DESSORÇÃO, EXTRAÇÃO E FRACIONAMENTO DE MANGANÊS EM LATOSSOLOS[1]

C. W. A. NASCIMENTO[2], R. L. F. FONTES[3] & J. C. L. NEVES[3]

RESUMO

A pesquisa sobre a avaliação da disponibilidade de manganês tem apresentado resultados discordantes, em grande parte em decorrência dos teores considerados disponíveis pelos diversos extratores. O conhecimento das formas químicas em que se encontra o elemento e suas relações com os teores disponíveis são importantes para a previsão do seu comportamento no sistema solo-planta. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo estudar a influência da calagem e de doses de manganês sobre a dessorção, extração e fracionamento desse elemento em amostras de seis Latossolos. Essas amostras, submetidas ou não à calagem, receberam o manganês nas doses de 0, 16 e 32 mg dm^{-3} e permaneceram incubadas por 30 dias. Terminada a incubação, o Mn foi determinado utilizando-se os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA. As amostras foram submetidas a um fracionamento que separou o Mn na fração trocável (Tr), matéria orgânica (MO), óxido de manganês (OxMn), óxido de ferro amorfo (OxFeA), óxido de ferro cristalino (OxFeC) e residual (R), além dos teores totais. A dessorção foi avaliada mediante extrações sucessivas com resina de troca catiônica. Concluiu-se que o elemento foi retido, principalmente, na fração trocável e matéria orgânica. De modo geral, a calagem provocou redução nos teores trocáveis e aumento nas frações óxidos de ferro amorfo e de manganês. Na ausência da calagem, a ordem de dessorção apresentada foi Tr >> MO > OxFeA, com o Mehlich-3 sendo o melhor extrator para o Mn lábil. A calagem provocou acentuado decréscimo nos teores de Mn dessorvidos. O Mehlich-1 mostrou-se inadequado para a determinação dos teores disponíveis de Mn em solos corrigidos, condição na qual o DTPA foi o extrator mais indicado.

Termos de indexação: calagem, análise de solo, micronutriente.

---

[1] Recebido para publicação em setembro de 2001 e aprovado em abril de 2002.

[2] Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPe. Rua Dom Manuel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife (PE). E-mail: cwan@bol.com.br

[3] Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: renildes@solos.ufv.br

SUMMARY: *DESORPTION, EXTRACTION AND FRACTIONING OF MANGANESE IN OXISOLS*

Conflicting results have been achieved by the evaluation of manganese availability in soil, largely a consequence of varying values denoted as available by different extractants. Knowledge on the element's chemical forms in the soil and on relationships with the available concentrations are important to predict its behavior in the soil-plant system. In this study, six Oxisol soil samples were analyzed to evaluate the influence of liming and different manganese doses on desorption, extraction and fractioning. These soil samples, with and without lime application, were treated with manganese doses (0.0, 16.0 and 32.0 mg dm^{-3}) and then incubated for 30 days. Hereupon, Mn was extracted with Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA and EDTA. and determined by atomic adsorption spectrophotometry. Additionally, the samples were fractionated for determination of manganese in the fractions: exchangeable (Ex), organic matter (OM), manganese oxides (MnOx), amorphous iron oxides (AFeOx), crystalline iron oxides (CFeOx), and residual (Re), as well as the total concentrations of the micronutrient. Micronutrient desorption was evaluated by successive extractions with cation exchange resin. Results showed that Mn was mainly retained in the exchangeable and organic matter fractions. In general, liming reduced exchangeable contents and increased the oxide fractions of amorphous iron and manganese. Without lime, the desorption order for Mn was Ex >> OM > AFeOx, where Mehlich-3 proved to be the best extractor for the determination of labile Mn concentrations. Liming caused a considerable decrease in Mn desorption. Under the same condition, Mehlich-1 proved to be inefficient to determine available Mn contents, while DTPA was the best extractant.

Index terms: liming, soil analysis, micronutrient.

INTRODUÇÃO

A pesquisa sobre a avaliação da disponibilidade de manganês em solos tem, freqüentemente, apresentado resultados discordantes, em grande parte, em decorrência das diferenças nos teores considerados "disponíveis" pelos diversos extratores e suas relações com características dos solos e formas químicas em que se encontra o elemento.

Os processos químicos mais importantes que influenciam o comportamento do Mn no solo e sua disponibilidade para as plantas são os que se relacionam com sua adsorção no solo, aceitando-se, geralmente que as concentrações na solução do solo e, conseqüentemente, a disponibilidade para as plantas são controladas por reações de sorção-dessorção (Harter, 1991; Hogg et al., 1993). Embora numerosos estudos tenham examinado a adsorção de micronutrientes em solos, especialmente de Cu e de Zn (Shuman, 1975; Msaky & Calvet, 1990; Bibak, 1997; Yuan & Lavkulich, 1997; Mesquita, 1998), pouquíssimos têm-se dedicado ao processo reverso: dessorção desses elementos, sendo inexistentes na literatura consultada estudos sobre dessorção de manganês. Como observado por Swift & McLaren (1991), tal situação é paradoxal, uma vez que a dessorção constitui o processo que controla a concentração e a taxa de fornecimento dos micronutrientes para a solução do solo.

Extrações químicas simples têm sido extensivamente utilizadas para medir os teores de Mn em solos. No entanto, como a quantidade do micronutriente extraída varia com o extrator, essas extrações têm apresentado graus variados de sucesso para diagnose de deficiência ou de toxidez desse elemento para as plantas. Segundo Zhu & Alva (1993), a identificação das formas nas quais o micronutriente é extraído pelos diferentes métodos de extração pode ajudar a entender a eficiência de cada método.

Selecionar uma solução química que possa remover teores imediata e potencialmente disponíveis de um nutriente requer entendimento das várias formas do elemento nos solos (Sims & Johnson, 1991). Nesse sentido, estudos que utilizam técnicas de fracionamento, as quais indicam as formas de micronutrientes mais disponíveis às plantas ou que melhor se correlacionam com a disponibilidade indicada por métodos de extração, além de características dos solos e de manejo que influem nessa disponibilidade, exercem papel primordial na previsão do comportamento dos micronutrientes no sistema solo-planta.

O pH do solo, na maioria dos casos, é o mais importante fator de controle da disponibilidade de Mn para as plantas, visto que esse elemento tem sua disponibilidade diminuída pela elevação do pH do solo. O efeito da calagem sobre a disponibilidade

se deve, principalmente, ao incremento dos sítios de adsorção no solo, graças à existência de cargas dependentes de pH, como observado por Alloway (1990), e, por conseguinte, à densidade de cargas negativas presentes na superfície dos colóides. Portanto, para a definição da disponibilidade, é essencial conhecer como o pH influencia a distribuição de Mn entre as frações de solo.

Este trabalho objetivou estudar a influência da calagem e de doses de manganês sobre a dessorção, extração química e fracionamento desse elemento em amostras de Latosssolos.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de seis solos (0-20 m) foram coletadas em municípios do estado de Minas Gerais, selecionados de acordo com os teores diferentes de argila e de carbono orgânico. Esses solos foram classificados como Latossolo Vermelho – LV1 (Sete Lagoas), Latossolo Vermelho – LV2 (São Sebastião do Paraíso), Latossolo Vermelho – LV3 (São Sebastião do Paraíso), Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA1 (João Pinheiro), Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA2 (Viçosa) e Latossolo Vermelho-Amarelo húmico – LVA3 (Viçosa) (Quadro 1).

As amostras dos solos foram homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm de malha; subamostras de 600 cm^3 receberam os tratamentos. Metade das amostras de solo teve sua acidez corrigida para pH (H_2O) na faixa de 6,5-7,0, utilizando-se quantidades de $CaCO_3$ e $MgCO_3$ (produtos p.a.), na proporção molar de 4:1, previamente definidas em ensaios de incubação. Após a adição do corretivo, as amostras foram mantidas úmidas à capacidade de campo por um período de 15 dias, quando receberam três doses de Mn e permaneceram incubadas por um período de 30 dias, com umidade mantida próxima à capacidade de campo. O manganês foi aplicado aos solos, em solução, na forma de $MnCl_2.4H_2O$, nas doses de 0, 16 e 32 mg dm^{-3}. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições.

Após a incubação, foram coletadas subamostras dos solos, as quais, depois de secas ao ar, foram novamente passadas em peneira de 2 mm de malha e analisadas para Mn após extração com Mehlich-1

Quadro 1. Caracterização química e física das amostras de Latossolos, provenientes de Sete Lagoas (LV1), São Sebastião do Paraíso (LV2 e LV3), João Pinheiro (LVA1) e Viçosa (LVA2 e LVA3)

Característica	LV1	LV2	LV3	LVA1	LVA2	LVA3
pH H_2O (1:2,5)	4,6	4,4	4,7	4,0	4,1	4,2
P (mg dm^{-3}) (1)	4,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,9
K (mg dm^{-3}) (1)	20	59	16	21	15	15
Ca^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3}) (2)	1,24	0,55	0,72	0,08	0,02	0,46
Mg^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3}) (2)	0,20	0,11	0,23	0,04	0,02	0,13
Al^{3+} ($cmol_c$ dm^{-3}) (2)	0,50	0,10	0,20	0,90	1,20	1,90
H + Al ($cmol_c$ dm^{-3}) (3)	8,3	11,9	6,6	6,6	8,9	7,6
Zn (mg dm^{-3}) (1)	1,21	0,46	0,37	0,40	0,18	1,14
Fe (mg dm^{-3}) (1)	46,3	53,7	47,4	74,1	108,7	80,1
Cu (mg dm^{-3}) (1)	0,77	6,57	8,73	0,40	0,12	0,22
Mn (mg dm^{-3}) (1)	29,0	39,0	34,0	6,3	2,3	6,1
$CTC_{efetiva}$ ($cmol_c$ dm^{-3})	2,45	0,91	1,19	1,07	1,28	2,53
CTC_{total} ($cmol_c$ dm^{-3})	10,25	12,71	7,59	6,77	8,98	8,23
V (%)	14,5	6,4	13,0	2,5	0,87	7,7
m (%)	20,4	11,0	16,8	84,1	93,81	75,1
C.O. (g kg^{-1}) (4)	28,7	13,92	17,0	8,7	18,6	112,5
P-rem (mg L^{-1}) (5)	7,48	3,61	6,54	28,65	2,76	1,34
SiO_2(dag kg^{-1}) (6)	18,3	4,8	7,4	12,8	19,8	10,2
Al_2O_3(dag kg^{-1}) (6)	31,80	34,11	32,10	16,87	28,85	19,05
Fe_2O_3(dag kg^{-1}) (6)	12,42	33,84	30,41	4,60	12,66	5,37
TiO_2(dag kg^{-1}) (6)	0,71	6,75	6,15	0,51	1,93	0,64
MnO(dag kg^{-1}) (6)	0,03	0,15	0,15	0,01	0,01	0,01
P_2O_5(dag kg^{-1}) (6)	0,21	0,24	0,22	0,03	0,06	0,11
Areia grossa (g kg^{-1}) (7)	110	70	90	400	150	460
Areia fina (g kg^{-1}) (7)	40	230	300	230	100	140
Silte (g kg^{-1}) (7)	140	240	190	50	70	160
Argila (g kg^{-1}) (7)	710	460	420	320	680	240

(1) Mehlich-1. (2) KCl 1 mol L^{-1}. (3) CaOAc 0,5 mol L^{-1}. (4) Walkley-Black (De Filippo & Ribeiro, 1997). (5) Alvarez V. et al. (2000). (6) Ataque sulfúrico (Vettori, 1969). (7) EMBRAPA (1997).

(De Filippo & Ribeiro, 1997), Mehlich-3 (Mehlich, 1984), DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) e EDTA (Lantmann & Meurer, 1982).

As amostras dos solos foram submetidas à extração seqüencial, baseada no método de Shuman (1985), com exceção da fração óxido de ferro amorfo, que foi obtida pelo método de Chao & Zhou (1983). Esse fracionamento separa o Mn nas frações: trocável, ligada à matéria orgânica, óxido de manganês, óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino. Os teores totais do micronutriente foram obtidos por digestão ácida de acordo com Ure (1990). A fração residual foi calculada pela diferença entre os teores totais e a soma das frações anteriores.

Para avaliar a dessorção, uma mesma amostra de solo foi submetida a extrações sucessivas, utilizando-se resina catiônica. Essa técnica possibilita dessorver praticamente toda a forma lábil desse elemento no solo e, desse modo, quantificar o teor que poderia estar disponível às plantas em condições de cultivo. Foi utilizada uma resina trocadora de cátions, fortemente ácida (CR61CZR, Ionics Inc.), em forma de lâmina, nas dimensões de 2,0 x 5,0 cm, saturada com $NaHCO_3$.

Cada amostra de solo (3,000 g) foi submetida à agitação horizontal (150 rpm) em 30 mL de água destilada na presença da resina em um tubo de centrífuga de 50 mL, por um período de 16 h, quando a resina foi retirada, lavada em água destilada com pisseta e colocada em solução extratora que continha 40 mL HCl 1 mol L^{-1} e agitada por 2 h. As extrações sucessivas ocorreram até que a concentração do micronutriente atingisse um patamar de pequenas variações e, portanto, não houvesse dessorção adicional de Mn do solo. Calculou-se a quantidade total dessorvida pelo somatório dos teores obtidos nas diversas extrações. A determinação dos teores de Mn foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores totais de Mn nativo dos solos estudados encontram-se na faixa de 49 (LVA1) a 1.160 mg kg^{-1} (LV3) (Quadro 2) e estão relacionados com o material de origem, sendo encontrados maiores teores nos solos originários de rochas máficas (LV1, LV2 e LV3) e menores nos derivados de granitos ou gnaisses (LVA1, LVA2, LVA3). Desse total, 61 %, em média, encontra-se em forma residual e 10 % em óxidos de ferro cristalinos. Foram encontrados teores relativamente elevados em frações consideradas disponíveis, com 13 % na forma trocável e 11 % em formas ligadas à matéria orgânica, o que indica a baixa afinidade do Mn pelos sítios de adsorção mais específicos do solo (Harter, 1991; McBride, 1994). Isto pode ser corroborado pelo fato de que, independentemente da reação do solo, a fração trocável e a matéria orgânica são predominantes na retenção do elemento (Quadro 2).

Nas amostras de solo submetidas à calagem, o Mn adicionado foi transferido da forma trocável (9 % do Mn total) para a matéria orgânica, os óxidos de ferro amorfo e de manganês, e fração residual. Segundo McBride (1994), os complexos orgânicos formados com o Mn são de pouca estabilidade, uma vez que o complexo formado com o ácido húmico tem caráter inteiramente eletrostático e os ácidos fúlvicos apresentam limitado número de sítios de complexação específicos para o manganês. Esses fatos, aliados à baixa afinidade do elemento para formação de ligações covalentes (Harter, 1991), sugerem reposição para a solução do solo mais fácil e prontamente por parte das frações orgânicas e oxídicas que a esperada no caso de micronutrientes de mais forte ligação com essas frações, como zinco e cobre, por exemplo (Nascimento, 2001).

Os maiores teores de Mn obtidos por todos os extratores utilizados estão relacionados com os teores totais de Mn nos solos, mostrando pouca dependência de características relacionadas com a capacidade-tampão, como deduzido pelos baixos coeficientes de variação obtidos para solos com ou sem calagem (Quadro 3). Os extratores mais sensíveis à mudança de pH foram o DTPA e o Mehlich-3. Esses resultados discordam dos dados obtidos por Abreu et al. (1994), os quais não encontraram diminuição na extração de Mn pelo DTPA com o aumento do pH, mas estão de acordo com os obtidos por Shuman & Anderson (1974), que observaram esta dependência. Nos solos com calagem, os teores de Mn recuperados por todos os extratores foram correlacionados de forma positiva e significativa ($P < 0,01$) com os teores de matéria orgânica ($r = 0,85$ a $0,97$), indicando sua participação na disponibilização de Mn em solos com pH mais elevado.

Vale destacar que o Mehlich-1 extraiu maiores teores de Mn nos solos com calagem. Isso ocorreu para todos os solos e doses, e mesmo para os solos onde não houve adição de Mn (Quadro 3). Esse comportamento inesperado poderia ser explicado pela distribuição do Mn entre as frações do solo (Quadro 2). Em solos ácidos, 21,8 mg kg^{-1} de Mn, em média, estavam ligados a óxidos de ferro cristalinos, os quais possivelmente são menos susceptíveis ao ataque ácido do Mehlich-1. Quando foi feita a calagem, os teores de Mn nos óxidos cristalinos diminuíram para apenas 5,6 mg kg^{-1}, enquanto, nos óxidos de ferro amorfo e de manganês e na fração orgânica, aumentaram de 7,7, 15,6 e 30,0 mg kg^{-1} para, respectivamente, 16,8, 19,1 e 35,1 mg kg^{-1}. Ou seja, em pH mais alto o Mn encontrou-se em formas de mais fácil dissolução pela solução ácida, mas não extraíveis pelos outros extratores, os quais nos solos com calagem extraíram principalmente o Mn ligado

Quadro 2. Concentrações de manganês nas frações: trocável (Mn-Tr), matéria orgânica (Mn-MO), óxido de manganês (Mn-OxMn), óxido de ferro amorfo (Mn-OxFeA), óxido de ferro cristalino (Mn-OxFeC), residual (Mn-R), total (Mn-T) e percentagem relativa em cada uma dessas frações em relação ao manganês total, para três doses de manganês em dois níveis de calagem

Solo	Dose	Mn-Tr		Mn-MO		Mn-OxMn		Mn-OxFeA		Mn-OxFeC		Mn-R		Mn-T
	mg dm^{-3}	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}
						Sem calagem								
LV1	0	29,2	18	22,6	14	6,3	4	9,5	6	56,9	34	41,4	25	165,7
	16	51,3	30	23,0	13	5,3	3	6,9	4	41,2	24	46,2	27	173,9
	32	67,6	35	26,6	14	5,4	3	7,7	4	46,2	24	39,8	21	193,4
LV2	0	16,3	2	14,5	1	33,9	3	11,0	1	66,0	6	898,7	86	1040
	16	46,5	4	19,8	2	29,5	3	9,8	1	58,8	5	924,9	85	1089
	32	65,5	6	27,3	2	27,4	2	11,1	1	66,8	6	938,0	83	1136
LV3	0	30,3	3	80,4	7	53,7	5	19,6	2	1,8	0	974,8	84	1160
	16	42,7	4	77,9	7	47,8	4	20,6	2	1,7	0	943,9	83	1134
	32	61,1	6	72,6	7	57,1	6	20,4	2	1,7	0	796,9	79	1009
LVA1	0	6,7	14	1,1	2	0,9	2	0,6	1	3,9	8	35,7	73	48,9
	16	26,1	44	1,8	3	0,9	2	0,6	1	3,7	6	25,5	43	58,6
	32	38,7	61	5,3	8	1,0	2	1,1	2	9,5	15	8,2	13	63,9
LVA2	0	14,3	19	3,6	5	0,1	0	0,5	1	2,7	3	54,6	72	75,9
	16	25,5	31	4,9	6	0,1	0	0,4	1	2,7	3	47,9	59	81,6
	32	41,7	42	6,4	6	0,1	0	0,4	0	3,3	3	47,8	48	99,8
LVA3	0	20,4	20	35,4	35	2,8	3	3,4	3	9,9	10	27,9	28	99,7
	16	55,9	36	51,8	33	3,8	2	6,8	4	7,9	5	30,8	20	157,1
	32	110,3	49	65,8	29	4,3	2	7,5	3	7,4	3	28,9	13	224,2
Média		41,7	23	30,0	11	15,6	2,5	7,7	2	21,8	9	328,4	52	445
C.V.		3,7		6,3		12,9		12,2		10,6		10,1		7,4
						Com calagem								
LV1	0	15,1	9	35,5	21	5,2	3	27,1	16	10,6	6	72,2	44	165,7
	16	22,5	13	60,9	35	11,7	7	25,4	15	12,6	7	40,7	23	173,9
	32	28,6	15	76,0	39	14,3	7	27,3	14	15,3	8	31,9	16	193,4
LV2	0	6,7	1	24,8	2	59,1	6	20,7	2	0,4	0	928,3	89	1040
	16	7,6	1	31,1	3	63,4	6	21,7	2	0,3	0	964,9	89	1089
	32	9,3	1	37,9	3	84,7	7	21,9	2	0,4	0	981,8	86	1136
LV3	0	11,6	1	73,1	6	25,3	2	27,8	2	3,1	0	1019,1	88	1160
	16	18,8	2	83,6	7	23,6	2	27,1	2	3,1	0	977,8	86	1134
	32	22,9	2	86,7	9	23,7	2	27,9	3	1,5	0	846,3	84	1009
LVA1	0	0,3	1	0,3	1	1,6	3	3,0	6	7,5	15	36,2	74	48,9
	16	4,5	8	1,2	2	3,6	6	4,5	8	6,1	10	38,7	66	58,6
	32	9,2	14	8,5	13	4,5	7	6,2	10	6,5	10	29,0	45	63,9
LVA2	0	0,5	1	2,0	3	0,7	1	2,4	3	1,4	2	68,9	91	75,9
	16	15,5	19	7,4	9	1,7	2	2,6	3	1,7	2	52,7	65	81,6
	32	29,7	30	13,1	13	2	2	4,3	4	2,0	2	48,7	49	99,8
LVA3	0	5,5	6	17,1	17	4,2	4	12,4	12	9,3	9	51,2	51	99,7
	16	23,8	15	31,4	20	6,4	4	18,6	12	9,5	6	67,4	43	157,1
	32	41,1	18	41,4	18	8,2	4	21,4	10	9,2	4	102,9	46	224,2
Média		15,2	9	35,1	12	19,1	4	16,8	7	5,6	5	353,3	63	445
C.V. (%)		7,3		6,7		8,2		8,4		10,1		5,0		7,4

às formas: trocável e matéria orgânica. Isto indica uma inadequabilidade do uso do Mehlich-1 para avaliação da disponibilidade de Mn em solos submetidos à calagem.

Nos solos não submetidos à calagem, o Mn encontrou-se, predominantemente, em forma trocável (Quadro 2). Nessa condição, o Mehlich-3 foi o extrator que apresentou a melhor correlação com essa fração (Quadro 4). No entanto, para a fração matéria orgânica, a correlação com esse extrator foi menor que as obtidas pelo Mehlich-1 e EDTA. Quando feita a calagem, condição em que a matéria orgânica e os óxidos de ferro amorfo e de manganês passam, juntamente com a fração trocável, a reter o

Quadro 3. Manganês extraído por Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA de amostras de seis Latossolos de Minas Gerais em três doses de manganês e dois níveis de calagem e as respectivas declividades Mn recuperado/Mn adicionado (mg dm^{-3}/ mg dm^{-3})

Solo	Dose	Mehlich-1		Mehlich-3		DTPA		EDTA	
	mg dm^{-3}	mg dm^{-3}	Decliv.	mg dm^{-3}	Decliv.	mg dm^{-3}	Decliv.	mg dm^{-3}	Decliv.
				Sem calagem					
LV1	0	39,83		28,42		21,01		33,67	
	16	55,41		47,46		42,21		59,42	
	32	63,28	0,73	65,66	1,16	54,41	1,04	72,65	1,22
LV2	0	35,98		26,82		15,19		61,12	
	16	48,81		50,88		38,65		77,89	
	32	66,96	0,97	74,29	1,48	60,41	1,41	101,82	1,27
LV3	0	53,33		44,08		21,71		108,74	
	16	74,57		65,17		33,52		135,36	
	32	92,88	1,23	72,12	0,88	48,54	0,84	147,86	1,22
LVA1	0	7,83		5,63		5,86		3,63	
	16	20,28		23,03		22,01		32,35	
	32	35,33	0,86	44,84	1,22	41,05	1,10	55,38	1,62
LVA2	0	3,43		1,38		1,13		1,38	
	16	13,16		14,38		10,70		20,50	
	32	23,56	0,63	30,47	0,91	21,47	0,73	36,90	1,11
LVA3	0	17,84		7,92		1,38		5,60	
	16	31,02		32,70		5,72		37,10	
	32	45,56	0,87	53,02	1,41	13,36	0,37	65,75	1,89
Média		40,50	0,88	38,24	1,18	25,46	0,91	58,73	1,39
C.V. (%)		5,06		4,81		7,75		5,54	
				Com calagem					
LV1	0	50,10		14,67		8,17		17,40	
	16	68,05		25,89		13,86		41,38	
	32	82,17	1,00	42,39	0,87	18,68	0,33	56,23	1,21
LV2	0	81,04		28,25		4,91		42,05	
	16	102,23		41,35		5,13		65,50	
	32	103,48	0,70	53,06	0,77	7,16	0,07	86,42	1,39
LV3	0	87,06		36,26		8,21		109,38	
	16	97,91		45,16		12,49		132,09	
	32	105,43	0,57	59,74	0,73	15,74	0,23	150,28	1,28
LVA1	0	10,33		5,16		1,63		2,23	
	16	29,67		17,01		7,10		31,30	
	32	50,08	1,24	33,31	0,88	10,01	0,26	52,17	1,56
LVA2	0	4,80		0,12		0,61		1,52	
	16	19,46		16,13		8,48		17,78	
	32	34,92	0,94	28,41	0,88	20,10	0,61	39,46	1,18
LVA3	0	29,81		6,67		5,90		3,98	
	16	60,30		30,05		29,64		38,01	
	32	92,38	1,95	55,14	1,51	53,69	1,49	71,88	2,12
Média		61,62	1,06	29,93	0,94	12,86	0,49	53,28	1,46
C.V. (%)		3,19		5,72		11,23		6,39	

Mn, as melhores correlações com essas frações foram obtidas pelo Mehlich-1. O DTPA, com exceção da fração trocável nos solos com calagem, foi o extrator que apresentou as menores correlações com as frações de manganês.

Em relação à dessorção (Quadro 5), para os solos não submetidos à calagem, os maiores teores recuperados pela resina, nas doses de 0 e 16 mg dm^{-3}, foram obtidos para o LV1 e, na doses de 32 mg dm^{-3}, para o LVA3. Com a calagem, a resina dessorveu mais Mn do LV3 (doses 0 e 16 mg dm^{-3}) e do LVA3 (dose 32 mg dm^{-3}). Comparando esses dados com os do fracionamento (Quadro 2), percebe-se que o Mn recuperado pela resina foi quase inteiramente composto pelo Mn trocável, uma vez que os solos que mostraram maior dessorção foram os mesmos que

Quadro 4. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de manganês por Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA e as frações desse micronutriente (Tr - trocável, MO - matéria orgânica, OxMn - óxido de manganês, OxFeA - óxido de ferro amorfo, OxFeC - óxido de ferro cristalino, R - residual e T - total) de amostras de seis solos, para dois níveis de calagem

Extrator	Calagem	Mn-Tr	Mn-MO	Mn-OxMn	Mn-OxFeA	Mn-OxFeC	Mn-R	Mn-T
Mehich -1	S/C	0,58**	0,68**	0,73**	0,84**	0,28*	0,62**	0,68**
	C/C	0,41**	0,78**	0,68**	0,85**	-0,12 NS	0,73**	0,78**
Mehich-3	S/C	0,73**	0,56**	0,57**	0,68**	0,30*	0,53**	0,60**
	C/C	0,59**	0,69**	0,52**	0,65**	-0,14 NS	0,58**	0,63**
DTPA	S/C	0,46**	0,15 NS	0,39**	0,43**	0,45**	0,41**	0,45**
	C/C	0,87**	0,27 NS	-0,20 NS	0,26 NS	0,35**	-0,23 NS	-0,17 NS
EDTA	S/C	0,48**	0,72**	0,86**	0,89**	0,13 NS	0,77**	0,81**
	C/C	0,36**	0,81**	0,43**	0,65**	-0,30**	0,76**	0,80**

*; **e NS: Significativos a 5 e 1 %, respectivamente, e não-significativo.

Quadro 5. Manganês recuperado por extrações sucessivas com resina catiônica para três doses do elemento aplicadas a amostras de Latossolos, para dois níveis calagem

Solo	Dose	Extração						Total
		1	2	3	4	5	6	
	mg dm^{-3}	mg kg^{-1}						
		Sem calagem						
LV1	0	12,96	8,69	4,49	3,48	1,48	0,67	31,77
	16	28,39	13,84	6,70	3,31	1,64	0,75	54,64
	32	41,27	13,42	8,41	4,19	1,57	0,56	69,43
LV2	0	5,69	5,56	3,33	1,68	0,63	0,24	17,13
	16	19,16	14,25	7,11	3,71	1,63	0,69	46,55
	32	39,24	16,62	8,65	4,39	1,91	1,00	71,81
LV3	0	13,44	7,98	2,48	0,00	0,00	0,00	23,91
	16	30,97	11,49	5,19	1,35	0,00	0,00	49,00
	32	48,65	13,05	6,67	2,07	0,72	0,00	71,16
LVA1	0	2,45	1,88	0,70	0,00	0,00	0,00	5,03
	16	11,39	6,73	2,60	0,64	0,00	0,00	21,37
	32	27,89	8,63	3,40	1,10	0,00	0,00	41,01
LVA2	0	1,31	0,78	0,09	0,00	0,00	0,00	2,18
	16	15,49	3,44	1,06	0,00	0,00	0,00	19,99
	32	34,87	2,68	0,87	0,00	0,00	0,00	38,42
LVA3	0	9,09	1,70	1,92	0,42	0,00	0,00	13,13
	16	37,52	4,55	3,98	1,68	0,50	0,00	48,23
	32	68,61	7,39	5,79	2,42	4,52	0,49	89,22
		Com calagem						
LV1	0	1,57	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40
	16	2,88	1,12	0,08	0,00	0,00	0,00	4,09
	32	4,70	1,63	0,77	0,00	0,00	0,00	7,10
LV2	0	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
	16	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
	32	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
LV3	0	2,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,73
	16	6,12	0,63	0,15	0,00	0,00	0,00	6,90
	32	9,10	1,88	1,01	0,57	0,00	0,00	12,57
LVA1	0	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
	16	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06
	32	1,91	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68
LVA2	0	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
	16	4,98	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20
	32	12,20	2,83	2,42	0,00	0,00	0,00	17,45
LVA3	0	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
	16	4,99	0,89	0,70	0,13	0,00	0,00	6,70
	32	9,93	4,23	3,68	1,40	0,00	0,00	19,24

retiveram Mn em maior proporção na fração trocável. Com o aumento do pH, percebeu-se acentuada diminuição dos teores de Mn dessorvidos para todos os solos e doses, indicando a passagem do elemento para formas de menor solubilidade, precipitadas ou ligadas a óxidos, como indicado pelo fracionamento.

Nos solos sem calagem, a melhor correlação entre os teores dessorvidos e os obtidos pelos extratores foi para o Mehlich-3, enquanto, após a calagem, o DTPA foi o extrator que estimou mais satisfatoriamente o Mn dessorvido pela resina (Quadro 6). Isso deveu-se ao fato de a capacidade de cada um desses extratores, em cada situação, ser mais bem correlacionada, com o Mn trocável (Quadro 4) e, portanto, representar o teor lábil do elemento. O Mehlich-1 não se correlacionou com o Mn dessorvido nos solos que receberam calagem, novamente indicando não ser esse extrator capaz de discriminar os teores de Mn lábil em solos com a acidez corrigida.

CONCLUSÕES

1. Com a aplicação do manganês nos solos, o elemento foi retido, principalmente, na fração trocável e matéria orgânica. De modo geral, a calagem provocou redução nos teores trocáveis e aumento nas frações óxidos de ferro amorfo e de manganês.

2. A ordem de dessorção apresentada pelo manganês, na ausência de calagem, foi Tr >> MO > OxFeA. A calagem provocou acentuado decréscimo nos teores de Mn dessorvidos.

3. O Mehlich-1 mostrou-se inadequado para a determinação dos teores disponíveis de Mn em solos corrigidos, condição na qual o DTPA foi o extrator mais indicado.

Quadro 6. Correlações lineares simples entre os teores totais de Mn dessorvidos, as frações e teores extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA, em seis amostras de Latossolos submetidos a três doses de manganês, sem e com calagem

Fração e extrator	Sem calagem	Com calagem
Trocável	0,95**	0,89**
M.O.	0,49**	0,21*
ÓxidoMn	0,23^{NS}	-0,27*
ÓxidoFeA	0,41**	0,14^{NS}
ÓxidoFeC	0,22^{NS}	0,10^{NS}
Residual	0,18^{NS}	-0,11^{NS}
Total	0,27^{NS}	-0,07^{NS}
Mehlich-1	0,75**	0,25^{NS}
Mehlich-3	0,87**	0,51**
DTPA	0,67**	0,82**
EDTA	0,63**	0,36**

*; **e ^{NS}: Significativos a 5 e 1 %, respectivamente e não-significativo.

LITERATURA CITADA

ABREU, C.A.; NOVAIS, R.F.; RAIJ, B. van & RIBEIRO, A.C. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extratores químicos. R. Bras. Ci. Solo 18:91-99, 1994.

ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. New York, John Wiley & Sons, 1990. p.29-39.

ALVAREZ V, V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:21-32, 2000.

BIBAK, A. Competitive sorption of copper, nickel, and zinc by an Oxisol. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 28:927-937, 1997.

CHAO, T.T. & ZHOU, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:224-232, 1983.

De FILIPPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia – 2ª edição). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVERDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. Micronutrients in the agriculture, Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.59-88.

HOGG, D.S.; McLAREN, R.G. & SWIFT, R.S. Desorption of copper from some New Zealand Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:361-366, 1993.

LANTMANN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. R. Bras. Ci. Solo, 6:131-135, 1982.

LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sc. Soc. Am. J., 42:421-428, 1978.

McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1994. 406p.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 15:1409-1416, 1984.

MESQUITA, M.E. Copper and zinc competitive adsorption in schistic and granitic acid soils. Agrochimica, 17:235-244, 1998.

MSAKY, J.J. & CALVET, R. Adsorption behavior of copper and zinc in soils: influence of pH on adsorption characteristics. Soil Sci., 150:513-522, 1990.

NASCIMENTO, C.W.A. Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 60 p. (Tese de Doutorado)

SHUMAN, L.M. & ANDERSON, O.E. Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentrations in wheat and soybeans. Soil Sc. Soc. Am. Proc., 38:788-790, 1974.

SHUMAN, L.M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:454-458, 1975.

SHUMAN, L.M. Fractionation method for soil microelements. Soil Sci., 140:11-22, 1985.

SIMS, J.T. & JOHNSON, G.V. Micronutrients soil tests. In: MORTVERDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. Micronutrients in agriculture, Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.427-472.

SWIFT, R.S. & McLAREN, R.G. Micronutrient sorption by soils and soil colloids. In: BOLT, G.H., ed. Interactions at the soil colloid-soil solution interface. Dordrecht, Kluwer Academic, 1991. p.257-292.

URE, A. M. Methods of analysis for heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. New York, John Wiley & Sons, 1990. p.40-80.

VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7)

YUAN, G. & LAVKULICH, L.M. Sorption behavior of copper, zinc, and cadmium in response to simulated changes in soils properties. Comm. Soil Sci. Plant. Anal., 28:571-587, 1997.

ZHU, B. & ALVA, A.K. The chemical forms of Zn and Cu extractable by Mehlich-1, Mehlich-3, and ammonium bicarbonate-DTPA extractions. Soil Sci., 156:251-258, 1993.