

ACÚMULO DE NUTRIENTES *EM PANICUM MAXIMUM* 'BRS ZURI' EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE E CORRETIVO OBTIDOS DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA*

Mariana Guedes Guimarães¹

Eliane de Paula Clemente²

Paulo Cesar Teixeira³

Guilherme Kangussú Donagemma⁴

Silvio Roberto de Lucena Tavares⁵

Maria Fernanda Alvarenga Pontes⁶

Natália Fernandes Rodrigues⁷

Rosângela Stralioetto⁸

Resumo

A escória de siderurgia, considerada um passivo ambiental, apresenta-se como uma alternativa viável ao uso do calcário, uma vez que possui compostos neutralizantes da acidez do solo ($\text{CaSiO}_3/\text{MgSiO}_3$) e elementos químicos importantes para a nutrição das plantas. Por outro lado, normalmente grande parte dos pecuaristas não faz correção do solo e nem adubação para as pastagens. Além disso, trabalhos com fertilizantes obtidos de escória para gramíneas no Brasil ainda são escassos, sobretudo para a região de mar de morros da zona da mata de Minas Gerais. Ainda, o uso destas escórias pode ajudar no aprofundamento das raízes e dessa forma levar as pastagens a terem maior tolerância a seca. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes fontes (Calcário e Agrosilício Plus), doses (0,25 - 0,50 - 1,0 - 1,5 vezes a dose recomendada) e forma de aplicação do corretivo (incorporado e superfície) sobre a gramínea forrageira *Panicum maximum* 'BRS Zuri'. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, usando um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa coletado em Coronel Pacheco, MG. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2,00 mm. O experimento foi realizado em vasos plásticos, com 5 kg de solo, durante 45 dias. O uso do Agrosilício Plus foi eficiente no fornecimento de macronutrientes N, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e S para a cultura. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ aumentaram gradativamente com as doses aplicadas. O Corretivo elevou o valor do pH e levou as concentrações de alumínio a zero. Além disso, o corretivo silicatado elevou no tecido foliar o teor de Mg²⁺ em relação aos tratamentos com calcário. O Agrosilício Plus apresentou resultados semelhantes ao calcário na nutrição do *P. maximum*, indicando que ele pode substituir calcário na correção do solo e no fornecimento de cálcio e magnésio.

Palavras-chave: Agrosilício Plus; Solo; Fertilidade do solo; Corretivo de acidez.

NUTRIENTS ACQUISITION IN *PANICUM MAXIMUM* 'BRS ZURI' IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF FERTILIZERS AND CORRELATION BASED ON STEEL SLAG

Abstract

The steel slag, considered an environmental liability, is a viable alternative to the use of limestone, since it has neutralizing compounds of the soil acidity ($\text{CaSiO}_3 / \text{MgSiO}_3$) and important chemical elements for plant nutrition. On the other hand, most cattle ranchers usually do not correct the soil or fertilizer for pasture. In addition, work with slag-based fertilizers for grasses in Brazil is still scarce, especially for the sea of hills in the forest area of Minas Gerais. As well as, it can help in the deepening of the roots and in this way to take the pastures to have greater tolerance to drought. The objective of this study was to evaluate the effects of different sources (Limestone and Agrosilicon Plus), doses (0,25 - 0,50 - 1,0 - 1,5 times the recommended dose) and form of application of the corrective (incorporated and surface) on the forage grass *Panicum maximum* 'BRS Zuri'. The experimental design was completely randomized, with four replications. The experiment was conducted in a greenhouse at the Fluminense Federal University, Niterói-RJ. The soil is a Dystrophic Yellow Red Latosol, clayey texture of Coronel Pacheco, MG. The soil was collected in the layer of 0-

20 cm, dewatering, air dried and passed through a sieve of 2.00 mm. The experiment was carried out in plastic pots, with 5 kg of soil, for 45 days. The use of Agrosilicon Plus was efficient in the supply of N, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and S macronutrients for the culture. The Ca²⁺ and Mg²⁺ contents increased gradually with the applied doses. The corrective raised the pH value and brought the aluminum concentrations to zero. In addition, the silica corrective increased the content of Mg²⁺ in the foliar tissue in relation to limestone treatments. Agrosilicon Plus presented similar results to lime in *P. maximum* nutrition. This indicates that it can replace limestone in soil correction and in the supply of calcium and magnesium.

Keywords: Agrosilicon Plus; Soil; Soil fertility; Correction of acidity.

¹ *Engenheira Agrícola, mestranda em Engenharia de Biosistemas - UFF, Niterói, RJ, Brasil.*

² *Engenheira Florestal, pesquisadora Dra., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

³ *Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

⁵ *Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

⁶ *Engenheira Agrícola, mestranda em Engenharia de Biosistemas - UFF, Niterói, RJ, Brasil*

⁷ *Graduanda em Engenharia Agrícola, UFF, Niterói, RJ, Brasil.*

⁸ *Engenheira Agrônoma, Pesquisador Dr., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

As pastagens constituem a base dos sistemas agropecuários, o que evidencia sua importância e a necessidade de se buscarem técnicas de manejo que resultem em maior eficiência desses sistemas [1]. A produção agropecuária do Brasil deverá orientar-se de acordo com uma visão moderna e sustentável de expansão da capacidade produtiva do país [2].

Embora com grande destaque no cenário nacional, os índices de produtividade média da pecuária brasileira ainda estão muito aquém do seu potencial [3]. O manejo correto das pastagens é fundamental para se alcançar o sucesso na produtividade e garantir a sustentabilidade do sistema de produção.

A maioria dos solos agricultáveis brasileiros originalmente possuem pH menor que 5,5, o que contribui para a baixa produtividade. De modo geral, os solos são ácidos devido à lixiviação das bases trocáveis, resultante dos altos índices de pluviosidade que resultam em elevados teores de hidrogênio e alumínio no complexo de troca do solo [4]. Na agricultura, uma das práticas necessárias para obter alta produção é a correção da acidez do solo, que além de corrigir o pH, fornece bases trocáveis essenciais para o desenvolvimento das plantas.

No Brasil, o calcário é o material usado em larga escala como corretivo de acidez do solo. No entanto, a redução de suas reservas naturais e a busca por soluções alternativas na agricultura tem despertado interesse para o uso de escórias de siderurgia como uma alternativa ao uso do calcário.

A escória silicatada é um subproduto gerado no processo siderúrgico, que tem como etapa inicial a obtenção do ferro bruto e impuro (ferro-gusa) através da redução do minério de ferro [5]. Os silicatos de cálcio e magnésio apresentam o ânion silicato que reage no solo semelhante aos carbonatos, corrige a acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio e silício as culturas [6]. O fertilizante a base de escória apresenta maior uniformidade que a escória e facilita a distribuição no solo.

O silício, embora não seja considerado um elemento essencial para as plantas, tem demonstrado efeitos benéficos para diversas culturas, especialmente quando estas plantas estão submetidas à estresses, bióticos e/ou abióticos além de aumento de produtividade e resistência a pragas e doenças [7]. O Si pode ajudar no aprofundamento das raízes e dessa forma levar as pastagens a terem maior tolerância à seca.

Por outro lado, normalmente a maioria dos pecuaristas não faz correção do solo e nem adubação para as pastagens. Além disso, trabalhos com fertilizantes a base de escória para gramíneas no Brasil ainda são escassos, sobretudo para a região de mar de morros da zona da mata de Minas Gerais.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do silicato de cálcio, oriundo de escória de siderurgia, no crescimento de gramínea forrageira *Panicum maximum* 'BRS Zuri' e seu efeito como fertilizante multinutriente.

2 DESENVOLVIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no campus Gragoatá da Universidade Federal Fluminense, no município de Niterói-RJ. O solo utilizado é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa de Coronel Pacheco, MG. As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm, destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2,00 mm separando-se uma parte representativa para caracterização química para fins de fertilidade. Os

resultados obtidos foram: pH (CaCl_2) = 3,9; Matéria Orgânica = 21 g/dm^3 . P (Mehlich) = $3,8 \text{ mg/dm}^3$, K = $2,5 \text{ mmol/dm}^3$, Ca = 4 mmol/dm^3 , Mg = 3 mmol/dm^3 , Na = $0,4 \text{ mmol/dm}^3$, H+Al = 86 mmol/dm^3 , SB (soma de bases) = $9,9 \text{ mmol/dm}^3$, CTC ao pH 7,0 (capacidade de troca de cátions) = $95,9 \text{ mmol/dm}^3$, V (saturação por bases) = 10%.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial de $2 \times 2 \times 4 + 1$, sendo duas fontes (Agrosilício Plus e calcário dolomítico), duas formas de aplicação do produto (incorporado ao solo e aplicado na superfície), quatro doses (1,44; 2,88; 5,77; 8,65 g vaso^{-1}) e mais um tratamento controle sem corretivo, perfazendo um total de 17 tratamentos e 68 unidades experimentais.

A determinação das doses dos corretivos foi estimada segundo a necessidade de calagem (NC), baseada nas características químicas solo, e exigência da cultura, segundo a recomendação para o Estado de Minas Gerais: o “Método da neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis” [8]. Os corretivos utilizados foram calcário dolomítico e escória silicatada (Agrosilício Plus) com PRNT de 80% e 85%, respectivamente.

Cada unidade experimental foi conduzida em vasos plásticos, adotando-se o peso de 5 kg de solo por vaso. O Agrosilício Plus e calcário foram aplicados manualmente no solo, nas doses e formas de aplicação correspondentes de cada tratamento, onde ficou incubado por um período de 30 dias.

Transcorrido o tempo de incubação, foi feito o plantio da forrageira *P. maximum* ‘BRS Zuri’ na profundidade entre 1 cm e 2 cm. Foi feita adubação de cobertura em todas as unidades experimentais, contendo N, P, K, B, Cu Fe, Mn, Mo e Zn.

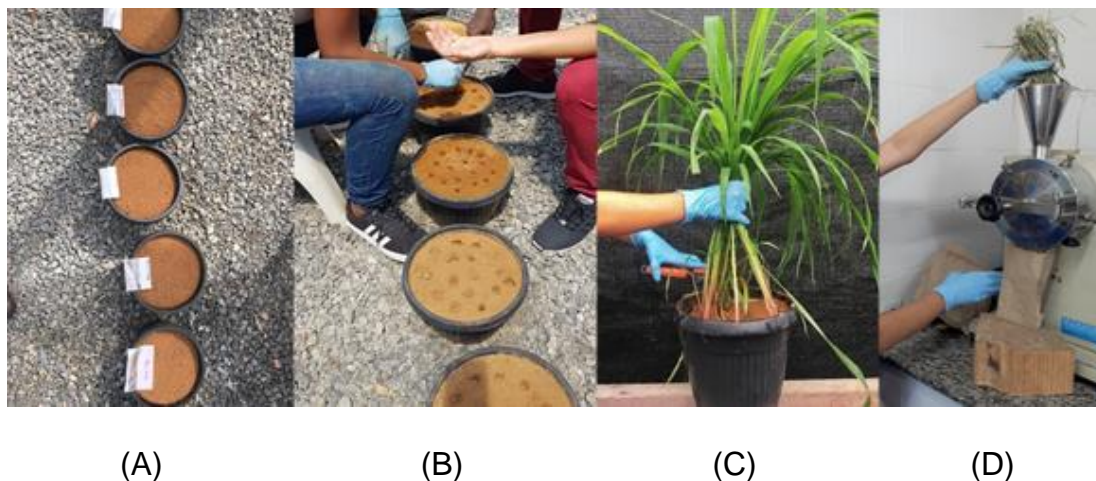


Figura 1. Condução do experimento. Incorporação do corretivo no solo (A), semeadura (B), corte da parte aérea (C), material vegetal sendo moído (D).

O experimento foi conduzido por 45 dias. Ao término, a parte aérea das plantas foi coletada, seca em estufa de circulação forçada de ar, pesada e moída em moinho tipo Willey, com facas e câmara de aço inoxidável [9]. Em seguida, foi realizada a determinação dos teores de macronutrientes.

Os dados provenientes foram submetidos a análise estatística no software R, Ver. 3,5,2. A análise de variância foi computada para a identificação de diferença significativa na variância entre os tratamentos, pelo modelo fatorial: Variável ~

Produto * Aplicação * Dose. O valor p para a análise de variância e teste de média de Tukey foi de $p < 0,05$. O pacote R utilizado para os testes de média foi o agricolae. Os gráficos foram construídos com o pacote ggplot2.

Teor dos elementos químicos N, P, K⁺, Na⁺, S na parte aérea das plantas para cada tratamento e sua significância ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey encontra-se na tabela abaixo (Tabela 1), e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas figuras 2 e 3.

Tabela 1. Teor dos elementos químicos N, P, K⁺, Na⁺, S na parte aérea das plantas

Tratamento	Produto	Forma de aplicação	Dose		N	P	K	S
			g vaso ⁻¹	%				
T 1	-	-	-	0	34,1*	2,5*	46,1*	2,0*
T 2	Calcário	S	1,44	25	35,0*	2,5*	39,1*	1,8*
T 3	Calcário	S	2,88	50	37,3*	2,4*	38,5*	1,8*
T 4	Calcário	S	5,77	100	34,5*	2,4*	40,1*	1,6*
T 5	Calcário	S	8,65	150	34,3*	2,5*	39,2*	1,5*
T 6	Calcário	I	1,44	25	34,1*	2,4*	32,8*	1,6*
T 7	Calcário	I	2,88	50	33,8*	2,4*	35,5*	1,5*
T 8	Calcário	I	5,77	100	32,2*	2,4*	40,4*	1,7*
T 9	Calcário	I	8,65	150	30,8*	2,5*	37,2*	1,8*
T 10	Agrosilício Plus	S	1,36	25	35,0*	2,5*	37,8 a	1,7*
T 11	Agrosilício Plus	S	2,72	50	33,6*	2,5*	36,8 ab	1,9*
T 12	Agrosilício Plus	S	5,45	100	35,0*	2,5*	30,7 bc	1,9*
T 13	Agrosilício Plus	S	8,17	150	36,2*	2,5*	33,0 c	1,7*
T 14	Agrosilício Plus	I	1,36	25	35,4 a	2,5 a	37,5*	1,8*
T 15	Agrosilício Plus	I	2,72	50	35,4 a	2,5 a	35,5*	1,8*
T 16	Agrosilício Plus	I	5,45	100	33,8 ab	2,5 a	36,5*	1,8*
T 17	Agrosilício Plus	I	8,17	150	29,1 b	2,5 b	38,0*	1,5*

Aplicação Superficial (S) e incorporada (I).

Teste de média de Tukey ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e * indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

De modo geral, verificou-se efeito favorável das duas fontes utilizadas como material corretivo, tanto o calcário e a escória influenciaram os teores de macronutrientes analisados no tecido foliar. Os tratamentos foram significativos à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey para o teor dos elementos N, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, demonstrando efeito da ação dos materiais corretivos, exceto para o teor de S que não apresentou diferença significativa entre os diferentes tratamentos. Observa-se que o Agrosilício Plus fornece cálcio e magnésio em quantidades semelhantes ao calcário (Tabela 1), podendo substituir o calcário para esse fim.

A concentração de N e P se comportou de maneira similar, diferindo apenas para os tratamentos que possuem o Agrosilício Plus incorporado ao solo. Os teores de N nos tecidos foliares em todos os tratamentos foram acima daqueles considerados adequados para capim colômbio (11,3 – 15,0 g kg⁻¹), os de P estão ligeiramente acima da faixa adequada (0,8 – 1,1 g kg⁻¹) [8].

Em todos os tratamentos, os teores de K⁺ nas folhas também foram superiores à faixa considerada adequada (14,3 – 18,4 g kg⁻¹) e o teor de S está

dentro da faixa adequada para a cultura (1,1 -1,5 g kg⁻¹), não havendo diferença estatística entre as doses aplicadas de corretivo [8].

Houve efeito significativo da interação entre as doses dos materiais corretivos e a forma de aplicação para a concentração dos macronutrientes Ca²⁺ e Mg²⁺. Os teores de Ca²⁺ são adequados para a cultura quando compreendidos entre 4,0 e 10,2 g kg⁻¹. Incorporado, o Agrosilício Plus é mais eficiente na correção do solo (Figura 2), com a mesma dose a elevação do pH é maior, isso está relacionado ao fato que a reação com o solo é mais rápida incorporado do que na superfície. Além disso, o efeito do Agrosilício Plus na correção do solo é semelhante ao do calcário. Assim, pode substituir o calcário como corretivo. Verifica-se que o teor de Ca²⁺ no *P. maximum* 'BRS Zuri' foi maior na dose 8,65 g vaso⁻¹ (1,5 vezes a dose recomendada), aumentando gradativamente de acordo com as doses aplicadas (Figura 2).

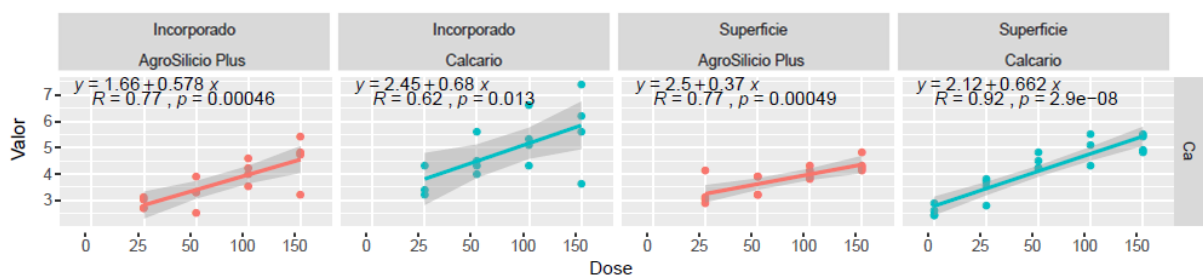


Figura 2. Efeito de doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Ca²⁺, em g/kg, na parte aérea das plantas.

Resultado semelhante foi encontrado por Sarto et al. (2019), estudando o efeito da aplicação de doses de silicato de cálcio e magnésio (CaSiO₃/MgSiO₃) na absorção de nutrientes, sobre uma planta acumuladora de silício. Os autores observaram o aumento nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, de forma gradativa, em função do aumento da dose aplicada e redução dos teores de Zn²⁺ e Mn²⁺ no tecido foliar. Os teores de Mg²⁺ da parte aérea se encontraram dentro da faixa adequada para este elemento, variando de 1,2 a 2,2 g.kg⁻¹ em todos os tratamentos. Observou-se que o tratamento controle apresentou o menor teor 1,8 g.kg⁻¹.

Verificou-se, ainda, interação entre fontes e doses em função dos materiais corretivos aplicados para o macronutriente Mg²⁺ (Figura 3). Pelos resultados, percebe-se que o Agrosilício Plus foi a maior fonte de Mg²⁺ para as plantas, tanto na aplicação incorporada ao solo, como a aplicada superficialmente.

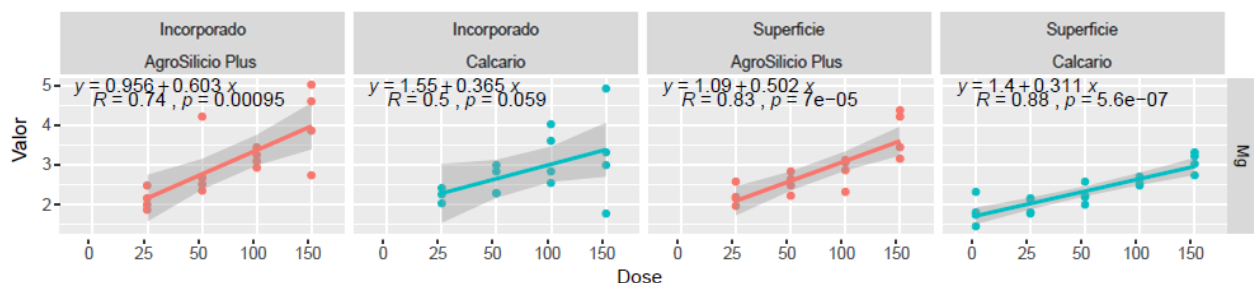


Figura 3. Efeito de doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Mg²⁺, em g/kg, na parte aérea das plantas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Caetano et al. (2016) avaliando o efeito de doses crescentes de escória no teor de nutrientes da matéria

seca da parte aérea do milho. Os autores verificaram que os teores de Ca e Mg no tecido vegetal também aumentaram com doses crescentes de escória e calcário, entretanto, com o maior teor de Ca obtido com a aplicação de escória e o teor de Mg obtido com calcário.

Na literatura, têm sido frequentes relatos de estudos que confirmam a aplicação de fertilizantes a base de escória na correção da acidez do solo e no acréscimo dos teores de macronutrientes as plantas [12]. Prado et al. (2002) também obtiveram maior acúmulo e exportação de macronutrientes de acordo com as doses de ambos corretivos. O efeito da aplicação de escória de siderurgia foi semelhante ao do calcário, quanto aos teores de macronutrientes analisados no tecido foliar.

Sanches (2002), estudando os efeitos do silicato de cálcio sobre o teor foliar da gramínea *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, observaram que a aplicação de doses crescentes (0, 2, 4 e 6 ton.ha⁻¹) de silicato de cálcio alterou a sua composição de forma positiva em relação ao controle para as condições do experimento.

A utilização de fertilizantes a base de escória de siderurgia como alternativa ao calcário para correção de solos ácidos e fornecimento de nutrientes tem-se mostrado uma prática viável, tendo em vista os efeitos benéficos que esse material proporciona às culturas. Além dos fatores mencionados, a vertente ambiental é importantíssima, pois trata-se um resíduo agroindustrial sem qualquer utilização econômica anterior com acumulação nos pátios industriais.

3 CONCLUSÃO

O uso do Agrosilício Plus foi eficiente no fornecimento Ca²⁺, Mg²⁺ e para a correção da acidez desse solo. Assim, pode substituir o calcário na correção do solo, além de proporcionar uma destinação adequada de escórias de siderurgias, que até então era um passivo ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Harsco Metals & Minerals e da Embrapa Solos, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Santana SG, Morita IM, Bianchi PPM, Fernandes FM, Isepon OJ. Atributos químicos, produção e qualidade do capim braquiária em solos corrigidos com calcário e escória silicatada. Revista Ceres, Viçosa. 2010; v. 57, n.3, p. 377-382.
- 2 Lopes MC, Contino E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. Especial Embrapa. Agroanalysis 2012.
- 3 Santos MER. Adubação de Pastagens: Possibilidades de Utilização. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia. 2010; vol.6, N.11.
- 4 Malavolta E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981; 596 p.
- 5 INSTITUTO AÇO BRASIL. Estatística preliminar. Rio de Janeiro, n.22, 2016.
- 6 Prado RM, Fernandes FM. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. 2001; v. 25, p. 201-209.

- 7 Bakhat HF, Bibi N, Zia Z, Abbas S, Hammaed HM, Fahad S.; *et al.* Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. *Crop Protection*. 2018; v. 104, p. 21-34.
- 8 Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VG. *Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais*. Editora: SbcS, 1999.
- 9 Carmo CAFS, Araújo WS, Bernardi ACC.; Saldanha MFC. *Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos*. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. Circular Técnica. 2000; n.6, 41p.
- 10 Sarto MVM, Carmo Lana M, Rampim L, Rosset JS, Sarto JRW.; Bassegio D. Effects of calcium and magnesium silicate on the absorption of silicon and nutrients in wheat. *Semina: Ciências Agrárias*. 2019; v. 40, n. 1, p. 67-80.
- 11 Caetano LCS, Prezotti LC, Pacheco BM, Guarçoni RC. Soil chemical characteristics, biomass production and levels of nutrient and heavy metals in corn plants according to doses of steel slag and limestone. *Revista Ceres*. 2016, v. 63, n. 6, p. 879-886.
- 12 Sobral MF, Nascimento CWA, Cunha KPV, Ferreira HÁ, Silva AJ, Silva FBV. 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. Aug, 2011; v. 15, n. 8, p. 867-872.
- 13 Prado FM, Fernandes FM, Natale W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, Piracicaba. Mar, 2002; v. 59, n. 1, p. 129-5.
- 14 Sanches AB. EFEITOS DO SILICATO DE CÁLCIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PLANTA, PRODUÇÃO E QUALIDADE EM CAPIM - BRAQUIARÃO [*Brachiaria brizantha* (Hoechst ex A. Rich.) Stapf. cv. MARANDU] SOB INTENSIDADES DE PASTEJO. *Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo*. Pirassununga, 2003.