



**Omissão simples de B e múltiplas com Ca, Fe, Mn e Zn em mamoneira (*Ricinus communis*)**

**Boron simple and multiple omissions with Ca, Fe, Mn and Zn in castor bean plants (*Ricinus communis*)**

**Guilherme Amaral de Souza<sup>1</sup>, Paulo Jorge Pinho<sup>2</sup>, Ana Rosa Ribeiro Bastos<sup>1</sup>, Livia Cristina Coelho<sup>1</sup>,  
Élberis Pereira Botrel<sup>1</sup>, Janice Guedes de Carvalho<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência do Solo Campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000. E-mail: amaraluflla@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). § *In Memoriam*

Recebido em: 19/12/2013

Aceito em: 17/09/2015

**Resumo.** O boro (B) é um dos micronutrientes que mais preocupa em solos tropicais devido à sua baixa disponibilidade. Por outro lado, tem-se a mamoneira que, nos últimos anos vem se destacado devido a programas de produção de biodiesel. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de caracterizar os sintomas visíveis de carência, verificando os efeitos no crescimento e acúmulo de nutrientes em plantas de mamoneira, cv. Guarani, conduzidas em solução nutritiva, com a omissão simples de B e múltiplas com Ca, Fe, Mn e Zn. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: 1- solução nutritiva completa (controle), 2- solução nutritiva com a omissão de B (-B), 3- solução nutritiva com a omissão múltipla de B e Ca (-BCa), 4- solução nutritiva com a omissão múltipla de B e Fe (-BFe), 5- solução nutritiva com a omissão múltipla de B e Mn (-BMn) e 6- solução nutritiva com omissão múltipla de B e Zn (-BZn). O B, isolado ou com o Ca, Fe, Mn e Zn, é essencial para a nutrição mineral e o crescimento da mamoneira. A omissão de B em solução nutritiva, ou múltiplas com Ca, Fe, Mn e Zn, causaram sintomas conhecidos de deficiência de B e específicos das deficiências múltiplas. A omissão de B + Ca foi a mais limitante, retardando o crescimento (parte aérea e raiz) de plantas de mamoneira e reduzindo o seu acúmulo de nutrientes, tendo como sintomas visíveis de carência múltipla a clorose nas margens das folhas, com curvamento, e raízes necrosadas e grossas.

**Palavras-chave:** carência nutricional, efeitos interiônicos, diagnose visual, micronutriente, nutrição mineral.

**Abstract.** Boron (B) is a micronutrients for plants, however the mechanisms of B acquiring still not completely elucidate. In tropical soils B is a problem due to the very low availability to plants. On the other hand, we found the castor bean plant that presents a high status as an oleaginous plant that could be used in biodiesel production. This work aimed to characterize B simple and multiple deficiencies visual symptoms in castor bean plants as well as the effects of the omissions in plants growth parameters and nutrients accumulation. It was used a randomized blocks design with six treatments: Hoagland solution (control), B omission (-B), B and Ca omission (-BCa), B and Fe omission (-BFe) B and Mn omission (-BMn) and four replications. Boron simple or multiple omission changed castor bean height, biomass and stem diameter. In addition, these omissions cause morphological effects and plants showed visual symptoms of deficiency. Castor bean plants require large amounts of B and farmers should attended to the levels of this nutrient in soils before cultivate this culture. The treatment -BCa presented the highest suppression in the growth parameters, shoot/root ratio and nutrient accumulation.

**Keywords:** Nutritional deficiency, interionic effects, visual symptoms, micronutrients, mineral nutrition.

### **Introdução**

O boro (B) é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento normal das plantas, apresentando certas peculiaridades entre os demais nutrientes, como o único semimetal a não satisfazer os critérios diretos de essencialidade às plantas. Ainda, questões referentes à absorção, redistribuição

e algumas reações bioquímicas envolvendo esse nutriente não foram completamente elucidadas (Bastos & Carvalho, 2004; Gupta, 2006; Kabata-Pendias, 2011). Sabe-se que o B participa ativamente do transporte e síntese açúcares, está envolvido na síntese de bases nitrogenadas, estabilidade da parede celular, entre outras (Gupta,



2006; Malavolta, 2006). Além disso, e de forma geral, solos tropicais apresentam baixas disponibilidades desse nutriente (Alloway, 2008; Lopes et al., 2012). Portanto, o correto manejo desses solos por meio de calagem e adubação é de fundamental importância para o aumento de produtividade de plantas.

A diagnose por meio do método visual consiste em comparar o aspecto morfológico de uma planta com um determinado padrão. Esse método tem alta acurácia quando o problema possui sua origem pelo excesso ou deficiência de nutrientes. No entanto, alguns fatores dificultam a determinação, tais como: a) sintomas de determinado elemento difere entre as culturas; b) sintomas semelhantes causados por diferentes nutrientes e; c) deficiências múltiplas de nutrientes. Assim, nos casos de desordem nutricional, os sintomas normalmente apresentam as características de dispersão, simetria e gradiente (Malavolta, 2006). Além disso, em campo, a deficiência de mais de um nutriente no solo e planta é muito comum. Como forma de quantificar essas carências há a análise foliar que parte de princípios e práticas que são resultados de uma série de etapas que evoluem desde observações de sintomas de carência e morte de plantas, à quantificação dos compostos formados, e as correlações entre as quantidades de nutrientes presentes no solo, nos tecidos das plantas e a produtividade, culminando na determinação dos teores de nutrientes em órgãos determinados (Malavolta, 2006; Grassi Filho, 2008).

Atualmente, há um esforço mundial para que se reduza a poluição causada por fontes de combustíveis fósseis e o cultivo de plantas oleaginosas tem sido cada vez mais difundido. As plantas pertencentes à família *Euphorbiaceae*, apresentam grande amplitude de adaptação, principalmente nos trópicos. Ainda, há uma série de plantas acumuladoras de óleo, nativas ou exóticas, cujos frutos e, ou sementes produzem óleo para a produção de biodiesel (Sujatha et al., 2008). No tocante a mamoneira, planta pertencente a essa família, estudos envolvendo a nutrição mineral e, mais especificamente, diagnose visual são escassos e, em sua maioria, tratam de cultivares antigas e pouco produtivas (Paulo et al., 1989; Lange et al., 2005; Severino et al., 2006).

O objetivo do presente trabalho foi o de caracterizar os sintomas visíveis de carência, por meio de descrição morfológica visual, verificando os efeitos no crescimento e acúmulo de nutrientes em plantas de mamoneira, cv. Guarani, conduzidas em

solução nutritiva com a omissão simples de B e múltiplas com Ca, Fe, Mn e Zn.

### **Material e Métodos**

O experimento foi realizado em casa de vegetação de agosto a dezembro de 2008. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por: 1- solução nutritiva completa (controle), 2- solução nutritiva com a omissão de B (B), 3- solução nutritiva com a omissão múltipla de B e Ca (-BCa), 4- solução nutritiva com a omissão múltipla de B e Fe (-BFe), 5- solução nutritiva com a omissão múltipla de B e Mn (-BMn) e 6- solução nutritiva com omissão múltipla de B e Zn (-BZn).

A solução nutritiva completa foi composta por: 1,0 ml L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>; 6,0 ml L<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>; 4,0 ml L<sup>-1</sup> de CaNO<sub>3</sub>.4H<sub>2</sub>O 1 mol L<sup>-1</sup>; 2,0 ml L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 1 mol L<sup>-1</sup>; 2,86 g L<sup>-1</sup> de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 1,54 g L<sup>-1</sup> de MnSO<sub>4</sub>; 0,22 g L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>; 0,08 g L<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>; 0,02 g L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O e 1,0 ml L<sup>-1</sup> de Fe-EDTA 1,0 Mmol L<sup>-1</sup>. Nos tratamentos onde ocorreram as omissões, as concentrações foram semelhantes à solução completa, tendo como exceção o nutriente omitido. Para o preparo das soluções nutritivas utilizou-se água deionizada e entre a renovação das soluções, o volume dos vasos foi completado sempre que necessário utilizando-se água deionizada.

As sementes de mamoneira, da cultivar Guarani, foram desinfestadas por meio de imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1%, por 5 minutos e, posteriormente, lavadas em água desmineralizada, sendo postas a germinar em bandejas de isopor contendo o substrato vermiculita. Após 15 dias, as mudas foram repicadas para a solução nutritiva completa e sob aeração constante, com a finalidade de promover a adaptação, conforme descrito em Pinho et al. (2012). As concentrações utilizadas durante esse período foram 25%, 40% e 100% da sua força iônica e as plantas permaneceram por dez dias em cada concentração. Posteriormente à adaptação, as plantas foram transplantadas e individualizadas em recipientes plásticos com capacidade de três litros, onde os tratamentos foram aplicados. Como suporte para as plantas foram utilizadas placas de isopor de 15 cm de diâmetro e dois centímetros de espessura.

A partir de observações diárias, à medida que ocorriam as manifestações dos sintomas visuais de deficiências nutricionais, todas as alterações nas folhas, caule e raízes que distinguiam as plantas com



omissão de nutrientes das cultivadas em solução completa eram fotografadas e descritas. Dessa forma, foi possível acompanhar a evolução dos sintomas visuais de deficiências. Além disso, ao final do experimento, isto é, 90 dias após o transplântio, foram aferidos os dados de altura de plantas e diâmetro do colo. Posteriormente, as plantas foram coletadas e divididas em folhas+pecíolos (FP), caule e raízes, sendo secas em estufa de circulação forçada de ar, à  $70\pm 2^\circ\text{C}$  até que apresentassem massa constante. Em seguida, o material vegetal resultante foi pesado em balança de precisão (0,01g) para a obtenção da massa de matéria seca e depois moído em moinho tipo Wiley, para a determinação da concentração dos nutrientes. Além disso, foi determinada a relação raiz/parte aérea, representando uma correlação de desenvolvimento, expressando o fato de que o crescimento radicular pode afetar o da parte aérea e vice-versa.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional Sisvar (Ferreira, 2011).

## **Resultados e Discussão**

### *Caracterização e descrição dos sintomas visíveis de deficiência*

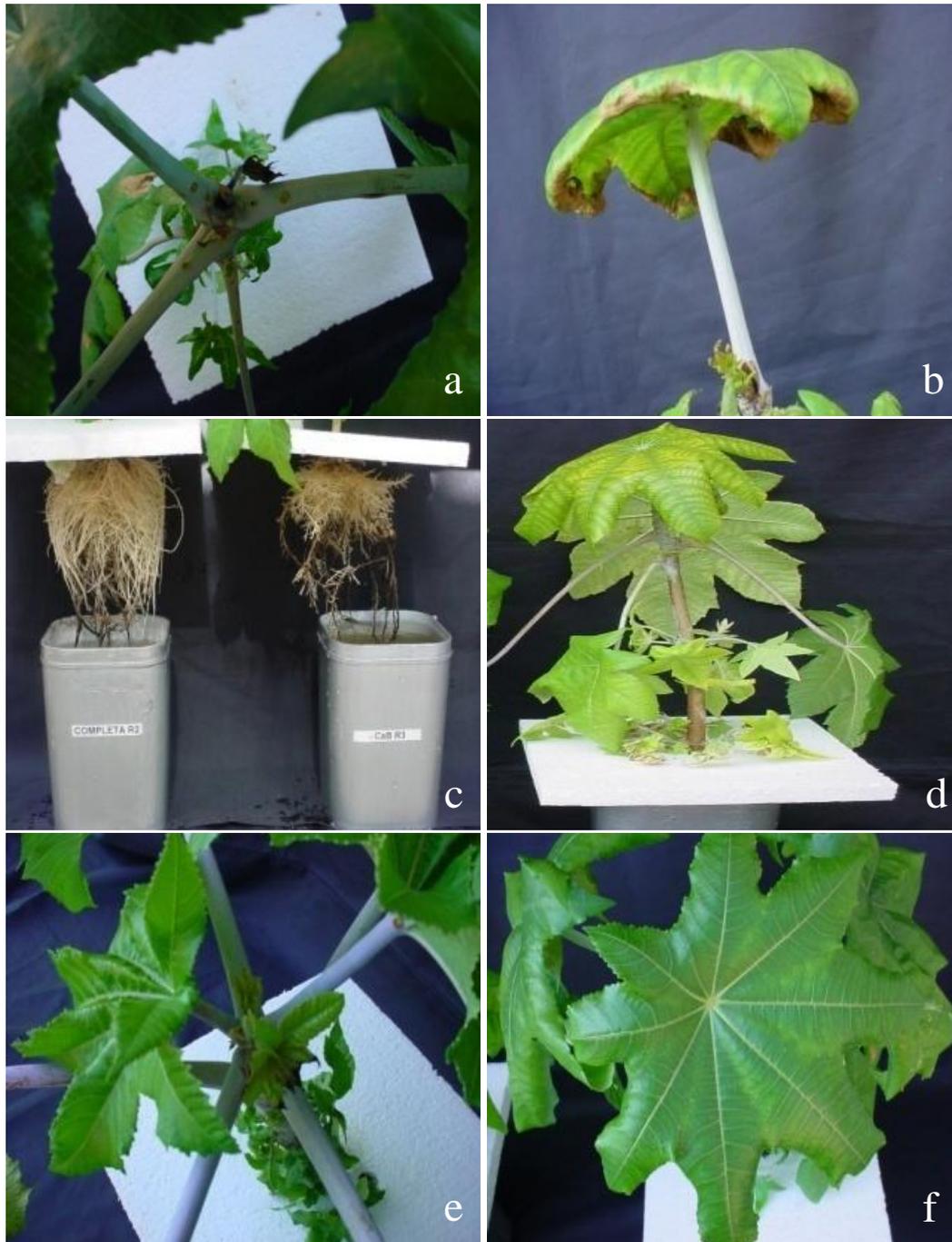
As plantas submetidas à omissão de B (-B) apresentaram diminuição no crescimento e diâmetro de pecíolos 20 dias após o transplântio, quando comparadas visualmente às plantas que receberam solução nutritiva completa. Os efeitos nos meristemas refletem o papel singular que o B exerce no crescimento (divisão, diferenciação e alongamento celular), devido à sua relativa imobilidade nos tecidos (Bastos & Carvalho, 2004; Malavolta, 2006). As plantas deficientes em B também apresentaram folhas novas mais espessas e com as margens necrosadas, além de perda da dominância apical em razão de sua morte (Figura 1A). Essas ocorrências são devido à redução no transporte de sacarose, via floema, das folhas para outras partes da planta ou pela inibição da ação das fosforilases. Ainda, a carência de B causa a obstrução do floema e a má formação dos vasos do xilema, isso diminui o transporte e translocação de nutrientes e carboidratos para tecidos novos (Moraes, et al., 2002; Rosolem et al., 2012). Com a evolução dos sintomas as folhas novas se encarquilharam e se voltaram para baixo. Além disso, após 45 dias, verificou-se um

superbrotamento e alguns pontos necróticos na base do caule das plantas e o sistema radicular das plantas se apresentou, aparentemente, menos denso, com raízes mais grossas, escuras e com as extremidades necrosadas. Resultados semelhantes foram descritos para plantas de pinhão-manso, tagetes, camucamuzeiro e umbuzeiro (Neves et al., 2004; Viégas et al., 2004; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2011). A ausência de B impede o alongamento das raízes tornando-as mais grossas, curtas e quebradiças (Malavolta, 2006).

Portanto, de modo geral o aspecto da deficiência de B em plantas de mamoneira deve-se ao precário desenvolvimento dos tecidos meristemáticos, tanto nas pontas dos ramos como nas das radículas. Ao que parece isso se deve à necessidade de B para a síntese de bases nitrogenadas como a uracila, componente essencial do RNA que, por sua vez, é indispensável para a formação de ribossomas que tem 50% do ácido ribonucléico (Epstein & Bloom, 2004), síntese de RNA, formação de ribossomas e síntese de proteínas são processos fundamentais nos tecidos meristemáticos. Trinta dias após serem submetidas aos tratamentos, as plantas com omissão múltipla de B e Ca apresentaram crescimento retardado. Por serem elementos imóveis o fornecimento desses nutrientes deve ser constante durante todo o ciclo das plantas, assim, a deficiência de B e Ca provocam diminuição no crescimento dos meristemas apicais (Malavolta, 2006; Broadley, et al., 2012; Hawkesford et al., 2012).

Ainda, alterações morfológicas características da deficiência de Ca nas folhas novas, tais como clorose nas margens que posteriormente evoluíram para necrose e estas curvaram-se para baixo foram observadas (Figura 1B). Em relação ao tratamento -B, as plantas do tratamento -BCa não apresentavam folhas tão espessas quanto às do primeiro.

Com a omissão de B aliada à omissão de Ca, provavelmente as raízes mostraram os efeitos da deficiência de forma mais precoce, ou seja, de 45 dias para 30 dias após o transplântio. As extremidades das raízes apresentaram necroses causando interrupção do crescimento radicular e as raízes tornaram-se mais grossas e emitiram raízes laterais, igualmente grossas, e com um volume, aparentemente, bem menor quando comparadas às raízes de plantas do tratamento controle (Figura 1C). Plantas de tagetes apresentaram raízes mais grossas e volume reduzido quando cultivadas em ausência de Ca (Coelho et al., 2011).



**Figura 1.** Caracterização dos sintomas visíveis da omissão simples e múltiplas de nutrientes em mamoneira cultivada em solução nutritiva: (a) tratamento sob omissão de B (-B); (b e c) tratamento sob omissão de B e Ca (-BCa); (d) tratamento sob omissão de B e Fe (-BFe); (e) tratamento sob omissão de B e Mn (-BMn); e (f) tratamento sob omissão de B e Zn (-BZn).



As plantas do tratamento -BFe exibiram os primeiros sintomas visuais 28 dias após a aplicação dos tratamentos, sendo estes típicos da carência de Fe, o de uma rede fina das nervuras sobre um fundo amarelo-claro. Com a evolução dos sintomas, pontuações necróticas apareceram e coalesciam. Provavelmente, as necroses foliares ocorreram devido ao acúmulo de compostos fenólicos comuns em plantas com deficiência de Fe (Römheld & Nikolic, 2006). Além disso, as folhas apresentaram um aspecto menos serrilhado, deformadas e ocorreu a morte da gema apical, sendo neste último caso principalmente em função da omissão de B. Ainda, essas plantas apresentaram um ângulo de inserção das folhas menor em relação ao caule, conferindo assim, um aspecto de murchas.

Na base do caule das plantas foi observado um superbrotamento (Figura 1D) e, após 62 dias expostas aos tratamentos, as raízes, aparentemente, se apresentaram menos densas e mais claras quando comparadas ao tratamento controle. Ademais, raízes sob deficiência de Fe têm seu crescimento inibido, aumento do diâmetro de zonas apicais e cor amarelada em função da produção e acúmulo de riboflavina (Römheld & Marschner, 1981).

Os sintomas visíveis no tratamento -BMn em plantas de mamoneira foram identificados 20 dias após as plantas serem expostas às omissões, sendo que os sintomas visuais típicos foram os da carência de B encontrados nesse trabalho. Posteriormente, foram observados o crescimento retardado e alterações nas folhas mais novas que, aparentemente, se apresentaram mais rígidas, enrugadas e voltadas para cima (Figura 1E). Além dessas alterações, foi atribuído à deficiência de Mn a intensa clorose internerval com a presença do reticulado grosso (Malavolta, 2006). Com a evolução da clorose, 38 dias após o transplântio, essas manchas tornaram-se necróticas, o que causou a senescência precoce das folhas. Passados 47 dias, as raízes mostraram-se mais escuras, grossas e com volume reduzido. Sintomas semelhantes foram observados para plantas de antúrio quando se omitiu de forma conjunta esses nutrientes (Pinho et al., 2012). Quanto à diminuição no volume de raízes, Dechem & Nachtigall (2006) afirmam que a deficiência de Mn tem participação efetiva no conteúdo de carboidratos não estruturais, isto é, haverá redução no crescimento do sistema radicular.

Os primeiros sintomas visíveis do tratamento -BZn foram observados 30 dias após o transplântio, sendo basicamente característicos da ausência de Zn, com as plantas de porte reduzido e internódios

curtos, possivelmente devido a não alongação celular pela falta de auxinas (Epstein & Bloom, 2004), quando comparado às do tratamento controle. Deve ser ressaltado que o Zn é essencial para a síntese do triptofano, que por sua vez é o precursor da auxina, que estando em falta pode causar a perda de dominância apical (Epstein & Bloom, 2004). Posteriormente ocorreu a morte da gema apical, como é característico da carência de B. Também, as folhas mais velhas se apresentaram mais espessas que as mais jovens, sendo que estas mostravam-se com os lóbulos encurvados para baixo e com início de clorose entre eles (Figura 1F). As raízes se apresentaram mais grossas, porém com um volume menor, sintomas estes que se assemelham aos descritos para plantas de antúrio sob deficiência múltipla de B e Zn (Pinho et al., 2012). Ainda, na ausência desse nutriente, as plantas sofrem um efeito drástico sobre a atividade enzimática, desenvolvimento dos cloroplastos, conteúdo de proteínas e ácidos nucleicos. Tais fatos trazem como consequência a baixa atividade meristemática o que se traduz em um porte na forma de roseta em cultivos herbáceos, enquanto em outros os entrenós se tornam curtos (Dechem & Nachtigall, 2006; Malavolta, 2006).

#### *Crescimento e produção de matéria seca*

As variáveis de crescimento, altura de plantas, diâmetro do colo e a produção média de massa seca para as diferentes estruturas morfológicas das plantas estão apresentados na Tabela 1.

Verificou-se que as maiores alturas foram observadas em plantas dos tratamentos -BFe e no tratamento controle, sendo no primeiro ligeiramente superior ao segundo (4,3%), mas não apresentando diferença estatística. Para os demais tratamentos, ocorreu uma redução no crescimento conforme a seguinte ordem: -BCa>-BZn>-BMn>-B. Vale ressaltar que a redução na altura de plantas nesses tratamentos foram de 30,2%; 38,7%; 41,0% e 42,0%, respectivamente, em relação ao tratamento controle. O B participa de importantes compostos e processos nas plantas, inclusive como componente da parede celular. Portanto, devido à sua baixa mobilidade no floema o B não é redistribuído nas plantas e como consequência ocorre a redução das regiões de crescimento (Bastos & Carvalho, 2004; Malavolta, 2006; Hänsch & Mendel, 2009).

Os tratamentos com os maiores diâmetros do colo ( $\emptyset$ ) foram controle e -BFe. Ainda, o decréscimo para esse parâmetro seguiu a mesma ordem que foi



apresentada para a altura de plantas (-BCa=-BZn>-BMn>-B) e foram correspondentes a 29,3%, 29,3%, 36,3% e 39,2%, respectivamente ( $p<0,05$ ). Resultados semelhantes foram encontrados em estudos prévios para plantas de girassol, camucamuzeiro e tagetes (Viégas et al., 2004; Prado

e Leal, 2006; Coelho et al., 2011). Plantas de mamoneira cv. Nordestina, que foram adubadas com micronutrientes apresentaram um diâmetro de colo 10,0% superior aquelas que não receberam esses elementos (Severino et al., 2006).

**Tabela 1.** Crescimento (altura - ALT. - e diâmetro do colo - Ø) e produção média de massa seca de folhas e pecíolo (MSFP), massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSR) e relação parte aérea/raiz (PA/R) de mamoneira cv. Guarani, sob omissão de macro e micronutrientes de forma simples e múltipla, em solução nutritiva.

Tratamento	ALT. (cm)	Ø (cm)	MSFP (g)	MSC (g)	MSR (g)	PA/R
Controle	53,00 a	2,12 a	38,53 a	22,77 a	17,58 a	3,49 a
-B	30,75 b	1,29 b	12,78 b	5,56 b	8,19 b	2,24 d
-BCa	37,00 b	1,50 b	7,47 c	4,61 b	3,68 c	3,28 b
-BFe	55,25 a	2,08 a	9,13 c	5,62 b	6,29 b	2,34 d
-BMn	31,25 b	1,35 b	11,24 b	5,45 b	5,28 b	3,16 b
-BZn	32,50 b	1,50 b	12,23 b	5,65 b	5,97 b	2,99 c
CV(%)	11,33	23,06	12,22	16,09	18,55	7,64

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A produção de massa seca de folhas + pecíolo (MSFP) das plantas de mamoneira cv. Guarani também foram avaliadas (Tabela 1). O tratamento controle foi o que apresentou as maiores médias seguido pelos tratamentos -B, -BZn e -BMn, que não diferenciaram estatisticamente entre si, tendo suas produtividades reduzidas em 66,8%; 68,3% e 70,8%, respectivamente. Por outro lado, as menores médias foram observadas nos tratamentos -BFe e -BCa, que tiveram sua MSFP reduzidas em 76,3% e 80,6%. Por sua imobilidade nas plantas, o B apresenta sintomas em tecidos novos (meristemas). Portanto, em sua ausência as folhas tem seu tamanho reduzido e deformadas, refletindo assim em uma menor produção de massa seca (Malavolta, 2006). As menores produtividades podem ter se agravado pela deficiências de Fe e Ca que reduzem a área foliar e causaram necrose nas folhas, refletindo assim em menores produção de MSFP (Malavolta, 2006; Broadley, et al., 2012; Hawkesford et al., 2012). Plantas de camucamuzeiro, girassol e pinhão-manso cultivadas sob omissão simples de B apresentaram reduções de 59%, 16% e 14%, respectivamente (Viégas et al., 2004; Prado & Leal, 2006; Silva et al., 2009).

Para o caule, as maiores produções de massa seca (MSC) foram observadas no tratamento controle e as menores para os demais tratamentos.

As reduções foram de 75,2%, 75,3%, 75,6%, 76,1% e 79,8% para os tratamentos -BZn, -BFe, -B, -BMn e -BCa. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Viégas et al. (2004) em plantas de camucamuzeiro cultivadas sob omissão de B, onde se observou redução média de 70,65% em relação ao tratamento controle e plantas de antúrio (Pinho et al., 2012).

A massa seca de raízes (MSR) de mamoneiras submetidas às omissões de nutrientes foi severamente afetada (Tabela 1). O menor valor foi observado para o tratamento -BCa, com uma redução de 79,1% em relação ao controle, assim como para massa seca de folhas e pecíolo a omissão múltipla de B e Ca proporcionou o pior resultado. Tanto B quanto Ca são importantes componentes da parede celular, atuam na estabilização das membranas, osmoregulação e transporte de açúcares (Broadley et al., 2012; Hawkesford et al., 2012). Sendo assim, a deficiência desses nutrientes afeta o crescimento e desenvolvimento de raízes de plantas (Malavolta, 2006; Hänsch & Mendel, 2009).

Na Tabela 1, observa-se que as menores relações PA/R foram encontradas nos tratamentos -BFe e -B, indicando uma redução na massa seca de parte aérea em relação às raízes. O incremento na produção da parte aérea fica evidenciado quando se observam os valores de massa seca produzidas no



tratamento completo, que reduziu em, aproximadamente, 70% e 76% nos tratamentos -B e -BFe, enquanto, em relação às raízes, essa redução foi de 53% e 64%. Os resultados encontrados nesse trabalho foram semelhantes aos descritos para umbuzeiro (Neves et al., 2004). No entanto, Viégas et al. (2004) observaram que plantas de camucamuzeiro cultivadas sob omissão de B tiveram um incremento de 32% na relação parte aérea/raiz quando comparada ao tratamento controle.

#### *Acúmulo de nutrientes em plantas de mamoneira*

O acúmulo de nutrientes na parte aérea (MSFP+MSC) também foi analisado e afetado pelos tratamentos (Tabela 2). No entanto, estudos envolvendo o acúmulo de nutrientes em mamoneira são escassos, dificultando assim comparações. Anteriormente, trabalhos propuseram os teores tidos como ideais para a cultura da mamona (Lange et al., 2005; Malavolta, 2006). No entanto, com a evolução das cultivares e melhoria dessas visando altas produtividades esses teores se modificaram e estudos são necessários para atualizar os teores de

nutrientes e, conseqüentemente, otimizar a adubação dessa cultura.

De forma geral, os maiores acúmulos de nutrientes foram encontrados no tratamento controle (Tabela 2). Por outro lado, os menores acúmulos foram observados no tratamento -BCa (Tabela 2). Nesse tratamento verificou-se reduções de 65%, 61%, 69%, 71%, 93% e 69% para os nutrientes N, P, K, S, B e Cu, respectivamente. Isso deve-se a menor produção de massa seca de parte aérea (MSFP+MSC) que ocorreu nesse tratamento. Ademais, tanto B quanto Ca estão relacionados à desordens em pontos de crescimentos e, portanto, a ausência desses nutrientes reduz o crescimento das plantas (Malavolta, 2006; Hänsch & Mendel, 2009). Ainda, tanto deficiência quanto excesso de B pode reduzir a atividade da nitrato redutase e assim diminuir as concentrações de nitrogênio nas plantas (Broadley et al., 2012). Esses mesmos autores afirmam que a absorção de P e K é reduzida quando as plantas estão sob deficiência de B. Com relação ao K, incrementos desse nutriente podem reduzir a relação Ca:B devido à inibição competitiva existente entre Ca e K (Malavolta, 2006; Kabata-Pendias, 2011).

**Tabela 2.** Acúmulo de nutrientes na parte aérea de mamoneira submetida a omissão simples e múltiplas de nutrientes.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg planta <sup>-1</sup> -----					----- µg planta <sup>-1</sup> -----					
Controle	1052,8 a	115,2 a	1005,1 a	1455,9 a	239,4 a	153,1 a	3181,1 a	380,0 a	10693,8 a	5065,5 a	772,3 a
-B	576,8 b	69,6 c	352,9 c	108,2 c	95,4 b	73,9 b	360,6 b	158,3 b	4124,0 b	1262,8 c	425,0 b
-BCa	364,0 c	44,6 d	310,2 c	556,1 b	124,0 b	44,4 c	223,7 d	116,75 c	1906,0 d	1223,0 c	357,3 c
-BFe	587,7 b	84,5 b	408,7 b	499,6 b	89,5 b	67,3 b	308,6 c	146,8 b	1177,8 e	960,3 c	426,6 b
-BMn	576,3 b	66,7 c	390,3 b	489,7 b	88,2 b	70,6 b	333,3 c	123,0 c	3847,7 b	103,3 d	257,0 d
-BZn	521,3 b	110,9 a	321,5 c	531,95 b	105,2 b	74,0 b	364,2 b	144,8 b	3460,3 c	1667,0 b	325,8 c
CV (%)	7,6	11,9	9,2	10,1	13,4	6,6	9,3	8,7	11,8	10,7	8,8

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quando se avaliou a deficiências múltiplas, os decréscimos foram de 66%; 63%; 98% e 67%, respectivamente, para Ca, Mg, Mn e Zn. Ressalta-se que o B possui efeito antagônico com o Mn, que de forma indireta, reduz o crescimento de plantas e também na demanda de nutrientes (Kabata-Pendias, 2011).

#### **Conclusões**

O B, de forma isolada ou em conjunto com o Ca, Fe, Mn e Zn, é essencial para promover a nutrição mineral adequada e o crescimento de plantas de mamoneira;

A omissão simples de boro em solução nutritiva (-B), ou múltiplas com cálcio, ferro, manganês e zinco (-BCa, -BFe, -BMn e -BZn),



causam alterações morfológicas visíveis que são traduzidas em sintomas conhecidos de deficiência de B e específicos das deficiências nutricionais múltiplas;

A omissão múltipla de B e Ca (-BCa) é a mais limitante, retardando o crescimento da parte aérea e da raiz de plantas de mamoneira e reduzindo o seu acúmulo de nutrientes;

Os principais sintomas visíveis de carência múltiplas de B e Ca (-BCa) são a clorose nas margens das folhas, com posterior curvamento, e raízes necrosadas e grossas de forma precoce.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à CAPES, CNPq e FAPEMIG pela concessão das bolsas e financiamentos de projetos.

### **Referências**

ALLOWAY, B.J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2. ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2008. 115p.

BASTOS, A.R.R.; CARVALHO, J.G. Absorção radicular e redistribuição do boro pelas plantas e seu papel na parede celular. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v.24, p.47–66, 2004.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; ÇAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of Nutrients: Micronutrients. In P. MARSCHNER (Ed.). *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 2012. p.191–248.

COELHO, L.C.; KAWAMOTO, L.S.; RODAS, C.L.; SOUZA, G.A.; PINHO, P.J.; CARVALHO, J.G. Caracterização de sintomas visuais, parâmetros de crescimento e desenvolvimento de *Tagetes erecta* sob deficiências nutricionais. **Revista Agrarian**, v. 4, p.113–122, 2011.

DECHEM, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: Fernandes, M.S. (Ed.), *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p.328–354.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral nutrition of plants**. 1ed. Sundeland, Sinauer Associates, 2004. 403p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039–1042, 2011.

GRASSI FILHO, H. Diagnose foliar: princípios e aplicações. In: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R.; SOUZA, H.A. (Eds.). *Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2008. p.35–60.

GUPTA, U. C. Boron. In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. (Eds.). *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton: CRC Taylor & GFrancis Froup, 2006. p. 241–278.

HÄNSCH, R.; MENDEL, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, v.12, p.259–266, 2009.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I.S.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 2012. p.135–189.

KABATA-PENDIAS, A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4. ed. New York: CRC Press, 2011. 505p.

LANGE, A.; MARTINES, A.M.; SILVA, M.A.C.; SORREANO, M.C.M.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.61–67, 2005.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; RAMOS, S.J. The saga of the agricultural development of the Brazilian Cerrado. **e-jfc: International Potash Institute**, v.32, p.29–56, 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MORAES, L.A.C.; MORAES, V.H.F.; MOREIRA, A. Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n. 10, p. 1431-1436, 2002.



- NEVES, O.S.C., SÁ, J.R.; CARVALHO, J.G. Crescimento E Sintomas Visuais De Deficiências De Micronutrientes Em Umbuzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.306–30, 2004.
- PAULO, E.M.; BATAGLIA, O.C.; KASAI, F.S.; CAVICHIOLI, J.C. Deficiência de boro em mamona. **Bragantia**, v.48, p.241–247, 1989.
- PINHO, P.J.; FRAZÃO, J.E.M.; SOUZA, G.A.; CARVALHO, J.G.; BASTOS, A.R.R.; OLIVEIRA, N.P. Sintomas visuais de deficiências simples e múltiplas de micronutrientes em antúrio. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.18, p.63–70, 2012.
- PRADO, R.M.; LEAL, R.M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. Catissol-01. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.187–193, 2006.
- RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Iron deficiency stress induced morphological and physiological changes in root tips of sunflower. **Physiologia Plantarum**, v.53, p.354–36, 1981.
- RÖMHELD, V.; NIKOLIC, M. Iron. In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. p. 329–350.
- ROSOLEM, C.A.; DEUS, A.C.F.; MARTINS, P.O.; LÉLES, E.P. Acúmulo e distribuição de boro em cultivares de algodão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1231-1238.
- SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIN, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.879–882, 2006.
- SILVA, E.B.; TANURE, L.P.P.; SANTOS, S.R.; RESENDE JÚNIOR, P.S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.392–397, 2009.
- SUJATHA, M.; REDDY, T.P.; MAHASI, M.J. Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L. **Biotechnology Advances**, v.26, p.424–35, 2008.
- VIÉGAS, I.J.M.; THOMAZ, M.A.A.; SILVA, J.F.; CONCEIÇÃO, E.O.; NAIFF, A.P.M. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.315–319, 2004.