



## Eficiência Agronômica de Subprodutos da Mineração e da Siderurgia como Fontes de Potássio para as Culturas de Milho e Soja em Sistema de Rotação

*Antônio Marcos Coelho<sup>1</sup>*

A exemplo do nitrogênio (N), o potássio (K) é um nutriente requerido em larga quantidade pelas plantas de milho e soja. De acordo com Borkert et al. (2005), o milho para produzir uma tonelada de grãos absorve 25, 5 e 18 kg de N, P e K, respectivamente; enquanto a soja absorve 83, 7 e 32 kg de N, P e K, respectivamente. Entretanto, uma grande diferença existe entre estas duas culturas com relação à ciclagem e à exportação de K, sendo o milho uma cultura cicladora e a soja exportadora. Dados obtidos por Mallarino et al. (2011) demonstraram que para uma produtividade de 10,67 t de grãos/ha, o milho absorveu 160 kg de K, sendo 38 kg de K (24%) exportados nos grãos, enquanto na soja, para uma produtividade de 3,80 t de grãos/ha, a absorção foi de 170 kg de K, sendo a exportação nos grãos de 78 kg (46%). Considerando que a rotação ou sucessão soja/

milho é um sistema de produção amplamente utilizado pelos produtores brasileiros, atenção especial deve ser dada ao planejamento das adubações com este nutriente, evitando, assim, o desequilíbrio nutricional e a redução na produtividade.

Destes três principais nutrientes das plantas (N, P e K), o potássio (K) e o fósforo (P) provêm exclusivamente de fontes geológicas (MANNING, 2010). Ambos os nutrientes são extraídos e processados para a produção de fertilizantes que variam na quantidade do tratamento químico envolvido na sua preparação. Ambos podem ser utilizados para aplicação direta na agricultura, como a silvinita (mistura de KCl + NaCl) e fosfatos de rocha com diferentes graus de reatividade. Assim, o K absorvido pelas plantas é somente oriundo da reserva existente nos solos,

<sup>1</sup>Eng.-Agrôn., Ph.D em Solos e Agricultura de Precisão, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, Rod MG 424 Km 45, Zona Rural, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG, antoniomarcos.coelho@embrapa.br

reciclado de resíduos de culturas e advindo da aplicação de fertilizantes (minerais e orgânicos).

A alta demanda de K pelas culturas contrasta com as concentrações, em geral insuficientes, que ocorrem em solos brasileiros (COELHO, 2005). Esse fato, associado ao expressivo crescimento da produção agrícola brasileira nos últimos anos, tem levado a um grande aumento no consumo de fertilizantes K (NACHTIGALL; RAIJ, 2005). Em 2014, o consumo de fertilizantes de potássio na agricultura brasileira foi de nove milhões de toneladas, dos quais mais de 90% foram importados, representando um custo ao redor de US\$ 3 bilhões (ANUÁRIO..., 2014). Esses dados justificam a implementação de políticas governamentais com o objetivo de explorar as reservas de minério de carnalita no Estado de Sergipe, bem como os depósitos de silvinita no Estado do Amazonas (LOPES, 2005). Além disso, devem ser estimuladas pesquisas sobre a viabilidade econômica de exploração de silicatos de potássio e subprodutos da

mineração e siderurgia, abundantes em todo o Brasil, como fonte de adubo potássico (COELHO et al., 2010; MANNING, 2010; RIBEIRO et al., 2010). O presente trabalho teve por objetivo avaliar em um sistema agrícola com as culturas de milho e soja em sistema de rotação, subprodutos de mineração e da siderurgia, para aplicação direta no solo, como fontes de potássio, comparadas a um fertilizante padrão, considerando o efeito imediato e o residual.

### Características Físico-químicas das Fontes Avaliadas

Para fins de caracterização como insumo agrícola para aplicação direta no solo, as fontes avaliadas (um subproduto da mineração (rocha silicática Biotita), e um subproduto da siderurgia (RMS) (Figura 1), com granulometria inferior a 2 mm (10 mesh), tal como se procede no uso agrícola de calcários) foram caracterizadas através de análises físicas e químicas (Tabelas 1 e 2), conforme metodologias preconizadas por Coelho (2013).



**a) Subproduto da mineração - Biotita**



**c) Subproduto da siderurgia - RMS**

**Figura 1.** Amostras dos subprodutos da mineração (a) e da siderurgia (b) utilizadas nos experimentos. Foto: Antônio Marcos Coelho

A rocha Biotita ocorre naturalmente no Estado de Minas Gerais, principalmente nos municípios de Itabira e Itabirito. Amostra desta rocha moída apresenta cor cinza (Figura 1). O RMS é um subproduto da indústria da extração de manganês, apresentando cor castanha (Figura 1). Ambos os materiais apresentaram baixos teores de CaO, com valores muito baixos para os índices de PN e PRNT (Tabela 1), não se caracterizando como materiais com potencial para correção da acidez dos solos.

Com relação ao potencial destas fontes para o suprimento de nutrientes, a rocha Biotita contém um teor de 5% de  $K_2O$  total, sendo menos de 1% solúvel em água, e teores mais altos de magnésio e de silício e quantidades muito baixas de fósforo e de micronutrientes (Tabela 2). O subproduto RMS apresenta um teor de 11,8% de K total, sendo 10% solúvel em água e altos teores de Zn e Mn e quantidades muito baixas de fósforo e outros micronutrientes (Tabela 2). Para os teores totais de K e P, a Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), estabelece que os produtos remineralizadores de solos devem conter no mínimo 1% de  $K_2O$  e de  $P_2O_5$ , respectivamente.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas dos subprodutos da mineração e da siderurgia comparadas a de um calcário de qualidade padrão e das garantias mínimas<sup>1/</sup>.

Parâmetros	Produtos			Garantias
	RMS	Rocha Biotita	Calcário <sup>2/</sup>	Mínimas <sup>3/</sup>
CaO - %	3,58	5,27	38,08	-
MgO - %	0,65	13,91	12,95	-
CaO + MgO - %	4,23	19,18	51,03	38
PN - %	40,44	4,49	96,50	67
PRNT - %	29,33	3,18	96,43	45
RI - %	9,92	83,40	0,00	-
Granulometria - % passante				
ABNT10 (2 mm)	96,40	99,98	100,00	100
ABNT20 (0,84 mm)	78,08	88,22	100,00	70
ABNT50 (0,30 mm)	59,67	48,65	99,86	50

<sup>1/</sup>Análises realizadas pelo Laboratório da EMBRAPA/CNPMS <sup>2/</sup> Calcário da Usina Lapa do Chumbo - Sete Lagoas, MG; <sup>3/</sup>Mapa - Instrução normativa nº 35 de 04/07/2006.

**Tabela 2.** Teores de potássio e fósforo comparadas às rochas silicáticas portadoras de potássio e rochas fosfáticas, micronutrientes e elementos não essenciais considerados potencialmente tóxicos, nas fontes estudadas.

Elementos	RMS	Biotita	Rochas Silicáticas	Rochas Fosfáticas
<b>Macronutrientes<sup>1</sup></b>				
K <sub>2</sub> O total (%)	11,82	5,07	9 a 29	-
K <sub>2</sub> O – solúvel em água (%)	10,06	0,07	<1	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – total (%)	0,42	0,06		18 a 30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – solúvel em ácido (%)	nd	nd		4 a 11
<b>Elementos traços – Micronutrientes<sup>2</sup></b>			<b>Teor total mínimo<sup>3</sup></b>	
Zinco – Zn (%)	1,10	0,0151	-	0,10
Manganês – Mn (%)	26,50	0,14	-	0,10
Cobre – Cu (%)	0,063	0,0054	-	0,05
Ferro – Fe (%)	4,22	7,10	-	0,10
Molibdênio – Mo (%)	0,0073	0,00058	-	0,005
Cobalto – Co (%)	0,0181	0,0049	-	0,005
Níquel – Ni (%)	0,0252	0,0093	-	0,005
Silício – Si (%)	5,24	24,64		0,05
<b>Elementos traços “não essenciais - tóxicos”</b>			<b>Máximo<sup>4</sup></b>	
Chumbo – Pb (mg/kg)	4.255,00	10,30	-	200
Arsênio - As (mg/kg)	81,10	0,60	-	15
Cádmio - Cd (mg/kg)	411,10	<0,10	-	10
Mercúrio - Hg (mg/kg)	5,75	<0,01	-	0,1
Bário - Ba (mg/kg)	1.658,00	142,00	-	-

<sup>1</sup>Análises realizadas pelo Laboratório da Embrapa Milho e Sorgo. <sup>2</sup>Análises realizadas pelo AcmeLabs (ACME Analytical Laboratories LTD), Vancouver, Canadá (<http://www.acmelab.com>). <sup>3</sup>Teor total mínimo de acordo com o Mapa - Instrução Normativa nº 5 de 10 de março de 2016. <sup>4</sup>Teor máximo de acordo com o Mapa - Instrução Normativa nº 5 de 10 de março de 2016.

Para os elementos traços, considerados não essenciais às plantas, mas apresentando algum potencial tóxico, somente o RMS apresentou valores mais altos (Tabela 2), superiores aos limites máximos estabelecidos pelo Mapa, Instrução Normativa nº 5 de 10 de março de 2016, que normatiza o uso de remineralizadores dos solos.

## Planejamento Experimental

Experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, coordenadas geográficas: Latitude 19°28'S, Longitude 44°15'W, altitude de 732 m acima do nível do mar, em um solo

classificado como Latossolo Vermelho (Figura 2).

Para a caracterização da fertilidade do solo, a área experimental foi dividida em 3 blocos (54 m x 14 m), coletando-se, em cada bloco, amostras de solos nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, cujos indicadores do potencial produtivo e da disponibilidade de macro e micronutrientes são apresentados na Tabela 3. O solo, com textura muito argilosa (68% argila), caracteriza-se por apresentar perfil de fertilidade de 40 cm, com baixa saturação de Al<sup>3+</sup> (valor “m” variando de 12 a 32%, na camada de 20 a 40 cm) e teor médio de matéria orgânica. Embora deficiente em



K ( $\leq 35 \text{ mg/dm}^3$ ), apresenta teores médios a altos de macronutrientes (P, Ca, Mg) e de micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn), o que o caracteriza como um solo de alto potencial produtivo (Tabela 3).

uma enxada rotativa, sendo posteriormente, a partir do 2º cultivo (2007/08), estabelecido o sistema de plantio direto. O KCl, na dose de 75 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ , foi aplicado no sulco de semeadura, apenas no primeiro ano.



**Figura 2.** Vista geral da área experimental mostrando aplicação dos subprodutos de mineração e siderurgia, e o desenvolvimento inicial das culturas de milho e soja. Foto: Antônio Marcos Coelho

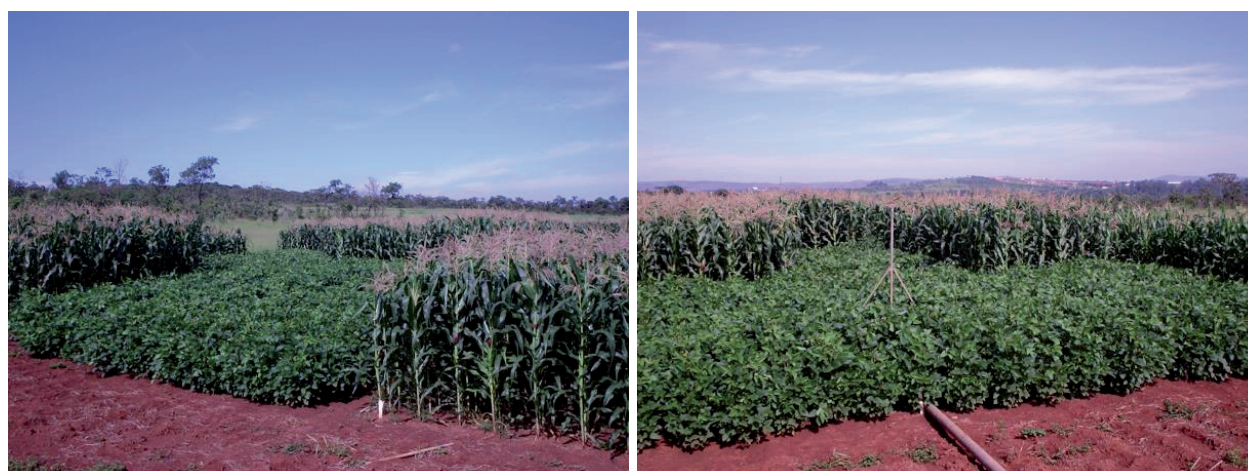
Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados com 3 repetições, sendo o delineamento dos tratamentos, fatorial  $3 \times 3 + 3$ , em parcelas subdivididas, dispoendo nas parcelas (18 m x 3,5 m) as fontes de potássio, subproduto da mineração: Biotita; subproduto da siderurgia: RMS; e fertilizante solúvel: cloreto de potássio (KCl) e nas subparcelas (6 m x 3,5 m) as doses de potássio: 75, 150 e 300 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$ . Os tratamentos adicionais: testemunha – 0 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$ ; Biotita – 75 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$  aplicado a lanço + 75 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$  na forma de KCl aplicado no sulco de semeadura; RMS - 75 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$  aplicado a lanço + 75 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$  na forma de KCl aplicado no sulco de semeadura. As taxas equivalentes aplicadas para fornecer os níveis de 75, 150 e 300 kg  $\text{K}_2\text{O/ha}$  foram: Biotita (5%  $\text{K}_2\text{O}$ ) 1,5, 3,0 e 6,0 t/ha; RMS (10%  $\text{K}_2\text{O}$ ) 0,75, 1,5 e 3,0 t/ha e; KCl (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ) 125, 250 e 500 kg/ha. Para o cálculo dessas doses, foi considerado o teor total de potássio de cada fonte (Tabela 2). As fontes de potássio foram aplicadas apenas no primeiro ano, a lanço na superfície do solo e incorporadas (0 - 10 cm) por meio de

## Manejo das Culturas e Adubações

O sistema de produção agrícola utilizado foi a rotação milho e soja, alternando nas parcelas a cada ano agrícola a semeadura das duas culturas (Figura 3). Sempre que necessário, principalmente quando da ocorrência de período de veranicos, as culturas receberam irrigação suplementar, utilizando o sistema por aspersão, o que de certo modo invalida qualquer hipótese de possível ocorrência de deficiência hídrica afetando a produtividades do milho e da soja.

**Tabela 3.** Resultados das análises químicas dos atributos indicadores da fertilidade do solo da área experimental.

Indicadores da Fertilidade do solo	Bloco-I		Bloco-II		Bloco-III	
	Profundidade de amostragem - cm					
	0-20	20 - 40	0 -20	20 - 40	0 - 20	20 - 40
<b>Indicadores do potencial produtivo</b>						
pH_água	6,4	5,7	6,1	5,4	5,9	5,4
Matéria Orgânica (dag/dm <sup>3</sup> )	3,6	3,2	3,4	2,6	3,6	2,7
CTC_pH7 (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9,2	7,8	8,6	8,2	8,5	7,3
Alumínio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,0	0,4	0,1	0,6	0,2	0,7
Saturação por Bases (V - %)	70	36	57	23	47	22
Saturação por Al <sup>3+</sup> (m - %)	0	12	3	25	5	32
<b>Indicadores da disponibilidade de macronutrientes</b>						
Cálcio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	4,8	2,2	4,1	1,6	3,3	1,3
Magnésio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,5	0,5	0,7	0,2	0,6	0,2
Potássio (mg/dm <sup>3</sup> )	35	12	27	15	16	11
Fósforo - Mehlich1 (mg/dm <sup>3</sup> )	12	4	8	3	5	3
<b>Indicadores da disponibilidade de micronutrientes<sup>1/</sup></b>						
Zinco (mg/dm <sup>3</sup> )	2,8	0,7	2,0	0,4	1,0	0,4
Cobre (mg/dm <sup>3</sup> )	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
Manganês (mg/dm <sup>3</sup> )	37	28	35	19	30	20
Ferro (mg/dm <sup>3</sup> )	62	64	63	59	57	63

<sup>1/</sup>Extrator Mehlich 1.**Figura 3.** Vista geral do experimento mostrando a alternância das parcelas de milho e soja, da safra 2006/07 (esquerda) e parcela ocupa pelo milho para a safra seguinte (2007/08) parcela ocupada pela soja (direita). Foto: Antônio Marcos Coelho

Os híbridos simples de milho BRS 1030 (2006/07), BRS 1035 (2007/2008 e 2008/09) e P30F35 (2009/10) foram semeados no espaçamento de 0,50 m entre linhas na densidade de 4 sementes por metro, visando obter na colheita uma população de 70 mil plantas/ha. Nas adubações de semeadura foram aplicados anualmente 25 kg de N/ha, na forma de ureia e 90 kg de  $P_2O_5$ /ha, utilizando-se o superfosfato triplo. Nas adubações de cobertura foram aplicadas anualmente doses variando de 100 a 135 kg de N/ha, utilizando a mistura de ureia (70%) e sulfato de amônio (30%), aplicadas no estágio vegetativo de 6 a 7 folhas desenvolvidas.

A soja, cultivar BRS Valiosa<sup>RR</sup>, foi semeada no espaçamento de 0,50 m e densidade de 13 sementes por metro, visando obter na colheita uma população de 260 mil plantas/ha. Nas adubações de semeadura foram aplicadas anualmente 25 kg de N/ha na forma de ureia e 90 kg de  $P_2O_5$ /ha na forma de superfosfato triplo. No primeiro ano agrícola (2006/07), as sementes não foram inoculadas com rizóbio (*Bradyrhizobium japonicum*), sendo este procedimento adotado nos anos subsequentes.

Os tratos culturais e o controle de plantas daninhas de pragas e de doenças foram realizados de acordo com as recomendações para as culturas. Em razão da proximidade entre as parcelas de milho e soja (Figura 3), cuidado especial foi tomado com as aplicações de herbicidas, visto que os híbridos de milho utilizados eram não transgênicos. Assim, foi utilizada lona de proteção nas bordas das parcelas quando da aplicação dos herbicidas. Para o milho foram utilizados os herbicidas: Gesaprim (2,5 l/ha), Sanson (1,5 l/ha) e Gramoxone (2,0 l/ha), aplicados em pós-emergência. Para a soja, foi utilizado o herbicida glifosato (3,5 l/ha), aplicado em pós-emergência. Para o controle de pragas do milho, foram utilizados os inseticidas: Match (0,3 l/ha), Maste (2 kg/ha), Lorsban (1,5 l/ha),

Karatê (0,15 l/ha) e Lannate (0,6 l/ha), e para a soja os inseticidas: Decis (0,3 l/ha) e Tracer (0,05 l/ha). Para o controle de doenças em soja, foram utilizados os fungicidas: Opera (0,6 l/ha) e Impact (0,6 l/ha).

Para a colheita foi considerada com área útil de cada subparcela as 5 linhas centrais de 5 m de comprimento (5 m x 2,5 m). Para o milho foram avaliados o número de plantas, e espiga, peso de plantas, espigas e grãos e umidade dos grãos. O peso de grãos foi ajustado para umidade padrão de 130 g/kg e expresso em rendimento por hectare. Para a soja foram avaliados o número de plantas, vagens/planta, peso de plantas, grãos e umidade dos grãos. O peso de grãos foi ajustado para umidade padrão de 130 g/kg e expresso em rendimento por hectare.

Os dados obtidos foram submetidos às análises estatísticas pela análise de variância para o desenho experimental de fatorial em subparcelas usando o PROC GLM do programa SAS 9.4 (2012). Foram ajustadas curvas de respostas para as produtividades de grãos de soja e milho para cada ano agrícola. A eficiência agronômica relativa de cada fonte ( $EAR_F$ ) foi calculada, considerando as produções totais de grãos de milho e soja obtidas nas quatro safras sucessivas (2006/07 a 2009/10), utilizando a seguinte equação:  $EAR_F = (\Delta Y_2 / \Delta Y_1) \times 100$ , onde:  $\Delta Y_2$  = diferença na produção de grãos obtida entre a fonte teste (Biotita, RMS) e a testemunha;  $\Delta Y_1$  = diferença na produção de grãos obtida entre a fonte padrão (KCI) e a testemunha.

### **Efeito Imediato e Residual das Fontes e Doses de Potássio nos Componentes do Rendimento e nas Produtividades de Grãos de Milho**

Os componentes de rendimento, número de plantas e espigas, não foram afetados significativamente (teste de F,  $P \leq 0,10$ ) pelas fontes e doses de potássio aplicadas. Deste



modo são apresentados na Tabela 4 os valores médios desses parâmetros obtidos em cada ano agrícola por ocasião da colheita do milho. O estande final variou entre 60 e 70 mil plantas/ha, com valores inferiores para o número de espigas por causa da ocorrência de plantas dominadas.

Os resultados das produtividades de grãos de milho obtidos nos diferentes anos agrícolas são apresentados na Figura 4. As menores produtividades, obtidas em 2008/09, foram devidas à ocorrência de enfezamentos causado por molicutes, transmitido pela cigarrinha *Dalbulus maidis*, sendo o efeito mais acentuado nos tratamentos em que a Biotita foi a fonte de K aplicada (Figura 4). Para demonstrar o efeito dessa doença no peso de grãos, na Tabela 5, são apresentados o peso da massa de mil grãos em anos sem e com a ocorrência da doença.

Embora tenha-se constatado comportamento diferencial entre fontes e doses de K, a falta de interação significativa (teste de F,  $P \leq 0,10$ ), revelada pelas análises estatísticas entre estas duas variáveis, pode ser explicada pelo fato de que todas as fontes apresentaram, em menor ou maior grau, aumentos nas produtividades de grãos com aumento nas doses aplicadas (Figura 4).

Neste solo, deficiente em K (Tabela 3), independentemente da fonte utilizada, ocorreram respostas acentuadas do milho às doses de K, com incrementos da ordem de mais de 100% nas produtividades de grãos, em relação ao tratamento controle, mesmo considerando o efeito residual. As máximas produtividades de grãos foram obtidas com aplicação da dose de 150 kg de  $K_2O/ha$  na forma de KCl e RMS e de 150 a 300 kg de  $K_2O/ha$  quando a fonte utilizada foi a Biotita (Figura 4).

**Tabela 4.** Números médios de plantas e de espigas de milho avaliados na colheita.

Ano agrícola	Número de plantas	IC <sup>1/</sup>	CV <sup>2/</sup>	Número de espigas	IC	CV
	----- 1.000/ha -----		%	----- 1.000/ha -----		%
2006/07	70,79	± 1,86	7,50	65,58	± 2,21	9,60
2007/08	67,67	± 0,98	4,14	60,30	± 1,88	8,90
2008/09	67,17	± 1,43	6,00	58,11	± 1,88	9,25
2009/10	60,78	± 2,12	9,98	62,39	± 2,57	11,77

<sup>1/</sup>IC – Intervalo de confiança com 95% de probabilidade. <sup>2/</sup>CV – Coeficiente de variação.

**Tabela 5.** Peso da massa de mil grãos de milho em função das fontes de potássio em ano agrícola, sem (2007/08) e com (2008/09) a ocorrência de enfezamentos.

Fontes de potássio	Ano agrícola	
	2007/08	2008/09
	----- Peso de mil grãos (g) -----	
KCl	335	289
RMS	360	310
Biotita	310	184
Testemunha	296	192

Verificaram-se efeitos significativos (teste de F,  $P \leq 0,10$ ) das fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de milho.

Por outro lado, verifica-se que a fonte RMS aplicada na dose de 3,0 t/ha, visando fornecer o equivalente a 300 kg de  $K_2O/ha$ ,

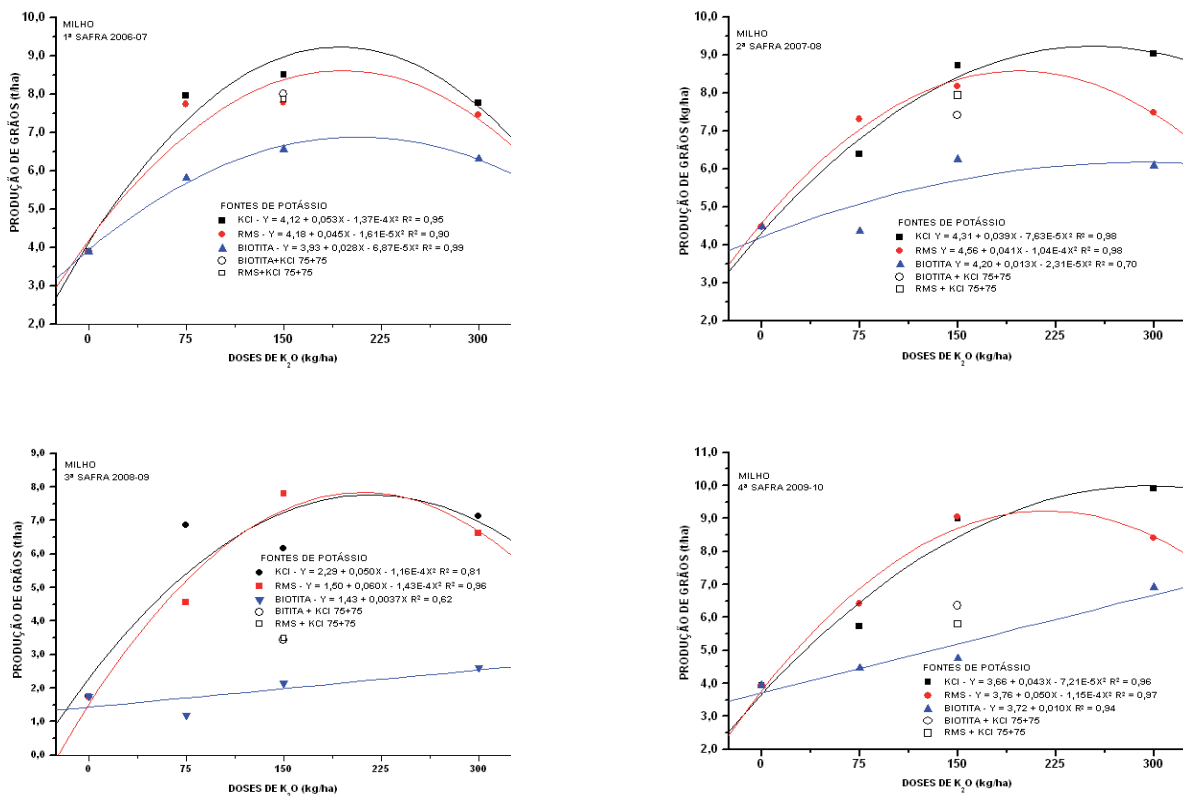


apresentou, em todas as safras, redução nas produtividades de grãos de milho. Embora esta redução tenha sido também verificada com o uso do KCl, ela é menos acentuada, principalmente quando se leva em conta o efeito residual das doses de K na produtividade de grãos, no último cultivo de milho, realizado na safra 2009/10 (Figura 4). Neste contexto, chama a atenção os teores relativamente altos dos elementos potencialmente tóxicos contidos na RMS (Tabela 2), como o chumbo, o cádmio e o bário, os quais poderiam induzir estresse oxidativo e fitotóxico nas plantas de milho. Entretanto, sintomas visuais desses efeitos não foram observados nas plantas desenvolvendo-se no campo.

Com relação às fontes de K, o KCl e a RMS, com valores mais altos de K solúvel em água (Tabela 2), apresentaram comportamento similar, sendo, entretanto, superiores à Biotita

nas produtividades de grãos de milho, mesmo considerando o efeito residual. Considerando que estas fontes foram aplicadas em doses equivalentes, calculadas com base no teor total de  $K_2O$  (Tabela 2), a Biotita apresentou, no período estudado, baixa capacidade de liberação do K, o que refletiu nas menores produtividades de grãos de milho (Figura 4).

Os tratamentos adicionais, compostos pela combinação das fontes potássio na dose de 150 kg de  $K_2O/ha$ , na proporção de 50% de cada uma, apresentaram na fase inicial, em dois cultivos sucessivos, comportamento similar aos obtidos com aplicações exclusivas de cada fonte em dose similar e superior à testemunha, decrescendo, entretanto, nos anos seguintes (Figura 4).

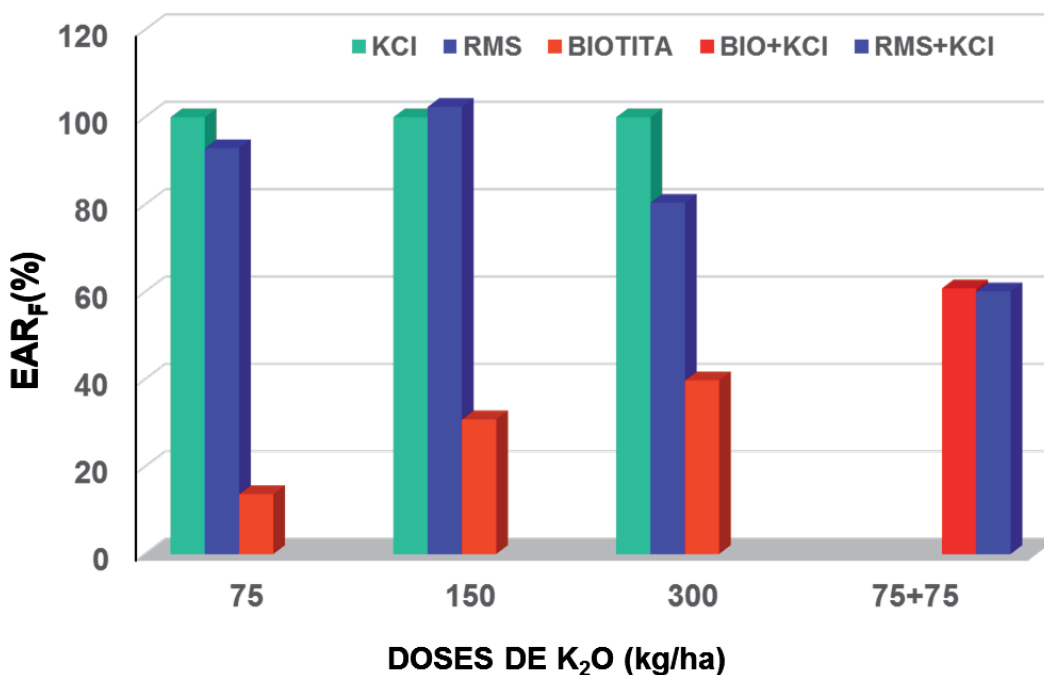


**Figura 4.** Efeito imediato e residual de fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de milho em quatro safras sucessivas.

## Eficiência Agronômica Relativa das Fontes e Doses de Potássio na Produção Total de Grãos de Milho

Embora a comparação entre as curvas de respostas apresentadas na Figura 4 forneça uma indicação da eficiência das fontes de K em função das doses aplicadas, o cálculo da eficiência agronômica relativa ( $EAR_F$ ) em função dos aumentos obtidos nas produtividades de grãos, conforme descrito anteriormente, fornece dados quantitativos da magnitude da eficiência relativa entre as fontes de potássio. Sendo assim, a  $EAR_F$  das fontes de K, foi calculada para cada dose aplicada, considerando as produtividades de grãos acumuladas de milho nas quatro safras sucessivas, cujos resultados são apresentados na Figura 5.

Como pode ser visto na Figura 5, a eficiência agronômica relativa das fontes alternativas de potássio (Biotita e RMS) variou em função das doses aplicadas. Nas doses de 75 e 150 kg de  $K_2O/ha$ , a RMS apresentou eficiência similar ao KCl, decrescendo, no entanto, quando a dose aplicada foi de 300 kg de  $K_2O/ha$ . Por outro lado, a Biotita apresentou aumento linear da  $EAR_F$  com aumento da dose aplicada, atingindo, entretanto, baixa eficiência relativa, inferior a 40% em relação à fonte padrão (KCl). Os tratamentos envolvendo a combinação das fontes alternativas de K apresentaram baixa (60%) eficiência relativa (Figura 5).



**Figura 5.** Eficiência agronômica relativa das fontes de potássio ( $EAR_F$ ) em função das produtividades acumuladas de grãos de milho em quatro safras sucessivas.

## Efeito Imediato e Residual das Fontes e Doses de Potássio nos Componentes do Rendimento e nas Produtividades de Grãos de Soja

A exemplo do que ocorreu para a cultura do milho, as doses e fontes de K não apresentaram efeitos significativos (teste de F,  $P \leq 0,10$ ), sobre o número de plantas e vagens por planta, avaliados por ocasião da colheita da soja. Assim, são apresentados na Tabela 6 os valores médios desses parâmetros, com os respectivos intervalos de confiança, para cada ano agrícola. Por causa de problemas de germinação das sementes e ataque por pombas, as populações de plantas ficaram abaixo da inicialmente estabelecida, variando de 160 a 233 mil/ha, apresentando, entretanto, pequenas variações no número de vagens/planta (Tabela 6). Tem sido demonstrado que, dentro de certo limite, variações na população de plantas (30 a 40%) pouco afetam a produtividade da soja, já que ela é capaz de se adaptar de maneira eficiente aos espaços disponíveis (capacidade de compensação) através de modificações em sua morfologia e nos seus componentes de produtividade, principalmente a produção de grãos por planta.

variações entre os anos, variando de 1,5 a 3,5 t de grãos/ha.

Essas variações (Figura 6) foram devidas, principalmente, ao manejo da cultura. Por exemplo, as baixas produtividades (média 2,12 t de grãos/ha) obtidas no ano agrícola 2006/07 são creditadas ao fato de as sementes não terem sido inoculadas com rizóbio e semeadas em área que não havia sido cultivada anteriormente com a soja. Por outro lado, a ocorrência da ferrugem asiática reduziu drasticamente a produtividade (média de 1,53 t de grãos/ha) da soja no ano agrícola 2008/09.

Nessas condições, verificou-se resposta da soja às fontes e doses de K aplicadas (Figura 6), sendo que em anos com maiores produtividades de grãos, como as obtidas na 2ª (2007/08) e na 4ª (2009/10) safras, respostas até as doses de 150 e 300 kg de  $K_2O$ /ha, considerando o efeito residual, sendo que as fontes aplicadas usando o KCl e a RMS apresentaram desempenho superior ao da Biotita. Por outro lado, na 1ª (2006/07) e na 3ª (2008/09) safras, com menores produtividades, a RMS aplicada na dose de 150 kg de  $K_2O$ /ha, apresentou em relação ao KCl e a Biotita maiores produtividades de grãos (Figura 6).

**Tabela 6.** Número médio de plantas e vagens de soja avaliados na colheita.

Ano agrícola	Número de plantas	IC <sup>1/</sup>	CV <sup>2/</sup>	Número de vagens	IC	CV
	-----1.000/ha-----		%	-----nº/planta-----		%
2006/07	183,62	± 7,02	11,40	45	± 2	17,51
2007/08	233,55	± 11,58	14,35	47	± 5	28,00
2008/09	226,00	± 10,17	12,80	nd	nd	nd
2009/10	163,11	± 13,33	23,16	51	± 5	25,41

<sup>1/</sup>IC – Intervalo de confiança com 95 % de probabilidade. <sup>2/</sup>CV – Coeficiente de variação

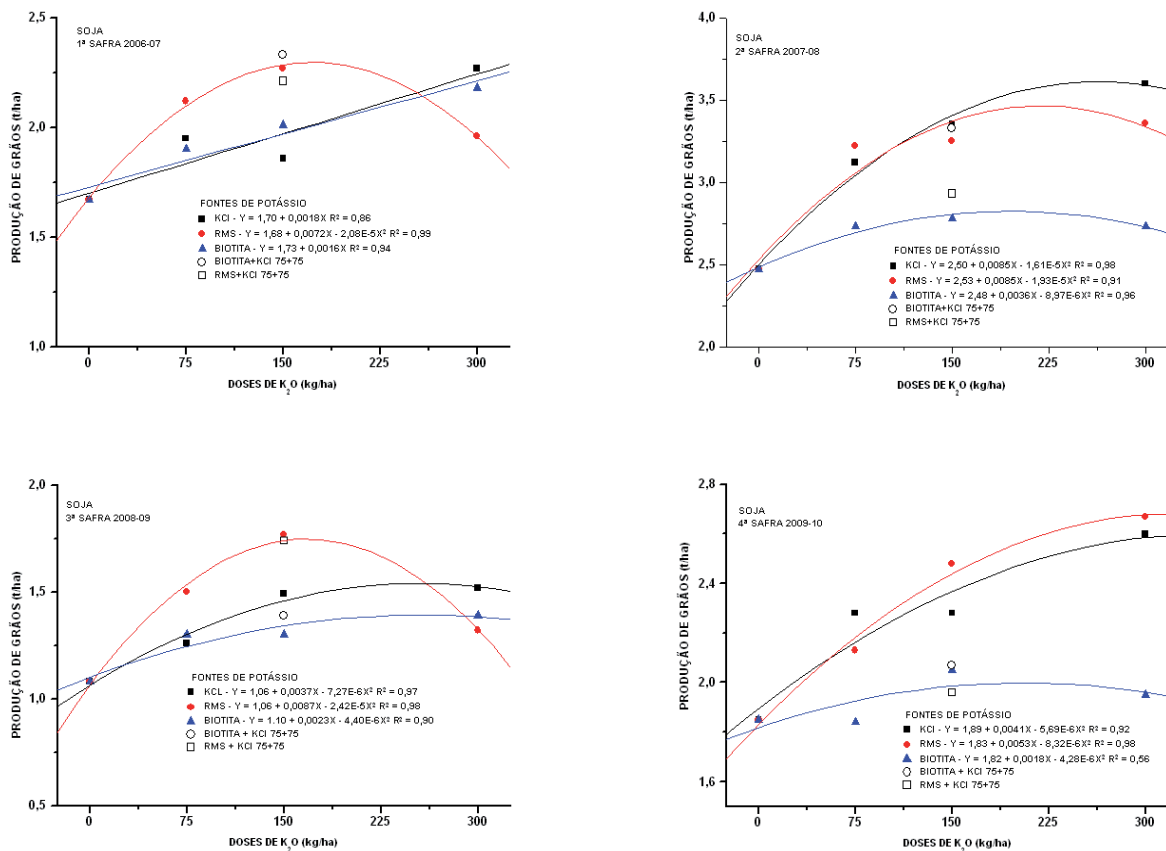
Os resultados das produtividades de grãos de soja obtidos nos diferentes anos agrícolas são apresentados na Figura 6. Independentemente das doses e fontes de K, as produtividades médias de soja apresentaram grande

Entretanto, diferenças significativas (teste F,  $P \leq 0,10$ ), das doses de K nas produtividades de grãos, somente foram verificadas entre o tratamento controle e as doses de K aplicadas (75, 150 e 300 kg de  $K_2O$ /ha) em

três safras sucessivas (2006/07, 2007/08 e 2008/09). Por outro lado, na última safra (2009/10), diferenças entre as doses de K nas produtividades de grãos foram significativas (teste de F,  $P \leq 0,10$ ), devidas principalmente a um maior efeito residual das doses mais altas, 150 e 300 kg de  $K_2O/ha$ , aplicadas (Figura 6).

A exemplo do que ocorreu na cultura do milho, verificou-se que a fonte RMS aplicada na dose de 3,0 t/ha, visando fornecer o equivalente a 300 kg de  $K_2O/ha$ , apresentou em duas safras (2006/07 e 2008/09) redução acentuada nas produtividades da soja, coincidindo com a ocorrência de problemas no manejo da cultura, como ausência de inoculação das sementes com rizóbio e ocorrência da ferrugem-asiática, que resultaram em baixas produtividades. Nessas condições, poder-se-ia levantar a hipótese

de que os teores relativamente altos dos elementos potencialmente tóxicos, contidos nesta fonte (Tabela 2), como o chumbo, o cádmio e o bário, os quais podem induzir estresse oxidativo e fitotóxico nas plantas de soja, reduziram a produtividade, conforme observado por Melo (2010), para os elementos cádmio e bário. No trabalho de Melo (2010), concentrações de cádmio acima de 5,2 mg/kg em solo arenoso e de 10,4 mg/kg em solo argiloso induziram efeitos fitotóxicos nas plantas de soja, reduzindo a produção de matéria seca da parte aérea. Para o elemento bário, a redução na produção de soja somente foi observada quando a concentração desse elemento no solo arenoso estava acima de 600 mg/kg.



**Figura 6.** Efeito imediato e residual de fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de soja em quatro sucessivas safras.



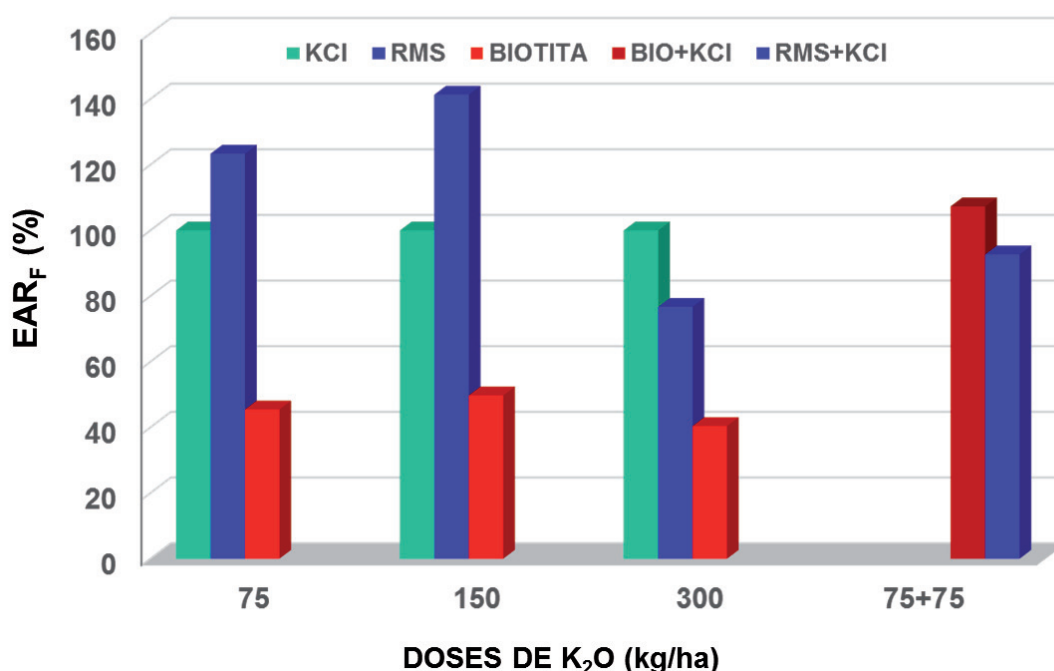
Entretanto, procedendo ao cálculo das quantidades desses elementos aplicados no solo, com a adição de 3,0 t/ha da fonte RMS, e considerando sua incorporação no solo na profundidade de 0,10 m, obtêm-se os seguintes valores, em mg/kg de solo: chumbo - 12,76; cádmio - 1,23; e bário - 4,97; esses números são bem inferiores aos mencionado por Melo (2010). Assim, nas condições desse trabalho, não é possível afirmar se de fato as reduções nas produtividades de soja foram devidas aos elementos potencialmente tóxicos (Pb, Cd e Ba) contidos na fonte RMS, um subproduto da siderurgia.

### Eficiência Agronômica Relativa das Fontes e Doses de Potássio na Produção Total de Grãos de Soja

A eficiência agronômica relativa das fontes de potássio ( $EAR_F$ ), calculada pela fórmula descrita anteriormente e tendo por base a produtividade total de grãos de soja, é apresentada na Figura 7. Verifica-se que a  $EAR_F$  das fontes alternativas (RMS e Biotita) variou em função das doses aplicadas. A RMS,

nas doses aplicadas de 75 e 150 kg de  $K_2O$ /ha, apresentou em relação à fonte padrão (KCl), maior eficiência, com ganhos de 23 a 41%, sendo, entretanto, menos eficiente (77%) na dose de 300 kg de  $K_2O$ /ha (Figura 7).

A Biotita apresentou, para todas as doses aplicada, menor eficiência em relação à RMS e uma eficiência média de apenas 45% quando comparada ao KCl. Embora as quantidades aplicadas de cada fonte tenham sido calculadas para fornecer doses equivalentes com base no teor total de K, a baixa eficiência apresentada pela biotita, confirma a baixa taxa de liberação do potássio contido nesta fonte, mesmo considerando o efeito residual. Por outro lado, os tratamentos envolvendo a combinação das fontes alternativas de K com a fonte padrão (KCl), na dose de 150 kg de  $K_2O$ /ha (mistura 75+75 kg de  $K_2O$  de cada fonte), apresentaram eficiência relativa similar ao KCl, com valores de 93 a 107%, para a produção acumulada de grãos de soja de 4 cultivos sucessivo (Figura 7).



**Figura 7.** Eficiência agronômica relativa das fontes de potássio ( $EAR_F$ ) em função das produtividades acumuladas de grãos de soja em quatro safras sucessivas.

## Considerações Finais

Em um latossolo deficiente em potássio, subprodutos da mineração e da siderurgia, como fontes alternativas desse nutriente, comparadas a uma fonte padrão, foram avaliadas para as culturas de milho e soja em sistema de rotação, por quatro safras sucessivas. Nessas condições, independentemente das fontes de potássio, respostas acentuadas das culturas às doses de K aplicadas foram verificadas tanto para o efeito imediato como residual, sendo as maiores produtividades de grãos obtidas com a dose de 150 kg de K<sub>2</sub>O/ha na 1ª safra, acentuando-se para respostas até a dose de 300 kg de K<sub>2</sub>O/ha nas safras seguintes.

As respostas das culturas às fontes de potássio estiveram relacionadas com a "biodisponibilidade", aqui definida como o percentual desse nutriente solúvel em água de cada fonte. Nesse contexto, as fontes KCl (fonte padrão) e RMS (subproduto da siderurgia), com maior solubilidade do K contido nelas, foram mais eficientes em relação à Biotita (subproduto da mineração) em disponibilizar o nutriente para o milho e a soja. A Biotita apresentou uma disponibilidade muito baixa de K (< 1%) solúvel em água, confirmando, assim, sua baixa eficiência no suprimento de K, mesmo considerando seu efeito residual no período de quatro anos.

## Referências

- ANUÁRIO estatístico do setor de fertilizantes. São Paulo: ANDA, 2014. 176 p.
- BORKERT, C. M.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de. O potássio na cultura da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Potássio na agricultura brasileira**: anais. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 671-722.
- COELHO, A. M. **Procedimentos metodológicos para a caracterização de escórias de siderurgia para o uso na agricultura**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 207).
- COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Potássio na agricultura brasileira**: anais. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 613-658.
- COELHO, A. M.; MARRIEL, I. E.; ROCHA, D. M. Relative efficiency of sources of potassium in the fertilization of crop system pear millet and soybean. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2009, Brasília, DF. Anais... Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. p. 283-288.
- LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Potássio na agricultura brasileira**: anais. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 21-32.
- MALLARINO, A. P.; OLTMANS, R. R.; PRATER, J. R.; VILLAVINCENCIO, C. X.; THOMPSON, L. B. Nutrient uptake by corn and soybean, removal, and recycling with crop residue. In: INTEGRATED CROP MANAGEMENT CONFERENCE, 2011, Ames. [**Proceedings**]. Ames: Iowa State University, 2011. p. 103-113. Disponível em: <<http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/mallarino-2.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 30, n. 2, p. 281-294, 2010.

MELO, L. C. A. **Phytotoxicity of cadmium and barium and derivation of critical limits in soils.** 2010. 85 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação de potássio no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Potássio na agricultura brasileira:** anais. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 93-118.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R. dos; SILVA, F. S. da; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 3, p. 891-897, maio/jun. 2010.

#### **Comunicado Técnico, 224**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Milho e Sorgo**  
**Endereço:** Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
**Fone:** (31) 3027 1100  
**Fax:** (31) 3027 1188  
www.embrapa.br/fale-conosco  
**1ª edição**  
**Versão Eletrônica (2017)**

MINISTÉRIO DA  
**AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO**



#### **Comitê de publicações**

**Presidente:** Sidney Netto Parentoni.  
**Secretário-Executivo:** Elena Charlotte Landau.  
**Membros:** Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda de Castro.

#### **Expediente**

**Revisão de texto:** Antonio Claudio da Silva Barros.  
**Normalização bibliográfica:** Rosângela Lacerda de Castro.  
**Tratamento das ilustrações:** Tânia Mara A. Barbosa.  
**Editoração eletrônica:** Tânia Mara A. Barbosa.