



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

VALE, F.; ALCARDE, J. C.
EXTRATORES PARA AVALIAR A DISPONIBILIDADE DO ZINCO EM FERTILIZANTES
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 3, 2002, pp. 655-662
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218340010>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

EXTRATORES PARA AVALIAR A DISPONIBILIDADE DO ZINCO EM FERTILIZANTES⁽¹⁾

F. VALE⁽²⁾ & J. C. ALCARDE⁽³⁾

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a solubilidade do zinco contido em fertilizantes (sulfato de zinco, óxido de zinco, zinco metálico e quatro “fritas” comerciais) nos extratores água, ácido cítrico 20 g L⁻¹, citrato neutro de amônio (1 + 9) e DTPA, e correlacioná-la com a disponibilidade desse elemento para plantas de arroz e milho. O zinco presente no sulfato de zinco mostrou-se mais disponível às plantas, seguido daquele contido no óxido de zinco, enquanto as “fritas” apresentaram menor disponibilidade. O extrator citrato neutro de amônio (1 + 9), na relação 1:100 e com fervura por cinco minutos, apresentou correlação satisfatória com a absorção pelas plantas. Sua adoção contribuiria para melhorar a eficiência das adubações com zinco.

Termos de indexação: fontes de zinco, disponibilidade de nutrientes, extractores químicos, arroz, milho.

SUMMARY: *EXTRACTANTS FOR AVAILABILITY EVALUATION OF ZINC IN FERTILIZERS*

Zinc solubility in fertilizers (zinc sulfate, zinc oxide, metallic zinc and four FTE) was determined using water, 20 g L⁻¹ citric acid, neutral ammonium citrate (1 + 9) and DTPA as extractant solutions, and the correlation with the availability of this micronutrient for rice and corn plants established. Zinc was most accessible for the plants in sulfate form,

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em março de 2001 e aprovado em maio de 2002.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: fabio_vale@cargillferts.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. E-mail: jcalcard@esalq.usp.br

followed by oxide, while FTE presented the lowest availability. Neutral ammonium citrate (1 + 9), at a ratio of 1:100 and after boiling for five minutes, demonstrated a satisfactory correlation with plant adsorption. Its adoption would contribute to improve zinc fertilizations.

Index terms: zinc sources, nutrient availability, chemical extractants, rice, corn.

INTRODUÇÃO

O zinco (Zn) é um elemento essencial para o crescimento das plantas. Fertilizantes que contêm esse micronutriente estão sendo cada vez mais utilizados nos processos produtivos, visando à reposição deste elemento. A legislação brasileira de fertilizantes e corretivos (Brasil, 1982) define os produtos considerados como fontes de micronutrientes possíveis de ser utilizados na agricultura. Destes, alguns são solúveis em água, como os quelatos, sulfatos, cloretos e nitratos, enquanto outros são insolúveis, mas disponíveis às plantas quando aplicados no solo: é o caso dos carbonatos, fosfatos, óxidos, fritas, dentre outros.

Mortvedt (1992) avaliou a disponibilidade do Zn contido em diferentes produtos, com solubilidade em água variando de 0 a 100 % do teor total. Todos os produtos foram testados sob a forma moída e granulada. Concluiu que a disponibilidade do elemento nos produtos moídos foi semelhante, independentemente da solubilidade em água. No caso dos produtos granulados, encontrou que, à medida que se aumentava a solubilidade em água, maior era a produção de matéria seca e maior a absorção de Zn pelas plantas. Recomendou que um fertilizante granulado deve conter um mínimo de 40 % de Zn solúvel em água, para atingir boa resposta das culturas.

Amrani et al. (1999) avaliaram a produção de matéria seca de milho de acordo com a aplicação de sulfatos e oxissulfatos de Zn com diferentes solubilidades em água. Os fertilizantes foram aplicados sob a forma granulada. Os autores concluíram que o teor total de Zn não foi suficiente para caracterizar a disponibilidade do elemento; porém a solubilidade em água é um importante fator em relação à disponibilidade. Assumindo que doses de 5 a 10 kg ha⁻¹ de Zn são normalmente recomendadas para boa produtividade, os autores sugeriram que em torno de 50 % do Zn contido nos fertilizantes seja solúvel em água, visando ao suprimento adequado do elemento para as culturas.

Goos et al. (2000) compararam a disponibilidade do Zn contido em um sulfato de Zn granulado, um humato-lignosulfonato de Zn granulado (ZnHL) e ZnEDTA líquido, para a cultura do milho. As duas fontes granuladas foram aplicadas no solo como tal

e também na forma moída. Todas as fontes de Zn forneceram excelente resposta à produção de matéria seca, quando aplicadas sob a forma de pó; porém a disponibilidade do elemento contido na fonte sulfato granulado foi quase zero e, para o ZnHL, a disponibilidade da forma granulada foi inferior à moída. Segundo os autores, as diferenças entre essas fontes dependem muito mais das características físicas que das características químicas dos produtos.

A legislação brasileira especifica algumas características para cada produto, bem como a garantia mínima de micronutrientes em cada um (Brasil, 1982). Define, também, que a garantia de todos os micronutrientes seja expressa pelo teor total presente no fertilizante. Alcarde & Rodella (1993), porém, alertam que tal exigência possibilita comercializar subprodutos industriais que contenham micronutrientes, com teores totais mínimos exigidos pela legislação, mas com elementos que não estejam nas formas químicas previstas na legislação. Além disso, alguns desses produtos podem ter eficiência agronômica duvidosa.

Vale & Alcarde (1999) desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi o de determinar a solubilidade dos micronutrientes em fertilizantes comerciais pelo uso de extratores químicos, correlacionando-a com a disponibilidade às plantas. Todos os produtos foram analisados quanto ao teor total de micronutrientes, teores solúveis em água, e em soluções de ácido cítrico 20 g L⁻¹, de citrato neutro de amônio na diluição 1 + 9, de ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA) 0,005 mol L⁻¹ e de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 0,005 mol L⁻¹. A técnica de extração foi agitação da amostra com o extrator por 1 hora, na relação 1:100. Posteriormente, realizaram uma avaliação do aproveitamento dos micronutrientes por plantas de arroz, utilizando-se do método de Neubauer & Schneider (Catani & Bergamin Filho, 1961). As correlações entre os teores de cada micronutriente solubilizado pelos diferentes extratores e os conteúdos encontrados nas plantas indicaram o ácido cítrico como um extrator promissor para avaliar a disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco contidos nos fertilizantes, enquanto, para o boro, o teor total mostrou-se condizente com a disponibilidade do elemento. A garantia dos micronutrientes catiônicos pelo teor total, conforme exige a legislação, não indicou a real disponibilidade dos micronutrientes nos fertilizantes.

O objetivo do presente trabalho foi determinar a solubilidade do Zn contido em fertilizantes comerciais, por meio do uso de extratores químicos, e correlacioná-la com a disponibilidade desse elemento para plantas de arroz e milho, cultivados em condições de casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas oito amostras de produtos que continham Zn (Quadro 1). As amostras foram preparadas, visando à homogeneização e quarteação em quarteador tipo "Jones" até atingir, aproximadamente, 100 g de fertilizante por amostra. A seguir, as amostras foram moídas manualmente, em gral de porcelana, até que passassem por completo em peneira com abertura de malha de 0,84 mm (ABNT nº 20). Alguns produtos de origem p.a. foram utilizados para comparação.

Todos os produtos foram analisados quanto ao teor total do micronutriente, aos teores solúveis em água e em soluções de ácido cítrico a 20 g L⁻¹ (AC), de citrato neutro de amônio na diluição (1 + 9) (CNA), e de ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA) 0,005 mol L⁻¹. As solubilidades em ácido cítrico e em citrato neutro de amônio foram feitas de duas maneiras: por agitação da amostra com o extrator, por uma hora, e por fervura, por cinco minutos. Foram realizadas triplicatas para cada método de análise utilizado.

Extrações

Teor total de zinco - (Brasil, 1983)

Foi utilizado o procedimento para fertilizantes minerais não fritas, isto é, que utiliza apenas HCl; isto porque, conforme demonstrado por Alcarde & Vale (1999), as "fritas" comercializadas no Brasil não são realmente fritas, isto é, micronutrientes fundidos com silicatos (FTE), mas resíduos parcialmente

solubilizados com ácido sulfúrico ou simplesmente mistura de micronutrientes, razão de serem citados entre aspas ("fritas").

Teor de zinco solúvel em água (Vale & Alcarde, 1999)

Teores de zinco solúveis nas soluções de AC, CNA e DTPA

Os preparamos de todas as soluções extratoras estão descritos em Vale & Alcarde (1999).

Os métodos de extração, por agitação ou por fervura, foram os mesmos para todos os extratores.

Extração por agitação – Após transferência de 1,0000 g da amostra para erlenmeyer de 250 mL, foram adicionados 100 mL da solução extratora. A mistura, tamponada com rolha de borracha, foi colocada em agitador tipo Wagner e agitada por 1 hora, a 30-40 rpm; em seguida, foi filtrada em papel faixa branca, recebendo o filtrado em balão de 250 mL. Lavou-se o erlenmeyer, bem como o filtro, com porções de água destilada e completou-se o volume. Foi preparada uma prova em branco.

Extração por fervura – Transferiram-se 1,0000 g da amostra para copo de 250 mL, adicionaram-se 100 mL da solução extratora, cobriu-se a mistura com vidro de relógio e ferveu-se, por 5 minutos, em chapa aquecedora. Filtrou-se em papel faixa branca, recebendo o filtrado em balão de 250 mL. O copo e o filtro foram lavados com porções de água destilada e completou-se o volume. Foi preparada uma prova em branco.

Os teores de Zn em todos os extratos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, após convenientes diluições com água destilada.

Com os resultados obtidos, calculou-se a solubilidade do zinco em cada extrator, conforme o teor total. Aplicando o teste de Tukey a 1 %, comparou-se a solubilidade do Zn contido em cada fertilizante e em cada extrator.

Quadro 1. Fontes de zinco utilizadas, suas respectivas garantias e forma física

Amostra	Descrição	Característica	Garantia	Forma física
1	Gran-o-zinc 20	Frita comercial	20 %	Granulado
2	Plantzinc F II	Frita comercial	20 %	Granulado
3	Zincogran 20	Frita comercial	20 %	Granulado
4	FMM – 100	Frita comercial	13,5 %	Pó
5	Sulfato de zinco	P.A.	22,7 %	Granulado
6	Óxido de zinco	P.A.	80,3 %	Pó
7	Zinco metálico	P.A.	100 %	Pó
8	Resíduo	Resíduo ⁽¹⁾	⁽²⁾	Pó

⁽¹⁾ Resíduo recebido para análise pelo Departamento de Ciências Exatas da ESALQ. ⁽²⁾ Por não ser fertilizante, não tem garantia.

A fim de avaliar o efeito dessas fontes para as plantas, foram realizados dois experimentos em condições de casa de vegetação, um com a cultura do arroz e outro com a do milho. Utilizou-se um Neossolo Quartzarênico órtico típico, muito pobre em Zn, com vistas em conseguir o máximo aproveitamento do elemento contido nos fertilizantes. No quadro 2, encontram-se as análises, química (Raij & Quaggio, 1983) e granulométrica (EMBRAPA, 1997), do solo. No experimento com arroz, foram testadas seis fontes: Gran-o-zinc, Plantzinco, Zincogran, Zn metálico, óxido de Zn e sulfato de Zn. No experimento com milho, as fontes Plantzinco e Zn metálico foram substituídas pelo FMM-100 e por um resíduo, totalizando também seis fontes do elemento. Cada parcela constituiu-se de vasos de 4 dm⁻³ de capacidade.

Antes do plantio, efetuou-se a aplicação de calcário dolomítico calcinado (PRNT = 110 %, PN = 119 %, CaO = 37 % e MgO = 26 %) para elevar a saturação por bases a 70 %. Após um mês, foi feita a adubação de base, adicionando-se 60 mg dm⁻³ de N, 200 mg dm⁻³ de P, 90 mg dm⁻³ de K, 90 mg dm⁻³ de Ca, 30 mg dm⁻³ de Mg, 60 mg dm⁻³ de S, 4 mg dm⁻³ de B, 4 mg dm⁻³ de Cu, 20 mg dm⁻³ de Fe, 20 mg dm⁻³ de Mn e 0,4 mg dm⁻³ de Mo, por meio de solução.

Trinta dias após a emergência, foram adicionados 60 mg dm⁻³ de N e 30 mg dm⁻³ de K como cobertura. As doses utilizadas foram 0, 1, 2 e 4 mg dm⁻³ de Zn. Todos os produtos foram adicionados no plantio da cultura, na forma de pó (passados em peneira com abertura de malha de 0,84 mm – peneira nº 20 – ABNT). Essas doses foram aplicadas de acordo com os teores totais do elemento encontrados na análise. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 4 (6 fontes e 4 doses), com três repetições. A variedade de arroz utilizada foi a IAC 162, enquanto a de milho foi um híbrido comercial Avant (Novartis).

Após a emergência, foram deixadas, respectivamente, quatro plantas de arroz e duas de milho por vaso. Diariamente, procedeu-se à irrigação, mantendo-se o solo com umidade adequada.

Ao final do período experimental (90 dias após o plantio), fez-se o corte das plantas, rente ao solo, e secou-se o material em estufa na faixa de 60 a 70 °C, obtendo-se a matéria seca da parte aérea produzida

em cada unidade experimental. Em seguida, as amostras foram moídas, submetidas à digestão nítrico-perclórica, e, nos extratos obtidos, procedeu-se à determinação do teor de Zn de acordo com Malavolta et al. (1997). Com base na massa de matéria seca produzida e no teor de Zn, calculou-se a quantidade absorvida do elemento em cada unidade experimental. Determinou-se, então, por meio da aplicação de análises de regressão, o efeito das fontes e doses de Zn na produção de matéria seca de arroz e milho, no teor e no conteúdo do elemento nas plantas.

A avaliação da disponibilidade do Zn contido nos materiais fertilizantes foi realizada aplicando-se correlações lineares entre a solubilidade do elemento, em todos os extractores, com a quantidade acumulada pelas plantas de arroz e milho. Com esses valores, pretendeu-se eleger os extractores que podem ser indicados como mais adequados para definir a disponibilidade do Zn contido em fertilizantes.

Também foi feita uma comparação entre o teor do elemento encontrado nas plantas e o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes, em relação à fonte que apresentou maior disponibilidade dos micronutrientes. Calculou-se o IEA por meio da seguinte expressão:

$$\text{IEA} = \frac{\text{Conteúdo}_{\text{fonte } x} - \text{Conteúdo}_{\text{testemunha}}}{\text{Conteúdo}_{\text{fonte } m} - \text{Conteúdo}_{\text{testemunha}}}$$

em que

$\text{Conteúdo}_{\text{fonte } x}$ = Teor de Zn nas plantas de acordo com cada fonte

$\text{Conteúdo}_{\text{fonte } m}$ = Teor de Zn da fonte que apresentou maior disponibilidade

$\text{Conteúdo}_{\text{testemunha}}$ = Teor de Zn na testemunha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Zn total e solubilizados pelos diferentes extractores, em todas as fontes, encontram-se no quadro 3. Os teores totais encontrados foram semelhantes aos garantidos, exceto para Plantzinco e FMM-100. A solubilidade em água foi a mais baixa

Quadro 2. Análise química e granulométrica do Neossolo utilizado no experimento

pH	M.O	P	S-SO ₄	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	T	V	m	Zn	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	g dm ⁻³	- mg dm ⁻³ -			mmol _c dm ⁻³						— % —	mg dm ⁻³	— g kg ⁻¹ —			
4,4	14	3	4	0,5	3	1	4	31	4,5	35,5	13	47	0,1	914	75	11

P-Resina; B - cloreto de bário a quente; Zn - DTPA.

em relação aos demais extratores testados. A solubilidade do Zn contido nas “fritas” variou de maneira semelhante de extrator para extrator, sendo AC o extrator de maior capacidade de solubilização do elemento. O sulfato, como era esperado, em decorrência de sua composição química, mostrou elevada solubilidade em todos os extratores. Interessantes também foram os valores encontrados para o óxido de Zn, isto é, solubilidade zero em água, característica do produto, porém solubilidade em AC-agitação semelhante ao teor total, e também alta solubilidade nos dois processos em que foram utilizados o CNA. Porém, a solubilidade em AC-fervura foi baixa; é importante salientar que neste método ocorreram problemas analíticos na solubilização do óxido de Zn, isto é, a fervura foi acompanhada de ebulição violenta.

A solubilidade em água foi baixa para todas as fontes, exceto para sulfato (Quadro 4). Mortvedt (1992) e Amrani et al. (1999) recomendam que uma fonte de Zn granulada deve apresentar uma solubilidade em água de 40 a 50 % do teor total. Três das quatro “fritas” utilizadas neste trabalho apresentavam-se na forma granulada. As “fritas” apresentaram solubilidade nos extratores orgânicos

menor que a do óxido e um pouco superior que a do Zn metálico. Entre as “fritas”, o FMM-100 apresentou solubilidade inferior em todos os extratores, mostrando ser uma fonte quimicamente diferente das demais. O resíduo apresentou solubilidade elevada no AC-agitação e CNA-fervura. As solubilidades em AC-agitação e CNA-fervura apresentadas pelo sulfato e óxido de Zn mostraram-se condizentes com o aproveitamento pelas plantas dessas fontes, conforme citado por Barbosa Filho et al. (1982) e Decaro et al. (1983).

Na avaliação da disponibilidade do Zn para as plantas de arroz, observou-se interação significativa entre fontes e doses do elemento (a 5 %) nas plantas de arroz. Observou-se também efeito linear, com maior disponibilidade do elemento contido nas fontes sulfato e óxido de Zn, em comparação com as “fritas” e o Zn metálico (Figura 1a).

Os produtos tipo “fritas” (Gran-o-zinc, Plantzinco e Zincogran) tiveram capacidade semelhante em fornecer o Zn para as plantas. Sabe-se que as “fritas” hoje comercializadas no Brasil não são realmente fritas, isto é, os micronutrientes não estão fundidos com silicatos, característica do produto (Alcarde &

Quadro 3. Zinco total e solúvel nos diferentes extratores

Fonte	Gran-o-zinc	Plantzinco	Zincogran	FMM-100	ZnSO ₄	ZnO	Zn Metálico	Resíduo
%								
Garantia	20,00 a	20,00 a	20,00 b	13,50 a	22,73 a	80,34 a	100,00 a	-
Teor total	19,53 a	15,87 b	21,85 a	12,72 b	22,69 a	80,28 a	99,90 a	59,13 a
Água	0,79 f	0,97 g	3,18 e	0,03 g	22,66 a	0,18 f	0,19 e	0,70 e
AC-agitação	15,00 b	12,48 c	16,88 c	7,81 c	22,55 a	80,04 a	31,61 b	47,60 b
AC-fervura	13,83 c	10,63 d	15,90 c	7,33 d	22,58 a	35,06 d	33,99 b	16,16 d
CNA-agitação	10,05 d	8,29 e	11,63 d	1,76 f	22,56 a	62,40 c	12,31 c	31,87 c
CNA-fervura	10,13 d	8,17 e	12,03 d	4,03 e	22,60 a	72,25 b	11,23 c	45,86 b
DTPA	3,70 e	4,67 f	3,82 e	1,84 f	17,75 b	5,12 e	7,03 d	5,06 e

Médias seguidas de mesmas letras, nas colunas, indicam resultados semelhantes pelo teste de Tukey a 1 %.

Quadro 4. Solubilidade de zinco nos extratores

Fonte	Água	AC-agitação	AC-fervura	CNA-agitação	CNA-fervura	% em relação ao teor total	
						DTPA	
Gran-o-zinc 20	04,03 d	76,83 b	70,85 b	51,46 c	51,90 d	18,98 c	
Plantzinco FII	06,11 c	78,69 b	67,03 b	52,26 c	51,48 d	29,47 b	
Zincogran 20	14,56 b	77,31 b	72,79 b	53,26 c	55,08 d	17,53 cd	
FMM-100	0,24 f	61,44 c	57,62 c	13,84 d	31,69 e	14,67 cde	
ZnSO ₄	99,85 a	99,38 a	99,54 a	99,44 a	99,62 a	78,22 a	
ZnO	0,22 f	99,70 a	43,67 d	77,75 b	90,00 b	6,38 e	
Zn metálico	0,19 f	31,61 c	34,03 e	12,33 d	11,23 e	7,04 e	
Resíduo	1,18 e	80,55 b	27,38 e	53,86 c	77,61 c	8,57 de	

Médias seguidas de mesmas letras, nas colunas, indicam resultados semelhantes pelo teste de Tukey a 1 %.

Vale, 1999). São somente produtos obtidos da solubilização parcial de resíduos com ácido sulfúrico, apresentando, portanto, parte dos micronutrientes na forma de sulfato, de boa disponibilidade, como demonstrado neste trabalho, e parte dos micronutrientes na forma original que se encontravam no resíduo, de disponibilidade desconhecida.

Por isso, sua garantia pelo teor total deve ser evitada, necessitando-se definir um extrator que realmente avalie o que a planta pode absorver. O comportamento do produto metálico também foi interessante: apesar da menor solubilidade em todos os extratores, apresentou igual disponibilidade às plantas, mostrando que mesmo produtos com essa forma química conseguem, no solo, solubilizar-se parcialmente, principalmente considerando estar tal produto sob forma de pó muito fino.

Para o milho, observou-se também efeito significativo das fontes e das doses no teor de Zn (Figura 1b). As plantas que receberam os produtos

sulfato, óxido e resíduo apresentaram maior acúmulo do elemento. O Zn contido nas "fritas" mostrou-se menos disponível às plantas, semelhante ao que já foi encontrado para a cultura do arroz, comprovando a necessidade de se avaliar mais corretamente a disponibilidade do Zn contido nos fertilizantes.

No quadro 5, encontram-se os coeficientes de correlação lineares entre a solubilidade nos diversos extratores de Zn contido nos fertilizantes, com o acúmulo de Zn nas plantas de arroz e milho, mostrando que os resultados foram semelhantes para as duas culturas. Como esperado, a avaliação pelo teor total não é a que indica a melhor disponibilidade para as plantas, porém é a que vem sendo usada na rotina pelos laboratórios. O extrator que mostrou maiores correlações para as duas culturas foi o citrato neutro de amônio, na relação 1:100 e com fervura por cinco minutos.

Outra característica interessante para comparar a solubilização pelos extratores e o aproveitamento

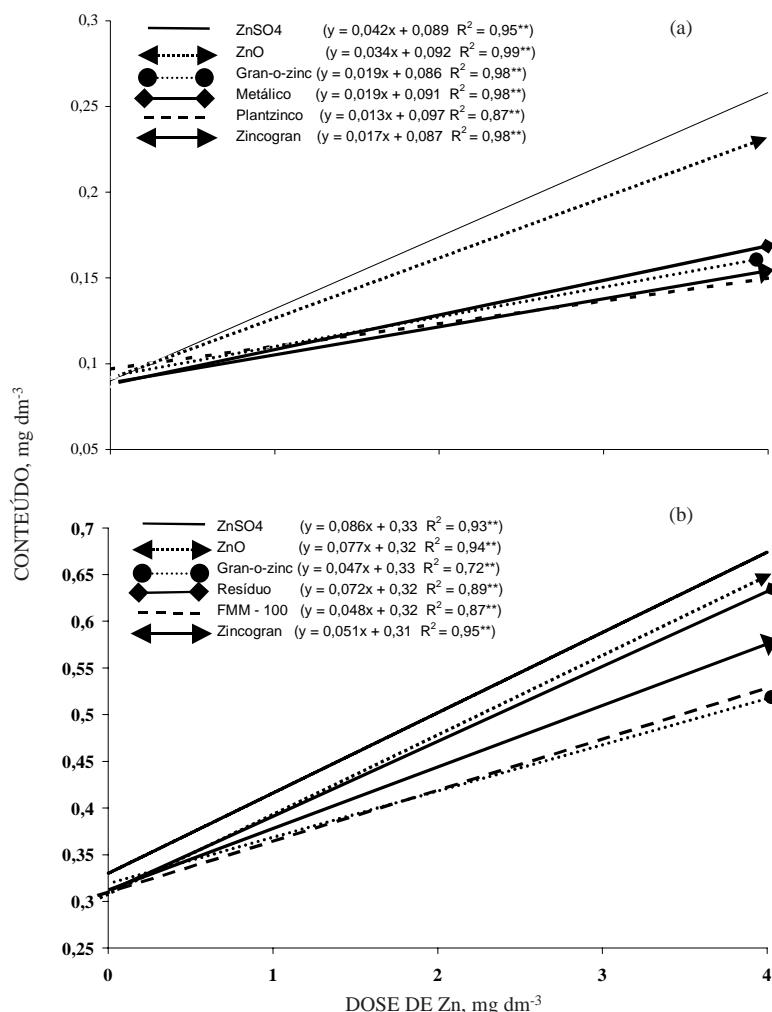


Figura 1. Efeito das fontes e doses de Zn no conteúdo do elemento em plantas de arroz (a) e de milho (b).

pelas plantas é o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes em relação ao sulfato (Quadro 6). A solubilização dos produtos estudados no citrato neutro de amônio (1 + 9), sob fervura (Quadro 4), foi bem semelhante ao que aconteceu nos cultivos: foi solubilizado todo o Zn do sulfato, em torno de 90 %, para o óxido e, em média de 50 %, para as "fritas", e 80 % do resíduo. O Zn metálico mostrou um comportamento diferenciado, mas isso significa pouco, pois ele não é utilizado nas adubações nesta forma. Também a solubilização do FMM-100 pelo citrato subestimou parte do Zn disponível para as plantas, mas em escala menor que o Zn-metálico.

Pelos resultados gerais, pode-se concluir que o citrato neutro de amônio, na relação 1:100 e sob fervura por cinco minutos, é um bom extrator para avaliar a disponibilidade do Zn nos fertilizantes. Todavia, mais estudos são necessários com outros tipos de solos, plantas, fontes de Zn, além da avaliação dos outros micronutrientes. Experimentos

em campo e testes de calibração também são requeridos para o refinamento do método. Ressalta-se, porém, que a avaliação pelo teor total parece não adequada. Neste contexto, a adoção da solução de citrato neutro de amônio, diluição (1 + 9), com fervura por cinco minutos, na relação 1:100, contribuiria, de forma significativa, para aumentar a eficiência das adubações com Zn.

CONCLUSÕES

1. O Zn presente no sulfato de Zn foi o mais disponível às plantas, seguido daquele contido no óxido de Zn, enquanto as "fritas" apresentaram menor disponibilidade. O índice de eficiência agronômica, em relação ao sulfato de Zn, foi próximo de 90 %, para o óxido de Zn, e de 50 %, para as fritas.

2. O extrator que apresentou solubilização mais próxima desses valores e, por consequência, maior coeficiente de correlação com o nutriente absorvido pela planta foi o citrato neutro de amônio (1 + 9), na relação 1:100 e com fervura por cinco minutos.

Quadro 5. Coeficientes de correlação lineares obtidos entre a solubilidade do zinco nos extratores e o acúmulo pelas plantas de arroz e milho, no primeiro cultivo

Extrator	R	
	Arroz	Milho
Teor total	0,82**	0,82**
Água	0,65**	0,56**
Ácido cítrico agitação	0,88**	0,90**
Ácido cítrico fervura	0,81**	0,71**
Citrato neutro de amônio agitação	0,92**	0,89**
Citrato neutro de amônio fervura	0,92**	0,96**
DTPA	0,73**	0,64**

** significativo a 1 %.

Quadro 6. Índice de Eficiência Agronômica para as fontes de zinco utilizadas, em relação ao sulfato de zinco, na dose 4 mg dm⁻³

Fonte	Arroz	Milho	Média	%	
				100	100
Sulfato	100	100	100		
Óxido	85	93	89		
Gran-o-zinc	43	45	44		
Plantzinco	48	-	48		
Zincogran	38	47	42		
FMM-100	-	45	45		
Metálico	49	-	49		
Resíduo	-	83	83		

LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J.C. & RODELLA, A.A. Caracterização de fertilizantes simples contendo zinco. *Sci. Agric.*, 50:121-126, 1993.
- ALCARDE, J.C. & VALE, F. Avaliação química de fertilizantes com micronutrientes comercializados no Brasil In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon - Chile, 1999. Anais. Temuco, Universidade de La Frontera, 1999. (CD-ROM)
- AMRANI, M.; WESTFALL, D.G & PETERSON, G.A. Influence of water solubility of granular zinc fertilizers on plant uptake and growth. *J. Plant Nutr.*, 22:1815-1827, 1999.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & CARVALHO, J.R.P. Fontes de zinco e modos de aplicação sobre a produção de arroz em solos de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1713-1719, 1982.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura - Legislação e Fiscalização. Brasília, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Divisão de Corretivos e Fertilizantes, 1982. 88p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Análises de corretivos, fertilizantes e inoculantes - Métodos oficiais. Brasília, Laboratório Nacional de Referência Vegetal (LANARV)/Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1983. 104p.
- CATANI, R.A. & BERGAMIN FILHO, H. Sobre uma modificação no método de Neubauer. *An. ESALQ*, 18:287-299, 1961.

- DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D. & MELO, W.J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho. R. Agric., 58:25-36, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GOOS, R.J.; JOHNSON, B.E. & THIOLLET, M. A comparasion of the availability of three zinc sources to maize (*Zea mays* L.) under greenhouse conditions. Biol. Fertil. Soils, 31:343-347, 2000.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A . Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafós, 1997. 319p.
- MORTVEDT, J.J. Crop response to level of water-soluble zinc in granular zinc fertilizers. Fert. Res., 33:249-255, 1992.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81)
- VALE, F. & ALCARDE, J.C. Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes. R. Bras. Ci. Solo, 23:441-451, 1999.