

Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês

Maria Anita Gonçalves da Silva^{1*}, Antonio Saraiva Muniz¹, Antonio Yoshinori Noda¹, Marlene Estevão Marchetti², José de Deus Viana da Mata¹ e Elaine Reis Pinheiro Lourente²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

*Autor para correspondência. E-mail: magsilva@uem.br

RESUMO. Estudos de correlação foram usados para avaliar a metodologias de extração para micronutrientes em solos do Paraná, visando à padronização dos métodos. Foram avaliados extratores ácidos (Mehlich 1), na proporção solo/extrator de 1:5 e 1:10, um extrator ácido complexante (Mehlich 3), na proporção de 1:10, e um complexante (DTPA), na proporção 1:2. O Mehlich 1 e Mehlich 3 foram extraídos: a) filtragem imediata após a agitação e b) filtragem após decantação de 16h. As correlações foram estabelecidas entre os teores no solo e em plantas de milho. Os maiores teores de Zn e Cu ocorreram com o uso do Mehlich 1 (1:10), com filtragem após decantação, e Mehlich 3 (1:10), com filtragem imediata e filtragem após decantação. Nos estudos de correlação entre os extratores, a metodologia-padrão dos laboratórios do Paraná, a qual usa o Mehlich 1, com filtragem após decantação, obteve boa correlação, na determinação do Zn, com o Mehlich 1 (1:10) e (1:5), com filtragem imediata ou após decantação de 16h; na determinação do Mn e Fe, a metodologia-padrão apresentou melhor correlação com o DTPA e com o Mehlich 3, com filtragem imediata ou após decantação. Para a determinação do Cu houve equivalência entre todas as metodologias de extração.

Palavras-chave: micronutrientes, disponibilidade, solos paranaenses.

ABSTRACT. Methodologies and extractor efficiency for zinc, copper, iron and manganese. Correlation studies were used to evaluate the extraction methodologies for micronutrients in soils of Paraná State, Brazil, aiming at the standardization of methods. The following were evaluated: Acid extractors (Mehlich 1), in a soil-to-extractor ratio of 1:5 and 1:10; an extractor composed of acid and complexing components (Mehlich 3), used in a 1:10 ratio; and a complexing extractor (DTPA), in 1:2. The Mehlich 1 and Mehlich 3 had two extraction forms: a) immediate filtration or after agitation; and b) filtration after decantation of 16 hours. Correlations were established between the micronutrients in the soil and in corn plants. It was concluded that the higher content of Zn and Cu occurred with the use of Mehlich 1 (1:10), with filtration after decantation and with Mehlich 3 (1:10), with immediate filtration and filtration after decantation.. In the correlation studies, it was verified that the standard methodology of the laboratories in Paraná State, which uses Mehlich 1, with filtration after decantation, obtained good correlation in the determination of Zn, with Mehlich 1 (1:10) and (1:5), with immediate filtration or after decantation; in the determination of Mn and Fe, the methodology pattern presented better correlation with DTPA and with Mehlich 3, with immediate filtration or after decantation. For the determination of Cu, all extraction methodologies were equivalent.

Key words: micronutrients, availability, Paraná State soils.

Introdução

Produtividades elevadas das culturas, associadas à maior remoção de nutrientes do solo e ao uso de fertilizantes concentrados, podem resultar em desequilíbrio e deficiência nutricional. Esses motivos justificam a diminuição da concentração dos micronutrientes, principalmente em função da não-reposição pela adubação, da falta de matéria orgânica, da calagem e adubação fosfatada superficial, em plantio direto. A disponibilidade dos micronutrientes depende

da sua dinâmica no solo, que está relacionada à sua mineralogia, textura e conteúdo de matéria orgânica.

O teor de Zn acompanha a distribuição da matéria orgânica nos solos, sendo mais alto superficialmente. Da mesma forma, a argila e a matéria orgânica são os principais componentes envolvidos na retenção do Cu no solo. O nutriente forma complexos estáveis com ácidos húmicos e fúlvicos, por ligação ao oxigênio nos grupamentos carboxílicos e fenólicos (FERREIRA; CRUZ, 1991; ABREU et al., 2001)

O suprimento adequado de Fe e Mn às plantas depende das condições de pH e do potencial redox. Em solos altamente intemperizados, e com pH corrigido, ambos possuem baixa disponibilidade, pois por oxidação transformam-se em óxidos hidratados bastante estáveis no solo, entre eles a goetita para o ferro e a pirolusita para o manganês (DECHEN; NACHTIGALL, 2006), minerais componentes da fração argila.

Deficiência e excesso de micronutrientes são observados nas análises de solo e de tecido vegetal. No Brasil, porém, ainda há poucos estudos que contribuem para uma definição e padronização de metodologias de extração e determinação dos micronutrientes. Igualmente, a falta de estudos sobre correlação e calibração dificulta o estabelecimento de limites de classes de teores para a interpretação dos resultados. A opção por determinado extrator muitas vezes ocorre pela facilidade de uso no laboratório e não pela sua eficiência analítica.

O programa de controle de qualidade das análises de solo do Estado do Paraná (CELA) inclui a análise de micronutrientes e concomitantemente avalia o desempenho dos laboratórios, em função do uso de uma metodologia-padrão entre eles. A metodologia-padrão para o Fe, Mn, Cu e Zn utiliza como extrator o Mehlich 1, e a determinação dos teores ocorre após decantação da amostra por 16h. No entanto, como o comportamento e a dinâmica dos micronutrientes no solo é diferente para cada elemento e para cada solo, pode-se ter também uma especificidade nas metodologias de determinação, para cada nutriente. Por isso,

objetivou-se: a) verificar a eficiência da metodologia-padrão, quando comparada a outras metodologias utilizadas para a avaliação dos micronutrientes no solo; b) quantificar os teores dos micronutrientes do solo, extraídos pelos extratores ácidos (Mehlich 1), complexantes (DTPA) e ácido-complexantes (Mehlich 3), em função de cada metodologia.

Material e métodos

As amostras de solo foram coletadas na profundidade da camada arável (0-20 cm), em 18 locais do Estado do Paraná, abrangendo regiões e características distintas (Tabela 1). Os solos de textura mais argilosa (teor de argila entre 470 a 660 g kg⁻¹) são Nitossolo Vermelho eutroférico (NVef), Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf), Chernossolo Argilúvico férrico (MTf), Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), Vertissolo Hidromórfico órtico (Vgo) e foram coletados nas localidades de Ibiporã, Iguatemi, Maringá e Campo Mourão. Os solos de textura média ou areno-argilosos (teor de argila entre 140 a 470 g kg⁻¹) são Argissolo Vermelho distrófico (PVd), Gleysolo háplico (GXbd), Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e foram coletados em Iguatemi, Maringá e Ponta Grossa. Os solos foram classificados de acordo com Embrapa (1999) e as análises químicas seguiram metodologia da Embrapa (1997). Os solos foram corrigidos e a saturação de bases esteve entre 63 a 79%; o pH (CaCl₂) variou de 4,9 a 6,4 e a matéria orgânica variou desde 11,5 até 40,5 g dm⁻³.

Tabela 1. Características químicas e físicas a 20 cm de profundidade e localização dos solos submetidos à análise de micronutrientes, no Estado do Paraná.

Tipo de solo	Localização	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	CTC cmol. dm ⁻³	V %	Argila g kg ⁻¹
1. Nitossolo Vermelho eutroférico (NVef)	Ibiporã	5,9	36,5	26,9	77	580
2. Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf)	Iguatemi	5,5	27,0	13,5	66	390
3. Nitossolo Vermelho eutroférico (NVdf)	Maringá	5,3	32,4	18,8	76	580
4. Chernossolo Argilúvico (Mtf)	Ibiporã	5,7	40,5	35,2	88	500
5. Chernossolo Argilúvico (Mtf)	Maringá	6,2	35,1	18,9	80	480
6. Argissolo Vermelho distrófico (PVd)	Iguatemi	5,9	11,1	4,6	40	140
7. Argissolo Vermelho distrófico (PVd)*	Iguatemi	5,5	12,4	6,0	52	140
8. Gleysolo háplico (GXbd)	Maringá	5,7	39,1	26,5	64	430
9. Vertissolo hidromórfico (Vgo)	Maringá	5,6	35,6	28,2	86	520
10. Latossolo Vermelho distrófico (LVd)*	Iguatemi	5,7	30,3	8,2	74	430
11. Latossolo Vermelho distrófico (LVd)	Maringá	5,2	15,9	11,4	83	470
12. Latossolo Vermelho distrófico (LVd)*	Mauá da Serra	5,9	30,7	15,8	78	450
13. Latossolo Vermelho distrófico (LVd)*	Ponta Grossa	4,9	40,0	13,2	52	580
14. Latossolo Vermelho distrófico (LVd)*	Maringá	5,1	18,6	8,5	64	470
15. Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	Ibiporã	4,8	31,0	16,5	69	650
16. Latossolo Vermelho distroférico (LVdf)*	C. Mourão	5,2	40,2	11,5	78	650
17. Latossolo Vermelho distroférico (LVdf)	Maringá	5,4	24,1	10,9	74	660
18. Latossolo Vermelho distroférico (LVdf)*	Maringá	5,0	24,7	9,1	70	610

Embrapa (1997; 1999). *Solos com acidez corrigida.

A cultura do milho foi utilizada como um parâmetro dos teores de micronutrientes no solo, pelos testes de correlação. A cultura foi adubada na semeadura com NPK, de acordo com Raji et al. (1996), assim como a adubação nitrogenada em cobertura (40 kg ha⁻¹ de uréia), aos 25 dias. Os adubos foram colocados em vasos contendo 5 kg de cada solo amostrado. As doses (kg ha⁻¹) de N e S na semeadura foram de 20 e 24 kg ha⁻¹, utilizando como fonte o sulfato de amônio. A cobertura nitrogenada (uréia) foi realizada na dose de 40 kg ha⁻¹; o P foi aplicado como super fosfato triplo nas doses entre 30 a 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e o K, como KCl, foi aplicado em doses entre 20 a 50 kg ha⁻¹, de acordo com a análise de solo.

O milho Exceler (Novartis), com três plantas por vaso de 4 L, desenvolveu-se até 45 dias, quando foi cortado para a análise dos teores de Zn, Cu, Fe e Mn. A análise química dos nutrientes foi realizada na planta inteira, após digestão nitroperclórica, seguindo metodologia de MALAVOLTA et al. (1997). As leituras foram feitas por espectroscopia de absorção atômica.

Os tratamentos consistiram de extratores ácidos (Mehlich 1), nas proporções 1:10 e 1:5, e ácido complexante (Mehlich 3), na proporção 1:10, e um extrator complexante (DTPA), avaliados nas seguintes metodologias de extração, como especificado abaixo:

a) com filtragem imediata;

b) com filtragem após 16h de decantação (metodologia usada pelos laboratórios de análises do Paraná e avaliadas pelo Controle Estadual de Laboratórios - CELA).

1. Mehlich 1 (1:10): 5 cm³ de solo e 50 mL de extrator; com 5 min. de agitação a 180 rpm e filtragem imediata;
2. Mehlich 1 (1:10) 5 cm³ de solo e 50 mL de extrator; com 10 min. de agitação a 220 rpm e filtragem após decantação por 16 h;
3. Mehlich 1 (1:5): 10 cm³ de solo e 50 mL de extrator, com 5 min. de agitação a 180 rpm e filtragem imediata;
4. Mehlich 1 (1:5): 10 cm³ de solo e 50 mL de extrator, com 10 min. de agitação a 220 rpm e filtragem após decantação por 16 h;
5. Mehlich 3 (1:10): 5 cm³ de solo e 50 mL do extrator, com 5 min. de agitação a 180 rpm e filtragem imediata;
6. Mehlich 3 (1:10): 5 cm³ de solo e 50 mL do extrator, com 10 min. de agitação a 200 rpm e

filtragem após decantação de 16 h;

7. DTPA TEA pH 7,3 (1:2): 20 cm³ de solo e 40 mL da solução extratora, com agitação por 2h a 220 rpm e filtragem imediata.

A solução Mehlich 1 foi constituída por HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹; o Mehlich 3 constitui-se de CH₃COOH 0,2 mMol L⁻¹; NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹; NH₄F 0,015 mol L⁻¹; HNO₃ 0,013 mol L⁻¹; EDTA 0,01 mol L⁻¹ e a solução de DTPA 0,005 mol L⁻¹, trietanolamina (TEA), CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ a pH 7,3.

Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com 18 tratamentos (solos), e foram avaliados os extratores e as metodologias de extração e quatro repetições, totalizando 72 parcelas. A análise de variância dos resultados foi realizada por meio do programa estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2000).

Resultados e discussão

Correlações entre as metodologias de extração

Em função dos resultados de teores dos nutrientes no solo e na planta, pode-se relatar que a metodologia de extração de Zn, adotada pelos laboratórios do Paraná, a qual utiliza o Mehlich 1 (1:10), com filtragem após decantação de 16h (metodologia-padrão), apresentou alta correlação, quando comparada ao mesmo extrator, quando a filtragem foi imediata, ou quando comparada ao Mehlich 1 na proporção 1:5, com e sem filtragem imediata (Tabela 2). No entanto, as correlações foram mais baixas quando a metodologia-padrão foi comparada ao DTPA e ao Mehlich 3 (Tabela 2), diferentemente do encontrado na extração de Zn por Ortiz et al. (2007), os quais estabeleceram uma correlação de 0,93% entre o DTPA e Mehlich 1, com decantação por 16h. Segundo Gonçalves Júnior et al. (2006), em comparação com o DTPA, o Mehlich 1 apresentou melhor correlação entre as quantidades extraídas de solo argiloso do Paraná, com 600 g kg⁻¹ de argila, e o conteúdo foliar de zinco absorvido pelo milho.

Para o Cu, pode-se dizer que as metodologias de extração equivaleram-se, e o menor coeficiente de correlação ocorreu quando foi usado o DTPA (Tabela 3).

Os resultados corroboram com outros trabalhos realizados em solos de diferentes texturas (BATAGLIA; RAIJ, 1989; KREIJ et al., 1993; ABREU et al., 1996; NASCIMENTO et al., 2003). Ortiz et al. (2007) encontraram uma correlação de 0,75% entre o Cu extraído pelo DTPA e Mehlich 1, com filtragem após decantação, em solos do Paraná.

Tabela 2. Correlações entre os extratores de Zn, em solos submetidos às metodologias de extração com filtragem imediata (a) e filtragem após decantação (b), em solos areno-argilosos (140 a 470 g kg⁻¹ de argila) e em solos argilosos (> 470 g kg⁻¹ de argila).

Metodologias de extração	Mehlich 1 (1:10 a)	Mehlich 1 (1:10 b)	Mehlich 1 (1:5 a)	Mehlich 1 (1:5 b)	Mehlich 3 (1:10 a)	Mehlich 3 (1:10 b)	DTPA (1:2)
Mehlich 1 (1:10 a)	-	0,95	0,93	0,92	0,83	0,79	0,82
Mehlich 1 (1:10 b)	0,95	-	0,96	0,94	0,75	0,72	0,75
Mehlich 1 (1:5 a)	0,93	0,96	-	0,95	0,75	0,73	0,73
Mehlich 1 (1:5 b)	0,92	0,94	0,95	-	0,83	0,83	0,79
Mehlich 3 (1:10 a)	0,83	0,75	0,75	0,83	-	0,99	0,95
Mehlich 3 (1:10 b)	0,79	0,72	0,73	0,83	0,99	-	0,92
DTPA (1:2)	0,82	0,75	0,73	0,79	0,95	0,92	-

¹Mehlich (1978); ²Nelson et al. (1953); ³Lindsay e Norvell (1978); ⁴Mehlich (1984).

Tabela 3. Correlações entre os extratores de Cu, em solos submetidos às metodologias de extração com filtragem imediata (a) e filtragem após decantação (b), em solos areno-argilosos (140 a 470 g kg⁻¹ de argila) e em solos argilosos (> 470 g kg⁻¹ de argila).

Metodologias de extração	Mehlich 1 (1:10 a)	Mehlich 1 (1:10 b)	Mehlich 1 (1:5 a)	Mehlich 1 (1:5 b)	Mehlich 3 (1:10 a)	Mehlich 3 (1:10 b)	DTPA (1:2)
Mehlich 1 (1:10 a)	-	0,92	0,94	0,88	0,95	0,95	0,78
Mehlich 1 (1:10 b)	0,92	-	0,98	0,95	0,96	0,98	0,77
Mehlich 1 (1:5 a)	0,94	0,98	-	0,98	0,94	0,97	0,75
Mehlich 1 (1:5 b)	0,88	0,95	0,98	-	0,89	0,93	0,71
Mehlich 3 (1:10 a)	0,95	0,96	0,94	0,89	-	0,99	0,86
Mehlich 3 (1:10 b)	0,95	0,98	0,97	0,93	0,99	-	0,82
DTPA (1:2)	0,78	0,77	0,75	0,71	0,86	0,82	-

¹Mehlich (1978); ²Nelson et al. (1953); ³Lindsay e Norvell (1978); ⁴Mehlich (1984).

As correlações entre os teores no solo e na planta foram mais altas para o Fe (Tabela 4) do que para o Mn (Tabela 5). Considerando a metodologia-padrão de análise de micronutrientes nos solos utilizada no Estado do Paraná (Mehlich 1 1:10, com filtragem após decantação de 16h), observou-se tanto para o Fe quanto para o Mn alto coeficiente de correlação com o uso do Mehlich 1 (1:10), com filtragem imediata, assim como foi obtida alta correlação com o DTPA e com o Mehlich 3, com filtragem imediata ou filtragem após decantação. Abreu et al. (2004) encontraram maior correlação na extração do Mn, quando usaram o DTPA e a resina, em milho com 54 dias de idade. As correlações entre o Mehlich 1 e

o Mehlich 3 foram semelhantes. Ortiz et al. (2007) encontraram uma correlação de 0,88% entre o Mn extraído pelo DTPA e Mehlich 1, com filtragem após decantação, em solos do Paraná.

Os resultados divergem daqueles realizados em outros solos e condições climáticas, como os de Rodrigues et al. (2001) e Bataglia e Rajj (1989), os quais caracterizam o DTPA como mais indicado para a extração de Fe e Mn, em relação ao Mehlich 1. Oliveira e Nascimento (2006) estabeleceram o Mehlich 1 e DTPA, como os extratores que apresentaram as melhores correlações com as formas biodisponíveis de Fe e Mn, em solos do Estado de Pernambuco.

Tabela 4. Correlações entre os extratores de Fe, em solos submetidos às metodologias de extração com filtragem imediata (a) e filtragem após decantação (b), em solos areno-argilosos (140 a 470 g kg⁻¹ de argila) e em solos argilosos (> 470 g kg⁻¹ de argila).

Metodologias de extração	Mehlich1 (1:10) a	Mehlich1 (1:10) b	Mehlich1 (1:5) a	Mehlich1 (1:5) b	Mehlich3 (1:10) a	Mehlich3 (1:10) b	DTPA (1:2)
Mehlich1 (1:10) a	-	0,88	0,85	0,69	0,91	0,83	0,87
Mehlich1 (1:10) b	0,88	-	0,69	0,72	0,87	0,80	0,82
Mehlich1 (1:5) a	0,85	0,69	-	0,90	0,69	0,63	0,72
Mehlich1 (1:5) b	0,69	0,72	0,90	-	0,57	0,53	0,61
Mehlich3 (1:10) a	0,91	0,87	0,69	0,57	-	0,96	0,87
Mehlich3 (1:10) b	0,83	0,80	0,63	0,53	0,96	-	0,82
DTPA (1:2)	0,87	0,82	0,72	0,61	0,87	0,82	-

¹Mehlich (1978); ²Nelson et al. (1953); ³Lindsay e Norvell (1978); ⁴Mehlich (1984).

Tabela 5. Correlações entre os extratores de Mn, em solos submetidos às metodologias de extração com filtragem imediata (a) e filtragem após decantação (b), em solos areno-argilosos (140 a 470 g kg⁻¹ de argila) e em solos argilosos (> 470 g kg⁻¹ de argila).

Metodologias de extração	Mehlich1 (1:10) a	Mehlich1 (1:10) b	Mehlich1 (1:5) a	Mehlich1 (1:5) b	Mehlich3 (1:10) a	Mehlich3 (1:10) b	DTPA (1:2)
Mehlich1 (1:10) a	-	0,36	0,93	0,52	0,39	0,31	0,56
Mehlich1 (1:10) b	0,36	-	0,37	0,89	0,89	0,88	0,71
Mehlich1 (1:5) a	0,93	0,37	-	0,61	0,47	0,40	0,59
Mehlich1 (1:5) b	0,52	0,89	0,61	-	0,94	0,92	0,68
Mehlich3 (1:10) a	0,39	0,89	0,47	0,94	-	0,98	0,71
Mehlich3 (1:10) b	0,31	0,88	0,40	0,92	0,98	-	0,68
DTPA (1:2)	0,56	0,71	0,59	0,68	0,71	0,68	-

¹Mehlich (1978); ²Nelson et al. (1953); ³Lindsay e Norvell (1978); ⁴Mehlich (1984).

Teor de Zn nos solos

De forma geral, o Zn foi mais extraído pelo Mehlich 1, com filtragem imediata, comparativamente ao DTPA (Figura 1). O maior teor de Zn extraído pelo Mehlich 1, em relação ao DTPA, foi confirmado por Abreu e Rajj (1996), Galrão (1995), Borges e Coutinho (2004), Araújo e Nascimento (2005) e Ortiz et al. (2007), neste caso em Latossolos de textura franco-arenosa do Estado do Paraná. Da mesma forma, Cunha et al. (2008) referem-se aos mais altos teores de Zn extraídos pelo Mehlich 1 e Mehlich 3, comparativamente ao DTPA, em solos com e sem correção da acidez pela calagem. Foi atribuída a maior capacidade de extrair o Zn pelas soluções ácidas à solubilização de formas de Zn que o DTPA, por apresentar reação alcalina, não solubiliza (ABREU; RAIJ, 1996).

Os teores mais altos de Zn ($7,64 \text{ mg kg}^{-1}$) obtidos ocorreram no Nitossolo Vermelho distroférrico (NVdf), quando a filtragem ocorreu após 16h, tendo como extratores o Mehlich 1 ($9,39 \text{ mg kg}^{-1}$) e o Mehlich 3 ($7,64 \text{ mg kg}^{-1}$), como apresentado na Figura 1. Por outro lado, quando a filtragem foi imediata, os resultados de concentração de Zn foram semelhantes para os dois extratores, concordando,

neste caso, com o exposto por Galrão (1996) que encontrou semelhança entre o nível crítico de Zn, em Latossolo Vermelho distrófico, para os extratores Mehlich 1 (1:10) e Mehlich 3 (1:10), com filtragem e 5 min. de agitação.

Teor de Cu nos solos

Os mais altos teores de Cu ocorreram no Nitossolo Vermelho distroférrico (NVdf), usando os extratores Mehlich 1, com filtragem após decantação de 16h ($33,86 \text{ mg dm}^{-3}$) e o Mehlich 3, com decantação de 16h ($28,85 \text{ mg dm}^{-3}$). Os menores teores foram relativos à extração com DTPA e Mehlich 1, com filtragem imediata (Figura 2).

Independentemente da metodologia, os teores de Cu foram mais altos que os citados por Milagres et al. (2007), em solos de Minas Gerais e da Bahia. Por outro lado, o DTPA extraiu mais Cu em solos de textura média e mais argilosa, comparativamente ao Mehlich 1 e Mehlich 3, segundo Borges e Coutinho (2004), com ou sem a aplicação de calcário. Sims (1989) estudaram 400 amostras de solos de Delaware e revelaram que o Mehlich 3 extraiu 50% mais Cu que o Mehlich 1.

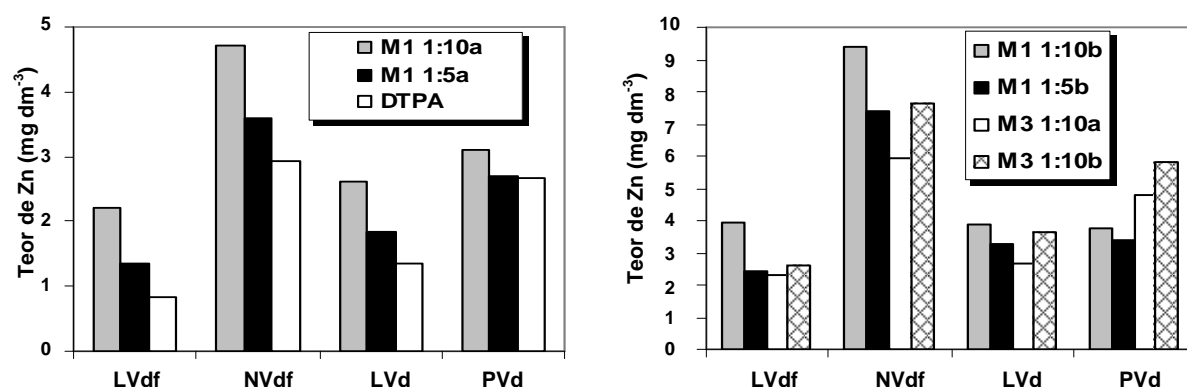


Figura 1. Teores de Zn, em função dos extratores, nos solos Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), Nitossolo Vermelho distroférrico (NVdf), Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Argissolo Vermelho distrófico (PVd).

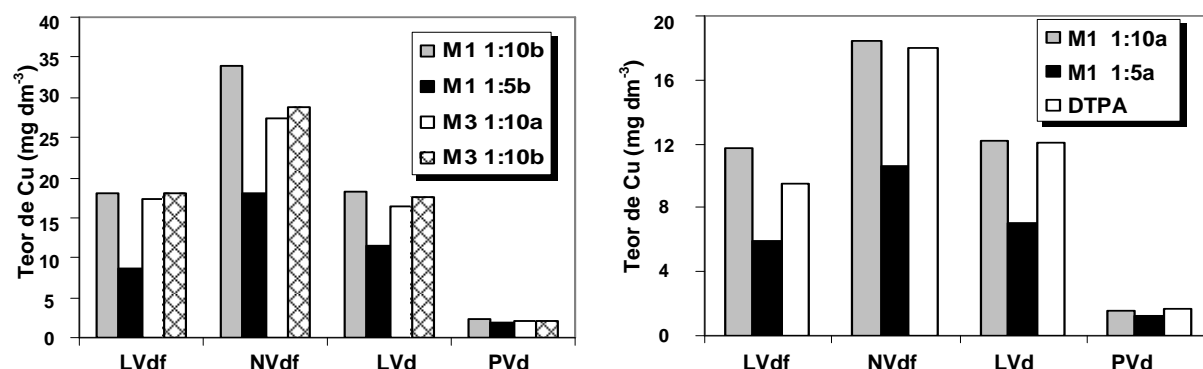


Figura 2. Teores de Cu, em função dos extratores, nos solos Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), Nitossolo Vermelho distroférrico (NVdf), Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Argissolo Vermelho distrófico (PVd).

Teor de Mn nos solos

O solo Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf) apresentou os teores mais altos de Mn, para todos os extratores estudados, principalmente nas metodologias com filtragem após decantação, em que o extrator permaneceu maior tempo com o solo. Quando o extrator foi o Mehlich 3, com e sem decantação, os teores estiveram próximos a 400 mg dm⁻³. Em seguida o Mehlich 1, com decantação, extraiu 356 mg dm⁻³.

Os resultados corroboram os de Rodrigues et al. (2001), em solos da Amazônia cultivados sucessivamente três anos com arroz, onde o Mehlich 3 foi o que mais retirou Mn dos solos estudados.

O Mn foi mais extraído pelo Mehlich 1 (1:10) e Mehlich 1 (1:5) e menos extraído pelo DTPA, todos com filtragem imediata do extrato (Figura 3), de forma semelhante ao encontrado por Milagres et al. (2007). Pigozzo et al. (2008) utilizaram o DTPA para a extração do Mn em Latossolos de textura média, com 130 g kg⁻¹ de argila, no Estado do Paraná e encontraram teores próximos a 20 mg dm⁻³. Borges e Coutinho (2004) concluíram ser o DTPA o extrator com o melhor comportamento para avaliar a disponibilidade deste elemento, embora tenha extraído menos Mn que o

Mehlich 1. Por outro lado, Rosolem et al. (1992) observaram, em Latossolo Vermelho distroférico, maior eficiência de extração do Mn pelo DTPA, comparativamente ao Mehlich 1, na cultura da soja.

Teor de Ferro nos solos

Os teores de Fe extraídos pelo Mehlich 1 (1:10) e pelo DTPA foram semelhantes e mais altos, comparativamente à extração pelo Mehlich 1 (1:5), ambos com filtragem imediata (Figura 4). Porém, foram mais baixos que o Fe reportado por Milagres et al. (2007), os quais avaliaram os micronutrientes em solos de Minas Gerais e Bahia, utilizando o Mehlich 1 e DTPA.

Segundo Bataglia e Rajj (1989), que avaliaram micronutrientes em 26 solos paulistas, o DTPA retirou mais Fe e Cu, enquanto os extratores ácidos retiraram mais Mn. Pigozzo et al. (2008) utilizaram o DTPA para a extração do Fe em Latossolos de textura média, com 130 g kg⁻¹ de argila, no Estado do Paraná e encontraram teores próximos a 35 mg dm⁻³. De acordo com Coscione et al. (2009) os extratores complexantes apresentaram-se eficientes para extrair formas de micronutrientes total e solúvel, entre eles Fe, Zn e Cu em solos contaminados com resíduos orgânicos e inorgânicos.

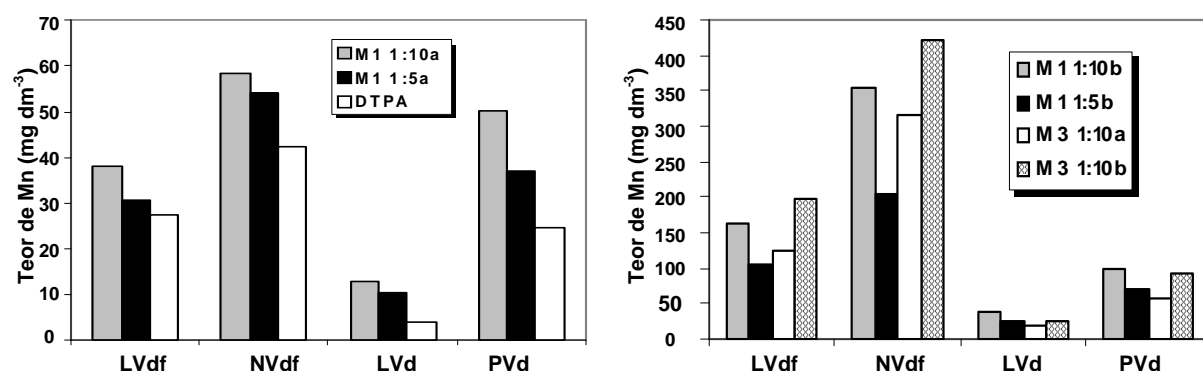


Figura 3. Teores de Mn, em função dos extratores, nos solos Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf), Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Argissolo Vermelho distrófico (PVd).

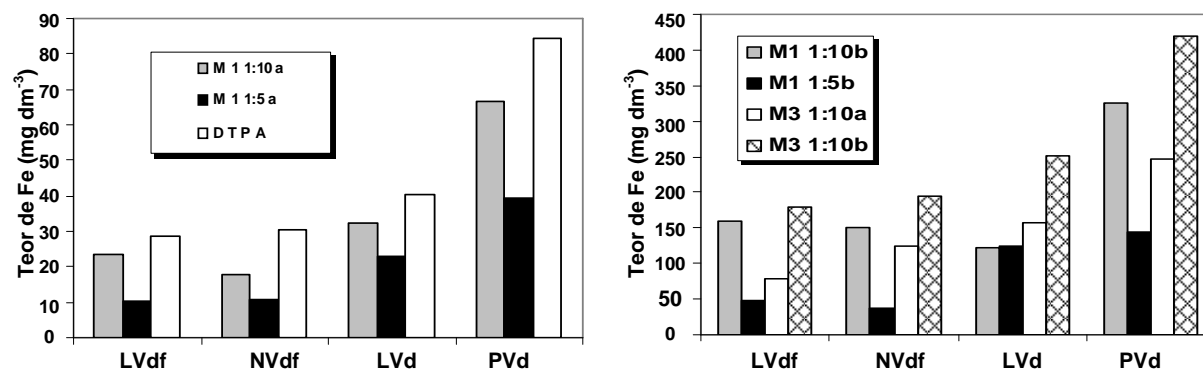


Figura 4. Teores de Fe, em função dos extratores e das metodologias de extração, com filtragem imediata (a) e com filtragem após decantação de 16h (b), em Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf), Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Argissolo Vermelho distrófico (PVd).

Por outro lado, o Mehlich 3 (1:10), nas duas metodologias de extração, e o Mehlich 1 (1:10), com decantação, apresentaram os mais altos teores do nutriente. O Argissolo Vermelho distrófico (PVd) apresentou as maiores concentrações de Fe, em todas as metodologias; os teores estiveram entre 39,3 a 419,2 mg dm⁻³, os mais altos referentes ao Mehlich 3, com decantação. Os resultados concordam com os de Rodrigues et al. (2001), em que o Mehlich 3 foi o que mais retirou Fe da camada superficial, após três cultivos sucessivos com arroz na Amazônia.

Teor dos micronutrientes no milho após 40 dias de cultivo

O milho absorveu mais Mn e Fe, seguidos do Zn e do Cu (Tabela 6), principalmente nos solos de textura mais arenosa (LVd e PVd), possivelmente em função da mineralogia e do potencial redox, os quais contribuíram para que esses nutrientes estivessem mais livres em solução, facilitando a extração. Os teores médios de micronutrientes estão inseridos nas faixas adequadas, segundo Malavolta et al. (1997) e Epstein e Bloom (2005), cujos teores nas folhas de milho (mg kg⁻¹), na época do florescimento, devem estar entre: Cu (6-20); Fe (50-250); Mn (50-150); Zn (15-50).

Tabela 6. Teor de micronutrientes (mg kg⁻¹) no milho, após 40 dias de cultivo. Médias das classes de solos analisadas.

Solos	Zinco			Cobre		
	-----mg kg ⁻¹ -----					
	mínimo	máximo	médio	mínimo	máximo	médio
LVd	10,40	39,40	25,90	1,80	6,70	4,79
PVd	14,00	40,50	27,93	1,00	3,20	2,09
LVdf	10,60	42,30	19,17	1,60	6,90	4,86
NVdf	18,30	32,60	25,05	2,30	9,60	4,33
Solos	Ferro			Manganês		
	mg kg ⁻¹					
	mínimo	máximo	médio	mínimo	máximo	médio
LVd	47,80	94,00	60,37	19,90	177,60	73,17
PVd	45,20	91,40	57,67	162,90	409,80	252,50
LVdf	32,80	60,60	48,67	41,30	80,50	59,56
NVdf	25,60	73,00	39,78	47,70	153,1	100,35

Os teores de Cu, Zn e Mn no milho, em Latossolo Vermelho distrófico (LVd), após 45 dias de cultivo, foram semelhantes aos teores encontrados por Fageria (2002) e Martins et al. (2003), os quais avaliaram folhas de milho, coletadas no florescimento, durante quatro anos consecutivos. Por outro lado, o Fe foi mais baixo que os referidos por Pauletti et al. (2000) e Martins et al. (2003), porém semelhante aos descritos por Pigozzo et al. (2000). Neste caso, os autores avaliaram os micronutrientes absorvidos pelo milho, após 40 dias do cultivo, em solos do Estado do Paraná, com e sem a aplicação de resíduos agroindustriais.

Conclusão

A metodologia-padrão para análise de micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn no Estado do Paraná, em que se usa (Mehlich 1 (1:10), com filtragem após 16h de decantação), apresenta boa correlação com as metodologias nas quais o extrator é o DTPA, assim como quando o extrator é o Mehlich 1 (1:10 ou 1:5) ou o Mehlich 3, ambos com filtragem imediata ou filtragem após 16h.

Os teores mais altos de Zn, Cu, Fe e Mn ocorreram com o uso do Mehlich 1 (1:10), com filtragem após 16h, e com o Mehlich 3 (1:10), com filtragem imediata e filtragem após 16h de decantação.

Referências

- ABREU, C. A.; RAIJ, B. Van. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich 1. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 357-363, 1996.
- ABREU, C. A.; RAIJ, B. Van; ABREU, M. F.; SANTOS, W. R.; ANDRADE, J. C. Efficiency of multinutrient extractants for the determination of available copper in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 27, n. 3-4, p. 763-771, 1996.
- ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. Van; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafós, 2001.
- ABREU, C. A.; RAIJ, B. Van; ABREU, M. F.; PAZ GONZALEZ, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca aniônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 579-584, 2004.
- ARAÚJO, J. C. T.; NASCIMENTO, C. W. A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 977-95, 2005.
- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B., Van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 2, p. 205-212, 1989.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após a aplicação de biossólido: II. Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 557-568, 2004.
- COSCIONE, A. R.; ABREU, C. A.; SANTOS, G. C. G. Chelating agents to solubilize heavy metals from Oxisols contaminated by the addition of organic and inorganic residues. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 1, p. 64-70, 2009.
- CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; PIMENTEL, R. M. M.; ACCIOLY, A. M. A.; SILVA, A. J. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 1319-1328, 2008.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 327-354.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005.
- FAGERIA, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1765-1772, 2002.
- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. S. P. Cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafós/CNPQ, 1991.
- GALRÃO, E. Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 2, p. 255-260, 1995.
- GALRÃO, E. Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 283-289, 1996.
- GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; PRESTES A. L.; TRAUTMANN, R. R.; SANTOS, A. L.; ANDREOTTI, M. Avaliação de extratores e fitodisponibilidade de zinco para a cultura do milho em Latossolo Vermelho eutroférico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 7-12, 2006.
- KREIJ, C.; MARTIGNON, G.; ELDEREN, C. W. Van. Comparison of water, DTPA and nitric acid as extractants to assess the availability of copper in peat substrates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 3, p. 227-236, 1993.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of American Journal**, v. 42, n. 3, p. 421-427, 1978.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 563-574, 2003.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9, n. 2, p. 477-492, 1978.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, n. 12, p. 1409-1416, 1984.
- MILAGRES, J. J. M.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Determinação de Fe, Zn, Cu e Mn, extraídos do solo por diferentes extratores e dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido e espectrofotometria de absorção atômica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 237-245, 2007.
- NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.; MELICIO, A. C. F. D. Copper availability as related to soil copper fractions in Oxisols under liming. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 167-173, 2003.
- NELSON, W. L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W. H.; NORMAN, A. G. (Ed.). **Soil and fertilizer phosphorus**. New York: Academic Press, 1953. p. 153-188.
- OLIVEIRA, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 99-110, 2006.
- ORTIZ, F. R.; BRITO, O. R.; BORKERT, C. M. Extratores para a quantificação de zinco, cobre e manganês em solo arenoso. **Ciência Agrária**, v. 8, n. 1, p. 95-98, 2007.
- PAULETTI, V.; PREVEDELLO, B. M. S.; PISSAIA, A.; SCOPEL, A. Evaluation of nutrients status and grain yield of two corn cultivars under different soil aluminum levels after liming. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, n. 3, p. 275-279, 2000.
- PIGOZZO, A. T. J.; GOBBI, M. A.; LENZI, E.; LUCHEZE, E. B. Effects of application of sewage sludge and petrochemical residue in maize culture as source of micronutrients on soil of Parana State. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, n. 2, p. 143-149, 2000.
- PIGOZZO, A. T. J.; LENZI, E.; LUCA JÚNIOR, J.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; COSTA, A. C. S. Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 569-579, 2008.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. (Boletim técnico, 100).
- RODRIGUES, M. R. L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 143-149, 2001.
- ROSOLEM, C. A.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G.; PEREIRA, H. F. M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 277-285, 1992.

SAS INSTITUTE. **System for information**: versão 8.0. Cary, 2000.

SIMS, J. T. Comparisons of Mehlich I and Mehlich III extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in atlantic coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 20, n. 13-14, p. 1707-1726, 1989.

Received October 10, 2007.

Accepted on January 23, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.