



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbc.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Fernandez, Fabiana Aparecida; Bull, Leonardo Theodoro; Corulli Corrêa, Juliano; Crespam, Douglas
Ricardo

INFLUÊNCIA DE SILICATO E CALCÁRIO NA DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS E
DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES AO FEIJOEIRO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 33, núm. 4, 2009, pp. 935-945

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214069018>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

INFLUÊNCIA DE SILICATO E CALCÁRIO NA DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES AO FEIJOEIRO⁽¹⁾

Fabiana Aparecida Fernandez⁽²⁾, Leonardo Theodoro Bull⁽³⁾, Juliano Corulli
Corrêa⁽⁴⁾ & Douglas Ricardo Crespam⁽³⁾

RESUMO

A disponibilidade do Si pelo silicato de Ca poderá aumentar a formação de polifenóis, os quais tornariam possível a maior persistência dos resíduos culturais em superfície. Com esse intuito, procurou-se avaliar a ação do silicato e do calcário na decomposição de diferentes resíduos culturais e a liberação de nutrientes para o desenvolvimento do feijoeiro. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de três espécies de plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum americanum*), braquiária (*Brachiaria brizantha*) e guandu-anão (*Cajanus cajan* L.) e cinco níveis proporcionais de silicato de cálcio: 0, 25, 50, 75 e 100 %, aplicado nas doses crescentes de 0, 2,31, 4,63, 6,96 e 9,27 g/vaso, respectivamente, balanceadas com carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, de forma que as quantidades de Ca e Mg em cada tratamento fossem iguais, calculados para atingir uma saturação por bases no solo de 70 %. A aplicação de silicato de Ca não interferiu na decomposição do resíduo cultural de braquiária, guandu e milheto. O teor de Mg disponível no solo foi reduzido pela aplicação de silicato de Ca, o que induz menor absorção pelas plantas de cobertura e eventual disponibilização após sua decomposição. O crescimento do feijoeiro foi favorecido pela aplicação de silicato de Ca, sendo as doses de 2,31 e 6,95 g/vaso de silicato com o resíduo cultural de braquiária os tratamentos que apresentaram maior eficiência.

Termos de indexação: silicato de Ca, braquiária, milheto, guandu-anão.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em janeiro de 2008 e aprovado em abril de 2009.

⁽²⁾ Pós-Graduanda no Departamento de Recursos Naturais/Área Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA/UNESP. Fazenda Experimental Lageado, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: fabifer@fca.unesp.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Recursos Naturais/Área Ciência do Solo, FCA/UNESP. E-mails: bull@fca.unesp.br, correajc@superig.com.br, drcrespam@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor Dr. Embrapa Suínos e Aves. BR 153, km 110, Caixa Postal 21, CEP 89700-000 Concórdia (SC). E-mail: juliano@cnpsa.embrapa.br

SUMMARY: INFLUENCE OF SILICATE AND LIME ON CROP RESIDUE DECOMPOSITION AND NUTRIENT AVAILABILITY TO BEAN PLANTS

*Si made available by Ca silicate can increase polyphenol formation, which could increase the persistence of crop residues on the soil surface. The present study evaluated the effect of silicate and lime on decomposition of different crop residues and the nutrient release for the development of common bean plants. An experimental design in randomized blocks, arranged as a 3 x 5 factorial combination, was used with four replications. Treatments consisted of three cover plant species: millet (*Pennisetum americanum*), brachiaria (*Brachiaria brizantha*), and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.), and five proportional Ca silicate levels: 0, 25, 50, 75, and 100 %, applied at increasing doses of 0, 2.31, 4.63, 6.96, and 9.27 g/pot, balanced with Ca carbonate and magnesium carbonate so that the Ca and Mg amounts in each treatment were identical, and calculated to achieve a soil base saturation of 70 %. The application of Ca silicate did not affect Brachiaria, pigeon pea, and millet crop residue decomposition. The available soil Mg content was reduced by Ca silicate applications, leading to lower Mg uptake by the cover plants and eventually becoming less available after residue decomposition. Bean growth benefited from the application of Ca silicate, and the efficiency was higher for doses varying from 25–75 % silicate in association with Brachiaria crop residues.*

Index terms: calcium silicate, brachiaria, millet, pigeon pea.

INTRODUÇÃO

O silicato de Ca, na forma de escória de siderurgia, vem sendo utilizado como corretivo de acidez e como fonte de Ca e Mg às plantas, principalmente em condições de solos ácidos, o que torna sua aplicação de primordial importância para que haja maior produção de biomassa (Korndörfer et al., 2002; Corrêa et al., 2007, 2008a,b,c, 2009). Além disso, existe a presença do Si nesse corretivo de acidez, o que permite a ele depositar esse elemento benéfico na parede celular da epiderme das folhas, colmos e casca do grão, formando uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose (Raven, 2003), que reduz a perda de água por transpiração (Barbosa Filho et al., 2001), aumenta a tolerância a pragas (Goussain et al., 2002) e doenças (Berni & Prabhu, 2003) e a resistência ao acamamento, tornando as plantas mais eretas, resultando também na melhoria da eficiência fotossintética, em razão da menor abertura do ângulo foliar, o que permite maior captação da energia luminosa (Gao et al., 2004).

Outra ação da aplicação de silicato no solo é que ele possibilita a reação entre o ácido silícico com difenóis, ácido cafeico e ésteres, precursores da lignina na planta, resultando em complexos de Si de alta estabilidade e baixa solubilidade, denominados compostos polifenólicos (Inanaga & Okasaka, 1995; Marschner, 1995), o que tornaria as paredes celulares mais resistentes à sua eventual degradação pelos microrganismos. Essa característica pode permitir maior persistência dos resíduos culturais na superfície do solo, possibilitando assim a liberação de nutrientes de forma mais gradativa. Nesse sentido, o Si disponibilizado pelo silicato pode contribuir com a real

necessidade de pesquisar alternativas que possam conduzir à maior persistência dos resíduos vegetais na superfície do solo, principalmente nas condições do Cerrado brasileiro. No entanto, não existem na literatura trabalhos que enfoquem a relação do Si com a degradação de resíduos culturais.

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo funciona como um reservatório de nutrientes, os quais são liberados lentamente pela ação dos microrganismos (Sidiaras et al., 1982; Amado et al., 2003; Corrêa et al., 2004; Pavinato & Rosolem, 2008); no caso do K, essa disponibilidade já começa a ocorrer no momento da lise celular, sendo ele exsudado da planta na presença de água, pelo mecanismo de lixiviação; uma chuva de 10 mm pode disponibilizar 11,1 kg ha⁻¹ de K em resíduos vegetais de aveia-preta (Rosolem et al., 2005, 2006, 2007). A dinâmica de mineralização dos nutrientes no solo depende da velocidade de decomposição das plantas de cobertura, a qual sofre interação dos fatores climáticos (precipitação pluvial e temperatura), da fertilidade do solo, da atividade biológica do solo, da composição química da espécie, principalmente a relação C/N, do estágio fenológico da planta e da quantidade de resíduo vegetal produzido (Primavesi et al., 2002; Oliveira et al., 2002; Torres et al., 2005; Padovani et al., 2006).

Portanto, o conhecimento da dinâmica de mineralização dos nutrientes depende da composição química dos resíduos vegetais (Silgram & Shepherd, 1999), sendo de fundamental importância para o melhor desenvolvimento das plantas subsequentes (Bôer et al., 2007; Corrêa et al., 2008d), devendo-se assim adaptar espécies e épocas de manejo que permitam a sincronia entre a disponibilização de seus

nutrientes e a demanda nutricional da cultura em sucessão (Amado et al., 2003; Braz et al., 2004). Dessa forma, espécies que apresentam relação C/N baixa e menor quantidade de lignina, normalmente, apresentam maior velocidade de decomposição e, conseqüentemente, maiores taxas iniciais de liberação de nutrientes no início do ciclo da cultura de interesse, além de diminuir sua eficiência para proteção do solo (Santi et al., 2003). Entre as plantas de cobertura que produzem boa quantidade e qualidade de resíduos vegetais, vale destaque para o milheto, braquiária e guandu-anão (Silva et al., 2002; Corrêa et al., 2008d), podendo, assim, possibilitar várias mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo, sobretudo quanto à disponibilidade de nutrientes e estruturação para cultivo (Pavinato & Rosolem, 2008).

Em razão do ciclo curto do feijoeiro, há necessidade de que os nutrientes estejam prontamente disponíveis nos estádios de maior demanda, que são o início da fase reprodutiva e a formação das sementes, para que não haja limitação da produtividade (Oliveira et al., 1996; Silva & Silveira, 2000). Assim, o conhecimento da escolha da espécie de cobertura que antecederá essa lavoura, bem como o manejo agrícola, é importante para conciliar a disponibilidade dos nutrientes, pela decomposição de resíduos culturais, com o intervalo de tempo de maior exigência nutricional, tornando-se a sincronia fundamental para a maior produtividade agrícola do feijoeiro.

O estudo com diferentes plantas de cobertura em interação com a neutralização da acidez do solo pelo silicato e calcário torna-se oportuno para o conhecimento da real contribuição da persistência dos resíduos culturais na superfície do solo, pois são incipientes as pesquisas sobre a aplicação do silicato na cultura do feijoeiro no Brasil. Com esse intuito, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a ação do silicato e do calcário na decomposição de diferentes resíduos culturais e a liberação de nutrientes para o desenvolvimento do feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, campus de Botucatu-SP. O experimento foi conduzido em vasos, com capacidade de 20 dm³, sendo utilizados 13 dm³ com solo e o restante, os primeiros 7 dm³, reservado para acomodar os resíduos culturais. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argiloarenosa (Embrapa, 1999), sendo retirado da camada arável (0-20 cm). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo para realização de análises químicas, de acordo com métodos descritos por Raij et al. (2001), cujos resultados foram: pH em CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹) 4,2; MO 6 g dm⁻³; P resina 1 mg dm⁻³; Al. H + Al. K. Ca. Mg e

CTC 7, 21, 0,4, 6, 2 e 30 mmol_c dm⁻³, respectivamente; saturação por bases de 28 %; e teor de Si em solução de CaCl₂ de 0,01 mol L⁻¹. A escolha desse solo, com baixo teor de matéria orgânica, levou em consideração o baixo teor de Si, com a finalidade de obter resultados pela aplicação de doses crescentes desse elemento benéfico.

O experimento foi implantado em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de três espécies de plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum americanum*), braquiária (*Brachiaria brizantha*) e guandu-anão (*Cajanus cajan* L.) e cinco níveis proporcionais de silicato de cálcio: 0, 25, 50, 75 e 100 %, aplicado nas doses crescentes de 0, 2,31, 4,63, 6,96 e 9,27 g/vaso, respectivamente, balanceadas com cinco doses decrescentes de carbonato de Ca e carbonato de Mg. O silicato de Ca utilizado apresentou as seguintes características químicas: 39,8 % de CaO, 12 % de MgO, 100 % de RE, 88 % de PN e 88 % de PRNT. O calcário utilizado foi misturas de CaCO₃ e MgCO₃, PA, de modo que se obtivessem as mesmas proporções desses dois elementos observados no silicato de Ca (39,8 % CaO e 12 % MgO). A dose dos corretivos de acidez utilizados (silicato e, ou, calcário) foi com base de cálculo para elevar a saturação por bases a 70 %, variando, dessa maneira, apenas o teor de Si em cada tratamento, os quais alcançaram valores de 2,4, 4,2, 4,2, 5,4 e 6,4 mg dm⁻³ de Si extraído em CaCl₂; 51, 53, 53, 45 e 42 % para V; e 5,0, 5,1, 5,0, 4,6 e 4,6 para pH, após 30 dias de incubação.

Os corretivos foram incorporados ao solo no dia 17/11/2006, previamente peneirado em malha de 4 mm, colocando-se a mistura em sacos plásticos e adicionando-se água até atingir a capacidade de campo. As amostras do Latossolo foram pesadas semanalmente, a fim de manter o teor de umidade na capacidade de campo; alterações superiores a 5 % no peso do solo indicaram a necessidade de adição de água. As amostras foram incubadas por um mês.

Após esse período de incubação, as amostras de solo, agora com o pH corrigido, foram colocadas nos vasos. Não foi instalado um sistema de irrigação, optando-se pelo fornecimento manual de água às plantas. Para irrigação, foi determinada a curva característica de retenção de água pelo solo, por meio de placa porosa, como descrita por Kiehl (1979). De posse desse valor, os vasos foram pesados, obtendo-se assim a retenção para a manutenção da umidade durante o experimento, por meio de pesagens diárias, com fornecimento de água (na superfície dos vasos) quando necessário.

Antes da semeadura das plantas de cobertura, foi realizada a adubação fosfatada com 15,4 kg ha⁻¹ de P. A semeadura das plantas de cobertura (milheto, braquiária e guandu-anão) foi realizada no dia 22 de dezembro de 2006, e a germinação ocorreu no dia 1/01/2007; posteriormente, foi realizado o desbaste, deixando seis plantas por vaso. As adubações de

cobertura foram feitas em quatro aplicações, da seguinte maneira: a primeira, 17 dias após a semeadura, com 15,4 kg ha⁻¹ de N e 15,4 kg ha⁻¹ de K; a segunda, com 31 dias após a germinação, com 15,4 kg ha⁻¹ de N; a terceira, 45 dias após a germinação, com 15,4 kg ha⁻¹ de N; e a quarta, 52 dias após a germinação, com 200 mL/vaso da solução nutritiva de micronutrientes proposta por Hoagland & Arnon (1950).

Aos 90 dias após a emergência, foi feita a aplicação de glyphosate 1.080 g ha⁻¹ de i.a. para a dessecação das espécies de cobertura braquiária, guandu e milheto. Estas foram seccionadas em pedaços de 10–12 cm; posteriormente, pesaram-se 56,7 g/vaso de cada resíduo vegetal da parte aérea, o que corresponde a 6 t ha⁻¹, os quais foram acomodados na superfície do solo, nos primeiros 4 cm do vaso, mantendo a mesma quantidade para todos os tratamentos.

A semeadura do feijão foi realizada no dia 23/04/2007, utilizando-se o cv Pérola. Utilizou-se como tratamento de sementes carboxin 200 g L⁻¹ de i.a. + thiran 200 g L⁻¹ de i.a., na dose de 2 ml kg⁻¹ de semente de feijão, tendo como objetivo a diminuição de patógenos associados a sementes e a proteção das plântulas contra os patógenos de solo, durante a germinação.

A primeira amostragem de solo foi realizada após o período de incubação, isto é, 30 dias depois da aplicação dos corretivos no solo; e a Segunda, aos 60 dias após a dessecação das plantas de cobertura, ou seja, junto com a desmontagem dos vasos, depois da retirada das plantas de feijão. As análises de solo (Quadro 1) seguiram o método proposto por Raij et al. (2001), e as determinações de Si em solução de CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹) seguiram o método proposto por Kondorfer et al. (1999).

A coleta do material vegetal das plantas de cobertura para determinação da análise química do

tecido vegetal da parte aérea foi realizada aos 90 dias após a semeadura, de acordo com o método proposto por Malavolta et al. (1997). A análise de persistência dos resíduos culturais foi feita no momento da colheita do feijão (65 dias após o manejo), quantificando-se o material remanescente; fez-se também nova análise química do tecido vegetal dos resíduos culturais, seguindo o método descrito anteriormente.

A cultura do feijão foi conduzida até 60 dias após a semeadura – período que correspondeu a 50 % do florescimento, estágio R6 da cultura. Nesse período, foram coletadas todas as plantas do vaso, armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação de ar forçada, na temperatura de 65 °C, até obtenção de peso constante, para análise de matéria seca da planta.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, constatado o efeito significativo de acordo com o teste F, empregou-se o teste LSD (DMS) a 5 %, para diferenciar as plantas de cobertura, e a análise de regressão, para avaliar o comportamento das doses crescentes de silicato de Ca no corretivo. Adotou-se como critério para escolha do modelo o nível de significância a 1 e 5 % e a magnitude dos coeficientes de determinação (Banzato & Kronka, 1989), sendo os resultados analisados pelo programa SISVAR 4.2 (Ferreira, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de cobertura braquiária, milheto e guandu apresentaram diferentes composições químicas, com efeito significativo para os seguintes elementos: N, Ca, Mg, K, S e Si (Quadro 2). De acordo

Quadro 1. Análise de variância e teste de média para a quantidade de macronutrientes liberados no solo e teores de Si, lignina e matéria seca remanescente nos resíduos vegetais da parte aérea das plantas de cobertura, em função da aplicação de doses crescentes de silicato no corretivo

Fator	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Lignina	M.S.R.
	mg/vaso					%	%	g kg ⁻¹	%
Cobertura (C)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Dose (D)	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	**	ns
C x D	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	**	ns
CV (%)	20	26	22	45	30	43	11	19	21
DMS	113	26	83	59	28	17	0,1	1,26	4,90
Médias das plantas de coberturas									
Braquiária	487 b	88 b	525 b	41 b	173 a	32 b	1,44 a	10,7 b	42,90 a
Guandu	1784 a	148 a	838 a	407 a	103 b	102 a	1,24 b	8,4 c	20,15 b
Milheto	394 b	90 b	432 c	53 b	173 a	48 b	1,39 a	12,3 a	47,70 a

*, ** e ns: representam o nível de significância a 1 e 5 % e efeito não significativo pelo teste LSD, respectivamente. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si.

O guandu, milheto e braquiária apresentaram redução no teor de Mg no tecido vegetal da parte aérea (Figura 1); essa menor concentração é consequência da redução do teor de Mg no solo imposta pelas doses

Gráfico de linhas mostrando o teor de Mg na planta (g kg⁻¹) versus a percentagem de silicato de cálcio no corretivo (0, 25, 50, 75, 100%) para três espécies: Braquiária, Guandu e Milheto. Todas as espécies mostram uma diminuição linear no teor de Mg à medida que a percentagem de silicato aumenta.

Percentagem de Silicato de Cálcio	Braquiária (g kg ⁻¹)	Guandu (g kg ⁻¹)	Milheto (g kg ⁻¹)
0	5.4	2.5	4.9
25	4.1	2.8	5.1
50	4.0	2.1	4.7
75	4.5	2.2	4.0
100	3.4	2.0	4.1

Equações de regressão linear e coeficientes de determinação (R²):

- Braquiária: $y = 5,0 - 0,017x$, $R^2 = 0,73^{**}$
- Guandu: $y = 2,6 - 0,009x$, $R^2 = 0,78^*$
- Milheto: $y = 5,1 - 0,014x$, $R^2 = 0,87^{**}$

Figura 1. Teores de Mg na parte aérea de braquiária, guandu e milheto, em função da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

Quadro 2. Análise de variância e teste de média para a composição química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura, em função da aplicação de doses crescentes de silicato no corretivo

Fator	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Lignina	C/N
	g kg ⁻¹						%	g kg ⁻¹	
Cobertura (C)	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
Dose (D)	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	ns
C x D	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	**	ns
CV (%)	13,1	23,3	18,8	24,4	20,4	19,7	23,2	8,7	4,0
DMS	1,8	0,42	1,4	1,0	0,46	0,25	0,09	2,8	5
Médias das plantas de cobertura									
Braquiária	15,4 b	2,6	10,2 b	4,1 b	4,2 a	1,4 c	0,62 b	38,2 b	32 a
Guandu	35,5 a	3,1	17,1 a	11,1 a	2,1 b	2,5 a	0,92 a	83,4 a	14 b
Milheto	14,2 b	2,8	8,2 b	4,4 b	4,4 a	2,0 b	0,47 c	28,3	35 a

*, ** e ns: representam o nível de significância a 1 e 5 % e efeito não significativo pelo teste LSD, respectivamente. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si.

O guandu apresentou a maior absorção de K em relação a milho e braquiária, sendo a única planta de cobertura a apresentar efeito significativo em relação ao aumento da percentagem de silicato de Ca no corretivo, demonstrando comportamento quadrático crescente até a percentagem de 64 % (Figura 2). A possível justificativa para maior absorção do K em relação às demais plantas de cobertura pode estar relacionada à sua menor absorção de Mg (Figura 1), uma vez que esses dois nutrientes apresentam competição no que se refere às cargas negativas dos colóides do solo, sendo a sua absorção condicionada pela espécie vegetal – no caso, o guandu. Vale ressaltar que o K pode ser extraído do tecido vegetal para o exterior da planta com relativa facilidade, sem a necessidade de haver decomposição completa dos resíduos culturais, visto que pode sofrer lixiviação a partir do momento da lise celular e ser exsudado da planta na presença de água (Rosolem et al., 2007), sendo a única exceção entre os nutrientes (Malavolta, 1980; Rosolem et al., 2006).

O aumento de percentagem de silicato de Ca, bem como sua interação com as plantas de cobertura, não resultou em efeito significativo no acúmulo de Si pelas plantas de cobertura (Quadro 2). Portanto, o aumento de silicato de Ca não resulta em maior teor de Si na parte aérea das plantas de braquiária, milho e guandu, não permitindo, consequentemente, atribuir os possíveis efeitos da maior permanência desses resíduos culturais na superfície do solo a esse elemento benéfico.

Já o aumento da percentagem de silicato de Ca promoveu diferentes resultados no teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura, com efeito significativo para guandu e milho (Figura 3); o guandu apresentou os maiores teores em relação às demais plantas de cobertura. O milho apresentou incremento no acúmulo de lignina no tecido vegetal da parte aérea à medida que aumentou a percentagem de silicato de Ca no corretivo, o que poderia resultar

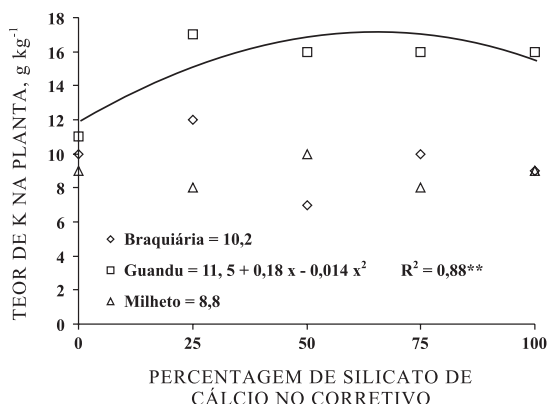


Figura 2. Teor de K na parte aérea de braquiária, guandu e milho, em função da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

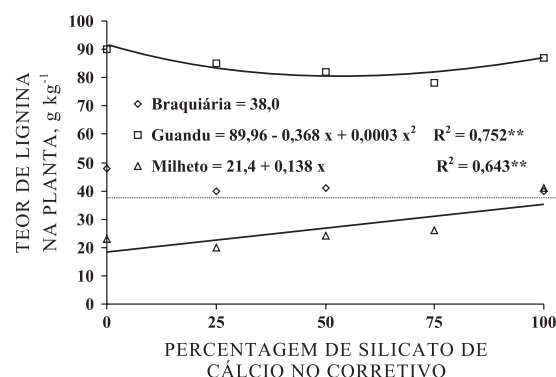


Figura 3. Teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura braquiária, guandu e milho, em função da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

em menor velocidade de decomposição desse resíduo cultural, aumentando assim os efeitos benéficos de proteção e liberação de nutrientes de maneira gradual à cultura em sucessão, em razão da aplicação de silicato. Mengel & Kirkby (1987) afirmam que tanto o ácido silícico como o ácido bórico reagem com fenóis como o ácido cafeico, um precursor da lignina, para formar mono, di ou complexos polímeros de Si; talvez essa informação possa explicar o porquê da maior concentração de lignina nas plantas de guandu, uma vez que foram elas também que apresentaram o maior teor de Si na parte aérea (Quadro 2).

É interessante ressaltar que, mesmo com o maior acúmulo de lignina pelo guandu entre as plantas de cobertura, ele apresentou comportamento quadrático decrescente até 75 % da percentagem de silicato de Ca no corretivo, contrariamente ao que ocorreu no milho, o qual apresentou comportamento linear crescente. Esses resultados permitem afirmar que existe diferença quanto à produção de lignina entre as espécies de cobertura vegetal, fator que poderá proporcionar maior ou menor resistência à decomposição, o que indicaria o silicato de Ca estar envolvido na velocidade da disponibilidade de nutrientes à cultura sucessora pelas plantas de cobertura quando subordinadas a esse sistema de correção de acidez do solo.

Após 60 dias da dessecação e manejo da parte aérea das plantas de cobertura sobre a superfície do solo e eventual decomposição dos resíduos vegetais, nota-se que o guandu possibilitou a maior disponibilidade dos nutrientes N, P, K, Ca e S, correspondente à quantidade de 1.784, 148, 838, 407 e 102 mg/vaso, respectivamente, bem como a menor disponibilidade de Mg, 103 mg/vaso, em relação ao milho e à braquiária (Quadro 1). Provavelmente, a maior disponibilidade desses nutrientes pelo guandu está relacionada com sua menor relação C/N, que foi de 14, quando comparado aos valores de 32 e 35 da braquiária e do milho, respectivamente (Quadro 2); essa característica pode levar à decomposição mais

rápida desse resíduo vegetal, fator que conferiu a liberação mais efetiva dos elementos N, P, K, Ca e S do interior do tecido vegetal para o solo.

Já a menor disponibilidade do Mg no solo no final do experimento, imposta pelo resíduo vegetal guandu, está relacionada ao fato de esse mesmo tratamento ter apresentado os maiores teores quanto à disponibilidade de K. Isso indica que esse nutriente em maior concentração no solo pode ter sido adsorvido de forma preferencial, em razão da maior ação de massas, levando o Mg a ficar em maiores concentrações na solução do solo, o que pode ter favorecido a lixiviação desse nutriente para fora do vaso com maior facilidade. Esses resultados corroboram os de Torres et al. (2005) e Moraes (2001), que constataram que as maiores taxas de disponibilidade de nutrientes das plantas de guandu, milho e braquiária ocorreram aos 42 e aos 63 dias após a dessecação.

O aumento da percentagem de silicato de Ca no corretivo não alterou a mineralização dos nutrientes N, P, Ca e S das plantas de cobertura para o solo; no entanto, houve diferença na disponibilização dos nutrientes Mg e K pelos resíduos vegetais, em razão da presença do silicato na composição do corretivo (Quadro 1).

A liberação de Mg, independentemente da planta de cobertura, foi reduzida na presença de silicato de Ca no corretivo (Figura 4). Esse resultado confirma a menor absorção desse nutriente pelas plantas de cobertura (Figura 1), proporcionada pelo menor teor de Mg no solo (Quadro 3). A menor disponibilidade de Mg pelas plantas de cobertura na presença de silicato deve-se ao fato de a presença de Mg do silicato estar relacionada ao $MgSiO_3$, enquanto o Mg do calcário provém da fonte pura de $MgCO_3$, a qual provavelmente deve ser mais solúvel.

O aumento da percentagem de silicato de Ca no corretivo proporcionou diferentes resultados na disponibilidade de K em função do tipo de planta de cobertura, porém apenas o guandu mostrou diferença estatística, com comportamento crescente até a dose de 64 % (Figura 5). Esse aumento na disponibilidade de K pelo guandu é justificado em razão de essa planta de cobertura ter proporcionado a maior absorção desse nutriente em função da aplicação de silicato de Ca (Figura 2). A lixiviação do K do interior do tecido vegetal para o solo ocorre com maior velocidade em relação aos demais nutrientes, em razão de esse elemento permanecer na forma iônica nas células vegetais, pois não sofre metabolismo e não faz parte de tecidos e moléculas – fatores que permitem alta mobilidade tanto no xilema como no floema (Marschner, 1995).

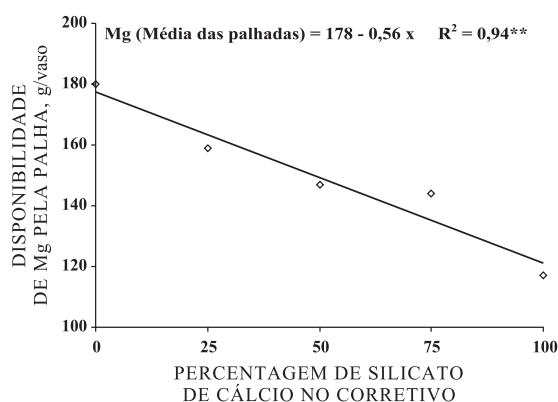


Figura 4. Valores médios para disponibilidade de Mg pelas plantas de cobertura, em função do aumento da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

Quadro 3. Análise de variância e teste de média para a quantidade de macronutrientes liberados no solo e teores de Si, lignina e massa seca remanescente nos resíduos vegetais da parte aérea das plantas de cobertura em função da aplicação de doses crescentes de silicato no corretivo

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Lignina	MSR
	mg/vaso						%	g kg ⁻¹	%
Cobertura (C)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Dose (D)	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	**	ns
C x D	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	**	ns
CV (%)	20	26	22	45	30	43	11	19	21
DMS	113	26	83	59	28	17	0,1	1,26	4,90
Médias das plantas de coberturas									
Brachiária	487 b	88 b	525 b	41 b	173 a	32 b	1,44 a	10,7 b	42,90 a
Guandu	1784 a	148 a	838 a	407 a	103 b	102 a	1,24 b	8,4 c	20,15 b
Milheto	394 b	90 b	432 c	53 b	173 a	48 b	1,39 a	12,3 a	47,70 a

Os símbolos *, ** e ns representam o nível de significância a 1 e 5 % e efeito não significativo pelo teste LSD, Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si.

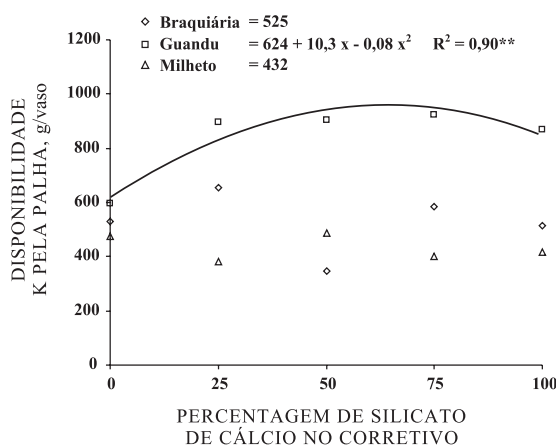


Figura 5. Valores médios para disponibilidade de K pelas plantas de cobertura, em função da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

Verificou-se que o Si acumulou-se no resíduo cultural durante o processo de decomposição; as plantas de cobertura braquiária, guandu e milheto, após a dessecação e manejo, apresentavam teores de 0,62, 0,92 e 0,47 dag kg⁻¹, respectivamente (Quadro 2); 60 dias após a semeadura do feijão, foram constatados os valores de 1,44, 1,24 e 1,39 dag kg⁻¹ de Si nos resíduos culturais (Quadro 1). À medida que os resíduos culturais passam pelo processo de mineralização, os elementos mais solúveis vão sendo exsudados para o exterior da planta, sobrando os de menor solubilidade – no caso, os compostos de Si. Mesmo com o maior acúmulo de Si nos resíduos vegetais, quando se aplicam apenas 50 % de silicato e 50 % de carbonatos, o teor desse elemento benéfico é menor (Figura 6), em razão de sua menor concentração, quando comparado à dose de 100 % de silicato; talvez ele possa sofrer maior solubilidade no solo na ocasião em que são aplicadas fontes de CaCO₃ e MgCO₃ pa, para confecção do calcário, podendo a maior concentração do ânion carbonato influenciar essa maior disponibilidade desse elemento e, consequentemente, sua maior absorção pelas plantas de cobertura nessa circunstância.

A aplicação de doses crescentes de silicato de Ca proporcionou maiores teores de lignina na parte aérea do guandu até a dose de 100 % e, na braquiária, até a dose de 52 %, porém no milheto houve redução no teor de lignina até a dose de 63 % de silicato (Figura 7). Sabe-se que a aplicação de silicato no solo pode possibilitar a reação entre o ácido silícico e o-difenóis, ácido cafeico e ésteres, precursores da lignina na planta, o que resulta em complexos de Si de alta estabilidade e baixa solubilidade, denominados compostos polifenólicos (Inanaga & Okasaka, 1995; Marschner, 1995). Essa afirmação corrobora os resultados obtidos (Quadro 2), mas, com a decomposição desses resíduos culturais, a

mineralização da lignina ocorreu de forma bastante acentuada, com especial ênfase para o guandu, que passa do valor médio de 83 para 8,4 g kg⁻¹ (Quadros 2 e 3); já para braquiária e milheto essa redução no teor de lignina alcançou proporções de 40 para 10 g kg⁻¹ e de 30 para 10 g kg⁻¹ (Quadros 1 e 2 e Figuras 3 e 7). Vale ressaltar que, com a decomposição dos resíduos vegetais, em especial a lignina, os teores de Si aumentaram (Quadros 1 e 2), permitindo inferir que, possivelmente, esse elemento possa ficar aprisionado no interior dos tecidos vegetais, sendo um dos últimos a ser disponibilizado no solo após a decomposição do resíduo vegetal.

Como o resíduo cultural de guandu apresentou a maior redução no teor de lignina na parte aérea após 60 dias de dessecação, essa característica contribuiu também para sua maior taxa de decomposição em

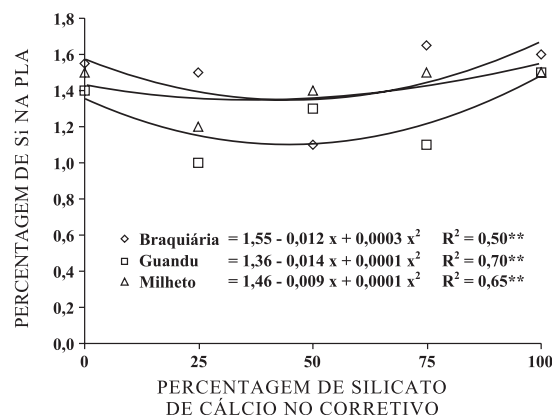


Figura 6. Teor de Si pelas plantas de cobertura, em função da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

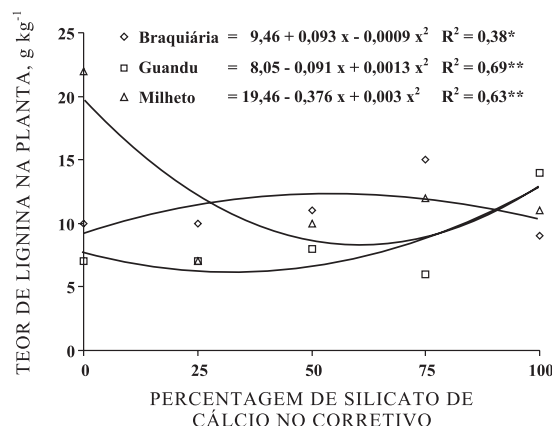


Figura 7. Teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura braquiária, guandu e milheto, em função da percentagem de silicato de Ca no corretivo.

relação ao milheto e à braquiária, apresentando 20 % de massa de matéria seca remanescente, em comparação a 43 e 48 %, respectivamente (Quadro 1). Além da maior redução do teor de lignina, a maior decomposição pela leguminosa pode ser explicada pela sua menor relação C/N no início da semeadura do feijão, que foi de 14 (Quadro 2).

A matéria seca da parte aérea do feijão foi favorecida pela aplicação de silicato de Ca no corretivo, com resultados diferentes para cada espécie de planta de cobertura (Figura 8). Vale ressaltar que, na dose de 100 % de silicato, todos os resíduos culturais mostraram resultados semelhantes. A braquiária foi o resíduo cultural que proporcionou o melhor desenvolvimento do feijão, sendo a dose de 55 % de silicato de Ca a de maior eficiência. Esses resultados confirmam os obtidos por Nunes et al. (2006), que demonstraram maior produtividade de feijão quando semeado sobre o resíduo cultural de braquiária, em relação ao guandu.

Mesmo o guandu apresentando os melhores resultados quanto aos teores de nutriente na parte aérea (Quadros 2 e 3) e, conseqüentemente, maior disponibilidade no solo (Quadro 1), com exceção do Mg em ambas as situações, a matéria seca da parte aérea do feijão para esse resíduo cultural foi inferior à do milheto e da braquiária nas doses inferiores a 100 % de silicato (Figura 8). Essa menor eficiência desse resíduo cultural nesses tratamentos com silicato pode estar relacionada à menor disponibilidade de Mg no solo (Quadro 1), fator que provavelmente condicionou o menor crescimento do feijão; as quantidades de nutrientes liberados pelas plantas de cobertura de milheto e braquiária, embora sendo menores, foram suficientes para proporcionar crescimento adequado ao feijoeiro. Com base nessas informações, pode-se

inferir que, quando o feijão é plantado sob resíduo cultural de guandu, deve-se priorizar a aplicação de silicato de Ca em detrimento do calcário.

O milheto apresentou resultados intermediários para a produção de matéria seca do feijão entre as doses de 0 e 75 % de silicato de Ca, quando comparado à braquiária e ao guandu; na dose de zero e na de 75 %, foi o tratamento de maior eficiência para essa variável – o maior valor de matéria seca atribuído a esse resíduo cultural foi verificado na dose de 62 % (Figura 8). Não houve diferença quanto se usou calcário ou silicato para a semeadura de feijão sob resíduo cultural de milheto. É importante lembrar que tanto o milheto quanto a braquiária, em interação com doses crescentes de silicato de Ca, apresentaram menores taxas de decomposição no solo em relação à leguminosa. Esse fator é importantíssimo para a proteção do solo contra erosão e na disponibilidade de água no solo, a qual rege também o transporte dos nutrientes do solo até a raiz da planta pelos processos de fluxo de massa (água móvel no solo) e de difusão (água estacionária do solo), fatores que podem ter condicionado, também, o bom crescimento do feijão em detrimento do guandu. São poucos os trabalhos com Si para a cultura do feijão, devendo haver maior quantidade de estudos para que se possa obter conclusões mais seguras sobre seu efeito no feijoeiro.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de silicato de Ca não interferiu na decomposição do resíduo cultural de braquiária, guandu e milheto.
2. O teor de Mg disponível no solo é reduzido pela aplicação de silicato de Ca, o que induz menor absorção pelas plantas de cobertura e eventual disponibilização após sua decomposição.
3. O crescimento do feijoeiro foi favorecido pela aplicação de silicato de Ca, sendo as doses de 25 a 75 % de silicato com o resíduo cultural de braquiária os tratamentos que apresentaram a maior eficiência.

LITERATURA CITADA

AMADO, T.J.C.; SANTI, A. & ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia-preta. II – Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:1085-1096, 2003.

BANZATTO, D.A. & KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. Jaboticabal, Funep, 1989. 247p.

BERNI, R.F. & PRABHU, A.S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de bruzone nas folhas em arroz. Pesq. Agronec. Bras., 38:195-201, 2003.

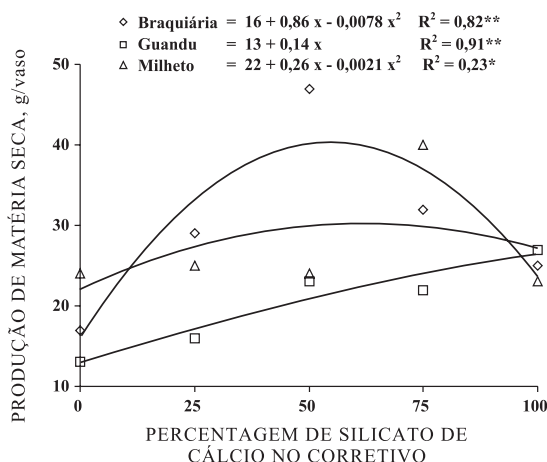


Figura 8. Produção de matéria seca da parte aérea do feijão, em função das plantas de cobertura braquiária, guandu e milheto e da porcentagem de silicato de Ca no corretivo.

- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E. & SILVA, O.F. Silicato de Ca como fonte de silício para o arroz de sequeiro. R. Bras. Ci. Solo, 25: 325-330, 2001.
- BÔER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 42:1269-1276, 2007.
- BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J. & ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. Pesq. Agropec. Trop., 34:83-87, 2004.
- BULL, L.T.; SOARES, E.; BOARETTO, A.E. & MELLO, F.A.F. Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramíneas e leguminosas forrageiras. III. Absorção de potássio em função do potencial de potássio no solo. Científica, 21:77-86, 1993.
- CHAGAS, R. C. S. Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho. 2004. 80p. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado)
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; FERNANDES, D.M. & PERES, M.G.M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia-preta. R. Bras. Ci. Solo, 32:1583-1590, 2008b.
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M. & MARCELINO, M. Correção da acidez e mobilidade de íons pela aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodo de esgoto e calcário. Pesq. Agropec. Bras., 42:1307-1317, 2007.
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. & MORAES, M.H. Atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. R. Bras. Ci. Solo, 2009 (no prelo).
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. & TECCHIO, M.A. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. Pesq. Agropec. Bras., 43:1209-1219, 2008c.
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; PAGANINI, W.S. & GUERRINI, I.A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. Pesq. Agropec. Bras., 43:411-419, 2008a.
- CORRÊA, J.C.; HOFFMANN, H.P.; MONQUERO, P.; CASAGRANDE, J.C. & PUGA, A.P. Efeito do intervalo de dessecação antecedendo a semeadura do milho e do uso de diferentes espécies de plantas de cobertura. R. Bras. Ci. Solo, 32:739-746, 2008d.
- CORRÊA, J.C.; MAUAD, M. & ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. Pesq. Agropec. Bras., 39:1231-1237, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FERREIRA, D.F. SISVAR versão 4.2. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003.
- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L. & ZHANG, F. Silicon improves water use efficiency in Maize plants. J. Plant Nutr., 27:1457-1470, 2004.
- GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L. & ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Neotrop. Entomol., 31:305-310, 2002.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley, Agricultural Experimental Station, 1950. 32p. (Circular, 347)
- INANAGA, S. & OKASAKA, A. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? Soil Sci. Plant Nutr., 41:111-117, 1995.
- KIEHL, J.C. Manual de edafologia: Relação solo-planta. São Paulo, Ceres, 1979. 264p.
- KONDÖRFER, 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. R. Bras. Ci. Solo, 23:101-106, 1999.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & CAMARGO, M.S. Silicato de Ca e Mg na agricultura. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Ciências Agrárias, 2002. 15p. (Boletim Técnico, 1)
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.
- MALAVOLTA, E.A. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plants nutrition. 4.ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 687p.
- MORAES, R.N.S. Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 90p. (Tese de Mestrado)
- NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O. & FERREIRA C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 41:943-948, 2006.
- OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S. & DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. & ZIMMERMANN, M.J.O., coords. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba, Potafos, 1996. p.169-221.

- OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J. & MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1079-1087, 2002.
- PADOVANI, M.P.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R.L.D.; OLIVEIRA, F.L.; SANTOS, L.A.; ALVES, B.J.R. & SOUTO, S.M. Decomposição e liberação de nutrientes de soja cortada em diferentes estádios de desenvolvimento. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:667-672, 2006.
- PAVINATO, P.C. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:911-920, 2008.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C. & ARMELIN, M.J.A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. *R. Agric.*, 77:89-102, 2002.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- RAVEN, J.A. Cycling silicon-the role of accumulation in plant. *New Phytol.*, 158:419-421, 2003.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. & GARCIA, R.A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milheto após dessecação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45:1169-1175, 2007.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 36:1063-1074, 2005.
- ROSOLEM, C.A.; GARCIA, R.A.; FOLONI, J.S.S. & CALONEGO, J.C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milheto. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:813-819, 2006.
- SANTI, A.; AMADO, T.J.C. & ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia-preta. Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1075-1083, 2003.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C. & DERPSCH, R. Comparasion of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and yields of soybe an and wheat on na oxisol. *Journal Agronomy and Crop Science*, 151:137-148, 1982.
- SILVA, C.C. & SILVEIRA, P.M. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada de cobertura. *Pesq. Agropec. Trop.*, 30:86-96, 2000.
- SILVA, J.A.A.; VITTI, G.C.; STUCHI, E.S. & SEMPIONATO, O.R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-pêra. *R. Bras. Frutic.*, 24:225-230, 2002.
- SILGRAM, M. & SHEPHERD, M.A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. *Adv. Agron.*, 65:267-311, 1999.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C. & FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:609-618, 2005.

