

Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz⁽¹⁾

Juliana Garcia Carvalho-Pupatto⁽²⁾, Leonardo Theodoro Büll⁽³⁾, Carlos Alexandre Costa Crusciol⁽⁴⁾, Munir Mauad⁽²⁾ e Rosemeire Helena da Silva⁽²⁾

Resumo – A utilização agrícola de resíduos industriais como fertilizantes decorre da necessidade de diminuir o efeito nocivo do acúmulo de nutrientes nos centros de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade do arroz de terras altas irrigado por aspersão. O experimento foi realizado no campo, adotando-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco doses de escória de alto forno (0, 2.550, 5.100, 10.200 e 15.300 kg ha⁻¹) com quatro repetições. A utilização de escória melhorou a condição química do solo, aumentou o crescimento e a superfície radicular, diminuiu o diâmetro das raízes e elevou os teores de silício no solo e na planta, resultando em aumento da produtividade.

Termos para indexação: solo, nutriente, resíduo industrial, silício.

Effect of blast furnace slag on root growth and yield of rice

Abstract – Agricultural use of industrial residues as fertilizers is due to the need of reducing nutrient accumulation in centers of production. The objective of this study was to evaluate the effects of blast furnace slag on root growth and productivity of highland rice irrigated by sprinkler. The experiment was carried out on field conditions. The experimental design was a randomized block, with five rates of blast furnace (0, 2,550, 5,100, 10,200, and 15,300 kg ha⁻¹) and four replications. Use of the slag improved chemical attributes of the soil, increased root growth and surface and reduced root diameter. It increased the silicon content in the soil and in the plant, resulting in higher yield.

Index terms: soil, nutrients, industrial wastes, silicon.

Introdução

A utilização de resíduos industriais e urbanos na agricultura como fonte de nutrientes ou como corretivos da acidez é uma tendência decorrente da necessidade de minimizar os efeitos nocivos do acúmulo de nutrientes nos centros de produção (Marciano et al., 2001).

Escórias são resíduos da indústria do aço e ferro, que apresentam em sua composição constituintes

neutralizantes (Alcarde, 1992), especialmente Ca e Mg (Piau, 1991), Si (Winslow, 1992) e metais não prejudiciais às plantas e ao solo (Piau, 1995).

As melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do SiO₃²⁻, e, conseqüentemente, da elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, CTC e V%, e diminuição da concentração de H+Al (Prado & Fernandes, 2000, 2003; Prado et al., 2002).

A presença de Ca na solução em contato com as raízes é essencial para a sobrevivência das mesmas, pois esse nutriente não se transloca da parte aérea para as porções novas das raízes em crescimento (Caires et al., 2001). Além disso, o Ca é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e das paredes celulares (Malavolta et al., 1997).

Elemento benéfico para as plantas, o Si aumenta a resistência às doenças (Takahashi, 1995), melhora o aproveitamento da água (Agarie et al., 1998) e aumenta a fotossíntese (Deren et al., 1994) e a produ-
ti-

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 6 de outubro de 2003.

⁽²⁾ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Dep. de Produção Vegetal, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, SP. E-mail: mauad@laser.com.br

⁽³⁾ Unesp, FCA, Dep. de Recursos Naturais. Bolsista do CNPq. E-mail: bull@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Unesp, FCA, Dep. de Produção Vegetal. Bolsista do CNPq. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

vidade, principalmente em espécies acumuladoras desse elemento como o arroz e cana-de-açúcar (Korndörfer & Datnoff, 1995).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade do arroz de terras altas, irrigado por aspersão.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 1998/1999, na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no Município de São Manuel, pertencente à Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Campus de Botucatu, SP. O local apresenta latitude 22°45' S, longitude 48°34' W e altitude de 750 m. O clima predominante na região é do tipo Cwa (Köppen), ou seja, clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto & Drugowich, 1994).

O solo da área experimental, Latossolo Vermelho-Escuro, textura média apresentou as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm: pH (CaCl₂) 5,3; MO, 8 g dm⁻³; H+Al, K, Ca, Mg, SB e CTC iguais a 12, 1,3, 12, 6, 19 e 31 mmol_c dm⁻³, respectivamente; V%, 61; P_{resina}: B, Cu, Fe, Mn, Zn e Si iguais a 7, 0,14, 0,6, 10, 2,7, 0,3 e 5,9 mg dm⁻³, determinados conforme Raij et al. (2001) e Korndörfer et al. (1999).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se das doses 0, 2.550, 5.100, 10.200 e 15.300 kg ha⁻¹ de escória de alto forno, equivalentes a 0, 500, 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha⁻¹ de silício. O material utilizado apresentou Fe, Mn, Si, Al, Ca, Mg, P, Na, K e S iguais a 16, 23, 196, 62, 219, 55, 0,2, 1,8, 9 e 1,3 g kg⁻¹, respectivamente, determinados segundo Brasil (1988). Cinco dias antes da semeadura, aplicaram-se as doses da escória a lanço nas parcelas incorporadas ao solo (0-20 cm) com o auxílio de uma grade aradora.

A cultivar de arroz utilizada foi a IAC-202, proveniente do cruzamento IAC 25 x Lemonnt com porte baixo ou intermediário (80-100 cm), ciclo médio (120 dias), 87 dias da emergência ao florescimento, grãos tipo longo fino (agulhinha), moderadamente suscetível à brusone (*Pyricularia oryzae* Cav.), ótima resistência ao acamamento e baixa tolerância à toxidez de Al³⁺ e ferro.

Aplicaram-se no sulco de semeadura 270 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10, conforme Raij et al. (1996). Foram realizadas três adubações em cobertura: a primeira no perfilhamento (fase vegetativa) com 30 kg ha⁻¹ de N e 13 kg ha⁻¹ de K₂O, a segunda no ponto de algodão (fase

reprodutiva) com 30 kg ha⁻¹ de N e 15 kg ha⁻¹ de K₂O e a terceira no emborrachamento (fase reprodutiva) com 30 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando sulfato de amônio e cloreto de potássio.

A semeadura foi realizada no dia 9/11/98, utilizando-se a densidade de 100 sementes viáveis por m², no espaçamento de 0,30 m entre linhas. Cada parcela foi constituída de 10 linhas de 5 m de comprimento. Foram desprezadas as duas linhas externas e 0,50 m de cada extremidade, obtendo-se uma área útil de 9,6 m². A irrigação foi realizada, utilizando um sistema por aspersão convencional fixo, sempre que os tensiômetros indicavam tensão de 35,5 kPa.

Na época do florescimento, quando 50% das plantas encontravam-se com as panículas visíveis, foi realizada a amostragem para crescimento radicular, utilizando-se um trado de aço galvanizado com diâmetro de 4,5 cm, amostrando nas camadas do solo de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm. As raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente sobre peneira de 0,5 mm. O material lavado e separado foi acondicionado em coletor universal com uma solução 70% de álcool e 30% de água e levados a geladeira a uma temperatura de 4°C.

As avaliações foram realizadas em um Scanner, desenvolvido para esse fim, acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Nesse equipamento, determinou-se o comprimento (km m⁻³), a superfície (m² m⁻³), e o diâmetro (cm). Após essas avaliações as amostras foram secadas em estufa a 65°C, onde posteriormente foi determinada a massa da matéria seca radicular (g m⁻³).

Na colheita avaliaram-se a produção de matéria seca da parte aérea, as características químicas do solo (pH, H+Al, Ca, Mg e Si) na profundidade de 0-20 cm, conforme Raij et al. (2001) e Korndörfer et al. (1999), produtividade de grãos e Si na planta, determinado segundo Elliott & Snyder (1991). Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão polinomial.

Resultados e Discussão

O aumento nas doses de escória proporcionou aumentos significativos nos valores de pH, Ca, Mg e Si e redução na acidez potencial (H+Al) (Figura 1). O aumento do valor de pH está relacionado ao poder neutralizante da base SiO₃²⁻ (Alcarde, 1992), presente no material utilizado. Resultados semelhantes foram obtidos por Ribeiro et al. (1986), Prado et al. (2002) e Prado & Fernandes (2003).

À medida que as doses de escória foram aumentadas, houve redução da acidez potencial (H+Al), causada pela elevação do pH gerado pela reação da base SiO_3^{2-} no solo, formando $\text{HSiO}_3 + \text{OH}^-$ (Alcarde, 1992), que reduziu o H^+ presente na solução do solo. A contínua remoção de H^+ da solução do solo conduz também à precipitação do íon Al^{3+} na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Pavan & Oliveira, 1997).

Assim como em relação ao pH, o incremento nas doses de escória aumentou de forma linear os valores de Ca, Mg e Si (Figura 1). Prado & Fernandes (2000), trabalhando com escória de siderurgia, encontraram aumentos nos teores de Ca e Mg nos solos cultivados com cana-de-açúcar. Esse aumento é

resultado da composição química do material empregado, pois, no processo de fundição do aço, o Ca e o Mg provenientes do calcário e silicato participam das reações (Firme, 1986), ou seja, à medida que as doses de escórias aumentaram, os teores destes elementos também aumentaram.

O valor inicial de Si no solo ($5,9 \text{ mg dm}^{-3}$) é considerado baixo segundo Korndörfer et al. (2001), e é uma consequência do elevado grau de intemperismo do solo das regiões tropicais (Malavolta, 1980). A utilização da escória elevou os teores de Si no solo, resultado da sua composição química (Figura 1).

Apesar de os teores iniciais de Ca e Mg no solo serem considerados alto e médio (Raj et al., 1996),

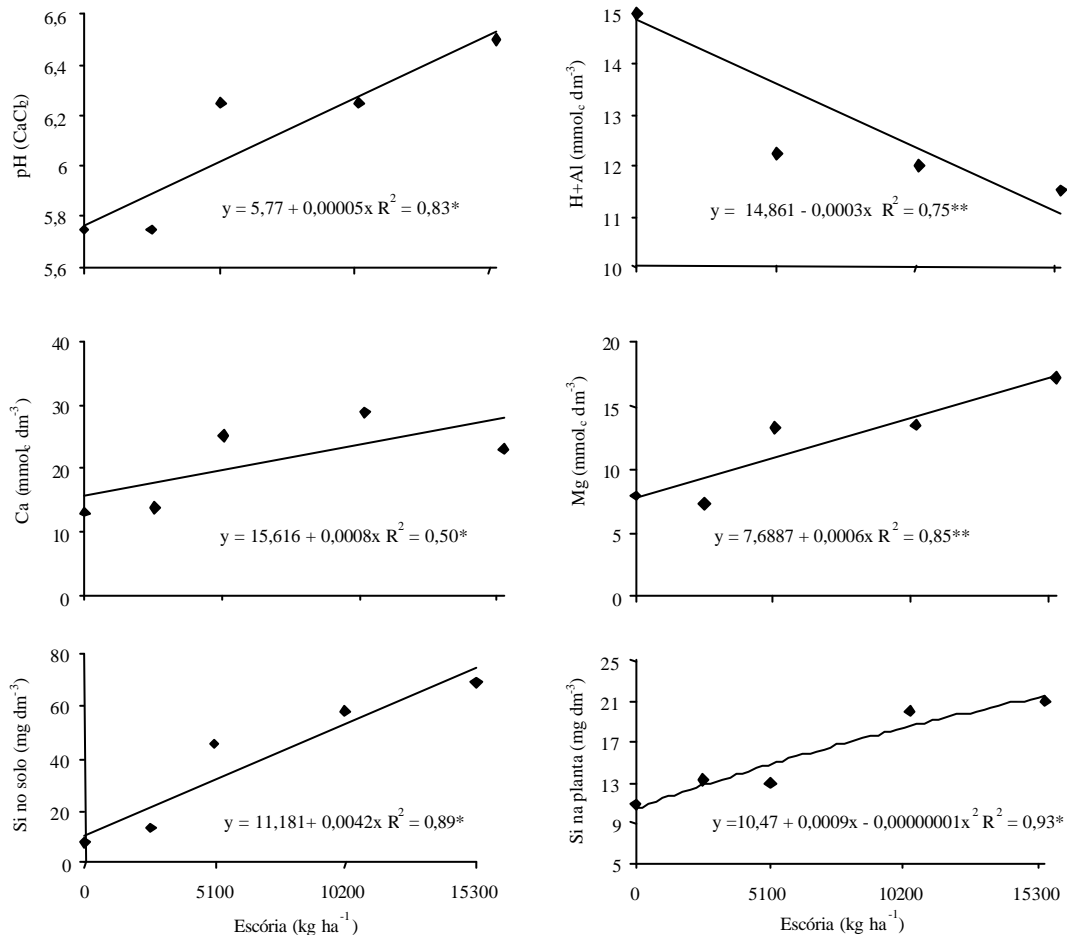


Figura 1. Valores de pH, H+Al e teores de cálcio e magnésio no solo e de silício no solo e na planta em razão das doses de escória aplicadas em terras altas no cultivo de arroz irrigado por aspersão. * e **Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

respectivamente, a aplicação de escória aumentou o comprimento e a superfície radicular (Figura 2). Os melhores resultados foram obtidos nas doses de 5.100 e 10.200 kg ha⁻¹ por causa da elevação dos teores de Ca e Mg no solo e do aumento do pH e, conseqüentemente, pela diminuição da acidez potencial decorrente do material empregado (Figura 1). Tanto o Ca como o Mg participam do crescimento radicular por meio de pectatos de Ca e Mg que compõem a parede celular (Malavolta, 1980). Rosolem et al. (1995) observaram aumentos no crescimento radicular de soja mesmo quando o solo apresentava originalmente 20,0 mmol_c dm⁻³ de cálcio. O comprimento radicular diminuiu com a profundidade, o que pode ser atribuído à irrigação, que fez com que o mesmo se concentrasse na camada de 0-20 cm (Figura 2).

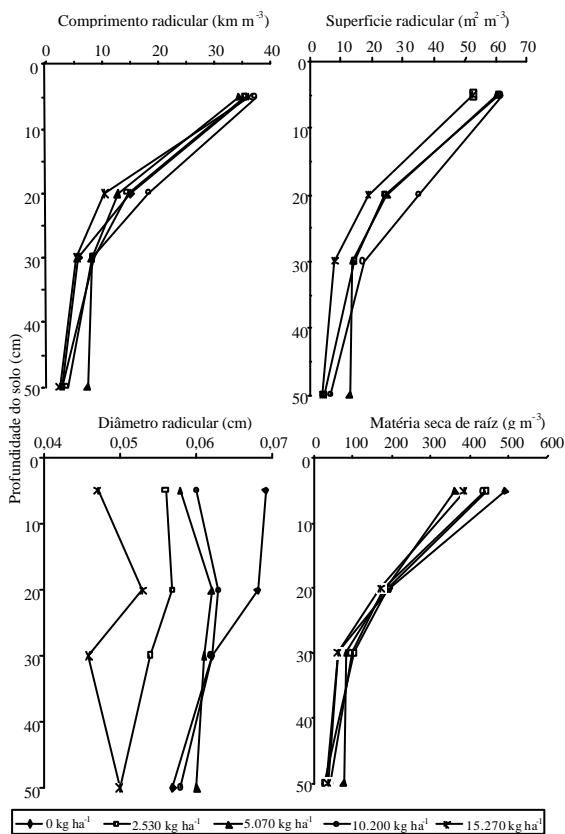


Figura 2. Comprimento radicular, superfície radicular, diâmetro radicular e matéria seca de raiz de arroz de terras altas irrigado por aspersão, no perfil do solo, em razão da aplicação das doses de escória de siderurgia.

O uso da escória proporcionou os menores valores de diâmetro radicular até a profundidade de 20 cm, sendo a diferença a partir desta profundidade menos acentuada (Figura 2). Embora o padrão de enraizamento esteja sob controle genético, o crescimento das raízes pode ser modificado por fatores químicos e físicos do solo (Taylor & Arkin, 1981). Segundo Adams & Moore (1983), a presença de Al³⁺ promove atrofiamento do sistema radicular com engrossamento e surgimento de raízes laterais pequenas e grossas. Como o material foi incorporado a 20 cm de profundidade, as condições químicas do solo foram modificadas nesta faixa, proporcionando um ambiente mais propício ao desenvolvimento radicular e raízes mais finas (Figura 2).

A massa da matéria seca de raiz apresentou comportamento distinto das demais variáveis analisadas (Figura 2). Nos primeiros 5 cm do solo, a dose zero de escória apresentou os maiores valores, ocorrendo uniformidade a partir de 20 cm de profundidade. O maior valor de massa de matéria seca na dose zero pode ser explicado pelo maior diâmetro e comprimento radicular nesta camada (Figura 2).

Tanto em relação à matéria seca da parte aérea como em relação à produtividade de grãos, houve resposta quadrática à aplicação de escória (Figura 3). Como o arroz é uma planta acumuladora de Si (Takahashi, 1995), à medida que as doses de escória aumentaram, os teores de Si no solo e na planta também foram incrementados (Figura 1). Com a utiliza-

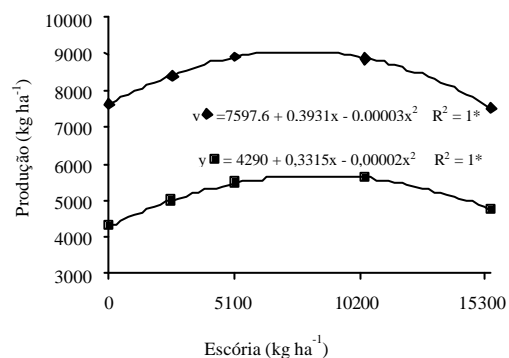


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea (◆) e de grãos (■), em razão de doses de escória aplicadas em terras altas no cultivo de arroz irrigado por aspersão. *Significativo a 5%.

ção de 5.542 kg ha⁻¹ de escória, os valores de Si no solo aumentaram além de 20 mg dm³, o que, segundo Korndörfer et al. (2001), é considerado alto (Figura 1). O Si melhora a arquitetura da planta e aumenta a taxa fotossintética (Deren et al., 1994), resultado de uma menor abertura de ângulo foliar, permitindo maior captação da energia luminosa (Yoshida et al., 1969) e aumento de produtividade. O resultado do presente trabalho corrobora os de Takahashi (1995) e Yoshida et al. (1969).

A queda de produção de grãos e de matéria seca a partir da utilização de 8.880 kg ha⁻¹ de escória pode estar relacionada à elevação do pH, tornando micronutrientes indisponíveis, especialmente o Zn (Figura 3). O Zn está associado à síntese de triptofano, precursor da auxina, hormônio vegetal promotor do crescimento (Malavolta, 1980).

Conclusões

1. A utilização de escória de alto forno, por meio da melhoria das condições químicas do solo, propicia aumento do comprimento e superfície radicular e redução do diâmetro radicular.

2. O incremento das doses de escória aumenta os teores de silício no solo e na planta, mas doses acima de 8.880 kg ha⁻¹ podem reduzir a disponibilidade de micronutrientes e, conseqüentemente, a produtividade.

Referências

- ADAMS, F.; MOORE, B. L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 99-102, 1983.
- AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, Tokyo, v. 1, p. 89-95, 1998.
- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. (Boletim Técnico 6).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes**: métodos oficiais. Brasília, 1988. 104 p.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.
- DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 733-737, 1994.
- ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 34, p. 1118-1119, 1991.
- FIRME, D. J. **Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia como fosfato natural**. 1986. 55 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.
- KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-3, 1995.
- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 635-641, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; PERDOMO, R.; POWELL, C.; DEREN, C.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, p. 1071-1084, 2001.
- LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. v. 2.
- MALAVOLTA, E. **Elemento de nutrição de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. S.; OLIVEIRA de S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um latossolo amarelo saturado e não-saturado. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2001.
- PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. de. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1997. 87 p. (Circular, 95).
- PIAU, W. C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 124 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- PIAU, W. C. **Viabilidade do uso de escória como corretivo e fertilizante**. 1991. 99 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 739-744, 2000.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfaca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATTOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo da acidez do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 33, n. 187, p. 242-248, 1986.
- ROSOLEM, C. A.; BICUDO, S. J.; MARUBAYASHI, O. M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate quality. In: DATE, R. A.; GRUNDON, N. J.; RAYMENT, G. E.; PROBERT, M. E. (Ed.). **Plant soil interactions at low pH: principles and management**. Dordrecht: Kluwer, 1995. p. 543-547.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATUSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of rice plant physiology**. Tokyo: Nobunkyo, 1995. v. 2, p. 420-433.
- TAYLOR, D.; ARKIN, G. F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, D.; ARKIN, G. F. (Ed.). **Modifying the root environment to reduce crop trees**. St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 3-16
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, London, v. 63, p. 995-1001, 1975.
- WINSLOW, M. D. Silicon, disease, resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 1208-1213, 1992.
- YOSHIDA, S.; NAVESAR, S. A.; RAMIREZ, E. A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of rice plant. **Plant and Soil**, Dordrecht v. 31, p. 48-56, 1969.