

Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva

Ivana Machado Fonseca¹, Renato de Mello Prado², Adriana Ursulino Alves³ e Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim⁴

RESUMO

Objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. BRS 304. O experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação na FCAV/Unesp, em Jaboticabal-SP. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com sete tratamentos que corresponderam à solução nutritiva completa e a omissão individual de N, P, K, Ca, Mg e S, em três repetições. Após duas semanas de emergência, as plantas foram colocadas em vasos de 2,5 L, aplicando-se os respectivos tratamentos. Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, avaliou-se a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro do caule, a área foliar, além da massa seca das plantas (parte aérea e raiz) e o estado nutricional. Os sintomas visuais de deficiências variaram em função do nutriente em estudo. A omissão de N, P, K foi que mais limitou a produção de massa seca total do sorgo. As plantas do tratamento completo e da omissão apresentaram os seguintes teores de macronutrientes na parte aérea: N = 26,9 e 7,0; P = 4,0 e 0,5; K = 37,3 e 4,2; Ca = 4,2 e 0,8; Mg = 4,1 e 0,5; S = 2,1 e 0,3 g kg⁻¹, e na raiz: N = 19,4 e 6,0; P = 2,6 e 0,4; K = 27,2 e 3,8; Ca = 5,4 e 0,9; Mg = 3,9 e 0,7 e S = 4,7 e 0,4 g kg⁻¹, respectivamente. A deficiência de um nutriente, além de promover sua diminuição nos teores nas plantas, causou um desequilíbrio entre o demais nutrientes. **Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, absorção, cultivo hidropônico, diagnose visual, nutrição mineral.

Growth and nutrition of the sorghum (cv. BRS 304) in nutrient solution

ABSTRACT

Given the importance of the cultivation of sorghum in agricultural production, it was aimed to evaluate the effect of the omission of nutrients on growth and nutritional status of plants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. BRS 304. The experiment was conducted under greenhouse conditions in São Paulo State University – FCAV/Unesp, Brazil. It was used to a completely randomized design, with seven treatments that corresponded to complete nutrient solution and individual omission of N, P, K, Ca, Mg, S, in three replicates. After two weeks of emergency, the plants were placed in pots (2.5 L), according to their treatments. After 30 days of the application of treatments, evaluate the height of the plants, the number of leaves, the diameter of the stem, leaf area, and the dry weight of plants (shoot and root) and nutritional status. Symptoms of visual disabilities varied depending on the nutrient under study. The omission of N, P, K was more that limited the total dry matter production of grain sorghum. The treatment plant and complete omission, had the following levels of nutrients in the shoot: N = 26.9 and 7.0, P = 4.0 and 0.5, K = 37.3 and 4.2; Ca = 4.2 and 0.8, Mg = 4.1 and 0.5, S = 2.1 and 0.3 g kg⁻¹, and at the root: N = 19.4 and 6.0, P = 2, 6 and 0.4, K = 27.2 and 3.8, C = 5.4 and 0.9; Mg = 3.9 and 0.7 and S = 4.7 and 0.4 g kg⁻¹, respectively. The deficiency of a nutrient, as well as promoting decrease in levels in the plant, causing an imbalance between the other nutrients.

Keywords: *Sorghum bicolor*, absorption, hydroponic cultivation, diagnose visual, mineral nutrition.

1 INTRODUÇÃO

Na região do cerrado, o cultivo do sorgo assume destaque em substituição ao milho como suplemento energético, trazendo grandes vantagens econômicas ao produtor. O sorgo consiste em uma das culturas alimentares mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação. Entretanto, com todo esse potencial, a produção do sorgo ainda é pequena, necessitando-se de esforço no sentido de difundir-la e incentivá-la, sobretudo, através do incremento em sua produtividade que depende, dentre outros fatores, da nutrição mineral.

A desordem nutricional tem semelhança nas espécies de plantas, pois o nutriente exerce sempre a mesma função, qualquer que seja o vegetal (Meyer et al., 1983), entretanto exibe respostas diferenciadas entre e dentro das espécies como resultado da expressão genética (Vose, 1963), além de ser influenciada pelo grau de sua severidade, do cultivar e dos fatores ambientais.

Desta forma, a sintomatologia das plantas em virtude de deficiências minerais associada aos teores dos nutrientes contribui para a avaliação adequada do estado nutricional das plantas, uma vez que o desarranjo nutricional promove uma diminuição produtiva de qualquer cultura, quer seja por deficiências ou excessos dos elementos essenciais.

Para isto, a técnica de cultivo de plantas em solução nutritiva tem permitido avanços no conhecimento da nutrição das plantas, pois controla mais adequadamente a composição da solução e elimina a heterogeneidade e complexidade que se apresenta no solo (Sarruge, 1975).

Na literatura são poucos os trabalhos de nutrição da cultura do sorgo que observam os efeitos da omissão de nutrientes. Diante deste contexto, objetivou-se avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, na produção de massa seca e no estado nutricional de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv BRS 304.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da FCAV/Unesp, em Jaboticabal-SP, no período de setembro a dezembro de 2006. Foram utilizadas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. BRS 304 cultivadas em solução nutritiva aerada.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos que corresponderam à solução completa de Hoagland & Arnon (1950) (macro e micronutrientes) e a omissão individual de N, P, K, Ca, Mg e S, em três repetições, totalizando 21 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico preenchido com 2,5 L de solução nutritiva. Inicialmente, o sorgo foi semeado em tubetes preenchidos com substrato e vermiculita e mantido durante duas semanas com solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950) diluída (25%). Após esse período, foram transplantadas duas plântulas, as quais tiveram suas raízes previamente lavadas, para cada vaso, aplicando-se os tratamentos com a solução completa e a omissão individual de nutrientes, que foram trocados semanalmente, mantendo um arejamento contínuo por meio do sistema de compressão de ar. Diariamente, completou-se o volume do vaso com água deionizada e ajustou-se o valor do pH em $5,5 \pm 0,5$ por meio de soluções de HCl 1,0 M ou NaOH 1,0 M.

Realizaram-se avaliações semanais dos dados de crescimento referentes à altura (da base da espuma até o ápice da folha maior), ao diâmetro do caule (próximo à base da espuma), ao número de folhas completamente expandidas e à sintomatologia, durante quatro semanas. Na ocasião da colheita das plantas aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, separou-se a parte aérea (folhas e caule) das raízes, e ainda, avaliou-se a área foliar com auxílio de um aparelho integrador de áreas portátil LI-COR modelo LI-3000C. Posteriormente, o material vegetal foi lavado em água corrente, solução detergente (1 ml L^{-1}) e duas vezes em água deionizada. Em seguida, foi acondicionado em sacos de papel e seco em estufa de circulação forçada de ar, a cerca de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até massa constante. Após a secagem, obteve-se a massa seca do material vegetal, e posteriormente, o

mesmo foi moído em moinho tipo Willey. Realizou-se a análise química para os macronutrientes conforme indicações de Bataglia et al. (1983).

Aos resultados obtidos, aplicou-se a análise de variância, seguindo-se da aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias (Pimentel-Gomes, 1990). Também foram feitas análises de regressão polinomial para as avaliações semanais dos dados de crescimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros vegetativos de crescimento, como a altura das plantas, o diâmetro do caule, o número de folhas, a área foliar bem como a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, além do teor e do acúmulo de nutrientes nas plantas, e as eventuais desordens nutricionais no sorgo sob omissão de macronutrientes, foram discutidos para cada elemento (Tabelas 1, 2 e 3; Figuras 1 e 2).

Tabela 1 – Variáveis de crescimento das plantas de sorgo cv. BRS 304 cultivada em solução nutritiva em função da omissão dos macronutrientes

Tratamentos	Altura	Diâmetro do caule	Número de folhas	Área foliar	Massa seca		
					Parte aérea	Raiz	Planta inteira
	cm	mm	und	cm ²	----- g por vaso -----		
Completo	113,1	15,31	8	2393,46	15,34	4,38	19,72
Omissão de N	50,9*	3,98*	2*	203,73*	1,42*	0,54*	1,96*
Omissão de P	75,4*	6,76*	4*	462,84*	3,76*	1,70*	5,46*
Omissão de K	86,0*	8,64*	7	1323,22*	6,26*	1,14*	7,40*
Omissão de Ca	68,5*	19,98	6*	526,39*	5,93*	1,71*	7,64*
Omissão de Mg	100,0	9,81*	8	1493,25*	7,73*	0,90*	8,63*
Omissão de S	109,3	14,44	6*	2396,59	15,88	4,45	20,33
CV (%)	6,2	15,2	8,0	17,7	19,7	27,0	19,5

Médias seguidas de asterisco (*) diferem estatisticamente do tratamento solução completa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Teores de macronutrientes na parte aérea e na raiz das plantas de sorgo cv. BRS 304 cultivada em solução nutritiva em função da omissão dos macronutrientes

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	Parte aérea					
Completo	26,9	4,0	37,3	4,2	4,1	2,1
Omissão de N	7,0*	2,9	30,0	2,7*	1,5*	0,5*
Omissão de P	23,9	0,5*	24,6*	3,4	1,9*	1,3
Omissão de K	38,2*	6,7*	4,2*	9,5*	7,0*	3,6*
Omissão de Ca	39,2*	8,3*	39,7	0,8*	5,6*	3,4*
Omissão de Mg	28,0	7,5*	83,0*	3,6	0,5*	2,1
Omissão de S	22,0	2,9	29,5	3,6	3,1	0,3*
CV (%)	9,4	15,3	8,6	13,3	13,5	15,4
	Raiz					
Completo	19,4	2,6	27,2	5,4	3,9	4,7
Omissão de N	6,0*	3,7	22,8	1,9*	1,4*	3,5*
Omissão de P	14,1	0,4*	22,4	2,5*	1,7*	3,8
Omissão de K	37,5*	6,3*	3,8*	4,9	3,4	6,2*
Omissão de Ca	32,2*	6,7*	40,9*	0,9*	1,7*	6,5*
Omissão de Mg	25,9	7,5*	83,5*	3,3*	0,7*	5,9*
Omissão de S	22,5	2,8	22,2	4,2	3,4	0,4*
CV (%)	13,8	17,6	7,9	15,3	19,4	9,7

Médias seguidas de asterisco (*) diferem estatisticamente do tratamento solução completa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Acúmulo de macronutrientes na parte aérea, raiz e planta inteira de sorgo cv. BRS 304 cultivada em solução nutritiva em função da omissão de macronutrientes

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
----- mg por vaso -----						
Parte aérea						
Completo	402,37	59,78	561,69	65,37	63,19	31,66
Omissão de N	9,91*	4,14*	42,89*	3,72*	2,09*	0,77*
Omissão de P	89,99*	1,75*	92,49*	12,65*	7,14*	4,75*
Omissão de K	238,83*	41,74	26,50*	59,70	43,65	22,50
Omissão de Ca	232,41*	49,76	236,63*	4,93*	33,10*	20,10*
Omissão de Mg	218,33*	46,92	641,11	27,85*	3,87*	16,19*
Omissão de S	348,80	45,60	468,10	57,73	49,19	4,25*
CV (%)	18,2	19,0	31,3	31,0	28,4	27,5
Raiz						
Completo	84,32	11,14	115,97	23,59	17,30	21,19
Omissão de N	3,26*	2,07*	12,45*	1,01*	0,73*	1,91*
Omissão de P	23,92*	0,68*	36,92*	4,22*	2,90*	6,46*
Omissão de K	43,42*	7,25	4,40*	5,47*	3,96*	7,16*
Omissão de Ca	54,67	11,40	69,76	1,58*	2,96*	11,04*
Omissão de Mg	22,99*	6,38*	75,11	3,13*	0,56*	5,31*
Omissão de S	100,75	12,29	98,71	18,39	15,25	1,70*
CV (%)	27,1	19,1	29,0	33,6	47,4	43,4
Planta inteira						
Completo	486,69	70,92	677,66	88,96	80,59	52,85
Omissão de N	13,17*	6,21*	55,34*	4,73*	2,83*	2,68*
Omissão de P	113,91*	2,43*	129,41*	16,87*	10,04*	11,21*
Omissão de K	282,25*	48,99	30,90*	65,18	47,60*	29,66*
Omissão de Ca	287,07*	61,17	306,39*	6,51*	36,06*	31,22*
Omissão de Mg	241,31*	63,30	716,22	30,84*	4,42*	21,49*
Omissão de S	449,54	57,89	566,81	76,11	64,44	5,95*
CV (%)	14,9	22,4	29,4	28,9	27,9	27,6

Médias seguidas de asterisco (*) diferem estatisticamente do tratamento solução completa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Nitrogênio (N)

A omissão de N paralisou o crescimento do sorgo a partir dos sete dias após o início dos tratamentos, mantendo constante a altura (Figura 1a) e o diâmetro do caule (Figura 1b), e diminuindo o número de folhas das plantas seguindo o modelo linear ($P < 0,01$) em função do tempo corrido (Figura 1c).

Ao término do experimento, as plantas deficientes em N apresentaram diminuição significativa no desenvolvimento, afetando a altura, o diâmetro do caule, o número de folhas e a área foliar, em relação ao tratamento completo (Tabela 1). Com isso, houve depressão significativa na produção de massa seca da parte aérea e da raiz em relação ao tratamento completo (Tabela 1), o que está de acordo com a literatura, que sob condições

de deficiência de nitrogênio, é retardado o processo de divisão celular nos pontos de crescimento, o que resulta numa redução na área foliar e no tamanho da planta (Arnon, 1975).

O tratamento completo apresentou o maior teor de N na parte aérea ($26,9 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento com omissão deste nutriente ($7,0 \text{ g kg}^{-1}$ de N). Na raiz, observou-se que as plantas submetidas à omissão de N apresentaram menor teor do nutriente ($6,0 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo ($19,4 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Santi et al. (2006) em plantas de sorgo deficientes em nitrogênio (N foliar = $16,4$ e N raiz = $9,3 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo (N foliar = $34,9$ e N raiz = $18,0 \text{ g kg}^{-1}$). Como era esperado, da mesma forma, ocorreu com o N

acumulado pela parte aérea e pela raiz, sendo maior no tratamento completo (parte aérea = 402, 37 e raiz = 84,32 mg por vaso)

comparado ao deficiente (parte aérea = 9,91 e raiz = 3,26 mg por vaso) (Tabela 3).

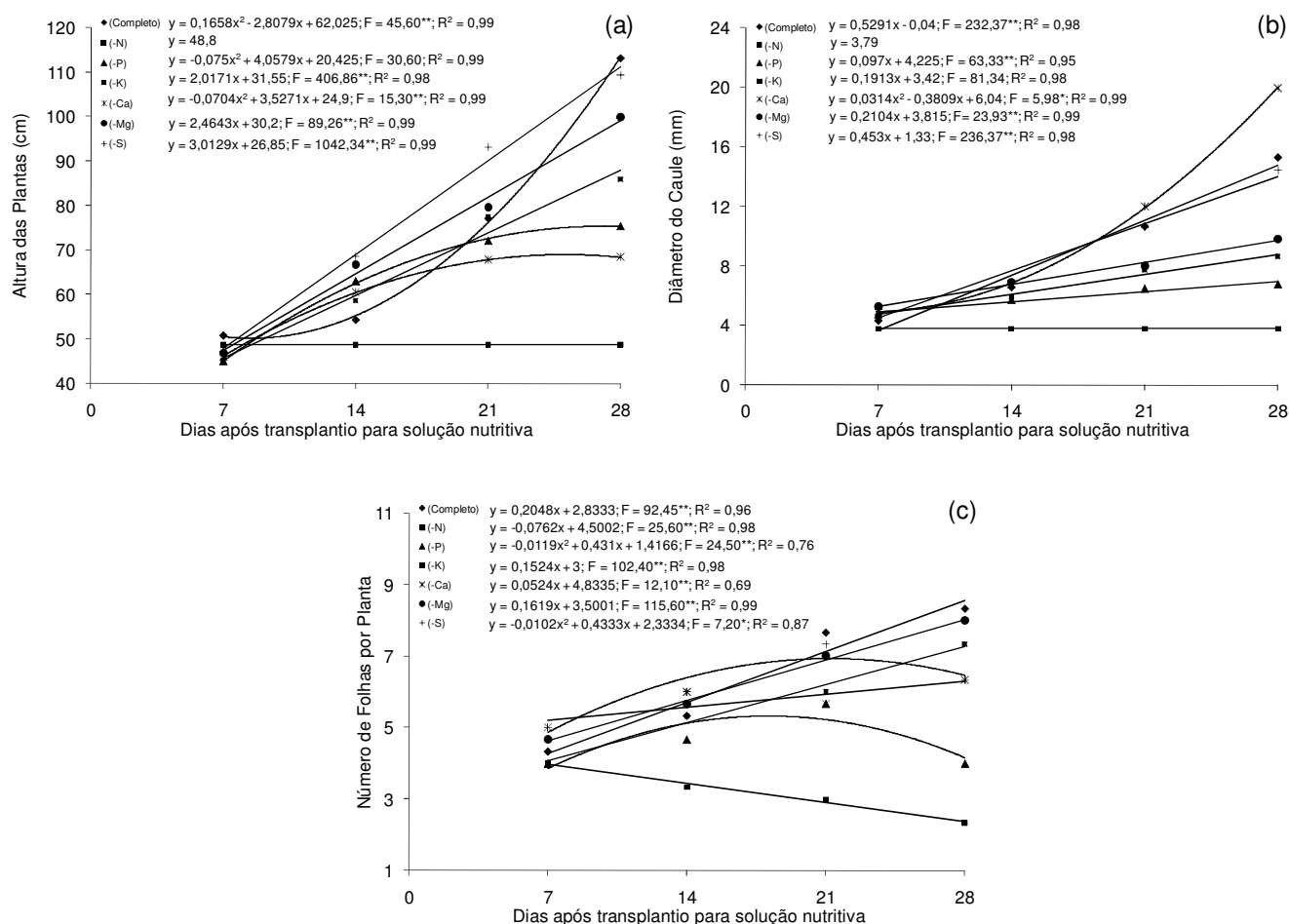


Figura 1 – Efeito da omissão de macronutrientes na altura (a), no diâmetro do caule (b) e no número de folhas (c) das plantas de sorgo cv. BRS 304 cultivadas em solução nutritiva. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2008.

Os efeitos da omissão do N no desenvolvimento e na nutrição das plantas resultaram no aparecimento de sintomas visuais de deficiência. Notou-se uma clorose uniforme nas folhas mais velhas e necrose no ápice destas folhas em direção ao centro das mesmas. Com o decorrer do experimento, observou-se baixo desenvolvimento do caule (diâmetro reduzido) com coloração amarelada por toda a planta estendendo também às folhas novas (Figura 2a). Segundo Malavolta et al. (1997), este sintoma está associado com a menor produção de clorofila, ocasionando modificação nos cloroplastos. Mendes (1959) acrescenta a grande importância do elemento não só no

crescimento, mas também na divisão celular. Carelli et al. (1996), em um experimento com girassol em solução nutritiva, observaram que a deficiência de N provocou diminuição de 31% na taxa de fotossíntese, que por sua vez, está relacionada com o decréscimo na quantidade da enzima rubisco, visto que, parte do nitrogênio total da folha está alocada nesta enzima.

Assim, quando o teor de N na planta apresenta um valor muito baixo, tem-se comprometimento de diversos processos fisiológicos que, em seguida, desenvolvem-se sintomas visuais de deficiência, conforme descrito anteriormente.

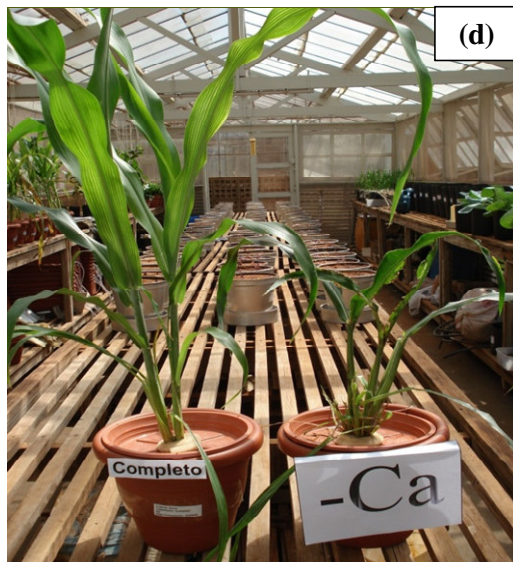
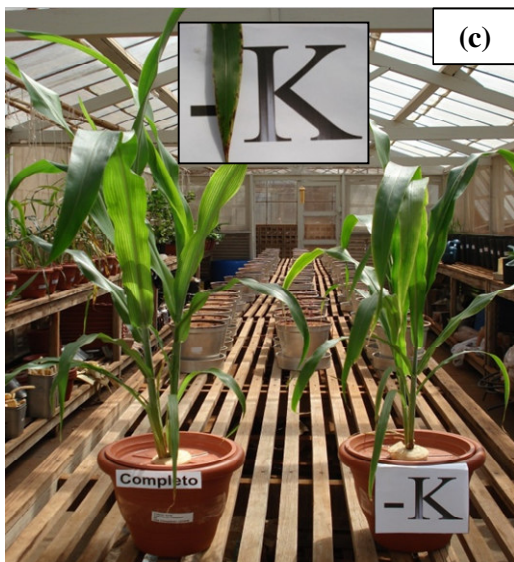
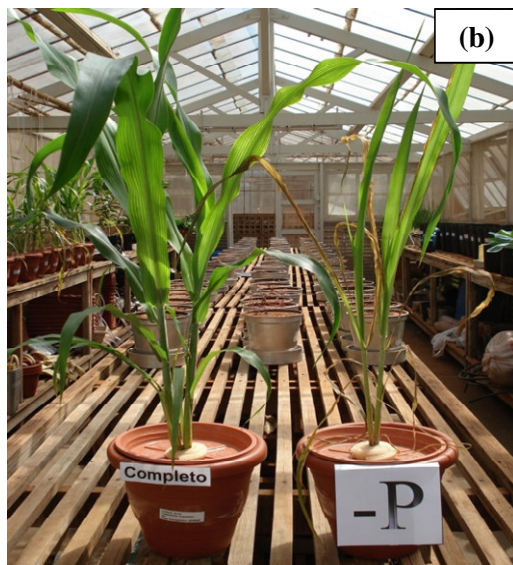
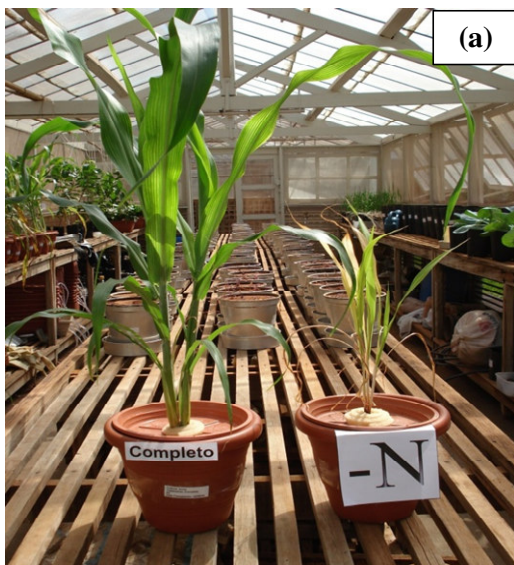


Figura 2 – Sintomas visuais de deficiências de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) em plantas de sorgo cv. BRS 304 cultivadas em solução nutritiva. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006. Fotos: I. M. FONSECA.

Além disso, a omissão do nitrogênio na solução nutritiva afetou outros nutrientes com redução significativa em comparação ao tratamento completo, destacando os teores de Ca ($2,7 \text{ g kg}^{-1}$), Mg ($1,5 \text{ g kg}^{-1}$) e S ($0,5 \text{ g kg}^{-1}$), entretanto, não diferindo estatisticamente dos teores de fósforo e potássio, o mesmo ocorrendo para as raízes (Tabela 2). A ausência da diminuição nos teores de P e K nas plantas com omissão do N, provavelmente, ocorreu pelo efeito de concentração, pois, a omissão do presente nutriente diminuiu a absorção de todos os macronutrientes na parte aérea, raiz e planta inteira (Tabela 3). Resultados semelhantes da diminuição na absorção de macronutrientes, como a omissão do N, também foram obtidos por Santi et al. (2006) na cultura do sorgo.

Fósforo (P)

Apesar dos sintomas de deficiência de fósforo terem aparecidos tardiamente, os parâmetros vegetativos indicativos de crescimento foram significativamente afetados pela omissão deste elemento. Houve diminuição na altura da planta, no diâmetro do caule, no número de folhas e na área foliar, em relação ao tratamento completo (Tabela 2, Figuras 1a, b e c), resultando em diminuição da produção de massa seca da parte aérea e da raiz das plantas de sorgo (Tabela 1). Observou-se, ainda, que a relação massa seca de raiz e parte aérea foi maior na solução deficiente de P comparado à solução completa, fato esse semelhante ao obtido por Camacho et al. (2002) com sorgo cultivado em solução nutritiva. De acordo com a literatura, plantas sob deficiência de P aumentam o dreno de fotoassimilados para a raiz a fim de aumentar a capacidade da planta para absorção do presente nutriente (Freeden et al., 1989).

As plantas que receberam o tratamento com a omissão de fósforo apresentaram redução significativa no teor do nutriente da parte aérea e da raiz em relação ao tratamento completo, respectivamente, de 4,0 para 0,5 e de 2,6 para $0,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2), redução esta também similar à encontrada por Santi et al (2006) em plantas de sorgo. Acrescenta-se, ainda,

conforme esperado, a diminuição do P acumulado na parte aérea ($59,78$ até $1,75 \text{ mg}$ por vaso) e na raiz ($11,14$ até $0,68 \text{ mg}$ por vaso) (Tabela 3). Observou-se que, o teor de P no tratamento completo (4 g kg^{-1}) esteve adequado para a maioria das culturas durante o estágio vegetativo de crescimento ($P = 3$ a 6 g kg^{-1}), segundo Marschner (1995). Por outro lado, Camacho et al. (2002) observaram maior teor de P na parte aérea de oito cultivares de sorgo na solução com omissão do nutriente ($1,4$ a $2,2 \text{ g kg}^{-1}$). Esta diferença no teor de P, possivelmente, deve-se ao cultivar distinto utilizado nos ensaios.

Salienta-se que a redução da absorção de P nas plantas sob deficiência do elemento, em relação ao tratamento completo, levou ao aparecimento de sintomas visuais (Figura 2b) caracterizados pelo desenvolvimento lento, coloração verde mais escura nas folhas velhas, seguindo-se de tons roxos nas pontas e margens das folhas, sintomas estes decorrentes do acúmulo de fotoassimilados nos tecidos, o que favorece a síntese de antocianina (Mengel & Kirkby, 1987), corroborando o obtido por Coelho et al. (2002) e Vasconcellos et al. (1988). Portanto, as plantas deficientes em fósforo têm seu crescimento retardado por estar ligado também à função estrutural do nutriente e no processo de transferência e armazenamento de energia (Malavolta et al., 1989), afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e ácido nucléico (Mengel & Kirkby, 1987).

Além disso, a omissão do presente nutriente na solução nutritiva afetou outros nutrientes com redução significativa, em comparação com tratamento completo, respectivamente, nos teores K (parte aérea = $24,6 \text{ g kg}^{-1}$), Ca (raiz = $2,5 \text{ g kg}^{-1}$), Mg (parte aérea = $1,9$ e raiz = $1,7 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Verificou-se, também, que a omissão de P promoveu uma menor absorção dos outros nutrientes analisados (Tabela 3).

Potássio (K)

As plantas de sorgo foram afetadas pela omissão de K, tendo diminuição na altura, no

diâmetro de caule, no número de folhas e na produção de massa seca, comparado ao tratamento completo (Tabela 1, Figuras 1a, b e c).

Observou-se que as plantas submetidas à omissão de K apresentaram menor teor do nutriente na parte aérea ($4,2 \text{ g kg}^{-1}$) e na raiz ($3,8 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo (parte aérea = $37,3 \text{ g kg}^{-1}$ e raiz = $27,2 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Da mesma forma, ocorreu com o K acumulado pelas plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (parte aérea = $561,69$ e raiz = $115,97 \text{ mg}$ por vaso) comparado ao deficiente (parte aérea = $26,5$ e raiz = $4,4 \text{ mg}$ por vaso) (Tabela 3). Esta menor absorção do K no tratamento com omissão do elemento ocasionou o aparecimento de sintomas visuais, sendo caracterizado, inicialmente, pela clorose das pontas e margens das folhas mais velhas seguida por secamento e necrose, dando um aspecto de queima nas folhas. Observou-se, ainda, redução no porte das plantas e internódios mais curtos nos colmos (Figura 2c).

Sintomas semelhantes foram descritos por Monteiro et al. (1995), Pereira (2001) e Mattos et al. (2002), quando omitiram o elemento potássio em plantas de capim-marandu, capim-mombaça e capim-tanzânia, respectivamente.

Além disso, a omissão de K na solução nutritiva afetou outros nutrientes com aumento significativo, em comparação com tratamento completo, respectivamente, nos teores de N (parte aérea = $38,2$ e raiz = $37,5 \text{ g kg}^{-1}$), P (parte aérea = $6,7$ e raiz = $6,3 \text{ g kg}^{-1}$), Ca (parte aérea = $9,5 \text{ g kg}^{-1}$), Mg (parte aérea = $7,0 \text{ g kg}^{-1}$), e S (parte aérea = $3,6$ e raiz = $6,2 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Observou-se que o tratamento com omissão de K diminuiu o acúmulo de alguns nutrientes na parte aérea (N), como na raiz (N, Ca, Mg e S) (Tabela 3).

Cabe salientar, que a relação do K e Ca/Mg nas plantas é fato conhecido pela interação entre nutrientes, devido à competição entre os elementos na absorção (Malavolta et al., 1997). Deste modo, observou-se que a omissão de K apresentou uma relação Ca+Mg/K (3,9) quase dezoito vezes maior que no tratamento completo que foi de 0,2 (Tabela 3), indicando desbalanço nutricional nas plantas deficientes de K. Resultados semelhantes foram

obtidos por Oliveira et al. (2001) com a soja, sendo que as plantas testemunhas (zero de K) apresentaram a relação Ca+Mg/K quase duas vezes maior comparado com as doses adequadas do nutriente.

Observou-se também que os maiores teores de K encontrados na parte aérea e nas raízes ocorreram na omissão de Mg. Segundo Ulrich & Ohki (1966) citados por Epstein (1975), a deficiência de potássio pode ser induzida pela aplicação de altas quantidades de Mg. Segundo estes mesmos autores, tal fato é bastante discutível em termos metabólicos, em vista da alta especificidade para absorção de K.

Cálcio (Ca)

A deficiência de Ca teve seu início constatado na primeira semana após a aplicação dos tratamentos. As plantas que receberam o tratamento com a omissão de cálcio apresentaram redução drástica na altura da planta, no número de folhas e na área foliar em relação ao tratamento completo (Tabela 1, Figuras 1a, b e c), o que refletiu na diminuição da produção de massa seca da parte aérea e da raiz (Tabela 1).

Observou-se que as plantas submetidas à omissão de Ca apresentaram menor teor do nutriente na parte aérea ($0,8 \text{ g kg}^{-1}$) e na raiz ($0,9 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo na parte aérea ($4,2 \text{ g kg}^{-1}$) e na raiz ($5,4 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Da mesma forma, ocorreu com o Ca acumulado pelas plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (parte aérea = $65,37$ e raiz = $23,59 \text{ mg}$ por vaso) comparado ao deficiente (parte aérea = $4,93$ e raiz = $1,58 \text{ mg}$ por vaso) (Tabela 3).

Além disso, a omissão do presente nutriente na solução nutritiva afetou o teor de Mg com redução significativa para $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ na raiz em comparação com tratamento completo, e aumentou o N (parte aérea = $39,2$ e raiz = $32,2 \text{ g kg}^{-1}$); P (parte aérea = $8,3$ e raiz = $6,7 \text{ g kg}^{-1}$); K (raiz = $40,9 \text{ g kg}^{-1}$); Mg (parte aérea = $5,6 \text{ g kg}^{-1}$) e S (parte aérea = $3,4$ e raiz = $6,5 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Os nutrientes que tiveram seus teores elevados pela omissão de Ca na solução nutritiva, possivelmente, deve-se ao efeito de concentração, sendo que o menor crescimento concentrou os nutrientes nos tecidos vegetais. Esta hipótese é reforçada pelo fato que houve

menor acúmulo dos nutrientes na parte aérea e na raiz das plantas sob deficiência de Ca, comparado ao tratamento completo (Tabela 3).

Salienta-se que as plantas de sorgo com a omissão de Ca apresentaram, inicialmente, clorose nas margens das folhas superiores evoluindo para necrose e dilaceração, e clorose internerval (Figura 2d). Notaram-se folhas novas esbranquiçadas, rasgadas e encarquilhadas nas margens, que se evoluíram atingindo as folhas velhas. Houve também perfilhamento devido à perda de dominância apical, produzindo em média quatro perfilhos por planta. As raízes apresentaram-se pouco desenvolvidas com encurtamento das raízes secundárias, e de coloração castanho-escuro.

Observou-se que, de forma geral, a deficiência de Ca levou à redução do crescimento de tecidos meristemáticos, sendo observado primeiro nas extremidades em crescimento nas folhas mais jovens, fato este comumente relatado na literatura (Mengel & Kirkby, 1987). Malavolta & Dantas (1978) também descreveram que o sorgo em deficiência apresenta as pontas das folhas mais novas “gelatinizadas” e, quando secas, grudam umas as outras à medida que a planta cresce.

Magnésio (Mg)

Houve diminuição significativa do diâmetro de caule, da área foliar e da produção de massa seca da parte aérea, da raiz e da planta inteira quando cultivada na solução nutritiva com a omissão de Mg (Tabela 1, Figuras 1a, b e c).

Verificou-se que as plantas submetidas à omissão de Mg apresentaram menor teor do nutriente na parte aérea ($0,5 \text{ g kg}^{-1}$) e raiz ($0,7 \text{ g kg}^{-1}$), comparado ao tratamento completo na parte aérea ($4,1 \text{ g kg}^{-1}$) e raiz ($3,9 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Da mesma forma, ocorreu com o Mg acumulado pela parte aérea e raízes das plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (63,19 e 17,30 mg por vaso, respectivamente) comparado ao deficiente (parte aérea = 3,87 e raiz = 0,56 mg por vaso) (Tabela 3).

Diante dos efeitos da omissão de Mg no desenvolvimento e no estado nutricional das plantas, observou-se a sintomatologia de deficiência caracterizada, inicialmente, por um

amarelecimento das margens das folhas inferiores para o centro da mesma e depois entre as nervuras; posteriormente, houve intensificação da clorose, tornando as folhas com aspecto bronzeado/avermelhado, evoluindo-se para necrose das regiões cloróticas (Figura 2e). A nervura principal permaneceu verde. Com o progresso do quadro sintomatológico, as folhas novas foram atingidas.

As características das deficiências de Mg descritas para sorgo coincidem com as apresentadas na maioria das culturas, como por exemplo, as observadas por Monteiro et al. (1995) e Pereira (2001) em plantas de campim-marandu e capim-mombaça, respectivamente.

Além disso, a omissão deste nutriente na solução nutritiva afetou outros nutrientes com aumento significativo em comparação com tratamento completo, respectivamente, nos teores de N (parte aérea = $28,0 \text{ g kg}^{-1}$), P (parte aérea = $7,5$ e raiz = $7,5 \text{ g kg}^{-1}$), K (parte aérea = $83,0$ e raiz = $83,5 \text{ g kg}^{-1}$) e S (raiz = $5,9 \text{ g kg}^{-1}$), e diminuiu o Ca (raiz = $3,3 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Este aumento citado no teor dos nutrientes deve-se, possivelmente, ao efeito de concentração como ocorrido com o Ca, visto que, as plantas com omissão de Mg teve quase todos os nutrientes acumulados na parte aérea (com exceção do P e K) menores comparado ao tratamento completo (Tabela 3).

Enxofre (S)

As plantas de sorgo sob deficiência de S tiveram diminuição significativa apenas no número de folhas quando comparado com ao tratamento completo, sem omissão de nutrientes, o que não foi capaz de provocar efeito negativo na produção de massa seca das plantas (Tabela 1, Figuras 1a, b e c).

Observou-se que as plantas submetidas à omissão de S apresentaram menor teor do nutriente na parte aérea ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$) e na raiz ($0,4 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo na parte aérea ($2,1 \text{ g kg}^{-1}$) e na raiz ($4,7 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). Da mesma forma, ocorreu com o S acumulado pelas plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (parte aérea = 31,66 e raiz = 21,19 mg por vaso) comparado ao deficiente (parte aérea = 4,25 e raiz = 1,70 mg por vaso) (Tabela 3). Portanto, a

menor absorção de S pelas plantas com a omissão do mesmo resultou em folhas novas e recém-formadas com coloração verde-clara (Figura 2f), concordando com a literatura, em que Malavolta & Dantas (1978) relatam que, ao contrário da deficiência de nitrogênio, os sintomas ocorrem em folhas novas, indicando que os tecidos mais velhos não puderam contribuir com o suprimento de enxofre para os tecidos novos, os quais são dependentes do nutriente absorvido pelas raízes.

Além disso, a omissão do S na solução nutritiva não promoveu diminuição nos teores (Tabela 2) e no acúmulo (Tabela 3) dos outros nutrientes.

Ordem de extração dos nutrientes

No tratamento completo, observou-se a seguinte ordem de extração dos nutrientes da parte aérea (K>N>Ca>Mg>P>S) e raiz (K>N>Ca>S>Mg>P) (Tabela 3). Estes resultados indicam que o K é o primeiro e o N o segundo nutriente mais requerido pelas plantas de sorgo, o que discorda de Cantarella et al. (1997) que indicam o contrário, ou seja, o sorgo tem maior extração de N em relação ao K. Possivelmente, estes resultados discordantes devem-se às condições edafoclimáticas e dos genótipos serem distintos.

De maneira geral, notou-se que as médias de todos os tratamentos com omissão de nutrientes foram inferiores ao completo com relação à produção de massa seca da planta inteira e nas diferentes partes da planta, concordando com os dados encontrados por Veloso (1993).

Os nutrientes que mais limitaram o crescimento de sorgo foram: N, P e K. Fasabi (1996) também relatou em seu trabalho que o Ca e o N apresentaram as menores produções de massa seca total. Já Veloso (1993), verificou que foram o N e o Fe. A redução na produção de massa seca total de plantas de sorgo ocorreu na seguinte ordem decrescente: S>Mg>Ca>K>P>N.

Na parte aérea, as menores produções de massa seca foram registradas nos tratamentos com omissão de N (1,42 mg por vaso), P (3,76 mg por vaso), seguidos pelos tratamentos Ca (5,93 mg por vaso), K (6,26 mg por vaso) e Mg

(7,73 mg por vaso), diferindo estatisticamente do tratamento completo (15,34 mg por vaso).

Nas raízes, os efeitos da omissão de N, Mg, K, P e Ca em ordem crescente na produção de massa seca diferiram do tratamento completo, o que discorda da ordem encontrada por Santi et al. (2006) que encontrou a seqüência Ca, Mg, N, K, S e P.

4 CONCLUSÕES

As omissões de N, P, K foram as que mais limitaram a produção de massa seca da planta inteira do sorgo cv. BRS 304.

As plantas do tratamento completo e da omissão apresentaram os seguintes teores de nutrientes na parte aérea: N = 26,9 e 7,0; P = 4,0 e 0,5; K = 37,3 e 4,2; Ca = 4,2 e 0,8; Mg = 4,1 e 0,5; S = 2,1 e 0,3 g kg⁻¹ e na raiz: N = 19,4 e 6,0; P = 2,6 e 0,4; K = 27,2 e 3,8; Ca = 5,4 e 0,9; Mg = 3,9 e 0,7 e S = 4,7 e 0,4 g kg⁻¹, respectivamente.

A deficiência de um nutriente, além de promover diminuição nos teores na planta, causou um desequilíbrio entre os demais nutrientes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à técnica do Laboratório de Nutrição de Plantas da FCAV/Unesp, Cláudia Campos Della Marta, por viabilizar a execução dos trabalhos laboratoriais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Bern: International Potash Institute, 1975. 425p.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUERRERO-ALVES, J.; CAMACHO, T. Crescimento vegetativo de sorgo granífero em resposta à nutrição fosfatada. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 771-776, 2002.

- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 45-47. (Boletim Técnico, 100).
- CARELLI, M. L. C.; UNGARO, M. R. G.; FAHL, I.; NOVO, M. do C. de S. S. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v. 8, n. 2, p. 123-130, 1996.
- COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAN, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. *Seja o doutor do seu sorgo*. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 24p. (Arquivo do agrônomo, 14).
- EPSTEIN, E. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.
- FASABI, J. A. V. *Carências de macro e micronutrientes em plantas de malva (Urena lobata), variedade BR-01*. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1996.
- FREEDEN, A. L.; RAO, I. M.; TERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycyne max*. *Plant Physiology*, Viçosa, v. 89, p. 225-230, 1989.
- HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. *The water culture method for growing plants without soil*. California Agriculture Experimental Station Circular, 1950. 347p.
- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E. (Ed.). *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p. 429-479.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- MATTOS, W. T. de; SANTOS, A. R. dos; ALMEIDA, A. A. da S.; CARREIRO, B. D. C.; MONTEIRO, F. A. Aspectos produtivos e diagnose nutricional do capim-Tanzânia submetido a doses de potássio. *Magistra*, Cruz das Almas, v. 14, n. 1, p. 37-44, 2002.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MENDES, H. C. Nutrição do algodoeiro. I. Sintomas de deficiências minerais em plantas vegetando em soluções nutritivas. *Bragantia*, Campinas, v. 18, p. 467-481, 1959.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principles of plant nutrition*. Bem: Intern. Postash Institute, 1987. 687p.
- MEYER, B. S.; ANDERSON, D. B.; BOHNING, R. H.; FRATIANNE, D. G.; AMÂNCIO, S.; TEIXEIRA, A. R.; RICARDO, C. P.; SANTOS, A. M. *Introdução à fisiologia vegetal*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill. 1983, v. 2, p. 541-593.
- MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D. de; ABREU, J. B. R. de; DAIUB, J. A. S.; SILVA, J. E. P. da; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. Cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 135-141, 1995.
- OLIVEIRA, F. A., CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.
- PEREIRA, W. L. M. *Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para capim-mombaça*. 2001. 124 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior

de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.

SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SCARAMUZZA, J. F. Deficiências de macronutrientes em sorgo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. *Summa Phytopathologica*, Jaguariuna, v. 1, n. 3, p. 231-233, 1975.

VASCONCELLOS, C. A.; SANTOS, H. L. dos; FRANÇA, G. E. Calagem e adubação na cultura do sorgo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Recomendações técnicas para o cultivo do sorgo*. 3. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1988. p. 19-26.

VELOSO, C. A. C. *Deficiências de macro e micronutrientes e toxidez de alumínio e manganês na pimenteira-do-reino (Piper nigrum L.)*. 1993. 145 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1993.

VOSE, P. B. Differences in plant nutrition. *Herbage Abstracts*, Farnham Royal, v. 33, p. 1-13, 1963.

¹Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. de Solos e Adubos, FCAV/Unesp, Campus de Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n., Jaboticabal-SP, Brasil, CEP 14.884-900. Bolsista Fapesp. E-mail: ivanamfonseca@gmail.com

²Prof. Doutor, Depto. de Solos e Adubos, FCAV/Unesp. Bolsista PQ do CNPq. Email: rmp Prado@fcav.unesp.br.

³Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. de Solos e Adubos. Bolsista CNPq. Email: adrianaursulino@hotmail.com

⁴Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. de Solos e Adubos. Bolsista CNPq. E-mail: anceliogondim@hotmail.com