

LIBERAÇÃO DE MICRONUTRIENTES DE UMA ESCÓRIA DE SIDERURGIA APLICADA EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ¹

Renato de Mello Prado²;

William Natale ³

Francisco Maximino Fernandes⁴

RESUMO

Além do seu papel conhecido na correção da acidez do solo, a escória de siderurgia poderá constituir fonte de micronutrientes importante. Com o objetivo de verificar o efeito da aplicação da escória de siderurgia, em área cultivada com cana-de-açúcar, sobre a transferência de micronutrientes para o solo, conduziu-se um experimento de campo, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com escória de siderurgia em quatro doses: 0; 3,0; 6,1 e 9,3 t ha⁻¹, equivalentes a 0; 1,23; 2,52 e 3,80 t ha⁻¹ de CaCO₃, incorporada na camada de 0-20 cm, em pré-plantio da cana-de-açúcar. Determinaram-se as concentrações de B (método da água quente) e Fe, Mn, Cu e Zn extraídos com solução de DTPA 0,005 mol L⁻¹ pH 7,3, aos 12 e 24 meses após a aplicação. A escória de siderurgia promoveu efeito favorável na disponibilidade de Fe, Cu, B e Zn do solo. Houve efeito quadrático na concentração de Fe, Mn, Cu e Zn, e linear no B disponível no solo. Esse efeito quadrático, por sua vez, este-

1 Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/Unesp.

2 Professor Substituto, Dep. de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Unesp. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/no, CEP 14870-000 Jaboticabal-SP. *E-mail*: rmprado@fcav.unesp.br

3 Professor Adjunto, Dep. de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Unesp. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/no, CEP 14870-000 Jaboticabal-SP. Bolsista do CNPq.

4 Professor Adjunto, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/Unesp

ve associado ao valor pH e à saturação por bases superiores a 6,0 e 72 %, respectivamente, com exceção do Fe. A escória de siderurgia, como corretivo de acidez do solo e como fonte de micronutrientes é adequada para ser utilizada visando à elevação da saturação por bases do solo até 70-80%.

Palavras-chave: resíduo siderúrgico, micronutrientes, pH, saturação por bases, cana-de-açúcar.

ABSTRACT

MICRONUTRIENTS RELEASED FROM SLAG IN OXISOIL CULTIVATED WITH SUGAR CANE

To participate on correction of soil acidity, slag is also a good source of micronutrients. With the objective to evaluate slag application on oxisoils cultivated with sugar cane and to evaluate micronutrients in the soil, a field experiment of slag application at the levels of 0; 3.0; 6.1 and 9.3 t ha⁻¹ equivalent to 0; 1.23; 2.52 and 3.80 t ha⁻¹ of CaCO₃, was incorporated at the level of 0-20 cm. The micronutrients Fe, Mn, Cu, Zn and B on soil were analyzed, after 12 and 24 months. The application of slag increased the residual effect of Fe, Mn, Cu, B and Zn. The contents of Fe, Mn, Cu and Zn in the soil increased quadratically with the slag rates, whereas the B contents increased linearly. Quadratic effects, on its turn, associate higher 6.0 and 72% values on pH and base saturation of soil, except Fe. The slag corrects soil acidity and is a source of micronutrients appropriate to raise base saturation up to 70-80%.

Key words: steel metallurgy residue; micronutrients; pH, base saturation, sugar cane.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que na região Sudeste do Brasil predominam solos tropicais, cujas características químicas são desfavoráveis à exploração agrícola da maioria das culturas comerciais, em razão da baixa fertilidade e, ainda, de problemas relacionados à pobreza em micronutrientes. Nessa

mesma região encontra-se o principal pólo siderúrgico do País, com produção significativa de escória de siderurgia, resíduo da fabricação de aço e ferro-gusa. Atualmente, esse material é subutilizado, sendo disposto ao acaso, muitas vezes por falta de opção, ou, por ser mais cômodo, atingindo rios ou acumulando-se no solo, sem o devido tratamento, com raras exceções. Essa mesma região é, também, uma importante área agrícola do Brasil, com destaque para a cultura da cana-de-açúcar que, segundo a FAO (1999), atinge uma área cultivada de 5 milhões de hectares, com produção média de 70 t ha⁻¹.

As escórias de siderurgia apresentam, em geral, teores elevados de micronutrientes (Malavolta, 1994); entretanto, apesar de estarem disponíveis, são pouco comercializadas no mercado brasileiro (Quaggio, 2000). Portanto, o uso agrônômico desse resíduo pode trazer benefícios às plantas cultivadas em solos pobres em micronutrientes (Defelipo et al., 1992). No Brasil, alguns trabalhos com cana-de-açúcar têm evidenciado respostas positivas (Prado & Fernandes, 2000). Cabe destacar que, dentre as principais culturas comerciais do Brasil, a cana-de-açúcar apresenta grande potencial para consumir parte significativa desses resíduos devido, principalmente, à vasta área cultivada, à tradição em reciclar resíduos, a exemplo da vinhaça e da torta de filtro e, à própria estrutura organizacional do setor sucroalcooleiro.

Os solos deficientes em micronutrientes são muito comuns no Brasil, de modo que, quando a escória é utilizada visando à correção da acidez do solo, há ainda, como um benefício adicional, a liberação dos elementos nela contidos. Sendo assim, haveria vantagem em relação ao calcário, uma vez que este produto não apresenta, em sua composição, quantidade suficiente de elementos para ser considerado fonte de micronutrientes. Além disso, a disponibilidade desses nutrientes, que já é baixa, devido à pobreza original do solo, pode diminuir ainda mais pela aplicação do calcário, especialmente quando se objetiva elevar a saturação por bases do solo a valores maiores que 70-80%.

Accioly *et al.* (2000) observaram que mesmo com a elevação do pH (em água) do solo, de 4,7 para 5,5 e 6,5, o resíduo siderúrgico foi efetivo no fornecimento de micronutrientes para a cultura do milho.

Experimentos conduzidos em vasos mostram que o uso da escória de siderurgia, como corretivo de acidez do solo (até duas vezes a dose para elevar $V = 70\%$), aumentou as concentrações de micronutrientes no solo (Piau, 1991; Amaral *et al.*, 1994; Piau, 1995), podendo melhorar o desenvolvimento das culturas, especialmente da cana-de-açúcar (Orlando Filho *et al.*, 1994). No caso da aplicação de doses elevadas de escória (até 100 t ha^{-1}), Amaral Sobrinho *et al.* (1997) observaram que a solubilidade dos metais pesados do solo é reduzida com o tempo (após 18 meses da aplicação).

Na literatura nacional são escassos os trabalhos em condição de campo, avaliando a escória de siderurgia como fonte de micronutrientes. Dessa maneira, torna-se oportuno o estudo das taxas de transferência de micronutrientes para um solo cultivado. Outro aspecto de interesse prático é o manejo adequado do solo quando se faz a reciclagem e, ainda, quando se objetiva um efeito associado da escória de siderurgia na reação do solo e no fornecimento de micronutrientes.

Diante do exposto, o presente trabalho avaliou, durante 24 meses, o efeito da aplicação da escória siderúrgica em solo cultivado com cana-de-açúcar, sobre a liberação de micronutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Agropecuária Nossa Senhora Aparecida, região da Alta Mogiana Paulista, no Município de Ituverava-SP, cujas coordenadas geográficas são $20^{\circ}20'$ de latitude Sul, $47^{\circ}47'$ de longitude W, com altitude de 651m. O clima é mesotérmico, com verão quente e úmido, tipo Cwa pelo sistema Köpen. O solo da área é um Latossolo Vermelho-Amarelo, com as seguintes características químicas: matéria orgânica = 24 g dm^{-3} ; pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (1:2,5) = 4,6; P-resina = 5 mg dm^{-3} ; K = 0,4; Ca = 8; Mg = 5; H+Al = 34 mmol dm^{-3} ; e V = 26%, determinados segundo o método descrito por Rajj *et al.* (1987). Para os micronutrientes, a análise química do solo revelou: Fe = 13,1; Mn = 1,0; Cu = 0,4; Zn = 0,4 mg dm^{-3} , extraídos com DTPA; B = 0,1 mg dm^{-3} , extraído com água quente.

A escória de siderurgia utilizada era proveniente de uma indústria siderúrgica do município de Piracicaba (SP), com as seguintes características: Zn = 0,9; Mn = 24,7; Fe = 261,8 g kg⁻¹ analisada em extrato de DTPA; B = 0,3 g kg⁻¹ (água quente); Cu = 256 mg kg⁻¹, analisada em extrato de HCl 6M; CaO = 252 g kg⁻¹; MgO = 25 g kg⁻¹; PN = 51,4%; RE = 79,4%; e PRNT = 41%.

Os tratamentos foram constituídos por quatro doses da escória de siderurgia, aplicadas com o objetivo de elevar a saturação por bases a 50%, 75% e 100%, correspondendo, respectivamente, em equivalente de CaCO₃ a: 0 (testemunha); 1,23; 2,52 e 3,80 t ha⁻¹, correspondendo a 0; 3,0; 6,1 e 9,3 toneladas de resíduo por hectare. Usaram-se quatro blocos casualizados.

Durante o preparo do solo aplicou-se a escória de siderurgia, manualmente, obedecendo à seguinte seqüência: metade da dose aplicada a lanço, em área total, antes da aração (aivecas) e a outra metade aplicada a lanço, em área total, depois da aração, mas antes da gradagem com grade aradora (14x32"), objetivando incorporá-la na camada de 0-20 cm de profundidade. Posteriormente, realizou-se o plantio da cana-de-açúcar (var. SP 80-1842). Cada parcela foi constituída por seis linhas, espaçadas de 1,30 m e com 7,5 m de comprimento, totalizando 58,5 m² de área total, sendo as quatro linhas centrais como parcela útil, com 39,0 m² de área.

Como adubação básica de plantio (1^o ano) aplicaram-se, em todos os tratamentos, 1.300 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8. Em cobertura, foram utilizados 60 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e 60 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, 42 dias após o plantio. No 2^o ano, na cana-soca, foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ de K₂O, 30 dias após emergência dos brotos.

Realizou-se a colheita, como cana crua, da cana-planta 12 meses e da cana-soca 24 meses após a aplicação da escória de siderurgia. Nessa mesma época, foram retiradas nas entrelinhas da cultura, 15 amostras simples de solo por parcela, para compor a amostra composta, utilizando-se trado tipo holandês, na camada de 0-20 cm de profundidade. As análises químicas dessas amostras, quanto aos micronutrientes (Fe, Mn,

Cu e Zn) disponíveis, foram extraídas em solução DTPA 0,005 mol L⁻¹ pH 7,3, efetuadas conforme o método descrito por Lindsay & Norwell (1978), enquanto o B foi extraído pelo método da água quente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta e, ainda, à análise de regressão. Para a realização da análise de variância conjunta, foram selecionadas as variáveis cujos quadrados médios residuais não diferiram em mais de sete vezes de uma amostragem de solo para outra, conforme recomenda Pimentel-Gomes (1985). Quando o fator analisado era a dose da escória de siderurgia, utilizou-se o modelo polinomial até 2º grau.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em média, para as duas épocas de amostragem, aos 12 e 24 meses após a aplicação da escória siderúrgica, houve efeito do resíduo sobre a reação do solo, com aumento linear do valor pH ($Y=5,27+0,3149x$, $R^2=0,98^{**}$) e da saturação por bases ($Y=51,76+8,2298x$, $R^2=0,98^{**}$) na camada de 0-20 cm de profundidade. Esses resultados indicam que a escória utilizada comportou-se eficientemente como corretivo de acidez, o que pode ser justificado pelo seu poder de neutralização, devido à presença dos ânions silicatos, conforme relatado por Quaggio (2000).

Pelos resultados da análise de variância conjunta para épocas e doses de escória, sobre a concentração dos micronutrientes no solo, observa-se que não houve efeito da época de amostragem na disponibilidade dos elementos avaliados, com exceção do Mn, que sofreu decréscimo da primeira para a segunda amostragem (3,1 para 2,8 mg dm⁻³). A disponibilidade dos demais micronutrientes analisados não sofreu redução significativa com o tempo, sugerindo que a escória apresenta um efeito residual favorável, pelo menos até 24 meses após a aplicação. Esses resultados discordam daqueles apresentados por Amaral Sobrinho *et al.* (1997), que observaram redução do efeito residual de alguns micronutrientes da escória após 18 meses da aplicação. Esta diminuição na solubilidade dos metais pesados foi atribuída pelos autores à adsorção específica e/ou coprecipitação desses elementos com os óxidos de Fe e Mn do solo.

Tabela 1. Análise de variância conjunta para os micronutrientes Fe, Mn, Zn, Cu e B de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em duas épocas de amostragem, aos 12 e 24 meses após a aplicação da escória de siderurgia

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		Fe	Mn	Zn	Cu	B
Época de amostragem (A)	1	2,940ns	0,7813 *	0,050 ns	0,008 ns	0,001 ns
Doses de escória (D)	3	41,203**	15,089**	5,246**	0,298*	0,051**
A x D	3	1,174 ns	0,195 ns	0,005 ns	0,001 ns	0,001 ns
Resíduo	21	3,423	0,108	0,112	0,011	0,001
Média Geral		15,51	2,95	1,54	0,79	0,20
CV		11,9%	11,1%	21,7%	13,4%	15,3%

* Resultado significativo ($P < 0,05$) pelo teste F. ** Resultado significativo ($P < 0,01$) pelo teste de F.

Para as doses do resíduo siderúrgico, houve efeito significativo em todas as variáveis analisadas, enquanto a interação entre época de amostragem e doses de escória não foi significativa (Tabela 1). A ausência de interação sugere que as variações na disponibilidade dos micronutrientes, em função dos níveis de escória utilizados, foram proporcionais nas diferentes épocas de amostragem. Não havendo interação, os resultados de disponibilidade de micronutrientes serão apresentados considerando-se a média das duas amostragens.

Observou-se que a disponibilidade de Fe teve um comportamento quadrático, com o ponto de máximo sendo atingido com a dose de 1,9 t ha⁻¹ (Figura 1 a). No caso do Mn, houve um efeito quadrático, porém, a maior disponibilidade foi alcançada próxima da dose máxima da escória de siderurgia (Figura 1b). Esses resultados discordam de Carvalho (2000), que não observou alterações nos teores de Fe e Mn do solo com aplicação da escória de siderurgia de aciária. No entanto, concordam com Piau (1991) que, utilizando uma escória de siderurgia de redução, com duas granulometrias (peneiras ABNT 50-60 e 100-140), nas doses de 0; 1; 2 e 4 t ha⁻¹ equivalentes em CaCO₃, observou aumentos na disponibilidade de Fe na primeira dose e, decréscimo quando utilizou as duas últimas doses. Para o Mn, o autor observou acréscimos acentuados com as doses

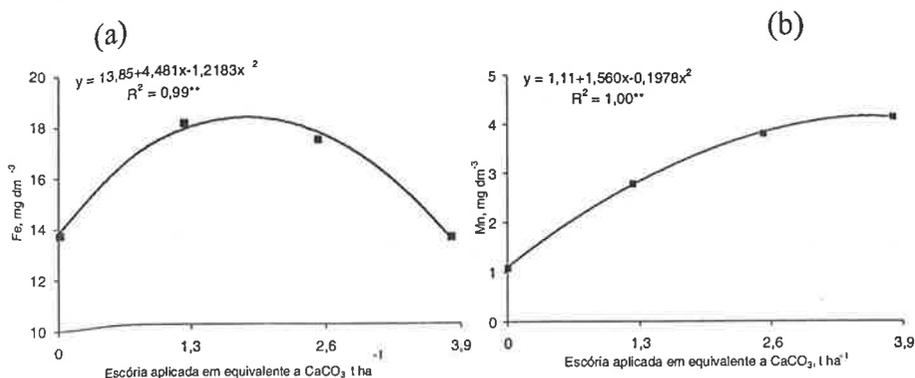


Figura 1. Efeito da aplicação de escória de siderurgia na disponibilidade dos micronutrientes Fe (a) e Mn (b) em um Latosolo Vermelho-Amarelo. (Médias de duas épocas de amostragens e quatro repetições)

empregadas. Amaral *et al.* (1994) observaram que a escória siderúrgica de alto forno liberou Fe, Mn e Zn em dois Latossolos.

Os efeitos distintos da aplicação da escória de siderurgia sobre a liberação de micronutrientes para o solo pode ser atribuído, muitas vezes, às variações decorrentes da origem da matéria-prima empregada e do tipo de processo industrial utilizado pela Siderúrgica, o que influencia a composição química do resíduo. Some-se a isso outras variáveis como a dose, a forma de incorporação e os atributos físico-químico inerentes a cada solo. Assim, estes fatores limitam as comparações com outros experimentos relatados na literatura.

Cabe salientar que as concentrações de Fe e Mn variaram, respectivamente, de 13,8 a 17,8 e de 1,1 a 4,2 mg dm⁻³, valores esses considerados altos para o Fe e baixo a médio para o Mn, de acordo com Raij *et al.* (1996)

Pelos estudos de regressão observou-se efeito quadrático na disponibilidade de Cu (FIGURA 2a) e linear na disponibilidade de B (FIGURA 2b), com o aumento das doses da escória de siderurgia. Para o

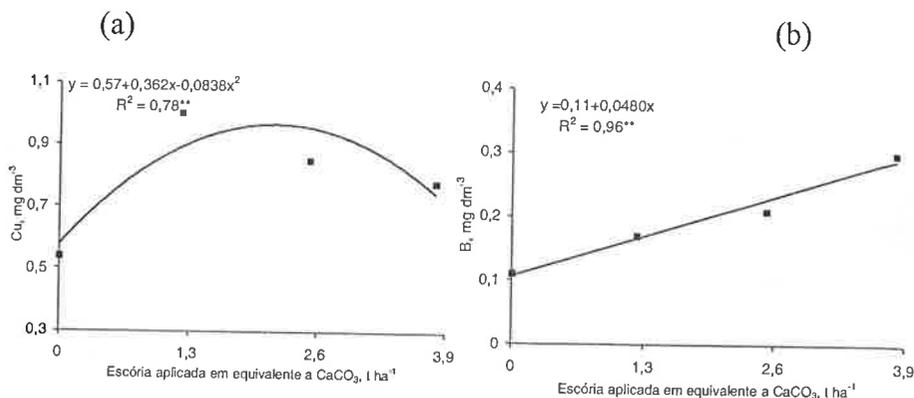


Figura 2. Efeito da aplicação de escória de siderurgia na disponibilidade dos micronutrientes Cu (a) e B (b) em um Latossolo Vermelho-Amarelo. (Médias de duas épocas de amostragens e quatro repetições)

Cu, a maior disponibilidade ocorreu com a dose estimada em 2,1 t ha⁻¹. Esse incremento e posterior redução do Cu disponível também foi encontrado por Piau (1995), quando da aplicação de uma escória de siderurgia de aciária nas doses de 0; 6,3 e 12,6 t ha⁻¹ em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Como o efeito sobre o B foi linear, poderia haver resposta acima da dose máxima utilizada. Incrementos do B disponível também foram relatados por Carter *et al.* (1951), que compararam escória de siderurgia e calcário, observando incrementos médios nas concentrações do micronutriente no solo, quando da aplicação da escória.

De acordo com a interpretação de Raij *et al.* (1996), a aplicação do resíduo siderúrgico aumentou a concentração de Cu no solo da classe média para a alta, uma vez que variou de 0,5 a 1,0 mg dm⁻³; para o B passou de baixa para média, variando de 0,1 a 0,3 mg dm⁻³.

A concentração de Zn disponível no solo sofreu efeito quadrático em função da escória aplicada, atingindo maior disponibilidade com a dose estimada em 2,6 t ha⁻¹ (FIGURA 3). Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (Piau, 1991; Piau, 1995; Carvalho, 2000).

O Zn disponível variou de 0,4 a 2,3 mg dm⁻³ e, de acordo com

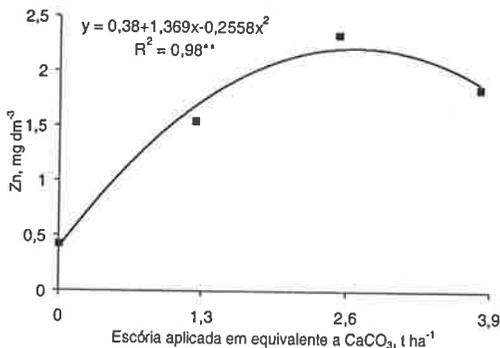


Figura 3. Efeito da aplicação de escória de siderurgia na disponibilidade de Zn em um Latossolo Vermelho-Amarelo. (Média de duas épocas de amostragens e quatro repetições)

Rajj *et al.* (1996), passou da classe baixa para a alta. Esse resultado é importante, uma vez que a maioria dos solos do Brasil Central são limitantes nesse elemento (Lopes, 1975).

Observou-se, de maneira geral, que a aplicação da escória de siderurgia em área cultivada com cana-de-açúcar resultou em efeito quadrático na disponibilidade dos micronutrientes no solo. No entanto, Orlando Filho *et al.* (1994), trabalhando em área cultivada com a mesma cultura após a aplicação de calcário, observaram incrementos no valor pH e decréscimos lineares nas concentrações de Cu, Fe e Mn do solo, as quais atingiram níveis abaixo do valor crítico para a cana-de-açúcar. Como neste ensaio a disponibilidade de micronutrientes no solo sofreu incremento quadrático com aplicação da escória, contrastando com a literatura em que é relatada redução linear quando da aplicação de calcário, pode-se inferir que o resíduo siderúrgico é uma promissora fonte de nutrientes. Provavelmente, isto pode ser explicado pela presença dos micronutrientes na constituição química da escória, comparativamente ao calcário, conforme relataram Valadares *et al.* (1974).

É importante destacar, ainda, que o aumento na disponibilidade dos micronutrientes no solo afetou positivamente a produção de cana-de-açúcar. A aplicação da escória de siderurgia aumentou de forma linear

a produção de colmos da cana-planta e da cana-soca ($Y=76,84+3,3050x$, $R^2=0,62^*$).

Diante da resposta positiva da cana-de-açúcar, correlacionaram-se as concentrações dos micronutrientes no solo e a produção da cana-planta e da cana-soca, observando-se correlação significativa: Mn = 0,79**; Zn = 0,71**; Cu = 0,74** e B = 0,60**, com exceção do ferro (Fe = 0,18^{ns}). A falta de relação entre o Fe disponível e a produção de cana-de-açúcar era esperada, tendo em vista a alta concentração desse elemento no solo em estudo (Fe = 13,1 mg dm⁻³). Para os demais micronutrientes, porém, a aplicação da escória elevou suas concentrações no solo (Figuras 1, 2 e 3), influenciando positivamente na produção de colmos. A importância dos micronutrientes no desenvolvimento e na produção da cana-de-açúcar é relatada por Orlando Filho (1993).

Como a escória de siderurgia afetou significativamente a disponibilidade dos micronutrientes, a reação do solo e, conseqüentemente, a saturação por bases, o estudo das relações entre essas variáveis mostrou-se oportuno. Assim, avaliou-se o efeito do valor pH e da saturação por bases, para as duas épocas de amostragem de solo.

Pelos resultados obtidos, observa-se relação quadrática do valor pH (Figura 4a) e da saturação por bases (FIGURA 4b) com as concentrações de Mn, Zn, B e Cu disponíveis no solo. O mesmo ocorreu com o Fe, tanto para o valor pH ($Y=-335,98+121,510x-10,4090x^2$, $R^2=0,99^{**}$), quanto para a saturação por bases ($Y=-49,33+2,025x-0,0153x^2$, $R^2=0,99^{**}$). De maneira geral, o pH e a V%, a partir de determinados níveis, estiveram associados à redução na disponibilidade dos micronutrientes. Tal comportamento pode estar relacionado à solubilidade da escória em função do pH. Em condições mais ácidas há maior dissolução do resíduo e, conseqüentemente, maior liberação de micronutrientes da escória, ao passo que condições menos ácidas propiciaria equilíbrio na disponibilidade dos elementos. Quando o ambiente tende à neutralidade a solubilidade dos micronutrientes diminui, favorecendo a formação de óxidos dos cátions divalentes e a formação de complexos de superfície (adsorção específica ou seletiva) desses cátions com sesquióxidos de Fe e Al do solo (Kinniburgh *et al.*, 1976), que ocorrem

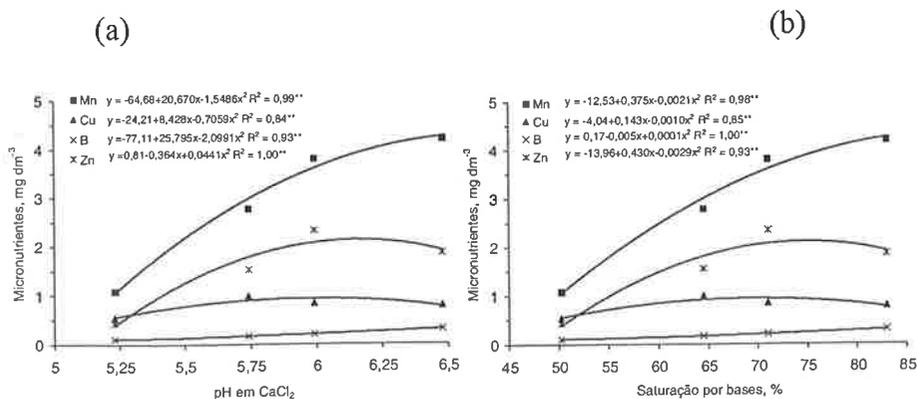


Figura 4. Relação quadrática do valor pH (a) e da saturação por bases (b) na disponibilidade dos micronutrientes Mn, Cu, B e Zn de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a aplicação de escória de siderurgia (Média de duas épocas de amostragem e quatro repetições)

devido à conversão de sítios diprotonados carregados positivamente, para sítios monoprotonados que, por sua vez, convertem-se para sítios carregados negativamente (Janne, 1998).

Com base nas equações obtidas, pode-se estimar que, em geral, valores de pH e de saturação por bases superiores a 5,8 e 67%, respectivamente, acarretaram redução na disponibilidade de todos os micronutrientes analisados. Esses valores específicos para o Fe, Mn, Cu, B e Zn foram, respectivamente, para o valor pH e saturação por bases, de 5,8 e 67%; 6,5 e 83%; 6,0 e 72%; 6,5 e 83% e 6,2 e 73%. Portanto, o Fe foi o mais afetado, quando comparado ao B, Mn e Zn, que foram menos sensíveis à redução na reação do solo. O efeito desses atributos químicos, especialmente do valor pH na disponibilidade de micronutrientes, é amplamente discutido na literatura (Malavolta, 1980).

CONCLUSÕES

- 1 A escória de siderurgia promoveu efeito favorável na disponibilidade de Fe, Cu, B e Zn do solo.

- 2 O resíduo siderúrgico promoveu aumento quadrático no Fe, Mn, Cu e Zn e linear no B disponíveis no solo. Esse efeito quadrático, por sua vez, esteve associado ao valor pH e à saturação por bases superiores a 6,0 e 72 %, respectivamente, com exceção do Fe.
- 3 A escória de siderurgia comportou-se adequadamente como corretivo de acidez do solo e como fonte de micronutrientes.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo auxílio financeiro concedido (Processo 97/05888-5) e a Agropecuária Nossa Senhora Aparecida pela cessão da área física e toda estrutura necessária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A.G.; FURTINI NETO, A.E.; MUNIZ, J.A.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A., 2000. Pó de Forno Elétrico de Siderurgia como Fonte de Micronutrientes e de Contaminantes para Plantas de Milho. **Pesq. Agrop. Brasil.**, **35**:1483-1491.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C., 1997. Solubilidade de Metais Pesados em Solo Tratado com Resíduos Siderúrgicos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, **21**:9-16.
- AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F., 1994. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de Quatro Corretivos da Acidez e Absorção por Alfaca em Dois Solos. **Pesq. Agrop. Brasil.**, **29** (9):1351-1358.
- CARTER, O.R.; COLLIER, B.L.; DAVIS, F.L., 1951. Blast Furnace Slags as Agricultural Liming Material. **Agronomy J.**, **43**:430-433.
- CARVALHO, J.G., 2000. Análise de Crescimento e Produção de Grãos da Cultura do Arroz Irrigado por Aspersão em Função da Aplicação de Escórias de Siderurgia como Fonte de Silício. Botucatu, 114p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G.; ALVAREZ, V.V.H., 1992. Eficiência Agronômica de um Resíduo de Indústria Siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, **16**:127-31.

- FAO. **Production**. Roma. (Internet:<http://apps.fao.org>, capturado em 28 dez.1999).
- JENNE, E.A., 1998. Adsorption of Metals by Geomedia Data Analysis, Models, Controlling Factors, and Related Issues. In: JENNE, E.A. **Adsorption of Metals by Geomedia: Variables, Mechanisms, and Model Applications**. San Diego: Academic Press, p.1-73.
- KINNIBURG, D.G.; JACKSON, M.L.; SYERS, J.K., 1976. Adsorption of Alkaline Earth, Transition, and Heavy Metal Cations by Hydrous Oxide Gels of Iron and Aluminum. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, **40**:796-799.
- LINDSAY, W.L.; NORWELL, W.A., 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, **42**:421-428.
- LOPES, A.S., 1975. A Survey of Fertility Status of Soils Under "Cerrado" Vegetation in Brasil. Raleigh, 138p. Dissertação (Mestrado) - North Carolina State University.
- MALAVOLTA, E., 1980. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p.
- MALAVOLTA, E., 1994. **Fertilizantes e seu Impacto Ambiental: Micronutrientes e Metais Pesados: Mitos, Mistificações e Fatos**. Piracicaba: ProduQuimica, 153p.
- ORLANDO FILHO, F.; ROSSETO, R.; MURAOKA, T., 1994. Efeito Residual de Tipos e Doses de Calcários Utilizados em Cana-de-Açúcar: Avaliação em Relação a Micronutrientes e pH do Solo. **STAB**, **12**:15-19.
- ORLANDO FILHO, J., 1983. **Nutrição e Adubação da Cana-de-Açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA, Planalsucar, 368p.
- PIAU, W.C., 1991. Variabilidade do Uso das Escórias como Corretivo e Fertilizante. Piracicaba, 99p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- PIAU, W.C., 1995. Efeitos de Escórias de Siderurgia em Atributos Químicos de Solos e na Cultura do Milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 124p. Tese Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 124p.
- PIMENTEL-GOMES, F., 1985. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo, Nobel, 466p.

- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M., 2000. Eficiência da Escória de Siderurgia em Areia Quartzosa na Nutrição e na Produção de Matéria Seca de Cana-de-Açúcar Cultivada em Vaso. **STAB**, 18(4):36-39.
- QUAGGIO, J.A., 2000. **A Acidez e Calagem em Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 111p.
- RAIJ, B.van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J A, FURLANI, A.M.C. (Eds.), 1996. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed., Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, p.285. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B.van, QUAGGIO, J.A., CANTARELLA, H., 1987. **Análise Química do Solo para fins de Fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 107p.
- VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R., 1974. Estudos de Materiais Calcários Usados como Corretivos do Solo no Estado de São Paulo. Determinação de Mo, Co, Cu, Zn e Fe. **Bragantia**, 33:147-152