos 280 dias, observando-se ainda, número de 7 e 16 folhas por perfilho durante as fases de crescimento inicial e vegetativo (ALVAREZ *et al.*, 1999).

O aumento da quantidade de matéria seca pelas folhas da cana-de-açúcar apresenta comportamento semelhante às fases de crescimento da cultura, estando esse desenvolvimento foliar dividido nas fases de crescimento lento (até os 100 dias após o plantio), crescimento rápido (entre 100 e 250 dias após o plantio) e uma fase final de crescimento lento, iniciando-se aos 250 dias e se estabilizando aos 300 dias após plantio (MACHADO *et al.*, 1982).

Resultados semelhantes para emissão do número de folhas, durante a fase de crescimento inicial da cana-de-açúcar, também foram encontrados por Carmo *et al.* (2010) ao avaliarem parâmetros de crescimento da cultivar RB 92-579.

O caule da cana-de-açúcar tipo colmo de característica succulenta e doce devido ao armazenamento de sacarose se encontram fragmentado em nó e entrenó, com hábito de crescimento cespitoso ou entouceirado e perfilhamento abundante durante a fase de crescimento inicial, apresentando pico máximo em algumas cultivar no ciclo de cana-planta aos 120 dias após plantio e em ciclo de cana-soca aos 60 dias após o corte (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Quando se estabelece como cultura, o auto-sombreamento na cana-de-açúcar induz a inibição do perfilhamento e aceleração do crescimento do colmo principal, continuando esse crescimento até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, baixas temperaturas ou florescimento (GONÇALVES, 2008).

Embora o sistema radicular tipo fasciculado da cana-de-açúcar durante o ciclo de produção de cana-planta apresente menor quantidade de raízes que nas soqueiras, sua eficiência de absorção por unidade de superfície é maior. Durante esse ciclo há um conjunto de raízes mais novas e mais tenras quando comparada ao ciclo da cana-soca, que apresenta um sistema radicular com maior proporção de raízes velhas e lignificadas, e, cuja manutenção compete mais com a parte aérea por energia (VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

Em cultivares de cana-de-açúcar as características como resistência à seca, assim como a eficiência na absorção dos nutrientes e água do solo são assegurados pelo desenvolvimento de seu sistema radicular.

Entretanto, não é a quantidade de raízes o fator determinante destas vantagens, mas a sua distribuição no perfil do solo ao longo das estações do ano estando a arquitetura e distribuição radicular dessa cultura dependentes do componente varietal e de atributos edafoclimáticos (VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

Dentre os fatores que mais afetam o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular dessa espécie pode ser citada os níveis de umidade do solo, densidade, porosidade e suas características químicas (COSTA *et al.*, 2007).

Assim, como existem diferenças marcantes nas características da parte aérea das cultivares de cana-de-açúcar também existem grandes diferenças no desenvolvimento e na arquitetura dos seus sistemas radiculares graças à interação genótipo *versus* ambiente.

A distribuição do sistema radicular de cultivares de cana-de-açúcar em solos com baixo e alto teor de argila é diferenciada para as cultivares, sendo observada melhor distribuição do sistema radicular em solo com baixo teor de argila para cultivar RB 83-5486; enquanto, no solo com alto teor de argila a cultivar RB83-5089 distribuiu melhor suas raízes (COSTA *et al.* 2007).

A arquitetura do sistema radicular também sofre alterações de acordo com a idade da planta, tanto em um mesmo ciclo (meses de desenvolvimento) como entre ciclos (cortes). Durante a fase de crescimento inicial aproximadamente 60 a 70 % das raízes da cana-de-açúcar estão localizadas nos primeiros 40 cm de profundidade (FERNANDES, 1985).

No ciclo de cana planta, aproximadamente 75 % das raízes se localizam nos primeiros 40 cm de profundidade do solo, pois, o sistema radicular da cana-planta explora intensamente as camadas

mais superficiais do solo, se comparada à soqueira, que apresenta um incremento na exploração de subsuperfície (ALVAREZ *et al.*, 2000; VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

No ciclo de socaria, as cultivar RB 83-5486 e RB 83-5089 apresentaram maior quantidade de raízes até os 54 cm de profundidade em solo com baixo teor de argila (COSTA *et al.*, 2007).

2.3. O déficit hídrico e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar

A disponibilidade de água para uma cultura agrícola resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. Essas interações tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado de tal forma que, a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos (SANTOS & CARLESSO, 1998).

O fluxo de água do solo para a planta, e desta para a atmosfera dependerá da disponibilidade hídrica do solo e da condução de água pelos diferentes órgãos da planta até as folhas, nas quais ocorre a regulação do fluxo transpiratório (SANTOS & CARLESSO, 1999).

O déficit hídrico nas plantas pode ser provocado por uma deficiência de água na região da rizosfera, e por excessivos aumentos da demanda evaporativa da atmosfera (RITCHIE, 1981). Assim, à medida que o solo seca, torna mais difícil a absorção de água pelas plantas, devido ao aumento da força de retenção, resultando em uma baixa disponibilidade hídrica e, uma vez que se eleva a demanda evaporativa da atmosfera ocorrerá perda de água pelo vegetal configurando-se o déficit hídrico (SANTOS & CARLESSO, 1999).

Nesse contexto, o déficit hídrico pode ser definido como o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do maior conteúdo de água exibido pela planta em um melhor estado de hidratação (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Seus efeitos são sentidos em todas as partes da planta, desde os pêlos radiculares até os estômatos e sob a maioria das culturas agrícolas tais efeitos variam de acordo com sua duração, intensidade e período de ocorrência no ciclo da cultura (SANTOS & CARLESSO, 1999).

A depender da fase de desenvolvimento fenológico que se encontra o vegetal, o déficit hídrico pode ter maior ou menor impacto sobre a produtividade agrícola das culturas (RAMESH & MAHADEVASWAMY, 2000).

Para outras Poaceas, como cultivares de milho testadas sobre estresse hídrico promovido por diferentes níveis de disponibilidade de água do solo, durante a fase de crescimento vegetativo, foram observadas reduções do conteúdo relativo de água das folhas, área foliar e da produção de matéria seca da parte aérea e das raízes (COSTA *et al.*, 2008). Em cultivares de trigo os efeitos de diferentes níveis de estresse hídrico foram marcados por reduções significativas de produção dessas cultivares durante a fase de enchimento dos grãos (PAKNEJAD *et al.*, 2007).

A deficiência hídrica é uma situação cada vez mais comum à produção de muitas culturas agrícolas no mundo, podendo apresentar um impacto negativo no crescimento e na produtividade das plantas.

Os problemas causados pela diminuição da disponibilidade de água do solo têm ocorrido com bastante frequência nas áreas produtoras de cana-de-açúcar do país.

Nessas áreas, além de significativas reduções nas quantidades de chuva, alterações nas propriedades físicas e hídricas do solo pelo aumento de sua densidade, têm provocado dentre outros efeitos, o aumento da redução da aeração e modificações no processo de disponibilidade e fluxo de água para a cana-de-açúcar (SOUZA *et al.*, 2004a).

No decorrer dos anos se verificou que a produção da cana-de-açúcar foi negativamente influenciada pela deficiência hídrica do solo, apresentando variações em sua produtividade (MAULE *et al.*, 2001).

Na região Nordeste essa situação tem trazido grandes prejuízos para a cultura e graças a essa adversidade cada vez mais frequente em suas áreas de produção, manejar e produzir essa espécie tem se tornado um grande desafio (FARIAS *et al.*, 2008).

A própria região canavieira do Estado de Alagoas, principal produtora de cana-de-açúcar do Nordeste, tem a precipitação pluvial como fator limitante de sua produtividade, pois, ocorre uma deficiência hídrica no período de setembro a março que tem coincidido com a fase de crescimento vegetativo, fase de maior exigência hídrica, na cultura da cana-de-açúcar (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica do solo de fato é maior quando as plantas estão na sua fase de rápido crescimento ou alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produção de fitomassa dessa espécie (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005). No entanto, tem sido constatado que durante a fase de formação, compreendida entre os períodos de perfilhamento e de rápido crescimento ocorrido entre 60 e 150 dias após o plantio, há

existência de uma alta demanda hídrica na cultura (RAMESH & MAHADEVASWAMY, 2000).

Nessas condições, parâmetros como a altura, diâmetro, número e massa dos colmos bem como a produtividade da cana-de-açúcar são drasticamente afetados (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; SILVA *et al.*, 2008).

A ocorrência de limitações hídricas durante a avaliação do desenvolvimento e produção de cultivares de cana-de-açúcar promoveu reduções de 3% nas taxas de crescimento das cultivares testada (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Marcadas reduções nas taxas de aparecimento de folhas e aumentos simultâneos da taxa de senescência foliar, e, consequente redução do número de folhas verdes também tem sido observado para diferentes materiais genéticos de cana sob condições de deficiência hídrica do solo (SMIT & SINGELS, 2006). Estas adaptações morfofisiológicas ocorrem para se evitar os efeitos negativos da restrição hídrica, podendo-se chegar a decréscimos na produção de sua fitomassa em até 35% (MACHADO *et al.*, 2009).

Assim, genótipos sensíveis seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa e área foliar, proporcionando queda nas taxas fotossintéticas e consequentemente em sua produção e produtividade.

Através da análise do índice de área foliar foram constatadas diferenças de produtividade para cultivares de cana-de-açúcar sobre regime de sequeiro, sendo atribuída a baixa produtividade alcançada pela cultivar RB 72-454, sensível ao déficit hídrico, o baixo índice de área foliar apresentado por esta cultivar em relação às demais cultivares testada (SILVA *et al.*, 2009a).

Reduções do índice de área foliar tanto no ciclo de cana-planta quanto na fase de socaria promovido pelo déficit hídrico na cultivar RB93-1530 proporcionaram menores taxas de produção de colmos e de matéria seca (ALMEIDA *et al.*,2008).

2.4. O agroecossistema canavieiro do Estado de Sergipe

Atingir a sustentabilidade nos sistemas de produção agrícola tem sido um grande desafio, pois, numa tentativa de transpor os obstáculos à produção das mais variadas culturas agrícolas, esses sistemas têm requerido a aplicação de grandes quantidades de energias na forma de insumos como água para irrigação dentre outros.

Os agroecossistemas são ecossistemas agrícolas que têm como objetivo básico a manipulação dos recursos naturais com objetivo de aprimorar o processo de captura da energia solar e transferi-la para as pessoas na forma de alimentos, fibras e/ou outros produtos (KOZIOSKI & CIOCCA, 2000).

Como nos ecossistemas, os componentes constituintes dos agroecossistemas se encontram em estágio de interações contínuas desempenhando as mais variadas relações entre si e com o meio circundante, a existência dessas relações legitima o sistema como entidade, distinguindo-o de um simples aglomerado de partes independentes umas das outras, e é essa interação que torna os elementos mutuamente interdependentes, estando cada parte relacionada de tal forma com as demais, que uma mudança em uma delas ocasionará mudanças nas outras (VASCONCELLOS, 2002).

Um dos aspectos de grande relevância para a compreensão do funcionamento de um agroecossistema consiste na capacidade de

identificação e determinação dos limites desse sistema. Assim, um agroecossistema pode ser considerado uma cultura agrícola ou uma criação dentro de uma unidade de produção, pode ser a unidade de produção em si ou um conjunto das unidades de produção de uma região, estando envolvidos também os elementos ou fatores externos às unidades de produção, que de uma forma ou de outra influenciam ou determinam a sua dinâmica (KOZIOSKI & CIOCCA, 2000).

A instalação do agroecossistema canavieiro no Estado de Sergipe data do ano de 1637 e foi influenciada pelo declínio da pecuária, durante a invasão holandesa, que culminou na transferência de cerca de 8.000 cabeças de gado para a Capitania da Bahia obrigando os colonizadores a fugir para a região do sertão deixando a terra disponível para o cultivo da cana-de-açúcar (DANTAS, 1944).

A produção da cultura firmou-se definitivamente no território sergipano no final do século XVIII, ocupando inicialmente as áreas litorâneas até então voltadas para a pecuária e produção de gêneros alimentícios. Por volta de 1724 Sergipe contava com vinte e cinco engenhos e, em 1880, já havia 140 engenhos em pleno funcionamento no território sergipano (MELO *et al.*, 2009).

A Zona da Mata em Sergipe sempre esteve ligada à presença dessa cultura e de seus engenhos, em virtude do clima chuvoso e seus solos tipo massapé (Vertissolos) utilizados para o cultivo da cana, além do rio Cotinguiba como importante via de penetração na Bacia do Rio Sergipe, bacia de chegada e saída para o mar. A partir do século XIX, a lavoura açucareira, passa a se espalhar pelas bacias dos principais rios que cortam o território sergipano (SHIMADA & CONCEIÇÃO, 2009).

Essa cultura na atualidade se faz presente, principalmente, na Mesorregião Leste do Estado, região responsável na década de 90 por 92% da produção e área colhida em Sergipe, sendo as microrregiões de Japaratuba, Baixo Cotinguiba, Cotinguiba e Propriá as de maior representatividade da produção estadual com 31%, 26%, 17% e 15% dessa produção respectivamente. No entanto, em 2005 houve modificações nas participações dessas microrregiões, sendo observado um aumento de produção de 42%no Baixo Cotinguiba e 34% em Japaratuba, além de uma redução de 15% na microrregião do Cotinguiba (CUENCA *et al.*, 2007).

A cultura da cana-de-açúcar se encontra bem adaptada às condições edafoclimáticas preponderantes nos agroecossistemas das microrregiões do Nordeste brasileiro, no entanto, a baixa disponibilidade hídrica dos solos agravadas pela irregularidade na distribuição de chuvas é um dos maiores problemas de sua produção.

Sob condições de disponibilidade de água e nutrientes, essa cultura produz uma grande quantidade de biomassa, porém, quando explorada em condições de restrição hídrica durante as fases críticas (perfilhamento e início da elongação dos colmos) podem apresentar reduções expressivas no acúmulo de biomassa total, biomassa dos colmos e de sacarose (SILVA *et al.*, 2009b).

Estudos realizados com objetivo de avaliar os efeitos da restrição hídrica sobre o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar têm demonstrado reduções drásticas da produtividade dessa espécie nos mais variados ambientes de produção do Brasil e do mundo (SMIT & SINGLES, 2006; FARIAS *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2008).

As áreas de considerável restrição hídrica nos últimos anos têm se ampliado bastante pelas regiões Norte-Nordeste do Brasil, no primeiro decêndio de novembro de 2008, a região Nordeste esteve sob forte influência de seca exibindo déficit hídrico considerável, da ordem de -50 mm (BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO, 2008).

A ocorrência de déficit hídrico de -50 mm nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas foi o suficiente para limitar o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar resultando num acúmulo de matéria seca de 77%, 65% e 53% para as cultivares RB93-509, SP79-1011 e RB93-1530 respectivamente em relação ao total produzido pela a cultivar mais produtiva, a RB92-579 (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A região dos Tabuleiros Costeiros no Nordeste brasileiro detém aproximadamente 65 % da produção agrícola de cana-de-açúcar. Entretanto, os solos dessa região com seus horizontes coesos e o clima é representado pela má distribuição das chuvas, as quais se concentram em torno de 80%, entre os meses de abril e setembro. (CINTRA *et al.*, 2000).

Nos Tabuleiros Costeiros do recôncavo baiano, o déficit hídrico chega a representar 27,1% da média total de chuva precipitada, ocorrendo nos meses de maior insolação, temperatura, velocidade do vento e ocorrência de chuvas esporádicas de trovoadas associadas à baixa umidade relativa do ar (D'ANGIOLELLA *et al.*, 1999).

Na safra agrícola 2009/2010 a lavoura canavieira em Sergipe que tem se expandido nestas regiões de Tabuleiros Costeiros, (IBGE), contabilizou uma produção de cerca de 2,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Esse dado representa o maior crescimento do setor, apontando um acréscimo de 8,6% em relação à safra 2008/2009 cuja área colhida atingiu os 38.895 hectares (Figura 1).

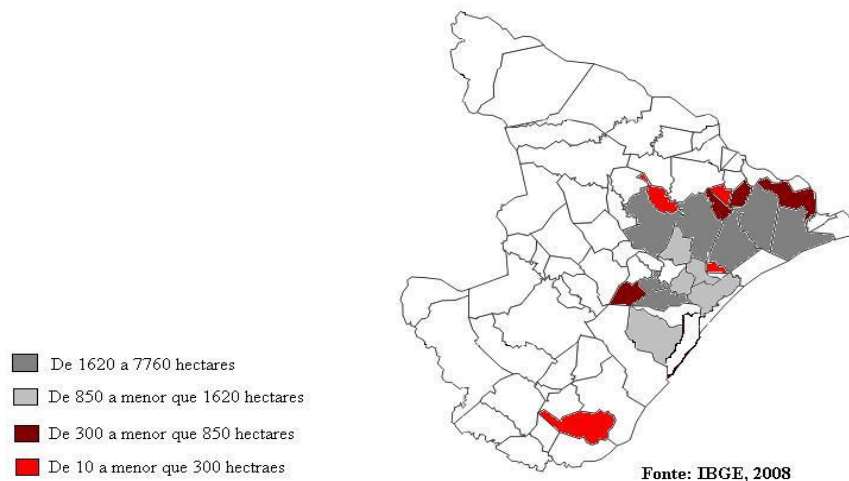


FIGURA 1. Área colhida nos municípios produtores de cana-de-açúcar do Estado de Sergipe na safra 2008.

Apesar do avanço observado na produção desta cultura nos últimos anos nas áreas do Estado, esta produção representa para Sergipe apenas 3,6 % da produção nordestina e 0,5 % da produção nacional sendo este resultado confirmado pelo baixo índice de produtividade sergipana para as lavouras alcançada na safra de 2010/2011 que atingiu a marca de 57,3 ton.ha⁻¹ bem abaixo do Estado de São Paulo maior produtor nacional dessa cultura cuja produtividade foi de 87,4 ton.ha⁻¹ (CONAB, 2010).

Através do balanço hídrico realizados nas principais bacias hidrográficas do Estado foram constatadas deficiências hídricas com variações de 80 a 100 mm nas regiões abrangidas por elas (SOUSA *et al.*, 2000)., associadas à utilização de cultivares obsoletas suscetíveis a pragas, doenças e sensíveis a adversas condições edafoclimáticas como o déficit hídrico e prática de uma agricultura dependente de chuvas naturais.

Na sub-bacia do rio Japaratuba-Mirim foram constatados períodos de deficiência hídrica ocorridos nos meses de outubro a março. E, na bacia hidrográfica do rio Sergipe, um dos principais pólos de produção da cultura canavieira no Estado, o déficit hídrico tem sido observado no verão para o litoral úmido e na primavera e verão para região do agreste e semi-árido (COSTA *et al.*, 2002b; FONTES *et al.*, 2010).

Dados do censo varietal de 2009 realizado na área de produção das seis unidades agroindustriais do Estado, identificou-se a presença de cultivares como a RB 72-454 que apesar de seus altos índices de produtividades é muito sensível as condições de restrição hídrica cada vez mais frequentes nos campos de produção de Sergipe (SANTOS *et al.* 2009).

Na avaliação de cultivares de cana-de-açúcar, em dois regimes hídricos no estágio decrescimento inicial, a SP 79-1011, que é considerada tolerante à deficiência hídrica foi a inferior para os parâmetros altura da planta e área foliar nas condições de cultivo de sequeiro quando comparada a cultivar RB 72-454. Ainda nesse estudo foi constatado que ambas as cultivares não apresentaram diferenças significativas quanto ao índice de área foliar (DUARTE *et al.* 2009).

Esse parâmetro que tem sido bastante utilizado por vários pesquisadores como indicativo morfológico de resistência à seca, é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas, uma vez que o seu potencial de produtividade é severamente inibido quando elas são expostas a déficits hídricos (FERNANDEZ *et al.*, 1996).

2.5. Efeitos de estresse abióticos no fotossistema vegetal

A fotossíntese é um dos principais processos metabólicos determinantes da produção agrícola e sob limitações ambientais como déficit hídrico e estresse de calor, pode apresentar limitadas taxas, comprometendo o ciclo de desenvolvimento biológico das culturas.

As folhas são as estruturas responsáveis, através do processo fotossintético, pela maior parte da produção de carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal, e por aproximadamente 90% da massa seca acumulada em seus tecidos (BENINCASA, 1988).

A região do mesófilo foliar se caracteriza como região de ocorrência de altas taxas de fotossíntese devido à presença de células vegetais com maior número de cloroplastos, organelas responsáveis pela execução da atividade fotossintética (KERBAUY, 2008).

O processo fotossintético é conhecido por ser um dos processos fisiológicos vegetal mais sensível ao calor e também afetado pela seca, podendo ser completamente inibido por altas temperaturas antes de outros sintomas fisiológicos se manifestarem (CAMEJO *et al.*, 2005; PIETERS & SOUKI, 2005).

Durante a fotossíntese, a energia solar que se propaga no espaço na forma de radiação eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda, é absorvida e convertida nas membranas do tilacóides dos cloroplastos por meio da atuação de pigmentos fotossintetizantes e então utilizada para a redução do carbono.

Nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos os fotossistemas, I e II, são responsáveis pela captura e conversão da energia radiante (fótons) em energia química (ATP e NADPH) sendo neste processo a água de fundamental importância para o funcionamento do sistema II (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Na reação fotoquímica primária, um elétron é transferido do pigmento P680 presente no centro de reação do fotossistema II para a feofitina *a* e desta para quinona A. Após essa transferência de elétron cria-se um oxidante muito ativo, a $P680^+$, que recebe um elétron do doador secundário Z, o qual tem sido identificado como resíduo de tirosina Z das proteínas D1. Esse doador no estado oxidável, Z^+ , é reduzido por um elétron do sistema de oxidação da água, o complexo de evolução de oxigênio. Em uma reação lenta que pode envolver um átomo de ferro, o elétron é transferido para a QB. Depois do recebimento de dois elétrons pela quinona B, esse transportador intermediários e liga a dois prótons do lúmen da membrana dos tilacóides e se funde dentro da plastoquinona formando a plastohidroquinona ou pool de plastoquinona (PQ)(KRAUSE & WEIS, 1991).

A plastoquinona ao receber os elétrons da quinona B transfere os prótons do estroma (externo) para o lúmen (interno) e doa os elétrons para o citocromo *f* o qual, por sua vez, os transferem para a plastocianina que se move para próximo do fotossistema I e doa os elétrons para ferredoxina reduzir $NADP^+$ a NADPH. Os prótons produzidos pela quebra da água no fotossistema II junto com os prótons transferidos pela plastoquinona geram um potencial eletroquímico no interior dos tilacóides (lúmen) que serão utilizados na síntese de ATP (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Assim, a atividade do fotossistema II depende da água para a geração de energia química requerida posteriormente para a fixação de CO_2 sendo que variações na disponibilidade hídrica geram uma menor eficiência nesse fotossistema, pois, com recurso de água limitado, menos ATP e NADPH são formados e como consequência menos

CO₂ é fixado gerando baixas taxas de fotossíntese (SOUZA *et al.*, 2004b).

A atividade do fotossistema II é, portanto, crucial para o provimento do poder redutor e ATP usado nas reduções de carbono, nitrogênio, enxofre e é marcado de perto pela demanda por produtos de assimilação por tecidos vegetais em desenvolvimento (PIETERS & SOUKI, 2005).

Em condições limitantes de estresses, os eventos ocorridos nos tilacóides podem ser afetados, interferindo na eficiência da fotossíntese, inativando o fotossistema II (P680) e a cadeia transportadora de elétrons que dará origem ao ATP e NADPH (KRAUSE & WEISS, 1991).

Em condições naturais, um déficit hídrico momentâneo sob horas diárias de calor pode promover o fechamento estomático e, conseqüentemente, elevar a temperatura das folhas expostas diretamente ao sol, tornando-a igual ou superior a temperatura do ar, e uma vez elevada essa temperatura distúrbios bioquímicos e biofísicos podem ocorrer na região do mesófilo foliar afetando os cloroplastos (COSTA *et al.*, 2002a).

Danos nos elementos constituintes do fotossistema II têm sido relatados para várias espécies vegetais como consequência da deficiência hídrica do solo e do estresse de calor promovido por altas temperaturas.

A exposição prolongada de plantas ou organelas a condições de estresse como excesso de luz, estresse salino, seca e/ou altas temperaturas pode resultar na foto-destruição dos pigmentos fotossintetizantes, fenômeno normalmente denominado de foto-oxidação, resultando na diminuição dos teores desses pigmentos

podendo levar à morte da célula ou do organismo (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009).

Nesse sentido, o estresse promovido pelo déficit hídrico afeta à atividade fotossintética tanto pelos efeitos estomáticos quanto pelos efeitos não-estomáticos (ARAÚJO *et al.*, 2010).

Sobre condições de déficit hídrico, tem sido demonstrada a relação direta entre a redução da concentração intercelular de CO₂, em razão do fechamento estomático, gerando decréscimos na assimilação do CO₂ e no rendimento quântico do fotossistema II (BECKER, 1993).

A análise do desempenho de cultivares de capim elefante cultivadas sobre períodos de deficiência hídrica do solo revelou quedas acentuadas da condutância estomática e taxas de fotossíntese líquida com o avanço do período de estresse (ARAÚJO *et al.*, 2010).

A deficiência hídrica do solo também promoveu reduções significativas na condutância estomática e nas taxas de fotossíntese líquida para diferentes cultivares de cana-de-açúcar, sendo as maiores quedas observadas para o nível de estresse severo imposto às cultivares (GONÇALVES *et al.*, 2010a).

Há evidências de que os danos causados pela restrição hídrica sobre os elementos constituintes do fotossistema II sejam atribuídos a ocorrência de estresse oxidativo pela acumulação de espécies reativas de oxigênio, levando a extensivos danos nas membranas dos tilacóides resultando em destruição de pigmentos, pois, a seca intensifica a formação de radicais livres nas plantas por limitar o “pool” de NADP⁺ disponível para aceitar elétrons do fotossistema I (QUEIROZ *et al.*, 2002).

Cultivares de arroz em condições de estresse osmótico apresentou alterações quanto aos teores de pigmentos fotossintetizantes, sendo observadas reduções para os teores de clorofilas *a*, *b* e totais mediante aumento do estresse (LIMA *et al.*, 2004).

O elevado potencial de produção primária de espécies de gramíneas perenes que apresentam comportamento fisiológico C₄, em comparação às espécies C₃, se deve entre outros fatores à melhor eficiência no uso da água das primeiras.

No entanto, mesmo gramíneas tropicais de comportamento fisiológico C₄ como milho e cana-de-açúcar podem sofrer com as limitações de disponibilidade de água, pois, o estresse hídrico pode ocasionar severa inibição da fotossíntese, sobretudo em razão da maior resistência difusiva à entrada de dióxido de carbono e pelo fato do centro de reação do fotossistema II sobre condições de alta radiação e de seca sofrer aumentos da inibição do transporte de elétrons (PAKNEJAD *et al.*, 2007).

2.7. Avaliação de danos ao aparato fotossintético

Embora os processos de trocas gasosas (CO₂ e O₂) regulado pelo movimento estomático sejam importante para a determinação das taxas fotossintética, podem não ser tão eficientes para avaliar os efeitos deletérios promovidos por diferentes estresses abióticos nos cloroplastos, os quais são mais evidenciados pela avaliação da eficiência fotoquímica da fotossíntese, obtido por meio da análise das variáveis da fluorescência da clorofila *a* (SILVA *et al.*, 2006; TATAGIBA *et al.*, 2007).

Após absorver a quantidade de energia contida em um fóton da radiação solar, a molécula de clorofila *a* altera temporariamente sua configuração eletrônica e assume um estado de maior energia, durante esse estado, a molécula de clorofila é extremamente instável e tende rapidamente a liberar parte dessa energia para o meio buscando uma configuração eletrônica de maior estabilidade, sendo adquirida através da emissão de uma nova radiação denominada fluorescência da clorofila (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Demonstrações de que a fluorescência da clorofila *a* pode ser usada para estimar rapidamente e de forma não-invasiva a eficiência do transporte de elétrons do fotossistema II (PSII) tem levado à utilização desse parâmetro para avaliar o desempenho fotossintético das plantas.

A fluorescência da clorofila *a* representa uma medida da eficiência fotossintética e fornece informações importantes sobre a relação estrutural e funcional dos centros de reação do fotossistema II (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

A diminuição da atividade fotossintética resulta da inibição da atividade do fotossistema II e a inibição dessa atividade também levará a uma diminuição da variável fluorescência da clorofila, assim, esse parâmetro tem se mostrado sensível e um método confiável para a detecção e quantificação de mudanças induzidas por estresses ambientais diversos no aparato fotossintético vegetal (CAMEJO *et al.*, 2005).

A absorção e o uso da energia luminosa pelos vegetais podem ser estimados através da análise da fluorescência da clorofila, pois esta técnica, além de não-destrutiva, é altamente sensível e de fácil manuseio, permitindo informações qualitativas e quantitativas sobre a

condição fisiológica do aparato fotossintético (FALQUETO *et al.*, 2007).

Na análise da fluorescência da clorofila *a* como critério de adaptação as condições de estresse ambiental, algumas variáveis desse parâmetro são importantes para tal. A fluorescência inicial (F₀) representa a fluorescência com todos os centros de reação “abertos” e refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do PSII. Já a fluorescência máxima (F_m) indica a completa redução da quinona A (QA) a partir da incidência de um pulso de luz no centro de reação QA, gerando esta fluorescência.

A diferença entre F_m e F₀ resulta na fluorescência variável (F_v), a qual representa o fluxo de elétrons do centro de reação do PSII (P680) até a plastoquinona (PQH₂) e o rendimento quântico máximo do PSII dado pela razão F_v/F_m representa a eficiência quântica do fotossistema (KRAUSE & WEISS, 1991; SILVA *et al.*, 2006).

O estudo do parâmetro fisiológico da fluorescência da clorofila *a* é importante no esclarecimento dos efeitos das condições osmóticas e hídricas sobre a eficiência fotossintética nos vegetais (SUASSUNA *et al.*, 2010).

Danos no aparato fotossintético de cultivares de tomate estressado por estresse de altas temperaturas foram evidenciados através da análise dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* (CAMEJO *et al.*, 2005).

Em cultivares de feijão sobre diferentes tratamentos de temperaturas também foram evidenciados danos ao aparato fotossintético através da queda da eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) observada a temperatura de 48°C nas cultivares carioca e negro huasteco (COSTA *et al.*, 2002a).

Sobre condições de deficiência hídrica do solo também foram evidenciados danos no aparato fotossintético de cultivares de arroz durante a fase de enchimento de grãos a partir da avaliação dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, e, além disso, o comportamento diferenciado das cultivares de arroz quanto a tais parâmetros possibilitou a identificação de adaptação da cultivar F2000 frente à disponibilidade de água no solo (PIETERS & SOUKI, 2005).

Avaliando a eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas aos efeitos do déficit hídrico, Silva *et al.* (2006) constataram danos ao aparato fotossintético evidenciados pelos menores valores de rendimento quântico do fotossistema II (PSII) para as espécies capim-do-nilo (*Acroceros macrum* Stapf.) e capim-setária (*Setaria anceps* Stapf.).

Sobre os efeitos da deficiência hídrica os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* em diferentes cultivares de trigo revelaram quedas no rendimento quântico do fotossistema II à medida que os níveis de água do solo diminuam em virtude de danos promovidos ao aparato fotossintético (PAKNEJAD *et al.*, 2007).

As plantas em perfeito estado de seu aparato fotossintético apresentam uma eficiência quântica do fotossistema, representado pela relação F_v/F_m , com valores entre 0,75-0,85 (BOLHAR-NORDENKAMPF *et al.*, 1989), assim sobre condições de estresse ambientais espécies vegetais com eficiência quântica do fotossistema II abaixo desse valor apresentam possíveis danos em aparato fotossintético.

Além dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, outra ferramenta bastante utilizada para sondar as reações do fotossistema II

e assim avaliar os possíveis danos no aparato fotossintético é a análise dos transientes dessa fluorescência.

Os transientes da fluorescência da clorofila *a* se constitui num parâmetro avaliador da capacidade doadora de elétrons do fotossistema II, pois em resposta a alta intensidade de luz actínica, a fluorescência produzida mostra uma curva polifásica elevada chamada de transiente OJIP (STRASSER *et al.*, 1995).

Estudos sobre a fluorescência transiente têm sido largamente utilizados em diversas pesquisas, sobretudo devido ao seu potencial em fornecer informações sobre a capacidade fotossintética e vitalidade de plantas (MARTINS *et al.*, 2009).

Os fatores ambientais afetam de maneira decisiva os mecanismos fisiológicos das plantas, sobretudo a fotossíntese, de modo que a fluorescência da clorofila tem sido utilizada como uma valiosa ferramenta na compreensão da maneira que os fatores abióticos como a temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica entre outros que podem influenciar fisiologicamente a planta e como esta responde a tais estresses.

A indução de fluorescência nesse teste apresenta forma típica sigmoide sendo evidenciadas três fases principais: O-J, J-I e I-P. A primeira fase O-J é determinada pela carga de separação de reação, o evento fotoquímico que leva a redução do aceptor primário de elétrons quinona A e parece ser influenciada pelo estado S do complexo de evolução de oxigênio (PIETRINI *et al.*, 2005).

Essa fase corresponde à etapa fotoquímica do transiente e sua cinética depende fortemente da intensidade de luz, as demais fases J-I e I-P, correspondem à etapa térmica da fluorescência transiente (TÓTH *et al.*, 2007).

As diferentes fases ou etapas da polifásica fluorescência transiente são denominadas em ordem alfabética, partindo da parte mais lenta para a parte mais rápida do transiente (OUKARROUM *et al.*, 2007).

O transiente OJIP é uma ferramenta que analisa a mudança na cinética da fluorescência da clorofila *a* fornecendo dessa maneira informações detalhada sobre estrutura e função do aparato fotossintético (GONÇALVES *et al.*, 2010b).

As análises do tempo de duração da fluorescência da clorofila tornaram-se cada vez mais importante no estudo da organização e do funcionamento do aparato fotossintético. Em particular essas determinações são úteis para elucidação da transferência da energia de excitação e da cinética dos processos fotquímicos primários (KRAUSE & WEIS, 1991).

As análises da mudanças na cinética da fluorescência da clorofila *a* promove informações detalhadas sobre a estrutura e funcionamento do aparato fotossintético, especialmente do fotossistema II (STRASSER *et al.*, 1995).

2.8. Mecanismos morfofisiológicos de adaptação ao déficit hídrico

Alguns trabalhos de pesquisa têm investigado a resposta das plantas ao déficit hídrico, sugerindo vários mecanismos de adaptação utilizados durante o ciclo de desenvolvimento das plantas. Esses mecanismos procuram ajustar as plantas aos períodos de maior demanda evaporativa da atmosfera e à redução do conteúdo de água no solo (SANTOS & CARLESSO, 1999).

Entre as principais modificações estão às alterações morfológicas, como a redução da área foliar, crescimento do sistema radicular e fechamento dos estômatos, durante a aclimatação da planta à seca.

Uma defesa contra a seca adotada pelo vegetal é a limitação à expansão da área foliar e, em genótipos de cana-de-açúcar considerados tolerantes, a condição de restrição hídrica tem sido observada reduções no índice de área foliar próxima a do ideal para a cultura constituindo uma adaptação morfofisiológica a essa condição de estresse.

Como observado para cultivar RB 92-579 que mesmo em condição de restrição hídrica manteve seu índice de área foliar próximo a quatro, definido como ideal para a cultura, assegurando uma melhor eficiência no uso de água e maior acúmulo de matéria seca e maior produtividade (ALMEIDA *et al.*, 2008).

O estudo da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar além de permitir correlacionar seu potencial produtivo, seja em matéria seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento pode favorecer a compreensão de mecanismo de adaptação ao estresse adotado por essa espécie (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Outra resposta das folhas das plantas ao déficit hídrico inclui enrolamento, enrugamento e murchamento bem como movimentos heliotrópicos que alteram a interceptação de radiação solar, buscando reduzir a temperatura da folha, para evitar perdas maiores de água pela transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2009).

A mudança mais visível no dossel vegetativo da cultura de milho sob déficit hídrico é o enrolamento de suas folhas, cuja

intensidade está relacionada com o potencial da água nas folhas (SANTOS & CARLESSO, 1998).

Variações na disponibilidade de água no solo promovem diferenças no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, afetando a absorção de nutrientes, devido às alterações no sistema radicular para exploração de maior volume de solo.

O déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo e sistema radicular profundo é característica de cultivares tolerantes à seca (SANTOS & CARLESSO, 1998; SOUZA *et al.*, 2009).

As plantas quando submetidas à condição de déficit hídrico apresentam alterações que podem prevenir e tolerar a perda de água e nestas alterações o sistema radicular é a primeira região da planta a detectar e sinalizar às demais células, tecidos e órgãos os efeitos do estresse. Sendo a emissão de sinais químicos pelas raízes responsáveis por modificações no comportamento estomático durante o déficit hídrico (GRAÇA, 2009).

Em condições de déficit hídrico, à medida que a disponibilidade de água do solo decresce, as plantas tendem a diminuir a perda de água por meio do fechamento parcial dos estômatos evitando-se a redução do potencial da água na planta (MACHADO *et al.*, 2009).

A água, além de ser necessária ao crescimento das células, é um elemento essencial para a manutenção da turgescência e a importância dessa manutenção é permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese (SANTOS & CARLESSO, 1998).

A avaliação fisiológica de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas sobre condições de restrição hídrica revelou na fase de crescimento inicial tolerância ao déficit hídrico para o genótipo IACSP 94-2094, com evidências de aclimação fisiológica, pois esse genótipo manteve a produção de fitomassa mesmo com redução das trocas gasosas em virtude do fechamento parcial dos estômatos (MACHADO *et al.*, 2009).

2.9. Acúmulo de osmoprotetores e o ajustamento osmótico

As plantas quando expostas aos mais variados tipos de estresses ambientais, principalmente o estresse promovido pelo déficit hídrico tem alguns de seus processos morfofisiológicos afetados drasticamente e passam a adotar uma série de medidas que poderão lhes conferir certa adaptação.

Além de medidas como o decréscimo da produção da área foliar, fechamento estomático, aceleração da senescência e da abscisão foliar, quando expostas a situações de restrição hídrica, as plantas exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que lhes permitem armazenar água para usos posteriores (SANTOS & CARLESSO, 1998).

Nas plantas o déficit hídrico se inicia a partir de uma complexa via de respostas, começando com a percepção do estresse gerando diversos eventos moleculares, sendo finalizada em vários níveis de respostas fisiológicas, metabólicas e de desenvolvimento (BRAY, 1993).

Dentre essas respostas, estão o ajustamento osmótico por meio da acumulação de substâncias de baixa massa molecular, os

osmoprotetores, no citoplasma celular. Sob condições de deficiência hídrica, o acúmulo destes, tem sido associado à tolerância das plantas à seca, representando um mecanismo regulador da perda de água por meio do aumento da osmolaridade celular (FUMIS & PEDRAS, 2002).

O ajuste osmótico capacita a planta a continuar a expansão celular, realizar ajustes estomáticos e fotossintéticos e assim otimizar o crescimento (CARVALHO *et al.*, 2005).

Diversos osmoprotetores têm sido encontrados em várias espécies vegetais sob efeitos de restrição hídrica desempenhando múltiplas funções na regulação do metabolismo celular sob estresse. Dentre estas funções pode-se citar a manutenção da integridade da membrana plasmática, obtida por interações desta com os grupos polares das cadeias fosfolipídicas além da redução do potencial hídrico celular (FUMIS & PEDRAS, 2002; QUEIROZ *et al.*, 2008; LEHMANN *et al.*, 2010).

A classe de pequenas moléculas conhecidas como osmólitos compatíveis ou osmoprotetores inclui aminoácidos como a prolina e glicina betaína, treolase, ectoína, manitol, sorbitol, 3-dimetilsulfoniopropionato, D-ononitol (HASEGAWA *et al.*, 2000).

O aminoácido prolina é o único dos aminoácidos proteinogênico que apresenta um grupo amino secundário, ligado a dois átomos de carbono, formando um anel imina, o qual confere características de neutralidade da molécula (QUEIROZ *et al.*, 2008). Devido sua estrutura cíclica, esse aminoácido apresenta restrita flexibilidade conformacional, que determina o arranjo das cadeias peptídicas ao seu redor e como consequência leva a estabilização ou

desestabilização da estrutura secundária da conformação protéica (LEHMANN *et al.*, 2010).

O papel dos aminoácidos como soluto compatível e sua importância no metabolismo de plantas em condições de estresse tem sido um campo de várias pesquisas em espécies vegetais. Essas substâncias reduzem os efeitos negativos da desidratação e desse modo contribui para o melhoramento da tolerância ao estresse por parte das espécies vegetais (BANDURSKA, 2000).

A acumulação de prolina é conhecida por ser uma das primeiras respostas bioquímicas dadas pelas plantas sobre efeitos da deficiência hídrica e esse acúmulo é causado tanto pela ativação de sua biossíntese quanto pela inibição de sua degradação (YOSHIBA *et al.*, 1997; BANDURSKA, 2000).

Em células vegetais expostas a condições de restrição hídrica ou de salinidade o acúmulo de prolina está frequentemente envolvido com os mecanismos de tolerância a essa condição de limitação abiótica, ligado não somente a redução do potencial hídrico celular, mas, principalmente ao seu ajustamento osmótico além da proteção da integridade da membrana (PINHO & ANSEL, 1995; CHEN *et al.*, 2001).

Menores danos da membrana celular do tecido foliar de plantas sobre condições de estresse hídrico têm sido atribuídos graças ao acúmulo de prolina no citoplasma celular. Em diferentes genótipos de batata cultivados sobre condições de deficiência hídrica foi constatado menor dano à membrana em detrimento do aumento do acúmulo deste osmoprotetor no interior das células do tecido foliar (BANDURSKA, 2000).

O metabolismo desse aminoácido foi primeiramente descrito em bactérias, nas quais a prolina é sintetizada a partir do glutamato que através da enzima γ -glutimil quinase é fosforizado a glutamil- γ -fosfato e logo em seguida reduzido para glutâmico- γ -semialdeído pela enzima glutâmica- γ -semialdeído dehidrogenase, passando espontaneamente para Δ^1 pirrolina-5-carboxilato (P5C) e reduzido a prolina pela enzima Δ^1 pirrolina-5-carboxilase redutase (LEHMANN *et al.*, 2010).

Nas plantas superiores têm sido sugeridos que a síntese de prolina advém da via do glutamato ou da ornitina, sendo que a rota da glutamato é a via primária para a síntese de prolina em condições de estresse osmótico ou limitação de nitrogênio; enquanto que a via da ornitina é prevalecida sobre altos níveis de disponibilidade de nitrogênio (YOSHIBA *et al.*, 1997).

Sobre condições de estresse hídrico, a quantidade de prolina livre aumentou cerca de 60% em comparação com o total de aminoácidos quantificados em folhas de petúnias (*Petunia hybrida* cv. Mitchell) sendo demonstrado um decréscimo nas quantidades de glutamato em tais condições (YAMADA *et al.*, 2008).

À medida que a disponibilidade hídrica do solo diminui há uma tendência das plantas nessa condição desfavorável, de aumentarem os teores de prolina e ajustar osmoticamente suas células resultando na manutenção da turgência celular a baixos potenciais hídricos reduzindo perdas de água pelas células do tecido foliar (CARVALHO *et al.*, 2005).

Aumentos generalizados dos teores de prolina em variedades de milho e sorgo sob efeito da deficiência hídrica foram observados por Pinho & Ansel (1995). Os mesmos constataram que esses

aumentos foram mais acentuados nas variedades tidas como tolerantes do que naquelas consideradas sensíveis.

Comportamento semelhante também tem sido relatado em variedades de trigo havendo aumentos significativos nos teores de prolina em variedades tolerantes com o aumento da deficiência de água no solo (FUMIS & PEDRAS, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Sergipe. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas cultivares (RB 85-5536 e RB 93-509) e quatro níveis de água no solo definidos com base na capacidade de campo (100% Cc, 80% Cc, 60% Cc e 40% Cc), com quatro repetições, sendo cada repetição constituída por uma planta.

Foram avaliados os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*: fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), rendimento quântico do fotossistema (Fv/Fm) e fluorescência transiente OJIP além dos índices de pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a*, *b* e *totais*) e os teores de prolina acumulada.

Os valores obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-knott e regressão polinomial ao nível de 5% de probabilidade.

3.2. Coleta e preparo do solo para implantação do experimento

O solo pertencente à classe dos Argissolos foi coletado na profundidade de 0,0-0,2 m em trincheira aberta na área da Estação Experimental Campus Rural da UFS, localizado no povoado Timbó, São Cristóvão-SE (latitude 11°00' S e longitude 37°12' W).

Para a preparação dos vasos, a adubação consistiu na aplicação de nitrogênio, fósforo, potássio nas proporções de 60 Kg.ha⁻¹ de N, 50

Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 Kg.ha⁻¹ de K₂O tendo como fonte primária desses nutrientes a uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

Após a coleta, o solo foi processado com auxílio de peneira de aro 55 para retirada do excesso de impurezas, em seguida foi retirada uma amostra de 500 g e enviada ao laboratório do Instituto de Tecnologia e Pesquisa do Estado de Sergipe (ITPS) para posterior análise físico-química. Os dados dessa análise se encontram dispostos na Tabela 1.

TABELA 1. Resultado da análise físico-química de amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo. São Cristóvão-SE, 2010.

Características	Valor	Unidade
pH em água	5,70	--
M.O.	10,30	g.dm ⁻³
Cálcio + Magnésio	1,35	cmol _c .cm ⁻³
Cálcio	1,06	cmol _c .cm ⁻³
Magnésio	0,29	cmol _c .cm ⁻³
Alumínio	0,21	cmol _c .cm ⁻³
Sódio	0,12	cmol _c .cm ⁻³
Potássio	40,00	PPM
Fósforo	23,00	PPM
Hidrogênio + Alumínio	2,23	cmol _c .cm ⁻³
Ferro	200,22	mg.L ⁻¹
Cobre	3,15	mg.L ⁻¹
Manganês	3,04	mg.L ⁻¹
Zinco	2,40	mg.L ⁻¹
SB	1,57	cmol _c .cm ⁻³
CTC	3,80	cmol _c .cm ⁻³
V	41,30	cmol _c .cm ⁻³
Areia	84,14	%
Argila	6,70	%
Silte	9,16	%
Classe textural	Areia Franca	--
Densidade aparente	1,49	g.cm ⁻³

Com base nos resultados da análise química do solo procedeu-se a calagem, sendo a quantidade de calcário aplicada determinada

pelo método da saturação por bases V (%) (RAIJ *et al.*, 1996). O solo recebeu dose de calagem de uma ton.ha⁻¹ de calcário (PRNT = 76).

A capacidade de campo foi estimada previamente, por meio da curva de retenção de umidade pelos métodos do Extrator de Richard (RICHARDS & FIREMAN, 1943) e funis de placa porosa (HAINES, 1930) a partir de amostras de solo seco, peneirado e homogeneizado no laboratório de Física do Solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros (Figura 2).

Sendo o ponto de tensão determinado como equivalente para capacidade de campo em 10 kPa (BERNADO, 2005).

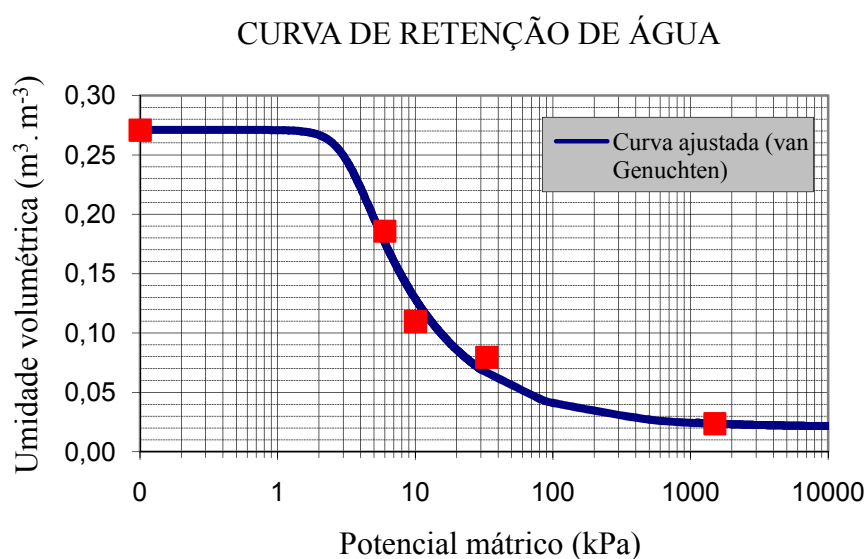


FIGURA 2. Curva de retenção de água de amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

3.3. Obtenção das plântulas de cana-de-açúcar, implantação do experimento e condições ambientais

As plântulas das cultivares de cana-de-açúcar foram obtidas a partir do plantio de rebolos com única gema no dia 20/08/10 cedidos pelo RIDESA-UFRPE, em sacos de polietileno preenchido com solo devidamente corrigido pela calagem.

Após 30 dias, as plântulas das cultivares RB 85-5536 e RB 93-509 foram transplantadas para vasos com capacidade de 18 dm³ preenchidos com solo devidamente corrigido, adubado e mantido em sua capacidade de campo. Os vasos contendo solo e plantas foram pesados para determinação do peso inicial, permanecendo nestas condições por 43 dias para assegurar o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas.

No dia 03 de novembro, portanto, 73 dias após o plantio foi iniciado o procedimento para diferenciação dos tratamentos, por suspensão da irrigação e acompanhamento da restrição hídrica avaliada por meio da pesagem diária dos vasos empregando-se balança digital.

Diferenciados os tratamentos 13 dias após a suspensão da irrigação, o controle dos níveis de água de cada tratamento foram realizados pelo método das pesagens a partir do monitoramento diário da massa dos vasos (CARVALHO *et al.*, 2005), realizando-se, nessas ocasiões, a complementação da água, de modo a manter a umidade concernente a cada tratamento.

Assim, em cada rega, a correção da umidade do solo foi feita por meio da diferença entre a massa atual do sistema (vaso + solo + planta) e a massa prefixada para cada tratamento. Assumiu-se que a água apresenta a relação peso/volume de L/L.

Durante o período experimental as condições ambientais de temperatura média e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, foram monitoradas diariamente com auxílio de termohigrômetro (Figura 3).

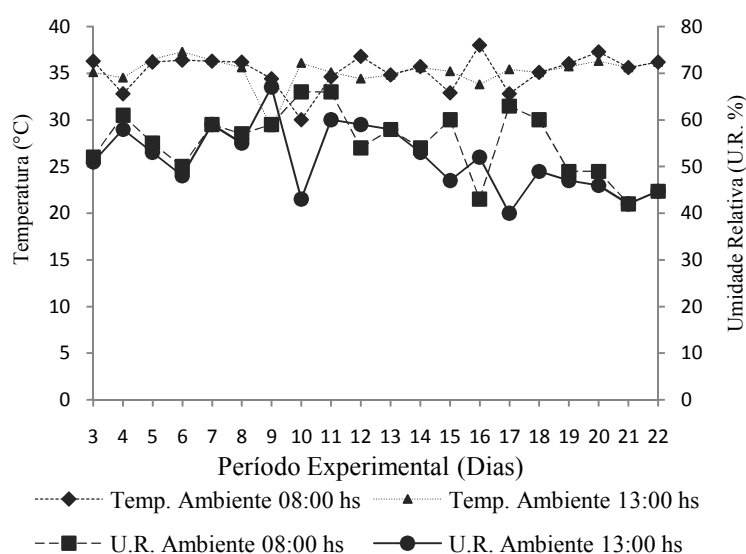


FIGURA 3. Condições de temperatura e umidade em estufa agrícola durante o período experimental. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

3.4. Mensuração dos parâmetros de fluorescência e de pigmentos fotossintéticos

A emissão da fluorescência da clorofila *a* foi quantificada com utilização de fluorômetro portátil modelo OS-30P (ADC BioScientific Ltd. UK) a partir da qual se obtiveram a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (PSII) através da relação F_v/F_m além dos parâmetros do teste OJIP.

As leituras foram realizadas a partir do período de diferenciação dos tratamentos durante um período de sete dias, a cada dois dias, entre 10-12 h da manhã, período de alta disponibilidade de

radiação solar, nas folhas +1 (Figura 4) de cada parcela experimental em bom estado fitossanitário após sua adaptação ao escuro durante 30 minutos com auxílio de clipes adaptadores, para que todos os centros de reação nessa região foliar adquirissem a condição de “aberto” (extintor fotoquímico não reduzido).

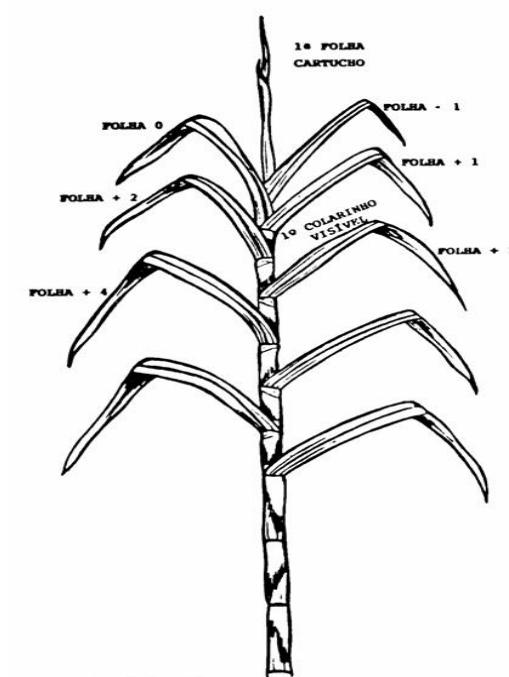


FIGURA 4. Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper. Fonte: Gonçalves, 2008

Foram fixados dois clipes na porção mediana das folhas, em um dos lados do limbo foliar, evitando-se a nervura central, sendo um clipe destinado para a mensuração dos parâmetros de fluorescência (F_0 , F_M e F_v/F_m) e o outro para os parâmetros do teste OJIP.

As determinações dos índices de clorofila *a*, *b* e *totais* foram efetuados com auxílio e uso de medidor portátil de clorofila Clorofilog (Modelo CFL 1030) no mesmo período que foi determinado os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, após ter sido efetuada a

calibração do aparelho a partir do fechamento de sua câmara de leitura no terço médio do limbo foliar evitando-se a região da nervura central.

3.5. Determinação dos teores de prolina livre

A determinação dos teores de prolina livre foi realizada no laboratório de Ecofisiologia da EMBRAPA–Tabuleiros Costeiros, de acordo com o método descrito por BATES *et al.* (1973), a partir da coleta no final do período experimental das folhas +1, as quais foram cortadas, embaladas em volta de papel alumínio e então acondicionadas no freezer em bolsas plásticas, sendo cada tratamento devidamente identificado, para posterior análise.

Amostras de 100 mg de massa fresca do material foram maceradas e homogeneizadas com auxílio de pistilo e almofariz em presença de nitrogênio líquido com 10 mL de ácido sulfosalicílico 3%, em seguida o material macerado foi transferido para tubos de 50 mL devidamente identificados e levados à centrifuga para posterior centrifugação durante 15 minutos a 10.000 rpm.

Logo após, uma alíquota de 2 mL do material centrifugado foi transferida para tubos de ensaio devidamente identificados, os quais receberam 2 mL de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina + 30 mL de ácido acético glacial + 20 mL de ácido fosfórico 6M) e ácido acético glacial, e a seguir levados ao banho-maria à temperatura de 100°C por 60 minutos.

Decorrido este tempo, os tubos de ensaio foram colocados em um recipiente com gelo para posterior resfriamento e assim finalizar a reação, em seguida foram acrescidos quatro mL de tolueno e a solução foi homogeneizada agitando-se de 15 a 20 segundos em agitador,

sendo em seguida realizada a leitura de absorbância das amostras no comprimento de onda 520 nm em espectrofotômetro de absorção molecular FEMTO e determinado os teores de prolina com base na comparação da curva analítica predefinida.

Para elaboração da curva analítica foi preparada uma solução padrão de prolina a partir da dissolução de 0.0115 g desse soluto em 1000 mL de água destilada sendo essa solução armazenada em geladeira. Em seguida procedeu-se a diluição do padrão de prolina em cinco pontos para posterior montagem da curva (Tabela 2).

Para tal, uma alíquota de 2 mL de cada ponto do padrão diluído foi retirada, colocada em tubos de ensaios devidamente identificados e em seguida adicionado a cada um dos tubos contendo o padrão 2 mL de ácido acético glacial e de ninhidrina ácida sendo logo depois de efetuada a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda característico.

TABELA 2. Diluições do padrão de prolina para posterior montagem da curva analítica padrão. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

Padrão (mL)	Concentração de prolina (mmol)	Água destilada (mL)	Volume total (mL)
1	10	9	10
3	30	7	10
5	50	5	10
7	70	3	10
9	90	1	10

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar RB 93-509 apresentou queda significativa do índice de clorofila *a*, já a partir do terceiro dia de estresse quando submetida ao nível de água no solo de 40% da capacidade de campo em relação aos demais níveis de estresse, enquanto que para cultivar RB 85-5536 esse comportamento só foi observado a partir do sétimo dia de estresse (Figura 5).

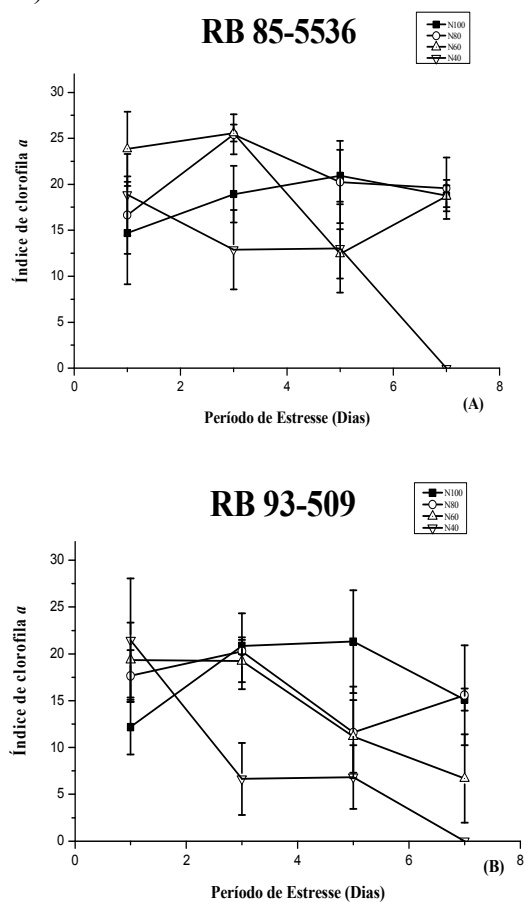


FIGURA 5. Índice de clorofila *a* mensurados com medidor portátil Clorofilog em folhas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

Os índices de clorofila *b* também apresentaram reduções a partir do terceiro dia de estresse em ambas cultivar de cana-de-açúcar no nível de 40% de água da capacidade de campo do solo, observando-se decréscimos mais acentuados na ordem de 81,25% para cultivar RB 93-509, enquanto que na cultivar RB 85-5536 a redução encontrada foi de 50% desse índice (Figura 6).

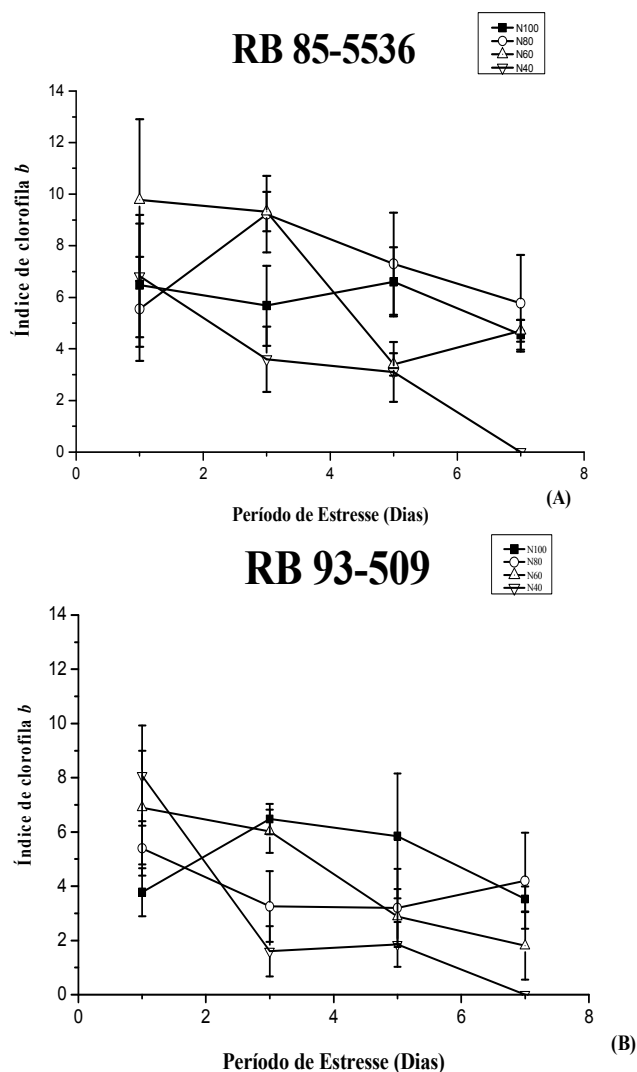


FIGURA 6. Índice de clorofila *b* mensurados com medidor portátil Clorofilog em folhas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

No terceiro dia de estresse também foram observadas reduções dos índices de clorofilas totais para ambas cultivar de cana-de-açúcar no nível de 40% de água da capacidade de campo do solo, porém, as maiores quedas nos índices de pigmentos totais foram constatadas para cultivar RB 93-509 com redução de 75% enquanto que a cultivar RB 85-5536 apresentou 47% de redução dos pigmentos totais (Figura 7).

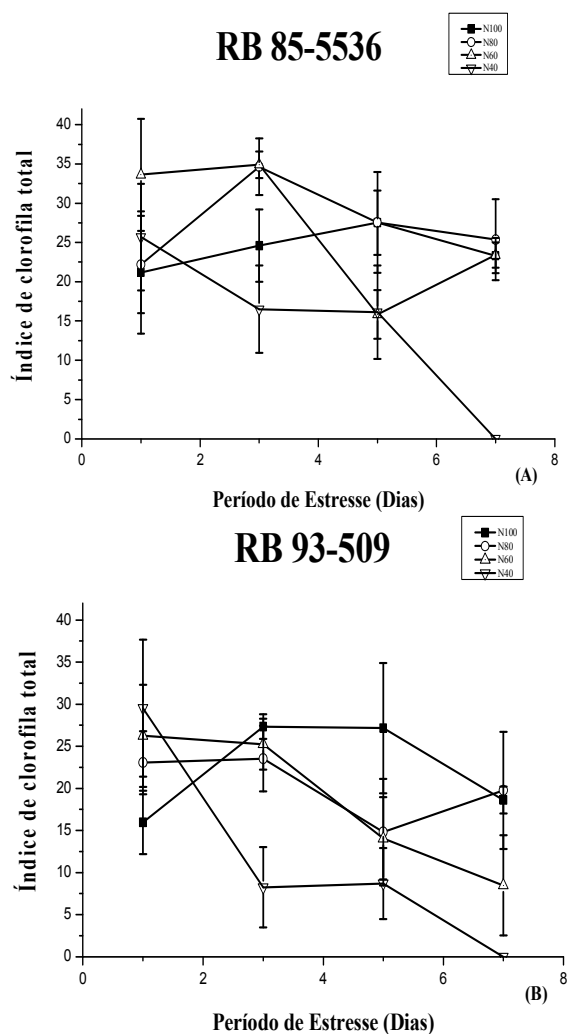


FIGURA 7. Índice de clorofila total mensurados com medidor portátil Clorofilog em folhas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água no solo. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

Em determinada situação de estresse abiótico como o estresse promovido pela restrição hídrica, reduções do conteúdo relativo de água nas folhas têm sido observado em espécies agrícolas, sendo que a redução da quantidade de pigmentos fotossintéticos parece estar associada com a diminuição do potencial hídrico foliar.

Essa situação foi verificada para diferentes cultivares de arroz submetido à restrição hídrica, sendo observado que à medida que o ambiente foliar tornava-se mais seco com o avanço do período de estresse hídrico, as taxas de degradação de pigmentos fotossintéticos aumentavam nas cultivar testadas (PIETERS & SOUKI, 2005).

Assim, fica evidente que a degradação de pigmentos fotossintéticos mantém uma relação direta com a redução da disponibilidade de água no meio de cultivo vegetal como observado neste experimento, no qual o nível de estresse mais severo proporcionou maior redução de pigmentos.

Esse mesmo comportamento foi evidenciado em plântulas de cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de restrição hídrica promovida por estresse osmótico, sendo observado que o aumento da severidade do estresse proporcionou o crescimento das taxas de degradação de pigmentos fotossintéticos, apresentando essa degradação uma relação direta e de crescimento linear com a severidade do estresse (CHA-UM & KIRDAMANEE, 2008).

Reduções expressivas nos teores de clorofilas *a*, *b* e *totais* também foram encontradas em cultivares de arroz submetido à restrição hídrica em detrimento da queda gradativa do conteúdo relativo de água nas folhas, sendo as maiores taxas de redução encontrada para o nível de estresse mais severo (CHA-UM *et al.*, 2010).

A elevação da degradação dos pigmentos fotossintéticos com o aumento da severidade do estresse como observado neste estudo para ambas cultivares de cana-de-açúcar, pode estar correlacionada com a acumulação de espécies reativas de oxigênio responsáveis pelo estresse oxidativo.

Acúmulos contínuos de espécies reativas de oxigênio têm sido encontrados em detrimento do aumento dos níveis de severidade do estresse promovido pela restrição hídrica (RAOUDHA *et al.*, 2007).

Essas espécies reativas de oxigênio são responsáveis pela degradação das membranas dos tilacóides nos cloroplastos, por meio da peroxidação de seus lipídeos; fato observado em plantas de trigo submetidas à restrição hídrica nas quais essas taxas de peroxidação aumentaram significativamente com a severidade do estresse (TATAR & GEVREK, 2008).

Como os pigmentos fotossintéticos se acoplam nessas membranas através de interações estabelecidas entre a porção hidrofóbica de sua estrutura com os lipídeos constituintes dessa membrana, há de se esperar que com o aumento das taxas de peroxidação lipídica ocorra uma desestruturação do radical hidrofóbico desses pigmentos ocasionando sua degradação.

Assim, esse comportamento também pode ser esperado para as cultivares testadas neste experimento, pois, sob restrições hídricas também tem sido verificado aumentos significativos das taxas de peroxidação lipídicas em plantas de cana-de-açúcar (MOLINARI *et al.*, 2007).

Para os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* foi observada reduções à medida que o período de estresse avançava dentro dos níveis mais baixos de água no solo.

Com relação à fluorescência inicial (F0), em ambas cultivar de cana-de-açúcar, reduções significativas foram observadas com o avanço do período de estresse no nível de água de 40% da capacidade de campo (estresse severo), sendo constatada uma tendência de redução já a partir do terceiro dia de estresse (Figura 8).

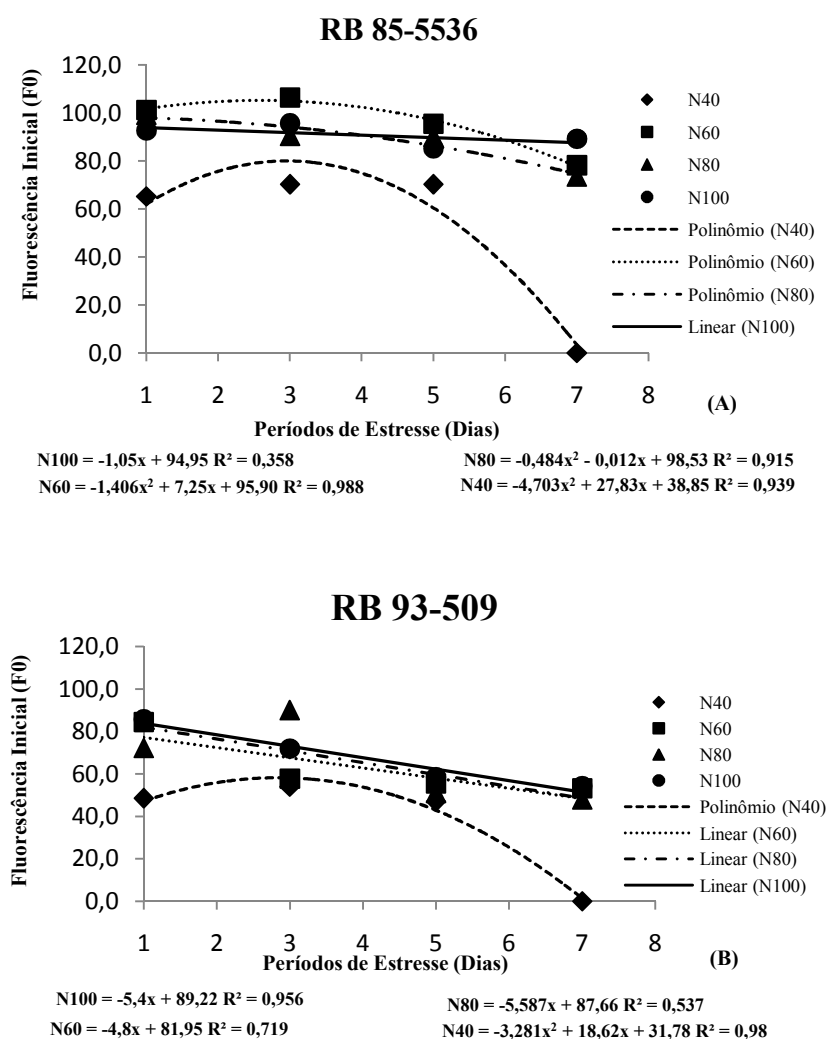


FIGURA 8. Valores da fluorescência inicial (F0) de cultivares testada de cana-de-açúcar sob efeitos dos níveis de água e períodos de estresse. (A) Cultivar RB85-5536 e (B) Cultivar RB 93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

A redução encontrada para esse parâmetro pode estar associada com a ocorrência de danos no centro de reação do fotossistema II (FSII).

A fluorescência inicial é produzida a partir da excitação das moléculas de pigmentos constituintes do complexo antena ao transferir por ressonância parte da energia radiante absorvida para o centro de reação do fotossistema. Dessa forma, a atividade do complexo antena bem como a emissão de fluorescência inicial está correlacionada às necessidades energéticas do centro de reação durante a etapa fotoquímica do processo fotossintético.

Assim, há de se esperar que sob condições normais, com o centro de reação atuando perfeitamente (ausência de danos) exista um maior fluxo energético entre o complexo antena e o centro de reação, resultando dessa maneira em altos valores de fluorescência inicial como observado para cultivares de cevada submetidas à seca por estresse osmótico, nas quais verificou-se altos valores desse parâmetro com a ausência de danos no centro de reação (KOCHEVA *et al.*, 2004).

Entretanto, com o avanço do período e da severidade do estresse, danos no centro de reação do fotossistema podem ocorrer limitando a transferência do fluxo energético do complexo antena provocando reduções nos valores de fluorescência inicial. Esse comportamento foi observado em diferentes espécies forrageiras como capim-do-nilo, capim-angola, capim-setária e capim-hermatria submetidas à restrição hídrica, nas quais foram verificadas quedas nos valores de fluorescência inicial com o surgimento de danos no centro de reação à medida que a severidade do estresse aumentava com o avanço do período de estresse (SILVA *et al.*, 2006).

Os níveis de fluorescência máxima (FM) com a diminuição dos níveis de água no solo e o avanço do período de estresse também foram observados reduções para ambas cultivar de cana-de-açúcar, porém, na cultivar RB 93-509 essas reduções foram significativas para os níveis de estresse de 80, 60 e 40% de água no solo, enquanto que para cultivar RB 85-5536 apenas no nível de 40% de água da capacidade de campo com tendência de queda já no terceiro dia nesse nível de estresse (Figura 9).

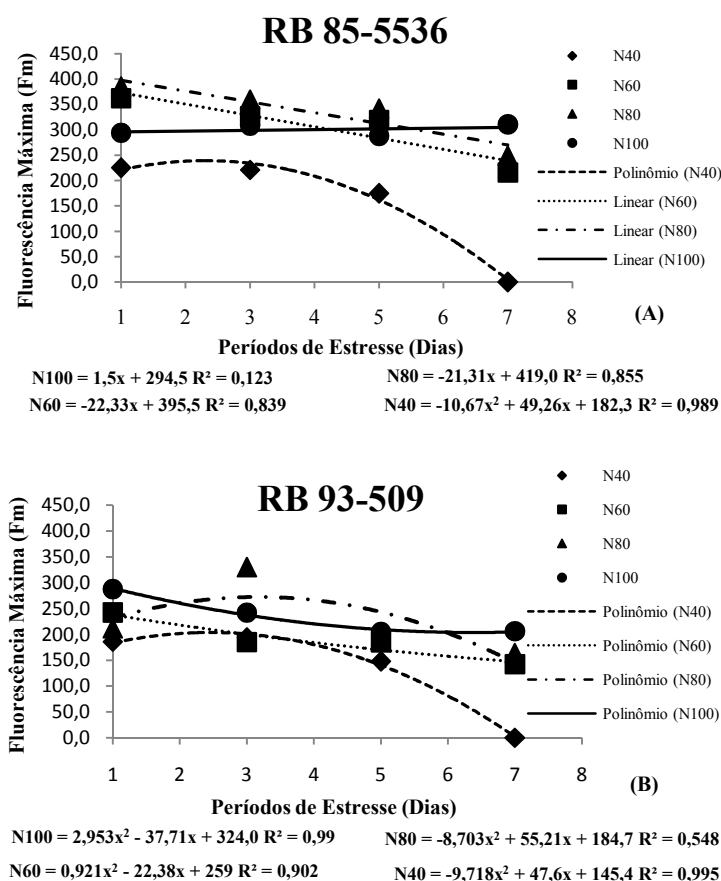


FIGURA 9. Valores da fluorescência máxima (FM) de cultivares testada de cana-de-açúcar sob efeitos dos níveis de água e períodos de estresse. (A) Cultivar RB85-5536 e (B) Cultivar RB 93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

As quedas significativas encontradas nesse parâmetro para cultivar RB 93-509 com a redução dos níveis de água no solo pode revelar uma maior sensibilidade dessas cultivar quanto ao aumento da restrição hídrica durante essa fase de crescimento inicial, pois, nessa situação se observa um comprometimento do fluxo de elétrons entre os fotossistemas I e II limitando a atividade fotossintética resultando em baixas de energia indispensável ao metabolismo de tolerância ao estresse.

Essas reduções de fluorescência máxima caracterizam de uma maneira geral a deficiência de fotorredução da quinona A, principalceptor de elétrons do fotossistema II, e responsável pela continuidade do fluxo eletrônico da cadeia transportadora entre os fotossistemas, assim, nessas condições de deficiência de fotorredução da quinona A o fluxo de elétrons entre os fotossistemas é diretamente afetado (SILVA *et al.*, 2006), resultando em baixas taxas de fotossíntese pela diminuição da atividade enzimática da rubisco com o avanço do estresse hídrico (CHA-UM & KIRDANNE, 2008) resultando em baixa taxas de energia.

Os baixos valores de fluorescência máxima encontrados em ambas cultivar podem está correlacionado com o aumento das taxas de degradação das proteínas D1 com o avanço da restrição hídrica sob ação das espécies reativas de oxigênio.

Sob condições de deficiência hídrica, a quantidade relativa dessas proteínas foi reduzida em cultivares de arroz, sendo as maiores reduções observadas para cultivar caracterizada como sensível ao estresse hídrico (PIETERS & SOUKI, 2005).

Ao nível celular, quando as proteínas são expostas a tais substâncias reativas, modificações no lado da cadeia de aminoácidos

ocorrem e consequentemente a estrutura das proteínas são alteradas ocasionando perda de função (CABISCOL *et al.*, 2000).

As proteínas D1 desempenham um papel importante para o funcionamento do fotossistema II, pois, através dessas macromoléculas o fluxo de elétrons do centro de reação é transferido para quinona A, a qual ao atingir sua completa redução emite a fluorescência em seu nível máximo (KEIS & WEIS, 1993; ARAÚJO & DEMINICIUS, 2009). Assim, com o aumento das taxas de degradação dessas proteínas pela seca menos energia seria transferida do centro de reação do fotossistema II para a quinona A, resultando em baixos níveis de fluorescência máxima.

Já o rendimento quântico do fotossistema (FV/FM) apresentou reduções significativas para o nível de estresse de 40% de umidade do solo para ambas cultivar de cana-de-açúcar testada com o avanço do período de estresse também sendo verificada uma tendência de queda deste parâmetro já a partir do terceiro dia (Figura 10).

As quedas significativas encontradas para esse parâmetro nas cultivares testadas de cana-de-açúcar no nível de estresse mais severo pode estar correlacionada com a destruição do centro de reação do fotossistema sendo esse comportamento mais evidente no sétimo dia de estresse.

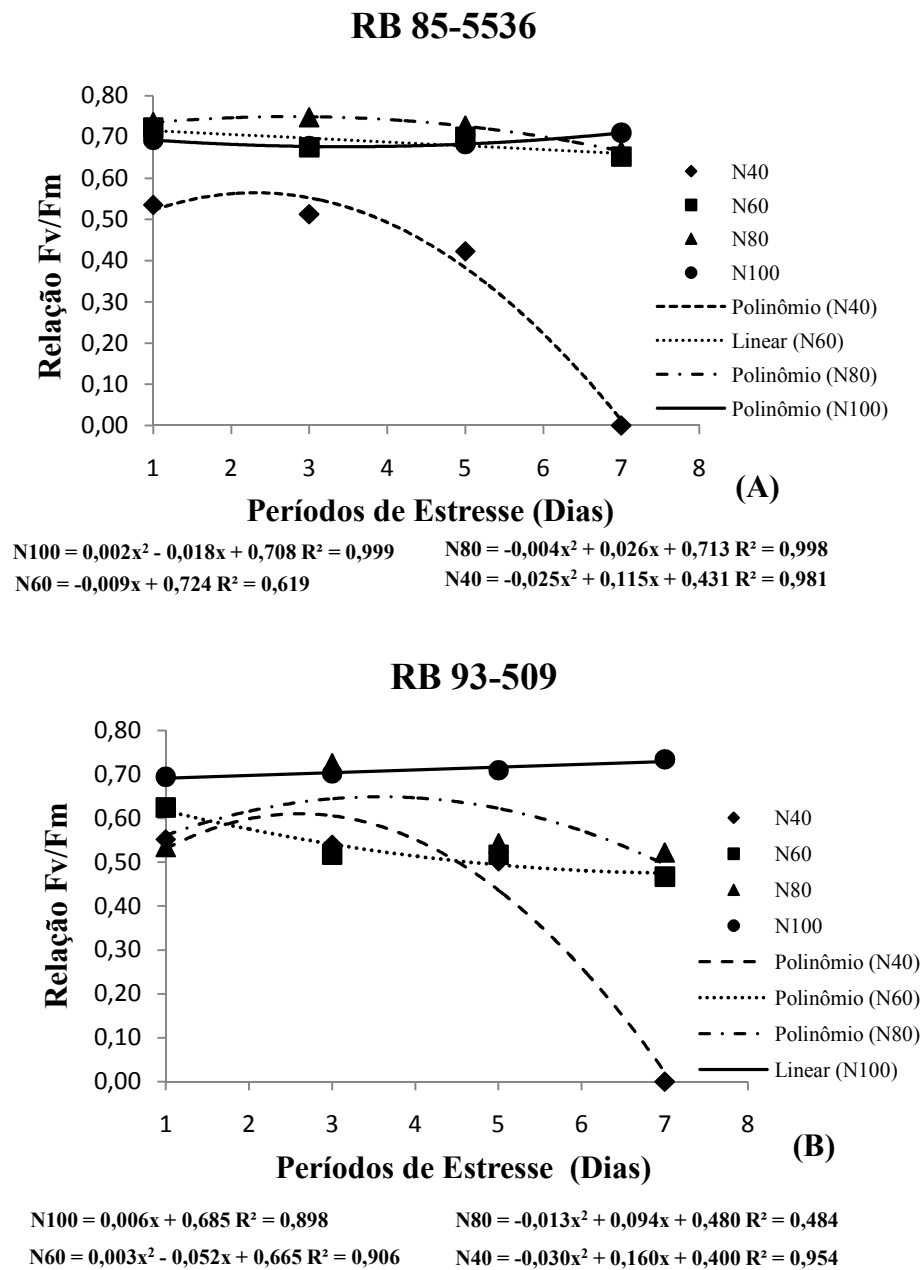


FIGURA 10. Valores da relação Fv/Fm de cultivares testada de cana-de-açúcar sob efeitos dos níveis de água e períodos de estresse. (A) Cultivar RB85-5536e (B) Cultivar RB 93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

É fato que em uma situação de estresse hídrico a difusão de carbono no interior da célula do tecido vegetal é limitada em virtude do fechamento parcial dos estômatos, funcionando o dióxido de carbono de uma maneira geral como um aceptor final da energia transferida do fluxo de elétrons da cadeia transportadora entre os fotossistemas.

Com os teores baixos dessa substância no interior das células possivelmente há uma transferência da energia do fluxo de elétrons para o oxigênio produzido a partir da quebra da molécula de água no complexo de evolução de oxigênio, assim, espécies reativas de oxigênio teriam suas taxas aumentadas (SHAHENSHEAH & ISODA, 2010) criando oportunidade para a ocorrência de danos oxidativos nas membranas dos tilacoides dos cloroplastos onde estão localizados os fotossistemas resultado na destruição do centro de reação tendo como consequência os baixos valores de rendimento quântico.

Esse comportamento foi observado em plantas de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico por redução dos níveis de água no solo, sendo verificadas quedas no rendimento quântico do fotossistema em decorrência dos aumentos das taxas de peroxidação lipídica já a partir do sexto dia de submissão ao estresse (MOLINARI *et al.*, 2007).

Maiores quedas desse parâmetro também foram verificadas por Gonçalves *et al.* (2010 a) no nível de estresse mais severo submetido a diferentes cultivares de cana-de-açúcar.

Com relação à fluorescência transiente, as cultivares RB 85-5536 e RB 93-509 exibiram uma típica curva OJIP tanto no início quanto no final do período de estresse hídrico. No início do período de estresse não foram observados nos diferentes níveis de água no solo,

reduções distintas nos transientes OJIP para cultivar RB 85-5536, entretanto, um comportamento diferenciado foi observado para cultivar RB 93-509, a qual apresentou maior intensidade de emissão de fluorescência em seu nível máximo (P) no tratamento de estresse de 80% de água da capacidade de campo em relação aos demais níveis de água no solo (Figura 11).

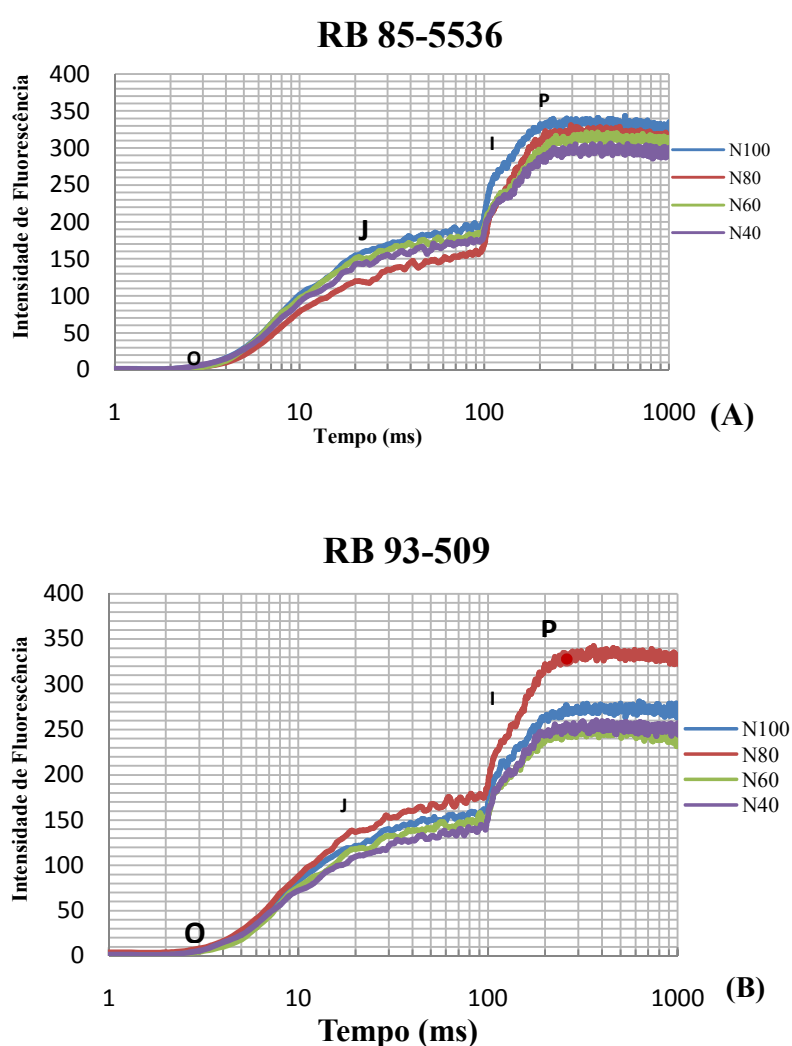


FIGURA11. Fluorescência transiente da clorofila *a* no período inicial de estresse hídrico. (A) Cultivar RB85-5536e (B) Cultivar RB93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

Esse comportamento apresentado pela cultivar RB 93-509 pode ser justificado pelo fato de durante o período de diferenciação dos níveis de estresse hídrico ter ocorrido a substituição de parcelas perdidas no nível de estresse de 80% de água da capacidade de campo. Assim, como as novas plantas que passaram a constituir as parcelas perdidas nesse nível de estresse hídrico foram obtidas de uma sementeira com boas condições de disponibilidade hídrica sem, portanto, passar por um período de estresse antes da avaliação inicial, há de se esperar altos valores para os parâmetros da curva polifásica OJIP.

Essa hipótese pode ser reforçada pelo fato de que transcorrido sete dias do período de estresse, o nível de intensidade de emissão de fluorescência em seu nível máximo (P) pela cultivar RB 93-509 no nível de água no solo de 80% da capacidade de campo apresentar-se abaixo do nível de 100% de água no solo (Figura 12).

Ambas cultivares apresentou de uma maneira geral reduções distintas para os diferentes níveis de água no solo no final do período de estresse, porém, com reduções mais acentuadas para cultivar RB 93-509 já no nível de estresse de 60% de água da capacidade de campo e valores zero de intensidade de fluorescência observado no nível de estresse mais severo.

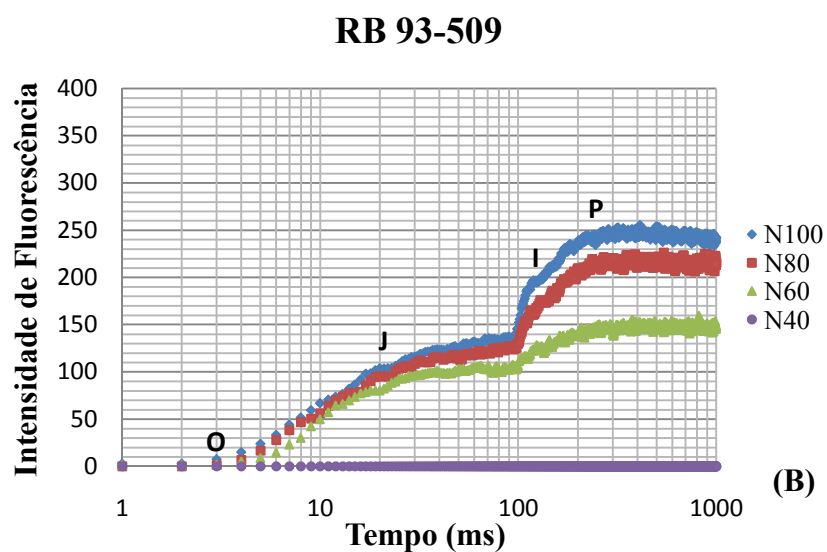
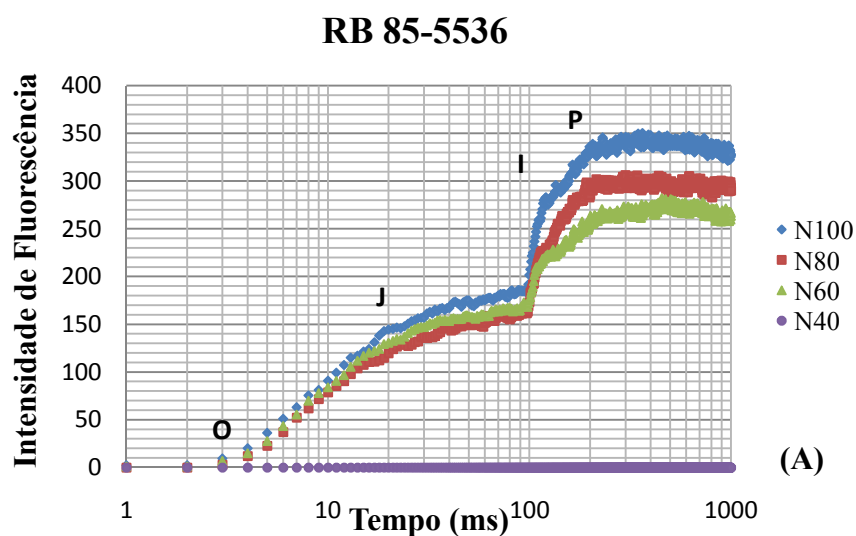


FIGURA 12. Fluorescência transiente da clorofila *a* no período final de estresse hídrico. (A) Cultivar RB85-5536 e (B) Cultivar RB93-509. UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

A não constatação de reduções distintas nas curvas polifásica da fluorescência transiente entre os diferentes níveis de água no solo durante o início do período de estresse, pode estar relacionada com a

ausência de danos significativos no complexo de evolução de oxigênio ao passo que as reduções encontradas no final do período de estresse estariam associadas ao surgimento de danos nesse complexo.

Com o fluxo de energia radiante atingindo o centro de reação do fotossistema II, os elétrons periféricos da molécula de clorofila P680 são excitados e então transferidos para quinona A, permanecendo a P680 temporariamente num estado oxidável ($P680^+$) com um déficit eletrônico que será suprido por elétrons resultantes da quebra de molécula de água executada pelo complexo de evolução de oxigênio e transportados pela tirosina Z para $P680^+$.

O nível *O* da curva polifásica da fluorescência transiente representa a mínima produção de fluorescência quando todas as moléculas de quinona A estão no estado oxidável, com a continuidade do fluxo de elétrons do centro de reação para quinona A elevações na intensidade de emissão vão ocorrendo surgindo as fases *J*, *I* e a etapa *P* que corresponde ao estado no qual todas as moléculas de quinona A se encontram reduzidas resultando na máxima produção de fluorescência. A elevação da fase *O* para a fase *J* é produzida a partir da redução da quinona A e está associada com a redução fotoquímica primária do fotossistema II (LU & ZANG, 1999).

Dessa forma, essa fase *O-J* é influenciada diretamente pelo funcionamento do complexo de evolução de oxigênio (SRIVASTAVA *et al.*, 1997).

Assim, com o funcionamento normal do complexo de evolução de oxigênio, a P680 é reduzida assegurando a transferência de elétrons do centro de reação do fotossistema para quinona A resultando em altos níveis de emissão de fluorescência, justificando a não observação de reduções distintas nas curvas polifásica da fluorescência

transientes, pois, a quebra de água pelo complexo de evolução de oxigênio determina o processo de redução da quinona A (TOIVONEN & VIDAVER, 1988).

Entretanto, com a desestruturação do complexo de evolução de oxigênio, a P680 permaneceria em seu estado oxidável, inibindo o fluxo eletrônico para quinona A reduzindo a intensidade da fluorescência.

Assim, as reduções encontradas podem ser explicadas por um desequilíbrio entre o fluxo eletrônico saído do centro de reação do fotossistema para a equipe de aceptores e o fluxo de elétrons vindo da equipe doadora para o centro de reação, pois, quando a transferência de elétrons do complexo de evolução de oxigênio for mais lenta que a transferência de elétrons da P680 para a QA decréscimo na fluorescência máxima (P) serão observados (STRASSER, 1997).

Nesse sentido, as reduções da intensidade da fluorescência observadas no ponto P no último período de estresse para os níveis de água de 80% e 60% da capacidade de campo nas cultivar de cana-de-açúcar avaliada, estão relacionadas com a presença de quinona A (QA) não reduzida, pois em seu estado oxidável esse acceptor de elétrons funciona como um supressor de fluorescência (BUKHOV *et al.*, 2004).

A queda definitiva no nível *P* indica uma perda de atividade do complexo de evolução de oxigênio em resposta ao aumento do estresse hídrico (TOIVONEN & VIDAVER, 1988).

Muitos estresses abióticos como a seca podem afetar direta ou indiretamente a atividade fotossintética no tecido foliar e dessa maneira promover alterações na cinética da fluorescência da clorofila (OUKARROUM *et al.*, 2007).

É fato que, tanto com aumento do período quanto do nível de estresse hídrico, reduções significativas no conteúdo relativo de água nas folhas são encontradas em plantas sobre tal situação de estresse. Além das funções de transporte de metabólitos, crescimento e expansão celular, a água desempenha a função de regulação de temperatura, então, sob baixo potencial de água no tecido foliar elevações na temperatura das folhas serão observadas sob condições de estresse hídrico (SHAHENSHAH & ISODA, 2010).

Assim, os efeitos danosos do estresse hídrico sobre o complexo de evolução de oxigênio pode estar relacionada com a elevação da temperatura foliar, pois quando submetidas a altas temperaturas, a capacidade de atuação do complexo de evolução de oxigênio é drasticamente afetada (STRASSER, 1997).

Quedas nas curvas da fluorescência transientes foram observadas em plantas de trigo a partir do efeito combinado de altas temperaturas com níveis de estresse hídrico severo (LU & ZANG, 1999).

Com relação aos teores de prolina acumulada em cada cultivar de cana-de-açúcar submetida aos diferentes níveis de estresse hídrico foi observado que para cultivar RB 93-509 houve maior acúmulo deste osmoprotetor no nível de água no solo de 60% da capacidade de capacidade de campo enquanto que na cultivar RB 85-5536 as maiores acumulações de prolina foram verificadas para os níveis de 60 e 40% de água no solo.

Comparando os efeitos dos diferentes níveis de estresse sob ambas cultivares foi observado ainda à ocorrência de maiores acumulações de prolina nos níveis de 100, 80 e 60% de água no solo para cultivar RB 93-509 enquanto que a cultivar RB 85-5536

apresentou maior acumulação no nível de estresse mais severo (Tabela 3).

TABELA 3. Teores de prolina livre em folhas de cultivares de cana-de-açúcar sob efeito de diferentes níveis de água no solo. São Cristóvão-SE, 2010.

Cultivar	Níveis de água no solo (% Cc)			
	100	80	60	40
Teor de prolina ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de matéria fresca)				
RB85-5536	0,43 bB	8,71 bB	59,14 aB	64,50 aA
RB93-509	27,11 bA	32,36 bA	152,23 aA	17,58 bB
C.V (%)	29,57			

Valores seguidos das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott.

O alto teor de prolina apresentado pela cultivar RB 93-509 no nível de 100% de água no solo pode estar associado ao fato de que durante o período de colheita do material foliar, este ter sido obtido das folhas mais jovens (drenos fisiológicos) dessa parcela experimental, pois, a mesma teve uma grande redução da quantidade de folha + 1 devido ao ataque de ácaro.

Os níveis de prolina livre variam consideravelmente nos diferentes órgãos vegetais, sendo a capacidade de acumulação e concentração deste aminoácido decrescente com o amadurecimento e idade da folha (SAWAZAKI *et al.*, 1981; LEHMANN *et al.*, 2010), assim, há de se esperar que em folhas mais jovens quantidades de prolina acumulada sejam maiores que os encontrados em folhas mais velhas.

Altas concentrações de prolina foram encontradas em folhas jovens de plântulas de cana-de-açúcar micropropagadas submetidas ao estresse osmótico por manitol (CHA-UM & KIRDMANEE, 2008).

A acumulação de prolina em tecidos vegetais sob estresse hídrico tem apresentado variações quantitativas quanto ao material genético testado, podendo assim, revelar uma tentativa de adaptação ao estresse.

Cultivares consideradas tolerantes, em situações de estresse hídrico, no geral tende a apresentar grande acúmulo desse osmorregulador favorecendo o ajustamento osmótico de suas células assegurando o processo fotossintético e mantendo altos índices de produção mesmo em condições estressantes quando comparadas a cultivares tidas como susceptíveis (FUMIS & PEDRAS, 2002).

Em resposta aos efeitos do déficit de água no solo os teores de prolina aumentaram de forma generalizada para diferentes cultivares de milho e sorgo. No início do estresse quando as plantas estavam no estado de plena hidratação com os potenciais hídricos foliares superiores a $-0,5$ MPa, os teores de prolina passaram de valores próximos a zero para alcançar valores de 65 e 90 mmol.gMS^{-1} respectivamente nas cultivares M27 e M30 de milho quando os potenciais hídricos se encontravam próximos de $-2,5$ MPa aos dezoito dias de estresse (PINHO & ANSEL, 1995).

Entretanto, a acumulação deste osmólito pode não concernir às plantas de imediato o ajustamento osmótico e servir apenas como um indicador de estresse.

Esse comportamento foi observado em cultivares de arroz submetido ao estresse osmótico sendo encontrados maiores acúmulos de prolina para as cultivares tidas como susceptíveis ao estresse, funcionando esse osmólito nesse sentido como um indicador de estresse e não um agente osmorregulador (CHA-UM *et al.*, 2010).

Ao analisar os aumentos encontrados na acumulação de prolina para cada cultivar testada, foi observado um crescimento linear significativo para cultivar RB 85-5536 em detrimento da diminuição dos níveis de água no solo (Figura 13).

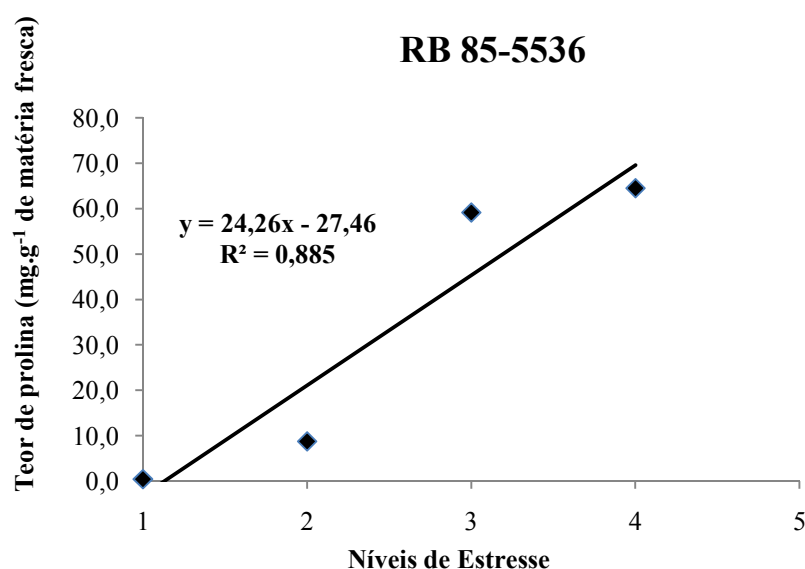


FIGURA 13. Teor de prolina acumulada nas folhas da cultivar RB 85-5536 sob efeito de diferentes níveis de estresse hídrico (1=100%Cc, 2= 80%Cc, 3=60% Cc e 4=40% Cc). UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

Esse resultado está de acordo com os encontrados para cultivar IAC 91-5155 de cana-de-açúcar, cultivar tida como tolerante ao estresse hídrico, sendo as maiores acumulações de prolina também encontrada para os níveis de estresse mais severo (QUEIROZ *et al.*, 2008).

Comportamento semelhante também foi encontrado para as cultivares RB 72-454 e SP 80-1816 sob condições de estresse hídrico as quais demonstraram crescimento linear na acumulação de prolina com a imposição da restrição hídrica (GUIMARÃES *et al.*, 2008).

Na cultivar RB 93-509 os níveis de prolina acumulada nas folhas aumentaram significativamente com a restrição de água representada pelos diferentes níveis de estresse, porém a partir do nível de 60% de água da capacidade de campo foi observada queda nos teores de prolina para o nível de estresse mais severo (Figura 14).

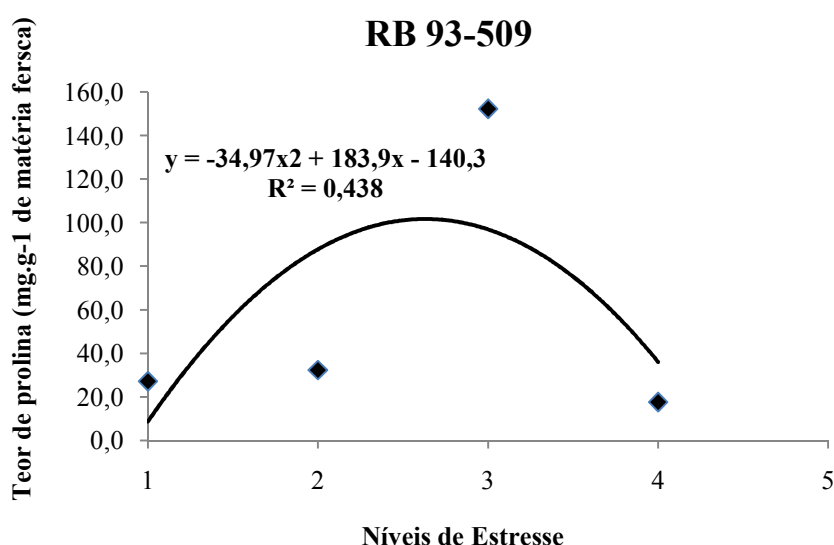


FIGURA 14. Teor de prolina acumulada nas folhas da cultivar RB 93-509 sob efeito de diferentes níveis de estresse hídrico (1=100%Cc, 2=80%Cc, 3=60% Cc e 4=40% Cc). UFS, São Cristóvão-SE, 2010.

Comportamento similar foi observado para plântulas de cana-de-açúcar aclimatizadas sob condições de seca proporcionada por diferentes concentrações de manitol durante sete dias de estresse, sendo observado um crescimento gradativo para os teores de prolina atingindo pico máximo no nível de estresse produzido pela concentração de 300 mM de manitol. Porém, uma drástica redução também foi observada para os teores de prolina imposta pelo nível de

estresse mais severo atingido na concentração de manitol de 400 mM (CHAU-UM & KIRDMANEE, 2008).

A redução observada no teor de prolina para cultivar RB 93-509 nesse nível de estresse pode estar associada à degradação desse osmorregulador pela atuação da enzima prolina oxidase.

Essa enzima é encontrada nas mitocôndrias do tecido vegetal e diferentemente da prolina desidrogenase, que utiliza o NADPH como acceptor de elétrons, se utiliza do O₂ como acceptor de elétrons para ativação de sua atividade (HUANG & CAVALIERI, 1979).

Assim, durante os períodos de estresse hídrico com os danos ocorridos no aparato fotossintético sendo reduzido ou até mesmo inibido o fluxo de elétrons entre os fotossistemas, a produção de moléculas de NADPH seria limitada inibindo a atuação prolina desidrogenase, ao passo que, com o fechamento parcial dos poros estomáticos ocorrido nessa situação, reduções nas trocas gasosas são observadas como em cultivares de arroz (CHA-UM *et al.*, 2010) promovendo um maior armazenamento de oxigênio nas células do tecido foliar favorecendo a atuação da prolina oxidase.

A atividade dessa enzima já foi observada sob níveis de estresse hídrico moderado, severo e muito severo em folhas de amoreira, sendo superior em todos os níveis de estresse a atividade da prolina desidrogenase, observando-se sob esses níveis de estresse atividade de 54,77; 47,72 e 36,05 (*nano katal.g⁻¹* de peso seco) da prolina oxidase contra atividade de 1,95; 1,78 e 0,59 (*nano katal.g⁻¹* de peso seco) da prolina desidrogenase (VEERANJANEYULU & KUMARI, 1989).

5. CONCLUSÕES

- Com o aumento do estresse severo de restrição hídrica ocorre redução total nos níveis de fluorescência da clorofila e índices de pigmentos fotossintéticos ao sétimo dia de estresse em ambas cultivares de cana-de-açúcar;

- A cultivar RB 93-509 apresenta maior sensibilidade ao estresse hídrico que a cultivar RB 85-5536.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, J. C.; CRESTE, S.; FIGUEIRA, A. Mapeamento genético da cana-de-açúcar. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, n. 36, p. 82-89, janeiro-junho, 2006.

ALMEIDA, A.C. dos S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I. BARBOSA, G.V.S.; FILHO, G.M.; JÚNIOR, R. A. F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência Agrotécnica*, v. 32, n. 5, p.1441-1448. Lavras - MG, 2008.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C. Crescimento da parte aérea da cana crua e queimada. *Scientia Agrícola*, v. 56, n. 4, p. 1069-1079. Piracicaba-SP, 1999.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queima em dois ciclos. *Scientia Agrícola*, v.57, n.4, p.653-659. Piracicaba-SP, 2000.

AMARANTE, W. Geração de empregos em Sergipe alcançou novo recorde em 2008. Disponível in: <http://www.cge.se.gov.br/modules/news/makepdf.php?storyid=1348>. Acesso em outubro de 2009.

ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICES, B. B.; LIMA, E. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim elefante anão em estresse hídrico. *Acta Scientiarum*, v. 32, n.1, p. 1-7, 2010.

ARAÚJO, S.A.C.; DEMINICIS, B.B. Fotoinibição da Fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 7, n. 4, p. 463-472. Porto Alegre, outubro-dezembro, 2009.

BACCHI, O. O. S. Ecofisiologia da Cana-de-açúcar. Instituto do Açúcar e do Alcool– Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar/PLANALSUCAR, 20 p. Piracicaba-SP, 1985.

BAKER, N. R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. *Physiology Plantarum*, v. 81, n. 4, p. 563-570, 1991.

BANDURSKA, H. Does proline accumulated in leaves of water deficit stressed barley plants confine cell membrane injury? I. Free accumulation and membrane injury index in drought and osmotically stressed plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 22, n. 4, p. 409-415, 2000.

BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 1981. 142p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

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.

BELTRANO, J.; RONCO, M.G. Improved tolerance of wheat plants to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 20, n. 1, p. 29-37, 2008.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal, FUNEP, 1988. 44p.

BERNADO, A. N. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 657 p.

BIGRAS, F.J. Photosynthetic response of white spruce families to drought stress. *New Forest*, v. 25, p. 135-148, 2005.

BNDES e CGEE (Org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.

BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO. 2008, Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2008. 31 p. Publicação mensal.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.

BORÉM, A. Hibridação Artificial de Plantas. Viçosa- MG: Ed. UFV, 1999, 546p.

BORGES, J.M.M.; ARBEX, J.G. Cana-de-açúcar e energia. *Revista Brasileira de Energia*, v. 3, n. 2, p. 1-5, Rio de Janeiro, 1994.
Disponível em: // www.sbpe.org.br/socios/download.php?id=77.
Acesso em: 19/12/2010.

BRAY, E.A. Molecular response to water stress. *Plant Physiology*, v. 103, p. 1035-1040, 1993.

BUKHOV, N.G.; EGOROVA, E.A.; GOVINDACHARY, S.; CARPENTIER, R. Changes in polyphasic chlorophyll a fluorescence induction curve upon inhibition of donor or acceptor side of photosystem II in isolated thylakoids. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1657, p.121-130, 2004.

CABISCOL, E.; TAMARIT, J.; ROS, J. Oxidative stress in bacteria and protein damage by reactive oxygen species. *International Microbiology*, v.3, p. 3 -8, 2000.

CAMEJO, D.; RODRIGUEZ, P.; MORALES, M.A.; AMICO, J.M.D.; TORRECILLAS, A. ALARCON, J.J. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *Journal of plant Physiology*, v. 162, p. 281-289, 2005.

CAPUTO, M.M.; SILVA, M.A.; BEAUCLAIR, E.G.F.; GAVA, G.J.C. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. *Interciência*, v. 32, n. 12, p. 834-840, dezembro, 2007.

CARMO, J.F.A.; MOURA, M.S.B.; SILVA, T.G.F.; CAMPOS, C.O.; BRANDÃO, E.O.; SOARES, J.M. Análise biométrica da cana-de-açúcar irrigada em relação aos graus-dia acumulados no Submédio do São Francisco. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2010. Disponível em:
http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/387_24243.pdf. Acesso em outubro de 2010.

CARVALHO, L.C.C. Cana-de-açúcar: um mundo de oportunidades. *Atualidades Agrícolas*. Publicação da Unidade Agra - BASF - S.A. p. 5-9. Abril 2004. Disponível in: http://www.agro.basf.com.br/UI/_pdf/Publicacoes/revista_abril_2004.pdf Acesso em: 25/02/09.

CARVALHO, L.M.; CASALI, V.W.D.; SOUZA, M.A.; BARBOSA, L.C.A.; CECAON, P.R. Crescimento, teor de partenólídeo e de prolina em plantas de *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip crescidas em substrato com diferentes teores de umidade. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 27, no. 1, p. 151-157, 2005.

CASAGRANDE, E.C.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P.K.; BRETON, M.C.; NEPOMUCENO, A.L. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001.

CHA-UM, S.; KIRFMANEE, C. Effect of osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth of sugarcane plantlets. *Pakistan Journal of Botany*, v. 40, n. 6, p. 2541-2552, 2008.

CHA-UM, S.; YOOYOUNGWEECH, S.; SUPAIBULWATANA, K. Water deficit stress in the reproductive stage four indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, v. 42, n. 5, p. 3387-3398, 2010.

CHEN, C.T.; CHEN, L.M.; LIN, C.C.; KAO, C.H. Regulation of proline accumulation in detached rice leaves exposed to excess copper. *Plant Science*, v. 160, p. 283-290, 2001.

CHOUDHARY, N.L.; SAIRAM, R.K.; TYAGI, A. Expression Δ^1 pyrroline-5-carboxylate synthetase gene during drought in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, v. 42, p. 366-370, December, 2005.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de tabuleiros costeiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, p. 23-28, 2000.

COMITRE, V.; CARMO, M.S. do. Produção de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar: cenário de substituição na indústria de alimentos e bebidas do estado de São Paulo. Disponível in: <http://www.sober.org.br/palestra/12/07P082.pdf>. Acesso em janeiro de 2010.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2010/2011. Primeiro levantamento. Brasília, Abril de 2010.

COSTA, C.C.; BURNQUIST, H.L.; GUILHOTO, J.J.M. Impacto de alterações nas exportações de açúcar e álcool nas regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste sobre a economia do Brasil. *Revista de Economia Rural*, v. 44, n. 4, p. 609-627. Rio de Janeiro-RJ, outubro-dezembro, 2006.

COSTA, E.S.; BRESSAN-SMITH, R.; OLIVEIRA, J.G.; CAMPOSTRINI, E.; PIMENTEL, C. Photochemical efficiency in bean plants during recovery from high temperature stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 14, n. 2, p. 105-110, 2002a.

COSTA, J.R.; PINHO, J.L.N.; PARRY, M.M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.

COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1503-1514, 2007.

COSTA, O.A.; AGUIAR NETTO, A.O.; SOUSA, I.F. de. Balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe. IN: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2002, Foz do Iguaçu-Pr, 2002b.

CUENCA, M.A.G.; MANDARINO, D.C. Mudança da atividade canavieira nos principais municípios produtores do estado de Sergipe de 1990 a 2005. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2007/doc-122.pdf. Acesso em janeiro de 2010.

D'ANGIOLELLA, G.L.B.; CASTRO NETO, M.T. de; COELHO, E.F. Balanço hídrico em solos de Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano. *Revista Bahia Agrícola*, v. 3, setembro, 1999.

DANTAS, O.V.; *O Problema Açucareiro de Sergipe*. Livraria Regina. Aracaju, 1944. 73p.

DOMBROWSKI, J.E.; MARTIN, R.C. Evaluation of reference genes for RT-PCR in *Lolium temulentum* under abiotic stress. *Plant Science*, v. 176, p. 390-396, 2009.

DUARTE, W.G.; SILVA, A.H.A.; BARBOSA, T.P.; TIBOLA, T.; CAVALCANTE, P.G.S.; PEREIRA, L.F.; GONÇALVES, E.R.; VERÍSSIMO, V.; ENDRES, L. Avaliação de crescimento em duas variedades de cana-de-açúcar em dois regimes hídricos. in: JORNADA DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFRPE, 9, 2009. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R1161-1.pdf>.> Acesso em janeiro 2010.

FALQUETO, A.R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; OLIVEIRA, A.C.; BACARIN, M.A. Características da fluorescência da clorofila em cultivares de arroz com ciclo precoce, médio e tardio. *Revista Brasileira de Biociência*, v. 5, p. 579-581. Porto Alegre-RS, julho, 2007. Suplemento 2.

FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FARIAS, C.H. de A.; NETO, J.D.; FERNANDES, P.D.; GHEIY, H.R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. *Revista Caatinga*, v. 20, n. 4, p. 45-55, outubro-dezembro, 2007.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. La caña de azucar: técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona: Blume, 1975. 433p.

FERNANDES, J. Observações sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar. *Álcool & Açúcar*, v. 5, n. 23, p. 51-57, julho-agosto, São Paulo, 1985.

FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. *Crop Science*, Madison, v.36, p.1224-1233, 1996.

FIESP. Emprego industrial no estado de São Paulo: O peso do setor sucroalcooleiro. Disponível em:
http://www.fiesp.com.br/economia/pdf/emprego_cana.pdf. Acesso em janeiro de 2010.

FONTES, A.L.; CORREIA, A.L.F.; ARAÚJO, H.M. de; COSTA, J.J. *Caracterização morfopedológica do rio Japaratuba-Mirim como subsídio ao planejamento e gestão ambiental*. IN: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, Coimbra, Portugal, maio de 2010.

FUMIS, T. de F.; PEDRAS, J.F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetido a déficits hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 4, p. 449-453, Brasília, abril, 2002.

GOES, J. *A energia que vem da cana-de-açúcar*. Disponível em:
<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2008/A%20energia%20que%20vem%20da%20cana%20de%20acucar%20ultimo.pdf>. Acesso em abril de 2011.

GOLDEMBERG, J. Biomassa & Energia. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; Energy Policy 2004, 32, 711.
IN: GOLDEMBERG, J. Biomassa & Energia. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

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 a.

GONÇALVES, E.R. Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. 2008. 79p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação) - UFAL, Alagoas, 2008.

GONÇALVES, J.F.C.; SILVA, C.E.; GUIMARÃES, D.G.; BERNARDES, R.S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila *a* de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazônica*, v. 40, n.1, p. 89-98, 2010 b.

GONÇALVES, J.F.C.; SILVA, C.E.M.; GUIMARÃES, D.G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 1, p.08-14, janeiro, 2009.

GRAÇA, J.P. Avaliação de parâmetros fisiológicos em cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico. 2009. 52p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação) - UNESP, Jaboticabal-SP, 2009.

GUIMARÃES, E.R.; MUTTON, M.A.; MUTTON, M.J.R.; TIRABOSCHI, M.I.; RAVANELI, G.C.; SILVA, J.A. Free proline accumulation in sugarcane under water stress and spittlebug infestation. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 6, p. 628-633, 2008.

HAINES, W.B. Studies in the physical properties of soil. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge, v.10, p.96-105, 1930.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 51. p. 463 – 499. 2000.

HUANG, A.H.C.; CAVALIERI, A.J. Proline oxidase and water stress-induced proline accumulation in spinach leaves. *Plant Physiology*, v. 63, p. 531-535, 1979.

IEA. Emprego formal na cana-de-açúcar. Análise e Indicadores do Agronegócio. v.4, n. 4, 2009. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=10360>. Acesso em janeiro de 2009.

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

JORNAL DA CANA. Demanda por etanol deve crescer 165% em dez anos. Dezembro, 2008.

KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2008. 431 p.

KOCHEVA, K.; LAMBREV, P.; GEORGIEV, G.; GOLTSEV, V.; KARABALIEV, V. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, v. 63, p. 121-124, 2004.

KOZIOSKI, G.V.; CIOCCA, M.L.S. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. *Ciência Rural*, v. 30, n. 4, p. 737-745. Santa Maria-RS, 2000.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual Review Plant Physiology. *Plant Molecular Biology*, v.42, p.313-349, 1991.

LEHMANN, S.; FUNCK, D.; SZABADOS, L.; RENTSCH, D. Proline metabolism and transport in plant development. *Amino Acids*, p. 1-14, 2010.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI-FILHO, W.G. Reguladores vegetais e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em meio de safra. *Ciência Agrotécnica*, v.32, n.6, p. 1843-1850. Lavras-MG, novembro, 2008.

LIMA, M.G.S.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A.; MENDES, C.R. Efeito do estresse salino na concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. *Bragantia*, v.63, n.3, p. 335-340, Campinas-SP, 2004.

LU, G.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 50, n. 336, p. 1199-1206, 1999.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, C. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, setembro. Brasília, 1982.

- 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*, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, dezembro. Brasília, 2009.
- MARTINS, R.F.A.; TEOTONIO, F.C.; OLIVEIRA, L.C.; SILVA, D.M.; FALQUETO, A.R. *Características ecofisiológicas de espécies vegetais da restinga de Guriri, São Matheus-ES*. IN: Anais do CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, setembro, 2009, São Lourenço-MG.
- MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JR., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de canas-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.
- MELO, R.O.L.; SUBRINHO, J.M.P.; FEITOSA, C.O. Indústria e desenvolvimento em Sergipe. *Revista de Economia do Nordeste*, v. 40, n. 2, p. 321-343. Abril-Junho, 2009.
- MELO, S.B.; GALON, L.; SOUZA, E.F.M.; REZENDE, M.L.; RENATO, N.S. Aquecimento global e um estudo da produtividade potencial da cana-de-açúcar para a região de São Paulo. *Revista Caatinga*, v. 20, n. 4, p. 10-17. Mossoró-RN, outubro-dezembro, 2007.
- MOLINARI, H.B.C.; MARUR, C.J.; DAROS, E.; CAMPOS, M.K.F.; CARVALHO, J.F.R.P.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E. Evaluation of the stress-induced production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, v. 130, p. 218-229, 2007.
- NETO, J.D.; FIGUEREDO, J.L.C.; FARIAS, C.H.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.283-288, 2006.
- NEVES, M.F.; CONEJERO, M.A. Sistema Agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica. *Economia Aplicada*, v. 11, n. 4, p. 587-604. São Paulo-SP, outubro-dezembro, 2007.

OLIVEIRA, L.C.; FIGEUREDO, D.D.C.; TEOTONIO, F.C.; SILVA, R.F.A.; SILVA, D.M.; FALQUETO, A.R. Fluorescência transiente da clorofila a (O-J-I-P) em orquídeas infectadas por *Planococcus citris*. IN: Anais do CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, setembro, 2009, São Lourenço-MG.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBOM, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; BESPALHOLK-FILHO, J.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; SILVA, D.K.T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 2, p. 71-76. Goiânia-GO, junho, 2007.

OLIVETTE, M.P.; NACHILUK, K.; FRANCISCO, V.L.F.S. Análise comparativa da área plantada com cana-de-açúcar frente aos principais grupos de culturas nos municípios paulistas, 1996-2008. *Informações Econômicas*, v. 40, n. 2, p. 1-18, São Paulo, fevereiro, 2010.

OUKARROUM, A.; EL MADIDI, S.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany*, v. 60, p.438–446, 2007.

PAKNEJAD, F.; NASRI, M.; MOGHADAM, H.R.T.; ZAHEDI, H.; ALAHMADI. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content na grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences*, v. 7, n. 6, p. 841-847, 2007.

PAULA, M.; PEREIRA, F.A.R.; ARIAS, E.R.A.; SCHEEREN, B.R.; SOUZA, C.C.; MATA, D.S. Fixação de carbono e emissão dos gases de efeito estufa na exploração de cana-de-açúcar. *Ciência Agrotécnica*, v. 34, n. 3, p. 633-640. Lavras-MG, maio-junho, 2010.

PIETERS, A.J.; SOUKI, S.E. Effects of drought during grain filling on PSII activity in rice. *Journal Plant Physiology*, v. 162, p. 903-911, 2005.

PIETRINI, F.; CHAUDHURI, D.; THAPLIYAL, A.P.; MASSACCI, A. Analysis of chlorophyll fluorescence transients in mandarin leaves during a photo-oxidative cold shock and recovery. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 106, p. 189-198, 2005.

PINHO, J.L.N.; ANSEL, D. Evolução do teor de prolina em cultivares de milho e sorgo em resposta ao estresse hídrico. *Ciência Agrônômica*, v. 26, n. 1/2, p. 5-9. Fortaleza-CE, 1995.

QUEIROZ, C.G.S.; GARCIA, Q.S.; FILHO, J.P.L. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após a reidratação. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 14, n. 1, p. 59-63, 2002.

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 do solo. *Científica*, v. 36, n. 2, p. 107-115. Jaboticabal-SP, 2008.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.185, p.249-258, 2000.

RAOUDHA, A.; M'BAREK, B.N.; HAMADI, B.S.; HAFEDH-JAMIL, M.; JEANNETTE, B.H. Effect of water deficit on physiological behavior of some collected Tunisian barley ecotypes. *International Journal of Botany*, v. 3, n. 3, p.283-289, 2007.

RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. *Soil Science*, New Brunswick, v.56, p.395-404. 1943.

RITCHIE, J.T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. *Plant Soil*, v. 58, p. 81-96, 1981.

SANTOS, R.B.; SILVA-MANN, R.; SANTOS, E.C.; SILVA, T.L.; GONDIM, D.C.; GONÇALVES, L.O.; SANTOS, A.C. *Censo varietal de cana-de-açúcar no Estado de Sergipe*. in: V ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, EPG, 5, 2009. São Cristóvão-SE, 2009.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfofisiológicos e fisiológicos das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 3, p.287-294. Capina Grande. PB. 1998.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1999.

SAWAZAKI, H. E.; TEIXEIRA, J. P. F.; ALMEIDA, L. D'A. Variação do teor de prolina em folhas de feijão em função da disponibilidade de água no solo. *Bragantia*, Campinas, n. 40, p. 47-56, 1981.

SHAHENSHAH; ISODA, A. Effects of water stress on leaf temperature and chlorophyll fluorescence parameters in cotton and peanut. *Plant Production Science*, v.13, n. 3, p. 269-278, 2010.

SHIKIDA, P.F.A.; SOUZA, E.C. de. Agroindústria canavieira e o crescimento local. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 47, n. 3, p. 569-600, julho-setembro, Piracicaba-SP, 2009.

SHIMADA, S.O.; CONCEIÇÃO, A.L. *Cana-de-açúcar e a lógica do capital: uma análise a partir da região da Contiguiba em Sergipe*. in: XIX ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, XIX ENGA. São Paulo-SP, 2009.

SILVA, A.H.A.; CRUZ, S.J.S.; HOLANDA, L.A.; NETO, G.S.; JÚNIOR, R.A.F.; VERÍSSIMO, V.; JÚNIOR, I.M.S.; DUARTE, W.G.; ENDRES, L.; TEODORO, I. *Índice de área foliar e produtividade de variedades de cana-de-açúcar cultivada em sistema de sequeiro e irrigada*. in: JORNADA DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFRPE, 9, 2009 (a). Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R1156-2.pdf>.> Acesso em janeiro de 2010.

SILVA, M.A.; SILVA, J.A.G. da.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. *Scientia Agrícola*, v.65, n.6, p.620-627, nov-dez, Piracicaba-SP, Brasil, 2008.

SILVA, M.M.P.; VASQUEZ, H.M.; BRESSAN-SMITH, R.; SILVA, F.C.; ERBESDOBLER, E. D'A.; JÚNIOR, P.S.C.A. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 1, p. 67-74, 2006.

SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B; ZONIER, S.; CARMO, J.F.A; BRANDÃO, E.O.; SOUZA, L.S.B. *Análise da produtividade da água da cana-de-açúcar irrigada na região semi-árida do Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16, 2009 (b) Disponível em: http://www.cpatia.embrapa.br:8080/public_eletronica/downloads/OPB2484.pdf.> Acesso em novembro de 2010.

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

SOUZA, I.F.; COSTA, O.A.; NETTO, A.O.A.; NETO, A.L.S. *Balanço hídrico nas principais bacias hidrográficas do Estado de Sergipe em 1999*. IN: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2000. Rio de Janeiro, 2000. Disponível: <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-9897725dbd7758a0a4261280f8008cc3.PDF>.

SOUZA, E.F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em campo de Goytacazes, RJ. *Engenharia Agrícola*, v.19, n.1, p.28-42, 1999.

SOUZA, Z.M.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivos de cana-de-açúcar. *Irriga*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2004a.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGÔA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A.G. Photosynthetic gas exchange in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, Paris, v. 51, n. 1, p. 45-56, 2004b.

SRIVASTAVA, A.; GUISSÉ, B.; GREPPIN, H. STRASSER, R.J. Regulation of antenna structure and electron transport in photosystem II of *Psium sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient: OKJIP. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1320, p. 95-106, 1997.

STRASSER, B.J. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll *a* fluorescence transients. *Photosynthesis Research*, v. 52, p. 147-155, 1997.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A. A., GOVINDJEE. Polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient in plants and cyanobacteria. *Photochemistry Photobiology*, v. 61, p. 32-42, 1995.

SUASSUNA, J.F.; MELO, A.S.; SOUSA, M.S.S.; COSTA, F.S.; FERNANDES, P.D.; PEREIRA, V.M.; BRITO, M.E.B. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sobre lâminas de água. *Bioscience Journal*, v.26, n.4, p. 566-571, Uberlândia-MG, julho-agosto, 2010.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: E.Atmed, 2009.819 p.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; JUNGER, M.C.; DARDENGO, D. *Fotossíntese em Eucalyptus: limitações e respostas as condições ambientais*. IN: IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, 2007.

TATAR, O.; GEVREK, M.N. Influence of water stress on proline accumulation, lipid peroxidation and water content of wheat. *Asian Journal of Plant Sciences*, p. 1-4, 2008.

TOIVONEN, P.; VIDAVER, W. Variable chlorophyll *a* fluorescence and CO₂ uptake in water stress white spruce seedlings. *Plant Physiology*, v. 86, p. 744-748, 1988.

TÓTH, S.Z. SCHANSKER, G.; GARAB, G. STRASSER, R.J. Photosynthetic electron transport activity in heat-treated barley leaves: the role of internal alternative electron donors to photosystem II. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1767, p. 295-305, 2007.
transport in plant development. *Amino Acids*, v. 39, n. 4, p. 949-962, 2010.

VAN RAIJ. B.; SILVA, N. M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CATARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. F. *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996, 285p. (Boletim técnico, 100).

VASCONCELLOS, M. J. E. de. *Pensamento sistêmico: O novo paradigma da ciência*. Campinas: Papirus, 2002.

VASCONCELOS, A.C.; GARCIA, J.C. *Cana-de-açúcar: ambientes de produção. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar*. Encarte técnico. Potafos. Informações agronômicas n. 110, 2005.

VEERANJANEYULU, K.; KUMARI, B.D.R. Proline metabolism during water stress in mulberry. *Journal of Experimental Botany*, v. 40, n. 214, p. 581-583, 1989.

WANG, H.; ZHANG, H.; LI, Z. Analysis of gene expression profile induced by water stress in upland rice (*Oryza sativa* L. var. IRAT109) seedlings using subtractive expressed sequence tags library. *Journal of integrative Plant Biology*, v. 49, n. 10, p. 1455-1463, 2007.

XUE, X.; LIU, A.; HUA, X. Proline accumulation and transcriptional regulation of proline biosynthesis and degradation in *Brassica napus*. *BMB reports*, p. 28-34, 2008.

YAMADA, M.; MORISHITA, H.; URANO, K.; SHIOZAKI, N.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K.; YOSHIBA, Y. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, v. 56, n. 417, p. 1975-1981, july, 2005.

YOSHIBA, Y.; KIYOSUE, T.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant Cell Physiology*, v. 38, n. 10, p. 1095-1102, 1997.

7. ANEXOS

ANEXO 1	Quadro resumo da Análise de Variância para o parâmetro teor de prolina. UFS, São Cristóvão-SE, 2011.	Pág. 88
---------	--	------------

ANEXO 1

Quadro resumo da Análise de Variância para o parâmetro teor de prolina.
UFS, São Cristóvão-SE, 2011.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Cultivar	1	4655,039438	4655,039438	25999	0,0000
Nível de água	3	42169,42104	14056,473679	78,508	0,0000
Cultivar*Nível de água	3	19620,52475	6540,174916	36,528	0,0000
Bloco	3	226,659594	75,553198	0,422	0,7392
Erro	21	3759,934902	179,044519		
Total corrigido	31	70431,57972			
CV (%) =	29,57				
Média geral:	45,2583438	Números de observações:			32