



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS**

**INDICADORES RESPOSTA À DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

**NATÁLIA MARTINS DA SILVA**

**2014**

**NATÁLIA MARTINS DA SILVA**

**INDICADORES RESPOSTA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA  
EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

**Orientador**  
**Prof. Dr. Carlos Eduardo Corsato**

**JANAÚBA**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**  
**2014**

Silva, Natália Martins da

S586i      Indicadores resposta à deficiência hídrica em cana-de-açúcar  
[manuscrito] / Natália Martins da Silva. – 2014.  
41 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes  
Claros – Janaúba, 2014.

Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Eduardo Corsato.

1. Cana-de-açúcar. 2. Deficiência hídrica. 3. Regiões  
semiáridas. I. Corsato, Carlos Eduardo. II. Universidade Estadual  
de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.61

Catálogo: Biblioteca Setorial Campus de Janaúba

**NATÁLIA MARTINS DA SILVA**

**INDICADORES RESPOSTA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**APROVADA em 08 de agosto de 2014**

Prof. Dr. Carlos Eduardo Corsato  
(Orientador)

Pesq. Dra. Polyanna Mara de Oliveira  
(URENM- EPAMIG)

Prof. Dr. Ignacio Aspiazú  
(DCA- UNIMONTES)

Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos  
(DCA- UNIMONTES)

**JANAÚBA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014**

*À minha família.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

**INFINITAMENTE** a Deus por ter me dado uma segunda oportunidade de vida e por ter me erguido nos momentos em que mais precisei para dar continuidade à concretização deste sonho.

Ao meu pai, Antônio, e ao meu irmão, Júnior, pela presença constante.

À minha mãe, Edite, pela proteção e por nunca ter me abandonado, TE AMO e obrigada por tudo.

À minha irmã e anjo da guarda, FABIANA, que sempre me segurou firme em todos os momentos de minha vida, incentivando e torcendo para que tudo tivesse um final feliz. Obrigada, Fá, por todo esse amor.

À grande amiga GISELE POLETE MIZOBUTSI que sempre acreditou que eu sim venceria essa batalha, obrigada pelo abraço amigo e pelas orações.

A Todos os professores da UNIMONTES campus de Janaúba, que acompanharam de perto a minha trajetória no curso de mestrado me dando apoio gratuito a todas às minhas necessidades.

Os agradecimentos especiais são para pessoas especiais: Izabel, Gyza, Cristina, Fernandinha e a Gabriel, pela amizade, por toda a paciência e por estarem sempre comigo.

Um muito obrigada especial ao meu segundo anjinho da guarda, NAYARA NORRENE, que sempre me deu força nos diversos momentos de fraquezas, fazendo com que as horas mais difíceis se tornassem mais leves, melhores e suportáveis.

Aos amigos do laboratório de fisiologia vegetal, Ellen Vanelly, Daniel Júnior e Darlan, pelo excelente convívio e auxílio durante a execução deste trabalho.

Ao meu amigo Maurício Fróis, companheiro de trabalho intenso. Muito obrigada por ter me acompanhado em todo o experimento e ter sido meus braços e pernas quando não tinha mais forças para prosseguir. OBRIGADA, FRÓIS...

À UNIMONTES - Universidade Estadual de Montes Claros, pela oportunidade de cursar o mestrado em Produção vegetal.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Banco do Nordeste, pelo financiamento do projeto.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
2.1 Origem e fisiologia da cana-de-açúcar .....	4
2.2. Estratégias de convívio com a deficiência hídrica .....	4
2.3 Indicadores de resposta de plantas à deficiência hídrica.....	6
2.4 Caracterização das variedades .....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
5 CONCLUSÕES .....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Temperaturas do ar e precipitação, desde o início até o final das avaliações, em plantas de cana-de-açúcar para os ciclos de 2012 e 2013. Janaúba-MG..... 22
- FIGURA 2:** Umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) em vasos cultivados com três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ). Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 23
- FIGURA 3.** Porcentagem de água em discos foliares de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos com ( $n = 7$ ). Barras verticais indicando o erro padrão (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 24
- FIGURA 4:** Taxa fotossintética (A) de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ). barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica). . 26
- FIGURA 5:** Transpiração (Tr) em três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ). (Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 27
- FIGURA 6.** Condutância estomática em três variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ). Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica). ..... 28
- FIGURA 7.** Fluorescência da clorofila em três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ) Barras

verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 30

**FIGURA 8.** Índice SPAD de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7). Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 31

**FIGURA 9.** Numero de perfilhos em três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos com n = 7 – barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 32

**FIGURA 10.** Altura de plantas de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7) Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica)..... 33

**FIGURA 11.** Diâmetro de colmo de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7) Barras verticais indicando o erro padrão (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).. 34

## RESUMO

SILVA, Natália Martins da. **Indicadores resposta à deficiência hídrica em cana-de-açúcar**. 2014. 41 p. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba- MG<sup>1</sup>

A restrição hídrica destaca-se como um problema que afeta uma grande proporção de áreas cultivadas no mundo, especialmente aquelas localizadas em regiões semiáridas. O objetivo do trabalho consistiu em identificar a resposta de variedades de cana-de-açúcar ao déficit hídrico avaliando-se as trocas gasosas e crescimento em dois ciclos consecutivos durante a fase vegetativa de seu desenvolvimento. Para tanto, as plantas foram cultivadas em campo na Universidade Estadual de Montes Claros – campus Janaúba – MG. Foram utilizadas três variedades de cana-de-açúcar (SP70-1011, SP80-1842 e a RB86-7515) sob dois regimes hídricos: conforto hídrico de 80 - 100% da capacidade de campo e restrição hídrica de 40 - 60% da capacidade de campo. A resposta das plantas foi analisada a partir das seguintes variáveis: índice SPAD, altura de plantas, número de perfilhos, diâmetro de plantas e as trocas gasosas (fotossíntese, transpiração e condutância estomática), porcentagem de água na folha, fluorescência da clorofila. Os indicadores fisiológicos foram mais sensíveis à variação de umidade de água no solo. O déficit hídrico em 2013 foi menos severo que em 2012 não sendo capaz de causar estresse nas plantas. A variedade RB86 –7515 respondeu com uma menor sensibilidade ao déficit hídrico para a maioria dos parâmetros estudados e a variedade SP80-1842 maior sensibilidade. Os indicadores respostas utilizados foram eficientes para mostrar o comportamento da cana-de-açúcar quanto ao déficit hídrico.

**Palavras-chave:** Norte de Minas Gerais; *Sacharium sp*; Semiárido.

---

<sup>1</sup> Comitê de Orientação: Prof Carlos Eduardo Corsato - DCA/UNIMONTES (Orientador); Pesq Polyanna Mara de Oliveira - URENM/EPAMIG; Prof Ignacio Aspiazú - DCA/UNIMONTES; Prof Silvânio Rodrigues dos Santos - DCA/UNIMONTES

## ABSTRACT

SILVA, Natália Martins da. **Indicators response to water deficit in sugar cane** 2014. 41 p. Dissertation (Master's degree in Plant Production in the Semi-arid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.<sup>1</sup>

Water restriction is highlighted as a problem that affects a large proportion of areas cultivated in the world, especially those located in semi-arid regions. This work aimed to identify the response of varieties of sugar cane to water deficit evaluating gas exchange and growth in two consecutive cycles during the vegetative phase of its development. Thus, the plants were grown on the field at the State University of Montes Claros - campus Janaúba-MG. We used three varieties of sugar cane (SP70-1011, SP80-1842 and RB86-7515) under two water regimes: 80-100% of field capacity and water restriction from 40 to 60% of the field capacity. Plant response was analyzed from the following variables: SPAD index, plant height, number of tillers, plant diameter and gas exchange (photosynthesis, transpiration and stomatal conductance), percentage of leaf water, chlorophyll fluorescence. Physiological indicators were more sensitive to variation of soil water moisture. The water deficit in 2013 was less severe than in 2012 not being able to cause stress in plants. The RB86-7515 variety showed lower sensitivity to water deficit for most of the parameters studied and the SP80-1842 variety showed the highest one. The used responses indicators were effective to show the behavior of sugar cane as for water deficit.

**Keywords:** North of Minas Gerais; *Sacharium sp*; Semi-arid.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Carlos Eduardo Corsato – SAD/UNIMONTES (Adviser); Polyanna Mara de Oliveira – URENM/EPAMIG; Ignacio Aspiazú - SAD/UNIMONTES; Silvânio Rodrigues dos Santos – SAD/UNIMONTES

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o interesse mundial pela cultura da cana-de-açúcar é crescente, pois vem se destacando como uma das melhores fontes energéticas renováveis para a produção de energia elétrica (bagaço), combustível (álcool hidratado), medicamento (álcool medicinal), alimento (açúcar) e produção de polímeros. Assim, se justifica sua grande importância no cenário mundial, cujas perspectivas são extremamente favoráveis tanto a médio quanto para longo prazo. O aumento na demanda por biocombustíveis (etanol) produzido a partir da cana-de-açúcar tem exigido a ampliação de novas áreas de cultivo, o que possibilita um aumento na geração de emprego e renda da população. Para que o Brasil possa atender tanto às demandas nacionais quanto às internacionais, esse precisará dobrar sua produção de etanol, exigindo, deste modo, a construção de novas usinas, melhoria do manejo da cultura e, principalmente, o aumento da produtividade.

A grande variabilidade de clima, solo e pluviosidade que se encontra no Brasil tem interferido no desempenho da cana-de-açúcar, limitando sua produção e expansão em determinadas regiões de cultivo caso do Norte de Minas Gerais, onde se tem visto a ocorrência de inúmeras variações climáticas como precipitações inferiores às necessárias para o eficiente desenvolvimento da cultura. Essa região tem apresentado distribuições pluviométricas irregulares praticamente durante todo o ano, provocando longos períodos de déficit hídrico, gerando severos estresses às plantas cultivadas.

Diante dessas limitações ambientais, como no estresse por restrição hídrica, processos fisiológicos como a fotossíntese apresentam suas taxas reduzidas, o que tende a provocar reduções na produção, 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.

Dentre os diversos fatores ambientais que limitam a produção da cana-de-açúcar a falta de água se destaca como a mais importante. Para Machado *et al.* (2009), a restrição hídrica é caracterizada como uma das principais causas de perda do rendimento agrícola, sendo responsabilizada por reduções de até 35 % na produção da fitomassa da cana-de-açúcar, exercendo efeitos variados sobre as plantas, dependendo do estágio fenológico de seu desenvolvimento, do nível e duração da deficiência hídrica, bem como do material genético vegetal utilizado.

Devido à ocorrência de grande irregularidade das chuvas, produtores de cana-de-açúcar necessitam utilizar os recursos da irrigação para produzir e atingir a produtividade potencial, e pelo fato de a água ser um recurso muito limitado, sua utilização gera altos custos à produção, caso não seja manejada adequadamente. Diante disso, o estudo da resposta de genótipos de cana-de-açúcar à deficiência hídrica se torna fundamental, em áreas onde o abastecimento de água ainda é bastante reduzido, sendo uma alternativa útil para dimensionar a dependência de água em diferentes variedades, além de auxiliar em programas de melhoramento da cultura (SILVA *et al.*, 2009).

Para Ramesh (2000), a fase de formação da cana-de-açúcar (perfilhamento + grande crescimento) corresponde ao período crítico pela demanda de água, sendo os danos causados pela deficiência hídrica nessa época os mais prejudiciais à produção. Ainda segundo esse autor, experimentos de avaliação de genótipos em resposta à restrição de água nos programas de melhoramento, sob essas condições, deveriam ser assim conduzidos.

Diante disso, os programas de melhoramento genético vêm adotando como estratégia para selecionar materiais adaptados às condições de deficiência hídrica, ferramentas fisiológicas como as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila, além de componentes fitotécnicos e parâmetros agrônômicos que

possam contribuir para a seleção de materiais promissores nos primeiros estádios de desenvolvimento das culturas.

Assim, o trabalho teve como objetivo conhecer a resposta de variedades de cana-de-açúcar ao deficit hídrico, avaliando-se as trocas gasosas e crescimento em dois ciclos consecutivos durante a fase vegetativa do seu desenvolvimento.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Origem e fisiologia 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, é de ciclo semiperene e elevada rusticidade. Apresenta o metabolismo fotossintético C4, representado por uma alta eficiência no processo de assimilação de carbono (GRACA, 2009).

A cana-de-açúcar possui quatro estádios distintos de crescimento, os quais podem ser caracterizados como: germinação, perfilhamento, grande crescimento e maturação. As fases de perfilhamento juntamente com a de grande crescimento, também conhecidas como fase de formação, têm sido identificadas como um dos períodos mais críticos pela demanda de água (RAMESH 2000). É nesse período que os danos causados pela deficiência hídrica são mais prejudiciais à produção, e que experimentos de avaliação de genótipos em programas de melhoramento, sob tais condições deveriam ser conduzidos, utilizando-se mecanismos apropriados, rápidos e eficientes.

### **2.2. Estratégias de convívio com a deficiência hídrica**

Uma planta pode estar submetida a vários tipos de estresses ambientais. Quando se trata de disponibilidade hídrica, essa pode sofrer injúrias tanto pelo excesso quanto pela falta de água, mas como o estresse causado pela deficiência é mais comum na natureza, esse termo tem sido abreviado para estresse hídrico ou deficit hídrico (ANGELOCCI, 2002).

O termo estresse hídrico geralmente é definido como um fator externo, que geralmente exerce uma influência desvantajosa sobre a planta, é um

conceito que está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ & ZEIGER, 2009). O estresse tende a causar desvios significativos das condições ótimas para a vida, induzindo a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanente (LARCHER, 2006).

Logo, deficiência hídrica pode ser encarada como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ & ZEIGER, 2004). A deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que causa maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, acarretando reduções na produtividade (PIMENTEL, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004).

A depender da fase de desenvolvimento fenológico em que se encontra o vegetal, o deficit hídrico pode ter maior ou menor impacto sobre a produtividade agrícola das culturas (RAMESH, 2000). Para Kelling (1995), a diminuição do teor de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis.

A extensão dos efeitos da deficiência hídrica nas espécies vegetais depende da sua intensidade, duração e da capacidade genética das plantas em responder àquelas mudanças do ambiente (CHAVES, 1991; SANTOS & CARLESSO, 1998).

Segundo O'Neill *et al.* (2006), técnicas que avaliem efeitos morfológicos e fisiológicos indiretos e rápidos podem ser bem efetivas para diferenciar genótipos tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica. Identificar ferramentas adequadas de seleção e características quantificáveis pode facilitar o processo de melhoramento da cultura para tolerância à escassez de água.

Para Santos & Carlesso (1998), uma planta pode apresentar quatro formas distintas de resistência ao estresse hídrico: limitando o seu crescimento,

sofrendo adaptações morfológicas, fisiológicas ou submetendo a alterações metabólicas durante o seu desenvolvimento. A deficiência hídrica durante a fase inicial tende a afetar o rendimento da cana porque reduz o tamanho das plantas de um modo geral, entre algumas outras variáveis como: a produção do número de perfilhos, altura e diâmetro de colmos industrializáveis (GONÇALVES, 2008).

### **2.3 Indicadores de resposta de plantas à deficiência hídrica**

O crescimento celular é considerado o processo mais sensível à baixa disponibilidade de água no solo, sendo o processo de divisão e expansão celular diretamente inibido pelo estresse hídrico (ZHU, 2001; SAUSEN, 2007). Essa sensibilidade deve-se ao impacto da falta de água sobre a taxa de expansão das células, devido à perda de turgor (TAIZ & ZEIGER, 2009; SAUSEN, 2007).

Para Silva *et al.* (2009), a variação na altura da planta é um importante indicativo de tolerância ou susceptibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica. A presença de um baixo teor de umidade nos tecidos pode reduzir pela metade o comprimento de alguns entrenós, mas que, se houver disponibilidade de água novamente, essa perda pode ser recompensada pelo maior comprimento dos entrenós seguintes (CASTRO & KLUGE, 2001). Esta característica morfológica observada com o período de estiagem é o “encarretelamento” dos colmos, ou seja, a formação de nós e entrenós muito curtos e próximos entre si, diminuindo o volume do parênquima para armazenamento de sacarose (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O interesse é grande entre os pesquisadores de conhecer as dimensões do aparato foliar de uma determinada planta, o qual tende a possibilitar um estudo mais aprofundado de análise do crescimento, nutrição mineral ou mesmo fenologia de muitas plantas, uma vez que as folhas são os órgãos responsáveis

por cerca de 90 % da massa seca acumulada nas plantas, resultante da sua atividade fotossintética (HERMANN & CÂMARA, 1999).

De acordo com Inman-Bamber (2004), com temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico a planta tende a sofrer efeitos negativos no crescimento de sua parte aérea, sobretudo na produção de folhas, o que acelera o processo de senescência foliar. Nesse mesmo sentido, Oliveira *et al.* (2007) descrevem que em condições de estresses ambientais, genótipos sensíveis seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa foliar.

Quando as plantas são submetidas a condições de deficit hídrico, elas apresentam alterações que podem prevenir ou tolerar a perda de água. Nestas alterações, o sistema radicular trata-se da primeira região da planta a detectar e sinalizar as demais células, tecidos e órgãos os efeitos do estresse. A emissão de sinais químicos pelas raízes é responsável por modificações no comportamento estomático durante o deficit hídrico (GRACA, 2009).

À medida que a disponibilidade de água do solo decresce, as plantas comumente vão reduzindo a perda de água por meio do fechamento parcial de seus estômatos evitando assim a redução do potencial da água na planta (TAIZ & ZEIGER, 2004).

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

Dentre os diversos processos fisiológicos, a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância estomática, disponibilidade de água e nutrientes (TAIZ & ZAIGER, 2004) podem ser utilizados como meios eficientes para se conhecer a relação, ou melhor, compreender as interações desses parâmetros a fatores ambientais, em particular o estado hídrico da planta, de modo a relacioná-los à eficiência do seu crescimento e à habilidade de adaptação de

espécies ou variedades no ambiente aos quais estão inseridas (QUINONES *et al.*, 2005).

Larcher (2006) destaca que aqueles processos fisiológicos que ocorrem em nível de folhas são bem variados e estão relacionados com a captura do gás carbônico (fotossíntese), e a perda de água pela planta (transpiração). Ao se tentar estudar a fisiologia das plantas, além de se obter um conhecimento da física do ambiente, é possível conseguir informações sob a produtividade potencial e efeitos do clima sobre o crescimento das plantas (por exemplo em períodos de seca), permitindo entender os mecanismos das práticas culturais adequadas de cultivo. Além disso, possibilita recomendações de cultivares para cada região, cujas características climáticas são diferenciadas.

Toda a base da produção agrícola está voltada para a conversão da energia em fotoassimilados através da fotossíntese, que se destaca como sendo um processo vital em que as plantas transformam a energia solar em energia química. Os organismos fotossintetizantes utilizam a energia solar para a síntese de carboidratos a partir de CO<sub>2</sub> e água, com a liberação de oxigênio. A energia armazenada nessas moléculas pode ser utilizada mais tarde para impulsionar processos celulares na planta e servir como fonte de energia para todas as formas de vida (respiração) (TAIZ & ZEIGER, 2009).

O processo fotossintético das plantas vem se destacando como 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. Para Camejo *et al.* (2005), tal processo é conhecido por ser um dos processos fisiológicos dos vegetais mais sensível ao calor e mais afetado pela seca, podendo ser completamente inibido por altas temperaturas antes mesmo que outros sintomas fisiológicos se manifestem. Diante disso, as trocas gasosas atuam no balanço energético das folhas, participando da regulação de sua

temperatura, de maneira a deixá-la dentro da faixa de valores adequados aos processos fisiológicos das plantas e de adaptação destas ao ambiente.

O controle da transpiração é realizado pelo fechamento estomático, que se destaca como único processo contínuo solo-planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea. Quando a abertura estomática é reduzida, o fluxo de vapor d'água diminui proporcionalmente em maior grau do que a diminuição do fluxo de absorção de CO<sub>2</sub>. Num caso extremo, em que as perdas por transpiração podem afetar, irreversivelmente, o crescimento ou a sobrevivência da planta, os estômatos tendem a fechar completamente, limitando o suprimento de CO<sub>2</sub> (PIMENTEL, 1998).

A redução na assimilação de CO<sub>2</sub> ocorre devido à diminuição da condutância estomática, afetando a fotossíntese devido à restrição ao fluxo de CO<sub>2</sub>, resultando em efeitos prejudiciais diretamente sobre o aparelho fotossintético, enquanto que as taxas respiratórias praticamente não são afetadas (SASSAKI & MACHADO, 1999).

Shalhevet (1983) relata que, com a disponibilidade de água reduzida no solo, ocorre a queda no potencial de água nas folhas das plantas, ocasionando a perda da turgescência e redução da condutância estomática. Segundo Taiz & Zeiger (2004), a redução da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> durante o estresse hídrico se deve a uma redução na disponibilidade de CO<sub>2</sub> no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo.

A condutância estomática tende a decair rapidamente sob queda rápida da umidade do solo, pois a abertura estomática responde mais rapidamente à variação do conteúdo de água no solo do que no potencial da água da folha (SASSAKI & MACHADO, 1999). Para Gonçalves (2008), a influência direta da disponibilidade de água na fotossíntese se dá principalmente através do impacto sobre a abertura estomática. O controle estomático da condutância foliar é um

dos mecanismos pelo qual as plantas reduzem suas perdas de água e na maioria das vezes indica uma condição de deficiência hídrica.

Sobre condições de deficiência hídrica também pode ser comumente observada a redução de pigmentos nas folhas, o que faz com que o ciclo de vida da planta seja praticamente alterado. Dentre os pigmentos fotossintéticos, as clorofilas (a e b) e os carotenoides são pigmentos mais abundantes existentes no planeta e que se encontram localizados nos cloroplastos, organela responsável pela realização da fotossíntese, a qual apresenta duas reações extremamente importantes: a etapa fotoquímica, nas membranas dos tilacoides e a etapa bioquímica, no estroma do cloroplasto. Por serem constituídas de estrutura química bastante instável, as clorofilas são facilmente degradadas, resultando em produtos de decomposição que modificam a percepção e qualidade dos vegetais (GONÇALVES, 2008).

Desse modo, existem alguns métodos que quantificam ou estimam tais pigmentos, os quais também podem se tornar importantes ferramentas para seleção de genótipos tolerantes à seca. Vários métodos destrutivos são citados na literatura como sendo relativamente eficientes. No entanto, o medidor portátil de clorofila SPAD-502, o qual permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la, torna-se um método apropriado a ser utilizado devido a sua simplicidade e rapidez (ARGENTA *et al.*, 2001).

O'Neil *et al.* (2006) e Silva *et al.* (2009), trabalhando com milho e cana-de-açúcar, respectivamente, mostram que os métodos indiretos de medir atividade fotossintética e a integridade do fotossistema II, que podem ser avaliadas através de medidas de emissão de fluorescência, podem ser tão eficazes quanto as técnicas de avaliação de trocas gasosas. Ainda na membrana dos tilacoides nos cloroplastos estão presentes os fotossistemas I e II que são aqueles responsáveis pela captação e conversão da energia luminosa do sol (fótons) em energia química (ATP e NADPH) sendo que através desse processo

a água se torna tão fundamental para o fotossistema II. O fotossistema II é formado por um complexo proteico que junto à molécula de clorofila P680 (centro de reação) possui um forte agente redutor que tende a oxidar a molécula de água em elétrons, prótons e oxigênio (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Diante disso, o fotossistema II também se torna completamente dependente da água para a geração de energia química, requerida posteriormente para a fixação de CO<sub>2</sub>, e as variações na disponibilidade hídrica geram menor eficiência desse fotossistema, ou seja, com recurso de água limitado ocorre uma menor produção de ATP e NADPH e, como consequência, menos CO<sub>2</sub> é fixado (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O rendimento quântico do fotossistema II (PSII) é obtido a partir da fluorescência da clorofila *a*, da qual pode se estimar a integridade do PSII de uma determinada folha, pois revela o nível energético de excitação dos pigmentos que dirigem a fotossíntese. Esse nível depende do balanço entre irradiação e da soma das taxas de fotossíntese e dissipação térmica (SCHOLLES & HORTON, 1993).

Quando se estuda fluorescência, um ponto importante que deve ser levado em consideração é a radiação solar incidente sobre as folhas que, quase na sua totalidade, não é utilizada nos processos fotoquímicos. Nesta radiação pode-se ter perdas de várias formas, uma parte delas é refletida e outra porção é transmitida, ou seja, atravessa a folha sem ser absorvida, enquanto que uma terceira fração da radiação é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes. No entanto, nem todos esses fótons absorvidos pelos pigmentos (clorofilas e carotenoides) são utilizados nos processos fotoquímicos (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Para tanto, as principais variáveis observadas nas medições da fluorescência da clorofila *a* são a fluorescência inicial, basal ou mínima (*F<sub>0</sub>*) que é a fluorescência quando todos os centros de reação estão abertos; fluorescência

máxima ( $F_m$ ) é a fluorescência quando todos os centros de reação estão fechados; fluorescência variável ( $F_v$ ) é determinada pelo estado do centro de reação (aberto ou fechado), e é definida como diferença entre  $F_m$  e  $F_0$ , ou seja,  $F_v = F_m - F_0$  e o rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) é calculado como:  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$  (MAXWELL & JOHNSON, 2000).

Plantas que estão sob condições de estresse, a menor eficiência fotossintética podem se justificadas por algumas causas como: a) menor dissipação de energia por meio do transporte de elétrons, ocasionando um declínio na eficiência quântica potencial do PSII, indicada pela menor razões  $F_v/F_m$ ;; b) início dos processos de fotoinibição quando a capacidade de fotoproteção é excedida, sendo indicado pelo declínio na relação  $F_v/F_m$ , acompanhado pelo aumento de  $F_0$ , devido à redução excessiva da cadeia de transporte de elétrons (CHAGAS, 2007).

Dessa forma, a habilidade em manter elevadas razões de  $F_v/F_m$  sob estresse hídrico pode ser um indicativo de eficiência no uso da radiação pela fotoquímica e pela assimilação de carbono, assim como a resposta relativamente rápida de  $F_v/F_m$  ao estresse hídrico moderado pode ser um traço importante para seleção de germoplasmas de cana-de-açúcar tolerantes à seca (SILVA *et al.*, 2009; GRACA, 2009), pois pode ser indicativo de fotoinibição associada a danos no PSII (MAXWELL & JONHSON, 2000).

Cairo (1995) destaca que, quando se estuda estresse hídrico, a porcentagem de água na folha é considerada essencial quando se deseja obter uma avaliação confiável do status hídrico de um vegetal. É definida pelo mesmo autor como sendo a quantidade de água de um tecido comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter em um dado momento. O controle das funções fisiológicas está diretamente relacionado com o conteúdo hídrico da planta e alterações na porcentagem de água afetam diretamente todo o aparato fotossintético.

As respostas dos materiais vegetais ao deficit hídrico são consideravelmente variáveis entre genótipos, e alguns podem tolerar mais efetivamente as situações de deficit do que outros (TAIZ & ZEIGER, 2004). A comparação de genótipos em seus diferentes níveis de tolerância ao deficit hídrico tem sido utilizada para identificar mecanismos de adaptação a essa condição (RAMPINO *et al.*, 2006).

Segundo Câmara (1993), quando se fala em processo produtivo canavieiro, três requisitos básicos devem ser considerados: a) Produtividade: isto é alta produção de fitomassa por unidade de área, ou seja, elevado rendimento agrícola através dos colmos industrializáveis. b) Qualidade: riqueza em açúcar dos colmos industrializáveis, caracterizando matéria-prima de qualidade. E que quando associada à produtividade, reflete na produção por unidade de área. c) Longevidade do canavial: quando se visa aumentar o número de cortes econômicos, refletindo num prazo maior de tempo entre as reformas do canavial.

Diante disso, a escolha da variedade da cana-de-açúcar torna-se crucial quando se deseja atingir esses três objetivos básicos. Para Silveira *et al.* (2002), a escolha da variedade assume um papel decisivo na produtividade da cultura e, conseqüentemente, possibilita produzir cana-de-açúcar de qualidade e com menor custo, tornando, assim, essencial para o sucesso da lavoura.

#### **2.4 Caracterização das variedades**

Aquelas variedades que apresentam a sigla RB (República do Brasil) são produzidas pelo setor sucroalcooleiro (RIDESA), formada por universidades federais – ministério da educação e que foi criada com a finalidade de incorporar as atividades do extinto PLANALSUCAR e dar continuidade ao desenvolvimento de pesquisas visando à melhoria da produtividade do setor, assim também como centro de tecnologia canavieira (CTC), com sede em

Piracicaba (SP), hoje continua o trabalho da Coopersucar, detentora das variedades com a sigla SP ( CTC, 2012).

Em muitas regiões do Norte de Minas Gerais ainda predominam algumas variedades antigas de cana, devido à presença de alambiques e demanda de material verde para alimentação de animais durante a seca. Estas variedades normalmente apresentam uma série de desvantagens sob o aspecto produtivo em relação àquelas variedades modernas tais como: maturação tardia, baixo teor de sólidos solúveis, alto teor de fibras, florecimento (SILVEIRA *et al.*, 2002).

Para Fernandes (2005), o produtor norte-mineiro, muitas vezes, por suas características culturais, resiste à entrada de novas variedades de cana-de-açúcar bem como à adoção de novas tecnologias de cultivo as quais poderiam gerar maior lucratividade sem aumento de despesas.

Em trabalhos recentes, Fernandes (2005) citou algumas variedades melhoradas de bons redimentos agrônômicos para região norte-mineira. Dentre elas SP80-1842; SP79-1011, em substituição a variedades tradicionais de baixas produtividades.

A variedade SP 79-1011 apresenta exigência média em fertilidade do solo, possui maturação média, bom rendimento de transporte, é boa para colheita mecânica, não possui restrição quanto à brotação da soca e é excelente para brotação em palhada, possui fraco fechamento de entrelinhas, não floresce e possui tolerância à seca. A variedade SP 80-1842 é exigente em fertilidade do solo, possui maturação precoce, apresenta péssimo rendimento de transporte, não demonstra restrição para a brotação da soca e possui excelente brotação com palhada, possui fraco fechamento de entrelinhas, sensibilidade a herbicidas e nematoides, floresce regularmente e possui tolerância à seca. A variedade RB 86-7515 não é exigente quanto à fertilidade do solo, apresenta maturação tardia, bom rendimento de transporte, é boa para colheita mecânica, possui boa brotação da soca e excelente brotação com palhada, fechamento de entrelinhas

regular, apresenta raro florescimento, excelente resposta a maturadores e possui tolerância à seca (MARIN, 2007).

Para que a produção agrícola seja eficiente, é imprescindível a participação de vários fatores ambientais como: água, nutrientes e luz, sendo a água o fator de maior limitação para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e, portanto, o conhecimento das necessidades hídricas das plantas se torna essencial, principalmente durante a fase de maior exigência desse recurso, o seu desenvolvimento da fase vegetativa, de modo a garantir sucesso durante todo o cultivo (PAIVA *et al.*, 2005).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), no município de Janaúba-MG, a 15°49'54.91'' de Latitude Sul e 43°16'18.45'' de Longitude Oeste, com uma altitude de 540 m. O clima é caracterizado como tropical com inverno seco, do tipo Aw segundo a classificação estabelecida por Koppen.

Vasos com capacidade para 0,1 m<sup>3</sup>, cujo volume útil foi 0,092 m<sup>3</sup> foram preenchidos com Latossolo Vermelho destorroado, dispostos em um viveiro de telado antiafídico com teto vasado. A fertilização do solo foi realizada de acordo com uma análise química completa do solo conforme as recomendações estabelecidas por (KORNDÖRFER *et al.*, 1999).

Antes do plantio das mudas nos vasos, toletes contendo uma única gema foram plantados em canteiros de areia, externamente ao viveiro, de modo a garantir a uniformidade da brotação, e, somente aos 20 dias após a brotação, três mudas foram transplantadas em cada vaso. As mudas utilizadas no estudo foram obtidas de um plantio experimental localizado na Fazenda Experimental da UNIMONTES, com variedades selecionadas de acordo com suas características e interesse de serem cultivadas pelos próprios produtores de cana-de-açúcar da região.

Foram utilizadas três variedades de cana-de-açúcar (SP 79-1011 e SP 80-1842, RB 86-7515) sobre dois regimes hídricos: conforto hídrico (80 a 100 % da umidade na capacidade de vaso) e restrição hídrica severa (40 a 60 % da umidade da capacidade de vaso).

Durante o início dos ciclos de desenvolvimento da cana-de-açúcar, o solo dos vasos foi mantido dentro da umidade da capacidade de vaso durante a fase de brotação e estabelecimento das plantas. Assim que as plantas iniciaram a

fase de perfilhamento, os diferentes regimes hídricos foram implantados. Já para o segundo ciclo, assim que as plantas do primeiro ciclo foram colhidas, foi aguardada a fase de brotação, estabelecimento e início de uma segunda fase de perfilhamento das plantas para então proceder à aplicação novamente dos regimes hídricos e, portanto, início das avaliações, que foram sete para cada ciclo. O primeiro ciclo de cultivo da cana-de-açúcar se deu no período compreendido entre 26 de abril e 07 de junho de 2012, e o segundo entre 19 de agosto e 25 de setembro de 2013.

A umidade na capacidade de vaso foi determinada pelo seguinte procedimento: amostras de um litro de solo foram coletadas aleatoriamente nos vasos, saturadas três vezes, e, depois que o excesso de água foi drenado, três subamostras foram coletadas, colocadas em recipientes previamente pesados, pesadas em balança analítica, levadas à estufa por 48 horas a 105 °C e novamente pesadas. A partir da umidade com base em peso e da massa específica do solo sobre a massa específica da água ( $1,0\text{g cm}^{-3}$ ) foi obtida a umidade com base em volume igual a  $0,4205\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ .

A irrigação foi variável em função da necessidade de correção hídrica para manter os regimes dentro de suas respectivas amplitudes (8 a 16 kPa para o conforto hídrico e 31 a 199 kPa para a restrição hídrica). Para isso, foram instalados sensores *watermark*® (Irrometer Company, Inc. Riverside, CA, EUA) à profundidade de 0,2 m em vasos de cada tratamento para a determinação do potencial matricial do solo. Mediante a curva de retenção de água no solo (Equação 1), os potenciais matriciais foram convertidos em umidades volumétricas. O volume de água a ser adicionado em cada vaso foi calculado a partir da diferença entre o limite superior de umidade de cada faixa, e a umidade atual medida a partir do sensor, considerando o volume de solo contido no vaso (Equação 2). O volume de solo foi estimado por meio da equação do tronco de cone, depois de medidos com fita milimétrica e paquímetro os diâmetros

internos inferior e superior do vaso nos limites ocupados pelo solo bem como a altura.

$$\theta = 0,155 + \frac{(0,496 - 0,155)}{[1 + (0,094 * \psi)^{2,109}]^{0,526}} \text{----- (1)}$$

Em que:

$\theta$  = Umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\Psi$  = Potencial matricial do solo (-kPa).

$$V = (\theta_{Lim} - \theta_a) * C * 1000 \text{----- (02)}$$

Em que:

V = Volume de água a ser adicionado no vaso (L);

$\theta_{Lim}$  = Umidade do solo no limite superior de cada faixa ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_a$  = Umidade atual do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

C = Volume de solo no vaso ( $\text{m}^3$ ).

A resposta das plantas às diferentes condições de cultivo foi avaliada a partir de indicadores fitotécnicos e fisiológicos de produção. As variáveis fitotécnicas avaliadas foram: altura de plantas, diâmetro do colmo e número de perfilhos. A altura das plantas foi medida com o auxílio de uma trena, a partir da base do colmo até o ápice do último colmo em formação. O diâmetro foi determinado por meio de um paquímetro analógico no colmo principal a cinco cm de altura da base do colmo. O número de perfilhos foi determinado por meio de contagem. Todas as avaliações foram realizadas semanalmente, iniciadas logo após a estabilização dos regimes hídricos.

Para a determinação da taxa fotossintética ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração ( $E$ ), foram realizadas medidas na segunda folha completamente expandida de forma simultânea utilizando-se um analisador de gás pelo infravermelho (IRGA) LI-6400 (Li-Cor Biosciences Inc., Lincoln, NB, USA) configurado com fluxo de ar de  $300 \text{ mL min}^{-1}$ , fonte de luz acoplada de  $995 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e temperatura ambiente. Após a estabilização da concentração de vapor de água dentro da câmara do equipamento, foi considerada a média de seis leituras, espaçadas em intervalos de 30 segundos.

A máxima eficiência quântica do fotossistema II foi mensurada na mesma folha utilizada para as avaliações de assimilação fotossintética ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração ( $E$ ) por meio de um fluorômetro 6400-40 (Li-Cor Biosciences Inc., Lincoln, NB, USA) acoplado ao IRGA. Para esta avaliação, foi necessário adaptar as folhas de cana-de-açúcar ao escuro através de cliques obscurecedores (Li-Cor Biosciences Inc., Lincoln, NB, USA) por, no mínimo, 20 minutos. A máxima eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) foi determinada de acordo com os procedimentos de Maxwell & Johnson (2000).

O teor relativo de clorofila foi estimado por meio do índice SPAD que preconiza a correlação com o teor de clorofila foliar, conforme tradicionalmente demonstrada por vários autores (YADAVA 1986). O índice SPAD foi obtido por meio de um clorofilômetro portátil SPAD-502 (Konica Minolta Sensing Inc., Tóquio, Japão) como uma referência ao teor relativo de clorofila das folhas em resposta aos tratamentos durante o experimento. O índice SPAD foi determinado a partir da média de seis leituras no mesmo ponto amostral do limbo foliar utilizado para determinação das trocas gasosas, segunda folha totalmente expandida para cada parcela experimental.

A porcentagem de água das plantas foi determinada semanalmente, a partir de um disco retirado na segunda folha completamente expandida. Após a

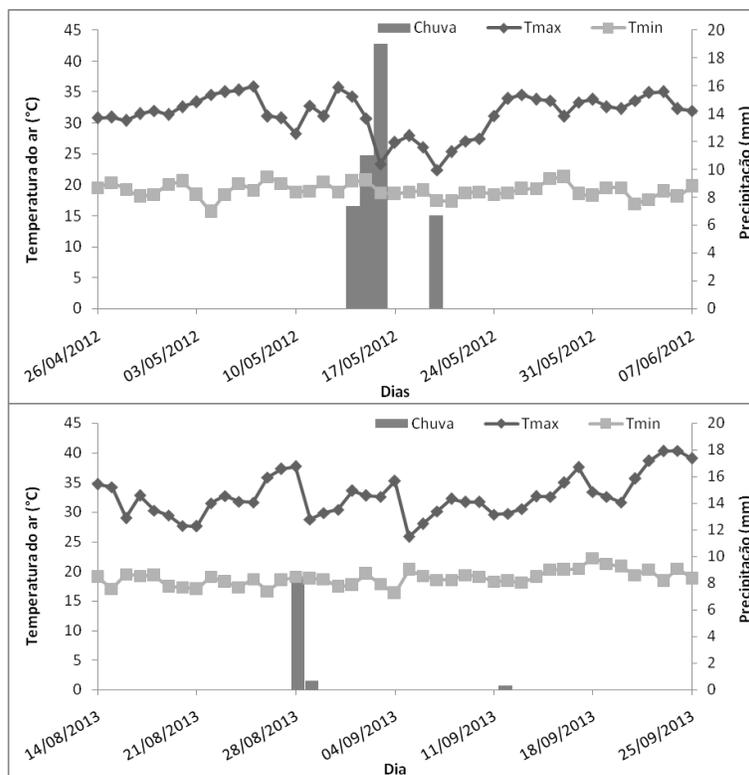
retirada dos discos foliares, estes foram encaminhados ao laboratório de Fisiologia Vegetal da UNIMONTES, em frasco de vidro coberto por lâmina de alumínio para evitar o contato com a atmosfera e radiação, e, portanto, desidratação do tecido a ser analisado. Os discos foram então pesados para determinar a sua massa fresca (MF) e em seguida estes foram encaminhados a uma estufa de ventilação forçada por 48 horas a 80 °C para obtenção da sua massa seca (MS). A porcentagem de água foi calculada por meio da seguinte fórmula:  $(\%) \text{H}_2\text{O} = (\text{MF} - \text{MS})/\text{MF} * 100$ .

Os dados meteorológicos utilizados (temperatura e precipitação) foram obtidos de uma estação simplificada, localizada a uma distância de aproximadamente 100 metros da unidade experimental.

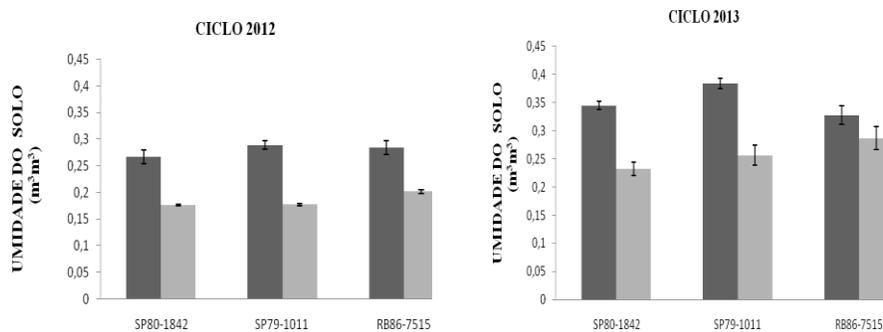
#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 1 representa as condições da temperatura do ar e precipitação desde o início dos dias de avaliações até o encerramento das medições para cada dia de avaliação.

Ao se analisar e comparar a umidade do solo durante o período experimental, pode-se perceber que durante o ciclo de 2013 os vasos se apresentaram mais úmidos em relação aos vasos no ciclo de 2012 (FIGURA 2). Isso justifica o comportamento de algumas variedades durante todo o período experimental. Como os ciclos do experimento foram em períodos distintos do ano, este fato provocou essas variações na umidade do solo, proporcionando assim que o solo permanecesse mais úmido para o ciclo de 2013. Diante disso, o estresse provocado às plantas para o ciclo de 2013 foi menos severo que para o ciclo de 2012.



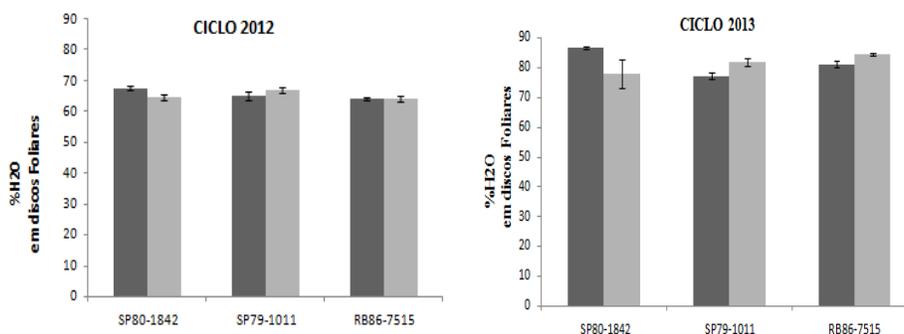
**FIGURA 1.** Temperaturas do ar e precipitação, desde o início até o final das avaliações, em plantas de cana-de-açúcar para os ciclos de 2012 e 2013. Janaúba-MG.



**FIGURA 2:** Umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) em vasos cultivados com três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ). Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Ao se estudar estresse hídrico de uma planta, a porcentagem de água na folha é considerada essencial quando se deseja obter uma avaliação do *status* hídrico de um vegetal. Em ambos os ciclos de cultivo sob condições de conforto hídrico obteve-se uma maior média na variedade SP80-1842 comparada às demais variedades, ao passo que sob condições de deficit hídrico a mesma variedade se destacou com uma maior queda da porcentagem de água na folha, mostrando-se assim mais sensível ao tratamento principalmente no ciclo de 2013 (FIGURA 3). Ao se comparar os dois ciclos de cultivo, pode-se perceber que no ciclo de 2013 as plantas apresentaram uma maior porcentagem de água na folha, o que é justificado pela umidade do solo a qual estava mais elevada para este ciclo. Esta condição também proporcionou que algumas variedades como SP79-1011 e a RB86 - 7515 que estavam sob o tratamento do estresse apresentassem uma maior porcentagem de água na folha do que as plantas que estavam em condições de conforto hídrico, mostrando, assim, que o estresse aplicado não foi capaz de causar efeito para estas variáveis no ciclo de 2013. Esta variável tende

a refletir a quantidade de água de um tecido comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter em um dado momento. De um modo geral, o tratamento do estresse aplicado não foi severo o bastante para proporcionar uma grande queda da porcentagem de água nas folhas da cana-de-açúcar, que se mantiveram com valores superiores a 60% para os dois ciclos.



**FIGURA 3.** Porcentagem de água em discos foliares de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos com (n = 7). Barras verticais indicando o erro padrão (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

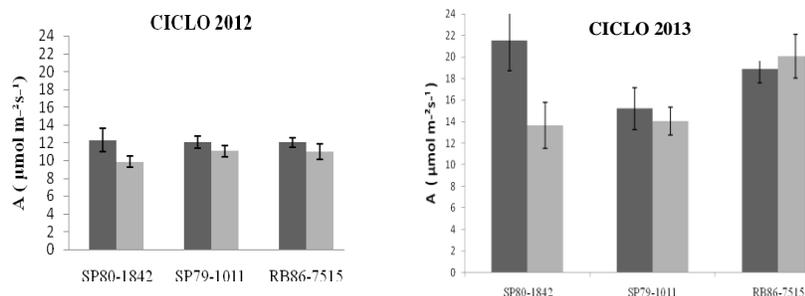
De maneira geral, a taxa fotossintética foi reduzida em todas as variedades submetidas ao déficit hídrico, durante o ciclo de 2012. Esses resultados corroboram os observados por Ghannoum et al. (2003) que também encontraram reduções progressivas e substanciais na fotossíntese em quatro gramíneas de metabolismo C4 submetidas à deficiência hídrica.

No ciclo de 2013, a variedade SP801842 apresentou maior sensibilidade aos tratamentos aplicados reduzindo sua taxa fotossintética de 21 para 13  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a variedade RB86- 7515 manteve uma média superior mesmo quando submetida ao déficit hídrico. Esse comportamento é

explicado pela disponibilidade de água do solo a qual estava mais elevada para esse ciclo de cultivo, o que veio a proporcionar que os vasos dessa variedade permanecessem mais úmidos do que aos das outras variedades de estudo sob a mesma condição, dificultando, desse modo, o estabelecimento do estresse a esta variedade, a qual conseguiu manter sua taxa fotossintética elevada.

Ao se comparar os dois ciclos de cultivo (FIGURA 4), a taxa fotossintética foi maior no ciclo de 2013 do que em 2012, o que é justificado pela umidade do solo dos vasos que estava superior para o ciclo de 2013, proporcionando, assim, uma melhor eficiência no uso da água para realização das atividades fotossintéticas. Esse fato também é justificado pela temperatura do ar que também estava mais elevada para este ciclo de cultivo, proporcionando aumento nas atividades fotossintéticas tanto pela produção de energia quanto para a assimilação do CO<sub>2</sub>.

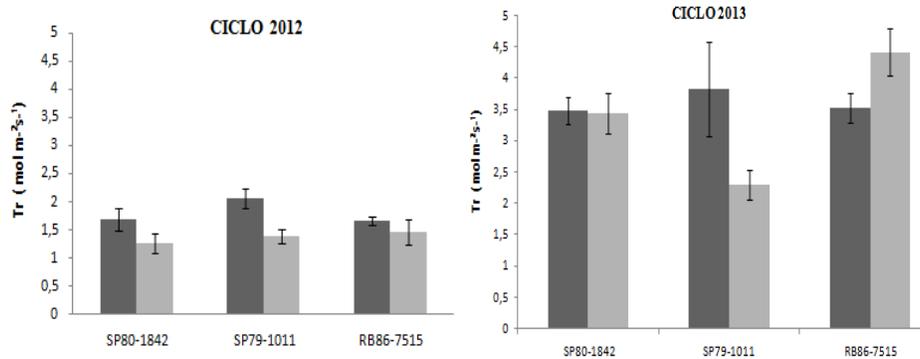
Em ambos os ciclos de cultivo os valores da fotossíntese líquida foram inferiores aos relatados por Larcher (2006), que reportou que a fotossíntese líquida em gramíneas C4 variava de 30 a 60  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  chegando, em casos extremos, a 80  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , na ausência de fatores limitantes. Neste trabalho um dos fatores que resultou essas taxas fotossintéticas relativamente baixas, como observado, foi a aplicação do estresse hídrico nas plantas e a utilização da fonte de luz de 995  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , valor este considerado inferior aos 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  relatados por Larcher (2006), e que a partir do qual ocorre saturação lumínica para algumas gramíneas de metabolismo C4.



**FIGURA 4:** Taxa fotossintética (A) de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7). barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

A análise da transpiração foliar (FIGURA 5) mostrou que a variedade SP79-1011 no ciclo de 2012 manteve a maior média quando comparada às demais variedades sob condições de conforto hídrico. Nas três variedades a taxa transpiratória foi reduzida quando submetidas ao déficit hídrico para o mesmo ciclo de 2012. Reduções na transpiração foliar também foram observadas por Cruz (2006) em plantas C4, e por Arias *et al.* (1996) em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. Tanto para o ciclo da cana planta quanto para o ciclo da cana soca, a variedade SP79-1011 mostrou maior sensibilidade ao déficit hídrico para essa variável analisada. Sob condições de déficit hídrico, a variedade RB86-7515 foi a que se destacou com uma média superior, mesmo a daquelas plantas submetidas ao conforto hídrico para o ciclo de 2013, fato que é justificado pela umidade do solo dos vasos, a qual estava mais elevada para o ciclo de 2013, permitindo, assim, que esta variedade tivesse uma menor sensibilidade aos tratamentos. Ao se comparar os dois ciclos de cultivo, é possível observar que a taxa transpiratória foi maior para o ciclo de 2013 do que para o ciclo de 2012, o que é justificado pela temperatura do ar, a qual foi mais

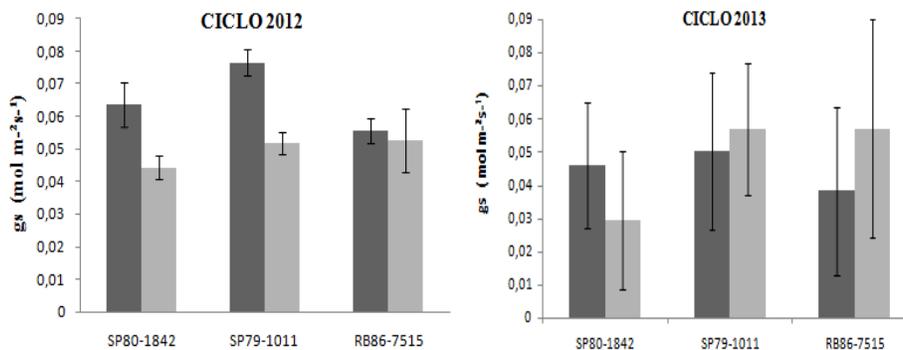
elevada para ciclo de 2013, proporcionando assim maior taxa transpiratória destas plantas.



**FIGURA 5:** Transpiração (Tr) em três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7). (Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Avaliando o efeito do deficit hídrico para cada variedade, verificou-se que ocorreu redução da condutância estomática do conforto para o deficit hídrico para as três variedades de estudo para o ciclo de 2012 (FIGURA 6). Esses resultados levaram a entender que, sob estresse hídrico, uma das primeiras respostas das variedades pode ser o fechamento estomático parcial, de forma a minimizar a perda de água (LARCHER, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2004). Ao se comparar os dois ciclos da cana-de-açúcar, pode-se observar que no ciclo de 2013 a condutância foi maior mesmo para algumas variedades que estavam submetidas a condições de deficit hídrico como constatado para as variedades SP-1011 e RB-7515. A justificativa para tal comportamento foi a condição de umidade do solo que estava mais elevada para o ciclo de 2013, a qual

proporcionou que as plantas fossem menos sensíveis aos tratamentos aplicados. Como a temperatura estava mais elevada para o ciclo de 2013, essa condição veio a provocar esta desuniformidade da condutância estomática observada para este ciclo. Ao se relacionar os dois ciclos de cultivo, é possível observar uma menor condutância estomática para o ciclo de 2013, fato também explicado pelas altas temperaturas verificadas durante esse ciclo. Sob esta condição, as plantas tendem a fechar parcialmente seus estômatos de modo a evitar a perda excessiva de água pelo processo transpiratório, o que reduz a condutância estomática.

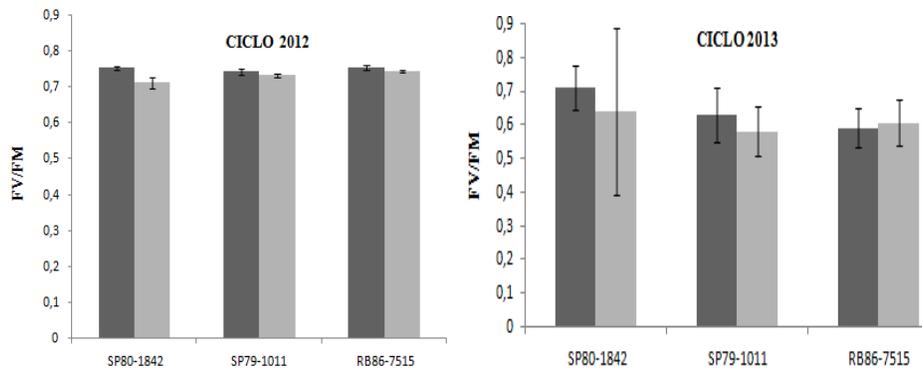


**FIGURA 6.** Condutância estomática em três variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7). Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Para a variável fluorescência, não houve uma variação acentuada entre os tratamentos para o ciclo de 2012, ao passo que em 2013 as variedades também diferiram muito pouco entre si para a relação  $F_v/F_m$ , sendo que SP80-1842 foi a variedade que apresentou uma maior média para a variável (FIGURA 7). Conforme Liberato *et al.* (2006), a baixa variação na relação  $f_v/f_m$  trata-se de

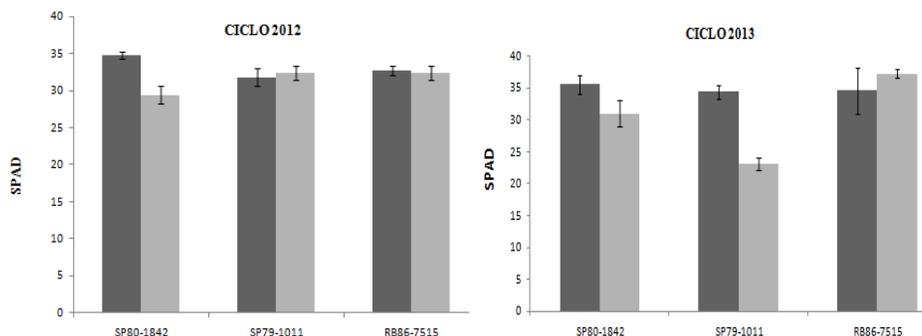
um mecanismo que pode ser indicativo da capacidade das plantas em recuperar sua atividade fotossintética mesmo sob condições adversas.

De acordo com Silva *et al.* (2009), plantas que estão com aparelho fotossintético intacto apresentam valores médios da relação  $F_v/F_m$  variando de 0,75 a 0,85, enquanto que reduções desses valores refletem danos fotooxidativos causados por fotoinibição no centro de reação do FSII. Os valores observados nas variedades no ciclo de 2012 se encontram dentro do intervalo citado anteriormente (FIGURA 7), mas são menores do que os valores descritos por Silva *et al.* (2007), 0,80 em genótipos de cana-de-açúcar sob condições de irrigação. Essa capacidade das variedades de manter elevada relação  $F_v/F_m$  sob estresse hídrico pode indicar uma alta eficiência do uso da radiação, eventualmente, para a fase fotoquímica e assimilação de carbono (COLOM & VAZZANA, 2003).



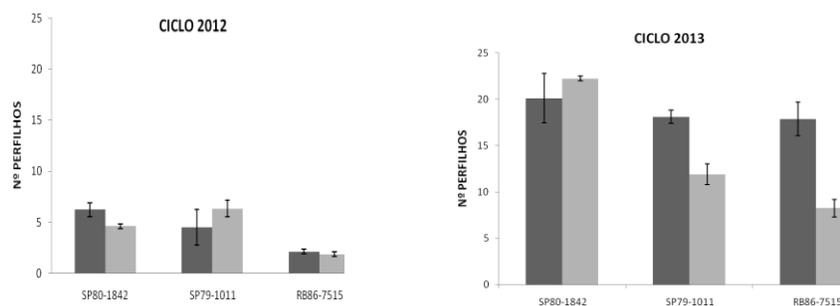
**FIGURA 7.** Fluorescência da clorofila em três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( n = 7) Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Analisando-se as variedades na condição de controle, observou-se que a SP80-1842 foi a variedade que apresentou o maior teor relativo de clorofila (FIGURA 8) nos ciclos de 2012 e 2013. Verificou-se ainda que a mesma variedade, quando submetida à condição de deficit hídrico, comportou-se de forma praticamente semelhante, apresentando valores de clorofilas inferiores aos das demais variedades no ciclo de 2012, e intermediário no ciclo de 2013 às demais variedades sob a mesma condição hídrico. Gonçalves (2008) encontrou um decréscimo no teor de clorofila total em variedades de cana-de-açúcar sob restrição hídrica. O autor atribuiu tal redução às mudanças na proporção de proteínas e lipídeos do complexo pigmento-proteína, ou ainda devido ao aumento da atividade da clorofilase, enzima que degrada as moléculas de clorofila existentes.



**FIGURA 8.** Índice SPAD de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7). Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Na condição de conforto hídrico, a variedade SP80-1842 apresentou a maior média para o número de perfilhos enquanto que a variedade RB86-7515 a menor média para o ciclo de 2012. Mesmo com a disponibilidade de água reduzida no solo, a variedade SP79-1011 conseguiu manter uma alta capacidade de perfilhamento para o ciclo de 2012, quase que se comparando à variedade SP80-1842 sob condições de conforto, indicando assim menor sensibilidade ao estresse (Figura 9). No ciclo de 2013, as variedades SP79-1011 e a RB86-7515 apresentaram a taxa de perfilhamento reduzida quando submetidas às condições de déficit hídrico, mostrando assim mais sensíveis aos tratamentos. Mesmo se tratando de um ciclo de cana soca (ciclo de 2013), a taxa de perfilhamento foi maior em relação ao ciclo da cana planta em 2012, o que é justificado pela umidade de solo a qual foi maior para ciclo de 2013 em relação a 2012, o que veio a favorecer um aumento na taxa de perfilhamento das variedades.

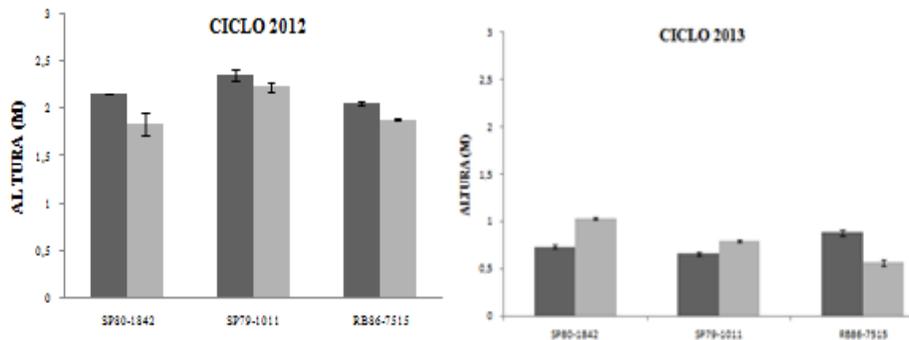


**FIGURA 9.** Número de perfilhos em três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos com  $n = 7$  – barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Quando se avaliou altura de colmos, as plantas apresentaram decréscimo ao serem submetidas à restrição hídrica, em que a variedade SP80-1842 sofreu a maior redução, para o ciclo de 2012 (FIGURA 10). Decréscimos na altura também foram observados por Árias *et al.* (1996), em cana-de-açúcar, em que os mesmos encontraram reduções de 30% em plantas em níveis de deficit hídrico que oscilavam entre 80 e 20% da capacidade de campo, tendo o primeiro como controle e o segundo como estresse.

Para o ciclo de 2013, as variedades apresentaram uma altura de plantas reduzida, o que é explicado pelo ciclo da cultura o qual foi o da cana soca, a qual apresenta menor vigor e, portanto, plantas com baixas estaturas. A presença desse baixo teor de umidade nos tecidos pode reduzir pela metade o comprimento de alguns entrenós, mas se houver disponibilidade de água novamente, essa perda pode ser recompensada pelo maior comprimento dos entrenós seguintes (CASTRO & KLUGE, 2001).

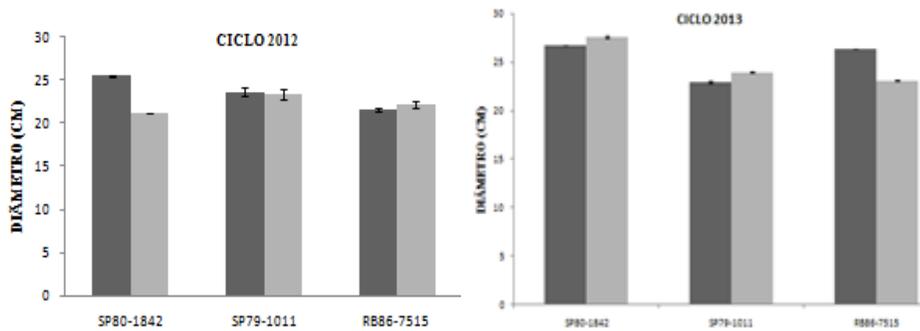
Diante disso, a ocorrência de maiores precipitações durante o ciclo de 2012 justifica a presença de plantas mais altas, quando comparadas às plantas do ciclo de 2013 em que se teve um baixo período de precipitação.



**FIGURA 10.** Altura de plantas de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos (n = 7) Barras verticais indicando o erro padrão. (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

Quanto ao diâmetro de colmos, as variedades SP80-1842 e SP79 - 1011 foram as variedades que apresentaram as maiores médias, no tratamento-controle durante o ciclo de 2012, sendo a variedade SP80-1842 aquela mais sensível ao tratamento (FIGURA 11). No entanto, no ciclo de 2013 a RB86-7515 se destacou como a variedade mais sensível aos tratamentos. Quando submetida ao deficit hídrico, a variedade SP80-1842 foi aquela que apresentou a menor média no diâmetro do colmo, comportando-se como o mais sensível quando comparada às demais no ciclo de 2012. Mesmo sob condições de estresse hídrico, as variedades ainda mantiveram um diâmetro de colmos alto, indicando assim que a condição de estresse imposta não foi suficiente para promover danos significativos às plantas cultivadas. Esse resultado condiz com

aqueles encontrados por Gonçalves (2008) que, ao trabalhar com níveis de deficit hídrico em quatro variedades de cana-de-açúcar, porém em casa-de-vegetação, também conseguiu observar aumento no diâmetro de colmos industrializáveis.



**FIGURA 11.** Diâmetro de colmo de três variedades de cana-de-açúcar sob conforto e restrição de água em dois ciclos consecutivos ( $n = 7$ ) Barras verticais indicando o erro padrão (● indicando conforto hídrico e ● restrição hídrica).

## 5 CONCLUSÕES

- Os indicadores fisiológicos foram sensíveis à variação de umidade do solo nas três variedades estudadas.
- O deficit hídrico em 2013 foi menos severo que em 2012, refletindo na atenuação das respostas para as variáveis analisadas em 2012.
- A variedade RB86 – 7515 apresentou menor sensibilidade ao deficit hídrico aos parâmetros: %H<sub>2</sub>O na folha, trocas gasosas (taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática) e índice SPAD.
- Houve uma maior sensibilidade da variedade SP80-1842 para os parâmetros %H<sub>2</sub>O na folha, taxa fotossintética, condutância estomática, Fluorescência da clorofila (FV/FM).
- Os indicadores utilizados foram eficientes para mostrar o comportamento da cana-de-açúcar quanto ao deficit hídrico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Edição do autor. 2002. 272p.

ARGENTA, G. *et al.* Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.

ARIAS, M. I. B.; DELGADO, E. O; CARMENATE, R. V. **Cambios fisiológicos de la caña de azúcar ante el déficit hídrico**. 1 ed. México: Universidad autónoma, Chapingo, 1996. 135p.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32 p.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: \_\_\_\_\_ **Produção da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1993. p.31-64.

CAMEJO, D. *et al.* High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. **Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 162, p. 281-289, 2005.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de culturas extrativistas**: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138p.

CHAGAS, R. M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat**. 2007. 82f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 1-16, 1991.

COLOM M. R.; VAZZANA C. Photosynthesis and psii functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental and experimental botany**, Elmsford, v. n. 49. p. 135-144. 2003.

CTC – **Centro de Tecnologia Canavieira**. Disponível em:  
<<http://canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/ctc-tera-novas-variedades-de-cana-produtivas-e-resistentes-doenças>>. Acesso em: 29 abril 2012.

CRUZ, R. F. D. da. **Indução e recuperação do stresse hídrico em variedades portuguesas de milho**. 2006. 182 p. Dissertação (Mestrado Biologia do Stresse em Plantas). Braga: Universidade do Minho, Portugal, 2006.

FERNANDES, O. W. B. **Avaliação de variedades de cana-de-açúcar para a produção de cachaça artesanal e a interferência dos resultados no comportamento do produtor na região de Salinas-MG**. 2005. 83p. Dissertação (Mestrado em Educação Agrícola) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

GHANNOUM, O. *et al.* Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist**, Oxford, v. 159, p. 599-608, 2003.

GRACA, J. P. **Avaliação de parâmetros fisiológicos em cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao deficit hídrico**. 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - UNESP, Jaboticabal-SP, 2009.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) -Universidade Federal do Alagoas, Rio Largo, 2008.

HERMANN, E. R.; CÂMARA; G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 107-122, 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. B. Cana-de-açúcar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. Cap. 18. p. 285-288.

KELLING, C. R. S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006, 550 p.

LIBERATO, M. A. R. *et al.* Leaf water potencial, gas exchange and chlorophyll fluorescence in cariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.

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

MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MARIN, F. R. **Cana-de-açúcar**: variedades. Embrapa, Brasília. 2007.  
Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_42\\_1110200717570.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html)> Acesso em: 20 março 2014.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p.71-76, 2007.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 681-687, 2006.

PAIVA, A. S. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.1, p.161-169, 2005.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998. 150 p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191p.

QUINONES, A. *et al.* Recovery of the N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Crawley, v. 268, n. 1, p. 367-376, 2005.

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**, Berlin, v. 185, p. 249-258, 2000.

RAMPINO, P. *et al.* Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 29, p. 2143-2152, 2006.

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

SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1571-1579, 1999.

SCHOLES, J. D.; HORTON, P. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Eds.). **Methods in comparative plant ecology: a laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 130-135.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. (Ed.). **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman & Hall, 1983. p. 133-154.

SILVEIRA, L. C. I. da; BARBOSA, M. H. P.; OLIVEIRA, M. W. de. Manejo de variedades de cana-deaçúcar predominantes nas principais regiões produtora de cachaça de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 217, p. 25-32, 2002.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVA, E. C. **Respostas fisiológicas do umbuzeiro (*Spondias tuberosa Arruda*) aos estresses hídricos e salino**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2009. 819p.

YADAVA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **Hort Science**, Minnesota, v. 21, n. 6, p. 1449 -1450, 1986.

ZHU, J. K. Cell signaling under salt, water and cold stresses. **Current Opinion in Plant Biology**, Arizona, v. 4, p. 401- 406, 2001.

ZHU, J. K. Cell signaling under salt, water and cold stresses. **Current Opinion in Plant Biology**, Arizona, v. 4, p. 401- 406, 2001.