

## APLICAÇÃO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA FERRO-CROMO NA REAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

Renato de Mello Prado<sup>1</sup>

Renata Moreira Leal<sup>2</sup>

Claudenir Facincani Franco<sup>2</sup>

Luiz Fernando Braghirolli<sup>2</sup>

### RESUMO

A escória de siderurgia ferro-cromo é um subproduto da indústria de fabricação de ligas de ferro-cromo e pode ser utilizada como corretivo da acidez do solo. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a aplicação de doses da escória de siderurgia ferro-cromo, observando seus efeitos em diferentes tempos de incubação, sobre as propriedades químicas de um substrato proveniente de um Latossolo Vermelho distrófico. Para tanto, foi instalado um experimento em condições de laboratório, empregando-se cinco doses de escória (zero; 0,375; 0,750; 1,125 e 1,500 g dm<sup>-3</sup>), e cinco períodos de incubação (1, 2, 3, 4 e 7 meses), com três repetições. O substrato utilizado foi um Latossolo Vermelho distrófico, incubado com a escória em copos plásticos com 0,40 dm<sup>3</sup> de solo. A aplicação da escória de siderurgia ferro-cromo mostrou-se eficiente na neutralização da acidez do solo. Houve aumento do valor pH, redução na acidez potencial, incremento nas concentrações de cálcio e magnésio, bem como elevação da soma de bases e da saturação por bases do Latossolo Vermelho distrófico. Após o terceiro mês de incubação da escória observou-se o efeito residual dos

---

<sup>1</sup> Prof. Dr. do Depto. de Solos e Adubos, FCAV/ Unesp. Via de Acesso Prof. Paulo D. Castellane, s/n. 14870-000 Jaboticabal-SP. [rmprado@fcav.unesp.br](mailto:rmprado@fcav.unesp.br). <sup>2</sup> Engº Agrº Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo) Depto. de Solos e Adubos, FCAV/ Unesp.

atributos químicos do solo do Latossolo Vermelho distrófico principalmente nas maiores doses.

**Palavras-chave:** corretivo da acidez, resíduo industrial, siderúrgica, liga de ferro-cromo.

## APPLICATION OF BASIC SLAG IRON-CHROMIUM IN THE REACTION OF A DARK RED LATOSOL

### ABSTRACT

The basic slag iron-chromium is a product by of the iron and chromium industry that can be used to correct soil acidity. Therefore, this research was undertaken to evaluate the application of basic slag iron-chromium doses, observing their effects in different times of incubation, on the chemical properties of a substrate from a Dark Red Latosol. An experiment was set under lab conditions, using five basic slag doses (zero; 0.375; 0.750; 1.125 and 1.500 g dm<sup>-3</sup>), and five incubation times (1, 2, 3, 4 and 7 months), with three replications. The substrate was a dystrophic Dark Red Latosol, incubated in plastic cups with 0.40 dm<sup>3</sup> of soil. The application of basic slag was efficient in neutralizing soil acidity. One observed a pH increase, followed by reduction of the potential acidity, increased concentration of calcium and magnesium, as well as an elevation of the sum of bases and bases saturation in the substrate. After three months of incubation there was a residual effect of soil chemical attributes, especially in higher doses.

**Key words:** acidity correction, industrial residue, steel industry, iron-chromium alloy.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção brasileira de escória de siderurgia supera os três milhões de toneladas, além do estoque que vem sendo acumulado ao longo do tempo (Prado et al., 2001b). É conhecido o potencial de uso agrícola desse subproduto, como alternativa ao tradicional calcário, com a vantagem de que seu emprego diminui o impacto ambiental em torno das indústrias produtoras de ferro, aço e seus derivados (ligas metálicas).

A maioria das escórias produzidas no Brasil são resíduos da indústria de ferro e aço apresentando em sua composição silicatos ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) (Alacarde, 1992), além de bases como Ca e Mg (Piau, 1991). A escória de siderurgia apresenta, ainda, um efeito residual prolongado como corretivo da acidez do solo (Prado e Fernandes, 2000). As melhorias nas propriedades químicas do solo devido a utilização da escória decorrem da ação neutralizante do silicato ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) e, conseqüentemente, da elevação do pH, diminuição da acidez potencial (H+Al) e aumento das concentrações de Ca e Mg, valor de saturação por bases do solo (Prado e Fernandes, 2000, 2003; Prado et al., 2002).

É possível que o efeito residual dos silicatos no solo, pelo uso da escória, seja devido ao equilíbrio químico, ou seja, com a solubilização da escória obtém-se um incremento inicial do valor pH e da concentração de Ca. Esse aumento pressupõe decréscimos na dissolução da escória, uma vez que a solubilidade desse material em solução aquosa diminui com o aumento do pH e da concentração de Ca na solução (Kato e Owa, 1996).

A escória de siderurgia é, atualmente, pouco utilizada na agricultura brasileira, contrariamente ao que ocorre nos Estados Unidos, Japão e China. Na literatura nacional, existem alguns trabalhos que tratam do uso desse resíduo como corretivo de acidez e a sua relação com a resposta das culturas, especialmente as anuais como arroz, sorgo e milho (Prado et al., 2001b).

A maioria dos estudos com a escória de siderurgia, conduzidos no Brasil, restringindo-se aos tipos de aciaria e de alto forno (Prado et al., 2001a), inexistindo pesquisas com a escória ferro-cromo. Este tipo de subproduto tem origem nas siderúrgicas produtoras de liga ferro-cromo, com baixo carbono. Para produzir 1 tonelada desta liga é gerada cerca de 0,5 toneladas da escória de siderurgia ferro-cromo. Assim, grande parte desse resíduo está sendo estocado e, portanto, subutilizado.

Frente ao exposto o presente trabalho objetivou avaliar a aplicação de doses da escória de siderurgia ferro-cromo, observando seus efeitos em diferentes tempos de incubação, sobre as propriedades químicas de um substrato proveniente de um Latossolo Vermelho distrófico.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em condições de laboratório na FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo. Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), coletadas na camada de 40-60 cm de profundidade. Essas amostras foram homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura. Realizou-se a análise química, conforme descrito por Raij et al. (2001), que revelou as seguintes características: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,4; MO = 7 g dm<sup>-3</sup>; P(resina) = 2 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,5; Ca = 4; Mg = 2; H+Al = 16; SB = 6,5; T = 22,5 todos em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e V = 29%.

Utilizou-se a escória de siderurgia ferro-cromo, com baixo carbono, proveniente da indústria siderúrgica produtora da liga ferro-cromo. Salienta-se que a indústria utiliza como matéria prima: cromita (42% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), cal virgem; liga de ferro-silício-cromo (mistura de quartzo, liga de ferro-cromo de alto carbono e carvão). Assim a escória de siderurgia ferro-cromo apresenta as seguintes características químicas: SiO<sub>2</sub> = 333,4; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 34,0; FeO = 10,0; K<sub>2</sub>O = 1,3; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0,1 g kg<sup>-1</sup>; S = 79,0; Cu = 27; Pb < 5;

Zn = 17; B < 10 todos em  $\text{mg kg}^{-1}$ ; CaO = 300  $\text{g kg}^{-1}$ ; MgO = 90  $\text{g kg}^{-1}$ ; Poder de Neutralização = 77%; Reatividade = 100%. Considerou-se a RE=100% pois a granulometria do material era inferior à peneira ABNT n° 50. Para a escória de siderurgia atingir a presente granulometria, a mesma foi previamente moída.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 5 x 5, com cinco doses da escória ferro-cromo (zero; 0,375; 0,750; 1,125 e 1,500  $\text{g dm}^{-3}$ ), e cinco períodos de incubação (1, 2, 3, 4 e 7 meses), com três repetições. O material corretivo, nas diferentes doses, foi homogeneizado com as amostras de solo e acondicionados em copos plásticos com 0,40  $\text{dm}^3$  de solo, compondo a unidade experimental.

A umidade do solo foi mantida na capacidade de campo nos diferentes períodos de incubação. Após cada período (1, 2, 3, 4 e 7 meses) o solo de cada tratamento foi seco, passado em peneira de 2 mm e amostrado para as determinações da análise química para fins de fertilidade (pH, H+Al,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), conforme descrito por Raji et al. (2001) e a partir desses dados calculou-se a soma de base e a saturação por bases.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos observou-se que os fatores doses da escória, tempo de incubação e sua interação foram significativos, promovendo modificações nos atributos químicos do solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valor pH, concentrações de cálcio e magnésio, acidez potencial, soma de bases e saturação por bases, de um Latossolo Vermelho distrófico, avaliado após diferentes tempos de incubação, em função das doses de escória aplicadas (média de três repetições)

Causas da Variação	pH	Ca	Mg	(H+Al)	SB	V
Doses (D)	217,31**	473,02**	412,46**	82,88**	585,52**	475,46**
Tempos (T)	2,72*	10,95**	12,46**	3,49*	15,31**	8,88**
D x T	2,22*	2,15*	4,39**	4,74**	2,34*	1,36*
QM resíduo	0,05	0,69	0,13	1,24	1,10	1,72
Desvio Padrão	0,22	0,83	0,36	1,11	1,05	3,42
C.V. (%)	3,9	9,9	10,3	9,4	8,5	7,0

\*\* \* significativo a 1% e 5% respectivamente. D = doses da escória (0; 0,375; 0,750; 1,125 e 1,500 g dm<sup>-3</sup>); T= tempos de incubação (1, 2, 3, 4 e 7 meses).

Houve diferença significativa entre os tratamentos do fatorial dose e tempo de incubação para as variáveis valor pH e H+Al, nas concentrações de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no valor soma de bases e na saturação por bases (Tabela 2).

Ocorreu aumento significativo nos valores pH, a medida em que se aumentou a dose da escória e, além da dose, o tempo também foi importante para a neutralização da acidez do solo. O aumento do pH está relacionado ao poder neutralizante da base SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (Alcarde, 1992) presente no subproduto utilizado. Silva et al. (2002) observaram que a aplicação de escória de aciaria em Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo aumentaram o valor pH de ambos os solos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pinto et al. (1995) estudando o efeito de doses (0, 1000, 1500, 3000, 5000 e 7500 kg ha<sup>-1</sup>) de escória Linz-Donawitz (subproduto das indústrias de ferro e aço) nas propriedades do solo. Verificaram que com o aumento das doses houve elevação do valor pH e diminuição da acidez potencial.

**Tabela 2.** Valor pH, concentrações de cálcio e magnésio, acidez potencial, soma de bases e saturação por bases, de um Latossolo Vermelho distrófico, avaliado após diferentes tempos de incubação, em função das doses de escória aplicadas (média de três repetições)

	Tempo de Incubação	Doses				
		0	0,375	0,750	1,125	1,500
pH (CaCl <sub>2</sub> )	T1	4,7 Ad	5,2 Acd	5,7 Bbc	6,0 Bab	6,4 Aa
	T2	4,6 ABd	5,3 Ac	6,2 Aab	5,9 Bb	6,6 Aa
	T3	4,6 ABd	5,1 Ac	5,9 ABb	6,4 ABa	6,6 Aa
	T4	4,4 ABd	5,3 Ac	5,9ABb	6,6 Aa	6,8 Aa
	T7	4,2 Bd	5,2 Ac	5,8ABb	6,2 ABab	6,5 Aa
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	T1	2 Ad	5Ac	7 Bb	11 Ba	12 Ca
	T2	3 Ac	5 Ac	9 Ab	11 Bb	15 ABa
	T3	2 Ae	5 Ad	8 ABc	12 ABb	14 Ba
	T4	3 Ae	6 Ad	9 Ac	12 ABb	16 Aa
	T7	3 Ae	6 Ad	9 Ac	13 Ab	15 ABa
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	T1	1 Ae	2 Bd	3 Bc	4 Cb	5 Ba
	T2	1 Ad	2 Bc	4 Ab	4 Cb	6 Aa
	T3	1 Ad	2 Bc	3 Bb	5 Ba	6 Aa
	T4	1 Ae	2 Bd	4 Ac	5 Bb	6 Aa
	T7	1 Ad	3 Ac	4 Ab	6Aa	5 Ba
(H+Al) (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	T1	15,0 Ba	12,3 Ab	11,0 Abc	10,3 Bbc	9,0 ABc
	T2	15,0 Ba	12,3 Ab	10,0 Ab	11,7 ABb	11,0 Ab
	T3	15,0 Ba	12,3 Abc	10,7Acd	13,0 Aab	8,7 ABd
	T4	15,0 Ba	12,0 Ab	10,0 Abc	9,3 Bc	8,7 ABc
	T7	20,0 Aa	12,7 Ab	11,3 Abc	9,7 Bcd	8,3 Bd
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	T1	3,3 Ae	6,9 Ad	9,9 Bc	15,5 Bb	19,3 Ca
	T2	4,7 Ac	7,0 Ac	13,3 Ab	15,0 Bb	21,4 ABa
	T3	3,7 Ae	7,5 Ad	11,3 ABc	16,6 ABb	19,6 BCa
	T4	4,5 Ae	9,1 Ad	13,7 Ac	17,1ABb	22,6 Aa
	T7	4,3 Ad	9,2 Ac	13,5 Ab	19,0 Aa	20,5 ABCa
V (%)	T1	18 Ad	36 Ac	47 Bb	60 ABa	68 Aa
	T2	23 Ad	36 Ac	57 Ab	56 Bb	67 Aa
	T3	20 Ad	38 Ac	52 ABb	56 Bb	69 Aa
	T4	23 Ad	43 Ac	58 Ab	65 Aab	72 Aa
	T7	18 Ad	42 Ac	54 ABb	66 Aa	71 Aa

T1, T2, T3, T4, T7 = tempos de incubação (1, 2, 3, 4 e 7 meses). Letras maiúsculas comparam médias na linha e letras minúsculas comparam médias na coluna.

O aumento significativo nas concentrações de Ca e Mg refletiu de forma direta na soma de bases e na saturação por bases do solo (Tabela 2), uma vez que a escória em estudo possui na sua composição química 300 g kg<sup>-1</sup> de CaO e 90 g kg<sup>-1</sup> de MgO. Assim, com o aumento das doses da escória, independente do tempo de incubação, ocorreu elevação da soma de bases e da saturação por bases. Prado e Fernandes (2000) verificaram aumentos significativos nos teores de Ca e Mg em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico cultivados com cana-de-açúcar em vasos, quando aplicaram doses crescentes de escória de alto forno.

Neste contexto, Besga et al. (1996) avaliaram o efeito da aplicação de doses de escória Linz-Donawitz (subproduto das indústrias de ferro e aço), nas doses de 0; 1; 1,5; 3,5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup> nas propriedades químicas de um Neossolo cultivado com pastagem, verificando que houve aumento nas concentrações de cálcio e magnésio.

Cabe ressaltar, que os efeitos positivos da presente escória na neutralização da acidez do solo devem-se também a granulometria fina utilizada (peneira ABNT < 50); este efeito está relacionado ao aumento da superfície específica das partículas, favorecendo maior contato com o solo e intensificando as reações de solubilização da escória na neutralização da acidez.

Prado et al. (2004), estudando a reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico, concluíram que as frações mais finas da escória (peneira ABNT < 50), promoveram a neutralização da acidez do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Piau (1991), trabalhando com escoria de granulometria fina (peneira ABNT < 50) e Swartzendruber e Barder (1965).

Foram registrados os resultados da análise de regressão de cada atributo químico do solo estudado, em função das doses de escória aplicada, em cada tempo de incubação (Tabela 3). Observa-se que a aplicação do

resíduo afetou todos os atributos químicos do solo de forma linear, positivamente para o pH, cálcio, magnésio, soma de bases e saturação por bases, e negativamente para a acidez potencial.

**Tabela 3.** Equação de regressão determinada para o valor pH, concentrações de cálcio e magnésio, acidez potencial, soma de bases e saturação por bases, de um Latossolo Vermelho distrófico, avaliado após diferentes tempos de incubação, em função das doses de escória aplicadas (média de três repetições)

Propriedades químicas do solo	Tempos de Incubação				
	T1	T2	T3	T4	T7
pH	$y = 4,75 + 1,136x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 4,73 + 1,242x$ $R^2 = 0,95^{**}$	$y = 4,65 + 1,40x$ $R^2 = 0,97^{**}$	$y = 4,59 + 1,607x$ $R^2 = 0,96^{**}$	$y = 4,43 + 1,510x$ $R^2 = 0,96^{**}$
Ca	$y = 1,67 + 7,902x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 2,74 + 7,809x$ $R^2 = 0,97^{**}$	$y = 2,27 + 7,814x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 2,87 + 8,432x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 2,86 + 8,347x$ $R^2 = 0,99^{**}$
Mg	$y = 0,93 + 2,930x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 2,82 + 1,068x$ $R^2 = 0,70^{**}$	$y = 0,87 + 3,286x$ $R^2 = 0,98^{**}$	$y = 1,07 + 3,551x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 1,73 + 2,932x$ $R^2 = 0,70^{**}$
H+Al	$y = 14,33 - 3,728x$ $R^2 = 0,94^{**}$	$y = 13,73 - 2,306x$ $R^2 = 0,53^{**}$	$y = 14,32 - 3,098x$ $R^2 = 0,57^{**}$	$y = 14,07 - 4,083x$ $R^2 = 0,90^{**}$	$y = 17,67 - 7,013x$ $R^2 = 0,84^{**}$
SB	$y = 2,89 + 10,814x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 4,01 + 10,993$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 3,50 + 11,046x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 4,54 + 11,786x$ $R^2 = 0,99^{**}$	$y = 4,82 + 11,243x$ $R^2 = 0,99^{**}$
V	$y = 1,06 + 33,028x$ $R^2 = 0,98^{**}$	$y = 6,54 + 28,398x$ $R^2 = 0,92^{**}$	$y = 3,34 + 31,416x$ $R^2 = 0,97^{**}$	$y = 28,00 + 32,047x$ $R^2 = 0,94^{**}$	$y = 23,93 + 34,985x$ $R^2 = 0,94^{**}$

\*\* significativo a 1% . T1, T2, T3, T4, T7 = tempos de incubação (1, 2, 3, 4 e 7 meses)

Foram registrados os resultados do valor pH, concentrações de cálcio e magnésio, acidez potencial, soma de bases e saturação por bases sob o efeito residual da escória em função do tempo de incubação (Tabela 4). Nota-se resultados favoráveis na reação do solo após o terceiro mês da aplicação da escória, o que mostra o efeito residual da escória sobre esses atributos. O maior valor pH obtido foi aos quatro meses após a incubação da escória. Resultado semelhante foi observado para a acidez potencial, porém, de forma inversa. Para as demais propriedades químicas do solo como as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , soma de bases e saturação por bases obtiveram-se os maiores valores para essas variáveis quatro meses após incubação do resíduo, sendo que esses valores se mantiveram até o sétimo mês de incubação, devido ao efeito residual da escória.

Para a escória de siderurgia, existem poucos estudos realizados no Brasil que tratam exclusivamente do efeito residual. No entanto, Prado et al. (2002) avaliando o efeito da escória de aciaria aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira, observaram que, após 200 dias da aplicação da escória, houve efeito significativo e positivo do resíduo na reação do solo, com aumento quadrático dos valores pH e saturação por bases.

Em Taiwan, a escória de siderurgia aplicada em áreas cultivadas com arroz apresentou efeito residual prolongado (Lian, 1992), bem como, no Havai, em um sistema de rotação de culturas (cana-de-açúcar, milho e capim-desmodium), com efeito residual favorável após 56 meses da aplicação, independentemente do pH inicial do solo (5,5; 6,0 ou 6,5) (Khalid et al., 1978).

Louzada (1987), trabalhando com escória de granulometria da peneira ABNT 50-100, não verificou aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, durante 30 dias de incubação. Piau (1991), trabalhando com granulometrias de escória de siderurgia, observou efeito significativo dessa

característica na concentração de bases de um Latossolo Vermelho, quando comparou a granulometria da escória da peneira ABNT 50-60 com a ABNT 100-140, no período de 30 até 90 dias de incubação.

**Tabela 4.** Valor pH, concentrações de cálcio e magnésio, acidez potencial, soma de bases e saturação por bases, de um Latossolo Vermelho distrófico, avaliado após diferentes tempos de incubação, em função das doses de escória aplicadas (média de três repetições)

Tratamentos	pH	Ca	Mg	(H+Al)	SB	V
T1	5,6 a	7 c	3 b	11,5 ab	10,8 c	46 c
T2	5,7 a	8 b	3 b	12,0 ab	12,3 ab	48 bc
T3	5,7 a	8 b	3 b	12,0 ab	11,7 bc	47 bc
T4	5,8 a	9 a	4 a	11,0 b	13,3 a	52 a
T7	5,7 a	9 a	4 a	12,4 a	13,3 a	50 ab

T1, T2, T3, T4, T7 = tempos de incubação (1, 2, 3, 4 e 7 meses). Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não difere entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## CONCLUSÕES

1. A aplicação da escória de siderurgia ferro-cromo mostrou-se eficiente na neutralização da acidez do solo. Houve aumento do valor pH, redução na acidez potencial, incremento nas concentrações de cálcio e magnésio, bem como elevação da soma de bases e da saturação por bases do Latossolo Vermelho distrófico.

2. Após o terceiro mês de incubação da escória observou-se o efeito residual dos atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico principalmente nas maiores doses.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALCARDE, J. C., 1992. **Corretivo de acidez do solo: características e interpretações**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. . (Boletim Técnico 6), 26 p.
- BESGA G., PINTO M., RODRIGUEZ M., LOPEZ F.A, BALCAZAR N., 1996. Agronomic and nutritional effects of Linz-Donawitz slag application to two pastures in Northern Spain **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, DORDRECHT, **46** (3): 157-167.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999. Centro Nacional de Pesquisa se solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 412 p.
- KATO, N. e OWA, N., 1996. Dissolution of slag in water and calcium chloride solution: Effects of solution pH and calcium concentration on solubilities of slag. **Japan J. Soil Science Plant Nutrition**, **67**:626-32.
- KHALID, R.A.; SILVA, J.A.; FOX, R.L. 1978. Residual effects of calcium silicate in tropical soil. I-Fate of applied silicon during five years cropping. **Soil Science Society American Journal**, **42**:89-94.
- LIAN, S. **Effect of continued application of silicate slag under the double rice-based cropping system**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PADDY SOILS, 1., Nanjing, 1992. Proceedings. Nanjing-China, Academia Sinica, 1992. p.222-223.
- LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo**. 1987. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Tese de Mestrado), 52p.
- PIAU, W.C., 1995. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. (Tese de Doutorado), 124p.

- PIAU, W.C., 1991. **Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante**. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, (Tese de Mestrado), 99p.
- PINTO, M.; RODRIGUEZ, M.; BESGA, G.; BALCAZAR, N.; LOPEZ, F.A., 1995. Effects of Linz-Donawitz (ld) slag on soil properties and pasture production in the basque country (Northern Spain). **New Zealand Journal of Agricultural Research** 38 (1): 143-155.
- PRADO, R. M.; NATALE, W.; FERNANDES, F. M.; CORRÊA, M.C.M., 2004. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa 28: 197-205.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W., 2003. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa 27 (2): 287-296.
- PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P., 2002. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 37 (4): 539-546.
- PRADO, R. M., CORREA, M. C. M., CINTRA, A. C. O. 2002. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, 24 (2): 536-542.
- PRADO, R.M., FERNANDES, F.M., 2001a. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:201-209.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. e NATALE, W., 2001b. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, FUNEP, 67p.

- 
- 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 Açúcar, Álcool Subp.**, 18:36-39.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., 2001. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 285 p.
- SILVA, J.; MELLO, J.W.V. ; CORRÊA, M.L.T.; LIMA, C.E.P., 2002. **Mobilização de metais em dois latossolos tratados com escória de aciaria**. [www.cemac-ufla.com.br/senviad/vs-anuais-voluntários3.asp](http://www.cemac-ufla.com.br/senviad/vs-anuais-voluntários3.asp).
- SWARTZENDRUBER, D.; BARDER, S. A., 1965. Dissolution of limestone particles in soil. **Soil Science** 100: 287-291.