

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997; (impresso): 1981-1160

v.5, n.3, p.328-335, jul.-set., 2010

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI: 10.5039/agraria.v5i3a639

Protocolo 639 - 12/07/2009 *Aprovado em 16/05/2010

Tácio Oliveira da Silva^{1,3}

Rômulo Simões Cezar Menezes^{2,4}

Disponibilidade de micronutrientes catiônicos em solo arenoso após adubação orgânica

RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar soluções extratoras (Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA pH 7,3) para cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), disponíveis em um Neossolo Regolítico adubado por seis anos com esterco e/ou crotalária. Os tratamentos de adubação orgânica aplicados no plantio da batata foram: 1) esterco caprino (15 Mg ha⁻¹); 2) cultivo e incorporação da *Crotalaria juncea* L.; 3) combinação de metade da dose de esterco (7,5 Mg ha⁻¹) com o cultivo e incorporação da *Crotalaria juncea* L.; e 4) testemunha (sem adubação). Os ensaios de adubação orgânica foram realizados no período de 1996 a 2003, com exceção de 1998 e 1999, devido à escassez de chuvas. Em 2003, foram analisadas amostras de solo coletadas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade. Os maiores teores dos elementos Zn, Cu, Mn e Fe foram detectados para as soluções extratoras Mehlich-1 e Mehlich-3. No geral, a concentração média desses elementos decresceu em profundidade, exceto para o Fe, nos extratores Mehlich-1 e DTPA-TEA. Observou-se correlação positiva entre as soluções Mehlich-1 e Mehlich-3 para todos os elementos, exceto para o Fe. Os teores disponíveis dos micronutrientes quantificados no Neossolo Regolítico, após um longo período de adubação orgânica, foram enquadrados nos níveis de médio a alto.

Palavras-chave: Adubo orgânico, extratores, região semiárida, *Solanum tuberosum*

Cationic micronutrients availability in a sandy soil after organic fertilization

ABSTRACT

The objective of this study was to compare extracting solutions (Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA-TEA pH 7.3) for zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn) and iron (Fe), available in an Entisol fertilized for six years with crotalaria and/or goat manure. The organic fertilization treatments applied in the potato crop were: 1) goat manure (15 Mg ha⁻¹); 2) green manure with *Crotalaria juncea* L.; 3) Combination of half of the dose of goat manure (7.5 Mg ha⁻¹) with green manure with *Crotalaria juncea* L. and 4) witness (without fertilization). The experiments were conducted from 1996 to 2003, with the exception of 1998 and 1999 due to drought. In 2003 soil samples were collected and analyzed at layers 0-0.20 and 0.20-0.40 m in depth. The greatest concentrations of the elements Zn, Cu, Mn and Fe were detected for the extracting solutions Mehlich-1 and Mehlich-3. In general, the average concentration of these elements decreased in depth, except for the Fe, with extractors Mehlich-1 and DTPA-TEA. Positive correlations between the solutions Mehlich-1 and Mehlich-3 were observed for all the studied elements, except Fe. The available micronutrients concentration quantified in the Entisol, after a long term organic fertilization, fit in the medium to high levels.

Key words: Organic manure, extractors, semiarid region, *Solanum tuberosum*

¹ Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Engenharia Agrônoma, Avenida Marechal Rondon, s/n, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Jardim Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil. Fone: (79) 2105-6929, Fax: (79) 2105-6939, E-mail: taccios@hotmail.com.

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Energia Nuclear (DEN), Av. Prof. Luis Freire, 1000, Cidade Universitária, CEP 50540-740, Recife-PE, Brasil. Fone: (81) 2126-8252 Ramal 353. Fax: (81) 2126-8250. E-mail: rmenezes@ufpe.br.

³ Bolsista de Extensão no País do CNPq.

⁴ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

INTRODUÇÃO

À semelhança do que vem ocorrendo em algumas áreas agrícolas do Brasil, no semi-árido do Nordeste brasileiro, a correção dos níveis de micronutrientes do solo não tem sido priorizada pelos agricultores. Isso é resultado, em parte, de uma agricultura itinerante e praticada por pequenos agricultores, com predomínio de culturas anuais e de subsistência, mantidas nas mesmas áreas e, em geral, praticamente sem adubação. Da mesma forma, é desconhecido o potencial desses solos agricultáveis no fornecimento de micronutrientes às espécies vegetais.

Considerando a baixa fertilidade de alguns solos do semi-árido, Menezes & Sampaio (2000) relataram a possibilidade de resposta econômica à aplicação de micronutrientes nesses solos. No entanto, quase nenhum estudo foi efetuado, aliado à pouca importância dada pelos agricultores da microrregião do Agreste paraibano, onde a utilização de micronutrientes na agricultura tem sido historicamente deixada de lado.

Outra limitação encontrada por Lopes & Abreu (2000), além das já citadas, foi de que apesar da toxidez por alguns elementos como o B e Mo, deficiências de Fe, Zn e Mn, devido ao pH elevado, poderiam também ser problemas na região semi-árida do Brasil. Fageria & Baligar (2001) confirmaram que em condições de alcalinidade do solo, as formas iônicas dos nutrientes catiônicos formam óxidos e hidróxidos insolúveis, induzindo a deficiência desses elementos nas culturas. Este fato é totalmente desconhecido na região semi-árida do Nordeste brasileiro, onde se utiliza esterco de animais como fertilizantes orgânicos, sem o monitoramento do pH dos solos, ressaltando que alguns deles já possuem naturalmente valores de pH próximos a neutralidade, comprometendo a disponibilidade desses micronutrientes às plantas.

Boa parte dos solos da região semi-árida apresenta baixa fertilidade, principalmente com baixos teores de matéria orgânica (Tiessen et al., 1994; Stewart & Robinson, 1997; Nascimento et al., 2003). A diminuição da fertilidade desses solos está relacionada, entre outros fatores, com a retirada de nutrientes pelas culturas, a erosão, a lixiviação e a queima contínua ou o consumo dos restos culturais (Sampaio & Salcedo, 1997; Menezes & Sampaio, 2000; Nascimento et al., 2005). Como exemplo, pode ser citado o manejo adotado para o Neossolo Regolítico, solo expressivo na microrregião do Agreste paraibano, bastante utilizado no cultivo de mandioca, feijão e milho, como culturas de subsistência, e com a batata (*Solanum tuberosum* L.) como cultura comercial (Menezes et al., 2002).

Nessa microrregião, com predominância de solos arenosos, os solos são intensamente utilizados na agricultura recebendo, anualmente, grandes quantidades de matéria orgânica. Como não são adicionados por meios da aplicação de fertilizantes minerais, os micronutrientes são fornecidos ao solo por meio da matéria orgânica que, possivelmente, os disponibiliza pela mineralização, já que a manutenção de teores disponíveis adequados desses micronutrientes no solo

é de fundamental importância para a obtenção de uma produção agrícola sustentável.

No Brasil, os métodos de extração para os micronutrientes que empregam a solução de DTPA e de Mehlich-1 são os mais adotados pelos laboratórios, apesar de não existir entre esses uma definição clara a respeito do melhor extrator (Abreu et al., 1996).

À semelhança do restante do Brasil, a falta de estudos revela que, para o estado da Paraíba, não existe ainda um método que possa ser utilizado como padrão para avaliar a disponibilidade de micronutrientes no solo. O extrator Mehlich-1 provavelmente é o mais utilizado nas análises de rotina por comodidade operacional, por sua eficiência agrônômica, como também, por suas boas correlações com os micronutrientes absorvidos pelas plantas.

A recomendação dos micronutrientes não pode ser feita indiscriminadamente, para evitar, além de gastos desnecessários, possíveis efeitos fitotóxicos pelo excesso de aplicação. Por isso, o conhecimento da disponibilidade no solo, com ênfase para as culturas anuais, é essencial para uma recomendação adequada e garantia de altas produtividades (Bataglia & Raij, 1989; Oliveira & Nascimento, 2006).

O objetivo deste trabalho foi comparar soluções extratoras (Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA pH 7,3) para cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), disponíveis em um Neossolo Regolítico adubado por seis anos com esterco e/ou, crotalária.

MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo localiza-se no Centro Agroecológico de São Miguel, município de Esperança, Agreste da Paraíba, geograficamente a 7° 1' 59" de latitude Sul e 35° 51' 26" de longitude Oeste, a uma altitude de 635 m. O clima da região caracteriza-se por apresentar uma pluviosidade média anual de 800 mm, com regime de chuvas unimodal, estação úmida de março a agosto e estação seca de setembro a fevereiro (Sabourin et al., 2000). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Regolítico (Tabela 1), com textura areia franca (83, 11 e 6 dag kg⁻¹ das frações areia, silte e argila, respectivamente) e declividade em torno de 0,05 mm⁻¹.

O estudo foi realizado em parcelas experimentais com área de 60 m² (6 m x 10 m), durante a estação úmida (fevereiro a agosto). O solo da área experimental que recebeu aplicação e incorporação anual de esterco e/ou *Crotalaria juncea* L. e cultivado com a batata (*Solanum tuberosum* L.) em leirão no período de 1996 a 2003 (exceto em 1998 e 1999, por insuficiência de chuva). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos experimentais aplicados para o cultivo da batata foram: plantio e incorporação da crotalária na época de floração (C); adição de 15 Mg ha⁻¹ de esterco caprino (E); plantio e incorporação de crotalária + 7,5 Mg ha⁻¹ de esterco caprino (CE); e testemunha, sem esterco ou crotalária (T). Estes tratamentos foram repetidos anualmente nas mesmas parcelas ao longo de todo o período de estudo, para a avaliação de seus efeitos acumulados.

Maiores detalhes sobre o histórico do manejo do solo, a produtividade da batata e a dinâmica dos nutrientes do solo ao longo do período de 6 anos em que foi conduzido o estudo, estão descritos em Silva et al. (2007) e Silva & Menezes (2007).

Ao final do sexto ano de aplicação dos adubos orgânicos e cultivo da batata, na época da colheita, foram coletadas as amostras do solo nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, em três pontos em cada parcela experimental, os quais posteriormente constituíram em uma amostra composta.

As amostras foram secas ao ar, tamisadas em peneiras de 2 mm de abertura, homogêneas e destinadas para as análises químicas. Os teores disponíveis dos elementos Zn, Cu, Mn e Fe foram extraídos com solução extratora Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$), na relação solo:solução 1:5, com 5 minutos de agitação (Mehlich, 1978), modificado por Embrapa (1997), Mehlich-3 ($\text{CH}_3\text{COOH } 0,2 \text{ mol L}^{-1}$; $\text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ } 0,25 \text{ mol L}^{-1}$; $\text{NH}_4\text{F } 0,015 \text{ mol L}^{-1}$; $\text{HNO}_3 \text{ } 0,013 \text{ mol L}^{-1}$ e EDTA (ácido etileno

diamino tetraacético $0,001 \text{ mol L}^{-1}$, pH 2,5)) na relação solo:solução 1:10, com 5 minutos de agitação (Mehlich, 1984) e DTPA-TEA (ácido dietileno triamino pentaacético-trietanolamina) tamponado a pH 7,3, na relação solo:solução de 1:2, com duas horas de agitação (Lindsay & Norvell, 1978) e analisados por espectrofotometria de absorção atômica (Abreu et al., 2001).

Os teores de Zn, Cu, Mn e Fe no solo, determinados pelos diferentes extratores, foram analisados estatisticamente através da análise de variância, pelo teste F e as médias comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Também foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson para determinar as correlações entre os teores disponíveis dos micronutrientes quantificados no solo pelas soluções extratoras, comparando os valores dos coeficientes de correlação (r^2) para determinar a eficiência dos extratores estudados usando o software para análise estatística SAEG 9.0 da Universidade Federal de Viçosa.

Tabela 1. Atributos químicos do Neossolo Regolítico (0-0,20 e 0,20-0,40 m), após seis anos de adubação com esterco e/ou *Crotalaria juncea* L. 2003

Table 1. Chemical attributes of the Entisol (0-0.20 and 0.20-0.40 m), after six years of fertilization with manure and/or *Crotalaria juncea* L. 2003

Variável	Tratamentos ¹							
	T				C			
	CE	E	C	T	CE	E	C	
	(0,0 - 0,20 m)				(0,20 - 0,40 m)			
pH (H ₂ O)	6,9	6,9	7,5	6,4	6,4	7,1	7,5	5,9
P (mg dm ⁻³) ²	10,9	37,0	46,2	11,5	9,4	22,8	30,4	7,5
K (cmol _c dm ⁻³) ²	0,31	0,94	0,95	0,38	0,23	0,51	0,58	0,21
Ca (cmol _c dm ⁻³) ³	1,4	1,8	2,3	1,5	1,4	1,9	2,2	1,5
Mg (cmol _c dm ⁻³) ³	0,50	1,0	1,2	0,59	0,54	0,99	1,0	0,57
Al (cmol _c dm ⁻³) ³	0,05	0,05	0,00	0,10	0,06	0,06	0,06	0,06
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,22	3,80	4,61	2,56	2,21	3,48	3,81	2,32
CO (g kg ⁻¹) ⁴	4,5	6,5	7,3	5,3	4,5	5,5	5,4	4,3

¹ T: testemunha; CE: plantio e incorporação anual da crotalaria + 7,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco; E: 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco; C: plantio e incorporação anual da crotalaria

² Extrator Mehlich-1 (Embrapa, 1997)

³ KCl 1 mol L⁻¹ (Embrapa, 1997)

⁴ CO = carbono orgânico total (Snyder & Trofymow, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados demonstraram que os teores dos micronutrientes nas camadas do Neossolo Regolítico foram influenciados pela extração com as diferentes soluções extratoras (Tabelas 2 e 3). Foram observadas diferenças nas concentrações médias de micronutrientes entre os tratamentos para os diversos extratores. Na camada de 0,0-0,20 m, independentemente do tratamento avaliado, as maiores concentrações foram observadas quando se utilizou o extrator Mehlich-3, exceto para o Mn, enquanto as menores concentrações foram verificadas para o extrator DTPA-TEA (Tabelas 2 e 3). Comportamento semelhante foi observado em outros estudos (Camargo et al., 1982; Bataglia & Raij, 1989; Mantovani et al., 2004), em que possivelmente os extratores ácidos Mehlich-1 e Mehlich-3 foram suficientemente energéticos para superar

o efeito da alcalinidade do solo, acidificando o solo durante o período de agitação, com maior solubilização dos micronutrientes (Ritchey et al., 1986). Os adubos orgânicos, possivelmente, provocaram o aumento do pH do solo, o que levou à redução das quantidades dos elementos extraídos pelo DTPA-TEA.

As maiores concentrações de Zn e Cu foram obtidas nos tratamentos com a presença de esterco (E e CE) e com a utilização dos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3. À semelhança do presente estudo, quanto à ação dos extratores, Nascimento et al. (2006) verificaram teores maiores de Zn e Cu em um Neossolo Regolítico do estado do Pernambuco, quando foi utilizada como solução extratora o Mehlich-1. Anteriormente, Camargo et al. (1982) verificaram para um Regossolo (Neossolo Regolítico), maiores teores desses elementos quantificados pelo extrator Mehlich-1. Em concordância, particularmente com

Tabela 2. Concentração de micronutrientes em um Neossolo Regolítico (0,0-0,20 m), após seis anos de adubação orgânica com esterco e/ou crotalária

Table 2. Micronutrients concentrations in an Entisol (0.0-0.20 m), after six years of organic fertilization with manure and/or *Crotalaria juncea*.L.

Tratamentos ¹	Zn	Cu	Mn	Fe
	(mg dm ⁻³)			
Mehlich - 1				
T	2,38 c ²	1,26 b	24,42 b	97,54 a
CE	3,99 b	1,39 b	27,43 b	129,78 a
E	5,26 a	2,96 a	43,60 a	115,64 a
C	2,50 c	2,35 a	26,55 b	98,77 a
Média	3,53	1,99	30,50	110,43
CV (%)	6,73	20,95	4,79	21,17
Mehlich - 3				
T	3,38 c	2,86 b	10,67 c	208,76 a
CE	4,27 b	2,40 b	22,55 a	96,50 b
E	5,65 a	3,92 a	24,64 a	138,73 b
C	3,33 c	2,54 b	16,95 b	238,25 a
Média	4,16	2,93	18,70	170,56
CV (%)	8,48	12,02	9,86	18,34
DTPA-TEA				
T	1,65 b	1,27 b	8,05 b	31,04 a
CE	1,93 a	0,95 b	6,97 b	26,07 a
E	1,96 a	1,66 a	8,48 b	15,12 b
C	1,72 ab	1,70 a	12,80 a	13,40 b
Média	1,82	1,39	9,07	21,40
CV (%) ³	6,43	11,07	8,08	16,92

¹ T: testemunha; CE: plantio e incorporação da crotalária + 7,5 Mg ha⁻¹ de esterco; E: 15 Mg ha⁻¹ de esterco; C: plantio e incorporação da crotalária

² Médias na mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

³ CV: coeficiente de variação

os teores de Zn, Oliveira et al. (1999), para solos de textura arenosa e sem aplicação de adubos, observaram maiores teores desses elementos para os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3.

Para o extrator DTPA-TEA, os maiores teores de zinco foram obtidos nos tratamentos E, CE e C, que apresentaram os maiores teores de carbono orgânico. Abreu & Raij (1996) também observaram que a solução DTPA-TEA extrai preferencialmente o micronutriente ligado à matéria orgânica. No geral, esse extrator extraiu os menores teores de Zn dentre os extratores avaliados, em concordância com os resultados encontrados por outros autores (Camargo et al., 1982; Ritchey et al., 1986; Bataglia & Raij, 1989; Pereira et al., 2001; Nascimento et al., 2002; Oliveira et al., 2002). Resultado semelhante foi observado para o Mn nesses extratores (Mehlich-1 e 3), pois quando se utilizou o DTPA-TEA como solução extratora, foi obtida maior concentração de Mn para o tratamento (C), que diferiu dos demais tratamentos avaliados. A concentração média do Mn foi maior quando se utilizou a solução extratora Mehlich-1. Esse resultado está em

concordância com o obtido em outros estudos (Rodrigues et al., 2001; Mantovani et al., 2004).

A concentração do Fe seguiu uma tendência diferente dos demais micronutrientes quanto aos efeitos dos tratamentos e a utilização de diferentes extratores. Os teores maiores foram encontrados nos tratamentos T e C (Mehlich-3) e nos T e CE (DTPA-TEA). Na camada superficial (0,0-0,20 m), os maiores teores de Fe foram obtidos com a utilização da solução Mehlich-3 e Mehlich-1 (Tabela 2). Essa maior capacidade do Mehlich-3 de extrair Fe é, possivelmente, consequência da sua maior acidez e presença do EDTA (Silva et al. 1999; Rodrigues et al., 2001). Fato semelhante foi observado na camada de 0,0-0,20 m de um Argissolo Amarelo textura areia franca do estado de Pernambuco, sem aplicação de adubos orgânicos, em que Araújo & Nascimento (2005) encontraram teor de Zn, Cu, Fe e Mn, correspondentes a 3,5, 0,6, 19,1 e 5,2 mg dm⁻³, respectivamente, determinados pelo extrator DTPA-TEA. Em média, os teores desses elementos no tratamento T, quando se utilizou o mesmo extrator, foram superiores aos encontrados por esses autores, exceto para o elemento Zn. Outro fator que pode ter interferido nos teores dos micronutrientes, como do Zn foi o alto valor do pH do solo, corroborando com as tendências encontradas em outros estudos (Ritchey et al., 1986; Nascimento et al., 2002; André et al., 2003).

Recentemente, para um Latossolo Amarelo Distrófico sem e com aplicação de 10 Mg ha⁻¹ de esterco bovino e cultivado com figueira, Caetano & Carvalho (2006) não verificaram efeito significativo para os teores de micronutrientes extraídos por Mehlich-1, após aplicação do esterco ao solo. A falta de resposta pode ser decorrente de alguns componentes da matéria orgânica do solo, que formam complexos solúveis com os íons metálicos, enquanto outros formam complexos insolúveis (Cantarella et al., 1992).

As faixas de concentração dos micronutrientes no solo descritas por Furtini Neto et al. (2001) foram utilizadas como referência, verificando-se que no presente estudo todos os micronutrientes quantificados apresentaram valores considerados de bom a muito bom. Seguindo algumas classes de interpretação de níveis de micronutrientes no solo, utilizando as soluções DTPA-TEA e Mehlich-1, em uso no Brasil e utilizadas por Pereira et al. (2001), verificou-se que os teores de micronutrientes avaliados no presente estudo na camada superficial (0-0,20 m) são considerados altos.

Em termos de valores absolutos, os extratores comportaram-se de forma diferente em relação à capacidade de extrair os micronutrientes do solo. Na camada de 0,20-0,40 m, para o extrator Mehlich-1, os teores de Zn, Cu, Mn apresentaram comportamento semelhante com exceção do Fe (Tabela 3). Esses elementos apresentaram em termos absolutos teores maiores no solo quando se aplicou somente esterco na época do plantio (E), porém, apenas o Zn, Cu e o Mn nesse tratamento para o Mehlich-1 apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento T, sem aplicação de adubos orgânicos.

Nessa camada do solo, quando se utilizou como extrator o Mehlich-3, observou-se comportamento semelhante ao Mehlich-1, com os teores maiores obtidos também, quando

Tabela 3. Concentração de micronutrientes em um Neossolo Regolítico (0,20-0,40 m), após seis anos de adubação orgânica com esterco e/ou crotalária

Table 3. Micronutrients concentrations in an Entisol (0.20-0.40 m) after six years of fertilization with organic manure and/or Crotalaria juncea

Tratamentos ¹	Zn	Cu	Mn	Fe
	(mg dm ⁻³)			
Mehlich - 1				
T	2,14 c ²	0,99 b	15,79 c	135,34 a
CE	2,80 b	1,71 ab	20,41 c	147,05 a
E	3,44 a	2,62 a	34,01 a	146,94 a
C	1,98 c	1,88 ab	26,73 b	172,12 a
Média	2,59	1,80	24,23	150,36
CV (%)	3,20	30,28	9,47	12,72
Mehlich - 3				
T	3,23 b	1,56 b	8,16 b	236,45 a
CE	4,16 a	2,56 b	13,25 b	63,63 c
E	4,28 a	3,92 a	19,99 a	185,99 ab
C	3,20 b	2,32 b	12,84 b	113,85 bc
Média	3,72	2,59	13,56	149,98
CV (%)	2,56	22,25	17,05	26,93
DTPA-TEA				
T	1,20 ab	0,87 c	6,17 c	39,64 a
CE	1,13 b	0,76 c	6,40 c	33,16 b
E	1,38 a	1,60 a	7,30 b	20,14 c
C	1,24 ab	1,38 b	9,96 a	19,38 c
Média	1,24	1,15	7,45	28,08
CV (%) ³	7,62	5,78	3,89	10,24

¹T: testemunha; CE: plantio e incorporação da crotalária + 7,5 Mg ha⁻¹ de esterco; E: 15 Mg ha⁻¹ de esterco; C: plantio e incorporação da crotalária

²Médias na mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

³CV: coeficiente de variação

se aplicou apenas o esterco (E). Essa tendência evidencia que a aplicação do esterco na época do plantio constitui uma fonte adequada desses elementos ao solo (Cantarella et al., 1992), com potencial de suprir as camadas superficiais e subsuperficiais. Tal fato pode ser atribuído aos teores de carbono, visto que a matéria orgânica é um dos principais reservatórios desses micronutrientes no solo (Cantarella et al., 1992; Tan, 1993; Stevenson, 1994; Canellas et al., 1999; Furtini Neto et al., 2001; Moreira & Siqueira, 2002; Teixeira et al., 2003; Dechen et al., 2006).

Ainda, para os extratores, observou-se para a solução DTPA-TEA, que os elementos Zn e Cu apresentaram teores maiores, quando se aplicou apenas o esterco (E), no entanto, para o Cu verificou-se efeito significativo desse tratamento (E) em relação aos demais. Na região Nordeste, efeito positivo após seis anos de aplicação do esterco nas concentrações de micronutrientes no solo foi verificado por Alencar et al. (2004), em um Neossolo Quartzarênico, no Ceará. O tratamento constituído pelo plantio e a incorporação da crotalária (C) favoreceram um maior teor de Mn, quando se utilizou como solução extratora de micronutrientes, o DTPA-TEA, o qual diferiu dos demais tratamentos avaliados.

Fato divergente foi observado para o elemento Fe nesse extrator (DTPA-TEA), pois o maior teor foi alcançado quando não foram aplicados adubos orgânicos, e sim a testemunha (T) (Tabela 3), comportamento verificado também na camada superficial (Tabela 2). Possivelmente, o elemento Fe, assim como o Mn são os que aparecem em maiores quantidades nos solos (Fadigas et al., 2002) e a disponibilidade desses elementos depende muito mais das condições de pH, pois a atividade do Fe em solução decresce com o aumento do pH (Borket et al., 2001). Camargo et al. (1982), também relataram que, em pH superior a 6,6, houve aumento do teor de Fe e Mn extraídos pelas soluções ácidas.

De maneira geral, foi observado em média que o extrator Mehlich-1 extraiu teores maiores de Mn e Fe, enquanto o Mehlich-3 extraiu maiores teores de Zn e Cu no Neossolo Regolítico na profundidade de 0,20-0,40 m.

Nessa camada, corroborando o observado para a camada superficial, os maiores teores de micronutrientes disponíveis determinados com os extratores Mehlich 1 e 3 podem ser explicados pela solubilização desses elementos decorrente da alta acidez desses extratores. O Mehlich-3, além de constituir uma solução ácida, ainda possui na sua composição o EDTA que complexa os micronutrientes, melhorando a capacidade de extração dessa solução (Rodrigues et al., 2001; Oliveira et al., 2002). Como ressaltado anteriormente, a solução do DTPA extrai, preferencialmente, os micronutrientes ligados à matéria orgânica (Abreu & Raij, 1996), apesar de os teores de carbono serem menores na camada subsuperficial. Então, possivelmente, o maior efeito foi decorrente da capacidade da solução extratora na quantificação dos elementos do solo.

Os teores dos diferentes elementos extraídos pelas distintas soluções extradoras, com exceção do Fe, reduziram em profundidade. No caso do Zn e Mn, esse comportamento está em concordância com o observado no estudo de Castro et al. (1992).

Na camada subsuperficial (0,20-0,40 m), considerando as classes de interpretação descritas por Furtini Neto et al. (2001) e Pereira et al. (2001) para os micronutrientes, pode-se afirmar que para os extratores Mehlich-1 e 3, os teores dos elementos foram considerados altos, enquanto que na solução extratora DTPA-TEA, ficaram entre os níveis médio a alto.

As menores correlações para os extratores e as formas disponíveis dos micronutrientes no Neossolo Regolítico foram obtidas para Zn e o Cu entre o Mehlich-3 e o DTPA (Tabela 4). Entretanto, Oliveira et al (1999) encontraram correlação não significativa entre esses extratores para o Zn. A correlação para o teor de Zn entre os extratores Mehlich-1 e DTPA ($r^2 = 0,71^{**}$) foi menor que a encontrada por Ritchey et al. (1986) que correspondeu a $r^2 = 0,95^{**}$. Para o Mn, as melhores correlações foram para o Mehlich-1 e o Mehlich-3, corroborando, especificamente para o Mehlich-1, os resultados encontrados por Oliveira & Nascimento (2006) com solos da região Nordeste do Brasil. Para o Fe, ocorreu uma correlação negativa ($r^2 = -0,41$) entre o Mehlich-1 e o Mehlich-3. Possivelmente, esta correlação negativa para o elemento Fe ocorreu devido ao poder complexante da matéria orgânica, como verificado no estudo de Teixeira et al. (2003).

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Pearson para os teores de zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) extraídos do Neossolo Regolítico pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA

Table 4. Pearson's correlation coefficient for the levels of zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn) and iron (Fe) from the Entisol by extractors Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA-TEA

Extrator	Zn		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA-TEA
Mehlich-1	1,0**		
Mehlich-3	0,93**	1,0**	
DTPA-TEA	0,71**	0,60**	1,0**
	Cu		
Mehlich-1	1,0**		
Mehlich-3	0,64**	1,0**	
DTPA-TEA	0,66**	0,63**	1,0**
	Mn		
Mehlich-1	1,0**		
Mehlich-3	0,78**	1,0**	
DTPA-TEA	ns	ns	1,0**
	Fe		
Mehlich-1	1,0**		
Mehlich-3	-0,41**	1,0**	
DTPA-TEA	ns	ns	1,0**

ns Não significativo, ** Significativo a 1% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Os maiores teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram detectados para as soluções extratoras, Mehlich-1 e Mehlich-3 em relação ao DTPA-TEA.

Os teores disponíveis dos micronutrientes quantificados no Neossolo Regolítico foram considerados médios a altos, com possibilidade de suprir as plantas a curto e médio prazo.

Há a necessidade de estudos para se determinar as faixas adequadas de cobre, ferro, manganês e zinco nos solos da microrregião do Agreste da Paraíba. O uso de níveis desenvolvidos para outras regiões, de características climáticas e edáficas distintas, pode causar problemas na diagnose da fertilidade dos solos da região quanto a esses elementos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES e Inter American Institute for Global Change Research (IAI – CRN001) pelo apoio financeiro para a realização do presente trabalho.

LITERATURA CITADA

- Abreu, C. A.; Raij, B. V. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1. *Bragantia*, Campinas, v.55, n.2, p. 357-363, 1996.
- Abreu, C. A. Raij, B. V.; Tanaka, R. T. Fontes de manganês para soja e seus efeitos na análise do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, n.1, p. 91-97, 1996.
- Abreu, C. A.; Ferreira, M. E.; Borkert, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: Ferreira, M. E. et al. *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 125-150.
- Alencar, G. V.; Mendonça, E. S.; Oliveira, T. S.; Jucksch, I. Avaliação de sistemas de produção olerícolas orgânicas e convencionais no município de Guaraciaba do Norte-CE. In: Mendonça, E. S.; Xavier, F. A. S.; Libardi, P. L.; Assis Jr., R. N.; Oliveira, T. S. (Coord.). *Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino*. Fortaleza, CE: Departamento de Ciência do Solo, UFC, 2004. p. 76-104.
- André, E. M.; Cruz, M. C. P.; Ferreira, M. E.; Palma, L. A. S. Frações de zinco em solo arenoso e suas relações com disponibilidade para *Cynodon spp* cv. Tifton-85. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p. 451-459, 2003.
- Araújo, J. C. T.; Nascimento, C. W. A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.4, p.635-644, 2005.
- Bataglia, O. C.; Raij, B. V. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, n.2, p.205-212, 1989.
- Borkert, C. M.; Pavan, M. A.; Bataglia, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: Ferreira, M. E.; Cruz, M.C.P.; van Raij, B.; Abreu, C.A. (Eds.). *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 151-186.
- Caetano, L. C. S.; Carvalho, A. J. C. Efeito da adubação com boro e esterco bovino sobre a produtividade da figueira e as propriedades químicas do solo. *Ciência Rural*, v.36, n.4, p.1150-1155, 2006.
- Camargo, O. A.; Valadares, J. M. A .S.; Dechen, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6, n.1, p.83-88, 1982.
- Canellas, L. P.; Santos, G. A.; Amaral Sobrinho, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: Santos, G. A.; Camargo, F. A. O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-89.
- Cantarella, H.; Abreu, C. A.; Berton, R. S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica. In: Guerrini, I. A.; Bull, L. T. (Eds). *Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1992. p. 63-122.

- Castro, O. M.; Camargo, O. A.; Cantarella, H.; Vieira, S. R.; Dechen, S. C. F. Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois latossolos sob plantio direto e convencional. *Bragantia*, v.51, n.1, p. 77- 84, 1992.
- Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. Micronutrientes. In: Fernandes, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p.327-354.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Fadigas, F. S.; Amaral-Sobrinho, N. M. B.; Mazur, N.; Anjos, L. H. C.; Freixo, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Bragantia*, v.61, n.2, 151-159, 2002.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.32, n.7-8, p.1303-1319, 2001.
- Furtini Neto, A. E.; Vale, F. R.; Resende, A. V.; Guilherme, L. R. G.; Guedes, G. A. A. Fertilidade do solo. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.
- Lindsay, W. L.; Norvell, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society America Journal*, v.42, p.421-428, 1978.
- Lopes, A. S.; Abreu, C. A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.1, Viçosa: SBCS, 2000. p. 265-298.
- Mantovani, J. R.; Cruz, M. C. P.; Ferreira, M. E.; Alves, W. L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.4, p.371-378, abr. 2004.
- 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 Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.15, n.12, p. 1409-1416, 1984.
- Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: Oliveira, T.S.; Assis Jr., R. N.; Romero, R. E.; Silva, J. R. C. (Eds). *Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido*. Fortaleza:UFC, Viçosa:SBCS, 2000. p. 20-46.
- Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B.; Silveira, L. M.; Tiessen, H.; Salcedo, I. H. Produção de batatinha com incorporação de esterco e/ou crotalária no Agreste paraibano. In: Silveira, L. M.; Petersen, P.; Sabourin, E. (Orgs). *Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: avanços a partir do agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002, p. 261-270.
- Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2002. 626p.
- Nascimento, C. W. A.; Fontes, R. L. F.; Neves, J. C. L.; Melício, A. C. F. D. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.599-606, 2002.
- Nascimento, J. T.; Silva, I. F.; Santiago, R. D.; Silva Neto, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.457-462, 2003.
- Nascimento, J. T.; Silva, I. F.; Santiago, R. D.; Silva Neto, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.5, p.825-831, 2005.
- Nascimento, C. W. A.; Oliveira, A. B.; Ribeiro, M. R.; Melo, E. E. C. Distribution and availability of zinc and copper in Benchmark soils of Pernambuco State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.37, n.1-2, p.109-125, 2006.
- Oliveira, M. F. G.; Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Vasconcellos, C. A.; Alves, V. M. C. Relação entre o zinco “disponível”, por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n.4, p.827-836, 1999.
- Oliveira, F. C.; Mattiazzo, M. E.; Marciano, C. R.; Abreu Jr., C. H. Fitodisponibilidade e teores de metais pesados ee um Latossolo Amarelo distrófico e em plantas de cana-de-açúcar adubadas com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.737-746, 2002.
- Oliveira, A. B.; Nascimento, C. W. 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.
- Pereira, M. G.; Pérez, D. V.; Valladares, G. S.; Souza, J. M. P. F.; Anjos, L. H. C. Comparação de métodos de extração de cobre, zinco, ferro e manganês em solos do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p. 655-660, 2001.
- Ritchey, K. D.; Cox, F. R.; Galvão, E. Z.; Yost, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.21, n.3, p.215-225, 1986.
- 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.
- Sabourin, E.; Silveira, L. M.; Tonneau, J. P.; Sidersky, P. Fertilidade e agricultura familiar no Agreste paraibano: um estudo sobre o manejo da biomassa. *Esperança: CIRAD-TERA/ASPTA*, 2000. 59p.
- Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: Região semi-árida. In: *Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo*, 16., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD Rom.
- Silva, T. O.; Menezes, R. S. C.; Tiessen, H.; Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H.; Silveira, L. M. Adubação orgânica da batata com esterco e/ou *Crotalaria juncea*. I – Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.1, p.39-49, 2007.
- Silva, W.M.; Fabrício, A.C.; Marchetti, M.E.; Kurihara, C.H.; Maeda, S.; Hernani, L.C. Eficiência de extratores de fósforo em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n.12, p.2277-2285, 1999.

- Silva, T. O.; Menezes, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e/ou *Crotalaria juncea*. II – Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.1, p.51-61, 2007.
- Snyder, J. D. E Trofymow, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.15, n.5, p. 587-597, 1984.
- Stevenson, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition and reactions*. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- Stewart, B. A.; Robinson, C. A. Are agroecosistemas sustainable in Semiarid Regions? *Advances in Agronomy*, v.60, p. 191-229, 1997.
- Tan, K. H. *Principles of soil chemistry*. 2ed. New York: Marcel Dekker, 1993. 362p.
- Teixeira, I. R.; Souza, C. M.; Borém, A.; Silva, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. *Bragantia*, v.62, n.1, p.119-126, 2003.
- Tiessen, H.; Cuevas, E.; Chacon, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, v.371, n.6500, p. 783-785, 1994.