

ADUBAÇÃO FOSFATADA E METAIS PESADOS EM LATOSSOLO CULTIVADO COM ARROZ

Mônica Sartori de Camargo^{1*}; Ana Rosa Martins dos Anjos¹; Carla Rossi¹; Eurípedes Malavolta²

¹Pós-Graduandas do Depto. de Solos e Nutrição de Plantas - USP/ESALQ, C.P. 9 - CEP: 13418-900 - Piracicaba, SP.

²USP/CENA, C.P. 96 - CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP.

*Autor correspondente <mscamarg@carpa.ciagri.usp.br.>

RESUMO: A avaliação da contaminação por metais pesados contidos nos fertilizantes tem atraído a atenção devido a um eventual efeito no ambiente. O objetivo do trabalho foi estudar a absorção de metais pesados presentes nos adubos fosfatados pelo arroz, utilizando-se uma metodologia de extração seqüencial passível de ser adaptada à análise de rotina. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e utilizaram-se quatro fontes de P (superfosfato triplo, termofosfato magnesiano e fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Arad) em três doses (50, 100 e 200 mg dm⁻³). Foram cultivadas plantas de arroz após o cultivo de *Brachiaria decumbens* e *Centrosema pubescens* em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em condições de casa-de-vegetação. A transferência de metais pesados (Cu, Mn, Cd, Ni, Zn) para o solo e para as plantas ocorreu de forma diferenciada para as doses e fontes utilizadas. Os adubos fosfatados não contribuíram de modo relevante para o aumento do teor de metais pesados no solo e nas plantas. Na extração seqüencial, o HCl 6 mol L⁻¹ extraiu maior percentual de metais pesados do solo, seguido por Mehlich 1 e H₂O, exceto para Zn.

Palavras-chave: extratores, fósforo, fertilizantes

PHOSPHATE FERTILIZERS AND HEAVY METALS IN AN OXISOL CULTIVATED WITH RICE

ABSTRACT: The contribution of phosphate fertilizers to the pool of heavy metals in the soil and their transfer to plants and animals is a subject of concern specially among environmentalists. The objective of this study was to assess the accumulation of heavy metals contained in phosphate fertilizers in the rice plant using a simple sequential method of extraction which could provide information about the availability of heavy metals in the soil. Greenhouse and laboratory experiments used a Xantic Ferralsol previously cultivated with *Centrosema pubescens* and *Brachiaria decubens*. The forages received triple superphosphate, termophosphate and North Caroline and Arad rock phosphates at the rates of 50, 100 and 200 mg dm⁻³ P. There was no increase in heavy metals (Cu, Mn, Cd, Ni, Zn) in the soil or in plants due to the rates of phosphate fertilizers applied. As expected, 6 mol L⁻¹ HCl extracted higher amounts of heavy metals than Mehlich 1 and water extractant.

Key words: extractants, phosphorus, fertilizers

INTRODUÇÃO

Metais pesados como Cd, Cr, Pb e Hg, incluindo-se os micronutrientes Fe, Cu e Mn podem ser introduzidos na cadeia alimentar pela adição de fertilizantes, principalmente fosfatados (Sharpley & Menzel, 1987). Isso é resultado da ocorrência natural de vários metais pesados em rochas fosfáticas e de não serem eliminados no processo de manufatura. A contaminação do solo por metais pesados provocada pela aplicação de fertilizantes parece pequena, mas requer um monitoramento, pois seu uso é mais amplamente disseminado que outros agroquímicos (Amaral Sobrinho et al., 1996)

A determinação do teor de metais pesados em solos pode ser realizada pelo conteúdo total do elemento no solo, fração solúvel e trocável. O conteúdo total do elemento fornece o conhecimento da sua reserva no solo; a fração trocável é uma medida mais direta da probabilidade de eventuais efeitos prejudiciais ao ambiente.

Segundo Bertoncini (1997), a indefinição na escolha de métodos para extração dos teores totais e solúveis de metais em solos torna imprecisa a previsão do comportamento destes no ambiente e, consequentemente sua absorção pelas plantas.

A absorção é governada por vários processos. A sua complexidade pode explicar os resultados variados encontrados por diversos autores em relação à capacidade de alguns extratores químicos de prever a disponibilidade de metais pesados. Assim, o entendimento do comportamento dos metais no sistema solo-planta é importante na definição de métodos químicos mais eficientes (Gomes, 1996).

Duas diferentes técnicas de extração (simples e seqüencial) podem ser usadas para prever a transferência dos metais pesados do solo para a cadeia alimentar. A técnica de extração simples consiste na determinação das diversas frações de metais pesados no solo de forma isolada usando amostras de diferentes solos.

A extração seqüencial utiliza uma mesma amostra para fornecer informações sobre as frações químicas e a proporção do metal que é solubilizado por reagentes específicos, possibilitando a utilização de menor número de amostras para obtenção dos dados (Roca & Pomares, 1991). A metodologia de extração sequencial possui alta viabilidade para tornar-se rotina no laboratório seja pelo trabalho com menor número de amostras e a maior confiabilidade nos resultados.

Geralmente, os parâmetros para o controle da poluição do solo baseiam-se na quantidade total de metais pesados. A fração total de um metal no solo, no entanto, não é um parâmetro que expresse sua disponibilidade para as plantas. Dentre os requisitos mínimos para ser ter uma boa metodologia e técnica de análise de solo encontra-se a reprodutibilidade, o baixo custo e a facilidade de adaptação aos procedimentos de rotina com uma alta correlação entre o teor de metal extraído e o absorvido pela planta (Roca & Pomares, 1991).

Portanto, os objetivos do trabalho são estudar a transferência de metais pesados presentes nos adubos fosfatados para o arroz em condições de casa-de-vegetação; desenvolver uma metodologia preliminar de extração seqüencial passível de ser adaptada à análise de rotina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), com início em março de 1997. Utilizaram-se amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, coletado no Instituto de Zootecnia localizado no município de Nova Odessa - SP. As características químicas iniciais do solo se encontram na TABELA 1.

O solo estudado já havia sido submetido a dois cultivos anteriores, sendo o primeiro com centrosema (Moreira, 1997) e o segundo com braquiária. No primeiro cultivo, foi efetuada a calagem, a adubação de NPK e micronutrientes, sendo o delineamento utilizado inteiramente casualizado, em fatorial 4 x 4 com 3 repetições. Os tratamentos do presente trabalho constituíram-se por quatro doses de fósforo (0, 50, 100 e 200 mg P dm⁻³) e quatro fontes do nutriente (superfosfato triplo, ST, termofosfato magnesiano, TY, fosfato natural da Carolina do Norte, FNC e fosfato natural de Arad, FA) cujas características encontram-se na TABELA 2. O tratamento testemunha foi o mesmo para todas as fontes. A solução de micronutrientes aplicada durante o primeiro plantio teve a seguinte composição em mg kg⁻¹: 0,5 de B; 0,1 de Co; 1,5 de Cu; 5 de Fe; 5 de Mn; 5 de Zn e 0,1 de Mo. No 2º cultivo, o solo recebeu uma adubação de 150 mg dm⁻³ de N e K, dividida em três aplicações.

No presente trabalho, as unidades experimentais foram as mesmas dos trabalhos anteriores. Cada unidade experimental (vasos de 5 L) recebeu 50 mL de uma solução contendo 3 g de NH₄NO₃ e 2 g de KCl L⁻¹, após o qual procedeu-se ao plantio de 10 sementes de arroz - IAC 165.

Após a germinação, foi realizado o desbaste para seis plantas por vaso e, diariamente, procedeu-se à irrigação mantendo o solo com 60% do poder de embebição. Aos 30 dias após a germinação, foram colhidos metade do número de plantas de cada vaso para posterior análise e efetuado o fornecimento de N em cobertura sob a forma de NH₄NO₃, o que foi repetido aos 60 dias.

Os metais pesados Cu, Fe, Mn, Zn, Ni e Cd contidos no solo foram analisados pela extração seqüencial, utilizando-se como extratores H₂O, Mehlich 1

TABELA 1 - Características químicas do solo utilizado.

pH	M.O	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m
CaCl ₂	-- g dm ⁻³ --		----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----			
3,7	20,3	0,1	0,3	0,2	2,1	9,6	0,6	10,2	6	78
P	S-SO ₄ ⁻²		B	Cu	Fe	Mn	Zn			
----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----		----- mg kg ⁻¹ -----							
4,0	59,5		0,43	0,36	57	6,8	0,4			

TABELA 2 - Teores médios de fósforo e de metais pesados nos fertilizantes fosfatados.

Fertilizantes	Fósforo				Cd	Ni	Fe	Cu	Mn	Zn
	Total	Água	Ác cit. 2%	CNA+Água						
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Superf. triplo (ST)	208	962	988	1055	1,7	785,3	1063,3	8,9	163,6	8,4
Termof. magnesiano (TY)	396	-----	371	171	37,2	589	1529,9	51,4	2613,5	494,9
Carolina Norte (FCN)	663	-----	213	122	46,6	33,5	1023,8	6,6	17,4	404,0
Fosfato Arad (FA)	757	-----	228	67	17,5	58,5	309,6	19,2	-----	493,1

e HCl 6 mol L⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica. Pesou-se inicialmente 5 cm³ de solo em um frasco de extração, ao qual se adicionou 40 mL de água deionizada, agitando-se por 30 minutos. Após um período de sedimentação de 15 minutos, o sobrenadante foi filtrado e utilizado para determinar teores de metais pesados extraídos em água. O material sedimentado no papel de filtro foi lavado com 40 mL da solução extratora Mehlich 1 e agitado por 30 minutos. O período de sedimentação foi o mesmo utilizado anteriormente e o filtrado foi utilizado para determinar os metais pesados extraídos em Mehlich 1. Da mesma forma como foi descrito anteriormente, 40 mL de uma solução HCl 6 mol L⁻¹ foi utilizada para lavar o sedimento restante no papel, procedendo-se a seguir agitação, sedimentação e filtragem, sendo efetuada a determinação dos teores de metal pesado solúveis em HCl 6 mol L⁻¹.

Na parte aérea, os teores de Cu, Fe, Mn, Zn, Ni e Cd foram analisados no extrato nítrico-perclórico, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1989), determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

METAIS PESADOS NO SOLO

Os teores encontrados nos fertilizantes utilizados (TABELA 2) estão em concordância com a literatura nacional, sendo menores, inclusive, para quase todos os nutrientes. Amaral Sobrinho et al. (1992) apresenta teores médios comumente encontrados nos fertilizantes comercializados no Brasil como para ST: 6565; 300; 24; 810 e 4,4 de Fe, Mn, Ni, Zn e Cd, respectivamente; no TY, os teores de Cu, Fe, Mn, Ni, Zn e Cd são 44; 38410; 2220; 3300; 374 e 3,1 mg kg⁻¹.

Comparando-se os teores de metais pesados entre os extratores, foi observada diferença, sendo que na extração seqüencial o HCl 6 mol L⁻¹ extraiu maior percentual de Fe, Mn, Cu, Cd e Ni, seguido de Mehlich 1 e água (Figura 1). Isso decorre de diferenças entre o modo de atuação dos extratores. A água extrai somente os nutrientes contidos na solução do solo. O aumento observado nos teores de metais pesados recuperados pelo extrator Mehlich 1 indica que esta fração estaria disponível às plantas (Amaral Sobrinho et al., 1996). Já os teores

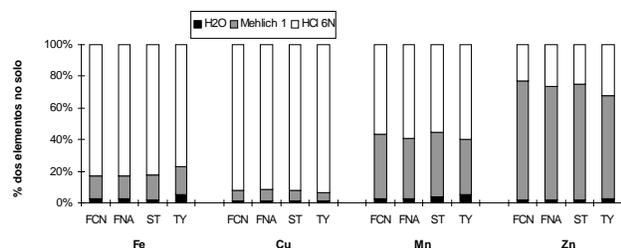


Figura 1 - Distribuição de Fe, Mn, Cu e Zn no solo em função dos diferentes extratores.

*FCN= Fosfato da Carolina do Norte; FA=Fosfato de Arad; ST= superfosfato triplo; TY= termofosfato magnésiano.

removidos pelo extrator HCl 6 N estão relacionados à energia desse extrator, que não diferencia entre as várias categorias de minerais presentes no solo. Assim, considera-se que o HCl possui a capacidade de extrair nutrientes restantes, que não se encontram prontamente disponíveis às plantas (Piper, 1944).

A única exceção a este comportamento foi o Zn, que apresentou teores maiores no solo extraídos pelo extrator Mehlich 1 que para HCl 6 mol L⁻¹. Isto pode ser consequência do material de origem deste solo, que possivelmente tem teores naturais extremamente baixos de Zn, restando, assim, menor quantidade de Zn para ser extraída pelo HCl. As quantidades de Cd e Ni presentes na análise foram extremamente reduzidas, próximas a zero, não sendo possível sua representação gráfica.

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Não foi constatada tendência definida para a interação entre doses e fontes. O efeito das doses dos fertilizantes sobre os teores de metais extraídos do solo não foi consistente, sendo realizada apenas comparação entre as fontes de fósforo (TABELA 3).

Para o extrator H₂O, foi verificado efeito de fontes somente para os teores de Fe e Cu, sendo os valores sempre superiores para o TY (TABELA 3). Isso se deve, provavelmente, ao seu alto conteúdo no fertilizante (TABELA 2). Os metais pesados cujos teores são encontrados em baixa quantidade no solo como Cd e Ni não mostraram teores relevantes no solo ao serem extraídos pela água. Isso já havia sido constatado por Haq et al. (1980) em 46 solos devido ao seu baixo conteúdo no solo e ao modo de ação desse extrator.

Quanto ao extrator Mehlich 1, ocorreu o contrário, pois apenas os teores de ferro e manganês não tiveram diferença entre as fontes, o que pode ser devido à sua grande quantidade nos solos tropicais, reduzindo o efeito das fontes (TABELA 3). Os teores de ferro e manganês estão compatíveis com os citados na literatura (Sillanpaa, 1982).

À semelhança do ocorrido com H₂O, as determinações de metais pesados em Mehlich 1 não mostraram teores relevantes de Cd e Ni no solo, devido, provavelmente, à baixa quantidade no solo. O teor de Zn para TY foi significativamente menor (2,11 mg dm⁻³) que as demais, apesar do baixo teor de Zn no ST (TABELA 3). Camargo et al. (1982) observaram teores de Zn em solos de São Paulo, variando de 0,6 a 13 mg dm⁻³, nos quais estão incluídos o do experimento. E para os teores de Cu, os valores estão compreendidos dentro de uma faixa de valores comumente encontrados em solos brasileiros (Malavolta, 1994).

Para metais pesados extraídos por HCl 6 mol L⁻¹, o ferro foi o único sem diferença entre as fontes devido possivelmente ao seu alto teor no solo, sendo os teores médios totais encontrados variando de 478 a 500 mg dm⁻³.

TABELA 3 - Teores de metais pesados no solo extraídos por H₂O, Mehlich1 e HCl 6 mol L⁻¹, para as diferentes fontes, dentro de doses de P.

Fertilizantes	H ₂ O					
	Fe	Cu	Mn	Cd	Ni	Zn
Fosfatados						
	----- mg kg ⁻¹ -----					
FCN	14,5 b	0,32 b	3,8	0,00	0,00	0,07
FA	17,6 b	0,36 b	2,6	0,00	0,00	0,07
ST	11,0 b	0,39 b	2,7	0,00	0,00	0,07
TY	34,2 a	0,58 a	2,9	0,00	0,03	0,09

	Mehlich					
	Fe	Cu	Mn	Cd	Ni	Zn
FCN	84,27 a	5,12 a	16,95 a	0,000 b	0,000 b	2,59 a
FA	85,77 a	4,92 ab	16,62 a	0,000 b	0,004 b	2,51 ab
ST	94,96 a	4,11 bc	17,48 a	0,000 b	0,000 b	2,48 ab
TY	93,73 a	3,96 c	17,04 a	0,015 a	0,035 a	2,11 b

	HCl					
	Fe	Cu	Mn	Cd	Ni	Zn
FCN	95,67 a	7,06 ab	248,00 b	0,685 b	0,683 b	0,809 a
FA	100,14 a	7,61 a	200,60 c	0,775 a	0,665 bc	0,927 a
ST	99,44 a	5,54 c	227,56 b	0,493 d	0,541 c	0,861 a
TY	99,63 a	6,78 b	274,68 a	0,613 c	0,886 a	1,195 a

¹Letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente para as fontes a 5%, pelo teste de Turkey.

*FCN= Fosfato da Carolina do Norte; FA=Fosfato de Arad; ST= superfosfato triplo; TY= termofosfato magnésiano

Para o Cu, os valores encontrados no solo estão dentro da faixa de variação para solos do Estado de São Paulo (6 a 46 mg dm⁻³) derivados de sedimentos modernos, entre os quais se incluem Latossolos Vermelho-Amarelos (Malavolta, 1994). Os resultados apresentados indicam que menores teores totais de Cu foram encontrados em tratamentos com o ST. Comparando-se estes teores com os adicionados ao solo em função da composição nos fertilizantes, pode-se afirmar que os mesmos estão condizentes com o baixo teor de Cu encontrado no ST. Observa-se, contudo, que apesar do FCN ter apresentado baixo conteúdo de Cu em sua composição, os teores encontrados no solo foram semelhantes aos outros com maior teor. Isso pode ser devido à sua lenta disponibilização no solo, restando maior quantidade no solo comparado aos outros. (TABELA 3).

Quanto ao Mn, os teores foram mais elevados para TY devido ao seu alto teor no fertilizante. O FCN, no entanto, apresentou teores acima do esperado, o que pode ser decorrência de sua origem (TABELA 3).

Quanto aos teores totais de Cd no solo, os mesmos encontram-se mais baixos para a fonte fosfatada ST, que foi o fertilizante que apresentou teor mais baixo no fertilizante. Os fosfatos naturais (Carolina do Norte e Arad), por sua vez, tiveram os maiores teores, sendo similares entre si. Estes teores encontrados no presente estudo localizam-se muito abaixo da faixa considerada crítica (3 a 8 mg Cd total dm⁻³ de solo) por Kabata-Pendias

& Pendias (1984) e confirmam resultados de diversos experimentos a nível mundial, no qual não foram encontrados aumentos relevantes de Cd no solo devido à utilização de adubações fosfatadas intensas e freqüentes durante vários anos (Mulla et al., 1980; Mortved, 1987).

As parcelas que receberam aplicações de TY, mostraram sempre conteúdo de Ni mais elevado devido ao seu alto teor no fertilizante. Esse teor relativamente alto do Ni é consequência da matéria-prima usada na produção (rocha fosfática e a serpentina do aparelho utilizado para concentração de P).

O comportamento do Zn no solo apresentou variações significativas entre as fontes utilizadas. Para os fosfatos de rocha reativos (FCN e FA), os teores de Zn foram inferiores aos dos tratamentos com as fontes solúveis. Mandal & Mandal (1990), estudando o efeito da aplicação de P nas transformações da fração Zn no solo e na nutrição de arroz, relatou redução no teor de Zn total do solo (Método DBC) à medida que se aumentaram as doses de P aplicadas.

METAIS PESADOS NA PLANTA

Na planta, houve interação significativa entre fontes e doses de fertilizantes fosfatados para Fe, Mn e Zn (TABELA 4). Para Cu e Zn, houve efeito somente de doses. As equações de regressão obtidas foram Cr = 14,54 - 0,077X - 0,0002X² r² = 0,75; Zn = 1,63 - 0,0038X

TABELA 4 - Teores de metais pesados na planta para as diferentes fontes, dentro de doses de P.

	Fe			Mn			Zn		
	50	100	200	50	100	200	50	100	200
	----- mg kg ⁻¹ -----								
FCN	176,86 c	206,25 c	284,15 a	915,90 b	814,30 b	547,00 b	168,32 a	181,98 a	163,16 a
FA	129,92 c	141,87 c	167,53 a	1031,30 b	904,60 b	668,70 b	180,30 a	184,48 a	177,94 a
ST	620,02 a	415,23 b	285,55 a	1612,30 a	1792,90 a	1716,40 a	174,17 a	189,78 a	166,37 a
TY	455,35 b	530,35 a	230,50 a	925,90 b	484,30 b	121,70 c	180,44 a	146,72 b	82,48 b

¹Dentro de cada dose, letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente para as fontes a Duncan 5%.

OBS: Para a dose 0, não houve diferença estatística, em função de os resultados serem os mesmos para todas as fontes.

²FCN= Fosfato da Carolina do Norte; FA=Fosfato de Arad; ST= superfosfato triplo; TY= termofosfato magnesiano

$r^2 = 0,89$. O Cd não apresentou resposta nem a fontes e doses.

As altas concentrações de Mn na planta de arroz, segundo Takahashi (1995), Obata (1995) e Marschner (1995), ao contrário de outras plantas, não acarretam em toxidez deste elemento. Isso ocorre devido ao acúmulo de silício nesta cultura, que pode chegar a níveis de 12%, possibilitar uma melhor distribuição do Mn na planta. Segundo Obata (1995), teores de Mn nas lâminas foliares em torno de 2.000 mg kg⁻¹, que foram observados em solos que apresentavam até 300 mg dm⁻³, não afetam o crescimento do arroz, embora diminuam o rendimento de grãos.

As concentrações médias de Zn, Cu, Ni e Cd no tecido foram respectivamente: 180, 24,56, 2,88 e 0,19 mg kg⁻¹, concordando com Haq et al. (1980) que encontraram teores bastante variáveis de metais pesados em *Beta vulgaris*, os quais foram em média: 220 de Zn; 1,55 de Cd; 4,6 de Ni e 19 mg kg⁻¹ de Cu.

Silva (1994), estudando metais pesados em milho cultivados com diferentes fontes e doses de P, observou os seguintes teores médios na parte aérea: 0,4 mg kg⁻¹ de Cd; 44, 5 mg kg⁻¹ de Zn.

Obata (1995) relata que o arroz apresenta em média teores de Cu aproximados de 5 a 20 mg kg⁻¹ e que excesso de Cu no solo somente causa dano quando o teor solúvel deste elemento for maior que 125 mg dm⁻³. O mesmo autor indica que os teores normais de Zn em arroz situam-se entre 30 a 100 mg kg⁻¹, enfatizando ser esta espécie relativamente tolerante ao seu excesso. Se ocorrer a toxidez, ela aparece na forma de um decréscimo na altura da planta e no número de perfilhos.

As análises de correlação entre teor de metais pesados no solo por diferentes extratores, teor do metal pesado na planta e a produção de matéria seca do arroz não foram significativas, à exceção do Cd ($r^2=0,70$). Do mesmo modo, Haq et al. (1980) citam que o crescimento da planta não foi afetado pelos metais estudados e a produção de matéria seca não foi significativamente correlacionada com as concentrações dos metais nas

plantas. Outrossim, Haq & Miller (1972) relatam não haver correlação entre os teores de Mn e Cu no solo e os teores destes absorvidos pelo milho.

Quanto ao Cu, Alloway (1995) cita que a absorção de Cu pelas plantas não se correlaciona bem com as quantidades existentes na reserva do solo e/ou com quantidades removidas pelos diversos extratores devido à sua atividade química não ser constante na solução do solo. Reisenauer, citado por Alloway (1995), conclui que as análises de solo não correlacionaram bem com a absorção pela planta também para o Mn devido às mudanças na rizosfera que podem reduzir ou aumentar a solubilidade de Mn no solo e sua aquisição pelas raízes. Para o Ni, entretanto, Alloway (1995) relata que a concentração deste nas plantas geralmente reflete a concentração do elemento no solo, especialmente com a fração solúvel.

Portanto, que os metais pesados, micronutrientes ou não, contidos nos adubos comerciais, principalmente fosfatados, usados nas doses adequadas, não elevam os teores destes elementos nos solos e nas plantas a níveis indesejáveis em prazos curto, médio e longo concordando com Malavolta (1994).

CONCLUSÕES

- Os adubos fosfatados não contribuíram de modo relevante para o aumento do teor de metais pesados no solo e na planta.

- Na extração seqüencial, o HCl 6 mol L⁻¹ extraiu maior percentual de metais pesados do solo seguido por Mehlich 1 e H₂O, exceto para Zn.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. London: Blackie Academic & Profissional, 1995. 366p.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F. Efeito de um resíduo da indústria de Zn sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.271-276, 1996.

- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.271-276, 1992.
- 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 no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.83-88, 1982.
- BERTONCINI, E.I. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com solo de esgoto. Piracicaba, 1997. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- GOMES, P.C. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados influenciados por calagem e concentrações de metais em Latossolo Vermelho-Amarelo. Viçosa, 1996. 161p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- HAQ, A.U.; BATES, T.E.; SOON, Y.K. Comparison of extractants of plant-available Zn, Cd, Ni e Cu in contaminated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.772-776, 1980.
- HAQ, A.U.; MILLER, M.H. Prediction of available soil. Zn, Cu and Mn using chemical extractants. **Agronomy Journal**, v.64, p.779-782, 1972.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos**. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1989. 201p.
- MANDAL, B.; MANDAL, L.N. Effect of phosphorus application on transformations of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. **Plant and Soil**, v.121, p.115-123, 1990.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MOREIRA, A. Efeitos de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* L.) e centrosema (*Centrosema pubescens*) e avaliação de extratores. Piracicaba, 1997. 107p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- MORTVED, J.J. Cadmium levels in soils and plants from some long term soil fertility experiments in the United States of America. **Journal of Environmental Quality**, v.16, p.137-142, 1987.
- MULLA, D.J.; PAGE, A.L.; GANJE, T.J. Cadmium accumulation and bioavailability in soils from long term phosphorus fertilization. **Journal of Environmental Quality**, v.9, p.408-412, 1980.
- OBATA, H. Micro Essential elements. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.) **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and agriculture Policy Research Center, 1995. v.2, p.420-433.
- PIPER, C.S. The analysis of the hydrochloric acid extract. In: PIPER, C.S. **Soil and plant analysis**. New York: Interscience Publishers, 1944. cap.8, p.137-153.
- ROCA, J.; POMARES, F. Prediction of available heavy metals by six chemical extractants in a sewage sludge-amended soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.22, p.2119-2136, 1991.
- SHARPLEY, A.N.; MENZEL, R.G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. **Advances in Agronomy**, v.41, p.297-324, 1987.
- SILLANPAA, M. **Micronutrient and the nutrient status of soils: a global study**. Roma: FAO, 1982. 44p. (Soils Bulletin, 48)
- SILVA, A.J. Metais pesados em plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas com diferentes fontes e doses de fósforo, formas de localização de fertilizantes e níveis de calagem. Viçosa, 1994. 135p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.) **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. v.2, p.402-417.

Recebido em 19.03.99