

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de graduação em Agronomia

HUGO HERMANO LUIZ TOSTES

Doses de Boro aplicadas via foliar, sua absorção e transporte na cana-de-açúcar

Uberlândia - MG

2022

HUGO HERMANO LUIZ TOSTES

Doses de Boro aplicadas via foliar, sua absorção e transporte na cana-de-açúcar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Dr. Hamilton Seron Pereira

Uberlândia - MG

2022

HUGO HERMANO LUIZ TOSTES

Doses de Boro aplicadas via foliar, sua absorção e transporte na cana-de-açúcar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Uberlândia, 31 de março de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Dr. Gustavo Alves Santos

Me. Camila Lariane Amaro

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais, José Adalberto e Nayara, minha namorada Layssa, pelo apoio e incentivo, e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias.

Ao Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira, pelos ensinamentos e suporte para a realização do projeto.

Aos colegas do GPSI, companheiros que estiveram presentes em todas as fases, na casa de vegetação; e laboratório para avaliações.

Aos meus pais, José Adalberto e Nayara pelo apoio e incentivo.

minha namorada Layssa pelo encorajamento.

A minha família, que é a base de tudo.

Agradeço a todos que me ajudaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura de grande importância socioeconômica no Brasil, sendo sua produtividade dimensionada por diversos fatores, com destaque às condições de fertilidade do solo. O Cerrado apresenta elevado grau de intemperismo, baixa fertilidade natural e grandes limitações para a produção agrícola, nessas condições o uso de fertilizantes foliares a base de boro é uma alternativa para suprimento de micronutrientes para culturas cultivadas. Na agricultura, o boro poliol é um fertilizante capaz de mimetizar biomoléculas que poucas espécies vegetais elaboram para o transporte do elemento via floema. Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar doses, absorção e transporte de boro (B) aplicado via foliar na cultura da cana-de-açúcar em condições controladas na casa de vegetação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia-MG, durante o período de 19/02/2021 a 05/08/2021. O delineamento estatístico adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com 7 tratamentos e 4 repetições, distribuídas em 28 vasos de PVC com capacidade de 40 dm³ de solo. Foram avaliados os tratamentos de B Poliol, solução de Ácido bórico, e Testemunha; com doses respectivamente de, 50, 100 e 150 g há⁻¹ de B Poliol e 100, 200 e 300 g há⁻¹ de solução com ácido bórico. Com finalidade de evitar contaminação, os vasos com MPB foram protegidos com plástico filme. Para a análise de teores de macro e micronutrientes, todas as folhas foram coletadas e devidamente preparadas para análise. As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância utilizando o programa SISVAR 5.3 e comparadas pelos testes de Tukey Scott-Knott. Também foi realizada análise de regressão com o auxílio dos programas SISVAR 5.3 e SigmaPlot 11.3. Os resultados mostraram maiores teores de B nas folhas velhas que haviam recebido pulverização foliar, enquanto as folhas novas, que se desenvolveram após a aplicação, não apresentaram diferença estatística. A maior absorção e translocação de B foram obtidas com a aplicação das duas maiores doses de B Poliol (100 e 150g há⁻¹ de B). Quando aplicados nas doses de 50 e 100g há⁻¹ de B, a aplicação de Boro Poliol resultou em valores de matéria fresca e matéria seca da parte aérea nas plantas de cana-de-açúcar superiores aos obtidos com a aplicação de 200g há⁻¹ de B via ácido bórico.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Ácido Bórico; Adubação foliar; Poliol; Micronutrientes.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum* spp.) is a crop of great socioeconomic importance in Brazil, and its productivity is scaled by several factors, especially soil fertility conditions. The Brazilian Savanna has a high degree of weathering, low natural fertility and major limitations for agricultural production, under these conditions, the use of boron-based foliar fertilizers is an alternative to supply micronutrients for cultivated crops. In agriculture, Boron polyol is a fertilizer capable of mimicking biomolecules that few plant species elaborate to transport the element via phloem. Thus, the objective of the present work was to evaluate doses, absorption and transport of boron (B) applied via foliar in the sugarcane crop under controlled conditions in the greenhouse. The experiment was conducted in a greenhouse belonging to the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Uberlândia-MG, during the period from 02/19/2021 to 08/05/2021. The statistical design adopted was completely randomized (DIC), with 7 treatments and 4 replications, distributed in 28 PVC pots with a capacity of 40 dm³ of soil. The treatments of B Polyol, Boric Acid solution, and Control were evaluated; with doses respectively of 50, 100 and 150 g ha⁻¹ of B Polyol and 100, 200 and 300 g ha⁻¹ of boric acid solution. To avoid contamination, the pots with MPB were protected with plastic film. For the analysis of macro and micronutrient contents, all leaves were collected and properly prepared for analysis. The treatment means were submitted to analysis of variance using the SISVAR 5.3 program and compared by Tukey Scott-Knott tests. Regression analysis was also performed using the SISVAR 5.3 and SigmaPlot 11.3 programs. The results showed higher levels of B in the old leaves that had received foliar spray, while the new leaves, which developed after application, did not show statistical difference. No differences were observed in N contents in young and old leaves after application of different doses of B Polyol and boric acid. The highest absorption and translocation of B were obtained with the application of the two highest doses of B Polyol (100 and 150g ha⁻¹ of B). When applied at doses of 50 and 100g ha⁻¹ of B, the application of B Polyol resulted in values of fresh matter and shoot dry matter in sugarcane plants higher than those obtained with the application of 200g ha⁻¹ of B via boric acid.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Boric acid; foliar fertilization; Polyol; Micronutrients.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	4
2.2 Micronutrientes na cana-de-açúcar.....	5
2.2.1 Boro como micronutriente vegetal	6
2.3 Translocação ou transporte de íons.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Localização do experimento e delineamento experimental	9
3.2. Condução do experimento	10
3.3 Avaliações	122
4. RESULTADOS	15
4.1 Análise dos teores de B em folhas velhas (folhas que receberam os tratamentos) e novas (folhas desenvolvidas após a aplicação).....	15
4.2 Matéria fresca e matéria seca da parte aérea	167
4.3 Altura e diâmetro de colmos	199
5. CONCLUSÕES	211
REFERÊNCIAS	222

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância socioeconômica no Brasil, especialmente na região do Cerrado, cujo cultivo tem recebido destaque pela produção de matérias-primas para diversos fins, a exemplo do açúcar e do álcool, bem como pela geração de empregos. Dados fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2021) demonstram que a produção brasileira de cana-de-açúcar, na safra de 2020/21, totalizou 654,8 milhões de toneladas, com acréscimos de 1,8% em relação à safra de 2019/20.

A produtividade da cana-de-açúcar é regulada por diversos fatores de produção, com destaque para as condições de fertilidade do solo, as quais também viabilizam a sustentabilidade da cultura ao longo dos anos (GUALBERTO et al., 2019). De modo geral, os solos da região do Cerrado apresentam elevado grau de intemperismo, com baixa fertilidade natural e grandes limitações para a produção de alimentos (LOPES e GUILHERME, 2016). Para a cana-de-açúcar, a adubação de plantio e de soqueira, via solo, é a principal forma de disponibilizar os elementos necessários para o desenvolvimento da cultura. Entretanto, a adubação foliar tem ganhado destaque nos últimos anos, visando à complementação e/ou suplementação da adubação de base, disponibilizando nutrientes nos períodos de maior demanda e potencializando a produção de colmos e de açúcar.

Dentre os nutrientes aplicados via foliar no cultivo de cana-de-açúcar, destacam-se os micronutrientes, especialmente zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), manganês (Mn) e molibdênio (Mo) (GUALBERTO; SANTOS, 2019). Além disso, a aplicação foliar de nitrogênio (N) também é uma prática frequentemente utilizada por diversas áreas cultivadas com cana-de-açúcar devido, principalmente, às perdas do elemento no sistema solo-planta.

Ressalta-se ainda que os fertilizantes foliares utilizados atualmente são, muitas vezes, formulados com complexos de um ou mais aminoácidos, disponibilizando não somente nutrientes, mas outros componentes necessários para os processos metabólicos da cultura. Dessa forma, os aminoácidos são rapidamente incorporados ao metabolismo, como se fossem sintetizados pela planta, contribuindo para o processo de desenvolvimento e crescimento (LIMA et al., 2009).

Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar doses, absorção e transporte de boro aplicado via foliar na cultura da cana-de-açúcar em condições controladas na casa de vegetação.

1.2. Hipóteses

- a) Os tratamentos testados de B Polioliol apresentam diferentes graus de absorção e translocação foliar na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*);
- b) Os tratamentos testados de solução de Ácido bórico apresentam diferentes graus de absorção e translocação foliar na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*);
- c) Aplicação de boro aumenta a produção de matéria fresca e matéria seca.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

De acordo com Cesnik e Miocque (2004) a cana-de-açúcar possui origem à sudeste da Ásia e chegou ao Brasil no ano de 1502. É uma planta monocotiledônea, pertencente à família Poaceae, perene, típica de climas tropicais e subtropicais, adaptando-se bem em temperaturas entre 19°C e 32°C (MARQUES; MARQUES; TASSO JUNIOR, 2001).

Pode ser propagada por via sexuada, utilizada basicamente para fins de melhoramento genético, e assexuada, utilizada em plantio comercial. Seu sistema radicular é do tipo fasciculado. O colmo possui forma cilíndrica, de diâmetro e comprimento variado, fibroso e com teor de açúcar variando de acordo com as condições climáticas. Nos entrenós ocorre maior acúmulo de sacarose (QUINTANA, 2010).

A cultura da cana-de-açúcar possui dois diferentes períodos de desenvolvimento: i) o inicial: é vegetativo e quando a planta necessita de climas mais úmidos e quentes para o desenvolvimento; e ii) de maturação, necessitando de clima mais frio e seco para o aumento do teor de sacarose (QUINTANA, 2010). Entretanto, Gascho e Shih (1983) identificaram quatro fases de desenvolvimento da cana: i) brotação e estabelecimento; ii) perfilhamento; iii) período de crescimento do colmo, e iv) fase de maturação (GASCHO; SHIH; 1983 QUINTANA, 2010).

A cana-de-açúcar provavelmente é, na atualidade, o material vegetal produzido em maior quantidade no mundo, sendo considerada a maior fonte de produção de açúcar e a cultura mais importante para a produção de energia, assim como seus derivados (HENRY, 2010; MORAIS *et al.*, 2015).

Economicamente, está entre as culturas que mais se expande no Brasil. Estima-se que, atualmente, a área ocupada por cana-de-açúcar seja de 8,264 mil hectares, com destaque no Estado de São Paulo, maior produtor nacional, seguido de Goiás e Minas Gerais. Em 2021, a produção de cana-de-açúcar foi estimada em 568 mil toneladas, com a produtividade média de 68,7 toneladas por hectare (CONAB, 2021).

O aumento de interesse do mercado internacional pela substituição de combustíveis fósseis aumentou ainda mais a demanda por etanol, sendo um dos motivos para que a produção de cana-de-açúcar voltasse a crescer no Brasil,

passando a ocupar áreas destinadas anteriormente a pastagens. Em tais áreas são predominantes solos de baixa fertilidade natural, tornando-se indispensável o uso e manejo de fertilizantes como suprimento nutricional (BECARI, 2010).

Além disso, a produção mais intensiva consome as reservas de micronutrientes, diminuindo a eficiência da produção, ao longo dos anos, até nos solos mais férteis. Sendo assim, é importante, para o desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar, assim como para a produção de açúcar e etanol em quantidades rentáveis, que haja um suporte nutricional envolvendo adubação, calagem, rotação de cultura, entre outros (MELLIS; QUAGGIO; CANTARELLA, 2008).

2.2 Micronutrientes na cana-de-açúcar

Segundo Quintana (2010), a cana-de-açúcar “apresenta algumas particularidades na absorção e uso dos nutrientes, que devem ser respeitadas de forma a obter maior produção e melhores índices tecnológicos”. O aumento da produção e qualidade da cana é influenciado pela quantidade de nutriente, assim como, a época e forma de disponibilização desses nutrientes. Sendo assim, a perda da produção pode, muitas vezes, ocorrer no campo, quando não há disponibilidade de água e/ou nutrientes suficientes para planta.

Para seu pleno desenvolvimento, a cana-de-açúcar precisa de carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) (BECARI, 2010).

São chamados de nutrientes vegetais aqueles fundamentais para que as plantas completem o seu ciclo de vida, sendo insubstituíveis e diretamente envolvidos nos processos do metabolismo vegetal. De acordo com Mortvedt (2011), tais nutrientes são divididos com base na quantidade requerida pela planta, sendo: os micronutrientes, exigidos em menores quantidades e os macronutrientes exigidos em maiores quantidades.

Na cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Vazquez e Sanches (2010), a carência de micronutrientes “acarreta reduções de produtividade e, possivelmente, a morte das plantas”. A importância dos micronutrientes na adubação está fundamentada em função das quantidades retiradas dos solos, sendo que, tais quantidades podem ser baixas (g ha^{-1}) porém muito importantes

para o desenvolvimento da planta, já que, em baixas disponibilidades podem ser um limitante para o desenvolvimento da mesma (VAZQUES; SANCHES, 2010).

Câmara (1993) afirma que, em relação aos micronutrientes, a cultura da cana-de-açúcar extrai 149 e 86g de boro, 234 e 105g de cobre, 1393 e 5525g de ferro, 1052 e 1420g de manganês, 369 e 223 g de zinco, para produzir 100 toneladas de colmos industrializáveis e de folhas, respectivamente (CÂMARA, 1993 *apud* GONÇALVES, 2012).

Nesse sentido, a aplicação dos micronutrientes é normalmente realizada durante o plantio, juntamente aos macronutrientes, ligado a fontes de fósforo ou utilizando revestimento junto com os grânulos de fertilizantes formulados (LIRA, 2018). Sendo assim, tais aplicações podem acontecer de duas formas: i) via solo, sendo uma prática eficiente e viável economicamente, que possibilita o uso concomitante aos agroquímicos; ii) via adubação foliar, visando incrementar a produtividade especialmente em casos onde os fatores climáticos tendem a reduzir a produção (VASQUEZ; SANCHES, 2010).

2.2.1 Boro como micronutriente vegetal

Segundo Mellis e Quaggio (2015), o boro é um nutriente atuante na “divisão, maturação e diferenciação celulares, na lignificação da parede celular e na inibição da formação do amido pela combinação do B com o local ativo da fosforilase”, impedindo a polimerização excessiva dos açúcares em seus locais de síntese. Também trabalha na respiração, estruturação da parede celular e metabolismo de RNA.

Faquin (2005) completa ao afirmar que, o boro é o único nutriente que não atende ao critério direto de essencialidade, satisfazendo, entretanto, o critério indireto. Para ele, a maior prova dessa essencialidade é que, nos solos de regiões tropicais, junto ao zinco, é o micronutriente que mais promove deficiência das culturas. Em relação à sua absorção, transporte redistribuição, o autor afirma que:

Segundo o autor, ainda, uma importante função atribuída ao boro é a de facilitar o transporte de açúcares através das membranas. Portanto, nesse caso, são formados complexos “açúcar-borato” que conseguem atravessar mais facilmente as membranas celulares do que as moléculas de açúcares polares (FAQUIN, 2005).

Nas monocotiledôneas, a concentração de boro varia, geralmente, de 6 a 18 mg kg⁻¹ e exporta 149g para a produção de 100 toneladas de colmos de cana crua (FAQUIN, 2005; ORLANDO FILHO, 1993).

Para a cana-de-açúcar, em específico, o boro é particularmente importante, visto o citado envolvimento na translocação de açúcares. Deficiências de boro retardam o crescimento da planta e morte de células apicais, assim como, reduzem novas brotações e crescimento de raízes (ANDERSON; BOWEN, 1992).

Devido à baixa mobilidade do boro dentro da planta, pelo fato de sua distribuição na planta ser via xilema, que é ocasionado via fluxo de transpiração os sintomas de deficiência surgem primeiro nas folhas e órgãos mais jovens. Todavia, o uso de alguns polióis como, sorbitol, manitol e dulcitol, auxiliam na sua mobilidade via floema (SHU et al., 1997).

Lesões translucidas entre as nervuras e folhas de cana quebradiças também são sintomas da falta de B, podendo ainda, ocorrer a morte do meristema apical (TOKESHI, 1991 *apud* BECARI, 2010).

2.3 Translocação ou transporte de íons

Por definição, transporte ou translocação refere-se ao movimento ou transferência do íon do local de absorção para outro lugar qualquer, seja dentro ou fora da raiz. Ou seja, em síntese para que os íons anteriormente absorvidos pelas raízes possam chegar até a parte aérea da planta, os mesmos devem passar pelo transporte radial e o transporte a longa distância (FAQUIN, 2005).

Nesse sentido, a translocação trata-se de um processo importante ao metabolismo da planta, sendo necessário entender seu funcionamento com determinados nutrientes, visto sua importância para a agricultura.

No que diz respeito à adubação, Faquin (2005) afirma que, a aplicação foliar do boro, sendo tal nutriente imóvel no floema, apresenta pequena eficiência, uma vez que, a translocação da folha para outros órgãos é praticamente nula. Portanto, o autor recomenda que a adubação de B seja feita via solo e que a foliar seja realizada apenas como ação preventiva e corretiva,

principalmente em culturas com frutos, objetivando atingir os mesmos, diretamente.

Na literatura específica relacionada a translocação de boro, é possível encontrar trabalhos realizados com a cultura do café (LEITE, 2002), do algodão (BOGIANI *et al.*, 2011; OLIVEIRA, 2003), eucalipto (MATTIELLO, 2008), coqueiro (PINHO *et al.*, 2008) e até cupuaçu (MARADIAGA; ROCHA NETO; VIÉGAS, 1998), entre outros. Entretanto, a busca por trabalhos sobre o transporte de boro na cana-de-açúcar apresentou resultados escassos, justificando ainda mais a importância desta pesquisa.

Sendo assim, considera-se de extrema importância conhecer sobre a mobilidade de um nutriente no floema da planta, sendo importante na diagnose e correção de deficiência de toxicidade, determinando assim, a melhor estratégia de adubação (OLIVEIRA, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Glória, Uberlândia – MG. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo sete tratamentos e quatro repetições. As doses e os produtos utilizados em cada tratamento estão descritos na tabela 1.

Tabela 1. Doses e produtos utilizados em cada tratamento.

Tratamento	Produto	Dose g ha ⁻¹	Dose por vaso g vaso ⁻¹
1		0	0
2	B Poliol	50	2,35
3	B Poliol	100	4,71
4	B Poliol	150	7,06
5	Solução de Ácido bórico	100	0,75
6	Solução de Ácido bórico	200	1,50
7	Solução de Ácido bórico	300	2,25

Obs:

1) Utilizou-se volume de calda de 25 ml por vaso.

2) **B Poliol:** 4,5% de B, 5% de N. Densidade 1,16 g mL⁻¹.

Ácido bórico: PM: 61,83 e 17 % de B.

O B Poliol é um fertilizante cujo B está na forma de um complexo Boro-poliol, mimetizando biomoléculas que somente algumas espécies vegetais elaboram para o transporte do elemento via floema. Esse complexo contém o Boro em uma forma de alta biodisponibilidade.

A parcela experimental foi constituída por vasos de PVC de 30 cm de diâmetro de 60 cm de altura, com capacidade para 40 dm³ de solo (Figura 1).

Figura 1. Parcela experimental composta por vaso de PVC com 30 cm de diâmetro e 60 cm de altura.



3.2. Condução do experimento

Os vasos foram preenchidos com 40 dm³ de um solo de textura argilosa classificado como LATOSSOLO VERMELHO. O solo tem características químicas e físicas descritas nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Caracterização química do solo utilizado neste experimento

pH	P	S	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	T	V	m	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%			mg dm ⁻³							
5,5	1,4	6,7	103	0	0,6	0,2	1,6	1,0	2,6	39	0	1,1	0,2	1,1	6	2,9	0,3

pH: CaCl₂; P e K: Mehlich-1 (HCl 0,05 1 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 1 mol L⁻¹); Ca, Mg e Al: KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: Solução Tampão SMP a pH 7; SB: Soma de base; T: CTC a pH 7,0; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Al; MO: Método colorimétrico; B: BaCl₂. 2 H₂O 0,125% à quente; Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA em pH 7.3 (SILVA, 2009).

Tabela 3. Caracterização física do solo utilizado neste experimento

Areia total	Silte	Argila
g kg ⁻¹		
250	200	550

Análise textural pelo Método da Pipeta (SILVA, 2009).

As amostras de solo foram incubadas por 34 dias, recebendo 50 g de óxido de cálcio e magnésio, o qual foi homogeneizado em todo o volume de solo com o objetivo de elevar o teor de cálcio para 2,0 cmol_c dm⁻³. Após 32 dias de incubação, realizou-se a adubação de plantio com 8,0 g de MAP, 5,5 g de sulfato de potássio, 2,5 g de sulfato de amônio, 0,1 g de sulfato de Zn e 0,1 g de sulfato de Mn visando a disponibilização de 100 mg dm⁻³ de N, 300 mg dm⁻³ de P₂O₅, 200 mg dm⁻³ de K₂O, 2 mg dm⁻³ de Zn e 2 mg dm⁻³ de Mn, respectivamente. As fontes foram incorporadas até aproximadamente 20 cm de profundidade.

Em seguida, realizou-se o plantio de duas mudas pré-brotadas por vaso (Figura 2) da variedade CTC 9002, a qual apresenta boa resposta ao uso de maturadores, boa adaptabilidade à colheita mecanizada, rusticidade, tolerância à seca, porte ereto e TCH elevado.

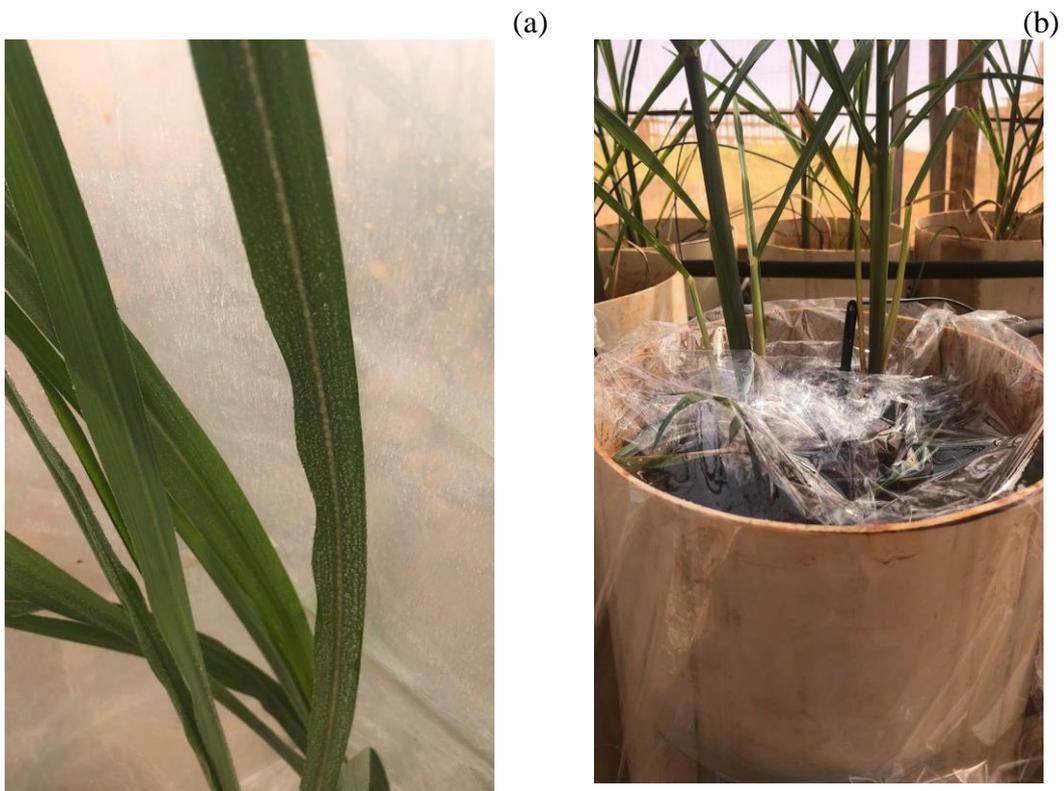
Figura 2. Plantio de duas mudas pré-brotadas, da variedade CTC 9002, por vaso.



Os vasos foram irrigados diariamente, diretamente ao solo e com o auxílio de gotejadores, para evitar o estresse hídrico. Aos 58 dias após o plantio das mudas, realizou-se uma adubação de cobertura com 2,5 g de KCl e 2,5 g de nitrato de amônio por vaso.

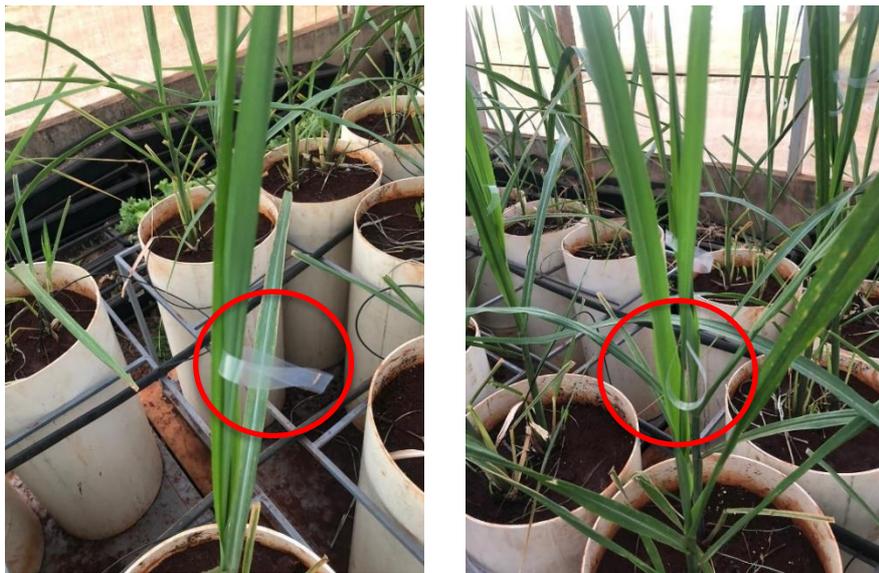
Aos 86 (DAP), realizou-se a aplicação foliar dos tratamentos. Para isto, foi utilizado um pulverizador de pressão manual de 1.500 mL e bico cônico, cuja pulverização foi realizada de forma direcionada às folhas e com um volume de 25 mL de solução por vaso, resultando em um molhamento adequado de toda a superfície foliar (Figura 3a). Além disso, o solo e os vasos foram protegidos com plástico filme com o objetivo de impedir qualquer contaminação (Figura 3b).

Figura 3. Aplicação foliar dos tratamentos (a) e plástico filme para cobrir o solo (b).



Após a aplicação, realizou-se a identificação da última folha desenvolvida, para a posterior separação das folhas que receberam a aplicação dos tratamentos (folhas velhas) das folhas novas (folhas desenvolvidas após a aplicação dos tratamentos, ou seja, não receberam a aplicação foliar) (Figura 4).

Figura 4. Identificação da última folha desenvolvida no momento da aplicação.

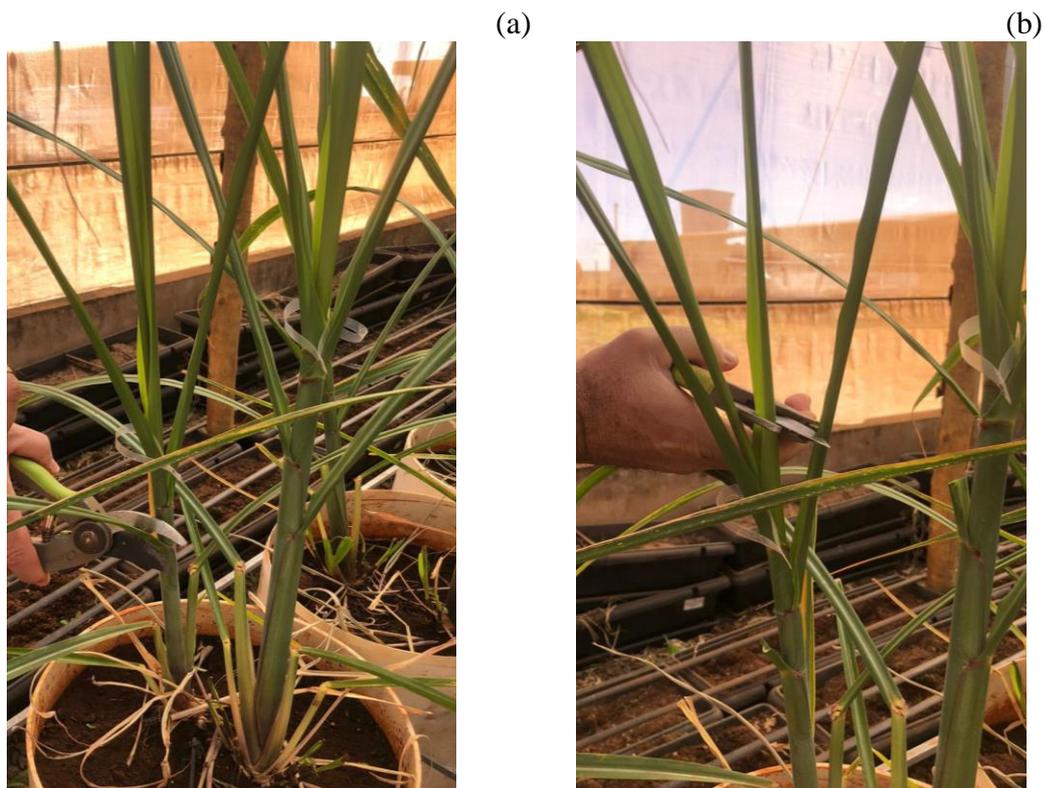


3.3 Avaliações

Aos 47 dias após a aplicação dos tratamentos, foram coletadas todas as folhas velhas e novas (Figura 5) dos vasos para a análise dos teores de macro

e micronutrientes seguindo metodologia proposta por Silva (2009). As amostras coletadas foram lavadas com detergente neutro e enxaguadas com água corrente para a remoção dos eventuais resíduos da aplicação, Em seguida, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, moídas e enviadas ao laboratório para a análise química.

Figura 5. Coleta de folha velha (abaixo da folha identificada) (a) e folha nova (acima da folha identificada) (b) aos 30 e 60 dias após a aplicação.



Calculou-se, após ambas as coletas, o teor absorvido de B através da subtração dos teores obtidos na testemunha, considerando-se as folhas velhas (folhas que receberam os tratamentos). O teor translocado também foi calculado subtraindo o teor da testemunha, mas, neste caso, considerando-se as folhas novas.

Aos 49 dias após a aplicação, realizou-se a corte a 5 cm do solo das duas plantas de cada vaso (Figura 6a). Em seguida, a altura e o diâmetro de colmos foram mensurados com o auxílio de trena (Figura 6b) e paquímetro (Figura 6c), respectivamente. As plantas colhidas foram pesadas logo após o corte para a obtenção dos valores de matéria fresca da parte aérea por vaso e, em seguidas, foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e

pesadas novamente para a obtenção dos valores de matéria seca da parte aérea por vaso. Para os valores de matéria fresca e seca, também foram considerados os pesos das folhas coletadas anteriormente.

Figura 6. Colheita das plantas a 5 cm do solo (a), medição da altura (b) e diâmetro de colmos (c).



3.4 Análises estatísticas

As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância utilizando-se o programa SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2014) e comparadas pelos testes de Tukey Scott-Knott, a 0,05 de significância. Realizou-se também análise de regressão com o auxílio dos programas SISVAR (versão 5.3) (FERREIRA, 2014) e SigmaPlot (versão 11.0) (SYSTAT SOFTWARE, 2008), ambos a 0,05 de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos teores de B em folhas velhas (folhas que receberam os tratamentos) e novas (folhas desenvolvidas após a aplicação)

Maiores teores de B em folhas velhas foram obtidos com a aplicação do B Poliol, independentemente da dose utilizada, com acréscimos de até 3,1 mg kg⁻¹ em relação à testemunha (Tabela 4). Esses resultados estão relacionados aos teores absorvidos pela planta, demonstrando que a aplicação foliar de B Poliol resulta em uma maior absorção de B quando comparado ao ácido bórico.

Quanto aos teores nas folhas novas nota-se que, apesar de não observada diferença estatística, a aplicação do B Poliol resultou na translocação 1,0 mg kg⁻¹ de B em relação à testemunha, cujos melhores resultados foram obtidos quando a dose de 100 g ha⁻¹ de B foi utilizada (Tabela 4).

Como descrito em trabalhos anteriores, os níveis críticos de teores foliares podem variar conforme a variedade e tipo de solo (ORLANDO FILHO, 1993).

Tabela 4. Teores de B em folhas velhas e folhas novas de cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 47 dias após aplicação foliar de diferentes fontes de B (teor de B no solo: 0,16 mg dm⁻³).

Tratamento	Dose de B g ha ⁻¹	mg kg ⁻¹			
		Velha	Absorvido	Nova	Translocado
Testemunha (água)	0	13,5 b	-	12,4 a	-
B Poliol	50	15,5 a	2,0 b	12,5 a	0,1 c
B Poliol	100	16,4 a	2,9 a	13,4 a	1,0 a
B Poliol	150	16,6 a	3,1 a	12,7 a	0,3 b
Solução de Ácido bórico	100	13,8 b	0,3 c	12,5 a	0,1 c
Solução de Ácido bórico	200	12,8 b	0,0 c	12,7 a	0,3 b
Solução de Ácido bórico	300	14,4 b	0,9 c	11,5 a	0,0 c
Média		14,7	1,5	12,5	0,3

Velha: CV: 9,6%. Absorvido: 32,9%. Nova: CV: 7,1%. Translocado: 27,1%

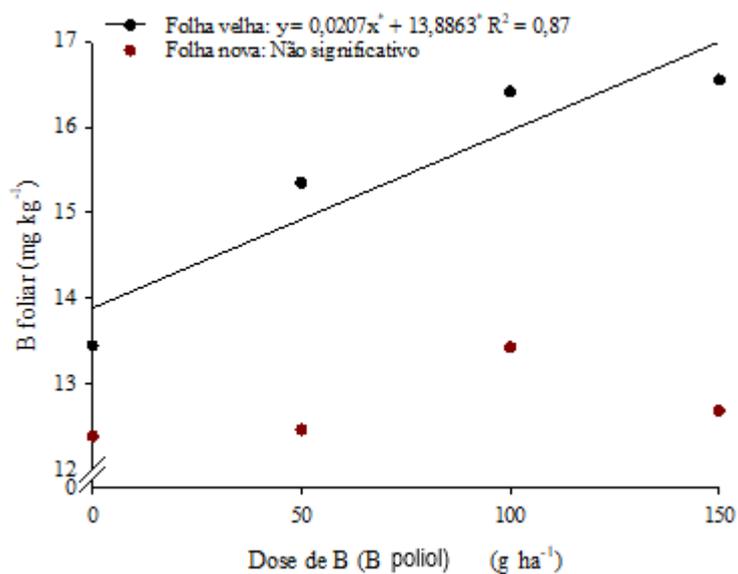
Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

A aplicação das diferentes doses de B através da fonte B Poliol resultou em acréscimos lineares nos teores deste nutriente em folhas velhas, com ganhos de 2,0 mg kg⁻¹ a cada 100 g ha⁻¹ (Figura 7a). Por outro lado, não foram obtidos modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de B Poliol nos teores de B em folha nova (Figura 7a), bem como para as doses crescentes de ácido bórico, em ambas as folhas (Figura 7b).

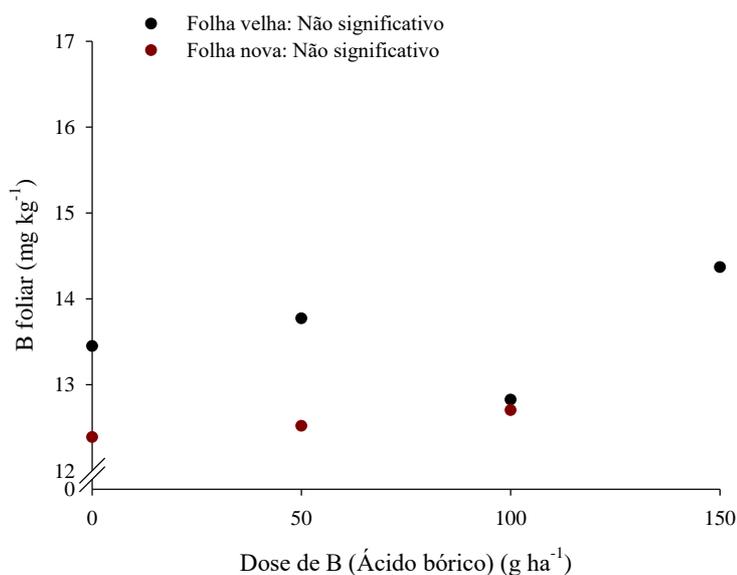
Estudos realizados anteriormente, propõem que a aplicação de micronutrientes, como o Boro e demais micronutrientes, aumentam a produtividade agrícola e industrial, mesmo em solos de baixa fertilidade (BECARI, 2010).

Figura 7. Teores de B em folhas velhas e folhas novas de cana-de-açúcar após a aplicação de doses de B via Biometal (a) e ácido bórico (b).

(a)



(b)



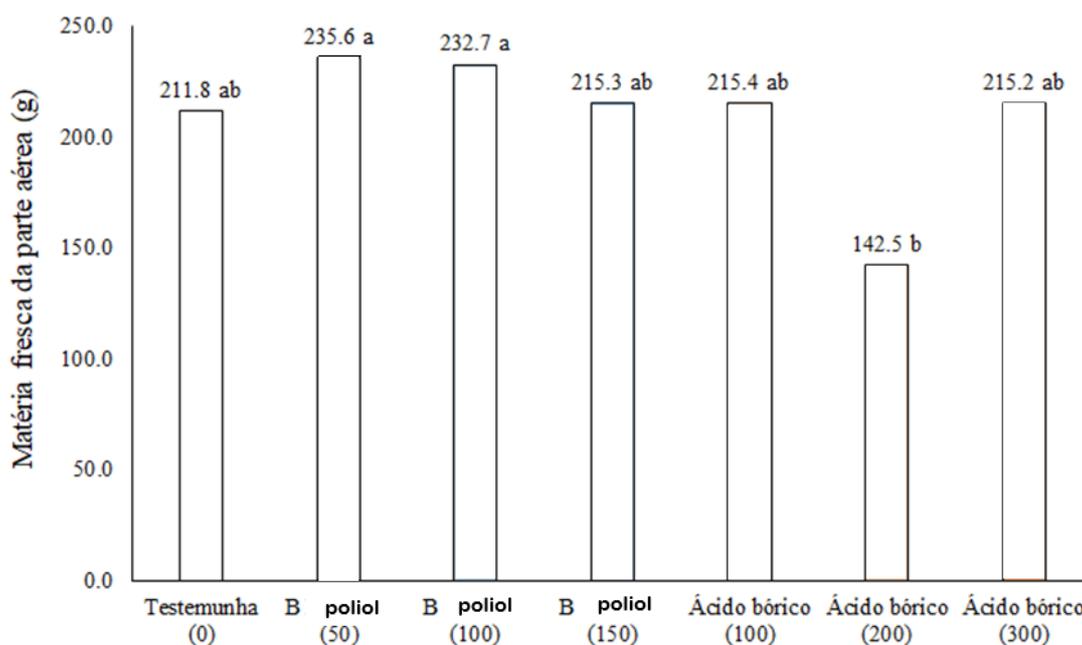
4.2 Matéria fresca e matéria seca da parte aérea

A aplicação do B Poliol, nas doses de 50 e 100 g ha⁻¹ de B, resultou em valores de matéria fresca e matéria seca de plantas de cana-de-açúcar superiores àqueles obtidos com a aplicação de 200 g ha⁻¹ de B via solução de

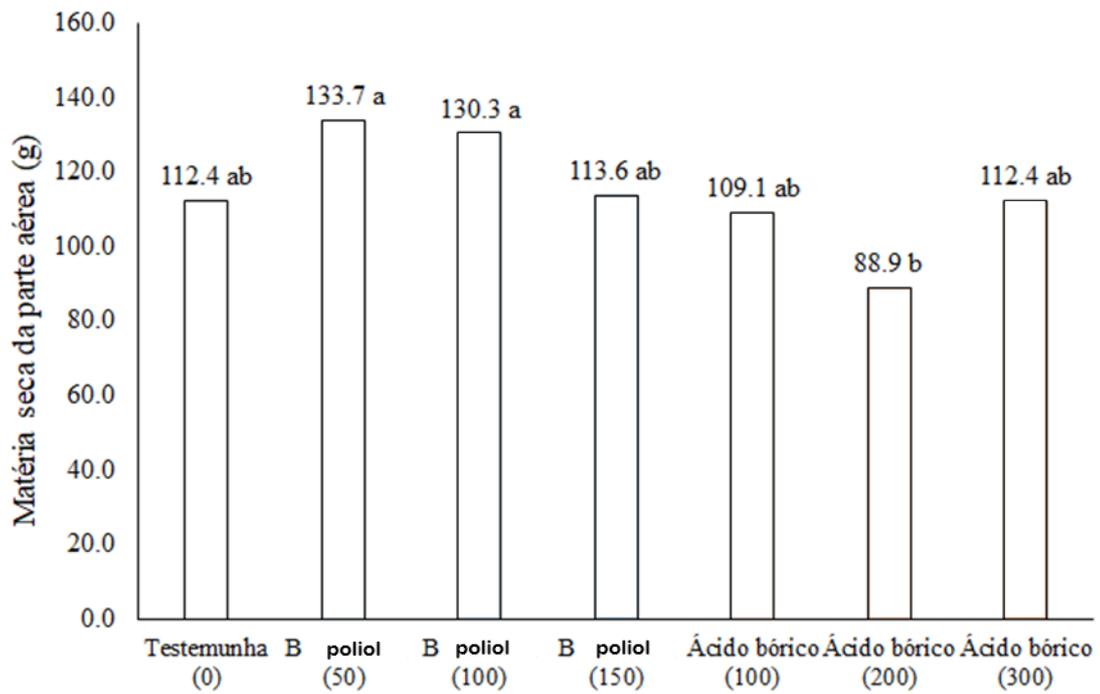
ácido bórico, com ganhos de até 93 g na matéria fresca de 45 g na matéria seca (Figura 9). Martello (2016) obteve resultados pouco distintos. Em sua pesquisa, uma variedade cana-de-açúcar apresentou quantidades maiores de matéria seca sob quantidades insuficientes de Boro.

Entretanto, apontou em seu estudo sobre duas variedades de cana-de-açúcar, a RB867515 e a RB92579 em que ao mesmo tempo que uma variedade apresentou maiores quantidades de matéria seca em deficiência de Boro, a outra variedade produziu maior quantidade de matéria seca sob concentração adequada de Boro (MARTELLO, 2016).

Figura 8. Matéria fresca (a) e matéria seca (b) da parte aérea da cana-de-açúcar aos 47 dias após a aplicação foliar de diferentes fontes de B.



(a)



(b)

MF: CV: 17,6%, DMS: 86,3. MS: CV: 14,6%, DMS: 38,9.

*Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

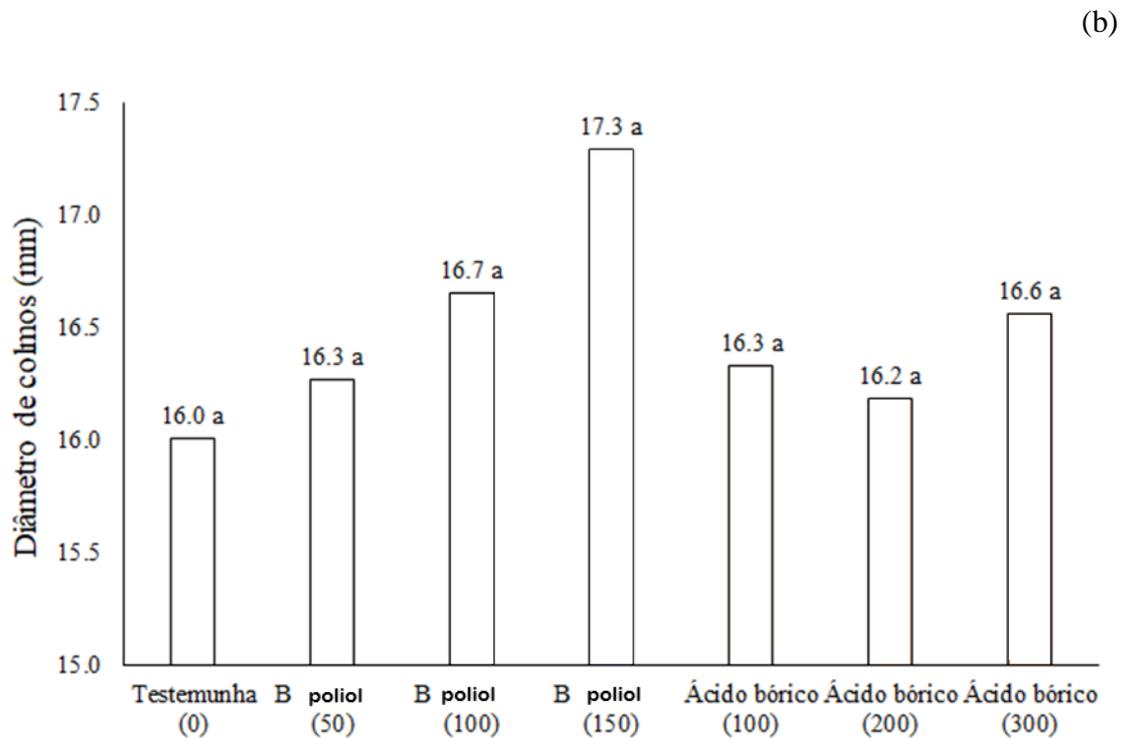
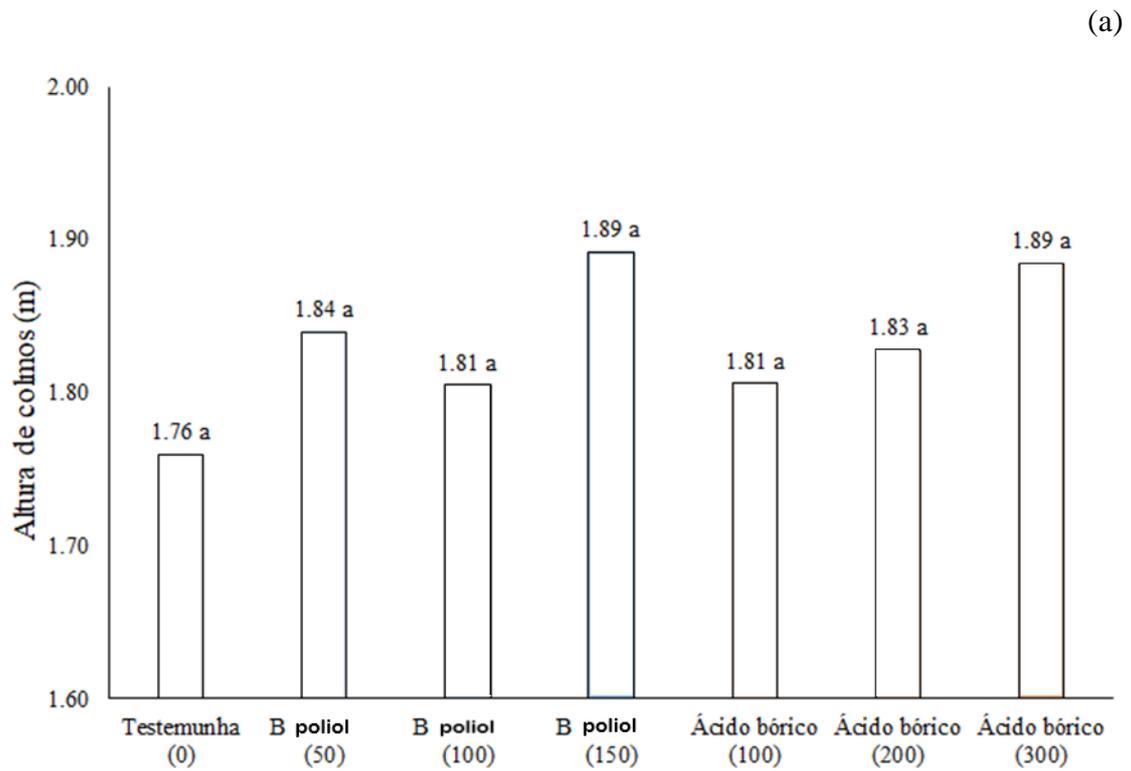
4.3 Altura e diâmetro de colmos

De modo geral, não foram observadas diferenças entre os tratamentos quanto aos valores de altura e diâmetro de colmos aos 47 dias após a aplicação dos diferentes fertilizantes foliares (Figura 10a). Por outro lado, pode-se ressaltar que, quando comparadas ao tratamento testemunha, a aplicação da maior dose de B através de ambas as fontes resultou em acréscimos de 13 cm nos valores de altura de plantas (Tabela 10a).

Esse resultado concorda com o trabalho de Pedras (1982) e Quintana (2010), em que a análise estatística não foi significativa em relação aos tratamentos com aplicação de boro, com resultados em que, a circunferência do caule também não foi influenciado pela adição de boro.

Quanto ao diâmetro, acréscimos de 1,3 mm foram obtidos, cujos melhores resultados foram observados com a maior dose de B poliol (Figura 10b).

Figura 9. Altura (a) e diâmetro (b) de colmos da cana-de-açúcar aos 47 dias após a aplicação foliar de diferentes tipos de B.



Altura: CV: 6,1%, DMS: 0,3. Diâmetro: CV: 10,0%, DMS: 3,9. *Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

5. CONCLUSÕES

a) Maior absorção e transporte de B são obtidas com a aplicação das duas maiores doses de B poliol, comparado com a solução de ácido bórico.

b) A aplicação do B poliol, resulta em valores de matéria fresca e matéria seca da parte aérea plantas de cana-de-açúcar superiores aos obtidos com a aplicação de solução de ácido bórico.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. Nutrição de cana-de-açúcar. Tradução de José Orlando Filho. Piracicaba: POTAFOS, 1992. 40 p.

BECARI, Gustavo Ricardo Gonçalves. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo (IAC), Campinas, 2010.

BOGIANI, Julio Cesar *et al.* Translocação de boro aplicado na folha de cultivares de algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8., 2011, São Paulo. **Anais [...]**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. p. 1718-1724.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). **Variedades CTC**. 2018. Disponível em: <https://variedadesctc.com.br/>. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

CESNIK, Roberto; MIOCQUE, Jacques. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2005. 307 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar safra 2021/22**. Brasília: CONAB, 2021. 63 p.

FAQUIN, Valdemar. **NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p. Disponível em: https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n. 2, 2014.

GONÇALVES, Helenice Moura. **Sistema integrado de diagnose e recomendação na cultura da cana-de-açúcar orgânica em Goianésia, Goiás**. 2012. 117 f. Tese (Doutorado) - Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

GUALBERTO, C. A. C; SANTOS, G. A. Como alcançar o teto na cana-de-açúcar. **Revista Campo e Negócios**, p. 50-51, 2019.

GUALBERTO, C. A. C; SANTOS, G. A; KORNFORFER, G. H. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar na região do Cerrado**. In: Nutrição e adubação de grandes culturas no Cerrado. Goiânia, Brasil: NRCO-SBCS, 2019.

HENRY, Robert J. Basic information on the sugarcane plant. In: HENRY, Robert J.; KOLE, Chittaranjan (ed.). **Genetics, Genomics and Breeding of Sugarcane**. Boca Raton, USA. CRC Press, 2010. 300p.

LEITE, Vagner Maximino. **Absorção e translocação de boro em cafeeiro**. 2002. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Agronomia (Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

LIMA, M. DA G. DE S.; MENDES, C. R.; NASCIMENTO, R. DO; LOPES, N. F.; CARVALHO, M. A. P. Avaliação bioquímica de plantas de milho pulverizadas com uréia isolada e em associação com aminoácidos. **Revista Ceres**, v.56, p.358-363, 2009.

LIRA, Maikon Vinicius da Silva. **Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia Animal, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Dracena, 2018.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**, v.137, p.1-72, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARADIAGA, José Bento Guerrero; ROCHA NETO, Olinto Gomes da; VIÉGAS, Ismael de Jesus Matos. Produção de matéria seca, concentração e translocação de boro em plantas jovens de cupuaçuzeiro, inoculadas e não-inoculadas com *Crinipellis perniciosus* (Stahel) (Singer), sob diferentes doses de boro. In: Congresso Brasileiro De Fisiologia Vegetal, 6., 1997, Belém. **Resumos**. Piracicaba: SBFV, 2017. p. 89-107.

MARQUES, Marcos Omir; MARQUES, Tadeu Alcides; TASSO JUNIOR, Luiz Carlos. **Tecnologia do Açúcar**: produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 91 p.

MARTELLO, Jorge Martinelli. **Boro em cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva**. 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

MATTIELLO, Edson Marcio. **Transporte no solo, absorção e translocação de boro por clones de eucalipto**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MELLIS, Estevão Vicari; QUAGGIO, José Antonio. Uso de micronutrientes em cana-de-açúcar. **IPNI**. Piracicaba, p. 1-9. mar. 2015. Disponível em: <https://bitly.com/dpxuN>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MELLIS, Estevão Vicari; QUAGGIO, Jose Antonio; CANTARELLA, Heitor. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, Leila Luci; VASCONCELOS, Antonio Carlos Machado de; LANDELL, Marcos Guimarães de Andrade (ed.). **CANA-DE-AÇÚCAR**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 331-335.

MORAIS, Lizz Kezzy *et al.* **Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 40 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 200).

MORTVEDT, John J.. Bioavailability of micronutrients. In: HUANG, Pan Ming; LI, Yuncong; SUMNER, Malcolm E. (ed.). **Hand book of soil science**. 2. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011. p. 830-0.

OLIVEIRA, Rosa Honorato de. **Alterações anatômicas e translocação de Boro no algodoeiro**. 2003. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Agricultura), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2003.

ORLANDO FILHO, José. Calagem e adubação de cana-de-açúcar. In: CÂMARA, Gil Miguel de Sousa; OLIVEIRA, Eduardo Augusto Magagnini de (ed.). **PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p. 133-146.

PEDRAS, José Figueiredo. **Efeito fisiológico do Boro sobre o teor de açúcares em folhas e colmos de cana-de-açúcar em folhas do**. 1982. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Esalq - Usp, Piracicaba, 1982.

PINHO, Leandro Glaydson da Rocha *et al.* Absorção e redistribuição de boro em coqueiro-anão-verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1769-1775, dez. 2008.

QUINTANA, Kleber Aloisio. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. 2010. 70 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

SYSTAT SOFTWARE. **SigmaPlot for Windows Version 11.0**. San Jose: Systat Software Inc., 2008.

VAZQUEZ, Gisele Herbst; SANCHEZ, Andréa Cristina. Formas de aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, n. 1, p. 267-276, 20 abr. 2010.