

Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio

Martios Ecco^{1*}, Etenaldo Felipe Santiago², Paulo Ricardo Lima³

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS, Brasil

²Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, MS, Brasil

³Faculdade Integrado de Campo Mourão, Campo Mourão, PR, Brasil

*Autor correspondente, e-mail: eccoagronomia@hotmail.com

Resumo

Na cultura da cana-de-açúcar os estádios iniciais são críticos ao desenvolvimento das plantas devido à influência dos diversos fatores geradores de estresse. Neste trabalho são discutidos os efeitos do déficit hídrico e da toxicidade de alumínio, sobre o desenvolvimento inicial de duas variedades (RB855536 e RB867515). Para tanto, "toletes" contendo duas gemas (± 25 cm) foram plantados em vasos de polietileno contendo solo. Os níveis de água no solo foram definidos como: controle (70 a 90% da capacidade de campo [cc]), e déficit hídrico (20 a 40% da cc). Foram aplicadas diferentes doses de alumínio: 0, 0,2 e 0,4 mmol L⁻¹ na forma de Al₂(SO₄)₃.H₂O₁₈. Com exceção do número de perfilhos, da massa fresca do tolete para a variedade RB855536 e massa seca do tolete para a variedade RB867515, foram verificadas diferenças significativas entre todas as demais variáveis de crescimento para os tratamentos utilizados. A significativa redução de massa seca do tolete na variedade RB855536 sugere maior consumo de energia sob condições de déficit, ao passo que na variedade RB867515 este efeito não foi observado, o que pode indicar sua maior tolerância aos estresses hídricos e por alumínio.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., desenvolvimento inicial, massa

Biometric answers in young plants of cane sugar under the water stress and the aluminum

Abstract

In the sugarcane crop the initial phenological stages are critical to the development of plants due to the influence of many stress factors. In this work are discussed the effects of hydric stress and aluminum toxicity, for the initial development of two varieties (RB855536 e RB867515). In this way, billets containing two gems (± 25 cm) were planted in polyethylene vases with soil. The levels of water in the soil were defined as: control (70 to 90 % of the field capacity (FC)) and hydric stress (20 to 40 % of FC). Different doses of aluminum were applied: 0, 0.2 and 0.4 mmol L⁻¹ in the form of Al₂(SO₄)₃.H₂O₁₈. With exception of number of number of tillers, the fresh mass of billet for the variety RB855536 and dry mass of billet for variety RB867515, were verified significant differences among all the evaluated variables of growing for the used treatments. The significant reduction of dry mass from billet in the variety RB855536 suggests higher energy consumption under stress conditions, while in variety RB867515 this effect was not observed, what can indicate higher tolerance to hydric stress and by aluminum.

Keywords: *Saccharum* spp., initial development, mass

Introdução

A cana-de-açúcar está sujeita a diversas condições desfavoráveis geradoras de estresses, tais como a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, baixas temperaturas, deficiências nutricionais, compactação e toxidez por excesso de alumínio no solo (Rodrigues, 1995).

O acúmulo de massa vegetal ou nutriente pela cana-de-açúcar ocorre mediante a interação da cultura com fatores do ambiente, sendo a planta um integrador dos estímulos ambientais. Melhor entendimento de tais interações pode ser obtido por meio da análise quantitativa do crescimento. Medidas biométricas das plantas durante a estação de crescimento permitem a utilização de índices fisiológicos na tentativa de explicar as diferenças varietais quanto à produção econômica (Franco, 2008).

A utilização de genótipos tolerantes à deficiência hídrica e ao Al nas novas áreas de plantio torna-se a maneira mais econômica de contornar os problemas causados pela seca e pela presença de elementos indesejáveis no solo (Peixoto et al., 2007).

De acordo com Peixoto et al. (2007), a toxidez de Al pode ser observada por diversos sintomas no sistema radicular e na parte aérea, além de ele interferir na absorção e utilização de nutrientes. Essa toxidez ocasiona reduções na massa seca, no número e no comprimento de raízes e na área radicular, que frequentemente estão associados a aumentos no raio médio e no volume radicular. Segundo Otto (2002), a manutenção de grande massa seca de raízes resulta em grande gasto energético, afetando o crescimento em altura das plantas e a produtividade. Na parte aérea ocorrem reduções na massa seca, na altura e no diâmetro das plantas.

De acordo com Pincelli (2010), a tolerância ao déficit hídrico se manifesta geralmente de quatro formas: limitação no crescimento, adaptações morfológicas, adaptações fisiológicas e alterações metabólicas. Almeida et al. (2008), relatam que o manejo adequado implica em conhecer os padrões de crescimento de cada variedade,

fazendo com que as fases de máximo desenvolvimento coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar, permitindo que a cultura expresse seu potencial genético.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do estresse hídrico e do alumínio, sobre o desenvolvimento inicial de duas variedades de cana-de-açúcar, por meio de parâmetros biométricos.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado em casa de vegetação, na Unidade Universitária de Aquidauana (UEMS), localizada no Município de Aquidauana/MS. Geograficamente, a região localiza-se entre as coordenadas 20°27'20" de latitude S e 55°40'17" de longitude W, com altitude média de 174 metros. O clima da região é classificado como tropical úmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno), com precipitações anuais oscilando em torno de 1200 mm (havendo concentração de chuvas de novembro a fevereiro), temperatura média do mês mais quente de 32 °C e do mais frio de 18 °C, umidade relativa do ar média de 54% e velocidade do vento média de 1,35 m s⁻¹ (Polizer et al., 2000).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo utilizadas duas doses de alumínio (Al) 0,2 (dose 1) e 0,4 (dose 2) mmol L⁻¹ na forma de Al₂(SO₄)₃.H₂O₁₈ (Konrad et al., 2005), constituindo 6 tratamentos: **C** – controle (plantas sem déficit hídrico, mantidas em capacidade de campo sem aplicação de alumínio); **SD1** – plantas em capacidade de campo + dose 1); **SD2** – plantas em capacidade de campo + dose 2); **DH** – plantas mantidas em déficit hídrico sem aplicação de alumínio; **DH1** – plantas mantidas em déficit hídrico + dose 1 e **DH2** – plantas mantidas em déficit hídrico + dose 2. Foram utilizadas duas variedades de cana-de-açúcar: RB855536 e RB867515, neste trabalho tratadas respectivamente como RB1 e RB2, constituindo 15 repetições num total de 180 recipientes.

As mudas foram feitas a partir de material coletado na Usina de açúcar e álcool (ETH Bioenergia), situada no Município de Rio

Brilhante/MS.

Os colmos inteiros de ambas as variedades foram seccionados em pequenas partes denominadas "toletes" de aproximadamente 25 cm, contendo duas gemas. Foram plantados (04 de dezembro,

2010) dois toletes por recipientes de polietileno de cor preta com capacidade de 5L, contendo como substrato um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, A moderado, textura média/argilosa cuja análise se encontra na tabela 1.

Tabela 1. Análise de solo utilizada como substrato antes da instalação do trabalho. Laboratório de análise de fertilidade de solos.

Amostra	pH	P $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	M.O. %	emg/100cm ³						m %	V
				K	Ca	Mg	Al	S	T		
0 – 20 cm	6,1	32,2	3,5	0,34	5,7	2,0	0,0	8,0	11,0	0,0	72,8
20 – 40 cm	6,2	21,2	2,2	0,20	4,7	1,5	0,0	6,4	8,80	0,0	72,7

M.O. = Matéria orgânica – S = soma de bases – T = CTC = Capacidade de troca de cátions – m = Saturação de Alumínio – V = Saturação de bases.

Para a análise de solos foram coletadas vinte amostras em duas profundidades (0,0–0,2 e 0,2–0,4m) em uma área de 2000m², totalizando 40 amostras. Estas amostras foram homogeneizadas formando uma amostra composta para cada profundidade. Posteriormente, foi separada uma pequena amostra e enviada para análise laboratorial. O método utilizado foi o Mehlich 1, recomendado para solos mais intemperizados, com baixos valores de CTC (< 100 mmol dm⁻³), matéria orgânica (< 50 g/kg) e pH < 7,0. Essas características são comuns na maioria dos solos tropicais, em especial naqueles dos cerrados brasileiros.

Os níveis de água no solo foram definidos como; controle (70 a 90% da cc), e déficit hídrico (20 a 40% da cc). Segundo Reichardt (1988), capacidade de campo é a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniformes. Para esta definição, foi utilizado o método direto em vasos (MD), no qual, foi considerado como capacidade de campo (cc) o conteúdo de água retido pelo solo do vaso, após sofrer saturação e conseqüentemente ação da gravidade, sendo calculada diariamente por diferença de pesagem, com auxílio de uma balança de precisão. Como valor de referência calibrou-se a massa dos vasos na "capacidade de vaso", ou seja, o equivalente à capacidade de campo em vaso; para isto, os mesmos foram irrigados e depois de decorrido o tempo de

drenagem natural, foi determinada a massa a partir de quatro vasos com capacidade de 5L, para cada tratamento estudado. Para esta determinação foi utilizada a massa seca do solo em volume correspondente a capacidade de um vaso, para tanto, o solo foi seco em estufa de circulação forçada por 48 horas a 105 °C.

As doses de alumínio (Al) foram aplicadas com auxílio de uma proveta 100 mL da solução por vaso via solo, sendo que a primeira aplicação ocorreu 5 dias após o plantio (momento da emergência das plântulas) e a segunda aplicação 18 dias após emergência (DAE).

No final do período experimental, aos 95 dias após o plantio, foram mensuradas: a altura das plantas, com o auxílio de uma trena, medida da base do caule (previamente marcado) até a inserção da última folha, o diâmetro do caule, com um paquímetro digital de marca Digimess[®] com precisão de 0,002 mm, perfilhamento, massa fresca e seca da parte aérea (folhas e caules) e subterrânea (raízes e rizomas) das plantas. Para avaliação de massa fresca e seca, a planta foi cortada ao nível do solo para a separação da parte aérea e subterrânea. Posteriormente foram lavados, pesados e, acondicionados em sacos de papel os quais foram levados em seguida à estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante, obtendo-se assim, a massa da parte aérea e subterrânea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo método Kruskal Wallis e as médias comparadas entre si pelo teste de Dunnet com auxílio do programa estatístico Bioestat 5.0.

Resultados e Discussão

Com exceção do número de perfilhos, da massa fresca do tolete para a variedade RB1 e massa seca do tolete para a variedade RB2, foram verificadas diferenças significativas entre todas as demais variáveis de crescimento para os tratamentos utilizados (Tabelas 2 a 5).

O déficit hídrico associado ao alumínio foi mais efetivo como condição promotora de estresse capaz de afetar o crescimento das plantas jovens de cana-de-açúcar, independentemente da variedade. A redução do crescimento, sobretudo da parte aérea, sob condições de limitação hídrica, é uma resposta com valor adaptativo por representar economia de água, no entanto, o estresse hídrico normalmente está relacionado à redução da produção por afetar o acúmulo de massa vegetal (Freire et al., 2012). Em cana-de-açúcar

fatores como a intensidade e duração do déficit hídrico, bem como a variedade são importantes para determinar as alterações sobre a eficiência fotossintética dessas plantas (Gonçalves et al., 2010).

A restrição hídrica associada à menor concentração de Al reduziu a altura e o diâmetro das plantas jovens da variedade RB1 (0,080 e 4,25) respectivamente, as maiores médias de altura e diâmetro foram verificadas no tratamento sem déficit hídrico na menor dose de Al (0,60) e no controle (16,86), (Tabela 2).

Para a variedade RB2, foram observadas diferenças significativas em relação ao diâmetro do caule e altura das plantas, embora não tenha sido influenciado o número de perfilhos, o estresse hídrico foi limitante ao crescimento das plantas jovens de *Saccharum* spp (Tabela 3).

Tabela 2. Média de altura, número de perfilhos e diâmetro de plantas de *Saccharum* spp (RB1) mantidas em vasos sob diferentes condições.

Tratamentos	Altura (m)	Perfilhos	Diâmetro (mm)
C	0,570 a	2,6 a	16,86 a
SD1	0,601 a	2,6 a	16,79 a
SD2	0,587 a	3,1 a	16,43 a
DH	0,148 b	2,0 a	7,50 b
DH1	0,080 b	1,8 a	4,25 b
DH2	0,80 ab	1,7 a	7,75 ab

Médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. (C – controle; SD – sem déficit hídrico; DH – déficit hídrico; 1 e 2 doses de alumínio).

Tabela 3. Média de altura, número de perfilhos e diâmetro de plantas de *Saccharum* spp (RB2) mantidas em vasos sob diferentes condições.

Tratamentos	Altura (m)	Perfilhos	Diâmetro (mm)
C	0,469 a	3,4 a	17,50 a
SD1	0,515 a	3,4 a	18,00 a
SD2	0,453 a	3,3 a	17,29 ab
DH	0,137 b	1,8 a	7,00 b
DH1	0,163 b	2,1 a	6,63 bc
DH2	0,158 b	1,6 a	5,80 c

Médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. (C – controle; SD – sem déficit hídrico; DH – déficit hídrico; 1 e 2 doses de alumínio).

Machado et al. (2009), avaliando diferentes genótipos de cana-de-açúcar submetidos a deficiência hídrica verificaram que houve diferença estatística para a maioria das variáveis analisadas, em que ocorreu inibição do crescimento em altura e diâmetro. Martins (2008) também verificaram diferenças para a variável altura e diâmetro de caule entre os tratamentos hídricos em plantas de nim. Já Silva & Nogueira (2003) não encontraram diferenças entre os tratamentos hídricos em quatro espécies

lenhosas. A variação na altura da planta é um indicativo de tolerância ou suscetibilidade da cana-de-açúcar ao déficit hídrico. O déficit hídrico interfere no crescimento por causar restrições na divisão e no alongamento celular da cana-de-açúcar (Silva et al., 2008).

O número de perfilhos está associado a processos de diferenciação por indução hormonal, dessa forma, é esperado que o déficit hídrico seja efetivo sobre o alongamento celular (Oliveira et al., 2005). Em nosso estudo, a influência

dos fatores de estresse sobre o perfilhamento das plantas também foi dependente da variedade. Outros fatores podem afetar o perfilhamento.

Segundo Almeida et al. (2008), o perfilhamento é mais rápido na cana-soca devido ao sistema radicular já estar estabelecido, enquanto na cana-planta o sistema radicular vai se desenvolver, estes autores discutem que o perfilhamento é influenciado por fatores ambientais como temperatura, luz e disponibilidade hídrica, bem como por fatores endógenos como o estágio fenológico e as características de cada variedade.

De maneira geral, o estresse hídrico é efetivo na redução da biometria das plantas (Carvalho Filho et al., 2003; Almeida et al., 2005), dentre as mudanças morfológicas são incluídas ainda a redução de área e espessura foliar, bem como aumento da razão raiz/parte aérea (Hussain et al., 2004).

Para as médias de massa de plantas jovens de cana-de-açúcar variedade RB1 (Tabela 4), exceto para a massa fresca do tolete,

todas as demais variáveis estudadas diferiram significativamente. O déficit hídrico reduziu significativamente a massa seca do tolete e associado à menor dosagem de Al (EH1), verificou-se a redução da massa fresca e seca da raiz e da parte aérea, embora o mesmo efeito não tenha sido observado na maior dosagem. Na variedade RB2 somente as médias da massa seca do tolete não diferiram entre os tratamentos, sendo também observadas respostas distintas quanto à interação entre o déficit hídrico e as doses de Al (Tabela 5). A redução de massa seca da parte aérea em cana-de-açúcar foi verificada também por Machado et al. (2009). Almeida et al. (2005), estudando o efeito de diferentes condições hídricas na cultura da cana-de-açúcar, obtiveram valores semelhantes aos desta pesquisa. A redução de massa foi ainda descrita por Willadino et al. (2011), para duas variedades de cana-de-açúcar (RB867515 e RB863129), neste caso, promovida pelo estresse salino.

Tabela 4. Médias de biomassa de *Saccharum* spp (RB1) mantidas em vasos sob diferentes condições.

Tratamentos	Tolete (g)	Tolete seco (g)	Raiz (g)	Raiz seca (g)	Parte aérea (g)	Parte aérea seca (g)
C	272,40 a	162,08 a	190,40 a	142,68 a	260,80 a	94,80 a
SD1	166,60 a	99,60 ab	117,20 ab	75,99 ab	271,20 a	97,80 a
SD2	159,25 a	74,78 ab	169,48 ab	111,36 ab	247,00 a	94,80 a
DH	125,50 ab	57,33 b	30,25 b	20,10 b	43,75 ab	15,00 b
DH1	109,50 b	79,90 ab	25,00 b	14,05 b	36,00 b	14,50 b
DH2	120,00 ab	75,40 ab	40,50 ab	26,85 ab	44,00 ab	19,50 ab

Médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. (C – controle; SD – sem déficit hídrico; DH – déficit hídrico; 1 e 2 doses de alumínio).

Tabelas 5. Médias de biomassa de *Saccharum* spp (RB2) mantidas em vasos sob diferentes condições.

Tratamento	Tolete (g)	Tolete seco (g)	Raiz (g)	Raiz seca (g)	Parte aérea (g)	Parte aérea seca (g)
C	171,00 ab	87,10 a	148,80 a	88,00 a	245,00 a	83,40 a
SD1	203,80 a	84,16 a	105,66ab	61,58 ab	233,60 a	83,80 a
SD2	161,00 ab	85,26 a	124,80 a	68,80 ab	263,40 a	81,20 ab
DH	103,75 b	51,58 a	42,95 ab	20,28 ab	43,00 ab	18,00 ab
DH1	82,50 b	44,60 a	42,15 ab	18,15 bc	43,75 ab	19,75 ab
DH2	132,62 ab	89,38 a	31,70 b	15,36 c	43,20 b	15,40 b

Médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. (C – controle; SD – sem déficit hídrico; DH – déficit hídrico; 1 e 2 doses de Alumínio).

Em relação ao estresse hídrico, Singels et al. (2000) defendem que a distribuição dos componentes de massa em cana-de-açúcar é afetada pelo déficit hídrico quando o solo está entre 55% e 35% de sua capacidade de campo. A redução da massa seca da parte aérea é

um dos efeitos indiretos do alumínio (Al), que juntamente com o estresse hídrico causam o encurtamento dos internódios, que resulta em menor altura (Braccini et al., 1998).

Sob condições de limitação hídrica, o crescimento da raiz em detrimento da

parte aérea é uma importante alteração no desenvolvimento vegetal (Bengough et al., 2011), embora essa não seja uma resposta observada em algumas espécies (Leles et al., 1998; Araújo et al., 2010).

Griffiths & Parry (2002) sugeriram que a redução da produção de massa seca, em plantas sujeitas a estresse hídrico, se torna mais visível na medida em que a exposição ao estresse é mais prolongada.

A alocação de massa das plantas da variedade RB1 foi maior para a raiz no controle, ao passo que a menor dose de alumínio sem déficit hídrico promoveu maior alocação de massa

para a parte aérea (Figura 1). Na variedade RB2 a menor dose de alumínio, quando não associada ao estresse hídrico, promoveu maior alocação de massa para a parte aérea, ao passo que para as demais variáveis não foram verificadas diferenças significativas.

Verificando a massa seca total entre as duas variedades (Figura 2) verificou-se que na condição controle a variedade RB1 superou a RB2 quanto à produção de massa, de qualquer modo, o alumínio e mais severamente o déficit hídrico promoveram a redução de massa em ambas as variedades.

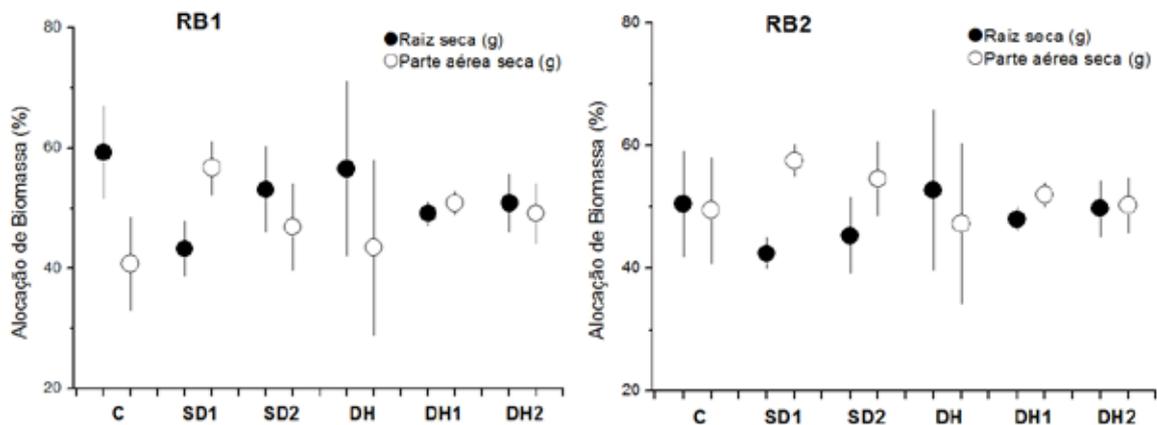


Figura 1. Alocação de biomassa seca de raiz e parte aérea de plantas jovens de *Saccharum* spp mantidas em vasos sob diferentes condições. Aquidauana, MS, 2011. (C – controle; SD – sem déficit hídrico; DH – déficit hídrico; 1 e 2 doses de alumínio).

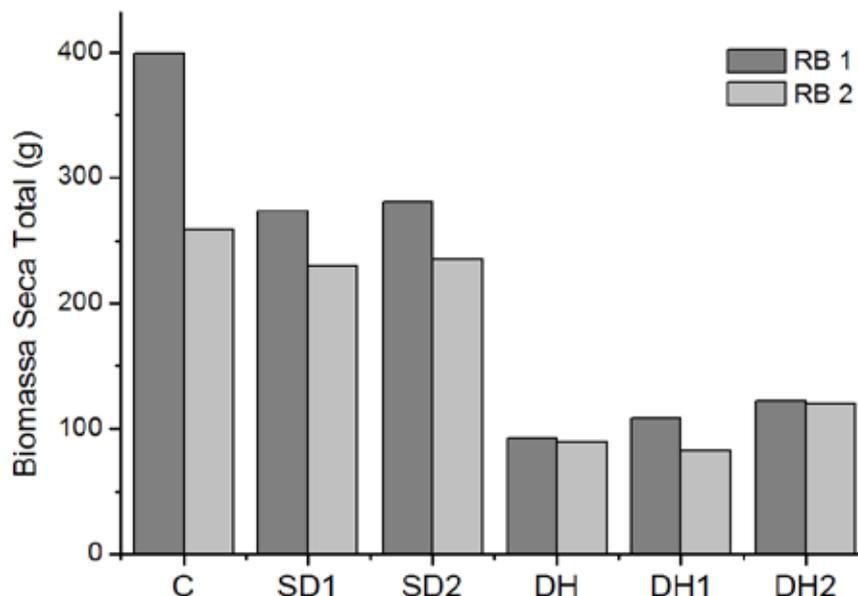


Figura 2. Biomassa seca total (g) de plantas jovens de *Saccharum* spp (RB 855536 - RB1 e RB867515 - RB2) mantidas em vasos sob diferentes condições. Aquidauana, MS, 2011. (C – controle; SD – sem déficit hídrico; DH – déficit hídrico; 1 e 2 doses de alumínio).

Neste estudo, as análises estatísticas indicaram que houve diferenças significativas entre os tratamentos avaliados para ambas as variedades menos para massa do tolete fresco para a variedade RB1 e para a massa de tolete seco para a variedade RB2, comprovando que o estresse hídrico e por Al afetaram a alocação de massa nos tratamentos estudados (Figura 2). A significativa redução de massa seca do tolete na variedade RB1 sugere o maior consumo de energia sob condições de estresse, ao passo que na variedade RB2 não ocorreu variação significativa da massa seca do tolete, mesmo sob condições de estresse, o que pode indicar maior tolerância dessa variedade às condições experimentais testadas.

No trabalho de Braccini et al. (1998), o Al na concentração de 0,296 mmol/L reduziu significativamente a massa seca da parte aérea e total, com exceção de apenas dois dos nove genótipos de café testados, assim como à produção de massa seca de raízes, em que promoveu, de forma geral, acentuado decréscimo na presença de alumínio.

O Al acumula-se, principalmente, no sistema radicular das plantas, sendo pequena a quantidade translocada para a parte aérea. O efeito desse íon sobre o desenvolvimento do sistema radicular é caracterizado pela inibição no alongamento do eixo principal, pelo engrossamento das pontas das raízes e das raízes laterais, amarronzadas e quebradiças. Assim, o sistema radicular fica desprovido de raízes finas, com tamanho reduzido, com poucas ramificações laterais e de aparência coralóide (Miguel et al., 2010). As anomalias e os danos causados ao sistema radicular resultam em exploração de menor volume de solo pelas plantas e em prejuízos na absorção de nutrientes e no aproveitamento da água do solo.

Os efeitos do alumínio como inibidor do crescimento das raízes é de especial importância uma vez que sob alguns tipos de estresse como, por exemplo, o nutricional (Cuzzuol et al., 2005) a alocação diferencial de recursos tende a favorecer o acúmulo de massa para órgãos subterrâneos.

É provável, que o efeito tóxico do Al na destruição das células da região meristemática

da raiz principal tenha alterado a produção de hormônios que controlam o crescimento de raízes laterais. De acordo com o trabalho de Braccini et al. (1998), o alumínio promove redução da síntese e transporte de citocininas nos meristemas da raiz, altera a direção do movimento de auxinas, favorecendo o transporte acrópeto ao invés do basípeto, e aumenta os níveis de ácido abscísico.

Segundo Malavolta (1980), a massa seca total mostrou melhor correlação com a tolerância ao Al do que outras características avaliadas, para cultivares de sorgo e feijão. Observaram, também, que reduções na produção de massa seca acima de 25% em relação à massa seca produzida pelo controle permitiram classificar os cultivares como sensíveis.

A despeito de alguns autores descreverem o sinergismo de fatores de estresse em que intensifica a desestabilização funcional em plantas, este efeito não foi evidente neste trabalho, de maneira contrária, a maior dosagem de Al elevou a massa seca da parte aérea na variedade RB1. Segundo Ecco et al. (2011), este efeito sugere a interferência deste elemento nas relações de absorção de energia e transferência eletrônica no fotossistema II.

De maneira diferente às espécies nativas, cujo processo de seleção natural provém uma variedade de respostas de tolerância a fatores de estresse, plantas cultivadas em geral apresentam acentuada redução nas taxas de crescimento e produtividade quando expostas a condições sub-ótimas, (Grime & Campbell, 1991).

No presente estudo, verificou-se a influência do déficit hídrico sobre a redução do crescimento e acúmulo de massa em plantas jovens de cana de açúcar, sendo este efeito semelhante entre as variedades. As diferentes concentrações de Al utilizadas, embora tenham reduzido a massa seca total, não se mostraram efetivas na promoção de respostas de estresse associadas à elevação das doses de Al, embora tenha ocorrido interação entre Al e déficit hídrico.

Conclusões

O estresse hídrico e o alumínio (Al) afetaram significativamente o desenvolvimento inicial das duas variedades de cana de açúcar, RB1 e RB2, utilizadas neste trabalho;

O estresse hídrico foi mais efetivo quanto à redução de massa sendo que o sinergismo com o Al não intensificou as respostas de estresse;

A significativa redução de massa seca do tolete na variedade RB1 indica o maior consumo de energia sob condições de estresse, ao passo que na variedade RB2 não ocorreu este efeito o que pode indicar sua maior tolerância às aos estresses hídricos e por Al.

Referências

- Almeida, S.M.Z., Soares, A.M., Castro, E.M. de, Vieira, C.V., Gajego, E.B. 2005. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. *Ciência Rural* 35: 62-68.
- Almeida, A.C.S., Souza, L.J., Teodoro, I., Barbosa, G.V.S., Filho, G.M., Ferreira Júnior, R.A. 2008. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia* 32: 1441-1448.
- Araújo, R.S.L., Moura, A.R., Rocha, A.P., Oliveira, S.M.C., Nogueira, R.J.M.C. 2010. Avaliação do crescimento inicial, matéria seca e alocação de fitomassa em plantas de mulungu e nim indiano submetidas ao ciclo de rega. In: X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX – UFRPE. *Anais...* UFRPE, Recife, Brasil. p.12.
- Bengough, a. G., Mckenzie, b. M., Hallett, p. D., Valentine, T. A. 2010. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62: 59-68.
- Braccini, M.C.L., Martinez, H.E.P., Pereira, P.R.G., Sampaio, N.F., Silva, E.A.M. 1998. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22: 435-442.
- Carvalho Filho, J.L.S., Arrigoni-Blank, M. de F., Blank, A.F., Rangel, M.S.A. 2003. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. *Cerne* 9: 109-118.
- Cuzzuol, G. R. F., Carvalho, M. A. M., Zaidan, L. B. P. 2005. Growth, photosynthase partitioning and fructan accumulation in plants of Vernonia herbacea (Vell.) Rusby under two nitrogen levels. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 273-281.
- Ecco, M., Santiago, E.F., Xavier, A.L.S. 2011. Fluorescência da clorofila a em plantas jovens de cana (*Saccharum spp*) submetidas ao alumínio e ao estresse hídrico. In: XIII Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XIV Reunião Latino-Americana de Fisiologia Vegetal. *Resumos...* SBFV, Búzios, Brasil. p. 128.
- Franco, H.C.J. 2008. *Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta*. 126 f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.
- Freire, A.L. de O., Leão, D.A.S., Miranda, J.R.P. de. 2012. Acúmulo de massa seca e de nutrientes em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e a doses de fósforo. *Semina: Ciências Agrárias* 33: 19-26.
- Gonçalves, e. R., Ferreira, v. M., Silva, j. V., Endres, I., Barbosa, t. P., Duarte, W. de G. 2010. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14: 378-386.
- Griffiths, H., Parry, M.A.J. 2002. Plant responses to water stress. *Annals of Botany* 89: 801-802.
- Grime, J.P., Campbell, B.D. 1991. Growth Rate, Habitat Productivity, and Plant Strategy. In: Mooney, H. A., Winner, W. E. & Pell, J. E. *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, San Diego, USA. p. 143-157.
- Hussain, A., Chaudhry†, M.R., Wajid, A., Ahmad, A., Ibrahim, M.R.M., Goheer, A.R. 2004. Influence of Water Stress on Growth, Yield and Radiation Use Efficiency of Various Wheat Cultivars. *International Journal of Agriculture & Biology* 6: 1074-1079.
- Leles, P.S.S., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G. 1998. Comportamento de mudas de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) e *Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr. produzidas sob três regimes de irrigação. *Revista Árvore* 22: 11-19.
- Machado, R.S., Ribeiro, R.V., Marchiori, P.E.R., Machado, D.F.S.P., Machado, E.C., Landell, M.G.A. 2009. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 1575-1582.
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*. Editora agrônômica Ceres, São Paulo, Brasil. 251 p.
- Martins, M.O. 2008. *Aspectos fisiológicos do nim indiano sob déficit hídrico em condições de casa de vegetação*. 85 f. (Dissertação de Mestrado)

-
- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Miguel, P.S.B., Gomes, F.T., Rocha, W.S.D., Martins, C.E., Carvalho, C.A., Oliveira, A.V. 2010. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. *CES Revista* 24: 13-29.
- Konrad, M.L.F., Bezerra da Silva, J.A., Furlani, P.R., Machado, E.C. 2005. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de caféiro sob estresse de alumínio. *Bragantia* 64: 339-347.
- Oliveira, R.A., Daros, E., Zambon, J.L.C., Weber, H., Ido, O.T., Zufellato-Ribas, K.C., Koehler, H.S., Silva, D.K.T. 2005. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. *Scientia Agraria* 6: 85-89.
- Otto, R. 2007. *Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada*. 120 f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.
- Peixoto, P.H.O., Pimenta, D.L., Cambraia, J. 2007. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. *Bragantia* 66: 17-25.
- Pincelli, R.P. 2010. *Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas*. 78 f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil.
- Polizer, M., Lastória, G., Rondon, M.A.C. 2000. *Características físicas da região do Passo do Lontra*. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. *Anais...* Brasília, Brasil. CD-ROM
- Reichardt, K. 1988. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 12: 211-216.
- Rodrigues, J.D. 1995. *Fisiologia da cana-de-açúcar*. Universidade Estadual Paulista Botucatu, Brasil. 101p. (Apostila)
- Silva, E.C., Nogueira, R.J.M. 2003. Crescimento de quatro espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico em casa-de-vegetação. *Revista Ceres* 50: 203-217.
- Silva, M. de A., Soares, R.A.B., Landell, M.G.A., Campana, M.P. 2008. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. *Bragantia* 67: 656-661.
- Singels, A., Kennedy, A.J., Bezuidenhout, C.N. 2000. The effect of water stress on sugarcane biomass accumulation and partitioning. *Proceedings of the South African Sugarcane Research Institute* 74: 169-172.
- Willadino, L., Oliveira Filho, R.A., Silva Junior, E.A., Gouveia Neto, A., Camara, T.R. 2011. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. *Revista Ciência Agronômica* 42: 417-422.