

PRODUÇÃO E MATURAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A ENCHARCAMENTO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO

ANTONIO CLARETTE SANTIAGO TAVARES¹; SERGIO NASCIMENTO DUARTE²; NILDO DA SILVA DIAS³; FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ⁴; JARBAS HONÓRIO DE MIRANDA² E CLEYTON DOS SANTOS FERNANDES³

¹Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Almenara, BR 367, km 07, s/n, Zona Rural, Almenara - MG, antonioirrigacao@yahoo.com.br.

²Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11, Piracicaba - SP, snduarte@usp.br, jhmirand@usp.br.

³Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Avenida Francisco Mota, 572, Mossoró - RN, nildo@ufersa.edu.br, cleyton1959@hotmail.com.

⁴Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Duque de Caxias, 506 - Centenário, Campina Grande - PB, vanies_agronomia@hotmail.com.

1 RESUMO

É de interesse agrônomo conhecer os mecanismos fisiológicos das plantas mesófitas sob aeração deficiente no solo. Desse modo, este trabalho teve o objetivo de avaliar a produção e a maturação da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, cultivar RB867515) sob cultivo inundado com diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático, em três estádios de desenvolvimento de um ciclo de cana planta. Um experimento em ambiente protegido foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial (5 x 3 + 1) x 4, isto é, 5 velocidades de rebaixamento do nível freático (30 cm em 3, 6, 9, 12 e 15 dias) e 3 estádios de desenvolvimento (67, 210 e 300 dias após o plantio - DAP) + um tratamento controle (Irrigação sem inundação do solo) com 4 repetições. As análises dos resultados indicaram que o encharcamento não influenciou o acúmulo de biomassa seca e total dos colmos das plantas de cana-de-açúcar, expressando a tolerância desta cultura ao estresse hipóxico. A reversão em biomassa seca dos ponteiros se expressa como um dos mecanismos de tolerância ao estresse hipóxico. Apenas as plantas das parcelas inundadas aos 305 DAP submetida à velocidade de rebaixamento 0,3 m em 12 dias, não apresentou  ndice de maturac o apropriado para a colheita.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., drenagem, estresse hipóxico, nível freático.

TAVARES, A.C.S; DUARTE, S.N.; DIAS, N. da S.; S , F.V. da S; MIRANDA, J. H. de E FERNANDES, C. dos S.

YIELD AND MATURITY OF SUGARCANE UNDER WATERLOGGING IN DIFFERENT DEVELOPMENT STAGES

2 ABSTRACT

It is interesting that agronomists know about the physiological mechanisms of mesophytes plants under soils with deficient drainage. Thus, the objective of this work was to evaluate the production and maturation of sugarcane (*Saccharum* spp, cultivar RB867515) under flooded cultivation with different groundwater recharge rates at three stages of development of a

Recebido em 28/02/2016 e aprovado para publica o em 14/03/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p154-166>

sugarcane cycle plant. An experiment in a protected environment was conducted in a randomized block design in a factorial scheme $(5 \times 3 + 1) \times 4$, that is, 5 water table level lowering velocities (30 cm in 3, 6, 9, 12 and 15 days) and 3 stages of development (67, 210 and 300 days after planting - DAP) + a control treatment (irrigation without soil flooding) with 4 replications. The analysis of the results indicated that the flooding did not influence the accumulation of dry and total biomasses of the canes of the sugarcane plants, expressing the tolerance of this culture to the hypoxic stress. The reversal in dry biomass of the pointers is expressed as one of the mechanisms of tolerance to hypoxic stress. Only plants from the flooded portions from the 305 DAP subjected to the lowering speed of 0.3 m in 12 days did not show a proper maturation rate for harvest

Keywords: *Saccharum* spp, drainage, hypoxic stress, water table level.

3 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por açúcar e etanol combustível promove a constante ampliação da área cultivada com a cana-de-açúcar e seu plantio no Brasil, com sucessivos aumentos de produtividade. A cana-de-açúcar é a *commodity* agrícola que mais cresceu nos últimos anos no Brasil, além da sua potencialidade econômica, devido a utilização na produção de etanol e de açúcar refinado, com valor econômico elevado; a cultura ainda desempenha grande importância social na geração de empregos e renda, desde o plantio até o seu beneficiamento (BENNETT et al. 2012, GALON et al. 2012, SILVA et al. 2012).

Existem expressivas áreas produtivas do território brasileiro, potencialmente aptas para o cultivo da cana-de-açúcar, mas com problemas relacionados à deficiência natural de drenagem. Dentre estas áreas destacam-se: a) as várzeas, b) as terras localizadas à meia encosta sujeitas à interferência temporária do lençol freático, c) as áreas de topografia desfavorável sujeitas a acúmulo temporário de água do escoamento superficial, d) os solos em recuperação e/ou degradados pelo manejo excessivo e, e) as terras altas cujos solos são de estruturas ou textura que conferem baixa capacidade de infiltração de água (CALHEIROS et al. 2000).

Para sanar a deficiência de drenagem natural e permitir o cultivo sustentável da cana, têm sido instalados sistemas de drenagem subterrânea em vários Estados. Entretanto, estes sistemas são, geralmente, projetados empiricamente com base na experiência prática do projetista ao invés de critérios técnicos racionais. Como a necessidade de drenagem artificial e o seu dimensionamento dependem das propriedades físico-hídricas e geométricas do perfil do solo, a adoção de procedimento empírico é a principal causa do insucesso do cultivo da cana-de-açúcar nessas áreas com deficiência de drenagem (MINGOTI et al. 2006). A variabilidade do solo dificulta a adoção de valores representativos para estas propriedades; entretanto, este problema pode ser contornado com uma investigação de campo mais detalhada (DUARTE; MIRANDA; FOLEGATTI, 2001).

Pesquisas têm demonstrado que a sensibilidade da cana-de-açúcar ao excesso de umidade do solo depende, dentre outros fatores, do clima da região e do estágio fenológico em que o encharcamento ocorre (MACHADO et al. 2009, BASSOI et al. 2011). Assim, é necessário identificar o estágio mais restritivo e a velocidade média mínima de rebaixamento do lençol capaz de não comprometer a produtividade da cultura explorada, de forma que o sistema de drenagem possa ser dimensionado com segurança (CALHEIROS et al. 2000, VIEIRA et al. 2012).

Diante da necessidade de conhecer a resposta das plantas mesófitas sob aeração deficiente no solo, este trabalho teve o objetivo de avaliar a produção e a maturação da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., cultivar RB867515) sob cultivo inundado em diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático e em três estádios de desenvolvimento de um ciclo de cana planta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), no município de Piracicaba - SP (22°42’ de latitude sul e 47°38’ de longitude oeste e altitude de 540 m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo CWa, isto é, tropical úmido, com 3 meses mais secos (junho, julho e agosto), ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno, apresentando temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial [(3 x 5) + 1] constituindo 16 tratamentos com 4 repetições cada, totalizando 64 parcelas. Os tratamentos consistiram em: 3 estádios de desenvolvimento em que o encharcamento foi aplicado (67, 210 e 305 dias após o plantio – DAP, P₁, P₂ e P₃, respectivamente), com 5 velocidades de rebaixamento do nível freático: rebaixamento a uma profundidade de 30 cm nas velocidades de 3; 6; 9; 12 e 15 dias (V₁, V₂, V₃, V₄ e V₅, respectivamente) e um tratamento com irrigação sem inundação (testemunha, T).

A lâmina de inundação foi inicialmente mantida acima da superfície do solo em, aproximadamente, 2 cm por 12 horas e, após esse intervalo, o rebaixamento progressivo continuou até a drenagem total do lisímetro.

O momento da inundação foi determinado pelos estádios de desenvolvimento da cultura, os quais são os seguintes: a) estágio inicial de desenvolvimento (P₁) - aos 67 DAP, b) estágio de desenvolvimento lento do sistema radicular (P₂) - aos 210 DAP e, c) estágio em que a cana-de-açúcar tem um desenvolvimento acelerado do seu sistema radicular (P₃), ou seja, próximo a colheita, podendo o estresse influenciar no valor qualitativo da produção - aos 305 DAP. Obtiveram-se, assim, as seguintes combinações: T₁ (P₁V₁, P₁V₂, P₁V₃, P₁V₄, P₁V₅); T₂ (P₂V₁, P₂V₂, P₂V₃, P₂V₄, P₂V₅); e T₃ (P₃V₁, P₃V₂, P₃V₃, P₃V₄ e P₃V₅).

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, cultivar RB867515) foi crescida em lisímetros, preenchidos com solo, de 1,2 m de altura e 0,5 m de diâmetro e, área plantada e volume útil 0,20 m² e 240 L, respectivamente. Os lisímetros foram posicionados em 4 linhas de 16 manilhas, sendo que cada um desses recipientes representou uma parcela experimental.

O fornecimento hídrico das plantas ocorreu, individualmente por cada parcela experimental, na parte inferior do lisímetro interligado a um reservatório de PCV e boia para controle da profundidade do nível freático.

Para a admissão de água e drenagem, foram feitos orifícios, próximo à base dos lisímetros, inseridos tubos de PVC de 19 mm de diâmetro, vedados com massa epóxi e veda calha. Os tubos tinham um comprimento de 0,60 m, com furos de 5 mm de diâmetro em seu perímetro, espaçados entre si de 0,05 m. Para facilitar a drenagem e evitar o carreamento de solo, utilizou-se como materiais filtrantes manta geotêxtil sintética (bidim OP -20) e uma camada de 0,10 m de brita lavada.

Os tubulões possuíam uma entrada para água na parte inferior, as quais foram conectadas a reservatórios móveis auxiliares, que permitiam manter o NF no interior dos tubulões na profundidade desejada.

O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado em um perfil de um Latossolo Vermelho Amarelo, de textura franco-arenosa, presente no Campus da ESALQ/USP, denominado Série Sertãozinho, retirado do seu perfil natural na profundidade de 0 a 0,50 m. A partir da coleta de amostras deformadas foram determinados os atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Análises granulométrica e química do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros.

| Areia (%) | | Silte (%) | | | | Argila (%) | | | Densidade de partículas (g dm ⁻³) | | | | |
|-------------------|--------------------|---------------------|---|-----|----|------------|----|------|---|------|----|----|---|
| 78 | | 4 | | | | 18 | | | 2,86 | | | | |
| pH | M.O | P | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | T | V | M | |
| CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | -----mmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | | | | % |
| 4,2 | 8 | 2 | 20 | 3,6 | 7 | 3 | 6 | 20 | 13,6 | 33,6 | 40 | 31 | |

A calagem do solo foi realizada na ocasião do preenchimento dos lisímetros, aplicando-se 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (40 g por lisímetro), homogeneizado ao solo em camadas a partir dos 0,50 m, de baixo para cima, corrigindo uma camada total de solo de 0,30 m. Após o preenchimento dos lisímetros elevou-se o NF até a superfície do solo de forma que este acomodasse e o calcário reagisse.

A adubação química foi aplicada em três parcelas, garantindo o pleno desenvolvimento vegetativo e a produtividade. Utilizou-se a seguintes doses por hectare: 67 kg de nitrogênio, 180 kg de P₂O₅ e 225 kg de K₂O, o que correspondeu a 10,5; 20 e 10 g por lisímetro, respectivamente. A adubação fosfatada foi realizada no plantio, utilizando o fertilizante super fosfato simples (18% de P₂O₅). O nitrogênio e o potássio foram aplicados em três coberturas aos 40; 110 e 220 DAP, utilizando nitrato de potássio (45% de K₂O e 13% de N). Aos 150 DAP foi incorporado 5 kg de matéria orgânica em cada parcela, de forma a melhorar a aeração na camada superficial do solo, melhorando sua estrutura e também proporcionando a redução da temperatura superficial do solo.

No estágio inicial da cana-planta, preocupou-se em proporcionar condições de umidade ideais para a brotação e o enraizamento dos toletes. Nos primeiros 20 DAP, fizeram-se irrigações diárias com água da rede de abastecimento municipal, a fim de manter o solo com uma umidade satisfatória. Entre o período de 20 a 30 DAP estacionou-se o NF a 0,30 m da superfície, por meio do sistema de inundação utilizado, uma vez que o sistema radicular ainda se encontrava em desenvolvimento, evitando assim que a cultura sofresse algum estresse hídrico. Após 30 DAP, o NF foi rebaixado a 0,40 m de profundidade para estimular o desenvolvimento do sistema radicular, ocasião em que se instalaram os tensiômetros nas parcelas a 30 cm de profundidade.

A cana foi irrigada ao longo do ciclo, exceto no período em que os tratamentos com inundação foram aplicados, garantindo que as diferenças obtidas fossem proporcionadas apenas pelo estresse por excesso de umidade (hipoxia). Depois de aplicados os tratamentos, rebaixava-se o NF até a 0,80 m da superfície do solo e a irrigação destas plantas recomeçava no momento em que o valor das leituras dos tensiômetros instalados a 0,30 m de profundidade nos lisímetros atingia o valor de 50 kPa.

O sistema de irrigação utilizado foi a sub-irrigação, utilizando o mesmo sistema de inundação dos lisímetros. O nível do reservatório auxiliar ficou estacionado a 0,40 m de profundidade, e quando se detectava que as leituras dos tensiômetros estavam acima da tensão especificada, os registros dos reservatórios eram abertos e o NF permanecia nesta profundidade dentro dos lisímetros por um período de 24 horas. Assim, a lâmina aplicada em cada irrigação foi a suficiente para elevar novamente a umidade do solo próxima ao valor da umidade na capacidade de campo (6 kPa), caracterizada pela curva característica de retenção da água no solo. A irrigação foi contínua e mantida até sua paralização, 45 dias antes do corte.

A colheita da cana-planta foi realizada aos 340 DAP, sendo determinadas as variáveis de produção: massa verde dos colmos (MVC), massa seca dos colmos (MSC), massa verde dos ponteiros (MVP), massa seca dos ponteiros (MSP), massa verde total (MVT) e massa seca total (MST).

Os colmos foram colhidos rente ao solo, fazendo o desponte para colheita (fixado sempre em um mesmo colarinho da folha +5). Foram separados e pesados da parte aérea: folhas + bainhas; colmos dos ponteiros (palmito) e colmos, que posteriormente foram secos em estufa, com circulação de ar forçado à temperatura de 65 °C, até peso constante e para avaliação da massa seca.

O índice de maturação foi determinado aos 330 dias após o plantio utilizando-se refratômetro de campo. O refratômetro fornece diretamente a concentração de sólidos solúveis do caldo (Brix). O Brix está estreitamente correlacionado ao teor de sacarose da cana-de-açúcar. O critério mais racional de estimar a maturação pelo refratômetro de campo é pelo índice de maturação (IM), que fornece o quociente da relação Brix da ponta do colmo/ Brix da base do colmo. As médias do índice de maturação foram interpretadas de acordo com os estágios de maturação da cana-de-açúcar (CESNIK e MIOCQUE 2004). Os autores apresentam valores limites de IM que caracteriza estes estágios, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Índice de maturação da cana-de-açúcar baseada em valores do Brix do ápice e da base do colmo.

| IM | Estagio de maturação |
|-------------|--------------------------------|
| < 0,70 | Cana verde |
| 0,71 – 0,80 | Cana em maturação baixa |
| 0,81 – 0,90 | Cana em maturação média |
| 0,91 – 1,00 | Cana madura |
| > 1,00 | Cana em maturação ultrapassada |

Os resultados das variáveis avaliadas foram interpretados por meio de análise de variância. Tendo em vista que os fatores empregados foram quantitativos e qualitativos, realizou-se o teste F conjuntamente com os testes de Tukey e Dunnett, em nível de 5% de probabilidade, para comparação da média entre os tratamentos e dos tratamentos como a testemunha, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de colmo

Observou-se efeito significativo da interação velocidade de rebaixamento x estágio de desenvolvimento para a variável massa verde e seca dos colmos da cana-de-açúcar, no entanto,

fazendo o desdobramento e comparando as médias pelo teste Tukey a 5%, a diferença não foi expressa. Pode-se afirmar que o encharcamento do solo cultivado com cana-de-açúcar, nas diferentes velocidades de rebaixamento aos 67, 210 e 305 DAP não interferiu na produção de massa verde e seca dos colmos, sendo registradas médias entre 2,96 a 4,07 kg por parcela para a massa verde e de 1,1 a 1,26 kg por parcela para massa seca dos colmos, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Teste de médias para a massa verde dos colmos (A) e massa seca dos colmos (B) de plantas de cana-de-açúcar para a interação velocidade de rebaixamento do nível freático x estágio de desenvolvimento. Piracicaba - SP, 2015.

| Dias após inundação | Massa verde dos colmos (Kg) | | | Massa seca dos colmos (Kg) | | |
|---------------------|-----------------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | Dias após o plantio (DAP) | | | | | |
| | 67 | 210 | 305 | 67 | 210 | 305 |
| 3 | 3,90 Aa | 2,96 Aa | 4,07 Aa | 1,18 Aa | 1,10 Aa | 1,26 Aa |
| 6 | 3,24 Aa | 3,67 Aa | 3,10 Aa | 1,14 Aa | 1,17 Aa | 1,13 Aa |
| 9 | 3,13 Aa | 4,00 Aa | 3,07 Aa | 1,14 Aa | 1,21 Aa | 1,17 Aa |
| 12 | 3,40 Aa | 2,97 Aa | 3,87 Aa | 1,16 Aa | 1,16 Aa | 1,20 Aa |
| 15 | 3,33 Aa | 4,01 Aa | 2,98 Aa | 1,21 Aa | 1,22 Aa | 1,10 Aa |

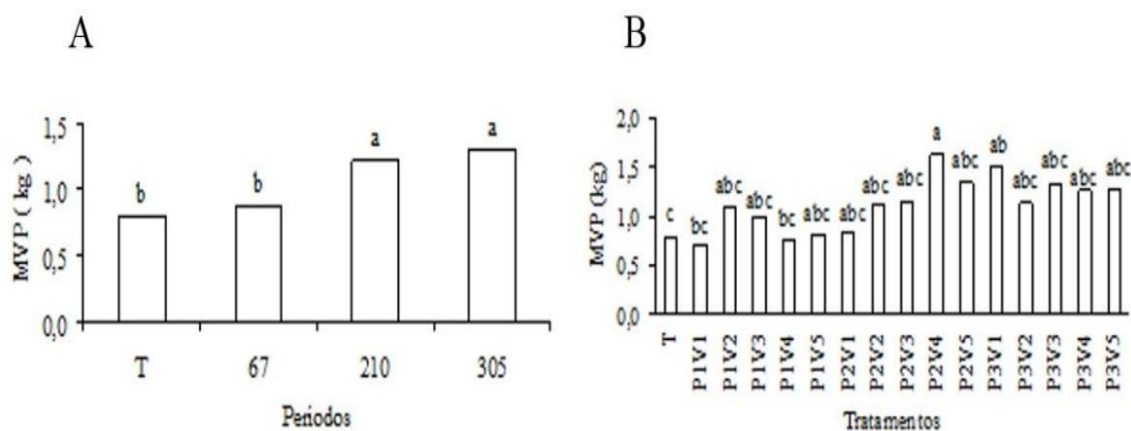
Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Cruciani e Minami (1981) estudaram os efeitos da inundação em cana-de-açúcar (5 e 10 dias de excesso de água) e não observaram influência significativa da inundação sob o crescimento da parte aérea. Os autores atribuem esse resultado ao curto período de estudo, que não foi suficiente para afetar o crescimento da cana-de-açúcar, dando tempo para a recuperação rápida da planta, fato que pode ter ocorrido no presente experimento. Os autores, ainda afirmam que as condições ambientais (alta temperatura e umidade), mantiveram as plantas em um estado vegetativo permanente e, conseqüentemente, não comprometeu o crescimento e o acúmulo de biomassa dos colmos.

Calheiros et al. (2000) encontraram efeito significativo na redução da massa seca de plantas de trigo causados pela severidade do estresse hipóxico, sendo o efeito inversamente proporcional à altura das plantas, apontando para o estiolamento como uma forma de adaptação induzida por encharcamento. Dessa forma, a adaptação das plantas de cana-de-açúcar ao encharcamento pode ter ocasionado o seu estiolamento e, portanto, inibiu o efeito sobre o acúmulo de biomassa dos colmos.

Na Figura 1A são comparadas as médias de MVP entre os estádios de desenvolvimento e o tratamento testemunha (plantas que não sofreram inundação), por meio dos valores médios obtidos em cada período, nos quais as plantas sofreram o estresse por excesso de umidade. Observa-se que as médias de massa verde dos ponteiros foram superiores nas plantas de cana cultivadas sob inundação provocada aos 210 e 305 DAP, diferindo dos valores médios de massa verde das parcelas que sofreram estresse aos 67 e do tratamento testemunha.

Figura 1. Médias da massa verde dos ponteiros dentro dos estádios de desenvolvimento (A) e massa verde dos ponteiros segundo as velocidades de rebaixamento do nível freático e os estádios de desenvolvimento (B).



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade e quando comparados, os períodos com a testemunha, não diferem perante o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

O rebaixamento do NF após os 0,3 m ocorreu de forma gradativa, condição considerada por Calheiros et al. (2000) como uma das opções de indução adaptativa. Segundo esses autores, o rebaixamento lento talvez seja a mais prática e efetiva estratégia de indução do sistema radicular à adaptação físico-morfológica, ao invés de curtos e intermitentes períodos hipóxicos, como o empregado por esses autores e por Paula (2008). Acredita-se com isso, que induções do estresse em fases intermediárias da cultura sirvam como estímulo para o crescimento e expansão foliar, haja vista, que a massa verde dos ponteiros está diretamente relacionada ao vigor vegetativo das plantas, números de folhas abertas, números de folhas presentes no cartucho e, conseqüentemente, a área foliar.

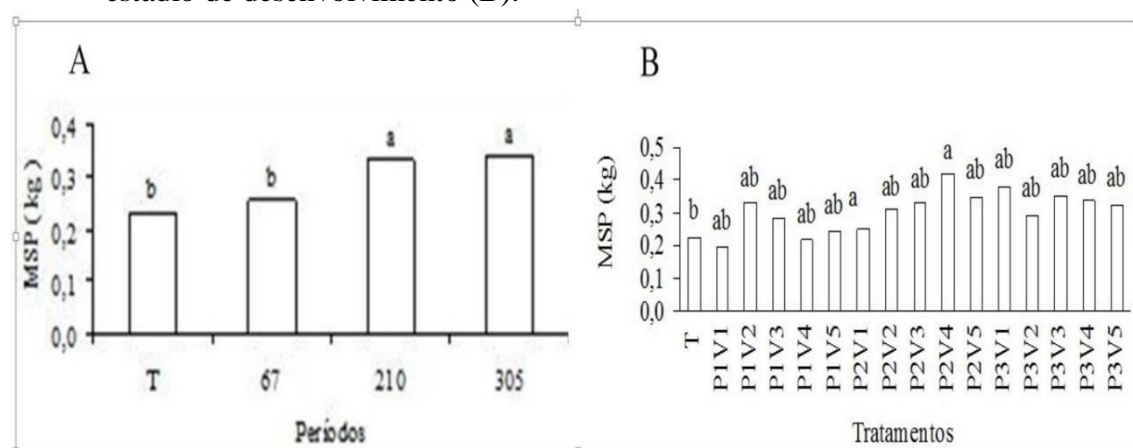
A Figura 1B apresenta os valores médios de massa verde dos ponteiros, para os diferentes tratamentos, resultantes da combinação entre o rebaixamento de 0,30 m em 3; 6; 9; 12 e 15 dias e os períodos nos quais ocorreu o estresse por excesso de água no sistema radicular das plantas. Analisando-se as médias da massa verde dos ponteiros para os diferentes tratamentos, verifica-se que o tratamento P₂V₄ resultou em maior acúmulo de massa verde dos ponteiros (1,64 kg), diferindo significativamente dos valores médios encontrados nas parcelas, com plantas da testemunha e dos tratamentos P₁V₁ e P₁V₄ (0,79; 0,70 e 0,76 kg, respectivamente). Entretanto, na grande maioria dos tratamentos, a massa verde dos ponteiros mostrou valores médios semelhantes estatisticamente ao P₂V₄. Considerando o estresse por encharcamento como um estimulante do crescimento como observado na Figura 1A, pondera-se que a aplicação na fase P₁ acarretou no menor rendimento de biomassa, ou seja, a aplicação do estresse em fase inicial pode comprometer o desenvolvimento futuro da planta em função do sistema radicular limitado e pouco desenvolvido presente nesta fase.

Esse mesmo efeito foi observado por Calheiros et al. (2000) ao cultivar trigo sob condição de encharcamento. Com base nesta constatação, pode-se inferir que, o sistema radicular é fortemente influenciado pela inundação em fases iniciais, limitado pelo NF a 0,3 m de profundidade, não conseguindo suprir a planta de forma conveniente. Os autores salientam que esse estresse é tão mais intenso quanto maior for à temperatura e a evapotranspiração da área de cultivo.

Com relação à massa do ponteiro, para o fator velocidade de rebaixamento, observou-se que o encharcamento aos 210 e 305 dias promoveu o maior acúmulo de massa seca (média

de 0,32 kg), ao passo que, as plantas que não sofreram estresse e aquelas que sofreram em fases iniciais obtiveram o menor acúmulo de massa seca dos ponteiros (0,23 kg) (Figura 2A), indicando que as plantas de cana-de-açúcar são tolerantes ao encharcamento em fases mais avançadas do seu ciclo de cultivo, e que o estresse ocasionado promove adaptações que estimulam o seu crescimento.

Figura 2. Médias para a massa seca dos ponteiros dentro dos estádios de desenvolvimento (A) e massa seca dos ponteiros para as velocidades de rebaixamento do nível freático e estágio de desenvolvimento (B).



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade e quando comparados, os períodos com a testemunha, não diferem perante o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

As respostas aos efeitos do encharcamento do solo são descritos na literatura para outras espécies (DAVANSO et al. 2002; FERREIRA; MAGALHÃES; BORÉM, 2008, GARCIA et al. 2010), embora, muitas vezes, as adaptações físico-morfológicas sejam suficientes para manter as plantas vivas e até mesmo produzindo, como observado por Pires; Soprano e Cassol (2002) em plantas de soja. Estes autores destacam que o comportamento das espécies aos efeitos do encharcamento é dependente das características botânicas entre as espécies, ou seja, da sua tolerância ou sensibilidade à deficiência de oxigênio.

Para representar os valores extremos médios de massa seca dos ponteiros destaca-se o tratamento P₂V₄ (0,42 kg) e a média das plantas testemunha (0,23 kg) (Figura 2B). Contrariamente, para a condição de inundação das parcelas experimentais, Sá et al. (2005) comprovou que massa seca total da parte aérea das plantas de soja decresceu linearmente com o prolongamento da inundação do solo. Costa et al. (2008) também observaram decréscimos na massa seca da beterraba em resposta ao encharcamento do solo; no entanto, esses autores verificaram que o efeito foi mais severo quando o estresse foi aplicado nos estádios de desenvolvimento mais avançados da cultura. Estes resultados comprovam que as repostas ao encharcamento varia entre as espécies, fato este, que pode estar relacionada principalmente à natureza do seu sistema radicular.

A massa verde total não apresentou diferença significativa para o desdobramento da interação velocidade de rebaixamento x estágio de desenvolvimento. Para o período de 210 DAP os maiores valores de massa verde total ocorreram nas parcelas que tiveram o rebaixamento mais lento; já no período 305 DAP obteve-se a maior massa verde total para o rebaixamento dos 0,3 m em 3 dias (Tabela 4). A massa verde total expressa a fitomassa das plantas considerando as partes que são de interesse comercial (colmos), e também a parte aérea (ponteiros), que são deixados na área no momento da colheita, constituindo material que entra

na ciclagem dos nutrientes no solo. Com isso, pode afirmar a inexistência de estresse ou adaptação das plantas com o prolongamento do alagamento.

Tabela 4. Teste de médias para a massa verde total e massa seca total de plantas de cana-de-açúcar para a interação velocidade de rebaixamento do nível freático x estágio de desenvolvimento. Piracicaba - SP, 2015.

| Dias após inundação | Dias após o plantio (DAP) | | | | | |
|---------------------|---------------------------|---------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | 67 | 210 | 305 | 67 | 210 | 305 |
| | Massa verde total (Kg) | | | Massa seca total (Kg) | | |
| 3 | 3,85 Aa | 4,76 Aa | 5,61 Aa | 1,40 Aa | 1,22 Aa | 1,61 Aa |
| 6 | 4,55 Aa | 4,78 Aa | 4,45 Aa | 1,40 Aa | 1,47 Aa | 1,39 Aa |
| 9 | 4,46 Aa | 4,98 Aa | 4,78 Aa | 1,38 Aa | 1,50 Aa | 1,48 Aa |
| 12 | 4,48 Aa | 4,75 Aa | 5,18 Aa | 1,39 Aa | 1,43 Aa | 1,45 Aa |
| 15 | 4,59 Aa | 5,13 Aa | 4,48 Aa | 1,43 Aa | 1,49 Aa | 1,38 Aa |

Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Para a massa seca total não foi observado influência significativa nos diferentes períodos e sob diferentes velocidades de rebaixamento do NF (Tabela 4). De forma contrária, Glinski e Stepniewski (1986) afirmam que, dependendo do estágio do desenvolvimento, o estresse anoxítico causa profundas alterações bioquímicas e químicas nas plantas, que se refletem na produção biológica, na partição dos assimilados, e, conseqüentemente, na produção econômica. Todavia, há a possibilidade de existência de plantas tolerantes ao estresse anoxítico, a exemplo da variedade de cana-de-açúcar estudada no presente trabalho, a qual não foi influenciada em nenhum estágio de desenvolvimento na fase de cana planta.

A literatura reporta que solos com problemas de excesso de umidade, em condições temporárias ou permanentes de alagamento (formação de lâmina de água na superfície) e encharcamento (saturação hídrica) causam déficit na disponibilidade de oxigênio (hipoxia e anoxia) e, conseqüentemente, desequilíbrio nutricional e perdas de crescimento e produção na maioria dos genótipos da cana-de-açúcar (HASAN et al., 2003). Os efeitos do excesso de água no solo ocorrem, na maioria das vezes, nas raízes e indiretamente na parte aérea das plantas, sendo a eficiência dos mecanismos de adaptação das espécies e dos genótipos que determina a tolerância da planta à deficiência de oxigênio (ISLAM et al, 2011).

Assim, pode-se inferir que a tolerância ao encharcamento encontrada no presente estudo pode ser atribuída, entre outros fatores, aos mecanismos de adaptação do genótipo estudado.

5.2 Índice de maturação

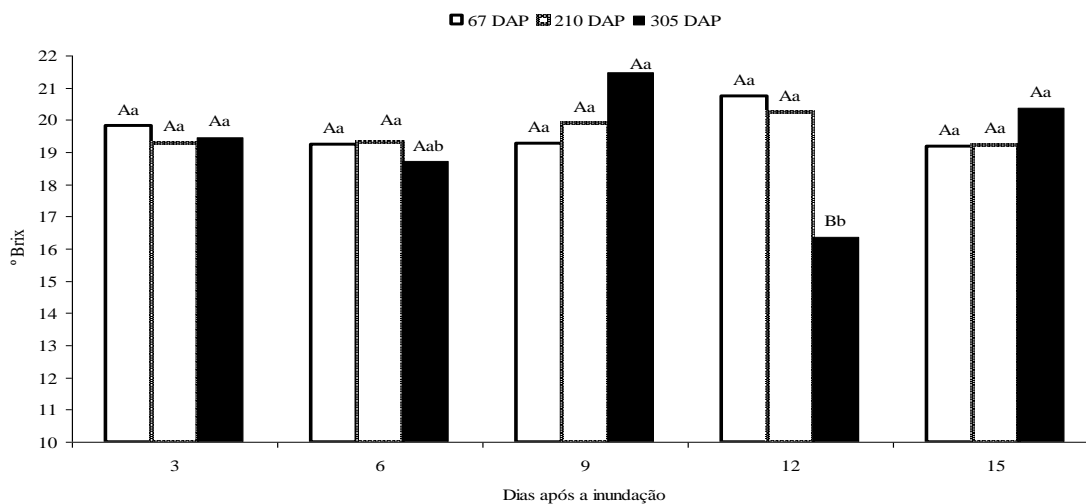
De acordo com a ANOVA, a variável grau °Brix diferiu significativamente para os fatores posições e interação velocidades x períodos, para os três diferentes colmos avaliados e para os tratamentos compostos pela velocidade de rebaixamento. As demais causas não expressaram significância (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância do grau °Brix e Índice de maturação (IM) para os fatores velocidades, períodos de inundação e interações. Piracicaba - SP, 2015.

| Causas de variação | °Brix | | Índice de maturação | |
|----------------------|-------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| | GL | QM | GL | QM |
| Períodos | 2 | 3,68 ^{ns} | 2 | 0,02026 ^{ns} |
| Velocidade | 4 | 10,22 ^{ns} | 4 | 0,01988 ^{ns} |
| Posições | 2 | 230,98 ^{**} | - | |
| Velocidades*Períodos | 8 | 32,32 ^{**} | 8 | 0,02308 ^{ns} |
| Períodos*Posições | 4 | 3,86 ^{ns} | - | |
| Velocidades*Posições | 8 | 3,02 ^{ns} | - | |
| Colmos | 2 | 94,85 ^{**} | 2 | 0,15157 ^{**} |
| Bloco | 1 | 11,75 ^{ns} | 1 | 0,00003 ^{ns} |
| Tratamento | 15 | 21,89 ^{**} | 15 | 0,02185 ^{ns} |
| Resíduo | 262 | 8,20 | 76 | 0,02323 |
| Total | 278 | | 92 | |

** e ^{ns}; significativo e não significativo, respectivamente, ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

Os valores médios extremos de °Brix foram 21,48 e 16,37% para o estresse das plantas aos 305 DAP e para as velocidades de rebaixamento de 0,3 m em 9 e 12 dias após a inundação das parcelas, respectivamente (Figura 3). Se comparados com os valores recomendados por Marques; Marques e Tasso Junior (2001) as parcelas que sofreram inundação aos 305 DAP e submetida à velocidade rebaixamento de 0,3 em 12 dias ainda não se encontravam maduras.

Figura 3. Valores médios de °Brix obtido em diferentes posições dos colmos considerando a interação velocidade x período.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas comparam médias entre os dias após a inundação e as maiúsculas comparam médias entre os períodos.

Hasan et al. (2003) avaliaram o crescimento e a produção de cultivares de cana-de-açúcar em condições de inundação do solo e, concluíram que, devido à potencialidade genética de algumas cultivares testadas apresentaram desempenho semelhante ao cultivo normal em termos de qualidade, rendimento e crescimento. Os autores verificaram que a maior porcentagem e

qualidade do caldo foram encontradas em cana sob condições inundadas. Por outro lado, o crescimento e o rendimento dos colmos foram maiores em condições normais de cultivo.

Observaram-se variações no °Brix dos colmos em função da região amostrada e da idade dos colmos, verificando-se que a ponta do colmo e os colmos mais velhos obtiveram os maiores °Brix (Tabela 6). Fato esperado, haja vista, que a sacarose acumula-se na extremidade superior do colmo e que a sua degradação ocorre da base para ponta do mesmo. Além de que colmos mais jovens são menos desenvolvidos e ainda não atingiram o auge desse açúcar. Em função da relação entre os valores do °Brix da base com da ponta expressarem o índice de maturação, os colmos cronologicamente mais velhos apresentaram valores de índice de maturação com diferença significativa em relação ao terceiro colmo que ainda se encontravam na sua fase vegetativa (médias de 0,86, 0,90 e 0,76 para o primeiro, segundo e terceiro colmo, respectivamente).

Tabela 6. Índice de maturação obtido nas parcelas considerando o desenvolvimento dos colmos amostrados. Piracicaba - SP, 2015.

| Seção do Colmo | ° Brix dos colmos | | Índice de maturação | | |
|----------------|-------------------|----------------|---------------------|----------------|--------|
| | | Idade do colmo | | Idade do colmo | |
| Ponta | 21,3 a | 1 | 20,1 a | 1 | 0,86 a |
| Meio | 19,2 a | 2 | 20,5 a | 2 | 0,90 a |
| Base | 18,1 b | 3 | 18,3 b | 3 | 0,76 b |

Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com base na classificação Cesnik e Mioque (2004) apenas o primeiro e segundo colmo apresentam grau de maturação próximo do ideal, sendo identificados como cana em maturação média, ao passo que o terceiro colmo ainda se encontrava com baixos índices de maturação (Tabelas 2 e 6).

6 CONCLUSÕES

A cultivar de cana-de-açúcar estudada (*Saccharum* spp, cultivar RB867515) é relativamente tolerante ao estresse hipóxico em termo de produção e acúmulo de biomassa.

A reversão em biomassa dos ponteiros se expressa como um possível mecanismo de adaptação ao estresse hipóxico, do tipo estiolamento.

O índice de maturação não se mostrou adequado quando as plantas foram inundadas aos 305 DAP e submetida à velocidade de rebaixamento 0,3 m em 12 dias.

7 REFERÊNCIAS

BASSOI, L.H.; GONÇALVES, S. O.; SANTOS, A. R. L.; SILVA, J. A; LIMA, A. C. M. Influência de manejos de irrigação sobre aspectos de ecofisiologia e de produção da videira cv. Syrah/Paulsen 1103. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 395-402, 2011.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; PARIZ, C. M.; MAEDA, A. S.; GARCIA, C. M. P. Qualidade e produtividade da cana planta e cana soca e m função de doses e fontes de manganês. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 198-205, 2012.

CALHEIROS, R.O.; CRUCIANI, D. E.; ARRUDA, F. B.; VOLTAN, R. B. Q.; SAKAI, E.; PIRES, R. C. M. Efeito do manejo do lençol freático na adaptação fisiomorfológica de duas espécies de trigo ao encharcamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 194-202, 2000.

COSTA, R.N.T.; VASCONCELOS, J. P.; SILVA, L. A.; NESS, R. L. Interferência do excesso de água no solo e componentes de produção em beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 74-77, 2008.

CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Efeitos das inundações periódicas sobre a produção de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, n. 2, p. 57-61, 1981.

DAVANSO, V.M.; SOUZA, L. A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex. Griseb (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 375-384, 2002.

DUARTE, S.N.; MIRANDA, J. H.; FOLEGATTI, M. V. Dimensionamento econômico de sistemas de drenagem para a produção de cana-de-açúcar usando o modelo SISDRENA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2001.

FERREIRA, J.L.; MAGALHÃES, P. C.; BORÉM, A. Avaliação de três características fisiológicas em 4 ciclos de seleção no cultivar de milho BRS-4154 sob solo encharcado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1719-1723, 2008.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; SILVA, A. F.; BEUTLER, A. N.; ROCHA, P. R. R.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A. Disponibilidade de macronutrientes em cultivares de cana-de-açúcar submetidas à competição com *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1372-1379, 2012.

GARCIA, G.O.; FERREIRA, P. A.; FIGUEIREDO, W. S. C.; SANTOS, D. B. Fator de susceptibilidade e produtividade da ervilha para diferentes alturas de lençol freático. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 265-271, 2010.

GLINSKI, J.; STEPNIIEWSKI, W. **Soil aeration and its role for plants**. Boca Raton: CRC Press, 1986. 228p.

HASAN, M.F.; ALAM, M. R.; JABBER, M. A.; BEGUM, M. K.; MIAH, M. A. S. Effects of water-logging on juice quality and yield of sugarcane. **Pakistan Journal of biological sciences**, Dubai, v.6, n.13, p.1151-1155, 2003.

ISLAM, M.S.; MIAH, M. A. S.; BEGUM, M. K.; ALAM, M. R.; AREFIN, M. S. Growth, yield and juice quality of some selected sugarcane clones under water-logging stress condition. **World Journal of Agricultural Sciences**, Dubai, v.7, n.4, p.504-509, 2011.

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

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JUNIOR, L.C. **Tecnologia do açúcar: Produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. 166 p.

MINGOTI, R.; DUARTE, S. N.; MIRANDA, J. H.; CRUCIANI, D. E. Dimensionamento econômico de profundidades e espaçamentos de drenos para a produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 535-540, 2006.

PAULA, A.L. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos**. 2008. 150 p. Tese (Doutorado na área de Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PIRES, J.L.F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.1, p.41-50, 2002.

SÁ, J.S.; CRUCIANI, D. E.; DUARTE, S. N.; PEREIRA, J. R. B. Sensibilidade de plantas de soja ao rebaixamento do nível freático. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 135-145, 2005.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; WALTER JUNIOR, G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, E. L.; DELAZARI, F. T. Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 234-244, 2012.