

INDICADORES MORFO-FISIOLÓGICOS DO ESTRESSE HÍDRICO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

MORPHO-PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF WATER STRESS ON SUGARCANE AS A FUNCTION OF IRRIGATION DEPTHS

Gustavo Haddad Souza VIEIRA¹; Everardo Chartuni MANTOVANI²;
Gilberto Chohaku SEDIYAMA³; Fábio Teixeira DELAZARI⁴

1. Professor, Doutor, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES *campus* Santa Teresa, ES, Brasil, ghsvieira@gmail.com; 2. Engenheiro Agrícola, D.S., Professor, Titular, DEA, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 3. Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Professor Titular, DEA - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 4. Engenheiro Agrônomo, Mestrando, DEA - UFV, Viçosa, MG, Brasil.

RESUMO: O presente trabalho foi desenvolvido, objetivando-se encontrar as relações entre lâmina de água (chuva e irrigação) e indicadores morfológico (índice de área foliar) e fisiológicos do estresse hídrico (temperatura foliar, potencial hídrico foliar e índice de clorofila nas folhas) na cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação. O experimento foi instalado em outubro de 2010 em Jaíba/MG, em uma área irrigada por pivô central, com cana-de-açúcar no quarto ciclo. Para a aplicação dos tratamentos, trocaram-se os bocais dos emissores, em cada vão entre torres, de modo que fossem aplicadas as lâminas referentes a 25, 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura, com o manejo da irrigação realizado para atender a demanda de 100%. Foram medidos o índice de área foliar, o potencial hídrico foliar, a temperatura foliar e o índice de clorofila nas folhas. Os valores obtidos foram submetidos a análises de variância e, posteriormente, elaboradas regressões. Diante dos resultados, foi possível concluir que houve tendência de aumento do índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar à medida que se aumentou a lâmina de irrigação no ciclo da cultura; o aumento do IAF foi mais acentuado nos tratamentos que receberam mais água; o potencial hídrico foliar foi menor para menores lâminas de irrigação, com destaque para o tratamento que recebeu menos água (25%); a temperatura foliar foi próxima à temperatura do ar nos tratamentos que receberam as maiores lâminas (100 a 150%), com tendência de aumento da diferença entre a temperatura das folhas, à medida que se reduziu o suprimento hídrico; houve tendência de aumento do índice de clorofila (ICF) à medida que se aumentou as lâminas, com leve queda nos tratamentos que receberam lâminas maiores que 100% da ETc.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum sp.* Área foliar. Clorofila. Potencial hídrico. Temperatura foliar.

INTRODUÇÃO

O estresse hídrico geralmente é definido como um fator externo que exerce influência desvantajosa sobre a planta (SILVA; PINCELLI, 2010). O conceito de estresse está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. O déficit hídrico também pode ser definido 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).

Na cultura da cana-de-açúcar, a deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis por maiores danos à produção, principalmente por afetar a cultura, mesmo nas estações mais chuvosas, em decorrência de veranicos. No entanto, as plantas podem apresentar alguns mecanismos de tolerância ao estresse hídrico. Estes mecanismos podem variar entre as espécies e dentro das mesmas, sendo que geralmente a planta apresenta um conjunto de características que podem representar uma

tolerância mais eficiente (LANDELL et al., 2010; SILVA et al., 2010; SILVA; PINCELLI, 2010).

Para relacionar parâmetros fisiológicos ao desenvolvimento das culturas pode-se citar o uso de termometria a infra-vermelho (IDSO et al., 1981; CLAWSON; BLAD, 1982; JACKSON et al., 1977), teor de clorofila nas folhas (DAWSON et al., 2003; CIGANDA et al., 2009) e monitoramento do estado hídrico da planta (MANTOVANI et al., 2009; SOARES et al., 2005).

A relação entre a temperatura do dossel de plantas e a disponibilidade de água no solo tem sido investigada pela termometria a infravermelho por diversos pesquisadores (IDSO et al., 1981; CLAWSON; BLAD, 1982), em busca por um índice térmico adequado para estabelecer o tempo de irrigação apropriado. Um dos primeiros índices estudados foi o grau dia de estresse, baseado na relação entre a diferença de temperatura do dossel e do ar com o rendimento e a necessidade de água pela cultura (JACKSON et al., 1977).

Sob estresse hídrico, uma planta apresenta temperatura foliar superior quando comparada à

cultivada sob condições plenas de disponibilidade hídrica (TESTI et al., 2008). Trentin et al. (2011) observaram que a diferença de temperatura, entre as folhas de cana-de-açúcar e o ar, está intimamente associada ao processo de transpiração. À medida que esta aumenta, há uma redução na temperatura foliar devido à dissipação de energia na forma de calor latente. Assim, a temperatura foliar torna-se inferior à temperatura do ar.

De acordo com Gardner et al. (1981); Testi et al. (2008) e Jackson (1982) a temperatura das plantas de um dossel aumenta com o decréscimo da umidade do solo. Valores de desvio padrão da temperatura entre 0,3°C e 4,2°C foram encontrados para a cultura do milho irrigado e sob estresse hídrico, respectivamente. Fuchs e Tanner (1966) propuseram o uso de plantas controle bem irrigadas como referência para se avaliar o estado da água na planta, citando que a diferença de temperatura entre as plantas sob diferentes disponibilidades de água no solo e plantas controle pode ser usada para estabelecer um índice de nível de estresse.

Lobo et al. (2004) estudaram o comportamento do feijoeiro irrigado sem restrição hídrica comparando-o com cinco níveis de estresse hídrico, determinando o momento de se irrigar quando a diferença de temperatura entre as plantas controle e os tratamentos atingisse 1, 2, 3, 4 e 5 °C. Concluíram que o melhor momento de se irrigar a cultura, durante o período reprodutivo, foi quando as temperaturas atingiram 3 a 4 ($\pm 0,5$) °C acima da temperatura das plantas controle (plantas bem irrigadas).

Uma técnica utilizada para estimativas da produtividade das culturas é pela relação existente entre o teor de clorofila nas folhas com o seu rendimento. Dawson et al. (2003) citam que a produção de matéria seca pelas culturas é limitada pela quantidade de clorofila, devido à forte relação deste pigmento com os processos fotossintéticos. Sendo assim, um deficiente teor de clorofila limita o desenvolvimento das plantas. Alguns parâmetros da cultura, como o teor de nitrogênio, índice de área foliar, trocas gasosas de CO₂, radiação fotossinteticamente ativa absorvida e produtividade têm sido relacionados com o seu teor de clorofila (WALTERS, 2003). Dawson et al. (2003) afirmam que o teor de clorofila é o indicador mais relevante para se prever a produtividade de uma cultura.

Técnicas destrutivas têm sido tradicionalmente usadas para determinação do teor de clorofila em plantas. Geralmente, eles envolvem muitas amostragens destrutivas, somadas a protocolos analíticos (CIGANDA et al., 2009), fazendo com que a estimativa do teor de clorofila

seja um processo oneroso e laborioso. Com isso, necessita-se de métodos de estimativa precisos, não-destrutivos e simples para se determinar o teor de clorofila das culturas, tanto em escala de dossel como para folhas individuais (CURRAN et al., 1990).

O uso de medidores de clorofila portáteis tem sido proposto como um método não-destrutivo para se estimar o seu conteúdo, pela medida com leitores óticos que são baseados na absorvância/transmitância e reflectância de certos comprimentos de onda da luz em folhas intactas.

Sabe-se que períodos secos durante a safra afetam o desenvolvimento do dossel pela menor emissão de novos brotos e folhas e pela acelerada senescência da parte aérea (INMAN-BAMBER, 2004; SMIT; SINGELS, 2006). A senescência é um fator de fundamental importância na produção final da cana-de-açúcar, pois reduz a área fotossinteticamente ativa da planta (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O crescimento das plantas depende da fotossíntese, que é a conversão da energia luminosa em energia química (SMIT; SINGELS, 2006) e, quanto maior for a interceptação da luz pelo dossel da cultura, maior será o acúmulo de biomassa e de fotoassimilados, que serão posteriormente convertidos em sacarose, armazenados nos colmos e utilizados na respiração e/ou no crescimento das plantas da cana-de-açúcar (HEERDEN et al., 2010; SINGELS et al., 2005).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivos: encontrar as relações entre lâmina de água (chuva e irrigação) e indicadores morfológico (índice de área foliar) e fisiológicos (temperatura foliar, potencial hídrico foliar e índice de clorofila nas folhas) da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em Jaíba/MG, latitude 15° 12' S, longitude 43° 56' W e altitude de 478 m, em uma área irrigada, com cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) cultivar RB 86-7515, no quarto ciclo (terceira soqueira) após a colheita da safra 2009/2010. O equipamento de irrigação utilizado foi um sistema de aspersão do tipo pivô central, irrigando uma área de aproximadamente 57 ha, com água captada nos canais do Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ). O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Bw, ou seja, clima quente e seco, com estação chuvosa no verão. A região apresenta temperaturas máxima, média e mínima anuais de 34, 24,2 e 14,8 °C, respectivamente, umidade relativa

média anual entre 58 a 79%, insolação de 2.892 horas de sol anuais e precipitação média igual 787 mm por ano.

Utilizou-se o aplicativo *Irriger*[®] para o manejo da irrigação, com o qual se determinou a demanda hídrica da cana-de-açúcar, utilizando-se coeficientes de ajuste (coeficiente da cultura “kc”, localização da irrigação “kl” e do solo “ks”) sobre a evapotranspiração de referência (ET_o). Calculou-se a lâmina bruta de irrigação por meio de um balanço hídrico, considerando-se como entradas de água a irrigação e a precipitação pluvial efetiva e as saídas, a evapotranspiração da cultura (ET_c) e percolação além da profundidade considerada para o sistema radicular.

O aplicativo *Irriger*[®], estima a evapotranspiração com base nos elementos meteorológicos disponíveis (radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar), por meio do modelo de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998). Os dados meteorológicos utilizados para a realização do experimento foram obtidos na estação meteorológica automática instalada na área experimental.

As propriedades do solo e características da cultura cadastradas no aplicativo, utilizadas para o manejo da irrigação estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do solo e características da cultura

Solo						
Profundidade	Capacidade de Campo	de Ponto de Murcha	Densidade	Argila	Areia	Silte
(cm)	¹ (%)	¹ (%)	(g cm ⁻³)	(%)	(%)	(%)
0-25	8,1	3,5	1,6	12	83	5
25-50	6,0	3,0	1,6	12	82	6
Cultura						
Ciclo	Fase	Duração	²Kc	³Z	Área Sombreada	⁴f
		(dias)		(cm)	(%)	
Soca 3	Brotação	20	0,40	0,3	15	0,7
Soca 3	Perfilhamento	80	0,70	0,5	50	0,7
Soca 3	Desenvolvimento	240	1,25	0,5	100	0,7
Soca 3	Maturação	27	0,80	0,5	100	0,7

¹Referentes à umidade em peso, na base seca; ²Coefficiente de cultura; ³Profundidade efetiva do sistema radicular; ⁴Fator de disponibilidade hídrica

A umidade do solo foi monitorada com a determinação de umidade, em peso, pelo método padrão de estufa, durante a aplicação dos tratamentos, de modo a permitir o acompanhamento do balanço hídrico do solo que, comparado ao

consumo hídrico da cultura estimado com o aplicativo, garantiu a aferição do método.

Para a aplicação dos tratamentos, trocaram-se os bocais dos emissores, de modo que, em cada vão entre torres do pivô, fosse aplicada uma lâmina específica, como é apresentado na Tabela 2.

Quadro 2. Tratamentos e lâminas aplicadas, precipitação efetiva, lâminas totais de irrigação aplicadas e lâminas totais no ciclo da cultura em cada tratamento

Tratamento	Lâmina percentual nominal	Lâmina percentual aplicada	Precipitação pluvial efetiva	Irrigação total	Lâmina total
	%	%	(mm)	(mm)	(mm)
T6	150	156,3	348,0	1.530,4	1.878,4
T5	125	126,5	365,4	1.240,1	1.605,5
T4	100	100,0	393,0	979,6	1.372,6
T3	75	73,4	419,2	719,2	1.138,4
T2	50	52,2	432,8	511,9	944,7
T1	25	24,7	435,7	242,2	677,9

Selecionaram-se as parcelas experimentais, aleatoriamente, nas áreas onde os tratamentos foram aplicados. Considerou-se, para o cálculo da lâmina total de água aplicada no ciclo, a soma entre a irrigação total e a precipitação efetiva. A irrigação total foi obtida pela soma das irrigações realizadas. A precipitação efetiva foi calculada, subtraindo-se, da precipitação total, o excesso, que é a soma do escoamento superficial calculado pelo modelo SCS-USDA (PRUSKI, 2009) e da lâmina percolada, calculada a cada evento de irrigação por meio do balanço hídrico diário. Não foram utilizados valores de precipitação efetiva maiores que a capacidade total de armazenamento de água do solo (33,3 mm).

O experimento foi montado no delineamento em faixas, com seis tratamentos e número de repetições variável de acordo com o parâmetro analisado. As repetições foram casualizadas no interior das faixas demarcadas para os tratamentos (Figura 1), tomando-se as medições, aleatoriamente, nas plantas. A largura total das faixas era de 48 m, deixando-se 10 m de bordadura entre os tratamentos. Para o IAF e o potencial hídrico foliar fizeram-se quatro repetições. Para temperatura foliar, oito repetições e, para clorofila, 10 repetições.

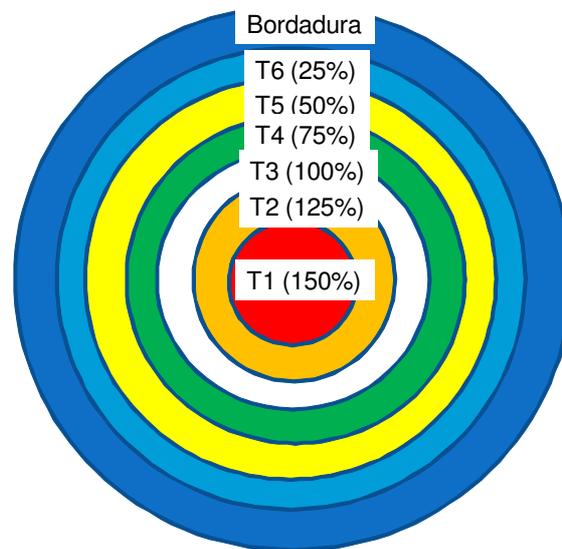


Figura 1 Disposição dos tratamentos no experimento.

Foram medidos o índice de área foliar, o potencial hídrico foliar, a temperatura foliar e o Índice de clorofila nas folhas como segue.

O índice de área foliar-IAF ($m^2 m^{-2}$) foi determinado utilizando o equipamento LAI-2000 (LI-COR). O aparelho foi configurado para realizar seis leituras, sendo uma acima do dossel e cinco abaixo, em cada uma das quatro fileiras de plantas (repetições) de cada tratamento.

Para determinação do potencial hídrico foliar foi utilizada uma Câmara de Pressão de *Scholander*, com medições realizadas em folhas coletadas entre 05:00 e 06:00 horas (potencial hídrico de antemanhã). Selecionou-se quatro folhas (repetições) totalmente desenvolvidas, verdes e eretas, que tiveram suas pontas cortadas em segmentos de aproximadamente 20 cm, inseridas na câmara do equipamento e submetidas a pressão crescente, com nitrogênio gasoso, até o momento em que a folha liberasse a primeira gotícula de seiva. Neste momento fechou-se a válvula que libera

o gás para o interior do equipamento e fez-se a leitura no manômetro, que indica a pressão interna da câmara, equivalente à tensão de água na folha da planta.

A temperatura do dossel de plantas foi medida utilizando um termômetro a infravermelho dotado de apontador a laser, a uma distância de aproximadamente dois metros acima das folhas, com leituras feitas a partir das 12:00 horas, com duração de aproximadamente 30 minutos. As medições foram realizadas em dias de céu claro, com ausência total de nuvens. A temperatura do ar foi medida, em estação meteorológica localizada a 200 m do experimento, para determinação da diferença entre as temperaturas do dossel e do ambiente.

Para determinação do Índice de Clorofila, foi utilizado um medidor eletrônico portátil – Clorofilômetro, modelo CFL 1030, fabricado pela Falker Automação Agrícola. O aparelho faz a leitura de forma ótica, com leituras diretas e não-

destrutivas, capacidade de leituras diferenciadas de clorofilas “a” e “b” e compensação de temperatura no intervalo de 0 a 50 °C. Os resultados são expressos em ICF (Índice de Clorofila), que podem variar de 0 a 100, com resolução de 0,1 ICF. Em cada tratamento fez-se 10 medições (repetições) aleatórias em folhas totalmente desenvolvidas, saudáveis e eretas. De acordo com Santos et al. (2009) esse número de repetições é o suficiente para representar adequadamente o ICF em cana-de-açúcar.

Os valores obtidos nas repetições foram submetidos a análises de variância e, posteriormente, elaboradas regressões lineares e polinomiais quadráticas, conforme a variável, com uso do aplicativo SAEG 9.1. Os coeficientes encontrados para as equações de regressão foram submetidos ao teste t, com posterior correção, considerando-se o Quadrado Médio do Resíduo e os Graus de Liberdade da ANOVA e o Quadrado Médio Independente da Regressão. Foram adicionados os Intervalos de Confiança da Regressão, ao nível de 95% de probabilidade, utilizando o aplicativo SigmaPlot 11.0.

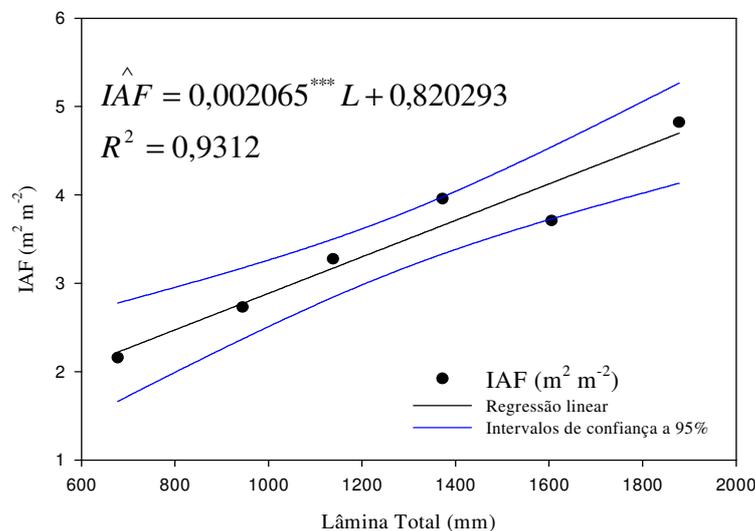
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura, o período chuvoso encerrou-se no dia 03/05/2011, com a

última chuva considerada significativa ocorrendo em 04/04/2011, fazendo com que a cultura ficasse totalmente dependente da irrigação, para o suprimento de água, durante 181 dias. Após o período chuvoso, a umidade do solo chegou à umidade de segurança (fator *f*) no dia 05/04 para o tratamento 25%, permanecendo até o dia 19/05 abaixo desta umidade, voltando a atingir a umidade de segurança no dia 28/05 e permanecendo sob deficiência hídrica por 128 dias, até o final do período seco (03/10).

A umidade do solo do tratamento 50% permaneceu abaixo da umidade de segurança por 72 dias (18/07 a 02/10). Para os demais tratamentos, houve pequenos períodos (até seis dias) em que a umidade do solo esteve abaixo da umidade de segurança. Entre os dias 28/07 e 06/08, o equipamento sofreu um problema técnico e não funcionou, o que promoveu queda acentuada de umidade do solo para todos os tratamentos. Os valores de umidade do solo medidas, para aferição, foram próximos dos calculados pelo aplicativo.

Na Figura 2 são apresentados os Índices de Área Foliar ($m^2 m^{-2}$) para as médias dos tratamentos na última avaliação. São observados maiores índices de área foliar para as maiores lâminas, com a maior média para o tratamento 150%, com $4,8 m^2 m^{-2}$. O menor valor médio foi observado para o tratamento 25%, com $2,28 m^2 m^{-2}$.



*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”

Figura 2. Índice de área foliar – IAF ($m^2 m^{-2}$) na última avaliação em função das lâminas de água totais no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Em estudo de lâminas de irrigação na cana-de-açúcar, Farias et al. (2007) encontraram valores médios inferiores aos apresentados neste trabalho, que foram de $3,77 m^2 m^{-2}$ para o máximo valor encontrado, com 100% de suprimento da ETc e $1,77 m^2 m^{-2}$ para o mínimo, com 25% da ETc. Scarpari;

Beauclair (2008) encontraram valores máximos de $6,41 m^2 m^{-2}$ para cana irrigada satisfatoriamente.

Para os tratamentos com menores lâminas houve antecipação da senescência foliar com secamento prematuro das folhas, o que causou redução da superfície do limbo foliar e

verticalização das folhas. Como o aparelho utilizado na medição calcula o IAF em função da luminosidade interceptada pelas folhas, comparada à luminosidade acima do dossel, as folhas, em posição vertical, não contribuem para a interceptação luminosa, reduzindo os valores de IAF.

Observa-se na Figura 3 a evolução da área foliar para os tratamentos do dia 29/03/2011

(primeira avaliação) até o final do ciclo, que ocorreu no dia 05/10, ocasião da última avaliação e colheita. Para os tratamentos que receberam as maiores lâminas observa-se maior aumento do índice de área foliar, quando comparados aos que receberam menos água.

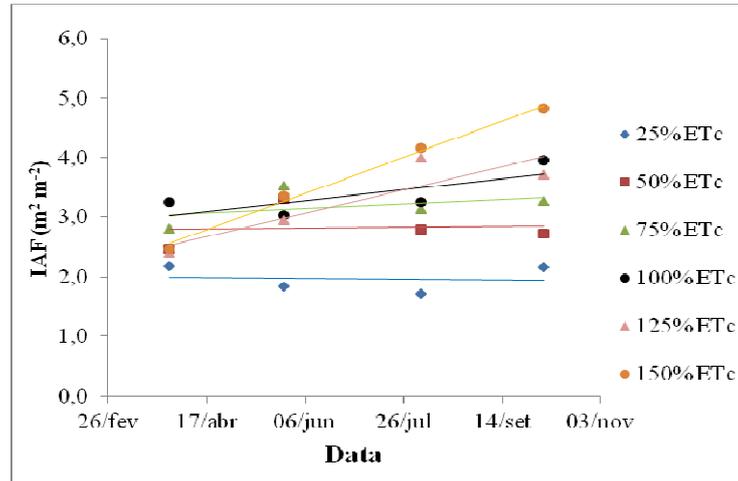
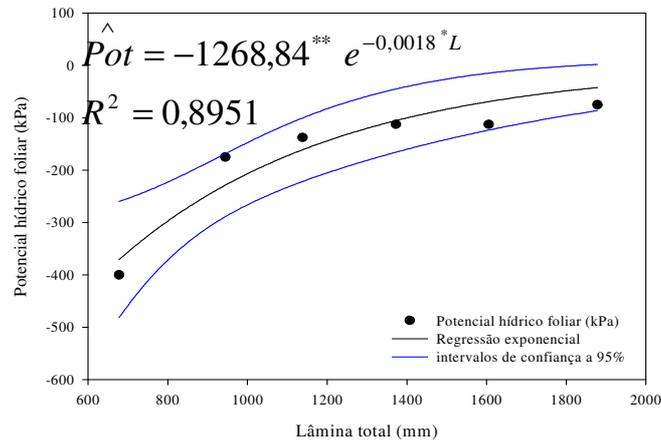


Figura 3. Evolução dos índices de área foliar para os tratamentos durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Na Figura 4 é apresentada a relação entre a lâmina de água aplicada no ciclo e o potencial hídrico foliar. Observa-se tendência de aumento do potencial hídrico foliar à medida que se forneceu mais água para a cultura. Para o menor valor de

lâmina (677,9 mm), é observado o menor valor de potencial hídrico foliar, evidenciando que a cultura sofreu maior estresse hídrico neste tratamento.



*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t"

Figura 4. Potencial hídrico foliar (kPa) em função das lâminas de água totais no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Existe alta correlação entre o potencial hídrico foliar e a fotossíntese, pois em plantas estressadas, a diminuição do potencial causa a diminuição de atividades enzimáticas que envolvem o processo de fixação de CO₂ (KOONJAH et al., 2006). Com isso, espera-se que plantas que

apresentem altos valores de potencial hídrico foliar, apresentem menores valores de produtividade.

Na Figura 5 observa-se os valores de temperatura foliar e as diferenças entre as temperaturas ambiente e foliar. Os tratamentos que receberam maiores lâminas (100 a 150% da ETc)

apresentaram temperaturas próximas à temperatura ambiente. Nos tratamentos que receberam as menores lâminas, as plantas apresentaram

temperaturas superiores à do ambiente, chegando a 6,35 °C de diferença.

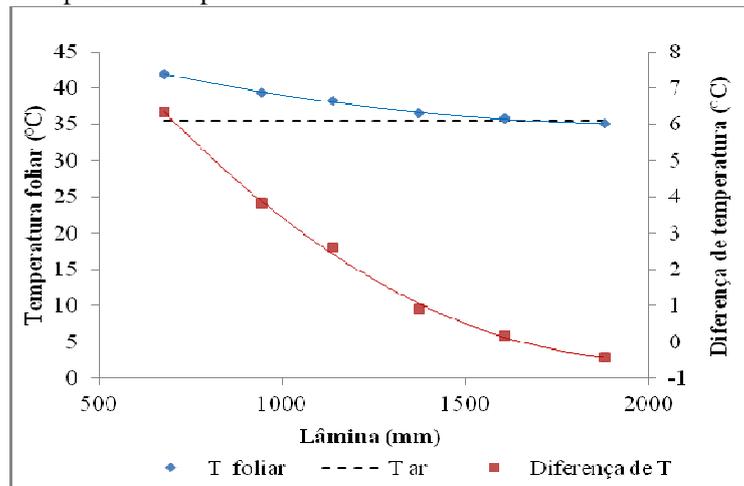


Figura 5. Temperatura do ar, temperatura foliar (°C) e diferença de temperatura entre o dossel e o ar em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

Esses resultados corroboram com os de Trentin et al. (2011), em estudo realizado em casa de vegetação com cana-de-açúcar, *cultivar* RB 86-7515, em que as plantas mantidas sob adequado fornecimento hídrico apresentaram temperaturas inferiores, em torno de 6,6 °C, quando comparadas àquelas sob condições de estresse hídrico severo e elevada radiação solar.

Para que se possa utilizar a temperatura foliar no manejo da irrigação, como indicador das condições hídricas da cultura, conforme recomendou Lobo et al. (2004), é necessário que se estabeleça índices de estresse hídrico, que determinem o momento e a lâmina de irrigação. No entanto, existem vários inconvenientes do uso deste

método, uma vez que, condições climáticas diferentes daquelas ocorridas durante o experimento, podem gerar respostas diferentes da cultura à disponibilidade hídrica. Como no presente experimento as leituras foram realizadas em dias de pleno sol, somente em condições semelhantes, os índices estabelecidos seriam confiáveis. Desse modo, não seria possível estabelecer estimativas da lâmina de irrigação em dias nublados, a menos que fossem empregados métodos de correção.

Na Tabela 3 são apresentadas as equações de regressão, tendo-se como variáveis independentes as lâminas de irrigação e variáveis dependentes a temperatura foliar e a diferença de temperatura entre as folhas e o ar ambiente.

Tabela 3. Equações de Regressão da temperatura foliar e das diferenças entre as temperaturas ambiente e foliar em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar

Data	Equação	R ²
Temperatura foliar	$\hat{T}_{foliar} = 0,0000039^{***} L^2 - 0,0156^{***} L + 50,7416$	0,9982
Diferença de temperatura	$\hat{\Delta}_t = 0,0000039^{***} L^2 - 0,0156^{***} L + 15,1416$	0,9982

***Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Os valores de Índice de Clorofila-ICF, para os dias 03/08 e 05/10/2011, são apresentados na Figura 6. Para ambas as datas observa-se aumento do ICF à medida que se aumentam as lâminas aplicadas, com tendência de decréscimo do ICF nos maiores valores de lâminas. Para a avaliação feita em outubro a tendência foi ainda mais acentuada.

Songsri et al. (2008), Gonçalves et al. (2010), Jangpromma et al. (2010) e Dias (2011)

também observaram redução do índice de clorofila em plantas submetidas ao estresse hídrico, quando comparadas a plantas irrigadas satisfatoriamente. O déficit hídrico afeta a concentração de pigmentos, reduzindo a capacidade fotossintética, o que pode promover redução da produtividade e do rendimento industrial da cana-de-açúcar. Da mesma forma, nas parcelas que receberam maiores lâminas o

alagamento promoveu redução dos ICF's, devido à ocorrência de anaerobiose nas raízes.

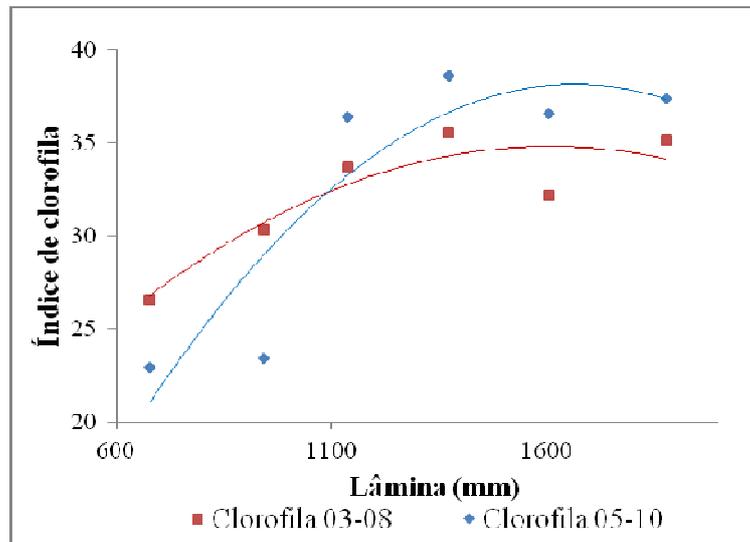


Figura 6 Índice de clorofila em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar para os meses de agosto e outubro.

Na Tabela 4 são apresentadas as equações de regressão, tendo-se como variáveis independentes as lâminas de irrigação e variáveis

dependentes o Índice de Clorofila, para as avaliações realizadas em agosto (ICF₀₈) e outubro (ICF₁₀) de 2011.

Tabela 4. Equações de Regressão dos Índices de Clorofila em função da lâmina de água total no ciclo da cultura da cana-de-açúcar para os meses de agosto e outubro

Data	Equação	R ²
03/08/11	$\hat{ICF}_{08} = -0,0000092 * L^2 + 0,0298 ** L + 10,8712$	0,8186
05/10/11	$\hat{ICF}_{10} = -0,000018 *** L^2 + 0,0585 *** L - 10,5532$	0,8101

***Significativo ao nível de 1%; **Significativo ao nível de 5%; *Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste "t"

É possível relacionar o estado hídrico da cana-de-açúcar com os índices de clorofila em pesquisas que visem indicar variedades tolerantes à seca, sendo um método rápido, fácil e não-destrutivo. No entanto, diferentes cultivares da mesma espécie vegetal apresentam diferentes índices de clorofila (SILVA et al., 2007), tornando necessário o conhecimento dos índices específicos de cada cultivar estudada.

CONCLUSÕES

Houve tendência de aumento do índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar à medida que se aumentou a lâmina de irrigação no ciclo da cultura; o aumento do IAF foi mais acentuado nos tratamentos que receberam mais água.

O potencial hídrico foliar foi menor para menores lâminas de irrigação, com destaque para o

tratamento que recebeu as menores lâminas (25% da ETc).

A temperatura foliar foi próxima à temperatura do ar nos tratamentos que receberam as maiores lâminas (100 a 150% da ETc), com tendência de aumento da diferença entre a temperatura das folhas à medida que se reduziu o suprimento hídrico, chegando a 6,35 °C para o tratamento mais seco.

Houve tendência de aumento do índice de clorofila (ICF) à medida que se aumentou as lâminas, com leve queda nos tratamentos que receberam lâminas maiores que 100% da ETc, com tendência mais acentuada no final do ciclo.

A deficiência de água no solo afetou o desenvolvimento da cultura, promovendo diminuição da área foliar e do índice de clorofila, com aumento da temperatura foliar e do estresse hídrico, com redução da produtividade.

O excesso de água promoveu queda dos teores de clorofila nas folhas devido à anaerobiose na zona radicular.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPEMIG e ao Banco do Nordeste do Brasil pelo apoio financeiro na execução do experimento. À CAPES pelo fornecimento de bolsa de estudo ao primeiro autor. À SADA Bioenergia e Agricultura pelo apoio operacional e infra-estrutura cedida.

ABSTRACT: The present study was developed to evaluate relationships between the water depths (rain and irrigation) and morphological (leaf area index) and physiological indicators (leaf temperature, leaf water potential and chlorophyll content in leaves) of water stress on sugarcane subject to different irrigation levels. The experiment was installed in October 2010 in Jaíba/MG, Brazil, in an area irrigated by a center pivot system with sugarcane in the fourth cycle. For the treatments, emitter nozzles were exchanged in each vain between pivots so that the depths applied related to 25, 50, 75, 100, 125 and 150% of evapotranspiration, with the irrigation management performed to meet 100% of the demand. The factors of leaf area index, leaf water potential, leaf temperature and leaf chlorophyll index were measured. The values obtained were subjected to analysis of variance and subsequently developed regressions. From the results, it was concluded that there was a trend of increased leaf area index (LAI) for sugarcane as increasing the water depth in the crop cycle; the increase in LAI was more pronounced in treatments that received more water; leaf water potential was lesser for smaller irrigation depths, with emphasis on the treatment that received less water (25%); leaf temperature was close to the air temperature in the treatment receiving the highest depths (100 and 150%) with a trend for an increased difference between the temperature of the leaves as reducing the water supply; the chlorophyll index (ICF) tended to increase as increasing the depths, with a slight drop in treatments receiving depths greater than 100% of the ETc.

KEYWORDS: *Saccharum sp.* Leaf area. Chlorophyll. Water potential. Leaf temperature.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).
- CIGANDA, V.; GITELSON, A.; SCHEPERS, J. Non-destructive determination of maize leaf and canopy chlorophyll content. **Journal of plant physiology**, Karlsruhe, n. 166, p. 157-167, 2009.
- CLAWSON, K. L.; BLAD, B. L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 311-316, 1982.
- CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; GHOLZ, H. L. Exploring the relationship between reflectance red-edge and chlorophyll content in slash pine, **Tree Physiology**, Oxford, v. 7, p. 33-48, 1990.
- DAWSON, T. P.; NORTH, P. R. J.; PLUMMER, S. E.; CURRAN, P. J. Forest ecosystem chlorophyll content: implications for remotely sensed estimates of net primary productivity. **International Journal of Remote Sensing**, Wilmington, v. 24, I. 3, p. 611-617, 2003.
- DIAS, C. M. de O. **Indicadores fisiológicos, fitotécnicos e agroindustriais de variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob duas condições hídricas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 67 f. 2011.
- FARIAS, C. H. de A.; DANTAS NETO, J.; 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**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.
- FUCHS, M.; TANNER, C. B. Infrared thermometry of vegetation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, p. 597-601, 1966.
- GARDNER, B. R.; BLAD, B. L.; WATTS, D. G. Plant and air temperatures in differentially-irrigated corn. **Agricultural Meteorology**, Ames, v. 25, p. 207-217, 1981.

GONÇALVES, E. R. ; FERREIRA, V. M. ; SILVA, J. V. ; ENDRES, L. ; BARBOSA, T. P. ; DUARTE, W. de G. . Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 378-386, 2010.

HEERDEN, P. D. R. Van; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER JUNIOR, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environment variability. **Agricultural Meteorology**, Ames, v. 24, p. 45-55, 1981.

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

JACKSON, R. D. **Canopy temperature and crop water stress**. In: HILLEL, D. *Advances in irrigation*. New York: Academic Press, p. 43-85. 1982.

JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J.; IDSO, S. B. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. **Water Resource Research**, Malden, v. 13, p. 651-656, 1977.

JANGPROMMA, N.; SONGSRI, P.; THAMMASIRIRAK, S.; JAISIL, P. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD Chlorophyll Meter across different water stress conditions. **Asian Journal of Plant Sciences**, V. 9, n. 6, p. 368-374, 2010. Disponível em: <<http://scialert.net/eboard.php?issn=1682-3974>>. Acesso em: 06/02/2012.

KOONJAH, S. S.; WALKER, S.; SINGELS, A.; VAN ANTWERPEN, R.; NAYAMUTH, A. R. A quantitative study of water stress effect on sugarcane photosynthesis. **Proceedings...** South African Sugar Technology Association, Pretoria, v. 80, p. 148-158, 2006.

LANDELL, M. G. de A.; MACHADO, R. S.; SILVA D. N. da; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; CRESTE, S.; ANJOS, I. A. dos; PRADO, H. do; PINTO, L. R.; BIDÓIA, A. P. **A interação entre a cana-de-açúcar e ambientes de produção estressantes**. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R.P. *Tópicos em Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar*. Botucatu: FEPAF. p. 34-42, 2010.

LOBO, F. de A.; OLIVA, M. A.; RESENDE, M.; LOPES, N. F.; MAESTRI, M. Infrared thermometry to schedule irrigation of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 113-121. 2004.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação - Princípios e Métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355 p.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água – Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2ª Ed. Viçosa: UFV. 2009. 279 p.

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.

SANTOS, T. J. dos; MOLIN, J. P.; PORTZ, G. **Desenvolvimento de metodologia de uso de um clorofilômetro comercial nacional para o manejo da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar**. ESALQ/USP, Piracicaba, 2009. 15 p.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. de. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e do brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

- SILVA, M. de A.; PINCELLI, R. P. **Alterações morfofisiológicas na cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica.** In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R. P. Tópicos em Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar. Botucatu: FEPAF. p. 43-48, 2010.
- SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; ARANTES, M. T.; PINCELLI, R. P. **Fenologia da cana-de-açúcar.** In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R. P. Tópicos em Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar. Botucatu: FEPAF. p. 8-21, 2010.
- SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.
- SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, Bonn, v. 92, p. 291-303, 2005.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Bonn, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A. Irrigação e Fisiologia da Floração em Cafeeiros Adultos na Região da Zona da Mata de Minas Gerais. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 117-125, 2005.
- SONGSRI, P.; JOGLOY, S.; HOLBROOK, KESMALA, T.; VORASOOT, N.; AKKASAENG, C.; PATANOTHAI, A. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 790-798, 2008. Disponível em: < <http://www.journals.elsevier.com/agricultural-water-management/>>. Acesso em 26/12/2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TESTI, L. et al. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. **Irrigation Science**, v. 26, p. 395-405, 2008. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00271-008-0104-5#page-1>>. Acesso em: 14/05/2011.
- TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p.1085-1095, 2011.
- WALTERS, D. T. **Diagnosis of nitrogen deficiency in maize and the influence of hybrid and plant density.** In: North central extension-industry soil fertility conference. vol. 19. Des Moines, IA. 2003.