

## CARACTERIZAÇÃO DE SINTOMAS, ÍNDICES BIOMÉTRICOS E TEORES DE NUTRIENTES EM MAMONEIRA SOB DEFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES<sup>1</sup>

GUILHERME AMARAL DE SOUZA<sup>\*2</sup>, PAULO JORGE DE PINHO<sup>3</sup>, ANA ROSA RIBEIRO BASTOS<sup>4</sup>, ÉLBERIS PEREIRA BOTREL<sup>5</sup>, JANICE GUEDES DE CARVALHO<sup>6</sup>

**RESUMO** - O objetivo deste trabalho foi caracterizar os sintomas visuais de deficiências nutricionais simples e múltipla de micronutrientes em mamoneira cv. Guarani, assim como os efeitos destas na produção de matéria seca e índices biométricos da planta. O experimento foi conduzido em solução nutritiva sob delineamento experimental de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, sendo os tratamentos controle solução de Hoagland e Arnon (1950) completa, omissão simples de ferro (-Fe), omissão simples de manganês (-Mn), omissão simples de zinco (-Zn), omissão múltipla de ferro e zinco (-FeZn), omissão múltipla de manganês e zinco (-MnZn). Sob omissão de Zn, as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência, mas quando em omissão múltipla, a intensidade desse sintoma aumentou e/ou o porte das plantas foi reduzido. Nesses casos, foram observados sintomas de deficiência, os quais são característicos da omissão de Zn. Os teores de nutrientes em folhas e pecíolos foram mais afetados pelo tratamento sob omissão de FeZn, enquanto que no caule o tratamento que mais influenciou foi o correspondente a ausência de Zn. A omissão dos nutrientes, de forma isolada ou em combinação na solução nutritiva, causou sintomas visuais de deficiência, alterou a produção de matéria seca, os índices biométricos e os teores de nutrientes.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis*. Diagnose visual. Nutrição mineral. Solução nutritiva.

### CHARACTERIZATION OF VISUAL SYMPTOMS, DRY MATTER PRODUCTION AND BIOMETRIC INDEX IN CASTOR BEAN UNDER MICRONUTRIENTS DEFICIENCY

**ABSTRACT** – The current work had the objective to characterize the visual symptoms of nutrient deficiencies, single and multiple, in castor bean cultivar Guarani, as well as their effects on dry matter and biometrical index. The experiment was carried out in culture solution with randomized blocks with six treatments and four replications. The treatments were represented by control, then the Hoagland and Arnon (1950) control, omission of iron (-Fe); multiple omission of iron and zinc (-FeZn), omission of manganese (-Mn), multiple omission of manganese and zinc (-MnZn) and omission of zinc (-Zn). Castor bean plants under single Zn omissions did not show visual symptoms, however multiple omission of this nutrient increased the symptoms intensity and reduced the plant height. In such results, the symptoms of Zn deficiency were observed. The nutrients content, in leaves, were more affected by the treatment -FeZn, while the stem contents were affected under Zn omissions. The nutrient omission, single or multiple, in culture solution caused morphological changes and turn into a visual symptoms, altered the dry matter, biometrical index and nutrient contents in castor bean plants.

**Keywords:** *Ricinus communis*. Visual diagnosis. Mineral nutrition. Culture solution.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 15/05/2013; aceito em 08/12/2014.

Trabalho de dissertação do primeiro autor.

<sup>2</sup>Departamento de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 3037, 37200-000, Lavras (MG), amaralufila@gmail.com.

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Agrárias, UNIPAMPA, 97650-000, Itaqui (RS), pinhopj@yahoo.com.br.

<sup>4</sup>Engenheira Agrônoma, 37200-000, Lavras (MG), arosa@dcs.ufla.br.

<sup>5</sup>Departamento de Fitotecnia, UFLA, Caixa Postal 3037, 37200-000, Lavras (MG), elberis@ufla.br.

<sup>6</sup>Departamento de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 3037, 37200-000, Lavras (MG), (in memoriam).

## INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas oleaginosas tem sido cada vez mais difundido no mundo devido a grande diversidade de espécies da família *Euphorbiaceae*. Na região dos trópicos há uma série de espécies dessa família cujos frutos e/ou sementes produzem óleo utilizado para a produção de biodiesel (SUJATHA et al., 2008).

Para a espécie *Ricinus communis*, conhecida como mamoneira, existem ainda muitas lacunas acerca de sua nutrição mineral e, se tratando de diagnose visual, as pesquisas são praticamente inexistentes. A ausência de um ou mais nutrientes ou a deficiência múltipla dos mesmos pode afetar de maneira severa a produção da mamoneira, diminuindo ou alterando a qualidade de seus produtos, como o óleo ou o biodiesel. A nutrição mineral com micronutrientes foi estudada por alguns autores (PAULO et al., 1989; SILVA et al., 2008), mas apenas Lange et al. (2005) trata da diagnose visual desses nutrientes em mamoneira.

Algumas espécies demonstram sintomas de deficiências nutricionais com algumas peculiaridades, não sendo regra um sintoma descrito para a maioria das plantas (MARSCHNER, 1995). Para usar o diagnóstico pelo método visual é preciso garantir que o problema no campo seja causado pela deficiência ou pelo excesso de nutrientes, pois a incidência de pragas e doenças, entre outros, pode dificultar o diagnóstico devido ao fato de gerar sintomas parecidos com o nutricional. Assim, nos casos de desordem nutricional, os sintomas normalmente apresentam as características de dispersão, simetria e gradiente (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008).

O zinco (Zn) é o segundo elemento mais encontrado nos organismos e o único metal a participar dos seis grupos enzimáticos (BROADLEY et al., 2007). Devido a essas características, está envolvido na síntese dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), sendo ainda um cofator enzimático que atua nos mecanismos de transcrição que compõem enzimas essenciais para o crescimento e diferenciação celular (HÄNSCH; MENDEL, 2009; MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008). Os sintomas típicos da deficiência são relatados como encurtamento de internódios e produção de folhas novas pequenas, cloróticas e lanceoladas. Os sintomas de toxidez são raros e, no geral, são reportados como sendo diminuição da área foliar, seguida de clorose (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 2006).

A principal função do ferro (Fe) é ser componente enzimático, sendo que a maioria participa de processos de oxirredução. Além disso, o Fe participa de dois grupos proteicos, as hemoproteínas, onde participam de processos da respiração, e a Fe-S proteínas, atuando em processos fotossintéticos, como ferredoxina, nitrogenase e sulfato redutase (DECHEM; NACTIGALL, 2006; ROMHELD; NI-

KOLIC, 2007; KOBAYASHI; NASHIZAWA, 2012). Por se tratar de um elemento pouco móvel na planta, os sintomas típicos de deficiência aparecem em folhas novas, as quais se caracterizam por apresentarem uma rede verde fina das nervuras sobre um fundo amarelo-claro, o que é explicado pela baixa síntese de clorofila e, com a evolução dos sintomas, as folhas podem apresentar um branqueamento (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006;).

Assim como descrito para Fe e Zn, o Mn é componente enzimático e atua em processos de oxirredução, no transporte de elétrons e ainda participa no fotossistema II (KABATA-PENDIAS E 2011; TAIZ E ZEIGER, 2004; BROADLEY et al., 2012). Como características, plantas deficientes em Mn apresentam crescimento reduzido, diminuição de matéria seca e são susceptíveis a estresses (BROADLEY et al., 2012; MALAVOLTA, 2006). E as folhas apresentam uma rede grossa das nervuras sobre um fundo amarelado (BROADLEY et al., 2012; MALAVOLTA, 2006).

Devido à escassez de informações quanto à omissão de nutrientes nesta espécie, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os sintomas visuais e verificar os seus efeitos no crescimento de plantas de mamoneira cv. Guarani em solução nutritiva sob deficiências simples e múltipla de micronutrientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, localizado pelas coordenadas de 21° 14' de latitude sul e 45° 00' de longitude oeste e altitude de 918 m.

Foi realizada a esterilização das sementes de mamoneira cv. Guarani por meio de imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1%, por 5 minutos, e então semeadas em bandejas de poliestireno com 72 células cada tendo como substrato vermiculita. As mudas permaneceram nas bandejas até o início da fase experimental, que se deu 45 dias após a semeadura.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos, representados por solução de Hoagland e Arnon (1950) completa, omissão simples de ferro (-Fe), omissão simples de manganês (-Mn), omissão simples de zinco (-Zn), omissão múltipla de ferro e zinco (-FeZn), omissão múltipla de manganês e zinco (-MnZn), e quatro repetições. 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>.

As mudas foram transplantadas para bandeja plástica contendo 24L de solução nutritiva completa sob aeração constante, nas concentrações de 25, 40 e 100% de sua força iônica, as quais ficaram um período de 15 dias em cada concentração. Após período de adaptação, os tratamentos foram aplicados e as plantas individualizadas em recipientes plásticos com capacidade de três litros, sob aeração constante. Foram utilizadas placas de isopor de 15 cm de diâmetro e 2 cm de espessura como suporte para as plantas.

No preparo de todas as soluções estoque dos nutrientes empregou-se reagentes puros para análise. As soluções nutritivas foram preparadas utilizando-se água deionizada e, durante o intervalo de 7 dias entre a renovação das soluções, o volume dos vasos foi completado sempre que necessário utilizando-se aquela água. O pH da solução foi monitorado diariamente e a troca de solução realizada semanalmente para evitar a exaustão dos nutrientes na solução de cultivo.

A medida em que as manifestações dos sintomas visuais de deficiências nutricionais ocorriam todas as alterações nas folhas, caule e raízes que distinguiam as plantas sob omissão de nutrientes das cultivadas em solução completa foram fotografadas e anotadas, sendo possível acompanhar a evolução dos sintomas visuais de deficiências e caracterizá-los.

Ao final da fase experimental foram coletados os dados de altura (mensurada do ápice ao colo da planta) e diâmetro do colo (medido a 2 cm do recipiente). Posteriormente, as plantas foram divididas em folhas + pecíolos (FP), caule e raízes. As diferentes partes das plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a  $70\pm 2^\circ\text{C}$  até peso 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 (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, foi determinada a relação parte aérea/raiz, representando uma correlação de desenvolvimento, expressando o fato de que o crescimento radicular pode afetar a parte aérea e vice-versa.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. E as análises estatísticas realizadas por meio do programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização de sintomas

As plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão de Fe apresentaram crescimento semelhante ao de plantas do tratamento completo (Fig. 1A). Esse resultado foi diferente dos obtidos por

plantas de mamoneira cv. Íris e tagetes africano, que apresentaram crescimento reduzido no tratamento sob omissão de Fe (LANGE et al., 2005; COELHO et al., 2011). O sintoma visual de deficiência de Fe na folha foi caracterizado como uma rede fina das nervuras sobre um fundo amarelo-claro. Com a intensificação da clorose, as manchas evoluíram para necrose entre os lóbulos das folhas, provocando, em alguns casos, a queda prematura das folhas (Fig. 1B). Este resultado foi semelhante ao encontrado por Silva et al. (2009). Segundo Malavolta (2006), a clorose ocorre, provavelmente, devido à baixa produção de clorofila, uma vez que o Fe é componente da enzima responsável pela biossíntese deste pigmento.

O sistema radicular das plantas sob omissão de Fe apresentou coloração mais clara e, aparentemente, foi similar em volume ao sistema radicular das plantas do tratamento completo. Segundo Romheld e Marschner (1981), a deficiência de Fe está associada à inibição da elongação radicular, aumento do diâmetro das zonas apicais das raízes, formação abundante de raízes laterais e cor amarelada decorrente do acúmulo de riboflavina, sendo essa uma estratégia morfofisiológica para translocar Fe das raízes para a parte aérea, o que não foi observado neste trabalho.

A ausência de Mn em plantas de mamoneira desencadeou a redução do crescimento e clorose internerval com aparecimento do reticulado grosso (Fig. 1C), como descrito em tagetes africano (Coelho et al., 2011). As folhas também apresentaram um aspecto encarquilhado e com brilho intenso. Com o avanço da carência, as áreas cloróticas aumentaram. Além da clorose, as plantas apresentaram morte precoce das folhas mais novas e da gema apical (Fig. 1D). Romheld (2001) relata que os sintomas de clorose podem ser causados por distúrbio na estrutura do cloroplasto, como consequência da inibição na síntese de lipídeos. O Mn está ligado à formação da clorofila e a maior parte do nutriente se encontra nos cloroplastos, participando de processos de transporte eletrônico na fase luminosa da fotossíntese (NUGENT et al., 2001; SOCHA; GUERINOT, 2014) e, sob omissão do mesmo, a estrutura dos cloroplastos é alterada (BROADLEY et al., 2012; EPSTEIN; BLOOM 2004). Devido à variedade de processos metabólicos envolvendo o Mn é difícil definir as relações entre deficiência, efeitos fisiológicos e sintomas. Entretanto, assume-se que a clorose associada à deficiência desse nutriente seja consequência da deficiência de energia. A diminuição da síntese e a acelerada degradação de proteínas e clorofila levam ao acúmulo de compostos nitrogenados de baixo peso molecular que culminam em necrose (NUGENT et al., 2001).

As raízes das plantas sob omissão de Mn se apresentaram, aparentemente, mais grossas que as do tratamento controle, similarmente aos sintomas observados para plantas de tagetes (COELHO et al.,

2011). Ainda foi constatada na base do caule a emissão de raízes.

Sob omissão de Zn, as plantas apresentaram crescimento semelhante ao das plantas do tratamento completo. Não foram observadas manifestações morfológicas típicas da carência desse nutriente. Isso ocorreu, provavelmente, devido às reservas de Zn nas sementes e ao período de adaptação das plantas.

Segundo Broadley et al. (2007), plantas cultivadas em solos de baixa fertilidade conseguem redistribuir esses nutrientes durante o seu ciclo. As maiores relações entre parte aérea/raiz foram verificadas nos tratamentos com omissão desse nutriente, em que a ausência de Zn provocou menor produção da parte aérea, mesmo com um maior sistema radicular. Cakmak (2008) e Cakmak et al. (2010) relatam que em



**FIGURA 1.** Sintomas visuais de deficiência de em mamoneira, a direita plantas do tratamento controle e a esquerda plantas dos tratamentos sob omissão. Omissão de Fe (Fig. A e B). Omissão de Mn (Fig. C e D). Omissão múltipla de Fe e Zn (Fig. E e F). Omissão múltipla de Mn e Zn (Fig. G e H).

A omissão múltipla de Fe e Zn promoveu apenas os sintomas de deficiência de Fe. Contudo, as plantas tiveram o crescimento reduzido quando comparadas às do tratamento completo (Fig. 1E). Neste tratamento, as plantas apresentaram folhas com aspecto aparentemente mais fino e brilho mais intenso (Fig. 1F). As folhas mais novas foram emitidas com sintomas visuais de clorose internerval intensa e na base do caule foi observado superbrotamento. Clorose geral de folhas jovens é o sintoma mais evidente da deficiência desses dois nutrientes, entretanto a maior intensidade desses sintomas sugere um efeito

sinérgico entre essas duas omissões. Primeiro as nervuras podem permanecer verdes, mas na maioria das espécies em que a deficiência é observada, elas também se tornam cloróticas no final (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Entretanto, plantas deficientes em Zn apresentam elevados teores de Fe (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). O Zn além de apresentar função estrutural é constituinte ou ativador de enzimas, participa no processo da fotossíntese, respiração, síntese (proteínas e amido) e no controle hormonal e resistência a doenças (CAKMAK, 2008).

Assim como descrito para plantas sob omissão de Fe, as raízes apresentaram coloração mais clara que as dos demais tratamentos, porém, aparentemente, não diferenciaram do tratamento completo em relação à densidade.

Sob omissão múltipla de Mn e Zn apresentaram, inicialmente, sintomas visuais da carência de Mn. As plantas apresentaram o porte reduzido quando comparadas às do tratamento completo (Fig. 1G). As folhas apresentaram clorose entre os lóbulos, perda do brilho e enrugamento ocorrendo, posteriormente, a morte da gema apical (Fig. 1H). Foi observado necrose ao longo da nervura central das folhas que caracterizaram a deficiência de Mn. Inicialmente, as necroses caracterizavam-se pela presença de manchas ao longo das nervuras. Epstein e Bloom (2004) descrevem que os sintomas de deficiência de Mn variam grandemente de uma espécie para outra. De modo geral, as folhas apresentam clorose entre as nervuras, produzindo desenho verde em um fundo

amarelo ou verde claro assemelhando-se muito com a deficiência de Fe. A deficiência do Zn é caracterizada pela redução do crescimento internodal e, como resultado, a planta apresenta um hábito de crescimento rosetado. As folhas podem apresentar-se pequenas e retorcidas, com margens de aparência enrugada (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As raízes apresentaram coloração escura e também se apresentaram mais grossas, com emissão de várias raízes laterais, igualmente grossas. Com isso, a densidade radicular do tratamento -MnZn não diferiu da observada no tratamento completo.

### Índices biométricos e produção de matéria seca

Os índices biométricos: altura final das plantas (ALT), diâmetro do colo (DC), produção de matéria seca para as diferentes partes das plantas e relação parte aérea/raiz (PA/Rz) são apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1.** Índices biométricos (altura - ALT, - e diâmetro colo - D.C.) e produção média de matéria seca de folhas e pecíolo (FP), caule, raiz e relação parte aérea/raiz (PA/Rz) de mamoneira cv. Guarani, sob omissão de macro e micronutrientes de forma simples e múltipla.

Tratamento	ALT. (cm)	D.C. (cm)	MSFP (g)	Caule (g)	Raiz (g)	PA/Rz
Completo	53,0 b	2,1 a	38,5 a	22,8 a	17,6 a	3,6 a
-Fe	63,7 a	2,0 a	30,4 b	21,4 a	19,8 a	3,1 a
-FeZn	54,3 b	1,3 b	20,2 c	14,9 b	16,4 a	2,2 b
-Mn	48,5 b	1,3 b	22,1 c	11,6 b	14,6 a	2,3 b
-MnZn	51,3 b	1,3 b	17,7 c	11,0 b	16,7 a	1,8 b
-Zn	49,7 b	2,0 a	19,8 c	20,1 a	18,9 a	2,1 b
CV(%)	9,32	5,59	19,57	18,86	19,56	10,90

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

### Altura e diâmetro de colo

O tratamento sob omissão de Fe apresentou a maior altura (20% superior ao tratamento controle), não sendo observadas diferenças entre os demais tratamentos de deficiência nutricional (Tabela 1). A ausência de diferenças entre os tratamentos de omissão nutricional no índice biométrico altura se justifica pela baixa demanda de micronutrientes pelas plantas de mamoneira, somando-se ao fato de que provavelmente a semente constituiu uma fonte contendo as reservas de micronutrientes necessárias ao crescimento das plantas por todo o período experimental, além do período de adaptação no qual foi disponibilizada solução completa com diferentes forças iônicas. Entretanto, foi possível observar alterações visuais no sistema radicular e nas folhas, com exceção para a deficiência de Zn.

Quando se avaliou o diâmetro do colo de plantas de mamoneira verificou-se efeito significativo dos tratamentos. As maiores médias finais foram encontradas nos tratamentos completos -Fe e -Zn, os quais diferiram estatisticamente (Tabela 1).

Os menores valores de média foram encontrados nos tratamentos -Mn, -FeZn e -MnZn (39, 41 e 41%, respectivamente), quando comparados às médias do diâmetro do colo observadas para o tratamento completo. O menor diâmetro do colo pode atribuir menor resistência a tombamentos e consequente acamamento, sendo esse um aspecto observado no vigor das plantas e de importância para produção.

### Produção de matéria seca

As maiores produções de matéria seca de

folhas e pecíolos (MSFP) foram verificadas no tratamento completo, seguido pelo tratamento sob omissão de Fe, no qual se observou uma redução no crescimento de 21%. Esse resultado difere do encontrado por Lange et al. (2005), que verificaram redução de matéria seca de 51% no tratamento sob omissão de Fe. Essa pequena redução pode ter ocorrido pelo fato das plantas de mamoneira cv. Guarani não demandarem grandes quantidades desse nutriente e ainda que a planta tenha adquirido a quantidade necessária no período de adaptação ou, até mesmo, as quantidades de Fe contidas na semente foram suficientes para suprir a planta.

As menores produções de MSFP foram observadas nos tratamentos sob omissão de -MnZn, -Zn, -FeZn e -Mn, os quais sofreram redução de 54, 49, 48 e 43%, respectivamente. Lange et al. (2005), caracterizando os sintomas de deficiência de micronutrientes em mamoneira cv. Íris, observaram que as omissões de B, Fe e Mn afetaram a produção de matéria seca na seguinte ordem: Fe > Mn > B. Para omissão de Mn, os supracitados autores encontraram redução de matéria seca de apenas 29% na cv. Íris.

Conforme dados da Tabela 1, as menores produções de matéria seca de caule foram observadas nos mesmos tratamentos onde ocorreram reduções na produção de MSFP, com exceção dos tratamentos sob omissão de Zn e Fe, que não diferiram significativamente do tratamento. Os tratamentos -MnZn, -Mn e -FeZn apresentaram reduções de 52, 49 e 35%, respectivamente. Por outro lado, os maiores valores de matéria seca de caule foram observados nos tratamentos -Zn, -Fe e completo, os quais não diferiram estatisticamente.

Por meio da tabela 1 verifica-se que para a matéria seca da raiz não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Esses resultados diferem do encontrado por Lange et al. (2005), ao trabalha-

rem com plantas de mamoneira cv. Íris sob omissão de micronutrientes. Os referidos autores observaram que os elementos mais limitantes para o crescimento radicular foram Fe e Mn, além da produção de MSR de 13,5 g planta<sup>-1</sup>, e Lavres Júnior et al. (2005), por outro lado, relataram uma produção de 11,4 g planta<sup>-1</sup> para as plantas do tratamento completo de mamoneira cv. Íris.

### Relação parte aérea/raiz

A relação PA/Rz é uma correlação de desenvolvimento, expressando o fato de que o crescimento da parte aérea pode ser influenciado pelo radicular e vice-versa (CORREIA; NOGUEIRA, 2004). Verifica-se pela figura 2 que a mamoneira apresentou uma flexibilidade no ajuste da relação PA/Rz em função das mudanças no ambiente nutricional proporcionadas pelos tratamentos. Os menores valores dessa relação foram encontrados nos tratamentos -MnZn, -Zn, -FeZn e -Mn, respectivamente. Esse comportamento é justificado pelo menor crescimento das raízes e do pequeno crescimento da parte aérea nesses tratamentos, enquanto nos demais houve maior crescimento da parte aérea em função do menor requerimento dos demais nutrientes pela mamoneira.

Nos tratamentos completo e -Fe foram verificados os maiores valores de PA/Rz. Isso pode indicar que a partição da matéria seca entre a parte aérea e o sistema radicular foi maior, ou seja, maior alocação de nutrientes para a parte aérea. Na figura 2 podem-se observar os tratamentos que mais afetaram essa relação, os quais foram adotados para o tratamento completo os valores de MSPA e MSRz iguais a 100%.

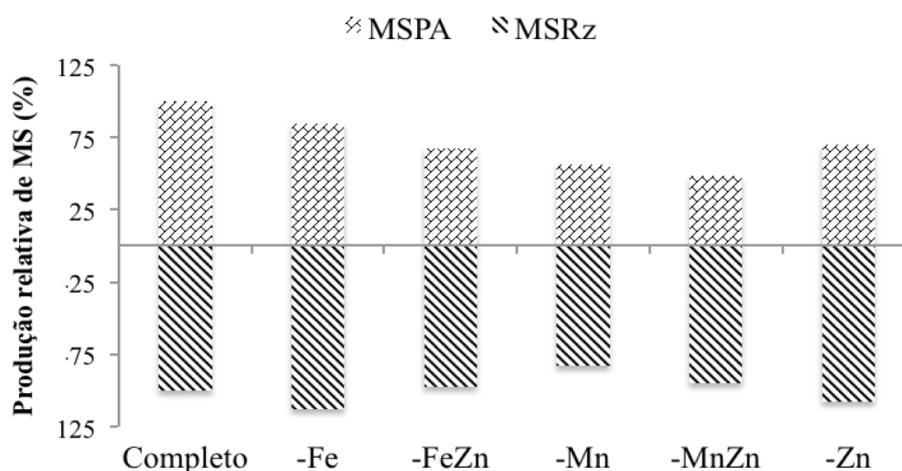


FIGURA 2. Produção relativa de matéria seca da raiz e parte aérea de plantas de mamoneira cv. Guarani sob omissão simples e múltipla de micronutrientes em solução nutritiva.

Ainda conforme a figura 2, pode-se observar que apesar das relações PA/Rz serem próximas entre o tratamento completo e o -Fe o crescimento das plantas no primeiro foi superior. As plantas dos tratamentos -Fe e -Zn tiveram a parte aérea mais afetada do que as raízes, mostrando pouca sensibilidade deste órgão à deficiência desses elementos. Segundo Kerk e Feldman (1994), esse tipo de comportamento é explicado por meio de um mecanismo de translocação de auxina da parte aérea para as raízes com o objetivo destas de manter crescimento adequado.

O tratamento no qual se omitiu de forma conjunta Mn e Zn foi o que mais afetou a produção relativa de parte aérea e de raiz do que quando comparado às omissões simples de cada nutriente. Quando se observam os tratamentos sob omissão simples de Mn e Zn verifica-se que o Mn é mais limitante. Entretanto, quando ocorre a omissão múltipla desses, além de aumento na produção relativa de raízes e diminuição da parte aérea das plantas, a deficiência de Mn tem participação no acúmulo de carboidratos não estruturais. Assim, essa redução no crescimento de raízes de plantas deficientes pode ser relacionada à diminuição no acúmulo desses compostos para formação do órgão (EPSTEIN; BLOOM, 2007; DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

### Teor de Nutrientes

A aplicação dos tratamentos afetou os teores dos nutrientes, tanto nas folhas e pecíolos (FP) quanto no caule de plantas de mamoneira. Contudo, poucos são os estudos encontrados na literatura que permitem comparações para cv. Guarani ou até mesmo

para outras cultivares submetidas à omissão de nutrientes, tanto de forma simples quanto múltipla em mamoneira. Encontram-se apenas valores considerados como ideais para a cultura, como os descritos por Malavolta (2006), que relatam os teores adequados encontrados nas folhas de mamoneira, que são de 40 a 50 g kg<sup>-1</sup> para N, 3 a 4 g kg<sup>-1</sup> para P, 30 a 40 g kg<sup>-1</sup> de K, 15 a 25 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 2,5 a 3,5 g kg<sup>-1</sup> de Mg e de 3 a 4 g kg<sup>-1</sup> de S.

Por meio da tabela 2, verifica-se que o tratamento que mais influenciou os teores de nutrientes nas FP foi o -FeZn. Neste tratamento, foram observados os maiores teores de P, K, B, Cu e Zn. Tanto Fe quanto Zn são metais catiônicos e estão relacionados a uma série de interações com outros elementos. Dechen e Nachtigall (2006) relatam que o Fe interfere não apenas na absorção como translocação e na assimilação do P pelo fato deles formarem fosfato de ferro. Oliveira et al. (2010), trabalhando com doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, verificaram que doses de 30 a 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> diminuíram os teores de Fe no tecido foliar. O K, por sua vez, compete com outros cátions, entre eles o Zn, por sítios de absorção. Isso ocorre devido a alta eficiência do sistema de absorção das plantas (MALAVOLTA, 2006). Em ausência de K<sup>+</sup> na solução, a absorção de outros cátions é aumentada, uma vez que a competição entre eles é menor. Além disso, altas doses de Cu diminuem a disponibilidade, tanto de Fe quanto de Zn (MALAVOLTA, 2006), e a absorção de Cu inibe a de Zn e vice-versa, além de competir com Fe pelos sítios de absorção (FAGERIA, 2001; KABATA-PENDIAS, 2011).

**Tabela 2.** Teores de nutrientes em folhas e pecíolos (FP) e caule de plantas de mamoneira cv. Guarani sob omissão simples e múltiplas de nutrientes.

Trat.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
FP											
Comp.	20,5 d	2,0 c	19,4 c	23,2 d	4,4 d	2,9 d	69,0 c	7,6 b	232,2 c	114,9 c	14,7 d
-Fe	21,3 c	2,0 c	30,5 a	41,1 c	5,8 d	5,5 a	111,4 a	8,7 b	174,4 c	214,0 a	29,4 c
-FeZn	30,2 b	7,9 a	31,5 a	42,1 c	8,0 c	3,9 c	111,4 a	13,7 a	126,2 d	167,1 b	74,8 a
-Mn	32,9 a	5,7 b	23,0 b	28,2 d	5,9 d	1,7 e	29,4 d	7,8 b	461,4 a	22,4 d	50,1 b
-MnZn	29,7 b	6,0 b	16,4 d	54,9 b	10,2 a	4,8 b	35,8 d	6,0 c	304,7 b	22,2 d	10,5 d
-Zn	22,0 c	5,3 b	13,4 e	60,5 a	9,5 b	4,8 b	91,7 b	6,0 c	263,8 c	109,4 c	44,9 b
CV(%)	2,6	11,3	5,7	6,6	11,4	6,6	5,7	7,3	8,0	5,8	6,8
Caule											
Comp.	11,6 d	1,6 a	11,4 a	24,7 b	3,1 d	1,9 b	22,9 b	3,8 c	75,8 b	28,1 a	9,0 b
-Fe	11,3 d	1,6 a	12,0 a	28,8 a	3,9 c	1,7 c	26,2 b	5,1 b	41,6 c	28,5 a	19,8 a
-FeZn	17,1 b	1,1 b	7,7 c	25,4 b	5,4 a	2,3 a	31,1 a	6,6 a	52,0 c	18,3 b	16,9 a
-Mn	17,3 b	1,7 a	9,6 b	28,3 a	4,7 b	2,3 a	24,5 b	5,5 b	137,1 a	6,8 c	8,9 b
-MnZn	20,3 a	1,3 b	9,6 b	25,5 b	4,7 b	2,2 a	24,0 b	5,7 b	92,4 a	6,1 c	7,7 b
-Zn	14,1 c	1,6 a	9,8 b	27,6 a	4,6 b	2,2 a	28,4 a	6,4 a	78,3 b	20,6 b	19,3 a
CV(%)	8,1	14,0	8,7	8,2	7,0	6,4	9,3	5,4	11,3	14,9	6,2

As médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a nível de 5%.

De forma geral, os menores teores de nutrientes foram observados no tratamento sem omissão de nutrientes (completo). Tal fato pode ser explicado pelo efeito de diluição dos nutrientes, sendo comprovado pela maior produção de matéria seca (Tabela 1) e, conseqüentemente, no maior acúmulo.

Os maiores teores de nutrientes no caule de mamoneira cv. Guarani foram verificados no tratamento sob omissão de Zn. Neste tratamento, os teores de P, Ca, S, B, Cu e Fe foram iguais ou superiores aos encontrados para o tratamento controle. Pode-se encontrar trabalhos relacionando a interação entre os nutrientes, principalmente os catiônicos, tais como Ca, Cu, Fe, Zn e suas interações (FAGERIA, 2001, TAIZ; ZEIGER, 2004).

Da mesma forma que ocorreu para FP, os menores teores foram observados nos tratamentos completos, seguido sob omissão de Fe. Esses tratamentos foram os que apresentaram as maiores produções de matéria seca de caule, o que pode ter ocasionado um efeito de diluição nos teores.

## CONCLUSÕES

A omissão dos nutrientes, de forma isolada ou em combinações na solução nutritiva, causaram alterações morfológicas traduzidas em sintomas visuais de deficiência, alterando a produção de matéria seca, índices biométricos e os teores de nutrientes nas diferentes partes das plantas.

Sob omissão de Zn, as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência, mas quando em omissões múltiplas as intensidades dos sintomas aumentaram e/ou o porte das plantas foi reduzido. Nesses casos, foram observados sintomas de deficiência, os quais são característicos da omissão de Zn.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

BROADLEY, M. R. et al. Zinc in Plants. **The New Phytologist**, Lancaster, v. 173, n. 4, p. 677-702, 2007.

BROADLEY, M. et al. Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Academic, 2012. p. 191-248.

CAKMAK, I. Enrichment of Cereal Grains with Zinc: Agronomic or Genetic Biofortification? **Plant**

**Soil**, Netherlands, v. 302, p. 1-17, 2008.

CAKMAK, I. et al. "Biofortification and Localization of Zinc in Wheat Grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, n. 16, p. 9092-9102, 2010.

COELHO, L. C. et al. Caracterização de sintomas visuais, parâmetros de crescimento e desenvolvimento de *Tagetes erecta* sob deficiências nutricionais. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 12, p. 113-122, 2011.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2004.

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**. Sunderland: Sinauear Associates, 2004. 403 p.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, 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. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV, 2008. p. 35-60.

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

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The Water Culture Method for Growing Plants Without Soil. **California Agricultural Experiment Station**, Circular 34: Berkeley, 1950, p. 1-32.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. New York, NY: CRC Press, 2011. 548 p.

KERK, N.; FELDMAN, L. The quiescent centre in roots of maize: initiation, maintenance and role in organization of the root apical meristem. **Protoplasma**, Vienna, v. 183, p. 100-106, 1994.

- KOBAYASHI, T.; NISHIZAWA, N. K. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 63, p. 131-152, 2012.
- LANGE, A. et al. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2005.
- LAVRES JÚNIOR, J. et al. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 145-151, 2005.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafôs, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 11, p. 166-170, 2008.
- NUGENT, J. H. A.; RICH, A. M.; EVANS, M. C. W. Photosynthetic water oxidation: towards a mechanism. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1503, p. 138-146, 2001.
- OLIVEIRA, J. P. M. et al. Adubação fosfatada para cultivares de mamoneira no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p. 1835-1839, 2010.
- PAULO, E. M. et al. Deficiência de boro em mamona. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 241-247, 1989.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. 407 p.
- ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. Iron deficiency stress induced morphological and physiological changes in root tips of sunflower. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 53, n. 4, p. 354-360, 1981.
- ROMHELD, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M. E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 71-85.
- ROMHELD, V.; NIKOLIC, M. Iron. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Ed.). **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. p. 329-350.
- SILVA, D. H. et al. Boron affect the growth and ultrastructure of *Castor bean* plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n.6, p. 659-664, 2008.
- SILVA, E. B. et al. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009.
- SOCHA, A. L.; GUERINOT, M. L. Mn-euvering manganese: the role of transporter gene family members in manganese uptake and mobilization in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1-16, 2014.
- 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**, Toronto, v. 26, p. 424-435, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto alegre: Artmed, 2004. 719 p.