

NOTA

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE MANGANÊS E FERRO EM SOLOS PELO USO DO MÉTODO MODIFICADO DA RESINA DE TROCA IÔNICA⁽¹⁾

C. A. ABREU⁽²⁾, B. VAN RAIJ⁽³⁾, M. F. ABREU⁽²⁾ & A. PAZ GONZALEZ⁽⁴⁾

RESUMO

A avaliação do método modificado da resina de troca de íons para extração de Mn e Fe dos solos foi o objetivo desta pesquisa. Foram utilizadas 44 amostras de solo, cujos teores de Mn variaram de baixos a altos e de Fe de médios a altos. Como plantas-teste, utilizaram-se o milho e a soja, cultivadas em casa de vegetação. O Fe e o Mn do solo foram determinados, usando o método modificado da resina de troca de íons, DTPA, AB-DTPA, Mehlich-1 e Mehlich-3. Os coeficientes de correlação entre Mn no solo e Mn acumulado na parte aérea da soja foram: resina (0,62*), DTPA (0,58*), Mehlich-3 (0,54*), Mehlich-1 (0,51*) e AB-DTPA (0,26NS). Para o milho, houve correlação entre Mn-solo e Mn-planta somente nas amostras de solo com baixos teores desse elemento, para todos os extratores, exceto para AB-DTPA. Concluiu-se que a resina foi tão eficiente quanto os extratores DTPA, M-1 e M-3 em avaliar a disponibilidade de Mn para a soja, e que nenhum extrator foi eficiente em avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho e soja, com 53 dias de idade, cultivadas em casa de vegetação.

Termos de indexação: análise de solo, micronutriente, DTPA, AB-DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3.

SUMMARY: *EVALUATION OF MANGANESE AND IRON AVAILABILITY IN SOILS BY A MODIFIED ION EXCHANGE RESIN METHOD*

The objective of this research was to evaluate a modified ion exchange resin method for Mn and Fe extraction from soils. Forty-four soil samples presenting low, medium, and high Mn and medium to high Fe concentrations were used. Maize and soybeans plants were

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 2003 e aprovado em março de 2004.

⁽²⁾ Pesquisadora Científica, Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agrônomo – IAC. Caixa Postal 09, CEP 13001-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: cleide@iac.sp.gov.br

⁽³⁾ Pesquisador Científico, IAC. E-mail: bvanraij@iac.sp.gov.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Edafologia, Universidade A Coruña, A Zapateira, s/n. CEP 15071 A Coruña (Espanha). E-mail: tucho@udc.es

grown as test plants in a pot experiment in a greenhouse. Soil samples were analyzed for Mn and Fe using the modified ion exchange resin, DTPA, AB-DTPA, Mehlich-1, and Mehlich-3 methods. The correlation coefficients between soil Mn and Mn accumulated in the soybean shoot were: ion exchange resin (0.62), DTPA (0.57*), Mehlich-3 (0.54*), Mehlich-1 (0.51*), and AB-DTPA (0.26). For maize, significant correlation coefficients between soil Mn and plant-Mn were obtained only when low-initial Mn soil samples were considered for all extractants, except for AB-DTPA. For soybeans, the modified ion exchange resin method was as efficient as DTPA, Mehlich-1 and Mehlich-3 for the evaluation of soil Mn availability. None of the methods was efficient for evaluating the soil Fe availability for the 53 day-old maize and soybean plants grown in greenhouse.*

Index terms: soil test, extractants, DTPA, AB-DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3.

INTRODUÇÃO

Com a evolução e o crescimento da agricultura brasileira, os micronutrientes, principalmente o Fe e o Mn, tornam-se cada vez mais importantes e merecedores de atenção da pesquisa, tanto em casos de aparecimento de deficiências como na ocorrência de toxidez.

A análise de solo é complexa para Mn e Fe porque a concentração desses elementos é muito influenciada pelas reações de oxirredução. Os coeficientes de correlação entre os teores de Mn no solo e na planta, obtidos com extratores ácidos ou quelantes, são, em sua maioria, baixos. As soluções salinas, tamponadas ou não, que determinam preferencialmente a forma trocável de Mn, têm sido mais eficientes em avaliar a disponibilidade desse elemento para as plantas (Muraoka et al., 1983; Abreu et al., 1994b). Muraoka et al. (1983) encontraram valores de correlação entre o Mn extraído do solo e as quantidades de Mn na planta de 0,93** (NH₄OAc), 0,46* (DTPA) e 0,21NS (EDTA). Abreu et al. (1994b) constataram que, dentre as soluções testadas (Mehlich-1, HCl, H₃PO₄, DTPA, resina, NH₄OAc, NH₄OAc + hidroquinona e CaCl₂), a de cloreto de cálcio estava entre os métodos que melhor estimaram a disponibilidade de Mn frente às mudanças de pH.

Pesquisas realizadas no Brasil relacionadas com a seleção de extratores para avaliar a disponibilidade de Fe são escassas. A maior parte dos trabalhos não leva em consideração a absorção de Fe pelas plantas. Dentre os poucos trabalhos que usaram a planta como indicadora da disponibilidade de Fe, citam-se os de Defelipo et al. (1991) e Amaral Sobrinho et al. (1993). Esses últimos autores obtiveram um coeficiente de correlação entre Fe no solo e Fe no sorgo de 0,92* (Mehlich-1) e de 0,65* (DTPA).

A proposta do uso de resinas de troca iônica em análise de solo é bastante antiga, principalmente para P. Além de P, K, Ca, Mg e Na, a resina de troca de íons poderá ser utilizada para avaliação de S, Cu, Mo, Cd, Pb e Mn. Usando como planta-teste a soja, Abreu et al. (1994a) encontraram valores de coeficientes

de correlação entre os teores de Mn no solo e na parte aérea das plantas de 0,65** (Mehlich-1), 0,64** (resina) e 0,51** (DTPA). Em trabalho subsequente com soja, esses coeficientes de correlação foram de: 0,79* (resina), 0,45NS (Mehlich-1) e 0,40NS (DTPA) (Abreu et al., 1994b). Contudo, quando os teores dos micronutrientes são muito baixos, torna-se difícil a quantificação pela resina por causa da larga relação solo:solução extratora (2,5 cm³:50 mL). Tentando solucionar esse problema, Almeida (1999) propôs o uso de uma relação solo : solução extratora de 2,5 cm³:25 mL e a adição de citrato de amônio na solução extratora da resina (ácido clorídrico mais cloreto de amônio). O autor verificou que a união dos dois processos de extração, um de troca iônica e outro de complexação, permitiu uma redução no volume de solução extratora e a possibilidade de se estender o método para a determinação de Mn, Fe e S.

Com base nessas informações, foi realizada esta pesquisa, que teve o objetivo de comparar a eficiência do método modificado da resina de troca de íons (adição do citrato de amônio à solução extratora - ácido clorídrico + cloreto de amônio) para extrair o Mn e o Fe disponíveis do solo com os métodos tradicionalmente usados (DTPA, AB-DTPA, Mehlich-1 e Mehlich-3).

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados em casa de vegetação, utilizando amostras retiradas na profundidade de 0-20 cm de quarenta e quatro solos do estado de São Paulo representativos das classes Oxisol, Ultisol, Alfisol, Inceptisol e Entisol.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de malha com abertura de 3 mm. Quando necessário, fez-se a calagem, usando Ca(OH)₂ e MgCO₃, na proporção de 4 moles de Ca para 1 de Mg, para elevar a saturação por bases para 70 %. Todas as amostras permaneceram incubadas por um período de 16 dias, mantendo-se a umidade a 60 % da capacidade de campo, por meio de pesagens diárias dos vasos.

Após o período de incubação, fez-se uma adubação da seguinte forma: (a) o P foi misturado ao solo na forma de superfosfato triplo, nas doses de 358, 179 e 89,5 mg dm⁻³ de P, respectivamente, para solos com teores baixos, médios e altos de P extraídos pela resina (Raij et al., 1997); (b) K, N e S foram adicionados ao solo nas formas de nitrato de K, sulfato de K e sulfato de amônio, para fornecer 100 mg dm⁻³ de K, 46 mg dm⁻³ de N e 20 mg dm⁻³ de S, e (c) B, Cu e Zn foram aplicados no solo, na forma de solução, nas amostras que apresentavam teores baixos desses elementos, extraídos com a solução de DTPA pH 7,3. As doses, em mg dm⁻³, foram de 0,5 de B, 1,0 de Cu e 2,0 de Zn, nas formas de ácido bórico, sulfato de Cu e sulfato de Zn, respectivamente.

Dentre as 44 amostras de solo coletadas, não se adicionou Mn em 37 com teores médios a altos de Mn (= 1,3 mg dm⁻³ pelo DTPA). As outras sete amostras, cujos teores de Mn eram baixos (< 1,3 mg dm⁻³), foram divididas em dois grupos: um sem adição de Mn e outro que recebeu 15 mg dm⁻³ de Mn na forma de cloreto de manganês. Para o Fe, não foi feita a adição, pois todas as 44 amostras apresentaram teores médios a altos (= 5 mg dm⁻³). Todas as unidades experimentais permaneceram incubadas por um período de 15 dias, mantendo-se a umidade a 60 % da capacidade de campo, por meio da pesagem diárias dos vasos.

Procedeu-se à semeadura do milho, utilizando 10 sementes por vaso com capacidade de 2 dm³ e deixando-se, após o desbaste, três plantas por vaso. A adubação de cobertura foi parcelada em três vezes, usando o nitrato de amônio na primeira e o nitrato de Ca nas demais. Foi utilizada a dose de 25 mg dm⁻³ de N em cada aplicação. Durante todo o experimento, procurou-se manter a umidade do solo a 70 % da capacidade de campo, por adições diárias de água destilada, controladas por meio da pesagem dos vasos.

Aos 53 dias da emergência, realizou-se o corte da parte aérea das plantas de milho, e as raízes foram separadas do solo e eliminadas. O material vegetal foi lavado, seco em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante, para determinação da matéria seca, e após, moído e digerido por via seca (Bataglia et al., 1983). Determinaram-se os teores de Mn e Fe nos extratos, utilizando um espectrômetro de emissão por plasma (ICP-AES).

Em seguida, fez-se um segundo cultivo nos mesmos vasos usados anteriormente com milho, utilizando-se quatro plantas de soja por vaso. Esse ensaio foi semelhante ao adotado para o milho.

Antes de cada cultivo, retirou-se uma amostra de solo de cada unidade experimental, que foi seca ao ar e passada em peneira de malha de 2 mm, para análise de Mn e Fe, utilizando cinco extratores, descritos a seguir:

Extração com resina de troca iônica, método modificado por Almeida (1999): as etapas de preparação da resina trocadora de íons (pré-condicionamento, tratamento para uso e recuperação) foram as mesmas recomendadas por Raij et al. (1987). As modificações no procedimento de extração estão descritas a seguir: 2,5 cm³ de solo + 25 mL de água + uma bola de vidro foram agitados por 30 min a 220 rpm. Logo após, retirou-se a bola de vidro e adicionaram-se 2,5 cm³ de resina trocadora (Amberlite IRA-400 e Dowex 50-W, na proporção de 1:1 v/v) mantendo-se em agitação por 16 h a 220 rpm. Após a separação da resina, foram adicionados 25 mL da solução extratora (HCl 0,25 mol L⁻¹ + NH₄Cl 0,75 mol L⁻¹ + (NH₄)₂HC₆H₅O₇ 0,30 mol L⁻¹) e agitados por uma hora. O extrato foi utilizado para as determinações de Fe e Mn.

Extração com DTPA: dietilenotriamino-pentaacético + trietanolamina na presença de cloreto de Ca (DTPA 0,005 mol L⁻¹ + TEA 0,1 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ a pH 7,3), segundo Lindsay & Norvell (1978) - 10 cm³ de solo + 20 mL de solução extratora, agitação por 2 h.

Extração com AB-DTPA: dietilenotriamino-pentaacético + bicarbonato de amônio (NH₄HCO₃ 1 mol L⁻¹ + DTPA 0,005 mol L⁻¹ a pH 7,6), de acordo com Soltanpour et al. (1977) - 10 cm³ de solo + 20 mL da solução extratora, agitação por 15 min.

Extração com Mehlich-1: HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹, conforme Mehlich (1953) - 5 cm³ de solo + 25 mL de solução extratora, agitação por 30 min.

Extração com Mehlich-3: (CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹ + NH₄F 0,015 mol L⁻¹ + HNO₃ 0,015 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹ a pH 2,5), descrita por Mehlich (1984) - 5 cm³ de solo + 20 mL da solução extratora, agitação por 5 min.

O cálculo de correlação simples foi feito entre os teores de Mn ou Fe no solo (Mn-solo e Fe-solo) extraídos pelas diferentes soluções e os teores ou conteúdos (quantidade acumulada) de Mn ou Fe no tecido vegetal (Mn-planta ou Fe-planta) para o milho e para a soja. Calcularam-se também as correlações entre os teores no solo obtidos para os diferentes métodos químicos utilizados para análise de Mn e Fe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Manganês

Durante os ensaios, não foram observados sintomas visuais de deficiência de Mn, embora algumas amostras de solos apresentassem teores de Mn baixos, de 0,9 a 1,2 mg dm⁻³, extraídos pelo DTPA, conforme interpretação de Raij et al. (1997). Nessas amostras de solos, as concentrações de Mn na parte aérea variaram de 29,2 a 104,3 mg kg⁻¹,

para a soja, e de 66,5 a 82,5 mg kg⁻¹, para o milho, as quais são consideradas adequadas para o desenvolvimento dessas culturas (Raij et al., 1997). Nas demais amostras, a amplitude de variação foi de 16,6 a 180 mg kg⁻¹, para a soja, e de 19 a 365 mg kg⁻¹, para o milho. As plantas de soja que apresentaram teores de Mn de 16,6 a 16,8 mg kg⁻¹, abaixo dos valores críticos para folhas, foram as dos tratamentos em solos cujos teores de Mn eram de 1,6 e 1,9 mg dm⁻³, extraídos pelo DTPA.

As soluções ácida (Mehlich-1) e mista (ácida/quelante - Mehlich-3), extraíram mais Mn que as

quelantes (AB-DTPA e DTPA) e que a resina de troca iônica, tanto no solo cultivado com soja como naquele com milho (Quadro 1). A maior extração pelas soluções, ácida e mista, pode ser devida à sua maior capacidade em solubilizar o Mn ligado aos óxidos de Fe. No cultivo da soja, as melhores correlações entre o Mn extraído do solo pelos diferentes métodos foram obtidas entre Mn-Mehlich-1 e Mn-Mehlich-3 ($r = 0,98^{**}$) e entre Mn-DTPA com Mn-Mehlich-1 ($r = 0,96^{**}$) ou resina ($r = 0,94^{*}$) (Quadro 2). As piores correlações foram observadas entre Mn-Mehlich-1 e Mn-AB-DTPA ($r = 0,29$ NS) e entre Mn-AB-DTPA e Mn-DTPA ($r = 0,27$ NS).

Quadro 1. Amplitude de variação dos teores de ferro e manganês extraídos por diferentes métodos em amostras de solo retiradas antes do cultivo da soja e do milho

Amplitude	Resina		DTPA		AB-DTPA		Mehlich-1		Mehlich-3	
	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
mg dm ⁻³										
Soja										
Mínimo	7	3,3	5	1,0	10	1,7	7	2,8	12	3,1
Máximo	33	87	191	81	212	56	127	148	216	189
Média	14	18,5	33	12,5	61	11,9	39	30,5	89	38,2
Milho										
Mínimo	10	4,3	5	1,4	15	2,7	8	4,1	32	3,1
Máximo	43	259	145	165	246	119	246	216	404	189
Média	18	27,2	27	17,2	55	24,9	55	50	139	38,2

Quadro 2. Coeficientes de correlação entre o manganês extraído do solo por diferentes métodos em 44 amostras de solo retiradas antes do cultivo da soja e do milho com o manganês acumulado na planta ou sua concentração na parte aérea

Método	Mn-planta		Método			
	Acumulado	Concentrado	Resina	DTPA	AB-DTPA	Mehlich-1
	mg vaso ⁻¹		mg dm ⁻³			
Soja						
Resina	0,62*	0,49*				
DTPA	0,57*	0,48*	0,94**			
AB-DTPA	0,26 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,27 ^{NS}		
Mehlich-1	0,51*	0,42*	0,89**	0,96**	0,29 ^{NS}	
Mehlich-3	0,54*	0,44*	0,89**	0,94**	0,30 ^{NS}	0,98**
Milho						
Resina	0,22 ^{NS}	0,17 ^{NS}				
DTPA	0,20 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,94**			
AB-DTPA	0,14 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,82**	0,86**		
Mehlich-1	0,15 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,77**	0,83**	0,93**	
Mehlich-3	0,20 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,79**	0,85**	0,89**	0,98**

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

Para a cultura da soja, responsiva ao Mn, foram obtidas correlações positivas entre Mn no solo e Mn na planta para todos os métodos, com exceção do AB-DTPA (Quadro 2). A resina de troca iônica deve estar quantificando preferencialmente o Mn trocável do solo, além de outras formas lábeis, como o Mn facilmente reduzível. A agitação do solo com a resina durante toda a noite, em frasco fechado, pode ter liberado formas de Mn facilmente reduzíveis. Conforme Goldberg & Smith (1984), grande parte do Mn absorvido pelas plantas encontra-se ligado aos sítios de troca de cátions do solo, por atração eletrostática, em equilíbrio direto e rápido com a solução do solo, podendo ser permutado com outros cátions em quantidades estequiométricas. Por isso, as soluções salinas que quantificam o Mn trocável são eficientes em avaliar a disponibilidade desse elemento no solo, como foi observado para o NH₄OAc (Muraoka et al., 1983) e CaCl₂ (Abreu et al., 1994b).

Para o milho, nenhum método foi eficiente em avaliar a disponibilidade de Mn quando todas as 44 amostras foram utilizadas no cálculo da correlação entre Mn-solo e Mn-planta (concentração ou acumulado na parte aérea) (Quadro 2). Os valores de coeficiente de correlação entre Mn-solo e Mn-planta foram muito baixos e não-significativos (< 0,22). A inclusão dos teores de matéria orgânica e da granulometria nos cálculos da regressão, ou a separação dos solos de acordo com esses atributos, não melhorou a equação de predição da disponibilidade de Mn na parte aérea do milho.

Todos os métodos foram eficientes em detectar os teores de Mn no solo modificados pela aplicação de cloreto de Mn. Calculando a correlação somente

para amostras de solo que apresentavam teores baixos de Mn e que receberam ou não adição desse elemento, observaram-se valores dos coeficientes de correlação entre Mn no solo e concentração de Mn na parte aérea do milho de: 0,80* (resina), 0,76* (Mehlich-3), 0,73* (Mehlich-1), 0,66* (DTPA) e 0,47NS (AB-DTPA). Rosolem et al. (1992), analisando a relação entre Mn no solo e a concentração de Mn na folha de soja, observaram que, quando os teores de Mn no solo foram modificados pela aplicação de sulfato de Mn, tanto o DTPA (r = 0,72*) como o Mehlich-1 (0,68*) foram eficientes.

Ferro

Os métodos químicos foram ineficientes em avaliar a disponibilidade de Fe tanto para a cultura da soja como para a do milho (Quadro 3). Em nenhuma situação, houve correlação entre o teor de Fe no solo e sua concentração na planta ou o seu acúmulo na parte aérea.

Sintomas de deficiência ou toxidez de Fe na parte aérea não foram observados em nenhuma cultura. A concentração de Fe variou de 63 a 164 mg kg⁻¹ na parte aérea do milho e de 63 a 112 mg kg⁻¹ na soja, teores considerados adequados (Raij et al., 1997). A ausência de sintomas visuais de deficiência pode ser justificada pelo fato de as amostras de solo apresentarem teores médios a altos de Fe (≥ 5 mg dm⁻³ DTPA) (Quadro 1).

Os métodos tiveram capacidades extrativas diferentes, tendo o Mehlich-3 apresentado a maior extração de Fe e a resina a menor (Quadro 1). A

Quadro 3. Coeficientes de correlação entre o ferro extraído do solo por diferentes métodos em amostras de solo retiradas antes do cultivo da soja e do milho com o ferro acumulado na planta ou sua concentração na parte aérea

Método	Fe-planta		Método			
	Acumulado	Concentrado	Resina	DTPA	AB-DTPA	Mehlich-1
	mg vaso ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg dm ⁻³			
Soja						
Resina	-0,18 ^{NS}	0,04 ^{NS}				
DTPA	-0,28 ^{NS}	-0,00 ^{NS}	0,41 ^{NS}			
AB-DTPA	0,00 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,67*	0,67*		
Mehlich-1	-0,12 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	0,89**	0,89**	0,62 ^{NS}	
Mehlich-3	-0,05 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,83*	0,83*	0,57 ^{NS}	0,89**
Resina	0,17 ^{NS}	0,01 ^{NS}				
Milho						
DTPA	0,16 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,80*			
AB-DTPA	0,14 ^{NS}	-0,07 ^{NS}	0,70*	0,89**		
Mehlich-1	0,35 ^{NS}	-0,02 ^{NS}	0,69*	0,87**	0,87**	
Mehlich-3	0,34 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,64*	0,85*	0,83*	0,94**

*, ** e ^{NS}: Significativos a 1 e 5% de probabilidade e não significativo.

seguinte ordem decrescente de extração foi observada: Mehlich-3 > Mehlich-1 = AB-DTPA > DTPA > resina, para a cultura do milho, e Mehlich-3 > AB-DTPA > Mehlich-1 > DTPA > resina, para a soja. Esses resultados mostram, de maneira geral, que as soluções ácidas empregadas foram mais eficientes em extrair o Fe do solo do que as demais, talvez pela solubilização de parte do Fe associado às frações oxídicas do solo (Amaral Sobrinho et al., 1993). Quanto à resina, apesar de ser a amplitude de extração relativamente elevada (Quadro 1), observou-se que a maioria das amostras apresentou teores de Fe entre 10 e 20 mg dm⁻³, mostrando a baixa presença desse elemento no solo na forma trocável.

Embora as capacidades extrativas dos métodos tenham sido diferentes, observa-se que eles tiveram comportamentos semelhantes, fato confirmado pelos coeficientes de correlação significativos obtidos entre eles, principalmente para o cultivo do milho (Quadro 3). No cultivo da soja, quando se empregou a resina como padrão, as melhores correlações foram obtidas com o Mehlich-1 (0,89**) e Mehlich-3 (0,83**). Contudo, para o milho, todos os métodos apresentaram comportamentos parecidos com os da resina (Quadro 3).

CONCLUSÕES

1. Os métodos testados, com exceção do AB-DTPA, foram eficientes em avaliar a disponibilidade de Mn para as plantas de soja, porém ineficientes para o milho.

2. A análise química do solo efetuada por diferentes extratores não foi eficiente para avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho e soja.

3. A resina foi tão eficiente quanto o DTPA, o Mehlich-1 e o Mehlich-3 em avaliar a disponibilidade de Mn para a soja.

LITERATURA CITADA

- ABREU, C.A.; NOVAIS, R.F.; RAIJ, B. van & RIBEIRO, A.C. Comparação de métodos químicos para avaliar a disponibilidade de manganês para a soja. R. Bras. Ci. Solo, 18:81-90, 1994a.
- 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, 1994b.
- ALMEIDA, A.M. A resina de troca iônica como extrator multielementar em análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 103p. (Tese de mestrado)
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L.E. & BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. R. Bras. Ci. Solo, 17:299-304, 1993.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise de plantas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G. & ALVAREZ V., V.H. Eficiência agrônômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. R. Bras. Ci. Solo, 15:389-393, 1991.
- GOLDEBERG, S.P. & SMITH, K.A. Soil manganese: E values, distribution of manganese-54 among soil fractions, and effects of drying. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:559-564, 1984.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:421-428, 1978.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. Raleigh, North Carolina Soil Test Division, 1953. Não paginado
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant. A modification of Mehlich-1 extractant. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 15:1409-1416, 1984.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e manganês do solo para o feijoeiro. II. Manganês. R. Bras. Ci. Solo, 7:177-182, 1983.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.G., eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim 100)
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargil, 1987. 170p.
- ROSOLEM, C.A.; BESSA, M.A.; AMARAL, P.G. & PEREIRA, H.F.M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. Pesq. Agropec. Bras., 27:277-285, 1992.
- SOLTANPOUR, P.N.; SCHWAB, F.S. & DEAN, L.A. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 8:195-207, 1977.