

EFICIÊNCIA RELATIVA DE FONTES DE ZINCO
PARA O MILHO (*Zea mays* L.)*

E. MALAVOLTA**
V.T. PAULINO****
A.J. LOURENÇO****
M.L. MALAVOLTA**
J.C. ALCARDE***
J.C. CORRÊA****
M.M. TERRA****
C.P. CABRAL**

RESUMO

Em um solo LEa fase cerrado com 0,3 ppm de Zn disponível (Mehlich) foi avaliada a eficiência relativa do sulfato de zinco, óxido de zinco e frita FTE Br-12 como fontes do elemento para o milho, em

*Trabalho parcialmente financiado pelo Contrato FEALQ/FINEP. Entregue em 20/01/87.

**CENA/USP.

***Departamento de Química - ESALQ/USP.

****Alunos de Pós-Graduação, Disciplina LQI-890, Curso de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP.

condições de casa de vegetação. Foram usados os seguintes níveis, além de uma testemunha sem o micronutriente: sulfato - 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 ppm de Zn; óxido e frita - 1,0 ppm Zn. Verificou-se que o milho respondeu diferentemente às fontes: o sulfato em dose maior que 1,0 ppm Zn, mostrou-se tóxico; além de eficientes no fornecimento de Zn, o óxido e a frita não mostraram tendência para toxidez; houve correlação altamente significativa entre Zn aplicado e absorvido. O teor de Zn residual foi determinado usando-se DTPA e o extrator de Mehlich; houve correlação positiva entre os teores extraídos pelas duas soluções; a solução de duplo ácido forneceu valores maiores; as duas fontes insolúveis deixaram no solo níveis de Zn equivalentes aproximadamente aos encontrados com a dose menor de sulfato. Os níveis de Zn no solo depois da colheita associados à maior produção de matéria seca foram 1,5 e 1,3 ppm, respectivamente para o extrator duplo ácido e para o DTPA-TEA.

INTRODUÇÃO

Juntamente com a de boro a deficiência de zinco é das mais comuns no Brasil, manifestando-se tanto em culturas anuais quanto em perenes (MALAVOLTA, 1980, p.233; LOPES, 1984). Na cultura do milho a carência de Zn e a resposta à sua aplicação no campo foi constatada pela

primeira vez por IGUE & GALLO (1960). GALRÃO (1986, p.239-245) mostrou haver diferença genotípica na resposta do cereal à adição de zinco; mostrou ainda que o nível crítico do elemento no solo era de 1,4 ppm (HCl 0,1N), 1,0 ppm (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N, Mehlich ou "Carolina do Norte") e 0,7 ppm (DTPA-TEA). A análise de cinco centenas de amostras de solos de cerrado mostrou que 95% das mesmas tinham um teor de Zn disponível menor que 1,0 ppm no extrator de Mehlich (LOPES, 1983, p.29).

GALRÃO & MESQUITA (1981) ao estudar em casa de vegetação a resposta do milho ao sulfato, óxido e frita em LVA textura argilosa não encontraram diferença entre as mesmas com respeito à produção de matéria seca, teor de Zn no solo e na planta.

No presente experimento pretende-se comparar a eficiência relativa de três fontes de zinco; uma solúvel (sulfato) e duas insolúveis (óxido e frita). Foram formuladas as seguintes hipóteses de trabalho:

- (1) as fontes devem se comportar diferentemente em função da solubilidade;
- (2) deve-se esperar maior absorção da fonte solúvel.

MATERIAL E MÉTODOS

Solo

Foi empregado um Latossolo Vermelho Escuro (LEa) fase arenosa das proximidades de Uberlândia, MG, cujas características aparecem na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do solo.

Característica	Valor
Análise granulométrica	
Areia	
grossa	37
fina	36
Limo	4
Argila	23
Análise química	
pH (CaCl ₂)	4,0
mat. orgânica (%)	3,2
P (Mehlich) (ppm)	8
K e mg/100 ml	0,2
Ca	0,1
Mg	0,07
H	3,2
Al	1,5
Zn (Mehlich) ppm	0,3

Cultivar

Empregou-se a VD-2-BR202.

Fontes

Sulfato de zinco - 23% de Zn; óxido - 30% Zn, frita (FTE BR 12) - 9% Zn; 1,8% B; 0,8% Cu; 3% Fe; 2% Mn; 0,1% Mo.

Tratamentos

Foram empregados os seguintes, com 4 repetições, num delineamento inteiramente casualizado:

- (1) Testemunha (0 ppm Zn);
- (2) Sulfato de zinco, dose 1-0,5 ppm Zn;
- (3) Sulfato de zinco, dose 2 - 1,0 ppm;
- (4) Sulfato de zinco, dose 3 - 1,5 ppm;
- (5) Óxido de zinco, dose 2 - 1,0 ppm Zn;
- (6) Frita, dose 2 - 1,0 ppm Zn

Foi feita a calagem (V = 60%) usando-se calcário dolomítico parcialmente calcinado (Mineral, PRNT = 120%). Todos os vasos receberam ainda: 150 ppm de N como sulfato de amônio (1/2 no plantio e 1/2 3 semanas depois), 200 ppm de P como superfosfato simples; 150 ppm de K como cloreto (1/2 no plantio e 1/2 em cobertura 3 semanas depois, junto com o N); nos tratamentos (1) e (5) foram aplicados micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Mo) na dose correspondente à fornecida pelo FTE BR 12 usado no tratamento (6).

Condução

Em vasos de barro impermeabilizados com

Neutrol e providos de coletor foram usados 1,5 kg de TFSA.

Os produtos foram fornecidos como solução ou suspensão, bem misturados com toda a terra do vaso.

Foram colocadas em cada vaso 10 sementes de milho na profundidade de 3 - 4 cm; após desbaste deixaram-se 5 plantas por vaso.

Procurou-se manter no solo umidades correspondente a 60% do poder de embebição.

A parte aérea do milho foi colhida cerca de 60 dias após a germinação, tendo sido as plantas mantidas em casa de vegetação (março a maio de 1986). Depois de seca em estufa a 70-80°C foi pesada. No material moído fez-se extrato nítrico-perclórico e determinou-se o Zn por absorção atômica.

Depois de retiradas as raízes determinou-se o teor de Zn disponível na terra dos vasos fazendo-se a extração com a solução do plo ácido e com DTPA (ácido dietileno-triamino-pentaacético) tamponado a pH 7,3 com TEA (trietanolamina) (LINDSAY & NORWEEL, 1969). No primeiro caso usou-se a relação 10 g solo/40 ml extrator, agitação durante 15 minutos. No segundo 10 g de solo foram agitados com 20 ml de solução durante 2 horas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria seca

Os dados de produção de matéria seca e a respectiva análise de variância encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Efeito de doses e fontes de zinco na produção de matéria seca da parte aérea do milho. (média de 4 repetições).

T r a t a m e n t o	Matéria seca	
	g/vaso	relativo
1. Testemunha	27,9 bc	100
2. Sulfato de Zn - 0,5 ppm Zn	30,4a	109
3. 1,0	27,8 bc	99
4. 1,5	26,0 c	93
5. Óxido de Zn - 1,0 ppm Zn	29,8ab	107
6. Frita - 1,0 ppm Zn	31,4a	112
Teste F	**	-
d.m.s. (Tukey a 5%)	2,48	-
C.V. (%)	3,82	-

**F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Números seguidos das mesmas letras não diferem significativamente entre si.

Os dados mostram que as produções mais elevadas foram obtidas com frita, óxido de zinco (ambos fornecendo 1,0 ppm Zn) e com sulfato de zinco (dose de 0,5 ppm Zn) as quais não diferiram entre si. A produção de matéria seca diminuiu com as doses maiores de sulfato de zinco, indicando toxidez do elemento. Conforme se vê na Fig. 1 há uma relação quadrática entre as doses de sulfato de zinco aplicadas e a produção de matéria seca. Derivando-se a equação de regressão e igualando-se os valores a 0 obtêm-se o valor 0,56 ppm Zn como sendo a dose que na forma de sulfato, dá a produção máxima. GALRÃO & MESQUITA (1981) num ensaio em vasos semelhante ao presente, não encontraram efeito tóxico do sulfato de zinco nem mesmo com doses tão altas quanto 10 ppm de Zn, cultivando o milho durante 1 mês. A diferença principal entre os dois ensaios parece ser o tipo de solo, argiloso no caso do experimento de GALRÃO & MESQUITA (1981), enquanto é arenoso o do presente. Houve assim a possibilidade de que mais zinco permanecesse disponível devido à menor fixação: o LEa usado possui 73% de areia e 23% apenas de argila (Tabela 1). ELLIS & KNEZEK (1972, p.64-68) descrevem os mecanismos de adsorção do Zn no solo e suas implicações. Por outro lado, as fontes de N e de P_2O_5 usadas no experimento podem ter contribuído para manter o zinco solúvel na forma de $ZnSO_4^0$ (LINDSAY, 1972, p.50). Além disso, a acidez gerada pelo sulfato de amônio deve ter contribuído para manter mais alto o nível de zinco disponível no solo, visto que a variação em uma unidade de pH determina uma variação de 100 vezes na concentração de Zn na solução do solo (LINDSAY, 1972, p.48).

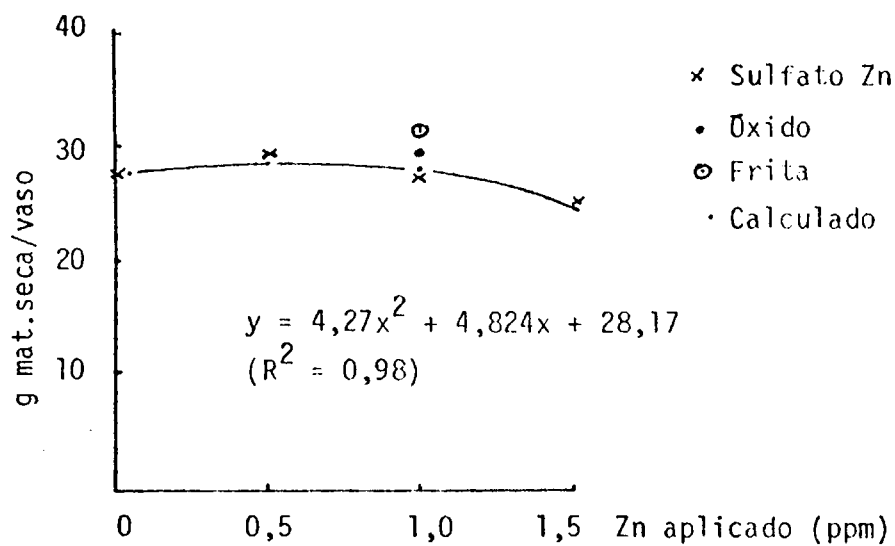


Fig. 1 - Efeito do Zn na produção de matéria seca.

Absorção de zinco

A Tabela 3 dá os teores de Zn encontrados na parte aérea do milho e as quantidades absorvidas.

O exame dos dados mostra que o fornecimento de Zn fez aumentar o teor do mesmo na parte aérea do milho de modo significativo exceto nos casos da dose menor de sulfato de zinco e do óxido. Nesses dois casos, entretanto, as diferenças encontradas quase atingiram o limite de significância. Todos os teores encontrados estão acima daqueles dados por GALRÃO (1986, p.245), inclusive na testemunha o que indica maior disponibilidade, conforme sugerido acima. A Fig. 2 mostra excelente correlação entre as doses de Zn aplicadas e os teores de Zn na matéria seca. A diminuição observada na produção de matéria seca em consequência do uso de 2,0 ppm de Zn como sulfato pode ser explicada, em parte pelo menos, pela elevação exagerada do teor de Zn que chegou a 54 ppm, o que confirma os dados de TAKKAR & MANN (1977) obtidos em condições semelhantes.

O fornecimento do Zn nas várias doses e formas causou aumentos significativos na quantidade total absorvida (Tabela 3). E, como mostra a Fig. 3 há correlação muito forte entre dose de Zn aplicada e quantidade absorvida. Essas quantidades são 2 - 4 vezes maiores que as encontradas por GALRÃO (1986, p.248) mesmo quando em níveis de Zn da ordem 5 - 10 ppm: isto foi devido ao período de cultivo no presente ensaio e, provavelmente à maior disponibilidade pelos motivos apresentados.

Deve-se chamar atenção para o fato de que as duas fontes insolúveis usadas garantem pro

Tabela 3 - Teores de Zn na parte aérea e quantidades absorvidas. (Médias de 4 repetições).

T r a t a m e n t o	Teor de Zn (ppm)	Zn absorvido		% adicio- nado
		µg/vaso	relativo	
1. Testemunha	24 c	690 d	100	-
2. Sulfato de Zn - 0,5 ppm Zn	28 c	867 c	125	55
3. - 1,0	40 b	1107 b	160	42
4. - 2,0	54a	1395a	202	47
5. Óxido de Zn - 1,0 ppm Zn	29 c	856 c	124	17
6. Frita - 1,0 ppm Zn	37 b	1146 b	166	46
Teste F	**	**	-	-
d.m.s. (Tukey a 5%)	4,84	150	-	-
C.V. (%)	6,06	6,75	-	-

**Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade. Números seguidos das mesmas letras não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

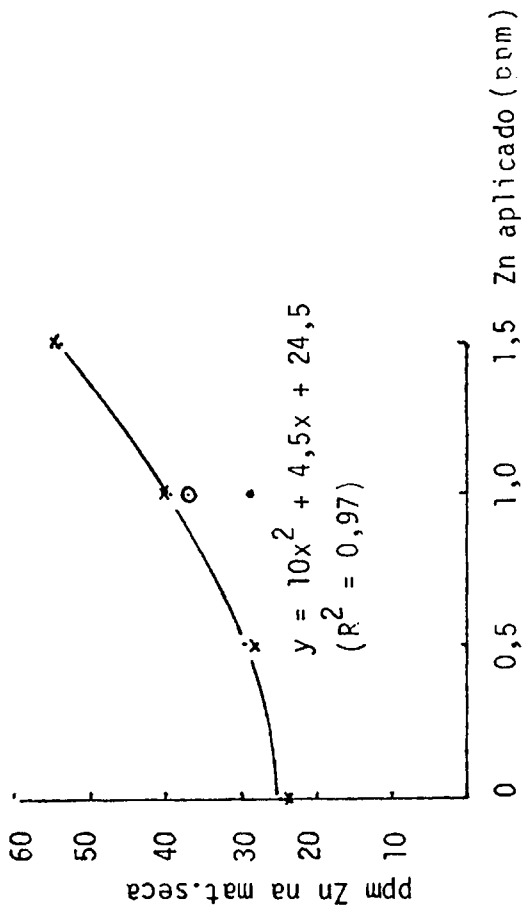


Fig. 2. Relação entre Zn aplicado e teor na mat.seca

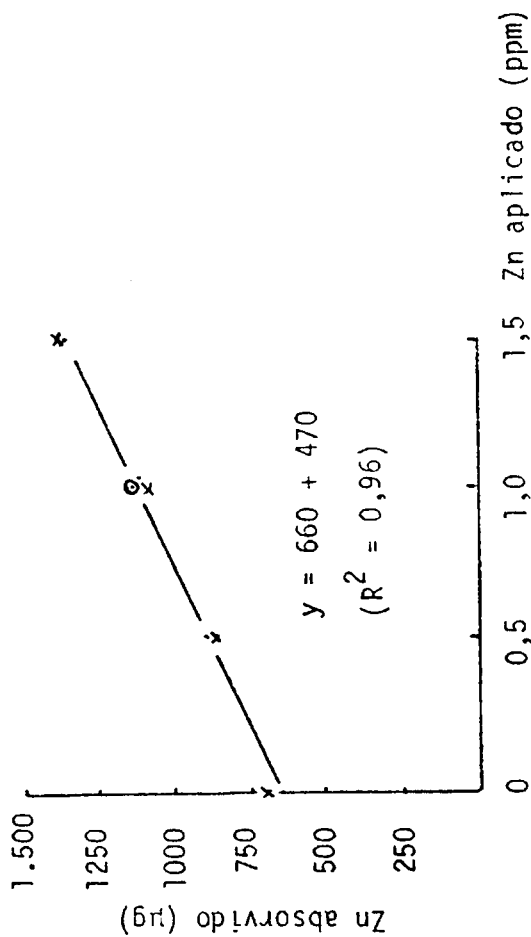


Fig.3. Relação entre Zn aplicado e quantidade absorvida

duções de matéria seca maiores que as obtidas com igual dose de Zn fornecido como sulfato sem que, entretanto, o teor do elemento atinxisse o mesmo nível aparentemente tóxico (40 ppm Zn). Note-se ainda (Tabela 3) que quase a metade do Zn fornecido como frita foi aparentemente absorvido, o que garantiu uma recuperação equivalente à obtida com o sulfato.

Zinco no solo

A Tabela 4 dá os teores de Zn disponível residual no solo.

Verifica-se que os níveis encontrados são proporcionais às doses aplicadas nas diferentes fontes e que o óxido e a frita deixaram no solo um teor de Zn semelhante ao correspondente à dose menor de sulfato de zinco. Embora os teores extraídos com o duplo ácido sejam sempre maiores que os obtidos com DTPA, as diferenças entre os mesmos não alcançaram o limite da significância.

Entre os valores encontrados com os dois extratores foi encontrada correlação positiva como mostra a Tabela 5. Do mesmo modo encontraram-se correlações positivas entre: os teores de zinco residuais e o nível do elemento aplicado; zinco absorvido e zinco residual; concentração de zinco na matéria seca e Zn residual no solo. Isto sugere que os dois extratores refletem igualmente bem a disponibilidade do Zn no solo. Trabalhando em condições de campo RITCHIEY *et al.* (1986) também verificaram existir correlação significativa ($r = 0,95$) entre os dois extratores; encontraram ainda, como no presente trabalho, que o duplo ácido retira mais Zn que o DTPA o que deve ser explicado pelo baixo pH do primeiro favorecendo a dissolu

Tabela 4 - Teores de Zn disponível no solo após a colheita do ensaio. (Média de 4 repetições).

T r a t a m e n t o	ppm Zn DTPA-TEA	Mehlich
1. Testemunha	0,5 c A	0,80 c A
2. Sulfato de Zn - 0,5 ppm Zn	0,85 b A	1,24 bc A
3. - 1,0	1,23a A	1,40ab A
4. - 2,0	1,42a A	1,77a A
5. Óxido de Zn - 1,0 ppm Zn	0,80 b A	1,09 bc A
6. Frita - 1,0 ppm Zn	0,71 bc A	0,91 bc A
Teste F	**	**
d.m.s. (Tukey a 5%)	0,27	0,53
C.V. (%)	12,5	9,5

**Valores de F significativos de 1% de probabilidade.

Os números seguidos pelas mesmas letras minúsculas em cada coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Na horizontal os números seguidos da mesma letra maiúscula A, não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade. (d.m.s. = 0,45).

Tabela 5 - Relações existentes entre Zn residual e outras variáveis.

Correlação		Regressão	R ²
y	x		
Zn no solo (Mehlich)	Zn no solo (DTPA)	$y = 0,36 + 0,95x$	0,84
Zn no solo (Mehlich)	Zn aplicado (sulfato)	$y = 0,85 + 0,61x$	0,97
Zn no solo (DTPA)	Zn aplicado (sulfato)	$y = 0,53 + 0,63x$	0,94
Zn absorvido	Zn no solo (DTPA)	$y = 707 + 307x$	0,93
Zn absorvido	Zn no solo (Mehlich)	$y = 773 + 185x$	0,95
Teor Zn mat.seca	Zn no solo (Mehlich)	$y = 26,85 + 7,41x$	0,97
Teor Zn mat.seca	Zn no solo (DTPA)	$y = 24,08 + 12,42x$	0,96

ção de formas menos solúveis do elemento.

Entre os teores de Zn disponível no solo depois da colheita e a produção de matéria seca foram encontradas as seguintes equações de regressão:

(1) Mehlich

$$y = - 2,42x^2 + 7,27x + 23,54$$

(2) DTPA - TEA

$$y = - 1,53x^2 + 4,09x + 29,57$$

Derivando-se essas equações e igualando a zero a derivada foram obtidos os seguintes teores que correspondem à máxima produção de matéria seca: (1) Mehlich - 1,5 ppm Zn; (2) DTPA-TEA 1,3 ppm. RITCHEY *et al.* (1986) encontraram, respectivamente, 1,0 e 0,7 ppm de Zn para esses dois extratores, em condições de campo, trabalhando com uma variedade de milho altamente responsiva à adição de zinco.

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões principais podem ser tiradas:

O sulfato de zinco, o óxido e a frita FTE-BR 12 mostraram-se igualmente eficientes como fontes de Zn para o milho em termos de produção de matéria seca e de absorção do elemento.

Não se observou efeito tóxico das duas fontes insolúveis quando fornecidas na mesma

dose que o sulfato de zinco.

O teor de Zn residual no solo devido ao óxido e à frita foi aproximadamente a metade do deixado pelo sulfato quando aquele foi extraído por DTPA-TEA ou pela solução de Mehlich.

O DTPA-TEA e a solução de Mehlich avaliaram igualmente bem a disponibilidade do zinco no solo, embora os teores encontrados com o segundo extrator sejam consistentemente maiores.

Em solos arenosos, como os do presente ensaio (70% de areia) deve-se tomar cuidado com as doses de Zn solúvel a usar por causa do perigo de toxidez para o milho.

SUMMARY

RELATIVE EFFICIENCY OF SOURCES OF ZINC FOR CORN (*Zea mays* L.)

In a Dark Red Latosol, sandy phase, with 0.3 ppm of "available" Zn (Mehlich), the effectiveness of three zinc sources (sulphate, oxide, and fritted-FTE BR-12) was studied in the greenhouse, using corn as a test plant. The following levels of the micronutrient were used: sulphate - 0.0, 0.5, 1.0 and 1.5 ppm, oxide and FTE BR-12 - 1.0 ppm. It was found that the test plant reacted differently to the three sources: sulphate beyond the 1.0 ppm level of supply induced toxicity; although equally efficient in terms of dry matter production, the two insoluble sources did not restrict growth when supplied at the same rate. There was a highly significant correlation between Zn applied and taken up. Both DTPA-TEA

and Mehlich's solution estimated equally well residual Zn in the soil. The two insoluble sources left in the soil a content of available Zn roughly equal to that found in the intermediate level of sulphate addition. Attention should be drawn to the risk of inducing zinc toxicity when soluble sources are used in sandy soils similar to that employed in the present experiment.

LITERATURA CITADA

- ELLIS, B.G. & B.D. KNEZEK, 1972. Adsorption reaction of micronutrients in soils. In: **"Micronutrients in Agriculture"**, J.J. Mortvedt, P.M. Giordano & W.L. Lindsay, editores. **Soil Sci. Soc. America**, Inc., Madison.
- GALRÃO, E.Z., 1986. Micronutrientes. In: **"Solos dos Cerrados"**. W.J. Goedert, Editor. EMBRAPA/Nobel, São Paulo.
- GALRÃO, E.Z. & M.V. MESQUITA F^o, 1981. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **R. bras. Ci. Solo**, 5:167-170.
- IGUE, K. & J.R. GALLO, 1960. Deficiência de Zinco em Milho no Estado de São Paulo. IBEC Res. Inst. Bol. 20, Matão.
- LINDSAY, W.L., 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: **"Micronutrients in Agriculture"**. J.J. Mortvedt, P. G. Giordano & W.L. Lindsay, editores. **Soil Sci. Soc. America**, Inc., Madison.
- LOPES, A.S., 1983. Solos sob "Cerrado". Inst. da Potassa & Fosfato (EUA) & Inst. Internacional da Potassa (Suíça), Piracicaba.

- LOPES, A.S., 1984. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. An. Simp. sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira (Brasília, D.F.): 347-382.
- MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Editora Agronômica Ceres Ltda., São Paulo.
- RITCHEY, K.D., F.R. COX, E.Z. GALRÃO & R.S. YOST, 1986. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesq. agropec. bras.**, **21**(3):215-225.
- TAKKAR, P.N. & M.S. MANN, 1978. Toxic levels of soil and plant zinc for maize and wheat. **Plant and Soil**, **49**:667-669.