

DESENVOLVIMENTO DO MILHO EM FUNÇÃO DO FORNECIMENTO DE MICRONUTRIENTES VIA SEMENTE

Alberto Carlos de Campos Bernardi¹
Quirino Augusto de Camargo Carmello²
José Roberto Pereira de Castro³

RESUMO

Cultivou-se milho em casa-de-vegetação com solução nutritiva. As sementes foram tratadas, antes do plantio, com uma mistura de micronutrientes com a composição (g L⁻¹): B, 5; Cu, 5; Mn, 30; Mo, 0,5; Zn, 50 e S, 40. Foram utilizadas seis repetições, em experimento inteiramente casualizado. Os tratamentos consistiram de 4 níveis dessa mistura de micronutrientes: 0, 10, 20 e 40 mL kg⁻¹ de sementes. O milho respondeu ao fornecimento de micronutrientes via sementes com aumentos na produção de material seco e no conteúdo de B, Cu, Mn e Zn. Esta pode ser uma prática interessante para favorecer o crescimento inicial da cultura. A dose que proporcionou a melhor resposta do milho foi de 25 mL kg⁻¹ de sementes. As medidas de volume radicular e comprimento de entrenós mostraram-se adequadas para avaliação da resposta do milho ao fornecimento de micronutrientes. Sintomas visuais de deficiência de Zn estiveram associados a teores de 11 mg kg⁻¹ na parte aérea do milho.

Palavras-chave: adubação, nutrição mineral, tratamento de sementes, solução nutritiva.

1. Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024, CEP: 22460-000, Rio de Janeiro - RJ, alberto@cnps.embrapa.br

2. Dep. Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ-USP, Piracicaba-SP.

3. Stoller do Brasil Ltda - Divisão Arbore.

MAIZE DEVELOPMENT IN RELATION TO MICRONUTRIENTS SUPPLIED BY SEED COATINGS

ABSTRACT

Maize (*Zea mays*) cv. P 3063 was grown in a greenhouse experiment on nutrient solution. Seeds were coated before sowing with a micronutrient mixture with the following composition (g L^{-1}): B, 5; Cu, 5; Mn, 30; Mo, 0,5; Zn, 50 e S, 40. Six replications were used in a completely randomized experiment. The levels applied were: 0, 10, 20 and 40 mL kg^{-1} of seed. There was a maize growing response to seed coated micronutrients increasing dry matter production and B, Cu, Mn e Zn content and should become an interesting practice to aid initial crop development. The best maize response to micronutrient mixture was obtained with 25 mL kg^{-1} level. Root volume, and internode length measurement were adequate for evaluation of maize response to treatments. Visual symptoms of Zn deficiency were related with a shoot level of 11 mg kg^{-1} .

Key words: fertilization, mineral nutrition, seed coatings, nutrient solution.

INTRODUÇÃO

Os micronutrientes desempenham papéis importantes no metabolismo vegetal, seja como constituintes de compostos ou como reguladores do funcionamento de sistemas enzimáticos. O suprimento adequado desses elementos é importante, para evitar diminuição da produção agrícola. No entanto, tem-se observado, no Brasil, um aumento da deficiência de micronutrientes. Isso tem ocorrido devido ao aumento de produtividade das culturas, a incorporação de solos de baixa fertilidade ao processo produtivo, ao uso crescente de calcário e adubos fosfatados, à incorporação inadequada de corretivos, e ao cultivo de variedades de alto potencial de produção e alta demanda por micronutrientes.

A cultura do milho tem baixa sensibilidade à deficiência de B e Mo, média sensibilidade ao Cu, Fe e Mn e alta à de Zn (Martens & Westermann, 1991). No Brasil, o micronutriente mais limitante à produção da cultura é o Zn. A maior parte de relatos sobre deficiência deste elemento ocorre em argilossolos ou latossolos altamente intemperizados e ácidos. Não se tem obtido resposta ao fornecimento dos demais micronutrientes à cultura.

As quantidades desses nutrientes requeridos pelas plantas são muito pequenas, quando comparadas às dos macronutrientes. As aplicações em excesso podem ser mais prejudiciais às plantas que a própria deficiência. Por isso a busca de novas tecnologias para o fornecimento destes elementos tem despertado cada vez mais interesse dos pesquisadores e principalmente dos produtores. As formas de fornecimento dos micronutrientes podem ser através da aplicação no solo, da adubação foliar, da fertirrigação ou das sementes.

A alternativa do fornecimento de micronutrientes pelo tratamento de sementes vem despertando interesse crescente. A vantagem está no fato de que as pequenas doses recomendadas teriam, neste método de aplicação, melhor uniformidade de distribuição.

Existem resultados na literatura que mostram efeitos positivos da aplicação de B, Co, Cu, Mn, Mo e Zn via sementes em diversas culturas (Murphy & Walsh, 1972; Ruschell *et al.*, 1979; Mortvedt, 1985; Scot, 1989; Ribeiro & Santos, 1996 e Sfredo *et al.*, 1996).

Hibberd (1970) comparou as formas de fornecimento de Zn no sulco de plantio do milho, via foliar e via semente, e constatou que a aplicação de óxido ou sulfato de zinco no sulco de plantio foram os melhores tratamentos. E o fornecimento de óxido de zinco via semente não diferiu estatisticamente destes. Galvão (1994) comparou métodos de aplicação de Zn no solo (a lanço ou no sulco), na folha e na semente, sobre o rendimento de grãos de milho. O tratamento no qual o Zn foi aplicado a sementes umedecidas, na forma de óxido, não diferiu estatisticamente do sulfato de Zn aplicado via foliar ou a lanço e incorporado. Santos & Ribeiro (1994), trabalhando com solução nutritiva, compararam fontes comerciais de Zn fornecidas via semen-

te para a cultura do milho, e observaram que o tratamento de sementes proporcionou desenvolvimento da planta semelhante ao da solução com níveis adequados de Zn.

O diagnóstico de uma adequada nutrição da planta pode ser realizado pelo critério visual, que depende do conhecimento do sintoma e de um suporte da literatura, ou através da análise dos tecidos vegetais, normalmente das folhas, no qual o teor do nutriente pode dar uma indicação do estado nutricional, através da comparação com níveis adequados. Fageria *et al.* (1991) apresentaram as faixas de valores considerados adequados ao milho, nos diversos estágios de desenvolvimento. Andrade *et al.* (1975) e Karlen *et al.* (1988), trabalharam no campo com milho em sistemas de baixa (5,9 t.ha⁻¹ de grãos) ou alta (19,3 t.ha⁻¹) produtividades, respectivamente, e determinaram a marcha de acumulação e a partição de nutrientes na parte aérea do milho.

O objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos de níveis de uma mistura de micronutrientes com B, Cu, Mn e Zn, fornecidos via sementes, sobre o crescimento e a nutrição mineral de plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com milho (*Zea mays*) cv. P 3063, em casa-de-vegetação, com solução nutritiva. A unidade experimental foi constituída de 4 plantas, em vasos de 3,5 L com substrato de sílica moída. Utilizou-se a solução de Johnson *et al.* (1957), com a composição (mg L⁻¹): N, 210; P, 31; K, 234; Ca, 200; Mg, 48; S, 28; Fe, 5. Os micronutrientes B, Cu, Mn, Mo e Zn foram fornecidos por uma mistura de micronutrientes no tratamento das sementes, antes do plantio. A composição da mistura utilizada foi (g L⁻¹): B, 5; Cu, 5; Mn, 30; Mo, 0,5; Zn, 50 e S, 40. O volume da solução nutritiva foi completado a cada 15 dias, sem descartar o restante.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação, nas sementes de milho, de doses de 0, 10, 20 e 40 mL da mistura de nutrientes por kg de sementes.

O período experimental compreendeu 45 dias, a partir da germinação das sementes. Na colheita foi medido o comprimento do entrenó (cm), relativo à folha mais jovem totalmente expandida. Determinou-se o volume radicular (cm^3) por planta, pelo deslocamento de água em proveta graduada. Avaliou-se a produção de material seco (g por vaso) da parte aérea e das raízes, após secagem em estufa à temperatura de 65°C até atingir peso constante. Determinaram-se os teores totais (mg kg^{-1}) dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea e nas raízes, de acordo com as metodologias descritas por Sarruge & Haag (1974).

Os teores dos micronutrientes na parte aérea foram comparados aos resultados de Fageria *et al.* (1991), Karlen *et al.* (1988) e Andrade *et al.* (1975), que apresentam os teores de nutrientes para o milho para os períodos de 30 e 45 dias após emergência, 48 dias após o plantio, e aos 40 dias da emergência, respectivamente.

Foi realizada a análise de variância (Tabelas 1, 2 e 3) e obtidas as equações de regressão para as variáveis estudadas em função das doses da mistura. Também se determinaram os coeficientes de correlação entre as variáveis dependentes. Utilizou-se a análise multivariada, aplicada à produção total de material seco, como variável dependente, e aos teores de boro, cobre, manganês e zinco, como variáveis independentes. Utilizou-se o procedimento CANDISC do aplicativo SAS. A análise de variância é apresentada nas Tabelas 1, 2 e 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações obtidas para produção de material seco da parte aérea, raízes e total mostraram um efeito quadrático das doses da mistura de micronutrientes sobre essas variáveis (Figura 1A). A produção total de material seco variou de 47,6 g por vaso, na ausência de micronutrientes, até a maior produção (61,7 g por vaso), correspondente à dose da mistura de 25,9 mL kg^{-1} de sementes. As produções máxima de material seco das raízes e da parte aérea, de 19,1 e 43,7 g por vaso, foram obtidas nas doses de 23,7 e 26,8 mL kg^{-1} de sementes, respectivamente.

Tabela 1: Análise de variância para as variáveis relacionada com o crescimento do milho em função das doses testadas no fornecimento de micronutrientes via sementes.

Causas	Mat. seco parte aérea				Mat. seco raízes				Mat. seco total			
	GL	QM	F	GL	QM	F	GL	QM	F	GL	QM	F
Tratamentos	3	144,679	9,554	3	11,319	13,96***	3	215,402	20,19**			
Reg. 1º grau	(1)	204,408	13,498**	(1)	2,807	3,46 N.S.	(1)	276,495	25,92***			
Reg. 2º grau	(1)	222,922	14,720**	(1)	29,829	36,79***	(1)	324,850	30,45***			
Resíduo	20	15,144		20	0,811		20	10,667				
CV												
		10,15%			5,17%			5,86%				
Causas	Relação parte aérea / raízes				Volume radicular				Comprimento entrenó			
	GL	QM	F	GL	QM	F	GL	QM	F	GL	QM	F
Tratamentos	3	0,150	2,826	3	14,121	6,397	3	34,198	18,535**			
Reg. 1º grau	(1)	0,411	7,743*	(1)	26,696	12,094**	(1)	58,296	31,596***			
Reg. 2º grau	(1)	0,039	0,73 N.S.	(1)	14,794	6,702	(1)	41,465	22,474***			
Resíduo	20	0,053		20	2,207		20	1,845				
CV												
		10,48%			7,25%			25,45%				

Tabela 3: Análise de variância para as extrações de nutrientes nas raízes, parte aérea e total pelo milho, em função das doses testadas no fornecimento de micronutrientes via sementes.

Causas	Extração B raízes				Extração Cu raízes				Extração Fe raízes				Extração Mn raízes				Extração Zn raízes				
	GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		
Tratamentos	3	0,0357	10,908		3	0,0042	5,136		3	14,095	1,771 ^{ns}		3	1,025	10,883		3	0,673	15,929		
Reg. 1º grau	(1)	0,0667	20,356		(1)	0,0014	1,732 ^{ns}		(1)	5,658	0,711 ^{ns}		(1)	3,018	32,06		(1)	1,752	41,493		
Reg. 2º grau	(1)	0,0134	4,272		(1)	0,0039	4,743		(1)	18,181	2,284 ^{ns}		(1)	0,0001	0,001 ^{ns}		(1)	0,130	3,088 ^{ns}		
Resíduo	20	0,0032			20	0,0008			20	7,959			20	0,094			20	0,042			
CV	18,59%				33,46%				27,23%				28,16%				17,08%				
Causas	Extração B parte aérea				Extração Cu parte aérea				Extração Fe parte aérea				Extração Mn parte aérea				Extração Zn parte aérea				
	GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		
Tratamentos	3	0,005	3,095		3	0,0041373	19,304		3	4,711	9,954		3	0,06211	8,185		3	0,123	30,848		
Reg. 1º grau	(1)	0,0009	0,589 ^{ns}		(1)	0,0123397	57,574		(1)	12,022	25,403		(1)	0,13906	18,325		(1)	0,346	87,093		
Reg. 2º grau	(1)	0,0102	6,305		(1)	0,0000004	0,002 ^{ns}		(1)	2,007	4,24		(1)	0,03125	4,119		(1)	0,021	5,212		
Resíduo	20	0,0016			20	0,0002143			20	0,473			20	0,00758			20	0,004			
CV	17,17%				35,60				16,74%				14,39%				12,23%				
					%																
Causas	Extração B total				Extração Cu total				Extração Fe total				Extração Mn total				Extração Zn total				
	GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		GL	QM	F		
Tratamentos	3	0,047	8,557		3	0,017	7,677		3	18,259	1,895 ^{ns}		3	1,5370	12,775		3	1,356	21,078		
Reg. 1º grau	(1)	0,084	15,21		(1)	0,022	15,999		(1)	1,185	0,123 ^{ns}		(1)	4,4529	37,01		(1)	3,655	56,803		
Reg. 2º grau	(1)	0,047	8,552		(1)	0,004	2,855 ^{ns}		(1)	32,267	3,348 ^{ns}		(1)	0,2723	0,226 ^{ns}		(1)	0,255	3,963 ^{ns}		
Resíduo	20	0,005			20	0,0014			20	9,637			20	0,12031			20	0,064			
CV	13,58%				29,44%				21,45%				19,50%				14,76%				

As diminuições na produção de material seco da parte aérea e das raízes devido a níveis excessivos de Cu, Mn e Zn foram também relatadas por Mengel e Kirkby (1982). O comportamento quadrático observado pode ter ocorrido devido à diminuição na síntese de proteínas e levado a um acúmulo de compostos de baixo peso molecular nos tecidos, tanto na deficiência de micronutrientes (testemunha) quanto na dose mais alta (40 mL kg⁻¹). Como foi demonstrado por Dhillon *et al.* (1983), que observaram tanto a deficiência como a toxidez de micronutrientes, também observaram restrições no crescimento do milho.

A Figura 1B ilustra a tendência observada entre a relação parte aérea/raízes e os tratamentos utilizados. Os valores mínimo e máximo desta relação foram de 2,00, na dose 0, e 2,35 na dose de 39,1 ml kg⁻¹ de sementes. Os resultados sugerem que quando houve uma maior disponibilidade de micronutrientes, as plantas favoreceram a produção da parte aérea em detrimento das raízes. Já na menor disponibilidade de micronutrientes (testemunha), houve o efeito inverso, provavelmente indicando um mecanismo existente nas plantas em aumentar o sistema radicular e explorar um maior volume do meio de cultivo buscando de suprir suas exigências nutricionais.

Na testemunha (dose 0), observaram-se sintomas de deficiência de zinco: diminuição do crescimento normal, encurtamento dos entrenós e menor produção de folhas. Isso ocorre devido o papel do zinco na produção do triptofano, um aminoácido precursor do ácido indol acético (AIA), regulador vegetal que atua nos processos de alongação celular (Mengel e Kirkby, 1982; Marschner, 1995). Observou-se ainda uma clorose internerval com o desenvolvimento de áreas esbranquiçadas entre a nervura principal e os bordos, iniciando na inserção do limbo foliar, que também caracterizam deficiência desse micronutriente (Fageria *et al.*, 1991; Mengel e Kirkby, 1982; Marschner, 1995).

Os resultados da Figura 1C mostram que nas doses mais baixas houve menor desenvolvimento dos entrenós (2 cm) e na dose de 27,9 mL kg⁻¹ houve o maior comprimento (7,7 cm). Esses resultados mostram o efeito positivo para a cultura do milho do zinco presente na mistura utilizada. Barbosa Filho *et al.* (1990) também observaram efeito positivo do

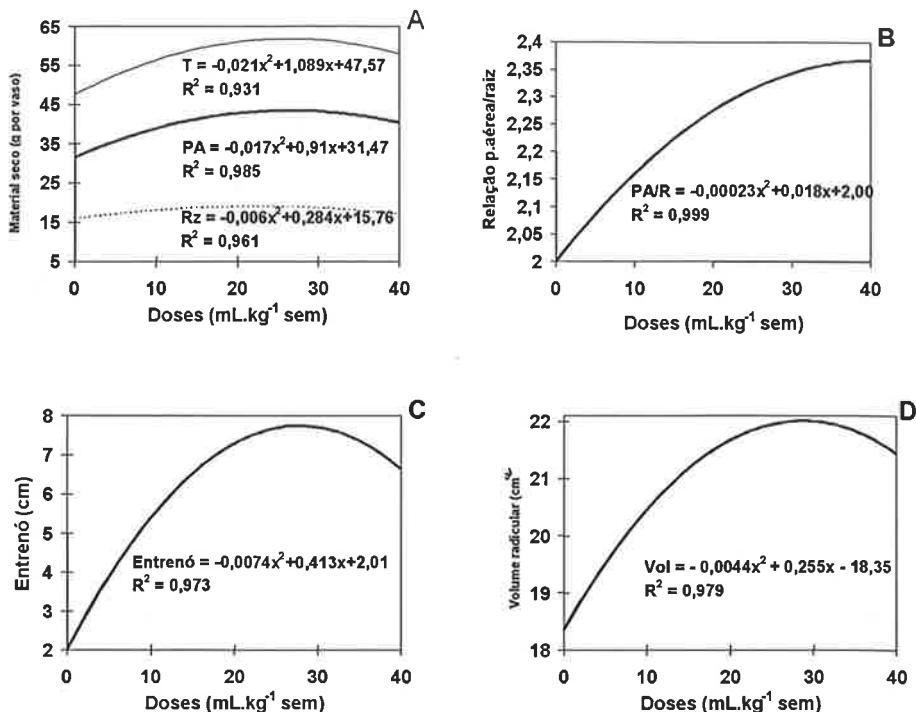


Figura 1: Produção de material seco da parte aérea - PA, raízes - Rz e Total - T (A), relação parte aérea/raiz (B), comprimento do entrenó (C) e volume radicular (D) do milho em função das doses da mistura de micronutrientes.

Zn no comprimento médio dos entrenós do colmo do milho. Entretanto Santos e Ribeiro (1994), trabalhando com fontes de zinco fornecidas via sementes, não observaram efeito desse micronutriente sobre o comprimento dos entrenós.

A Figura 1D mostra que o fornecimento de micronutrientes via sementes aumentou o volume radicular. Os valores observados para este parâmetro variaram de 18,45 cm^3 , quando não se aplicaram os micronutrientes, até o máximo de 22 cm^3 , que correspondeu à dose de 28,9 mL.kg^{-1} de sementes. As doses superiores promoveram decréscimos

nos valores. Esses resultados mostram que o fornecimento adequado de micronutrientes proporcionou um aumento de 19% no volume radicular. Esse aumento é significativo, principalmente quando se considerada que o experimento foi avaliado na fase inicial de desenvolvimento da cultura, ou a do estabelecimento.

O aumento do volume do sistema radicular possibilita a exploração de um maior volume de solo, facilitando os processos de contato da raízes com os íons do solo, assim como da água ali armazenada. Medidas de manejo que estimulem o crescimento inicial da cultura são fundamentais para se obter uma população final adequada e maximizar a produtividade. Essas observações estão de acordo com os resultados apresentados nas revisões de Ribeiro e Santos (1996) e Scott (1989).

A Tabela 4 mostra que foram obtidos coeficientes de correlação elevados entre o comprimento dos entrenós e as produções de material seco da parte aérea e total ($r = 0,80$ e $0,77$, respectivamente), e entre o volume radicular e a produção de material seco das raízes ($r = 0,67$). Esses valores mostram que existe uma interdependência entre essas variáveis. Demonstrou-se, assim, que as medidas do comprimento do entrenó e do volume de raízes foram parâmetros adequados para a avaliação do efeito dos tratamentos sobre o crescimento do milho.

A função bioquímica específica do B ainda é desconhecida, porém é provável que esteja ligada ao metabolismo de carboidratos e à síntese dos componentes da parede celular. Já o Cu interfere na atividade de várias enzimas e em processos de oxidação e redução (Mengel e Kirkby, 1982; Marschner, 1995). Os resultados obtidos para os teores de B nas raízes e de Cu na parte aérea do milho aumentaram linearmente com as doses, e variam de 7 a 9 mg kg⁻¹ e de 0,4 a 1,8 mg kg⁻¹, respectivamente (Figuras 2A e B). De acordo com Fageria *et al.* (1991), os teores de Cu estão abaixo daqueles considerados adequados (entre 7 e 20 mg kg⁻¹). Estes também são inferiores aos valores de 8 e 4,8 mg kg⁻¹, observados por Andrade *et al.* (1975) e Karlen *et al.* (1988). Apesar dos valores mais baixos deste micronutriente, nesta fase de avaliação não se observaram sintomas visuais de deficiência, provavelmente devido à média sensibilidade à deficiência desse elemento (Martens e Westermann, 1991).

Tabela 4: Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis dependentes relacionadas com o crescimento do milho

	MS raízes	MS total	Vol. radicular	Compr. entrenó
MS* Parte aérea	0,637***	0,946***	0,523***	0,799***
MS raízes	-	0,774***	0,668***	0,525**
MS total	-	-	0,641***	0,767***
Vol. Radicular	-	-	-	0,567***

* MS = material seco

O Fe desempenha importante função catalítica na síntese de clo-rofila, participa dos processos fotossintético, respiratório e de transporte eletrônico redução (Mengel e Kirkby, 1982; Marschner, 1995). Apesar deste micronutriente ter sido fornecido em uma única dose, seus teores nas raízes decresceram de 315 para 219 mg kg⁻¹ com o aumento das doses dos tratamentos de 0 para 40 mL kg⁻¹ de sementes (Figura 2C). Houve uma tendência de translocação de Fe das raízes para a parte aérea, uma vez observou-se um aumento dos teores do micronutriente de 94 para 122 mg kg⁻¹, no mesmo intervalo das doses. Estes valores estão dentro da faixa considerada adequada por Fageria *et al.* (1991), entre 50 e 300 mg kg⁻¹. Foram, porém inferiores aos de Karlen *et al.* (1988), 383 mg kg⁻¹, e superiores aos de Andrade *et al.* (1975), 63 mg kg⁻¹.

Nas plantas, o Mn participa de ligações energéticas entre o ATP e o complexo enzimático e também é requerido na fotossíntese e na fotólise da água. O Zn é o componente de várias desidrogenases, proteinases, e peptinases, e está estreitamente vinculado ao metabolismo do N, principalmente na síntese de proteínas redução (Mengel e Kirkby, 1982; Marschner, 1995).

As Figuras 2D e 2E mostram que considerando-se o intervalo entre as doses mínima e máxima utilizadas nos tratamentos, os teores de Mn na parte aérea variaram de 15 a 17 mg kg⁻¹ e os de Zn, de 11 a 17 mg kg⁻¹. No mesmo intervalo de doses, os teores nas raízes variaram de 22 a 41 17 mg kg⁻¹ para o Mn e de 25 a 38,5 mg kg⁻¹ para o Zn.

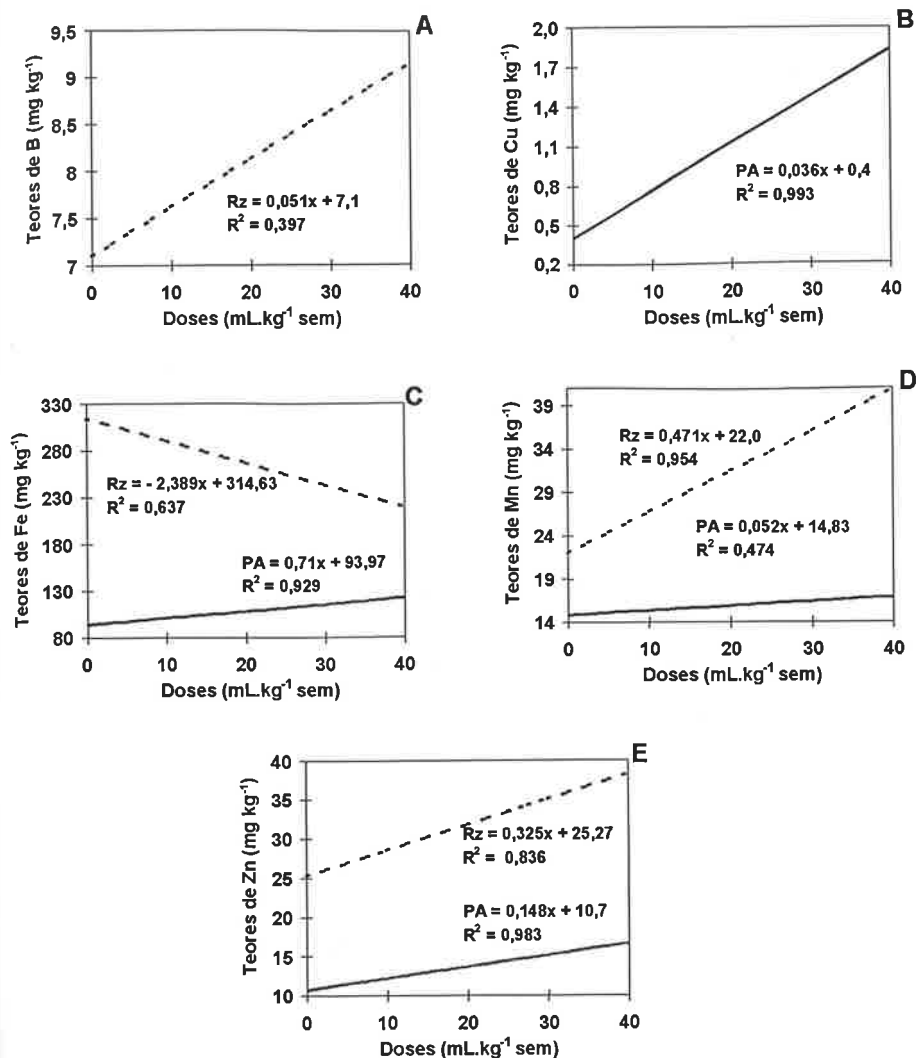


Figura 2: Teores dos micronutrientes boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D) e zinco (E) na parte aérea - PA e raízes - Rz do milho em função das doses da mistura de micronutrientes.

Os teores de Mn, mesmo estando fora da faixa adequada (50 a 160 mg kg⁻¹) de Fageria et al. (1991) e sendo inferiores aos valores de 77 e 36 mg kg⁻¹ obtidos por Andrade et al. (1975) e Karlen *et al.* (1988), respectivamente, não foram associados a sintomas de deficiência. E os teores de Zn na parte aérea também estão abaixo dos valores de 53 e 54 mg kg⁻¹, observados por Andrade et al. (1975) e Karlen *et al.* (1988), e também abaixo da faixa considerada adequada (20 a 50 mg kg⁻¹). Estes teores de Zn reforçam a sintomatologia de deficiência deste micronutriente descrita anteriormente. Estes resultados confirmam as observações de Martens e Westermann (1991), da maior sensibilidade do milho à ausência de Zn, e da sua sensibilidade média à deficiência de Mn.

Outra forma de avaliar as necessidades nutricionais do milho, é pela determinação das quantidades totais absorvidas ou extraídas. A extração total de B pelas plantas de milho foi máxima (0,58 mg por vaso) na dose de 23,3 mL kg⁻¹ de sementes, já pelas raízes a extração relacionou-se linearmente com o aumento das doses, e o valor máximo obtido foi de 0,26 mg por vaso. Esta relação direta também foi observada para a extração de Cu pela parte aérea, a qual apresentou valores máximos de 0,09 mg por vaso. A extração de Fe pela parte aérea foi máxima, alcançando o valor de 4,8 mg por vaso, na dose de 30 mL kg⁻¹ de sementes (Figuras 3A, 3B e 3C).

Nas Figuras 3D e 3E pode ser observado que houve uma tendência de acúmulo de Mn e Zn nas raízes. Nas doses que proporcionaram as maiores extrações a extração de Mn e Zn pelas raízes foi de 1,55 e 1,62 mg por vaso e pela parte aérea foi de 0,61 e 0,69 mg por vaso. Estes valores indicam que 60,6 e 57,3% destes micronutrientes estavam nas raízes. A extração total máxima destes micronutrientes foi de 2,47 e 2,31 mg por vaso na dose máxima utilizada (40 mL kg⁻¹ de sementes).

Os resultados mostraram que a fonte de micronutrientes teve um efeito benéfico sobre o crescimento e a produção do milho até próximo à dose média de 25 mL kg⁻¹ de sementes. Ressalta-se, porém, que apenas o tratamento de sementes com micronutrientes não é suficiente para suprir a necessidade total de micronutrientes das plantas, como também foi mostrado por Ribeiro e Santos (1996).

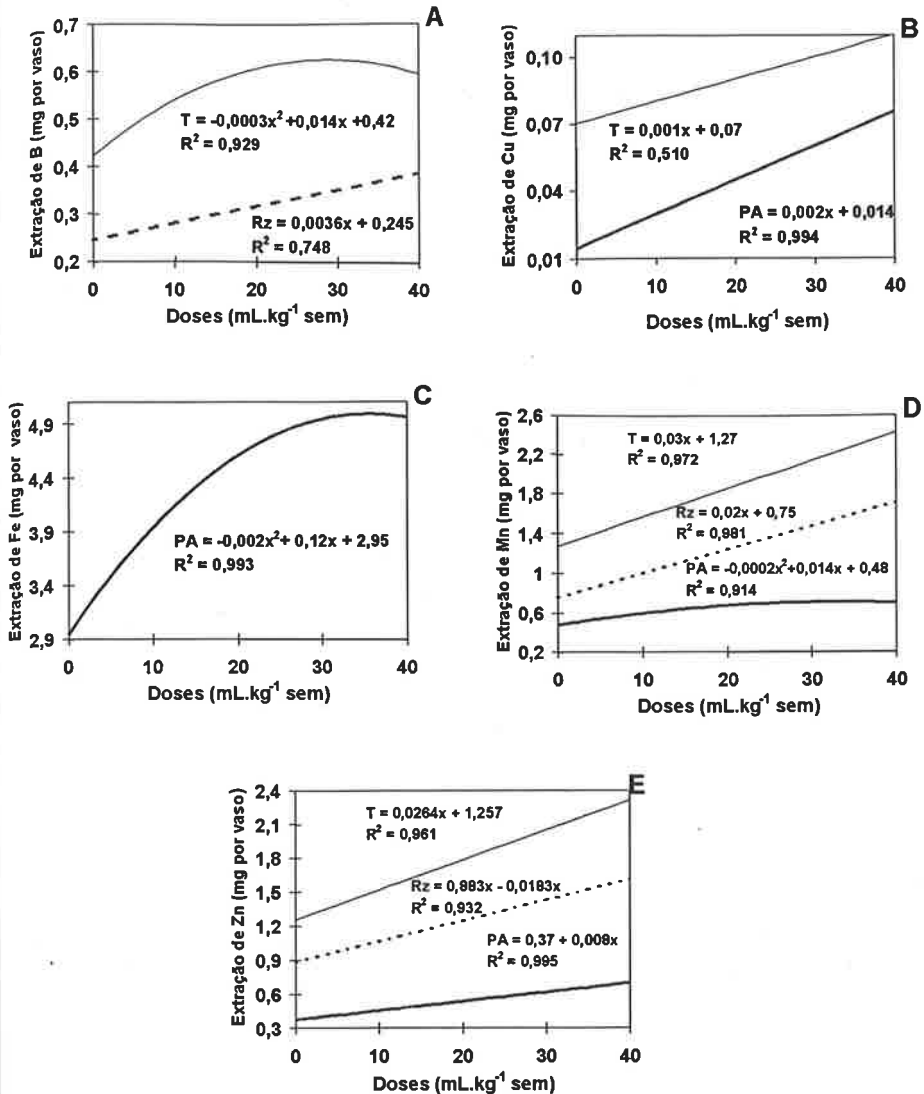


Figura 3: Extração dos micronutrientes boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D) e zinco (E) pela parte aérea - PA, raízes - Rz e total -T pelo milho em função das doses da mistura de micronutrientes.

Considerando-se nesta dose, o plantio de 1 hectare de milho, com 60 kg de sementes, fornecer-se-iam 7,5 g de B, 7,5 g de Cu, 45 g de Mn, 75 g de Zn por hectare. Estas quantidades ficariam aquém das necessidades das plantas, se forem comparadas aos resultados de extração total da literatura. Karlen et al. (1988) mostraram que em um sistema de alta produtividade, houve uma extração de 130 g de B, 140 g de Cu, 900 g de Mn e 800 g de Zn por hectare. Andrade et al. (1975), em um sistema de baixa produtividade, observaram a extração de 175g de Cu, 720 g de Mn e 335 g de Zn por hectare.

ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS

A adubação adicional forneceu micronutrientes (boro, cobre, manganês, molibdênio e zinco) no tratamento das sementes. Posteriormente, determinaram-se os teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no material seco produzido. Cabe, pois, o uso da Análise Multivariada (ou Multidimensional) para apreciar o efeito desses micronutrientes na produção. No entanto, foram excluídos do estudo o ferro, que não foi fornecido nas sementes, e o molibdênio, cujo teor não foi estimado.

A análise multivariada foi aplicada, pois, à Matéria Seca Total, como variável dependente, e aos teores de boro, cobre, manganês e zinco, como variáveis independentes. Foi aplicado o programa CANDISC do aplicativo SAS.

Tabela 5. Análise Multivariada da Variância

Causa de Variação	G.L.	Matrizes
Níveis de adubação	3	$H = \begin{bmatrix} 0.1410 & 0.0645 & 0.6829 & 0.7030 \\ 0.1410 & 0.0320 & 0.3522 & 0.3470 \\ 0.6829 & 0.3522 & 4.6110 & 4.2618 \\ 0.7030 & 0.3470 & 4.2618 & 4.0688 \end{bmatrix}$
Resíduo	20	$E = \begin{bmatrix} 0.10990 & 0.0185 & 0.1691 & 0.1323 \\ 0.01858 & 0.0278 & 0.0993 & 0.1122 \\ 0.16915 & 0.0993 & 3.4063 & 1.0183 \\ 0.13234 & 0.1122 & 1.0183 & 1.2869 \end{bmatrix}$

As médias de tratamentos foram as seguintes, para a variável matéria seca total.

Nível 0	Nível 10	Nível 20	Nível 40
46,79	58,47	59,49	58,20

O teste de Wilks, aplicado à análise da variância, deu $\Lambda = 0,14926$. O valor de F correspondente é $F(12; 45) = 3,969$, isto é, o teste $F = 3,969$, com 12 graus de liberdade para o numerador e 45 para o denominador, significativo para $p > 0,0003$.

As raízes características ("eigenvalues", em Inglês) são:

$$\begin{aligned}\Lambda_1 &= 3,498 \text{ (88,4\%)} \\ \Lambda_2 &= 0,388 \text{ (9,8\%)} \\ \Lambda_3 &= 0,073 \text{ (1,8\%)} \\ \Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 &= 3,959\end{aligned}$$

Conclui-se, pois, que a primeira função discriminante (ou variável canônica) C1 explica 88,4% da variação entre produções de tratamentos (níveis de adubação através da semente), em comparação com 9,8% para C2 e 1,8% para C3.

Para as duas funções discriminantes mais importantes, temos:

$$\begin{aligned}C1 &= 3,298 B - 2,134 Cu + 0,643 Mn + 3,086 Zn, \\ C2 &= 10,789 B + 12,081 Cu - 2,227 Mn - 0,584 Zn,\end{aligned}$$

A produção de Matéria Seca Total é dada pela função:

$$MST = 8,468 + 10,134 C1 - 0,4976 C1^2$$

A variável MST cresce no intervalo $[0; 10,18]$ de C1. Mas nesse mesmo intervalo, C1 é função decrescente de Cu. Conclui-se pois que MST é função decrescente do nível de Cu, isto é, o efeito do Cu é desfavorável à produção de MST, Matéria Seca Total.

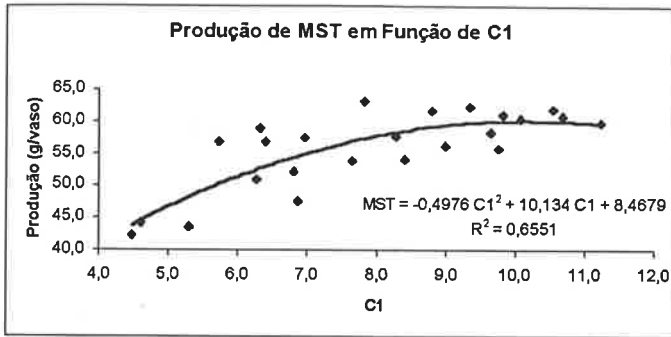


Figura 4: Produção de Material Seco Total (MST) em função da primeira variável canônica C1.

CONCLUSÕES

- 1) O milho respondeu ao fornecimento de micronutrientes via sementes com aumentos na produção de material seco e no conteúdo de B, Cu, Mn e Zn, e pode ser uma prática interessante para favorecer o crescimento inicial da cultura.
- 2) A dose que proporcionou a melhor resposta do milho à aplicação da mistura de micronutrientes foi 25 ml kg⁻¹ de sementes.
- 3) As medidas de volume radicular e comprimento de entrenós mostraram-se adequadas para avaliação da resposta do milho ao fornecimento de micronutrientes.
- 4) Sintomas visuais de deficiência de Zn estiveram associados a teores de 11 mg kg⁻¹ na parte aérea do milho.
- 5) A produção de material seco total apresentou uma tendência decrescente em função do nível de Cu.

AGRADECIMENTOS

À Stoller do Brasil Ltda. - Divisão Arbore, pelo suporte financeiro para a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRRA, G.D.; SARRUGE, J.R., 1975. Acumulação Diferencial de Nutrientes por Cinco Cultivares de Milho (*Zea mays* L.). II – Acumulação de Micronutrientes. **Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz**, v.XXXII, p.151-171.
- BARBOSA FILHO, M.P.; DYNIA, J.F.; ZIMMERMANN, F.J.P., 1990. Resposta do Arroz de Sequeiro ao Zinco e ao Cobre com Efeito Residual para o Milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.3, p.333-338.
- BÜLL, L.T., 1993. Nutrição Mineral do Milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do Milho: Fatores que Afetam a Produtividade**. Piracicaba: Potafós, p.63-145.
- DHILLON, K.S.; YAGODEEN, B.A.; PLESHKOV, A.C., 1983. Micronutrients and Nitrogen Metabolism. I. Effect of Different Levels of Micronutrients on Nitrogen Constituents in Maize Plants. **Plant and Soil**, v.73, n.3, p.355-363.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A., 1991. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**. New York: Marcel Dekker, Inc., 476p.
- GALRÃO, E.Z., 1994. Métodos de Correção da Deficiência de Zinco para o Cultivo do Milho num Latossolo Vermelho-Escuro Argiloso sob Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.2, p.229-233.
- HIBBERD, E.E., 1970. Methods of Correcting Zinc Deficiency in Irrigated Maize Grown on Black Earth Soil, Darling Downs, Queensland. **Quaterly Journal of Agricultural and Animal Science**, v.27, p.89-94.
- JOHNSON, C.M.; SOUT, P.R.; BROYER, T.C.; CARLTON, A.B., 1957. Comparative Chlorine Requeriments of Different Plant Species. **Plant and Soil**, v.8, p. 337-53.
- KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial Accumulation and Partitioning of Nutrients by Corn. **Agronomy Journal**, v.80, n.2, p.232-242.

- MARSCHNER, H., 1995. **Mineral Nutrition of Higher Plants**, 2 ed. New York: Academic Press, 889p.
- MARTENS, D.C.; WESTERMANN, D.T., 1991. Fertilizer Applications to Correcting Micronutrient Deficiencies. In: MICKELSON, S.H., ed. **Micronutrients in agriculture**, 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, p.549-92.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A., 1982. **Principles of Plant Nutrition**. 3th ed. Bern: International Potash Institute, 655p.
- MORTVEDT, J.J., 1985. Micronutrient Fertilizers and Fertilization Practices. **Fertilizer Research**, v.7, n.1-3, p.221-235.
- MURPHY, L.S.; WALSH, L.M., 1972. Correction of Micronutrient Deficiencies with Fertilizers. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p.347-387.
- RIBEIRO, N.D; SANTOS, O.S., 1996. Aproveitamento do Zinco Aplicado na Semente na Nutrição da Planta. **Ciência Rural**, v.26, n.1, p.159-165.
- RUSCHEL, A.P.; ROCHA, A.C.M.;PENTEADO, A.F., 1970. Efeito do Boro e do Molibdênio Aplicados a Diferentes Revestimentos de Semente de Feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.49-52.
- SANTOS, O.S.; RIBEIRO, N.D., 1994. Fontes de Zinco Aplicadas em Sementes de Milho, em Solução Nutritiva. **Ciência Rural**, v.24, n.1, p.59-62.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P., 1974. **Análises Químicas em Plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 56p.
- SAS INSTITUTE., 1996. **The SAS-Sytem for Windows**: release 6.11 (software). Cary: Statistical Analysis System Institute.
- SCOT, J.M., 1989. Seed Coatings and Treatments and Their Effects on Plant Establishment. **Advances in Agronomy**, v.42, p.43-83.