



Atributos químicos do solo e desenvolvimento da cultura do trigo em função da adubação silicatada

Attributes of soil chemical and development of culture wheat for each silicon fertilization

**Marcos Vinicius Mansano Sarto¹, Leandro Rampim², Maria do Carmo Lana², Jean Sérgio Rosset³,
Martios Ecco², Jaqueline Rocha Wobeto²**

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Lageado, CEP 18610-337, Botucatu-SP, Brasil. E-mail: E-mail: marcos__sarto@hotmail.com

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Centro de Ciências Agrárias, Marechal Cândido Rondon, PR

³ Instituto Federal do Paraná (IFPR), Assis Chateaubriand, PR

Recebido em: 21/05/2013 Aceito em: 01/04/2014

Resumo. A aplicação de silicato de cálcio pode promover melhorias nos atributos químicos do solo e, conseqüentemente, incrementar a disponibilidade de nutriente para as plantas. Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio sobre atributos químicos do solo e no desenvolvimento da cultura do trigo. Foi realizado um experimento em casa de vegetação, em vasos com Latossolo Vermelho eutrófico (LVef). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco doses de silício na forma de silicato de cálcio (0; 1,2; 2,4; 4,8 e 9,6 t ha⁻¹) com quatro repetições. Posteriormente, foram avaliados a massa de matéria seca da parte aérea, altura de planta, número de perfilho, produção, e os atributos químicos do solo: pH, Si, P, K, Ca, Mg, H + Al, SB, CTC e V%. A massa de matéria seca da parte aérea, altura de plantas, número de perfilho e produção não foram influenciadas pela adubação com silicato de cálcio. Contudo a adubação silicatada elevou os teores de Si, P, K, Ca e Mg e os valores de pH, SB, CTC e V%, e reduziu (H + Al) do solo.

Palavras-chave: fertilidade do solo, silício, *Triticum aestivum* L.

Abstract. The application of calcium silicate can promote improvements in chemical soil and thus increase the availability of nutrients for the plants. This work aimed to evaluate the effect of increasing doses of calcium silicate on soil chemical properties and the development of the wheat crop. An experiment was conducted in a greenhouse in pots with Oxisol. The experimental design was randomized blocks with five levels of silicon in the form of calcium silicate (0, 1,2; 2,4; 4,8 and 9,6 t ha⁻¹) with four replications. Subsequently, we evaluated the height of plants and the dry mass of shoots after harvesting, and chemical soil pH, Si, P, K, Ca, Mg, H + Al, SB, CTC and V%. The dry weight of shoots and plant height were not influenced by fertilization with calcium silicate. However the Silicon fertilization increased leaf Si, P, K, Ca, Mg and pH values, SB, CTC and V%, and reduced (H + Al) soil.

Keywords: soil fertility, silicon, *Triticum aestivum* L.

Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma cultura de grande importância no cenário mundial, sendo a principal fonte energética na alimentação da população de muitos países e a segunda em produção de grãos, sendo superada apenas pelo milho, com produção mundial superior a 650 milhões de toneladas por ano (USDA, 2013). O Brasil concentra sua produção na região sul do país, a qual é responsável por mais de 90% da produção

nacional, sendo que o estado do Paraná apresenta a maior área plantada, seguido do Rio Grande do Sul (Zylbersztajn et al., 2004). Porém, a produção nacional representa menos de 50% do consumo interno do cereal, fazendo com que o Brasil seja um dos principais países importadores de trigo no mundo (Conab, 2013).

A importância da aplicação de silício, mesmo não sendo considerado elemento essencial e sim benéfico para as plantas, está relacionada

principalmente ao aumento do crescimento e produção vegetal através de ações indiretas como folhas mais eretas, diminuição do auto-sombreamento, maior rigidez estrutural dos tecidos e assim reduzindo o acamamento, proteção contra estresses tanto abióticos, como frio e salinidade, e redução dos efeitos tóxicos de ferro, manganês, alumínio (Ma & Takahashi, 1991), bem como estresses bióticos, atuando na proteção contra patógenos e insetos fitófagos (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

No Brasil, os solos tropicais e subtropicais, submetidos ao manejo intensivo, apresentam altos teores de alumínio (Al), baixa saturação por bases, alta capacidade de fixação de fósforo (P) e altos índices de acidez (Matichenkov & Calvert, 2002). Durante a acidificação, ocorre a liberação de íons H⁺ para a solução do solo, visando manter o equilíbrio iônico no interior das células das raízes das plantas, através do mecanismo antiporte, que permite absorver cátions como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ (Taiz & Zeiger, 2009), reduzindo os teores destes cátions no solo, colaborando para diminuir a produtividade das culturas, em decorrência da diminuição da fertilidade do solo (Raij, 1996).

De acordo com Carvalho et al. (2000) o silicato de cálcio (CaSiO₃) apresenta reações semelhantes à do calcário, que eleva o pH do solo e, pode ainda disponibilizar o ânion silicato (H₃SiO₄⁻). A hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH⁻), que neutralizando os H⁺ eleva o pH do solo. Com isso, ocorre a precipitação do Al³⁺ na forma de hidróxido de Al (Al(OH)₃), de baixa solubilidade que é inativa na solução do solo e, portanto, não tóxica para as plantas (Korndörfer & Nolla, 2003).

Além do fornecimento de nutrientes Ca²⁺, Mg²⁺ e Si ao solo, outro aspecto importante no estudo da adubação silicatada, é a interação do Si com o P e com outros nutrientes, como o nitrogênio

(N) e o potássio (K) (Marafon & Endres, 2011). Lima Filho et al. (1999) afirmaram que o uso de fertilizante silicatado aumentou a eficiência da adubação básica com N, P e K, visto que os silicatos apresentam propriedades de adsorção e promovem menor lixiviação de K⁺ e de outros nutrientes móveis no solo.

No Brasil, trabalhos relatam que poáceas têm apresentado incremento na produtividade mediante o fornecimento de Si às plantas (Korndörfer & Datnoff, 1995), como no trigo, aveia (Lima Filho & Tsai, 2007), milho (Marcussi, 2010), sorgo (Barbosa et al., 2008), cana-de-açúcar (Korndörfer et al., 2002; Madeiros et al., 2009) e arroz (Pereira et al., 2004; Tokura et al., 2007, Ramos et al., 2008). Esse incremento na produtividade pode estar relacionado a mudanças em alguns atributos químicos do solo. Diante disso, no presente estudo, objetivou-se avaliar os efeitos de doses crescentes de silicato de cálcio sobre os atributos químicos do solo e no desenvolvimento da cultura do trigo em um (LVef).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, *campus* de Marechal Cândido Rondon – PR, no período de maio a julho de 2012.

O experimento foi conduzido em vasos de polietileno de 8,5 dm³, contendo 8 dm³ de solo peneirado em malha de 5 mm. O solo utilizado para o preenchimento dos vasos apresentava textura argilosa, o qual foi coletado na camada arável de 0-0,2 m, no município de Marechal Cândido Rondon - PR, sendo classificado com Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) Embrapa (2006), sendo os atributos químicos e granulométricos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo (LVef) coletado na camada de 0-0,2 m de profundidade. Marechal Cândido Rondon – PR, 2012

pH	V	P	MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC
CaCl ₂	- % -	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----			-----			
4,55	50	16,91	20,51	3,74	0,62	0,06	0,2	4,4	4,42	8,82
Micronutrientes										
Cu	Zn	Fe	Mn	Si	Argila	Silte	Areia			
-----mg dm ⁻³ -----			-----g kg ⁻¹ -----							
9,9	15,1	5,9	3,5	18,9	377	499,3	123,7			

(P,K, Micronutrientes) Extrator Mehlich-1; (Al, Ca, Mg) Extrator KCl 1 mol L⁻¹; (H+Al) pH SMP (7,5); (pH) Extrator CaCl₂ (EMBRAPA, 2009) e (Si) Extrator ácido acético (Korndorfer et al., 2004)



O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco doses de silicato de cálcio (0; 1,2; 2,4; 4,8 e 9,6 t ha⁻¹) e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Como fonte de silício foi utilizado silicato de cálcio (CaSiO₃), com nome comercial Agrossilício, oriundo de uma escória da produção do aço inox (Acesita), tratada pela Recmix do Brasil, de forma que na composição deste produto tem-se 25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício.

Antes da semeadura efetuou-se a aplicação do silicato de cálcio conforme os tratamentos. Os vasos permaneceram incubados por 15 dias com 60% do volume total de poros (VTP) ocupado por água (Freiret al., 1980). No momento da semeadura, foi realizada a adubação básica de acordo com Raij et al. (1997), aplicando-se 30 kg ha⁻¹ N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 45 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Após 30 dias da semeadura, realizou-se a adubação de cobertura, aplicando-se 45 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia.

Na semeadura foram utilizadas cinco sementes por vaso, cultivar BRS Pardela, e após dez dias foi realizado o desbaste, deixando três plantas por vaso. Os vasos foram irrigados diariamente, procurando manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

Ao final do ciclo da cultura, antes do corte das plantas, foi avaliada a altura de planta, obtida pela medição da base até o ápice das plantas (em centímetros) e em seguida, realizou-se o corte da parte aérea das plantas para quantificar a matéria seca da parte aérea (em gramas), o número de perfilhos e a produção por vaso (em gramas). Ao final do experimento, foram coletadas amostras do solo, para avaliação dos valores de pH H₂O, pH CaCl₂, pH SMP, H+Al, P, K, Ca e Mg de acordo com Embrapa (2009), soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e a análise de Si (extrator ac. acético) no solo de acordo com Korndorfer et al. (2004).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando houve efeito significativo, seguiu-se a aplicação de estudos de regressão polinomial (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002), com auxílio do programa estatístico Saeg 8.0 (Saeg, 1999).

Resultados e Discussão

A aplicação de doses de silicato de cálcio no solo não influenciou os valores de produção de matéria seca da parte aérea, altura de plantas, número de perfilhos e produção de grãos da cultura do trigo (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), altura das plantas (ALT), número de perfilhos (PER) e produção (PRD) da cultura do trigo, em função das doses crescentes de silicato de cálcio, Marechal Cândido Rondon – PR, 2012

Doses de Silicato	MSPA	ALT	PER	PRD
t ha ⁻¹	g vaso ⁻¹	cm	n°	g vaso ⁻¹
0	11,7	87,8	5,0	6,6
1,2	12,4	86,5	4,8	7,7
2,4	12,3	81,7	4,5	5,4
4,8	11,3	85,2	4,3	6,8
9,6	12,1	83,9	5,0	6,5
Média geral	11,9	85,0	4,7	6,6
C.V (%)	14,99	4,91	16,37	24,4

Verifica-se que para a produção de matéria seca, a dose de 1,2 t ha⁻¹ foi o tratamento que proporcionou o maior acúmulo de massa de matéria seca, com 12,4 g vaso⁻¹, enquanto que a dose 4,8 t ha⁻¹ proporcionou menor acúmulo de massa seca,

com 11,3 g vaso⁻¹, contudo sem apresentar diferença significativa. Este resultado corrobora a pesquisa desenvolvida por Korndorfer et al. (2010), que ao estudarem efeito da aplicação superficial de doses de silicato de cálcio sobre a produção de matéria

seca de gramíneas forrageiras, observaram que as doses de silicato de cálcio não afetaram a produção de massa seca das plantas.

Melo et al. (2003) ao estudarem a *Brachiaria sp.*, relataram que a aplicação de Si no solo promoveu aumento nas concentrações de Si nas plantas, mas não alterou a produção de matéria seca de *Brachiaria sp.* Em trabalho semelhante, Tokura et al. (2007) também verificaram que a aplicação de Si não afetou a produção de matéria seca de plantas de arroz.

Para a altura de plantas também não houve diferença significativa com o emprego das doses de silicato de cálcio (Tabela 2), corroborando com os resultados obtidos por Rocha et al. (2011) e por Ribeiro et al. (2011), que ao estudarem o efeito residual da escória de siderurgia na cultura do sorgo e, o efeito da adubação silicatada em mudas de cafeeiro, respectivamente, não encontraram diferença significativa para esta variável. De acordo com Rajj & Camargo (1973), resultados positivos com a aplicação do Si são comumente observados em plantas acumuladoras de Si, como ocorre com a maioria das gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, milho, entre outros). De fato, Marcussi (2010) observou incremento na altura das

plantas de milho com a utilização de Si na adubação.

Observou-se que a dose de 1,2 t ha⁻¹ proporcionou a maior produção 6,8 g vaso⁻¹, e a dose 2,4 t ha⁻¹ proporcionou a menor produção 5,4 g vaso⁻¹, porém sem diferirem estatisticamente. Por outro lado Barbosa Filho et al., (2004), ao estudar a escória silicatada na produtividade de grãos de arroz de terras altas, detectou aumento significativo na produção em dois anos de cultivo de arroz.

A partir das análises de solo realizadas ao final do experimento, após o término do ciclo da cultura, foi possível observar que houve mudanças nos atributos químicos do solo (Figura 1, 2, 3, 4 e 5).

A aplicação de silicato de cálcio aumentou significativamente a concentração de Si no solo (Figura 1), tendo partido de 18,9 mg dm⁻³ na testemunha, para 36,6 mg dm⁻³ com o fornecimento de 9,6 t ha⁻¹, corroborando com os resultados de Souza et al. (2008), nos quais a substituição do carbonato de cálcio pelo silicato de cálcio promoveu incremento nos valores de Si no solo decorrente da aplicação do silicato de cálcio em comparação ao carbonato.

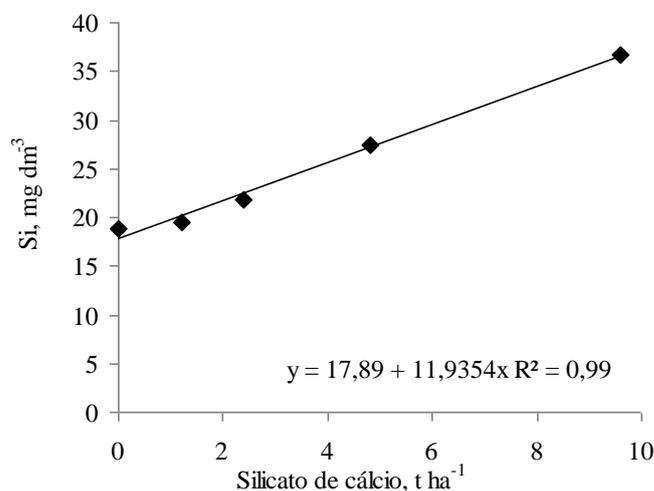


Figura 1. Valores médios de Si (extrator ac. acético) no solo, ao final do experimento, após o cultivo com trigo, em função das doses de silicato de cálcio, Marechal Cândido Rondon – PR, 2012

A utilização do silicato de cálcio elevou de forma linear positiva os valores de pH CaCl₂, apresentando valores iniciais de 4,6 aumentando para 6,6 na dose mais elevada (Figura 2a) e pH H₂O com valores iniciais de 5,9 aumentando para 7,4 com a aplicação de 9,6 t ha⁻¹ (Figura 2b). Resultados semelhantes com o efeito de silicatos na neutralização da acidez do solo também foram

obtidos por vários autores (Carvalho-Pupatto et al., 2004; Melo, 2005; Korndörfer et al., 2010). Este efeito da escória na reação do solo ocorreu principalmente pela presença da base silicato SiO₃²⁻, gerada pela reação das escórias no solo (Alcarde, 1992), que interfere positivamente no pH.

Ramos et al. (2006) estudando diferentes formas de correção do pH em amostras de um

Neossolo Quartzarênico órtico típico, observaram que os silicatos foram mais eficientes que o gesso e o calcário. Faria (2000) citado por Ramos et al. (2006), constatou um aumento progressivo no pH do solo com aplicação de $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de fontes de silicato,

em que o pH aumentou, em média, de 4,2 para 4,8 em Neossolo Quartzarênico órtico típico, e de 4,6 para 5,1, em um Latossolo Vermelho distrófico típico.

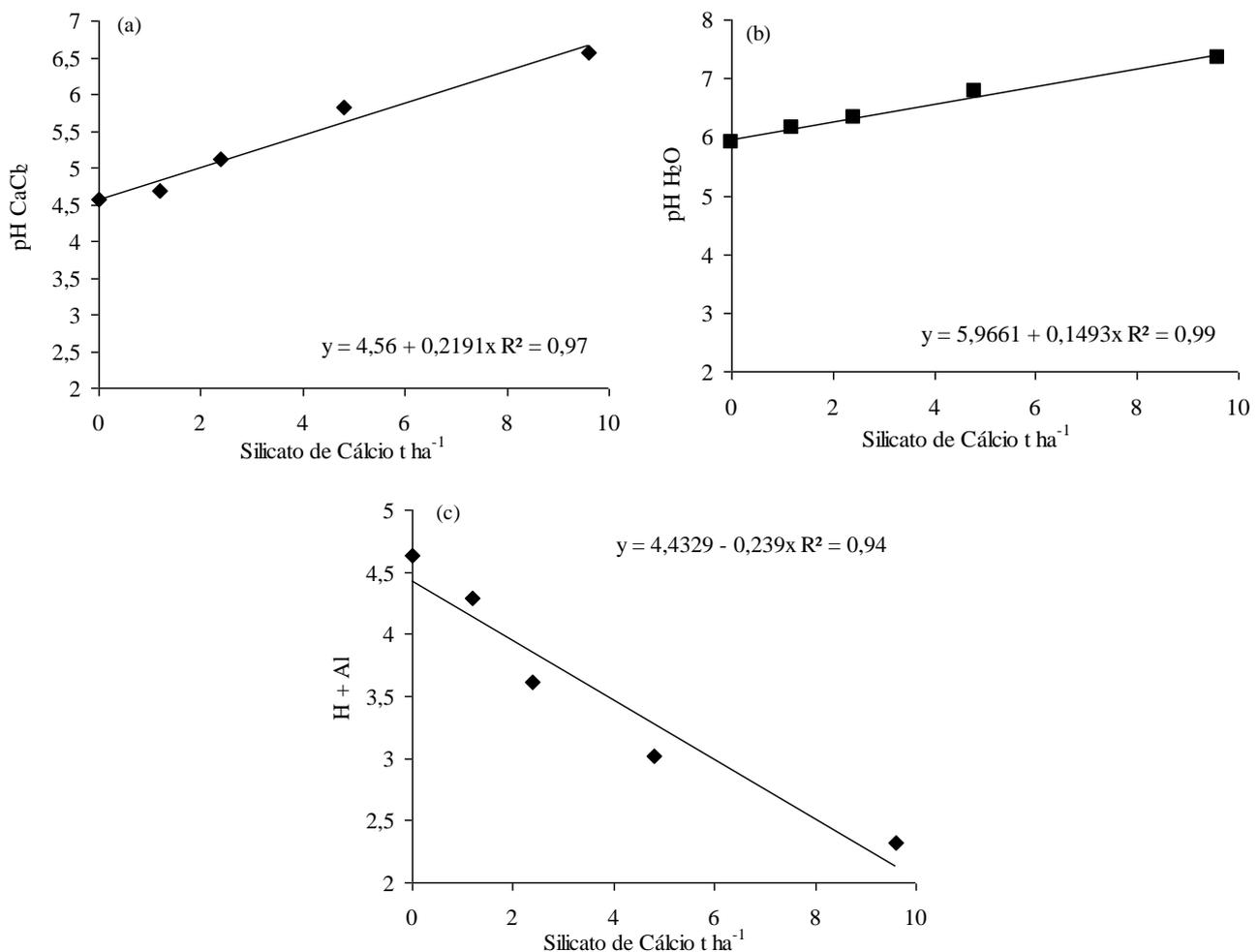


Figura 2. Valores médios de pH CaCl₂ (a), pH H₂O (b) e H + Al $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (c) ao final do experimento, após o cultivo com trigo, em função das doses de silicato de cálcio, Marechal Cândido Rondon – PR, 2012

A aplicação do silicato de cálcio, além de elevar o pH, promoveu redução significativa na acidez potencial (H + Al) (Figura 2d). Os valores de (H + Al) decresceram de 4,4 para 2,13 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na dose máxima, ou seja, houve diminuição da acidez potencial em decorrência da elevação do pH, devido à reação do SiO_3^{2-} no solo, formando H_2SiO_3^- (Alcarde, 1992), que reduziu o H^+ presente na solução do solo.

Barbosa Filho et al. (2004) também verificaram redução na acidez potencial com a aplicação de escória, favorecendo o desenvolvimento da cultura do arroz. Prado et al. (2003) em estudo para avaliar o efeito residual de

escória siderúrgica e do calcário calcítico em cana-de-açúcar, verificaram que ambos reduziram a acidez potencial trocável nas profundidades de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, semelhantemente. Prates et al. (2011) comparando lodo de esgoto e silicato de cálcio também verificaram redução na acidez potencial do solo na camada de 0-0,2 m, o que demonstra o poder neutralizante da acidez por esse resíduo.

Em relação à concentração de P no solo em função da aplicação das doses de silicato de cálcio, foi observado incremento do P disponível no solo (Figura 3a), de fato, este efeito da escória no aumento da disponibilidade de P é relatado por Sobral et al. (2011). Este incremento pode ser

explicado pelo aumento do pH, que eleva a disponibilidade de P no solo, e pela competição do PO_4^{2-} com o ânion SiO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção no solo (Kato & Owa, 1997), resultando

em liberação de P para a solução do solo e também por meio do deslocamento do P adsorvido na superfície dos sesquióxidos (Lima Filho, 2009).

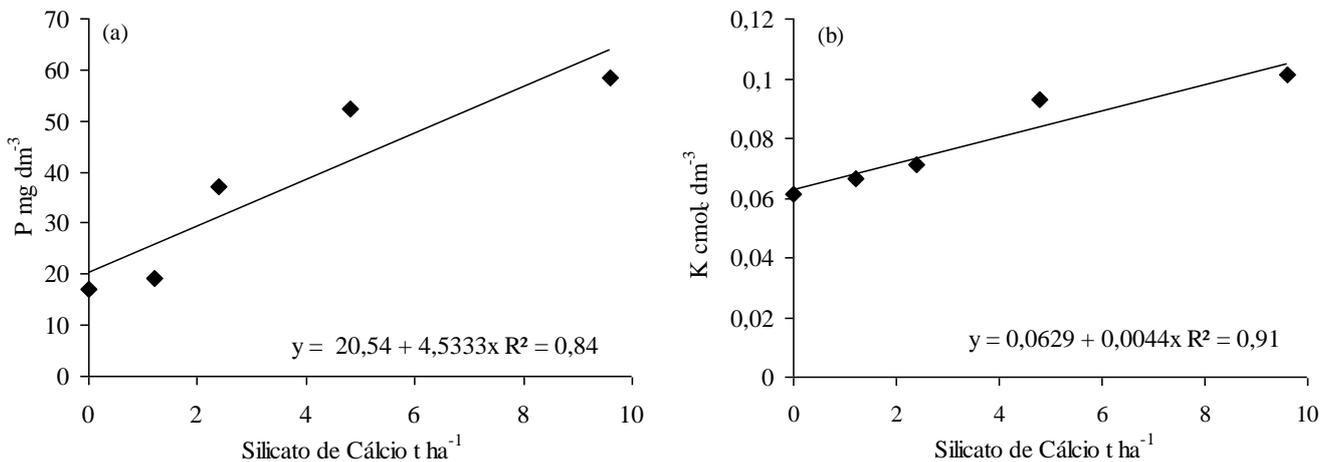


Figura 3. Valores médios de P (a) e K (b) ao final do experimento, após o cultivo com trigo, em função das doses de silicato de cálcio, Marechal Cândido Rondon – PR, 2012.

Com relação aos teores de K, foi observado acréscimo nos seus valores no solo com a aplicação do silicato de cálcio (Figura 3b), apresentando valores iniciais de 0,06 cmol_c dm⁻³, aumentando a concentração desse elemento no solo para 0,1 cmol_c dm⁻³ com a doses de 9,6 t ha⁻¹. Corroborando com dados obtidos por Vale et al. (2010), todavia, diferente dos obtidos por Sobral et al. (2011).

doses de silicato de cálcio aplicadas ao solo (Figura 4a,b). Os teores de Ca e Mg no solo, no tratamento testemunha, eram de 3,74 e 0,62 cmol_c dm⁻³, respectivamente, enquanto, na dose máxima de silicato de cálcio utilizada (9,6 t ha⁻¹), os teores para estes elementos atingiram 5,67 e 1,02 cmol_c dm⁻³, respectivamente, representando um aumento nos teores de cálcio de 51,6% e de magnésio de 64,5%.

Também foi verificado aumento significativo nos teores de Ca e Mg em função das

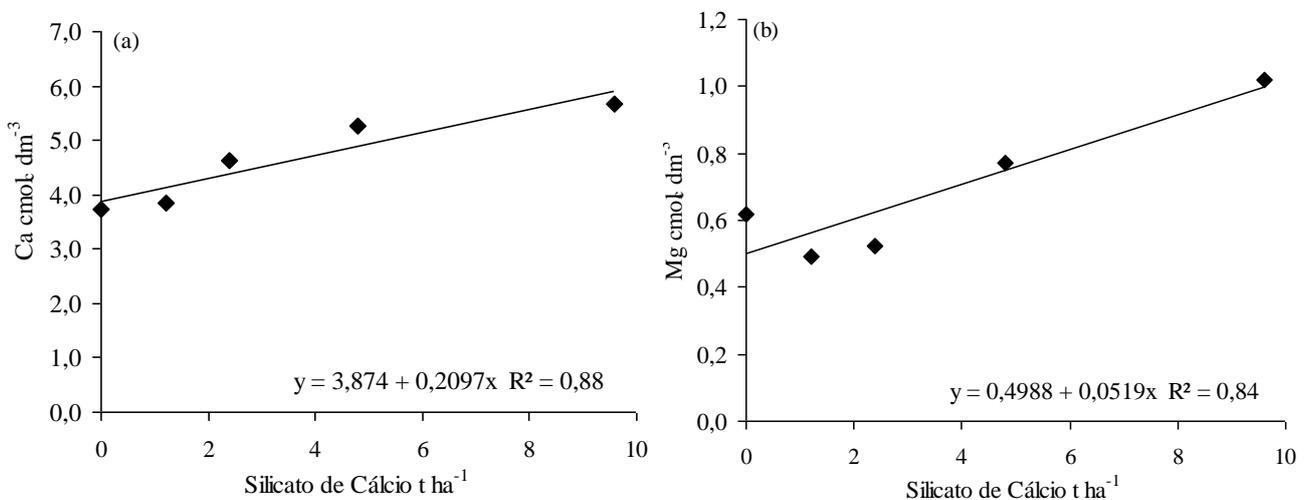


Figura 4. Valores médios de Ca (a) e Mg (b) no solo, após o cultivo com trigo, em função das doses de silicato de cálcio, Marechal Cândido Rondon – PR, 2012.

Concordando com resultados obtidos por Vale et al. (2010), Korndörfer et al. (2010), Rocha et al. (2011) e Sobral et al. (2011), os quais encontraram elevação nos teores de Ca e Mg com a utilização de fontes silicatadas. Os acréscimos nos teores de Ca e Mg podem ser resultantes da composição química do material utilizado, oriundo do processo de fundição do aço, onde o Ca e o Mg contido no silicato, participam das reações (Firme, 1986). Prado et al. (2003) também obtiveram elevações da concentração Ca e Mg na profundidade de 0-0,2 m ao avaliarem o efeito residual de escória siderúrgica em solo cultivado com cana-de-açúcar.

A soma de bases (SB) no solo aumentou em decorrência do incremento das concentrações de cálcio e magnésio no solo promovido pelo silicato de cálcio. Este mesmo comportamento foi observado para os valores encontrados para CTC e para a saturação por bases (V%) (Figura 5a, b, c). De acordo com Rodrigues et al., (1999), avaliando a condutividade a *Rhizoctonia solani* de dois solos sob influência de silicato de cálcio, verificou aumento de 9% para 21% de saturação por bases quando aplicado o adubo silicatado.

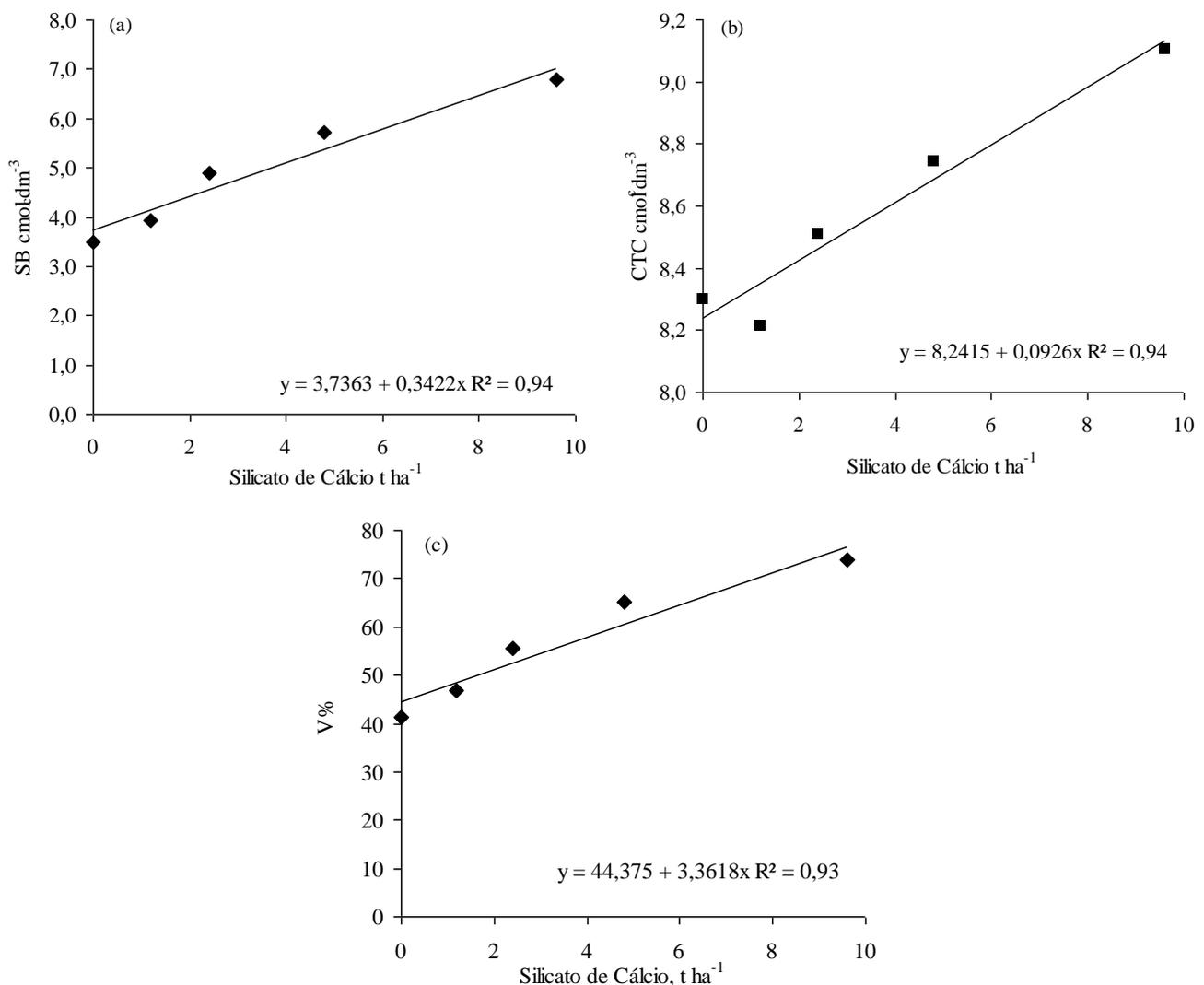


Figura 5. Efeito das doses de silicato de cálcio nos atributos químicos do solo: SB (a), CTC (b) e V% (c) em função das doses de silicato de cálcio, Marechal Cândido Rondon – PR, 2012

O pH do solo afeta diretamente a CTC efetiva, pois esta expressa a retenção de cátions determinada no pH atual do solo. Nota-se, que os

maiores valores de CTC efetiva ocorreram nos tratamentos que apresentaram os maiores valores de pH. Isto pode ser devido a elevação de cargas



negativas no solo com pH mais elevado. Semelhantemente a SB e a CTC, a saturação por bases (V%) também aumentou com a aplicação de silicato de cálcio (Figura 5c), passando de 41,37% no tratamento testemunha para, 76,64% na dose máxima de silicato de cálcio (9,6 t ha⁻¹). Os valores de V% obtidos nos tratamentos são relacionados aos que apresentaram valor superior de pH e, ao mesmo tempo, valor superior de K, Ca e Mg. Esse aumento da saturação por bases do solo com a aplicação de silicato de cálcio, também foi contatado por Korndörfer et al. (2010).

Prates et al. (2011) verificaram de maneira geral que, a CTC total, a CTC efetiva e a saturação por bases foram maiores com a incorporação de silicato de cálcio ao solo, em razão das adições de cálcio contidas neste resíduo.

Essas mudanças nos atributos químicos do solo como aumento da SB, CTC, e V% promovidas pela aplicação do silicato de cálcio, corroboram com os de Melo (2005) e Korndörfer et al. (2010). Salienta-se que o uso desta fonte pode ser aplicado como corretivo de solo, com a vantagem de possuir Si em sua composição, o que tornar as plantas menos suscetíveis a estresse (Gunes et al., 2008).

Conclusões

A adubação com silicato de cálcio não influenciou a massa de matéria seca da parte aérea, altura de planta, número de perfilho e produção da cultura do trigo em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef).

A aplicação de silicato de cálcio em LVef de textura argilosa aumenta os teores de Si, P, K, Ca e Mg e os valores de pH, SB, CTC e V%, e reduz a acidez potencial (H + Al) do solo.

Referências

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).

BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, O. F. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 323-331, 2004.

BARBOSA, N.C.; VENÂNCIO, R.; ASSIS, M.H.S.; PAIVA, J.B.; CARNEIRO, M.A.C.; PEREIRA, H.S.

Formas de aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em neossolo quartzarênico de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n. 4, p. 290-296, out./dez. 2008.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; NILTON, C.; FERNANDES, L.A. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.69-74, 2000.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro 2013**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>> Acesso em: 18 março 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

EPSTEIN, E. A anomalia de silício em biologia vegetal. **Proceedings of National Academy of United States of America**, Washington, v.91, n.1, p.11-17, 1994.

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 47p. (Tese de Mestrado)

FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, jan./abr. 1980.



- 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.
- GUNES, A.; PILBEAM, D.J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.39, n.13-14, p.1885-1903, 2008.
- KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice plant. Japanese, **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.43, p.329-341, 1997.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004a. 34 p. (Boletim Técnico, 2)
- KORNDÖRFER, G.H. & NOLLA, A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SÍLCIO NA AGRICULTURA, 2., Lavras, 2003. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 21, n. 1, p. 6-9, 2002.
- KORNDÖRFER, G.H.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, A.G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v 40, n.2, p.119-125, 2010.
- KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, n. 70, p.1-3, 1995.
- LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, 1999.
- LIMA FILHO, O.F.; TSAI, S.M. **Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Agropecuária Oeste 41. 2007. 34 p.
- LIMA FILHO, O. F. **História e uso do silicato de sódio na agricultura**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112 p.
- MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil. **Plant and Soil**, v.133, n.2, p.151-155, 1991.
- MADEIROS L.B; VIEIRA A.O; AQUINO B.F Micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar: escória siderúrgica aplicado no solo. **Engenharia Ambiental**, 6:27-37, 2009.
- MARCUSSI S.A. **Escória de siderurgia como material corretivo e fonte de silício para a cultura do milho no estado de São Paulo**. Dissertação (Graduação), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.
- MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 48 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 165).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic, 1995. 889p.
- MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal of the American Society of Sugarcane Technologists**, Baton Rouge, v. 22, p. 21-30, 2002.
- MELO, S.P.; KORNDÖRFER, G.H.; KORNDÖRFER, C.M.; LANA, R.M.Q.; SANTANA, D.G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.755-759, 2003.
- MELO, S.P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- PEREIRA, H.S.; KORNDORFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Silicon sources for rice



- crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, set./ out. 2004.
- PIMENTEL - GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002, 309p.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.
- PRATES, F. B.S.; SAMPAIO, R. A.; SILVA, W. J.; FERNANDES, L.A.; ZUBA JUNIO, G.R.; SATURNINO, H.M. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga (Online)**, v. 4, p. 101-112, 2011.
- PULZ, A.L. **Estresse hídrico e adubação silicatada em batata (*Solanum tuberosum* L.) cv. Bintje**. 2007. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- RAIJ, B. Van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C.. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B.V.; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v. 32, p. 223-236, 1973.
- RAI, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.
- RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos de acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.
- RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.
- RIBEIRO, R.V.; SILVA, L. da, RAMOS, R.A.; ANDRADE, C.A.de; ZAMBROSI, F.C.B; PEREIRA, S. P. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. vol.35, n.3, pp. 939-948, 2011.
- RODRIGUES F.Á.; CORRÊA, G.F.; KORNDÖRFER, G.H.; SANTOS, M.A.; DATNOFF, L.E. Efeito do silicato de cálcio e da autoclavagem na supressividade e na condutividade de dois solos à *Rhizoctonia solani*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1367-1371, 1999.
- ROCHA, L.C.M.; PRADO, R.M.; ALMEIDA, T.B.F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 18, n. 2, p. 101-115, 2011.
- SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. Versão 8.0. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SOBRAL, M.F.; NASCIMENTO, C.W.A; CUNHA, K.P.V.; FERREIRA, H.A.; SILVA, A.J.; SILVA, F.B.V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 867-872, 2011.
- SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; CARVALHO, R.; TORRES, P.R.F.; POZZA, A.A. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1563-1572, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- TOKURA, A.M.; NETO, A.E.F.; CURTI, N.; CARNEIRO, L.F.; ALOVIS, A.A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <http://www.fas.



Revista Agrarian

ISSN: 1984-2538

usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>. Acesso em:
18março 2013.

VALE, D.W.; PRADO, R.M.; BASTOS, J.C.H.G.;
CAZETTA, J.O. Nitrogênio e escória de siderurgia
nos atributos químicos do solo e na nutrição da cana-
de-açúcar. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 17, n.
2, p. 199-220. 2010.

ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M.F.; ROSSI,
R.M.; FERRAZ, R.M.M.; CASTRO, L.T.;
MARINO, M.K.; MIZUMOTO, F.M.; CONEJERO,
M.A.; FERREIRA, T.F.; ORATI, R.A. **Estratégias
para o trigo no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2004, 224
p.