

FORMAS DE MANGANÊS E FERRO EM SOLOS DE REFERÊNCIA DE PERNAMBUCO⁽¹⁾

Abel Batista de Oliveira⁽²⁾ & Clístenes Williams
Araújo do Nascimento⁽³⁾

RESUMO

Solos de Referência compõem um conjunto de classes de solos representativo de determinada região. O conhecimento de características desses solos pode ser utilizado na solução de problemas de manejo em solos similares. O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores disponíveis por diferentes extratores e as frações de Mn e Fe nos Solos de Referência de Pernambuco, visando avaliar a capacidade destes solos em suprir esses elementos para as plantas, bem como a relação entre diversos extratores do “disponível” e as formas dos micronutrientes nos solos. Os teores dos micronutrientes foram determinados com os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA nas amostras dos dois primeiros horizontes dos solos. As amostras foram também extraídas, seqüencialmente, para separar os elementos nas frações: trocável, matéria orgânica, óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino. De acordo com os resultados, a fração trocável e a matéria orgânica foram as principais responsáveis pela retenção e disponibilidade de Mn nos solos estudados. Quanto ao Fe, a fração matéria orgânica foi responsável pelos teores disponíveis, considerando os teores muito baixos na forma trocável. Os teores disponíveis de Mn e Fe na maioria dos Solos de Referência de Pernambuco foram considerados de médio a alto, com pouco potencial para deficiências a curto e médio prazo. Os extratores Mehlich-1 e DTPA apresentaram as melhores correlações com as formas mais biodisponíveis de Mn e Fe e foram considerados adequados para avaliação da disponibilidade desses elementos nos solos do Estado.

Termos de indexação: micronutrientes, fracionamento, solos tropicais.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Recebido para publicação em agosto de 2004 e aprovado em dezembro de 2005.

⁽²⁾ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife (PE). E-mail: abelbt@bol.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Agronomia, UFRPE. Pesquisador do CNPq. E-mail: cwanascimento@yahoo.com

SUMMARY: MANGANESE AND IRON FRACTIONS IN BENCHMARK SOILS OF PERNAMBUCO STATE, BRAZIL

Benchmark soils are a collection of soil orders that represents a particular geographical region. Knowledge on their properties and behavior may be applied to solve management problems of other soils with similar properties. The present study was carried out to determine the Mn and Fe available concentration by different extractants and their distribution among soil fractions in benchmark soils of Pernambuco State, Brazil. It was also aimed at studying the relationship between routine extractants and micronutrient forms in the soils. Manganese and iron concentrations were determined in the first two soil horizons by Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA, and EDTA extractants. In addition, the soil samples were sequentially extracted to determine the elements content in exchangeable, organic matter and amorphous and crystalline iron oxides fractions. The results showed that the exchangeable and organic matter fractions were mostly responsible for the retention and availability of Mn in the soils, while the organic matter fraction was mainly related to Fe available contents due to its low concentration in the exchangeable fraction. In general, available concentration of Mn and Fe in most benchmark soils of Pernambuco are medium to high, and deficiencies are not expected in short and medium terms. Mehlich-1 and DTPA presented the best correlations with most bioavailable forms of Mn and Fe and, as a result, they may be properly used for an assessment of the availability of such elements in soils of Pernambuco.

Index terms: micronutrients, fractionation, tropical soils.

INTRODUÇÃO

Solos de Referência compõem um conjunto de classes de solos representativo de determinada região e, por esta razão, constituem valioso material de pesquisa em decorrência das informações que podem ser inseridas, possibilitando a montagem de um banco de dados a ser utilizado na solução de problemas de manejo de solos semelhantes. Comparativamente ao referencial, esses dados podem também ser usados para estudos dos efeitos do uso do solo sobre suas características químicas e físicas. No Brasil, Pernambuco foi o Estado pioneiro na catalogação de Solos de Referência (Ribeiro et al., 1999), os quais foram coletados em todo território estadual, constituindo hoje importante material de pesquisa sobre os solos do Estado.

A utilização de micronutrientes na agricultura em Pernambuco tem sido historicamente posta em segundo plano. No entanto, como destacado por Fontes et al. (1997), o grande desenvolvimento técnico que a agricultura vem alcançando, a maior pureza dos fertilizantes, o desenvolvimento de variedades de culturas com alta produtividade que cada vez mais aumentam a exportação de micronutrientes dos solos, além da considerável expansão das áreas agrícolas, podem acarretar deficiências de micronutrientes. Portanto, a manutenção de teores disponíveis adequados desses micronutrientes no solo é fundamental para garantia de altas produtividades.

Diversos métodos de extração são empregados na quantificação dos teores disponíveis de micronutrientes no solo, porém, muitas vezes, os

valores encontrados variam amplamente entre os extratores. A variação da quantidade extraída deve-se às diferentes maneiras de atuação dos diferentes extratores e às características do solo que afetam a disponibilidade dos micronutrientes (Pickering, 1981; Nascimento et al., 2002). Para o Estado de Pernambuco, não existe ainda um método considerado padrão para avaliar a disponibilidade de micronutrientes. No entanto, o Mehlich-1, mais por conveniência que por embasamento em resultados de pesquisa, tem sido tradicionalmente utilizado nos laboratórios de rotina.

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). Estas diferentes formas podem ser separadas utilizando técnicas de fracionamento que permitem inferir sobre a concentração do elemento em diferentes frações do solo e suas relações com os resultados obtidos por métodos de extração rotineiros.

A determinação dos micronutrientes Mn e Fe nas diversas frações dos Solos de Referência de Pernambuco é muito importante para não só avaliar a capacidade destes solos em suprir esses elementos para as plantas a curto e longo prazo, mas também a fertilidade e potencialidade desses solos em responder à adição destes elementos via adubação ou, ainda, prever deficiências e, ou, toxidez e efeito de manejo sobre os teores de micronutrientes. Estudo semelhante para os outros micronutrientes catiônicos (Cu e Zn) foi realizado (Nascimento et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores disponíveis por diferentes extratores e as frações de

Mn e Fe nos Solos de Referência de Pernambuco, visando avaliar a capacidade destes solos em suprir esses elementos para as plantas, bem como a relação entre diversos extratores do “disponível” e as formas dos micronutrientes nos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os Solos de Referência de Pernambuco foram selecionados com base no levantamento pedológico realizado no Estado (Jacomine et al., 1973), considerando a expressão geográfica e a potencialidade para o uso agrícola, e estão distribuídos nas três re-

giões fisiográficas do Estado: Zona da Mata, Agreste e Sertão. Esta coleção de solos engloba 13 das 14 classes de solos existentes no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Quadro 1).

Amostras dos dois primeiros horizontes dos 35 perfis pertencentes à coleção dos solos de Referência do Estado de Pernambuco foram analisadas, química e fisicamente (Ribeiro et al., 1999), apresentando grande amplitude de variação em relação à acidez, teor de CO e textura (Quadros 2 e 3).

Nas amostras dos dois primeiros horizontes dos solos, secas e passadas em peneira de 2 mm, procedeu-se à extração da fração “disponível”, em

Quadro 1. Classe de solo, município de coleta, cobertura vegetal e região fisiográfica dos Solos de Referência do Estado de Pernambuco

Solo	Classe de Solo	Município	Cobertura Vegetal
Zona da Mata			
1	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	Itambé	Floresta tropical
2	Argissolo Amarelo distrófico latossólico	Goiana	Floresta tropical
3	Espodossolo Ferrocárbico órtico dúrico	Goiana	Pomar de sapotizeiro
4	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	Moreno	Floresta tropical
5	Chernossolo Argilúvico órtico típico	Nazaré da Mata	Cana-de-açúcar
6	Latossolo Amarelo coeso típico	Rio Formoso	Floresta tropical
7	Nitossolo Vermelho distróférico típico	Cabo	Gramíneas, araquá, sapê
8	Nitossolo Vermelho eutrófico típico	Camutanga	Cana-de-açúcar
9	Plintossolo Argilúvico distrófico abrupto	Goiana	Cana-de-açúcar
10	Argissolo Amarelo distrófico fragipânico	Aliança	Mandioca
11	Organossolo Háplico hêmico típico	Ipojuca	Cana-de-açúcar
12	Gleissolo Háplico eutrófico típico	Ipojuca	Cana-de-açúcar
Agreste			
13	Neossolo Regolítico distrófico típico	São Caetano	Gramíneas e nativas
14	Planossolo Háplico eutrófico arênico	São Caetano	Gramíneas e nativas
15	Planossolo Háplico eutrófico solódico	Cachoeirinha	Gramínea
16	Argilossolo Vermelho câmbico	Riacho das Almas	Caatinga/ jurema branca
17	Neossolo Regolítico distrófico léptico	Caruaru	Caatinga hiperxerófila
18	Argissolo Amarelo distrófico abrupto plíntico	Vertentes	Milho e feijão
19	Planossolo Nátrico Sáfico típico	Jataúba	Caatinga
20	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico húmico	Caruaru	Floresta tropical
21	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto	Jupi	Fava e milho
22	Argissolo Amarelo distrófico abrupto fragipânico	Garanhuns	Mata com corte seletivo
23	Neossolo Litólico eutrófico típico	Caruaru	Caatinga hiperxerófila
Sertão			
24	Argissolo Amarelo eutrófico abrupto plíntico	Petrolina	Caatinga hiperxerófila
25	Planossolo Nátrico sáfico típico	Petrolina	Caatinga hiperxerófila
26	Neossolo Quartzarênico órtico típico	Petrolina	Caatinga hiperxerófila
27	Neossolo Flúvico sólico sódico	Ibimirim (IPA)	Veg. rasteira e atriplex sp
28	Neossolo Flúvico sódico Salino	Ibimirim	Tomate
29	Neossolo Quartzarênico órtico típico	Ibimirim	Caatinga hiper arbustiva
30	Luvissolo Crômico órtico típico	Cabrobó	Caatinga hiperxerófila
31	Latossolo Amarelo distrófico argissólico	Trindade	Caatinga hiper. secundária
32	Cambissolo Háplico eutrófico latossólico	Sta. Cruz. da Baixa Verde	Gramíneas
33	Vertissolo Cromado órtico chernossólico	Bodocó	Caatinga hiper. secundária
34	Argissolo Amarelo eutrófico plíntico	Sta. Cruz da Venerada	Caatinga
35	Neossolo Litólico eutrófico típico	Verdejante	Caatinga hiperxerófila

Quadro 2. Características químicas e físicas do horizonte superficial dos Solos de Referência do Estado de Pernambuco

Solo	Prof.	pH H ₂ O	Arg ⁽¹⁾	Sil ⁽¹⁾	Af ⁽¹⁾	Ag ⁽¹⁾	CO ⁽¹⁾	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (2)	K ⁺ (3)	Na ⁺ (3)	Al ³⁺ (2)	P ⁽³⁾	P-rem ⁽⁴⁾
	cm	(1:2,5)	g kg ⁻¹				cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	mg L ⁻¹	
Zona da Mata													
1	0-40	4,9	359	190	162	290	35,2	2,9	0,08	0,07	2,7	0,0	13,4
2	0-14	4,7	95	77	232	596	48,9	3,7	0,20	0,13	0,4	9,0	53,7
3	0-15	5,1	65	40	302	593	7,8	1,1	0,03	0,03	0,5	1,0	37,1
4	0-13	4,2	325	280	204	191	27,3	0,9	0,24	0,12	2,3	7,0	31,7
5	0-30	4,8	288	214	239	259	24,6	5,3	0,27	0,16	0,2	31,0	41,5
6	0-24	4,0	428	74	179	319	22,4	0,4	0,10	0,06	1,6	3,0	27,7
7	0-14	4,9	667	213	53	67	26,2	1,6	0,16	0,15	0,6	6,0	22,9
8	0-17	6,0	282	338	230	151	16,0	2,7	0,58	0,07	0,2	3,0	46,0
9	0-15	5,6	110	167	334	389	10,3	0,7	0,19	0,09	0,2	6,0	55,5
10	0-28	5,8	135	73	292	500	7,2	1,5	0,08	0,05	0,2	38,0	56,6
11	0-20	4,7	405	373	87	135	380,0	10,6	0,14	0,14	6,5	6,0	16,0
12	0-20	5,8	713	226	21	40	160,0	17,0	0,17	0,04	0,2	85,0	40,7
Agreste													
13	0-20	5,4	90	70	50	790	13,2	1,4	0,34	0,08	0,3	5,0	60,0
14	0-15	7,1	100	80	160	660	14,0	2,4	0,64	0,17	0,0	32,0	60,0
15	0-11	5,5	170	190	310	330	10,9	4,8	0,49	0,27	0,2	32,0	56,2
16	0-16	5,1	233	133	98	537	50,0	1,3	0,22	0,16	0,2	3,0	31,3
17	0-15	5,6	130	170	180	520	28,0	4,2	0,51	0,12	0,1	13,0	37,9
18	0-9	6,5	110	40	140	710	12,4	0,9	0,35	0,08	0,0	21,0	36,9
19	0-14	5,6	180	190	380	250	7,0	5,8	0,42	0,22	0,1	30,0	35,5
20	0-12	4,6	390	90	190	330	40,5	1,7	0,24	0,07	2,2	5,0	17,1
21	0-12	5,5	80	60	150	710	12,4	2,7	0,28	0,07	0,0	25,0	60,0
22	0-15	4,6	280	60	110	550	35,0	0,6	0,09	0,01	1,1	3,0	45,9
23	0-6	7,4	134	214	220	432	40,0	11,6	0,63	0,12	0,0	455,3	60,0
Sertão													
24	0-6	6,4	104	115	537	244	7,7	3,0	0,42	0,11	0,1	3,0	57,2
25	0-15	5,6	95	157	704	44	5,4	1,8	0,14	0,28	0,1	4,0	57,7
26	0-15	6,3	78	18	245	659	12,4	2,0	0,16	0,04	0,1	9,0	59,0
27	0-11	7,6	347	340	283	29	8,5	14,6	0,66	18,50	0,0	239,0	51,4
28	0-25	8,7	246	262	378	113	8,5	18,2	1,26	0,97	0,0	102,0	52,6
29	0-11	4,8	66	20	105	809	22,5	1,5	0,12	0,04	0,3	6,0	58,7
30	0-23	8,6	239	172	271	319	9,3	9,5	0,38	0,13	0,0	24,0	48,6
31	0-20	5,0	156	63	270	512	14,0	1,4	0,24	0,03	0,4	3,0	55,7
32	0-15	6,3	270	305	244	181	19,4	5,9	0,52	0,09	0,1	12,0	43,7
33	0-25	5,9	393	189	178	240	11,6	19,8	0,35	0,02	0,0	3,0	35,9
34	0-8	6,5	116	47	292	545	7,7	4,0	0,38	0,01	0,1	0,5	60,0
35	0-8	6,1	221	354	262	163	14,8	9,4	0,31	0,03	0,0	11,0	59,0

⁽¹⁾ Embrapa (1997). ⁽²⁾ KCl 1 mol L⁻¹ (DeFelipo & Ribeiro, 1997). ⁽³⁾ Mehlich-1 (DeFelipo & Ribeiro, 1997). ⁽⁴⁾ P remanescente (Álvarez V. et al., 2000). Arg = Argila; Af = areia fina; Ag = Areia grossa.

triplicata, para cada uma das amostras, utilizando-se os extratores Mehlich-1 (DeFelipo & Ribeiro, 1997), Mehlich-3 (Mehlich, 1984), DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) e EDTA (Lantmann & Meurer, 1982). Foi utilizada uma concentração menor de EDTA (0,04 mol L⁻¹) de modo a prevenir excessiva dissolução de óxidos de ferro (Borggaard, 1979; Nascimento et al., 2002).

A extração seqüencial nas amostras de solo foi baseada no método de Shuman (1985), para as frações: trocável, matéria orgânica e óxido de ferro cristalino, e no procedimento descrito por Chao &

Zhou (1983), para a fração óxido de ferro amorfo. Essas frações foram escolhidas graças à sua potencialidade em suprir micronutrientes para as plantas a curto e longo prazo. Detalhes desse fracionamento são descritos abaixo.

Fração Trocável (Tr) – Cinco gramas de TFSA e 20,00 mL de Mg(NO₃)₂ 1 mol L⁻¹ foram agitados por duas horas em um tubo de centrifuga com capacidade para 50 mL. Em seguida, a amostra foi centrifugada, o sobrenadante filtrado e 20 mL de água destilada adicionados ao tubo. A amostra sofreu outra agitação por 3 min, foi centrifugada e

Quadro 3. Características químicas e físicas do horizonte subsuperficial dos Solos de Referência do Estado de Pernambuco

Solo	Prof.	pH H ₂ O	Arg ⁽¹⁾	Sil ⁽¹⁾	Af ⁽¹⁾	Ag ⁽¹⁾	CO ⁽¹⁾	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ ⁽²⁾	K ⁺ ⁽³⁾	Na ⁺ ⁽³⁾	Al ³⁺ ⁽²⁾	P ⁽³⁾	P-rem ⁽⁴⁾
	cm	(1:2,5)	g kg ⁻¹				cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³	mg L ⁻¹		
Zona da Mata													
1	40-70	5,1	405	140	168	287	17,1	1,0	0,02	0,06	2,6	0,0	10,9
2	14-36	5,6	152	37	272	539	7,5	1,8	0,05	0,04	0,2	1,0	48,4
3	15-46	5,1	46	34	257	664	7,8	0,6	0,02	0,03	0,3	0,0	53,0
4	13-24	4,7	342	273	164	220	10,5	0,9	0,20	0,08	1,0	2,0	37,4
5	30-57	5,7	338	174	232	256	16,0	6,7	0,08	0,23	0,1	3,0	38,4
6	24-45	4,1	468	44	182	306	12,2	0,2	0,05	0,03	1,3	1,0	19,3
7	14-30	4,7	800	123	34	42	14,1	0,9	0,06	0,07	1,5	1,0	6,5
8	17-35	5,7	359	296	204	141	11,8	2,4	0,35	0,07	0,2	1,0	46,1
9	15-35	5,2	130	143	332	394	5,7	0,3	0,03	0,04	0,7	2,0	52,2
10	28-50	5,6	149	57	307	488	3,0	0,5	0,03	0,02	0,4	9,0	51,4
11	20-40	5,0	278	326	133	263	600,0	42,8	0,07	0,08	1,2	3,0	18,1
12	20-42	5,6	858	128	06	8	290,0	17,7	0,02	0,06	0,5	37,0	31,0
Agreste													
13	20-58	4,7	110	90	210	590	7,0	0,4	0,13	0,06	0,8	4,0	56,8
14	15-48	4,8	140	90	250	520	11,6	1,6	0,49	0,36	0,9	12,0	57,7
15	11-45	7,4	330	140	230	300	3,1	23,6	0,11	1,19	0,0	17,0	52,5
16	16-35	5,5	344	107	77	472	50,0	1,7	0,22	0,14	0,2	0,5	19,8
17	15-30	5,8	160	170	190	480	17,9	3,2	0,33	0,19	0,1	3,0	40,1
18	9-26	6,9	180	50	190	580	9,3	1,4	0,60	0,12	0,0	76,0	37,3
19	14-45	5,8	340	130	220	310	4,6	11,5	0,04	2,65	0,1	17,0	35,0
20	12-38	4,9	470	40	170	320	22,5	0,3	0,13	0,04	2,1	1,0	16,9
21	12-75	5,7	140	60	190	610	7,0	1,0	0,02	0,04	0,1	3,0	52,4
22	15-37	4,5	360	50	100	490	22,5	0,4	0,04	0,01	1,7	2,0	38,4
23	6-16	7,9	136	176	204	484	40,0	8,9	0,37	0,12	0,0	127,8	60,0
Sertão													
24	6-18	6,1	106	113	522	259	5,4	2,0	0,37	0,09	0,1	2,0	59,0
25	15-30	4,8	113	162	679	46	3,8	1,3	0,12	0,17	0,2	3,0	56,6
26	15-28	5,3	78	11	242	669	4,6	1,3	0,10	0,02	0,2	3,0	57,5
27	11-40	6,5	468	457	63	13	3,8	18,6	0,42	23,29	0,0	227,0	50,0
28	25-38	8,6	194	236	515	56	3,8	14,5	0,85	0,95	0,0	77,0	54,7
29	11-45	4,3	56	20	116	808	4,6	0,9	0,06	0,01	0,4	1,0	57,0
30	23-46	7,0	461	139	139	261	5,4	19,0	0,16	0,45	0,0	0,0	37,1
31	20-45	4,5	220	73	261	446	8,5	0,6	0,17	0,02	0,9	0,0	40,8
32	15-45	5,9	360	231	230	179	11,6	3,7	0,16	0,03	0,1	4,0	36,6
33	25-65	5,6	625	127	74	174	4,6	38,5	0,16	0,81	0,1	0,0	35,3
34	8-24	5,8	159	58	181	601	4,6	2,2	0,24	0,01	0,1	0,5	56,6
35	8-23	6,1	246	287	300	167	8,5	7,9	0,10	0,03	0,0	1,0	51,0

⁽¹⁾ Embrapa (1997). ⁽²⁾ KCl 1 mol L⁻¹ (DeFelipo & Ribeiro, 1997). ⁽³⁾ Mehlich-1 (DeFelipo & Ribeiro, 1997). ⁽⁴⁾ P remanescente (Álvarez V. et al., 2000). Arg = Argila; Af = areia fina; Ag = Areia grossa.

filtrada. Os dois sobrenadantes foram combinados para análise.

Fração Matéria orgânica (MO) – Dez mililitros de NaClO 5–6 dag L⁻¹, pH 8,5 (ajustado imediatamente antes do uso em virtude de sua alta instabilidade em relação ao pH), foram adicionados ao tubo de centrífuga, tendo sido a amostra aquecida em banho-maria a 100 °C durante 30 min e ocasionalmente agitada. Em seguida, a amostra foi centrifugada e o sobrenadante filtrado. Esse procedimento foi repetido duas vezes e os três filtrados combinados. Após adição de 10 mL de água destilada, a amostra

no tubo de centrífuga foi agitada por 3 min, centrifugada, filtrada e o filtrado adicionado ao extrato de NaOCl das extrações anteriores.

Fração Óxido de ferro amorfo (OxFeA) – Trinta mililitros de NH₂OH.HCl 0,25 mol L⁻¹ + HCl 0,25 mol L⁻¹, pH 3,0 foram adicionados à amostra no tubo de centrífuga, seguindo-se agitação por 30 min. As amostras foram centrifugadas, filtradas e lavadas como na extração anterior.

Fração Óxido de ferro cristalino (OxFeC) – Trinta mililitros de (NH₄)₂C₂O₄ (oxalato de amônio)

0,2 mol L⁻¹ + H₂C₂O₄ (ácido oxálico) 0,2 mol L⁻¹ + ácido ascórbico 0,01 mol L⁻¹, pH 3,0, foram colocados em contato com a amostra de solo no tubo de centrífuga e aquecidos por 30 min a 100 °C, em banho-maria, e ocasionalmente agitados. Em seguida, as amostras foram submetidas à centrifugação e à filtragem.

Coefficientes de correlação foram determinados entre atributos dos solos e as frações dos micronutrientes, entre estas e os teores obtidos pelos extratores do disponível, bem como entre os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA entre si; estes coeficientes foram testados a 5 e 1 %.

As análises estatísticas foram efetuadas, utilizando-se o programa SAEG (UFV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados altos teores de Mn para a soma das frações mais biodisponíveis, trocável e matéria orgânica, relativamente aos teores do elemento retido por óxidos de ferro no horizonte superficial (Quadro 4), resultado semelhante ao observado por Nascimento et al. (2002) em solos de Minas Gerais.

Quadro 4. Concentrações de manganês nas frações: trocável, matéria orgânica, óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino em 35 amostras dos horizontes (superficial e subsuperficial) dos Solos de Referência do Estado de Pernambuco

Solo	Trocável		Matéria orgânica		Óxido de Fe amorfo		Óxido de Fe cristalino	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
mg dm ⁻³								
Zona da Mata								
1	4,2	< Ld	6,4	5,8	0,2	< Ld	3,8	2,4
2	< Ld	< Ld	6,9	6,7	< Ld	< Ld	< Ld	0,1
3	< Ld	< Ld	7,5	6,7	< Ld	0,1	0,5	< Ld
4	6,8	< Ld	9,4	7,1	< Ld	< Ld	1,5	1,4
5	74,2	51,5	109,6	77,1	10,5	41,0	101,6	73,3
6	< Ld	< Ld	2,1	2,2	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld
7	111,3	6,3	122,2	1,9	19,2	< Ld	54,2	20,2
8	180,1	136,1	1.096,6	307,7	265,4	715,6	125,7	118,1
9	6,0	1,1	6,1	2,1	< Ld	0,2	5,6	4,2
10	11,8	0,3	16,9	1,4	6,3	6,8	15,9	7,8
11	2,5	5,2	7,7	5,1	< Ld	0,3	0,2	< Ld
12	56,4	17,8	51,8	5,0	7,6	< Ld	41,3	5,2
Agreste								
13	6,7	< Ld	2,8	1,0	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld
14	1,8	< Ld	3,3	1,4	3,8	< Ld	< Ld	< Ld
15	89,3	< Ld	86,8	0,7	109,6	197,9	27,5	24,6
16	49,5	59,6	20,9	6,1	25,7	107,7	12,3	21,8
17	58,1	30,5	27,2	27,5	5,2	17,2	15,3	26,4
18	37,2	29,3	23,9	5,8	41,2	33,3	16,9	7,6
19	36,6	38,8	28,5	3,1	91,6	61,7	41,7	7,5
20	0,4	< Ld	2,3	1,9	< Ld	< Ld	0,2	0,3
21	2,5	< Ld	5,1	0,9	1,6	< Ld	1,1	< Ld
22	< Ld	< Ld	1,4	0,7	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld
23	9,2	1,2	6,7	12,8	1,4	19,5	12,4	18,6
Sertão								
24	18,8	11,8	14,3	3,3	12,2	27,3	12,2	8,3
25	19,1	0,7	14,1	1,9	22,8	< Ld	14,5	1,9
26	26,8	7,9	2,7	1,6	25,9	9,8	7,7	4,8
27	28,2	60,2	4,4	47,4	295,3	292,2	49,6	105,7
28	4,4	0,1	41,9	7,9	136,5	128,8	22,5	17,9
29	4,9	0,1	1,7	4,4	< Ld	< Ld	< Ld	< Ld
30	0,7	45,8	1,8	3,5	767,6	17,1	195,5	243,9
31	44,8	2,5	210,9	7,4	258,9	1,7	141,3	1,4
32	166,5	105,4	184,0	113,5	218,0	280,7	35,3	22,5
33	44,5	12,2	111,5	6,4	353,9	1,8	211,4	71,4
34	77,6	4,6	399,9	5,5	106,5	10,4	51,1	6,7
35	3,4	43,8	127,9	64,7	23,2	229,4	34,8	49,0
Média	33,8	19,2	79,1	21,7	80,3	62,9	35,8	24,9
Desvio (s)	45,5	31,9	195,0	93,5	154,9	130,1	54,4	48,3
C.V. (%)	3,2	6,9	12,1	13,7	9,5	14,6	8,7	25,9

< Ld = Abaixo do limite de detecção (Mn = 0,02 mg dm⁻³).

A fração trocável foi a mais uniformemente distribuída entre as três diferentes regiões do Estado (Quadro 4), com médias de 37,8, 26,5 e 36,6 mg kg⁻¹, para as amostras dos horizontes superficiais, e de 19,2, 14,5 e 24,6 mg kg⁻¹ para o horizonte subsuperficial, nos solos da Zona da Mata, Agreste e Sertão, respectivamente. Os solos da Zona da Mata apresentaram os maiores teores de Mn ligado à matéria orgânica, com médias de 120,2 mg kg⁻¹, para o horizonte superficial, e de 35,7 mg kg⁻¹, para o horizonte subsuperficial, em decorrência do maior acúmulo de CO nos solos dessa região (Quadros 2 e 3).

De acordo com Sims (1986), a disponibilidade de Mn é diretamente dependente dos teores de Mn trocável, enquanto Shuman (1985) destaca que, além da fração trocável, o Mn ligado à matéria orgânica também é responsável pelo fornecimento do micronutriente às plantas. Segundo McBride (1994), os complexos orgânicos formados com o Mn são de pouca estabilidade, porque 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 elemento. Esses fatos, aliados à baixa afinidade do Mn para formação de ligações covalentes (Harter, 1991), evidenciam a pronta disponibilidade do elemento para a maioria dos solos analisados, indicando baixa probabilidade de problemas de deficiência e pouca dependência da disponibilidade, a curto e médio prazo, das contribuições de minerais primários via intemperismo.

O Mn extraído das frações: óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino foi maior nos solos do Sertão (Quadro 4), em média, tanto para o horizonte superficial (194,2 e 64,6 mg kg⁻¹) quanto para o horizonte subsuperficial (83,4 e 44,4 mg kg⁻¹). Os maiores teores obtidos para a fração óxido de ferro amorfo indicam o menor grau de intemperismo e a conseqüente menor cristalização dos óxidos nos solos dessa região em relação à Zona da Mata e Agreste. Esses dados mostram, ainda, a maior possibilidade de redistribuição de Mn entre frações do solo, com prováveis efeitos nos teores disponíveis, nos solos do Sertão, graças à maior disponibilidade do Mn ligado à fração óxido de ferro amorfo relativamente aos óxidos cristalinos (Shuman, 1991; Nascimento et al., 2002).

O Fe apresentou concentrações mais altas na soma das frações em comparação ao Mn, em razão dos altos teores de óxidos de ferro presentes nos solos (Quadro 5). No entanto, os baixos teores na fração trocável e a predominância do elemento ligado a óxidos cristalinos demonstram a menor disponibilidade imediata para as plantas relativamente à esperada para o Mn.

Os maiores teores de Fe potencialmente disponível estão ligados à matéria orgânica (Quadro 5), de acordo com as altas correlações entre

esta fração e os teores de CO dos solos nos horizontes: superficial (0,64**) e subsuperficial (0,99**). Sharma et al. (2000) e Soumaré et al. (2003) também encontraram resultados que indicam que os teores disponíveis de Fe dependem largamente do teor de carbono dos solos. Como comentado anteriormente, baixíssimos teores de Fe foram detectados na fração trocável, com exceção das amostras 1, 2, 4, 6 e 22, para o horizonte superficial, e 4, 6, 11 e 22, para o horizonte subsuperficial (Quadro 5). Desse modo, na fração matéria orgânica, independentemente da região fisiográfica do Estado, encontra-se a reserva imediata para suprimento do elemento para a solução do solo.

Não foi observada grande diferença entre as regiões em relação ao Fe ligado a óxidos cristalinos. Os solos do Sertão apresentaram as maiores concentrações para o horizonte superficial, com média de 2.907 mg kg⁻¹, enquanto, para o horizonte subsuperficial, os teores nos solos da Zona da Mata foram superiores aos das demais regiões, com média 2.258 mg kg⁻¹ (Quadro 5). Os solos desta região também apresentaram os maiores teores para a fração óxido de ferro amorfo, com médias de 89 mg kg⁻¹, para o horizonte superficial, e de 69 mg kg⁻¹, para o horizonte subsuperficial, em concordância com o maior grau de intemperismo e conseqüente maior acúmulo de óxidos nestes solos.

Os maiores teores “disponíveis” de Mn e de Fe foram extraídos pelas soluções EDTA e Mehlich-3 (Quadros 6 e 7). Esta maior recuperação para esses micronutrientes pode estar relacionada com a presença de EDTA em ambos os extratores e a sua capacidade de dissolução de óxidos de ferro (Borggaard, 1979), fração responsável por grande parte da quantidade retida de ambos os elementos (Quadros 4 e 5). Deve-se ressaltar que a concentração do extrator EDTA utilizada neste trabalho foi diminuída em relação à recomendada por Lantmann & Meurer (1982), mas, mesmo assim, não está descartada a possibilidade de extração de formas não-disponíveis de micronutrientes, especialmente de Fe, o que pode ser uma limitação para utilização deste extrator na avaliação da disponibilidade desse nutriente.

Em termos gerais, as menores correlações para os quatro extratores foram obtidas para a fração considerada mais estável (óxidos de ferro cristalino). Isso demonstra a adequada capacidade dos extratores na extração de formas mais disponíveis, visto que, como citado por Shuman (1988), micronutrientes ligados a óxidos de ferro cristalinos encontram-se, em grande parte, oclusos, não-acessíveis às plantas. Entretanto, os teores de Mn e Fe acessados pelos extratores Mehlich-1 e DTPA, em geral, apresentaram as melhores correlações com a fração trocável e a fração matéria orgânica nos horizontes superficiais (Quadro 8), potenciais reservatórios para disponibilização desses elementos

Quadro 5. Concentrações de ferro nas frações: trocável, matéria orgânica, óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino em 35 amostras dos horizontes (superficial e subsuperficial) dos Solos de Referência do Estado de Pernambuco

Solo	Trocável		Matéria orgânica		Óxido de Fe amorfo		Óxido de Fe cristalino	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
mg dm ⁻³								
Zona da Mata								
1	5,6	0,2	109,8	39,1	126,7	70,2	2.428,0	2.238,8
2	10,3	0,6	96,8	57,4	16,3	23,5	432,3	695,8
3	< Ld	< Ld	47,7	31,3	6,4	3,4	190,4	26,3
4	42,8	8,0	91,8	165,0	115,1	84,3	2.873,3	22,1
5	< Ld	< Ld	138,2	66,7	115,3	65,8	3.207,7	5.156,0
6	15,4	6,7	116,8	59,6	49,7	30,9	1.297,7	2.070,1
7	< Ld	< Ld	92,5	59,2	49,8	10,6	7.875,3	7.466,0
8	< Ld	< Ld	64,9	44,8	100,8	155,7	6.628,5	4.541,4
9	1,1	1,4	58,7	36,2	18,6	21,0	1.043,1	1.224,2
10	< Ld	< Ld	62,3	41,7	25,4	19,8	543,5	837,9
11	< Ld	15,1	203,4	81,8	330,6	284,2	2.778,9	1.632,2
12	< Ld	< Ld	69,7	37,6	112,3	61,6	1.730,1	1.184,7
Agreste								
13	< Ld	1,1	54,1	39,9	8,7	11,7	42,7	57,0
14	< Ld	< Ld	50,4	42,8	11,5	15,3	36,6	57,5
15	< Ld	< Ld	48,0	26,0	78,2	17,1	1.007,8	899,8
16	< Ld	< Ld	51,9	27,6	27,5	33,8	2.836,4	5.982,7
17	< Ld	< Ld	107,6	49,5	22,0	37,6	1.220,2	2.267,7
18	< Ld	< Ld	44,8	27,8	31,6	48,8	1.594,8	1.246,4
19	< Ld	< Ld	26,6	27,2	53,3	25,2	1.072,6	574,7
20	< Ld	2,2	80,2	39,4	41,8	48,5	3.009,2	1.925,4
21	< Ld	< Ld	30,5	34,9	8,1	13,1	411,0	716,0
22	14,5	11,2	75,3	43,4	24,6	35,9	1.442,7	1.688,0
23	< Ld	< Ld	5 < Ld	40,9	15,5	22,4	1.975,4	829,8
Sertão								
24	< Ld	< Ld	30,3	39,3	11,3	22,9	3.030,5	909,5
25	< Ld	3,4	46,4	39,8	20,7	21,3	1.473,7	1.033,6
26	< Ld	< Ld	60,3	56,8	14,7	8,3	543,8	728,0
27	< Ld	< Ld	38,2	42,2	23,4	37,7	1.290,4	1.483,3
28	< Ld	< Ld	37,9	36,3	9,1	13,6	1.250,2	899,7
29	< Ld	< Ld	72,4	50,6	8,5	4,8	382,0	495,6
30	< Ld	< Ld	32,0	46,8	42,3	5,8	4.369,4	6.036,0
31	< Ld	< Ld	67,7	35,4	58,2	11,9	4.282,5	608,8
32	< Ld	< Ld	50,4	46,5	44,2	97,5	5.425,6	3.002,9
33	< Ld	< Ld	42,3	40,7	100,1	2,6	4.627,8	4.344,5
34	< Ld	< Ld	58,0	31,6	36,5	14,5	6.997,0	931,3
35	< Ld	< Ld	57,6	41,2	19,5	66,4	1.214,3	4.158,4
Média	2,6	1,4	67,6	36,0	50,8	41,4	2.301,9	1.942,1
Desvio (s)	8,0	3,5	35,6	23,8	60,6	52,9	2.044,7	1.932,1
C.V. (%)	11,7	25,9	13,5	17,9	12,5	16,3	8,9	14,5

< Ld = Abaixo do limite de detecção (Fe = 0,05 mg dm⁻³).

para as plantas. Para os solos em estudo, estes extratores recuperaram, em média, quantidades semelhantes de Mn e Fe dos solos e apresentaram boa correlação entre si (0,70**). Estes resultados indicam que esses extratores, tradicionalmente os

mais usados na avaliação da disponibilidade de Mn e Fe nos laboratórios do Brasil, foram os mais eficientes na seletividade de formas desses elementos potencialmente biodisponíveis nos solos estudados.

Quadro 6. Teores de manganês extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA em amostras dos 35 solos de referência do Estado de Pernambuco nos horizontes: superficial e subsuperficial

Solo	Mehlich-1		Mehlich-3		DTPA		EDTA	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
mg kg ⁻¹								
Zona da Mata								
1	3,4	< Ld	5,9	0,9	2,0	1,5	6,7	1,7
2	2,1	0,2	3,3	1,7	4,4	1,5	4,9	1,0
3	0,2	< Ld	1,2	< Ld	1,4	0,4	0,9	0,1
4	7,4	0,5	8,3	1,3	3,8	1,9	< Ld	1,7
5	76,4	65,2	70,2	61,1	98,2	93,9	95,8	76,4
6	0,4	0,1	0,8	0,1	0,6	0,2	0,8	0,2
7	87,9	7,8	114,2	4,9	41,3	1,1	148,5	7,7
8	370,9	233,9	612,6	575,0	109,2	108,2	599,7	782,4
9	17,6	3,3	17,8	3,5	13,0	1,8	11,5	3,4
10	31,6	7,0	31,2	8,2	15,7	3,7	27,7	7,2
11	5,8	3,3	5,4	3,0	2,5	3,2	7,3	5,1
12	59,7	24,3	54,7	21,9	16,4	17,5	65,2	25,5
Agreste								
13	15,5	0,9	14,8	1,3	15,4	1,9	13,6	1,3
14	< Ld	< Ld	18,2	0,3	10,5	1,4	19,9	0,2
15	90,3	9,4	35,7	21,9	155,4	30,1	279,4	276,2
16	53,5	62,7	59,0	62,2	69,7	66,4	112,9	122,3
17	79,7	53,4	76,9	54,5	100,6	51,1	98,7	58,8
18	90,3	47,7	123,5	66,3	90,3	55,2	142,5	93,4
19	39,7	34,9	38,9	101,2	36,7	81,0	37,5	223,0
20	< Ld	< Ld	3,0	1,2	3,2	1,5	4,1	1,7
21	13,3	< Ld	14,9	0,1	9,1	0,8	18,9	0,1
22	< Ld	< Ld	1,7	< Ld	2,7	0,8	2,1	< Ld
23	49,3	16,5	75,6	24,9	44,1	8,0	125,7	34,8
Sertão								
24	34,2	20,1	46,2	41,3	30,7	17,8	32,2	27,5
25	18,8	< Ld	21,6	3,7	14,8	3,8	17,8	2,9
26	42,7	14,0	61,6	18,2	46,2	15,2	36,8	16,2
27	80,4	65,7	244,2	229,1	40,7	95,8	262,6	493,4
28	42,8	21,3	169,0	128,8	28,2	15,0	235,8	179,3
29	9,8	< Ld	12,1	1,9	7,7	0,7	7,0	< Ld
30	85,6	32,4	408,8	133,7	41,2	69,7	540,1	268,4
31	14,1	< Ld	17,5	6,3	13,9	3,4	6,0	4,2
32	210,7	78,9	52,2	42,6	230,8	133,7	357,7	352,3
33	27,9	8,7	27,1	31,8	98,2	28,1	278,8	86,4
34	30,2	7,6	53,3	10,9	34,7	7,3	61,5	11,3
35	62,8	36,2	47,7	< Ld	120,5	76,0	289,5	231,8
Média	50,4	24,5	72,8	48,4	44,4	28,6	113,1	97,1
Desvio (s)	70,0	43,2	123,3	104,1	52,1	38,1	153,3	169,5
C.V. (%)	4,9	16,8	3,2	4,7	9,5	11,9	4,6	6,2

< Ld = Abaixo do limite de detecção (Mn = 0,02 mg dm⁻³).

Quadro 7. Teores de ferro extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e EDTA em amostras dos 35 Solos de Referência do Estado de Pernambuco nos horizontes: superficial e subsuperficial

Solo	Mehlich-1		Mehlich-3		DTPA		EDTA	
	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
mg kg ⁻¹								
Zona da Mata								
1	76,7	48,4	305,1	201,6	249,5	148,0	785,5	1641,6
2	80,1	75,2	215,2	194,8	165,0	76,9	359,5	150,1
3	17,4	10,1	55,6	41,4	12,8	6,4	20,4	8,5
4	317,0	229,1	440,2	252,3	495,6	164,7	379,3	153,0
5	40,7	34,9	336,8	141,0	181,1	76,8	349,8	107,5
6	179,1	88,6	293,7	218,4	197,5	67,6	322,3	102,6
7	45,2	27,8	152,6	54,3	36,8	6,6	143,4	51,4
8	15,2	16,0	117,7	142,8	8,9	14,7	455,0	484,1
9	45,4	62,9	152,2	222,9	61,1	51,2	110,3	166,8
10	31,8	38,8	159,5	148,3	36,9	28,2	142,8	126,5
11	256,5	203,9	390,7	357,1	247,5	259,9	597,1	465,7
12	96,1	138,7	414,2	355,8	106,2	246,2	447,8	468,6
Agreste								
13	20,9	32,1	64,6	121,3	90,1	184,8	75,0	130,7
14	8,1	17,5	66,6	75,0	27,2	153,4	73,7	184,8
15	50,8	35,8	286,7	124,2	102,2	5,6	242,9	53,6
16	15,8	14,6	69,3	53,5	30,5	14,1	103,6	36,0
17	36,1	29,5	220,2	192,1	146,9	66,3	292,1	300,1
18	46,9	68,6	181,7	191,2	32,6	34,3	178,8	288,5
19	31,5	23,8	121,5	65,0	35,2	134,0	294,0	86,0
20	69,0	75,8	158,6	142,1	190,4	92,3	273,7	127,5
21	18,5	58,8	73,5	162,2	9,0	87,0	11,9	312,1
22	138,2	86,1	266,4	242,3	249,8	185,0	592,9	520,7
23	24,1	38,9	233,3	186,7	39,1	13,6	400,8	399,8
Sertão								
24	8,8	10,7	69,1	69,7	11,0	14,5	371,4	398,2
25	56,8	149,2	189,8	314,6	76,4	152,0	322,9	542,7
26	9,9	13,5	61,3	63,0	30,5	39,5	447,4	216,4
27	74,6	33,8	29,2	30,3	5,3	16,9	90,6	124,6
28	9,7	9,1	35,6	75,3	4,8	3,7	101,6	60,1
29	38,7	37,3	37,3	37,2	227,4	95,2	337,3	281,7
30	21,0	19,1	72,6	75,6	5,0	15,4	757,4	137,7
31	31,7	21,1	121,0	71,8	135,3	42,1	443,8	12,4
32	14,9	15,3	69,4	63,9	17,2	18,9	123,2	121,0
33	5,9	12,2	75,6	125,4	39,3	51,8	147,4	140,4
34	9,7	16,4	72,1	101,1	30,0	49,2	231,0	247,3
35	9,3	10,6	108,8	75,7	17,8	12,7	247,2	271,7
Média	55,8	51,5	163,4	142,6	95,8	75,1	301,6	254,9
Desvio (s)	69,3	53,6	115,7	88,8	107,0	71,4	194,5	285,7
C.V. (%)	10,5	10,3	3,2	3,6	9,3	7,2	9,0	8,5

< Ld = Abaixo do limite de detecção (Fe = 0,05 mg dm⁻³).

Quadro 8. Coeficientes de correlação linear entre teores de Mn e Fe por extratores e teores desses elementos em frações de Solos de Referência do Estado de Pernambuco

	Trocável		Matéria orgânica		Óxido de Fe amorfo		Óxido de Fe cristalino	
	Sup	Subsup	Sup	Subsup	Sup	Subsup	Sup	Subsup
Manganês								
Mehlich-1	0,84**	0,92**	0,80**	0,93**	0,38*	0,89**	0,37*	0,49**
Mehlich-3	0,46**	0,77**	0,68**	0,85**	0,64**	0,87**	0,53**	0,58**
DTPA	0,72**	0,92**	0,35*	0,65**	ns	0,69**	0,31*	0,57**
EDTA	0,56**	0,85**	0,57**	0,80**	0,75**	0,94**	0,63**	0,62**
Ferro								
Mehlich-1	0,77**	0,74**	0,63**	0,57**	0,60**	0,51**	ns	ns
Mehlich-3	0,52**	0,61**	0,67**	0,57**	0,63**	0,47**	ns	ns
DTPA	0,76**	0,60**	0,64**	0,58**	0,45**	0,40**	ns	-0,32*
EDTA	0,42**	ns	0,42**	ns	0,49**	0,29*	ns	ns

Sup = superficial, Subsup = subsuperficial. *, ** significativos a 5 e 1 %, respectivamente ns = não-significativo.

CONCLUSÕES

1. As frações: trocável e matéria orgânica foram as principais responsáveis pela retenção e disponibilidade de Mn nos solos estudados. Quanto ao Fe, a fração matéria orgânica foi responsável pelos teores disponíveis, em razão dos teores muito baixos na forma trocável.

2. Os teores disponíveis de Mn e Fe, na maioria dos Solos de Referência de Pernambuco, foram considerados de médio a alto, com pouco potencial para deficiências a curto e médio prazo.

3. Os extratores Mehlich-1 e DTPA apresentaram as melhores correlações com as formas biodisponíveis de Mn e Fe e foram considerados adequados para avaliação da disponibilidade desses elementos nos solos do Estado.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 32p. (Boletim informativo, 25)
- BORGGAARD, O.K. Selective extraction of amorphous iron oxides by EDTA from a Danish sandy loam. *J. Soil Sci.*, 30:727-734, 1979.
- CHAO, T.T. & ZHOU, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. *Soil Sci. Soci. Am. J.*, 47:224-232, 1983.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo, metodologia. 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.
- 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. 212p.
- FONTES, R.L.F. Pesquisas com micronutrientes em solos e plantas. Difusão dos resultados no Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- 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.
- JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, SUDENE, 1973. v.1. (Boletim Técnico, 26. Série Pedologia, 14)
- 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.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F. & NEVES, J.C.L. Dessorção, extração e fracionamento de manganês em Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:589-597, 2002.

- NASCIMENTO, C.W.A.; OLIVEIRA, A.B. & RIBEIRO, M.R. Distribution and availability of zinc and copper in benchmark soils of Brazil. *Comm. Soil Sc. Plant Anal.*, 37:1-17, 2006.
- PICKERING, W.F. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 12:233-266, 1981.
- RIBEIRO, M.R.; JACOMINE, P.K.T. & LIMA, J.F.W.F. Caracterização e classificação de solos de referência do Estado de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1999. 140p.
- SHARMA, B.D.; MUKHOPADHYAY, S.S.; SIDHU, P.S. & KATYAL, J.C. Pedospheric attributes in distribution of total and DTPA-extractable Zn, Cu, Mn, and Fe in Indo-Gangetic plains. *Geoderma*, 96:131-151, 2000.
- SHUMAN, L.M. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. *Soil Sci.*, 146:192-198, 1988.
- SHUMAN, L.M. Chemical forms of micronutrients in soils. 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.113-144.
- 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.
- SIMS, J.T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, iron and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:367-373, 1986.
- SOUMARÉ, M.; TACK, F.M.G. & VERLOO, M.G. Distribution and availability of iron, manganese, zinc, and copper in four tropical agricultural soils. *Comm. Soil Sc. Plant Anal.*, 34:1023-1038, 2003.