



Avaliação da disponibilidade de ferro em solos tropicais por diferentes métodos de extração ⁽¹⁾.

Gustavo Franco de Castro ⁽²⁾; Guilherme Furlan Mielki ⁽³⁾; Fernanda Schulthais ⁽⁴⁾; João Carlos Ker ⁽⁵⁾; Leonardus Vergütz ⁽⁵⁾; Roberto Ferreira Novais ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq.

⁽²⁾Mestrando; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG; gustavofcastro@ymail.com; ⁽³⁾Doutorando; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; ⁽⁴⁾ Pós-doutoranda; Universidade Federal de Viçosa; ⁽⁵⁾Professor; Universidade Federal de Viçosa.

RESUMO: Devido ao aumento de produtividade das culturas e à expansão agrícola em solos de baixa fertilidade, a deficiência de micronutrientes, como Fe, em plantas cultivadas em solos tropicais tem sido cada vez mais frequente. Este trabalho objetivou avaliar a disponibilidade de Fe por diferentes métodos de extração e sua absorção por plantas de milho (*Zea mays* L.) em 26 amostras de solo (13 solos, em duas profundidades). O Fe foi extraído por Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA. Os extratores apresentaram correlações significativas entre si, com valores de R^2 de 0,55 para a correlação entre DTPA e M-1, 0,62 entre DTPA e M-3, e 0,75 entre M-1 e M-3. Os teores extraídos por M-1 e M-3 foram, em média, semelhantes entre si (cerca de 65 mg.dm⁻³) e superiores aos extraídos por DTPA (52,6 mg.dm⁻³). Os três métodos de extração foram ineficientes em avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho, não havendo correlação significativa entre os teores no solo e as concentrações e o acúmulo de Fe na parte aérea das plantas.

Termos de indexação: DTPA; Mehlich; Micronutrientes.

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da agricultura brasileira, há uma maior atenção quanto ao aparecimento de sintomas de deficiência e toxicidez de micronutrientes em plantas cultivadas. De fato, pelo aumento da exportação de nutrientes, dada a crescente produtividade das culturas, e a expansão da atividade agrícola em solos de baixa fertilidade natural, é de se esperar maior ocorrência de deficiência de Fe e outros micronutrientes (Abreu et al., 2004).

Para que a quantificação da disponibilidade de um micronutriente no solo seja correta, é fundamental a seleção de um extrator adequado (ABREU, 1995), que seja eficiente em diagnosticar a disponibilidade do elemento em diferentes tipos de solos e para diferentes espécies vegetais. No Brasil, ainda há poucos estudos visando definir e padronizar

métodos de extração e determinação de micronutrientes (Silva et al., 2009).

Os resultados de estudos com extratores de Fe ainda não são consistentes. Os valores de correlação entre os teores no solo e na planta variam desde baixos e não significativos até altos e significativos para diversas culturas (Abreu et al., 2004). Os métodos tradicionalmente utilizados para extrair Fe do solo envolvem ácidos diluídos e agentes quelantes, sendo Mehlich-1 e DTPA os mais empregados (Embrapa, 1997). O Mehlich-3 tem ganhado destaque uma vez que é bastante versátil e pode reduzir os custos em laboratórios de rotina (Rodrigues et al., 2001). Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de Fe e sua absorção pela planta em diversos solos e comparar os métodos de extração por DTPA, Mehlich-1 e Mehlich-3.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de 13 solos, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, principalmente Latossolos sob vegetação natural ou em regeneração.

Após obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), foi realizada a separação das frações granulométricas e determinado o Equivalente de Umidade (EU), conforme Embrapa (1997). O pH foi determinado em água, na relação solo:solução de 1:2,5 e o C orgânico, pelo método Walkley-Black modificado (Nelson & Sommers, 1982). Os cátions Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ (Embrapa, 1997) e K, P, Na, Zn, Cu e Mn, pelo extrator Mehlich-1 (De Filippo & Ribeiro, 1997). O P-rem foi determinado segundo Alvarez et al. (2000) e H+Al com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, tamponada com ácido acético a pH 7,0.

Para relacionar a disponibilidade de Fe no solo pelos diferentes extratores com a absorção pelas plantas e seu crescimento, foi realizado um experimento com plantas de milho em casa de vegetação, seguindo um delineamento em blocos casualizados (DBC), com 26 tratamentos (13 solos, em duas profundidades) e quatro repetições. Para



avaliar o suprimento de Fe exclusivamente a partir do solo, desenvolveu-se um sistema semi-hidropônico no qual os vasos contendo os solos foram todos pareados a uma canaleta central contendo solução nutritiva de Hoagland e Arnon (Hoagland & Arnon, 1950) isenta de Fe. Dez dias após emergência, as plântulas foram selecionadas e transferidas para o sistema semi-hidropônico e as raízes das mesmas foram divididas entre os dois recipientes. A irrigação foi efetuada duas vezes ao dia, até próximo à capacidade de campo dos solos. Decorridos 45 dias, a parte aérea das plantas foi colhida, seca em estufa e moída. Os teores de Fe na planta foram determinados após digestão nítrico-perclórica (Johnson & Ulrich, 1959) e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica.

A extração do Fe por DTPA - ácido dietilenotriaminopentaacético (DTPA 0,005 mol L⁻¹) + trietanolamina (TEA 0,1 mol L⁻¹) em cloreto de cálcio (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) a pH 7,3, foi realizada segundo Lindsay & Norvell (1978) - 10 cm³ de solo + 20 mL de solução extratora com agitação por 2 h. Na extração do Fe por Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹) e Mehlich-3 (HOAc 0,2 mol L⁻¹, NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹, NH₄F 0,015 mol L⁻¹, HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ e EDTA 0,001 mol L⁻¹) foi utilizada a relação solo:solução de 1:10, com agitação durante 5 min e repouso por 16 h (De Filippo & Ribeiro, 1997).

Realizou-se a análise estatística descritiva e elaborou-se uma matriz de correlação entre os extratores e os parâmetros relacionados à planta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Fe recuperados pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA são apresentados na **Tabela 1**. Em média, M-1 recuperou os mesmos teores de Fe (64.4 mg/dm³) que M-3 (65.2 mg/dm³), enquanto DTPA extraiu menor teor de Fe (52.6 mg/dm³). Alguns autores, como Rodrigues et al. (2001) e Abreu et al. (2004), por outro lado, extraíram teores superiores de Fe pelo M-3. Considerando que o M-3 possui natureza ácida e quelante, poderia se esperar que o mesmo extraísse maiores teores de Fe do solo. No entanto, isso não é observado em muitos casos. Uma possível explicação é a maior acidez do M-1 (pH em torno de 1,2, enquanto Mehlich-3, 2,5), que aumenta sua capacidade de extração. Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Aspiázú (2004). Na utilização do DTPA que é extrator quelante, ocorre a formação de complexos solúveis com o íon metálico, o que reduz sua atividade em solução. Assim, os íons dissolvem da fase sólida, restabelecendo o equilíbrio da solução (Borges, 2002). Este extrator mantém o pH mais próximo ao

pH dos solos, o que pode evitar a solubilização de compostos de Fe não disponíveis (Aspiázú, 2004).

Os métodos M-1, M-3 e DTPA apresentaram correlação significativa entre si (**Tabela 2**). Os valores de coeficientes de determinação (R²) foram de 0,55, 0,62 e 0,75, respectivamente, para DTPA e M-1, DTPA e M-3 e M-1 e M-3. Correlações significativas entre os métodos já foram relatadas por outros autores, como Rodrigues et al. (2001), Abreu et al. (2004) e Silva et al. (2009) e Silva & Menezes, (2010), que obtiveram valores de R² entre 0,48 e 0,94 entre os diferentes métodos.

Os três métodos de extração foram ineficientes em avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho. Não houve correlação significativa entre o teor de Fe no solo pelos extratores e seu teor e conteúdo na planta. Essa falta de correlação já havia sido observada por Abreu et al. (2004). Esses autores trabalharam com milho e soja, e os teores de Fe extraídos por M-1, M-3, Resina, DTPA e AB-DTPA não apresentaram correlações com os teores e conteúdos de Fe em ambas as espécies utilizadas.

Guimarães et al. (2014) avaliaram a correlação entre teores de Fe no solo por M-1 e EDTA e progênes de erva-mate e também não obtiveram correlação com o extrator ácido. Rodrigues et al. (2001) avaliaram a correlação entre teores e conteúdos de Fe e Mn e os extratores M-1 e M-3 em três cultivos sucessivos de arroz e não obtiveram correlações positivas apenas no primeiro cultivo com o elemento Fe, ao contrário do observado por Bataglia & Raij (1989), que não obtiveram correlações positivas com extratores ácidos. Estes resultados evidenciam as limitações existentes em relação à eficiência dos extratores mais utilizados hoje no Brasil para micronutrientes, onde, em muitos casos, não existe correlação com os teores de nutriente na planta, levando a um sério problema de interpretação da disponibilidade de micronutrientes.

CONCLUSÕES

Os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram ineficientes em avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho. Em média, Mehlich-1 e Mehlich-3 recuperaram teores semelhantes de Fe e superiores aos extraídos por DTPA, no entanto, os três extratores apresentaram correlação entre si.

REFERÊNCIAS

ABREU, C.A. Análise de solo para micronutrientes - Tema de reuniões de laboratórios. B. Inf. SBCS, 20:128-130, 1995.



- ABREU, C.A.; RAIJ, B. VAN; ABREU, M.F. & PAZ GONZALES, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. R. Bras. Ci. Solo, 28:579-584, 2004.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa, Soc. Bras. Ci. Solo, 25:27-33, 2000. (Boletim Informativo).
- ASPIAZÚ, I. Extração de ferro e manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais e da Bahia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 60p. (Dissertação de Mestrado).
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. R. Bras. Ci. Solo, 13:205-212, 1989.
- BORGES, M. Estabilidade do cádmio: influência de atributos de solos muito intemperizados em extratores convencionais e potencialidade de ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Piracicaba, Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 76p. (Dissertação de Mestrado).
- DE FILIPPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos e análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GUIMARÃES, J.C.; REISSMANN, C.B; MOTTA, A.C.V.; GAIAD, S.; OLIVEIRA, E.B. & STURION, J.A. Relação de Zn, Fe, Cu e Mn entre solo e progênies de erva-mate. Cerne, 20:285-292, 2014.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Calif. Agric. Exp. Stn Circ., 347:1-32, 1950.
- JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Calif. Agric. Exp. Stn. Bull., 766:32-33, 1959.
- 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.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis - chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., 1982. p.539-579.
- RODRIGUES, M.R.L; MALAVOLTA, E. & MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. Pesq. Agropec. Bras., 36:143-149, 2001.
- SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; NODA, A.Y.; MARCHETTI, M.E.; MATA, J.D.V. & LOURENTE, E.R.P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. Acta Sci. Agron., 31:537-545, 2009.
- SILVA, T.O. & MENEZES, R.S.C. Disponibilidade de micronutrientes catiônicos em solo arenoso após adubação orgânica. R. Bras. Ci. Ag., 5:328-335, 2010.



Tabela 1 - Teor de Fe extraído por DTPA, Mehlich-1 e Mehlich-3 em 26 amostras de 13 solos, em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm).

Solo Camada cm	Solução extratora		
	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3
1 (0-20)	154,3	105,2	116,6
1 (20-40)	47,1	75,2	59,0
2 (0-20)	30,0	44,6	42,1
2 (20-40)	50,5	44,9	65,3
3 (0-20)	81,9	57,3	64,8
3 (20-40)	62,6	52,6	57,2
4 (0-20)	34,5	62,9	57,3
4 (20-40)	19,9	37,8	41,5
5 (0-20)	40,7	196,4	61,8
5 (20-40)	17,4	150,2	52,1
6 (0-20)	58,5	106,5	117,9
6 (20-40)	78,9	110,4	115,3
7 (0-20)	63,4	48,8	65,1
7 (20-40)	27,1	42,0	51,5
8 (0-20)	168,4	106,5	105,5
8 (20-40)	88,6	99,8	79,1
9 (0-20)	73,5	39,8	64,5
9 (20-40)	63,6	38,4	67,6
10 (0-20)	29,1	18,2	58,6
10 (20-40)	29,3	37,2	52,7
11 (0-20)	27,0	14,4	50,9
11 (20-40)	29,1	44,8	60,6
12 (0-20)	41,7	39,0	67,5
12 (20-40)	13,7	24,0	36,4
13 (0-20)	7,7	28,5	32
13 (20-40)	29,4	48,8	51,7
Média	52,6	64,4	65,2

Tabela 2 - Coeficientes de determinação (R^2) entre o teor de Fe extraído em 26 amostras de solos por diferentes métodos de extração e o teor e conteúdo de Fe na parte aérea e a produção de matéria seca de plantas de milho.

	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Teor de Fe	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Conteúdo de Fe	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Massa seca	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Mehlich-1	-	0,75*	0,55*
Mehlich-3	0,75*	-	0,62*
DTPA	0,55*	0,62*	-

^{ns} e *, não significativo e significativo, respectivamente, a 1% pelo teste F.