

Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano

José Ricardo Mantovani⁽¹⁾, Mara Cristina Pessôa da Cruz⁽¹⁾, Manoel Evaristo Ferreira⁽¹⁾ e William Lopes Alves⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual Paulista, Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias, Dep. de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/nº, CEP 14884-900 Jaboticabal, SP. E-mail: mantovanijr@yahoo.com.br, evaristo@fcav.unesp.br ⁽²⁾Danone S.A., Rua Antonio Bortolan, 163, CEP 37704-397 Poços de Caldas, MG.

Resumo – Os objetivos deste trabalho foram selecionar extratores químicos para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos tratados com vermicomposto de lixo urbano e calcário, e verificar os efeitos destes insumos nos teores disponíveis de metais pesados em solos. Foram realizados dois ensaios em casa de vegetação. Em um deles, foi usado um Latossolo Vermelho distroférrico e, no outro, um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, e, em ambos, a alface foi utilizada como planta-teste. O delineamento experimental de cada experimento foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5x5, com quatro repetições, combinando-se doses de corretivos da acidez para elevar a saturação por bases a 40%, 50%, 60%, 70% e 80%, e o equivalente a 0, 25, 50, 75 e 100 t ha⁻¹ de vermicomposto. Os extratores DTPA e Mehlich 3 detectam aumento nos teores de Ni, Pb, Cu e Zn em solos argilosos e arenosos adubados com vermicomposto de lixo urbano. O DTPA é mais eficiente que os extratores Mehlich 1 e Mehlich 3 na avaliação das alterações nos teores disponíveis dos metais pesados provocadas pelas mudanças no pH no solo argiloso. O Mn é o único elemento cuja disponibilidade é avaliada eficientemente tanto no solo argiloso como no arenoso, pelo DTPA.

Termos para indexação: adubação orgânica, pH, calagem.

Extractants for evaluation of availability of heavy metals in soils fertilized with urban waste vermicompost

Abstract – The objectives of this work were to select chemical extractants to evaluate the availability of heavy metals in soils treated with urban waste vermicompost and lime, and to verify the effects of these treatments in available contents of heavy metals in soils. Two experiments were carried out in greenhouse. An Oxissol was utilized in the first experiment and an Alfissol in the other. Lettuce was used as a testing plant in both experiments. The experiments followed a completely randomized design combining five liming levels, to elevate the base saturation to 40%, 50%, 60%, 70%, and 80%, with five vermicompost rates of 0, 25, 50, 75, and 100 tons ha⁻¹, with four replicates. The DTPA and the Mehlich 3 detected increase in Ni, Pb, Cu and Zn contents in clay and sandy soils fertilized with urban waste vermicompost. The DTPA is more efficient than Mehlich 1 and Mehlich 3 to evaluate the changes in available contents of heavy metals caused by increase of pH in clay soil. The Mn is the only element which availability is efficiently evaluated in both soils, and the recommended extractant is the DTPA.

Index terms: organic manure, pH, liming.

Introdução

A reciclagem de materiais não biodegradáveis, como metais, vidros, plásticos, e outros, e a compostagem e a vermicompostagem da fração orgânica, representada por alimentos e outros tecidos vegetais e animais, são processos que podem minimizar os problemas com a superprodução e a disposição de lixo urbano.

A aplicação de composto ou de vermicomposto de lixo urbano no solo aumenta a permeabilidade, a agregação de partículas minerais, o fornecimento de macro

e micronutrientes, diminui a acidez (inclusive o alumínio trocável) e aumenta a atividade biológica (Giusquiani et al., 1995; Alves et al., 1999). Contudo, é preciso considerar os riscos ambientais de sua utilização, especialmente se feita de forma descontrolada e sem critérios. Uma das limitações do emprego desses adubos orgânicos é a presença de metais pesados em concentrações relativamente altas, que podem acumular-se no solo, inviabilizando seu uso agrícola, e nas plantas, prejudicando a saúde dos consumidores (Egreja Filho, 1993).

Entre as características químicas do solo, o pH desempenha papel fundamental na solubilidade e na disponibilidade de metais pesados. De maneira geral, o aumento do pH do solo diminui a disponibilidade dos metais por meio de reações de precipitação e pelo aumento da adsorção por colóides de carga variável (Shuman, 1998). Hooda & Alloway (1996) verificaram que a elevação do pH pela calagem, em solos de diferentes texturas, diminuiu a disponibilidade e, conseqüentemente, provocou decréscimo na concentração de Cd, Cu, Ni, Pb e Zn em cenoura e em espinafre.

O sucesso da monitoração de metais pesados no solo depende, em parte, de um método químico eficiente para medir a fração desses elementos colocada à disposição das plantas. Na seleção de extratores para a avaliação da disponibilidade de nutrientes para as plantas, é recomendado o uso de solos que nunca foram adubados ou que se encontram em relativo equilíbrio químico, aos quais se adicionam todos os nutrientes em quantidades adequadas, menos o testado (Bataglia & Raij, 1989; Ferreira & Cruz, 1992). Nestas condições, a eficiência da solução de DTPA usada na avaliação da disponibilidade dos metais Cu, Mn e Zn foi confirmada por Bataglia & Raij (1989) e Ferreira & Cruz (1992). Contudo, quando esses metais, e outros, como o Ni e o Pb, são aplicados ao solo por meio de um resíduo sólido, como o composto e o vermicomposto de lixo urbano, seu comportamento pode mudar, assim como a eficiência do extrator. De acordo com Abreu et al. (2001), no Brasil, ainda não existe um procedimento definido pela pesquisa para avaliar a disponibilidade de metais pesados potencialmente tóxicos, tais como Ni e chumbo.

Entre os extratores universais mais utilizados no diagnóstico da disponibilidade de elementos no solo, estão DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 (Raij, 1994). Entretanto, esses extratores têm apresentado resultados controversos em solos adubados com resíduos orgânicos. Enquanto Mulchi et al. (1991) observaram que os extratores DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 foram igualmente eficientes na avaliação dos teores disponíveis de Ni, Cu e Zn para plantas de fumo cultivadas em solos que receberam lodo de esgoto, Abreu et al. (1995) verificaram que eles foram ineficientes na avaliação da disponibilidade de Ni e Pb para plantas de trigo, e de Pb para plantas de feijão, em 31 amostras de solos do Estado de São Paulo. Por outro lado, Abreu et al. (1998) verificaram que DTPA e Mehlich 3 foram igualmente eficientes na avaliação da disponibilidade de Pb em área contaminada,

podendo ser utilizados no acompanhamento do impacto ambiental causado pelo elemento. Mulchi et al. (1991) e Abreu et al. (1995) trabalharam com solos que apresentavam menores concentrações de Pb do que o utilizado por Abreu et al. (1998).

Anjos & Mattiazzo (2001) também verificaram que, em solos tratados com lodo de esgoto, os extratores DTPA e Mehlich 3 não foram eficientes na previsão da disponibilidade de Ni e Pb e o Mehlich 3 foi mais eficiente que o DTPA na previsão da disponibilidade de Cu e Zn para o milho. Em cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, Oliveira & Mattiazzo (2001) verificaram que as soluções de DTPA e Mehlich 3 apresentaram eficiência na avaliação da disponibilidade de Zn, mas não na de cobre. Oliveira et al. (2002) constataram, em solo que recebeu aplicações de composto de lixo urbano por dois anos consecutivos, que os extratores DTPA e Mehlich 3 apresentaram capacidade semelhante e limitada na avaliação da disponibilidade de Ni, Pb, Cu e Zn para a cana-de-açúcar.

Os objetivos deste trabalho foram selecionar extratores químicos para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos tratados com vermicomposto de lixo urbano e calcário, e verificar os efeitos destes insumos nos teores disponíveis de metais pesados em solos.

Material e Métodos

Foram realizados dois experimentos em vasos, em casa de vegetação, empregando-se, no primeiro (abril a julho de 1997), amostra de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e, no segundo (abril a julho de 1999), amostra de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe) (Embrapa, 1999). Os solos foram coletados na camada arável (0–20 cm), sendo feitas a caracterização química (Raij et al., 1987) e granulométrica. Os resultados obtidos para o LVdf e para o PVAe foram, respectivamente: P resina, 10 e 16 mg dm⁻³; MO, 40 e 10 g dm⁻³; pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, 4,6 e 4,0; K⁺, 1,8 e 1,5 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺, 15 e 4 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 9 e 2 mmol_c dm⁻³; H+Al, 58 e 28 mmol_c dm⁻³; SB, 26 e 8 mmol_c dm⁻³; CTC, 84 e 36 mmol_c dm⁻³; V%, 31 e 21; argila, 646 e 70 g kg⁻¹; silte, 247 e 90 g kg⁻¹, e areia, 107 e 840 g kg⁻¹.

O vermicomposto de lixo urbano utilizado, analisado de acordo com Kiehl (1985), apresentou os seguintes teores de metais pesados, em mg kg⁻¹, base seca: Cd < 1; Ni, 18; Pb, 122; Cu, 197; Fe, 32.000; Mn, 272 e Zn, 455.

Em cada experimento, foi empregado esquema fatorial 5x5, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram formados pela combinação de cinco doses de corretivos da acidez e cinco doses de vermicomposto de lixo urbano. As doses de corretivos da acidez foram calculadas para obter-se índices de saturação por bases (V) iguais a 40%, 50%, 60%, 70% e 80%; a relação Ca:Mg empregada foi igual a 4:1 para o solo argiloso e 2:1 para o arenoso; os produtos utilizados foram CaCO_3 e $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ p.a. As doses de vermicomposto empregadas corresponderam a 0, 25, 50, 75 e 100 t ha^{-1} , com base no peso seco.

Os corretivos e o vermicomposto foram misturados, a seco, a porções de 5,5 dm^3 de solo, de acordo com cada tratamento. O solo foi transferido para vasos de alumínio com capacidade para 5,8 L, umedecido com água deionizada a 60% da capacidade de retenção e submetido à incubação por 40 dias. Aos 30 dias de incubação, foi feita adubação mineral em ambos os solos por meio de solução contendo N, P, K, S, B, Cu, Mn, Mo e zinco.

Ao término da incubação, o solo foi secado ao ar e amostrado para análise química de rotina (Raij et al., 1987) e para a extração dos teores disponíveis de Ni, Pb, Cu, Mn e Zn, pelas soluções de DTPA (Lindsay & Norvell, 1978), Mehlich 1 descrito em Jones Júnior (1990) e Mehlich 3 (Mehlich, 1984). Após a amostragem, porções de 5 dm^3 de solo foram devolvidas aos vasos, reumedecidas a 60% da capacidade de retenção, e cada vaso recebeu uma muda de alface do grupo americana, cultivar Mesa 659.

Aos 47 dias após o transplante, foi realizada a colheita das plantas, cortando-as rente à superfície do solo de cada vaso. As plantas foram lavadas, secadas em estufa a 65°C até peso constante, moídas e submetidas à digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). Nos extratos, determinaram-se as concentrações de Ni, Pb, Cu, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores disponíveis dos metais pesados nos solos foram submetidos às análises de variância, pelo teste F, e de regressão polinomial. Também foram feitas análises de correlação linear entre os teores disponíveis dos metais nos solos e as quantidades absorvidas presentes na parte aérea das plantas, e comparados os valores dos coeficientes de correlação (r) para avaliar a eficiência dos extratores estudados.

Resultados e Discussão

Efeitos dos tratamentos nos teores disponíveis de metais pesados nos solos

No solo argiloso (LVdf) a solução Mehlich 1 apresentou maior capacidade de extração de Ni, Mn e Zn que as demais, e o DTPA extraiu maiores quantidades de Cu (Tabela 1). Além disso, as soluções de DTPA e de Mehlich 3 extraíram quantidades semelhantes de Pb, e a de Mehlich 1 extraiu quantidades bem menores desse elemento por causa da presença de sulfato que, de acordo com Amacher (1996), pode provocar a formação de sulfato de chumbo, impedindo a detecção do metal. Os coeficientes de variação (CV) obtidos para as quantidades de metais pesados extraídas por DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 foram, de maneira geral, similares e baixos (menores que 10%), exceto para Ni extraído por Mehlich 3 (18%) e para Pb extraído por Mehlich 1 (13%).

O DTPA foi o único extrator que detectou efeito significativo do vermicomposto e da calagem nos teores de todos os metais pesados analisados (Ni, Pb, Cu, Mn e Zn). Quanto ao Mehlich 1, não foi constatado efeito do vermicomposto nos teores de Cu no solo; o mesmo ocorreu com o Mehlich 3, em relação ao manganês. O Mehlich 3 também não detectou efeito da calagem nas quantidades extraídas de Pb, Mn e zinco. Para Ni e Zn extraídos por Mehlich 1 e Zn por Mehlich 3, foram feitos estudos por meio de regressões múltiplas (Tabela 2).

As soluções de DTPA e Mehlich 3 detectaram aumento nas quantidades extraídas de Ni, Pb, Cu e Zn, e o Mehlich 1 nas de Ni, Pb e Zn, com as doses de vermicomposto de lixo urbano (Tabela 2), tendo sido observado maior incremento em relação ao Zn, cerca

Tabela 1. Amplitude de variação da capacidade de extração de metais pesados pelas soluções DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3, em solos argiloso e arenoso.

Extratores	Ni	Pb	Cu	Mn	Zn
Solo argiloso, LVdf					
DTPA	0,10–0,25	0,38–1,09	7,6–11,7	34–52	1,2–6,1
Mehlich 1	0,19–0,53	0,07–0,26	2,0–3,3	134–166	2,6–13,4
Mehlich 3	0,13–0,29	0,34–1,02	6,3–8,1	88–95	1,7–7,3
Solo arenoso, PVAe					
DTPA	0,07–0,26	0,53–0,99	1,2–3,5	25–49	1,8–6,4
Mehlich 1	0,11–0,35	0,49–0,86	1,2–2,3	49–57	2,7–12,8
Mehlich 3	0,20–0,39	0,61–1,06	2,1–5,0	132–216	3,2–12,4

de 70%, e menor para Cu, cerca de 20%, ao comparar-se o tratamento em que não foi aplicado composto de lixo com o que recebeu a maior dose do adubo orgânico. O maior aumento no solo observado para o Zn deveu-se ao fato do resíduo apresentar maior concentração do elemento do que de Cu, Pb e níquel. Oliveira et al. (2002) também verificaram aumentos lineares nas quantidades de Cu e de Zn extraídas pelo DTPA e pelo Mehlich 3 com a adição de composto de lixo urbano. De acordo com os autores, as quantidades extraídas de Cu e Zn ocorreram em conformidade com os teores presentes no adubo orgânico e com as doses aplicadas.

Em relação ao Mn, o DTPA detectou decréscimo de teores no solo com o aumento das doses do adubo orgânico (Tabela 2). Apesar de o vermicomposto ser fornecedor de Mn, ele também provocou aumento do pH do solo, o que levou à diminuição das quantidades desse micronutriente extraídas pelo DTPA. Alves et al. (1999) também verificaram decréscimo dos teores de Mn extraídos por DTPA, com a adição de composto de lixo. Por outro lado, o Mehlich 1 detectou aumento das quan-

tidades de Mn com a aplicação de vermicomposto, e com o Mehlich 3 não foi constatada variação (Tabela 2).

O DTPA detectou decréscimo das quantidades de Ni, Cu, Mn e Zn, e o Mehlich 1, das de Cu e Mn, com a elevação do V% (Tabela 2). Em relação ao Pb, com o DTPA e o Mehlich 1, foi constatada diminuição das quantidades extraídas em valores de V acima de 60%, e para o Ni e o Zn, o Mehlich 1 detectou decréscimo mais acentuado de teores para valores de V abaixo de 50% (Tabela 2). O Mehlich 3 detectou pequena variação nas quantidades de Ni, Pb, Cu, Mn e Zn com a elevação da saturação por bases. Assim, as alterações nos teores disponíveis dos metais pesados provocadas pela variação no pH do solo foram detectadas de forma mais eficiente pelo DTPA do que pelos demais extratores. Abreu & Rajj (1996) obtiveram resultados semelhantes em relação ao zinco.

No solo arenoso (PVAe) a solução Mehlich 3 apresentou maior capacidade de extração de Ni, Pb, Cu e Mn que as demais (Tabela 1). As soluções Mehlich 1 e Mehlich 3 extraíram quantidades semelhantes de Zn e

Tabela 2. Equações de regressão expressando o efeito do vermicomposto de lixo urbano (VM), da saturação por bases (V%) e de ambos, nas quantidades de Ni, Pb, Cu, Mn e Zn extraídas pelo DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 em solo argiloso, LVdf.

Extrator	Variável		Equação	R ²
	Independente	Dependente		
DTPA	VM	Ni	$y = 0,001x + 0,113$	0,999**
		Pb	$y = 0,006x + 0,405$	0,996**
		Cu	$y = 0,002x + 8,656$	0,994**
		Mn	$y = -0,037x + 44,520$	0,915**
		Zn	$y = 0,041x + 1,500$	0,999**
Mehlich 1	VM	Ni (z) e V% (y)	$z = 0,534 + 0,003x - 0,011y + 1,143 \cdot 10^{-6}x^2 + 8,429 \cdot 10^{-5}y^2 - 1,36 \cdot 10^{-5}xy$	0,975**
		Pb	$y = 0,002x + 0,089$	0,996**
		Mn	$y = 0,178x + 138,640$	0,959**
		Zn (z) e V% (y)	$z = 12,685 + 0,087x - 0,294y + 2,743 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,002y^2 - 1,16 \cdot 10^{-4}xy$	0,982**
Mehlich 3	VM	Ni	$y = 0,001x + 0,142$	0,950**
		Pb	$y = 0,006x + 0,356$	0,999**
		Cu	$y = 0,012x + 6,564$	0,975**
		Zn (z) e V% (y)	$z = 1,742 + 0,057x - 0,002y - 5,714 \cdot 10^{-5}x^2 + 2,857 \cdot 10^{-5}y^2 - 2,4 \cdot 10^{-5}xy$	0,977**
DTPA	V%	Ni	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,002x + 0,148$	0,925**
		Pb	$y = -0,0001x^2 + 0,013x + 0,369$	0,866**
		Cu	$y = -0,056x + 13,001$	0,920**
		Mn	$y = -0,376x + 65,240$	0,954**
		Zn	$y = -0,016x + 4,504$	0,888**
Mehlich 1	V%	Pb	$y = -6 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,006x + 0,024$	0,963**
		Cu	$y = 0,0003x^2 - 0,058x + 4,936$	0,976**
		Mn	$y = -0,306x + 165,880$	0,742**

**Significativo a 1% de probabilidade.

maiores que a de DTPA. Abreu et al. (1995), Oliveira & Mattiazzo (2001) e Oliveira et al. (2002) também verificaram a maior capacidade de extração de metais pesados pela solução Mehlich 3 em relação à de DTPA.

Os CV obtidos no PVAe foram menores que 20%, exceto para Ni extraído pelo DTPA (39%) e pelo Mehlich 3 (22%), e para Pb extraído por DTPA (23%). No solo arenoso, de maneira geral, as quantidades de metais pesados extraídas pela solução Mehlich 1 apresentaram menores CV que as demais. Os CV obtidos no PVAe foram maiores que os encontrados no LVdf.

No solo arenoso, os extratores detectaram efeito do vermicomposto nos teores dos metais pesados, exceto o Mehlich 1 em relação ao manganês. Com o DTPA não foi constatado efeito da calagem nas quantidades de Ni, Pb e Cu, e com o Mehlich 1 e o Mehlich 3, o mesmo foi observado em relação ao Cu e Zn, respectivamente. Houve efeito de interação entre os tratamentos vermicomposto e calagem nas quantidades de Pb extraídas por Mehlich 1 e Mehlich 3.

Quanto ao comportamento dos extratores, observou-se que as soluções de DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 detectaram aumento linear das quantidades de Ni, Pb, Cu e Zn no solo, com as doses de vermicomposto de

lixo urbano, tendo sido constatado maior incremento em relação ao Zn, cerca de 70%, e menor para o Pb, cerca de 30% (Tabela 3). Quanto ao Mn, o DTPA e o Mehlich 3 detectaram decréscimo linear das quantidades extraídas, e com o Mehlich 1 não foi constatada tendência definida com a aplicação do adubo orgânico.

Os extratores DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 detectaram pequena variação nas quantidades de Ni, Cu e Zn com a elevação da saturação por bases. Quanto ao Pb, com as soluções Mehlich 1 e Mehlich 3, foi constatada diminuição de teores com a elevação do V até 60%, seguida de aumento para valores de V acima de 70% (Tabela 3). Em relação ao Mn, o DTPA detectou decréscimo linear das quantidades extraídas com a elevação do V% (Tabela 3). Por outro lado, o Mehlich 1 detectou diminuição dos teores de Mn no solo para valores de V de até 60%, e o Mehlich 3 constatou decréscimo para valores de V acima de 60% (Tabela 3). Esse resultado é devido ao duplo efeito do vermicomposto de lixo urbano. Em parte ele aumenta as quantidades extraídas, por ser fonte de metais e, em parte, pelo papel que desempenha, aumentando o pH, que provoca diminuição nas quantidades extraídas, dependendo do extrator.

Tabela 3. Equações de regressão expressando o efeito do vermicomposto de lixo urbano (VM), da saturação por bases (V%) e de ambos, nas quantidades de Ni, Pb, Cu, Mn e Zn extraídas por DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 em solo arenoso, PVAe.

Extrator	Variável		Equação	R ²
	Independente	Dependente		
DTPA	VM	Ni	$y = 0,001x + 0,074$	0,958**
		Pb	$y = 0,003x + 0,606$	0,945**
		Cu	$y = 0,018x + 1,296$	0,980**
		Mn	$y = -0,143x + 41,128$	0,997**
		Zn	$y = 0,037x + 1,936$	0,996**
Mehlich 1	VM	Ni	$y = 0,002x + 0,124$	0,998**
		Pb (z) e V% (y)	$z = 1,433 + 0,007x - 0,033y - 2,423 \cdot 10^{-5}x^2 + 2,914 \cdot 10^{-4}y^2 - 3,48 \cdot 10^{-5}xy$	0,830**
		Cu	$y = 0,009x + 1,276$	0,978**
		Zn	$y = 0,087x + 3,036$	0,999**
Mehlich 3	VM	Ni	$y = 0,001x + 0,231$	0,956**
		Pb (z) e V% (y)	$z = 1,592 + 0,008x - 0,035y - 3,017 \cdot 10^{-5}x^2 + 3,029 \cdot 10^{-4}y^2 - 4,28 \cdot 10^{-5}xy$	0,803**
		Cu	$y = 0,024x + 2,248$	0,996**
		Mn	$y = -0,331x + 189,124$	0,961**
		Zn	$y = 0,081x + 3,580$	0,987**
DTPA	V%	Mn	$y = -0,231x + 47,852$	0,982**
Mehlich 1	V%	Mn	$y = 0,005x^2 - 0,720x + 74,398$	0,947**
Mehlich 3	V%	Mn	$y = -0,062x^2 + 6,298x + 28,827$	0,940**

**Significativo a 1% de probabilidade.

Seleção de métodos de extração de metais pesados

No LVdf, os dados obtidos em relação ao Pb não foram usados na seleção de métodos de extração, pois os teores na planta ficaram abaixo do limite de detecção, que foi de 0,21 mg kg⁻¹, calculado de acordo com a literatura.

Quanto ao Ni e ao Zn, verificou-se que os três extratores foram eficientes na previsão da disponibilidade, com ligeira vantagem para o DTPA, que apresentou maior coeficiente de correlação (r) (Tabela 4). Contudo, no caso do Ni, apesar de significativos, os valores de r foram relativamente baixos (menores que 0,7). Resultados semelhantes foram obtidos por Mulchi et al. (1991).

Quanto ao Cu, houve correlação significativa e positiva apenas com o extrator Mehlich 3, embora o valor de r também tenha sido baixo, e para o Mn, a correlação foi significativa somente com o DTPA (Tabela 4). As correlações para Cu não foram significativas, pois, enquanto as suas quantidades no solo extraídas por DTPA e por Mehlich 1 diminuíram com a elevação de V, as absorvidas pela planta aumentaram. Oliveira & Mattiazzo (2001) e Oliveira et al. (2002) também verificaram resultados não satisfatórios em relação ao DTPA na avaliação da disponibilidade de cobre para plantas de cana-de-açúcar. Por outro lado, Norvell (1984), em solos ácidos contaminados, verificou que o DTPA foi eficiente na avaliação da disponibilidade de cobre. Lindsay & Norvell (1978), ao apresentarem as bases teóricas do método DTPA, relataram incertezas quanto a sua eficiência na avaliação da disponibilidade de Cu, enfatizando que correlações significativas entre teores disponíveis e quantidades absorvidas por milho somente foram obtidas quando o conjunto de dados utilizados para o cálculo apresentava ampla variação de teores no solo. Deve-se considerar, também, que o estudo de seleção

Tabela 4. Coeficientes de correlação linear entre quantidades de metais pesados extraídos do solo pelo DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 e as quantidades absorvidas desses metais pela alface em solo argiloso, LVdf.

Metal pesado	DTPA	Mehlich 1	Mehlich 3
Ni	0,642**	0,567**	0,502*
Cu	ns	ns	0,565**
Mn	0,764**	ns	ns
Zn	0,830**	0,790**	0,798**

nsNão-significativo. **Significativo a 1% de probabilidade.

de métodos realizado foi feito em condição diferente da tradicional, em que se usam vários solos em equilíbrio, sem a adição do elemento testado.

Com o intuito de aumentar a capacidade de predição da concentração de metais pesados na parte aérea de alface pelos três extratores no LVdf, calcularam-se regressões múltiplas em que, além do teor de metal pesado no solo, incluíram-se o pH e o teor de matéria orgânica como variáveis independentes no modelo da regressão. Entretanto, não houve ajuste dos dados, e os valores de r não se alteraram no tocante à correlação linear.

No PVAe, nenhum dos três extratores se mostrou eficiente em avaliar a disponibilidade de Ni, Pb e Zn para a alface (Tabela 5). A ineficiência dos extratores em avaliar a disponibilidade de Zn ocorreu porque enquanto as quantidades do micronutriente no solo extraídas por DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 não variaram com a elevação do V, as absorvidas pela planta diminuíram. Abreu et al. (1995) e Anjos & Mattiazzo (2001) também constataram a ineficiência desses extratores em avaliar a disponibilidade de Ni e Pb para as plantas e Oliveira et al. (2002) observaram baixa eficiência das soluções de DTPA e Mehlich 3 em avaliar a disponibilidade de Ni, Pb e zinco. Todos os autores mencionados atribuíram às pequenas concentrações de metais pesados nas amostras de solos e plantas os baixos valores de r obtidos.

Os três extratores foram eficientes em avaliar a disponibilidade de Cu e Mn para a alface, no solo arenoso, sendo que, para o Mn, os melhores resultados foram obtidos pelo DTPA (r>0,8), e, para o Cu, a eficiência dos extratores foi semelhante (Tabela 5). Contudo, no caso das quantidades de Cu extraídas por Mehlich 1 (Cu_{MI}), a equação de regressão múltipla indica que as quantidades absorvidas desse nutriente presentes na parte aérea de alface (y), além de terem sido afetadas

Tabela 5. Coeficientes de correlação linear entre quantidades de metais pesados extraídos do solo pelo DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 e as quantidades absorvidas desses metais pela alface em solo arenoso, PVAe.

Metal pesado	DTPA	Mehlich 1	Mehlich 3
Ni	ns	ns	ns
Pb	ns	ns	ns
Cu	0,770**	0,827**	0,789**
Mn	0,771**	0,508**	0,546**
Zn	ns	ns	ns

nsNão-significativo. **Significativo a 1% de probabilidade.

pelo seu teor no solo, também foram influenciadas pelo pH ($y = -55,265 + 38,737Cu_{MI} + 25,448pH$, $R^2 = 0,713$). Nesse caso, a eficiência do extrator em prever a disponibilidade do metal pesado para alface aumenta ao se considerar, também, o pH do solo, pois o valor de r da regressão múltipla é maior do que o da correlação linear. Nos demais casos, não houve ajuste dos dados a correlações múltiplas.

Comparando a eficácia dos extratores no LVdf e no PVAe, obtiveram-se bons resultados nos dois solos apenas em relação ao Mn extraído por DTPA. A eficiência dos extratores em avaliar a disponibilidade de Cu ocorreu somente no PVAe, e nos casos do Ni e do Zn, apenas no LVdf, sendo que, para o níquel, ela foi baixa. Dessa forma, o uso do DTPA para avaliar a disponibilidade de Mn em solos que receberam adubação orgânica e calagem, é recomendado, independentemente da textura.

Conclusões

1. Os extratores DTPA e Mehlich 3 detectam aumento nos teores de Ni, Pb, Cu e Zn tanto no solo argiloso como no arenoso adubados com vermicomposto de lixo urbano.
2. O DTPA é mais eficiente que os extratores Mehlich 1 e Mehlich 3 na avaliação das alterações nos teores disponíveis dos metais pesados provocadas pelas mudanças no pH do solo argiloso.
3. O Mn é o único elemento cuja disponibilidade é avaliada eficientemente tanto no solo argiloso como no arenoso, pelo DTPA.

Agradecimentos

À Fapesp pela bolsa concedida a José Ricardo Mantovani.

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, p.357-363, 1996.
- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; ANDRADE, J.C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p.240-250.
- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; ANDRADE, J.C. Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de DTPA e Mehlich 3. *Bragantia*, v.57, p.185-192, 1998.
- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van; SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.463-468, 1995.
- ALVES, W.L.; MELO, W.J.; FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.729-736, 1999.
- AMACHER, M.C. Nickel, cadmium and lead. In: SPARKS, D.L. (Ed.). *Methods of soil analysis: chemical methods*. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1996. pt.3, p.739-768.
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolos tratados com biossólidos e cultivados com milho. *Scientia Agricola*, v.58, p.337-344, 2001.
- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.205-212, 1989.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- EGREJA FILHO, F.B. *Avaliação da ocorrência e distribuição química de metais pesados na compostagem do lixo domiciliar urbano*. 1993. 176p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Seleção de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de zinco em solos do Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.27, p.293-304, 1992.
- GIUSQUIANI, P.L.; PAGLIAI, M.; GIGLIOTTI, G.; BUSINELLI, D.; BENETTI, A. Urban waste compost: effects on physical, chemical and biochemical soil properties. *Journal Environmental Quality*, v.24, p.175-182, 1995.
- HOODA, P.S.; ALLOWAY, B.J. The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously sludge-applied soils. *Journal of Agricultural Science*, v.127, p.289-294, 1996.
- JONES JUNIOR, J.B. Universal soil extractants: their composition and use. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.21, p.1091-1101, 1990.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, v.42, p.421-428, 1978.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.15, p.1409-1416, 1984.
- MULCHI, C.L.; ADAMU, C.A.; BELL, P.F.; CHANEY, R.L. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended coastal plain

- soils – I: comparison of extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.22, p.919-941, 1991.
- NORVELL, W.A. Comparison of chelating agents as extractants for metals in diverse soil materials. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.1285-1292, 1984.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, p.581-593, 2001.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JUNIOR, C.H. Fitodisponibilidade e teores de metais pesados em 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, p.737-746, 2002.
- RAIJ, B. van. New diagnostic techniques, universal soil extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.799-816, 1994.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- SHUMAN, L.M. Effect of organic waste amendments on cadmium and lead in soil fractions of two soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, p.2939-2952, 1998.

Recebido em 24 de junho de 2003 e aprovado em 23 de dezembro de 2003