

# XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

## “Potencial de um Resíduo de Mineração de Flogopitito na Liberação de Nutrientes. I. Características Químicas do Solo”

**DAVI JOSÉ SILVA<sup>(1)</sup>, ALESSANDRA MONTEIRO SALVIANO MENDES<sup>(2)</sup>, DANILLO OLEGÁRIO MATOS DA SILVA<sup>(3)</sup>, MARLON ALVES LINS<sup>(4)</sup> & ELDER RODRIGUES SILVA<sup>(5)</sup>**

**RESUMO** - Com o objetivo de avaliar o potencial de um resíduo de mineração de flogopitito na liberação de nutrientes e alteração das características químicas do solo em sistema de cultivos sucessivos e comparar extratores na determinação do potássio disponível foi conduzido um ensaio em casa-de-vegetação em um Argissolo Acinzentado. Os tratamentos constituíram-se de três doses de  $K_2O$  (60, 120 e 240  $mg\ dm^{-3}$ ) na forma de resíduo de mineração e cloreto de potássio p.a., na presença e ausência de calagem e outros nutrientes, totalizando 11 tratamentos. O resíduo apresentava 4,9% de  $K_2O$  total e granulometria fina. Os tratamentos foram aplicados e incorporados a cada unidade experimental e em seguida, deixados em incubação por um período de 30 dias. Foram realizados três cultivos sequenciais, com plantas de soja, milho e melão. Antes e depois de cada cultivo o solo de cada vaso foi preparado, submetido à secagem e amostragem para realização das análises químicas. O resíduo de mineração apresentou baixa eficiência na liberação de K e outros nutrientes. Os teores de Ca e Mg no solo aumentaram após o terceiro cultivo sucessivo. O extrator Mehlich-1 mostrou-se eficiente na predição da disponibilidade de K.

**Palavras-Chave:** (potássio, pó de rocha, rocha moída)

### Introdução

O Brasil, um dos principais produtores agrícolas do mundo, é altamente dependente da importação de fertilizantes [2] para suprir a demanda de produção de alimentos e mais recentemente, de biocombustíveis. A dependência de importações é indesejável do ponto de vista estratégico, uma vez que desfavorece a balança comercial brasileira, além de contribuir para reduzir a competitividade da exploração agropecuária do país. Com o aumento recente dos preços internacionais de fertilizantes, cresce a necessidade de se buscar tecnologias alternativas para a obtenção destes fertilizantes.

Após o nitrogênio (N), o potássio (K) é o nutriente requerido em maiores quantidades pelas culturas. O Brasil tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura [1], e o cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte disponível no mercado nacional. Devido à baixa reserva mineral de K nos solos e às perdas por lixiviação, é comum haver carência do nutriente quando o seu fornecimento na forma de fertilizante é insuficiente para atender à demanda das culturas [4].

A maioria dos minerais que possuem K em sua estrutura é insolúvel em água, havendo certa dificuldade na obtenção do elemento, como ocorre no caso dos silicatos, por exemplo. Os feldspatos alcalinos, os feldspatóides e as micas são considerados potenciais fontes alternativas de K para a fabricação de fertilizantes na forma de sais, de termofosfatos ou para aplicação direta ao solo [2].

Há cerca de 30 anos, foram desenvolvidos vários estudos no Brasil utilizando rochas para o fornecimento de K às plantas, ou que buscavam rotas alternativas para a obtenção de fertilizantes potássicos. Tentou-se desenvolver processos físicos e químicos de tratamento de rochas brasileiras com teores mais elevados de K. Entretanto, a utilização desses produtos se mostrou inviável economicamente, devido à demora na disponibilização do nutriente para as plantas, ao elevado gasto energético no processamento das rochas ou à baixa competitividade em relação ao KCl [3].

Mais recentemente, novas tentativas vêm sendo feitas no sentido de obter fontes alternativas do nutriente. Numa parceria entre a Embrapa e a Universidade de Brasília, iniciaram-se estudos visando à identificação e caracterização de rochas com o intuito de utilizá-las simplesmente moídas (*in natura*) como fontes de K para uso agrícola. Das rochas preliminarmente estudadas, cinco apresentaram maior potencial: biotita xisto, brecha alcalina, carbonatito, flogopitito e ultramáfica alcalina. As rochas que contêm quantidades razoáveis de biotita ou flogopitita seriam as mais promissoras para aplicação direta ao solo, uma vez que tendem a solubilizar-se e liberar o K com relativa facilidade. Em alguns casos, além do K, as rochas podem fornecer outros nutrientes e apresentar efeito alcalinizante, atuando como condicionadores de solo [3].

<sup>(1)</sup> Primeiro Autor é Pesquisador da Embrapa Semi-Árido. BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970. E-mail: [davi@cpatsa.embrapa.br](mailto:davi@cpatsa.embrapa.br)

<sup>(2)</sup> Segundo Autor é Pesquisador da Embrapa Semi-Árido. BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970.

<sup>(3)</sup> Terceiro Autor é Estudante de Ciências Biológicas, Bolsista ITI-CNPq, Embrapa Semi-Árido. BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970.

<sup>(4)</sup> Quarto Autor é Estudante de Ciências Biológicas, Bolsista ITI-CNPq, Embrapa Semi-Árido. BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970.

<sup>(5)</sup> Quinto Autor é Engenheiro Agrônomo, Estagiário da Embrapa Semi-Árido. BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de um resíduo de mineração de flogopitito na liberação de nutrientes e alteração das características químicas do solo em sistema de cultivos sucessivos e comparar extratores na determinação do K disponível.

## Material e Métodos

O trabalho foi realizado em casa-de-vegetação em um Argissolo Acinzentado, procedente do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE, de textura arenosa (60 g kg<sup>-1</sup> de argila e 920 g kg<sup>-1</sup> de areia), apresentando as seguintes características químicas: pH=5,7, P=2 mg dm<sup>-3</sup>, K=0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca=1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Al=0,05 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC=2,93 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, V=55%.

O material avaliado foi proveniente de um flogopitito, encontrado em rejeitos de mineração de esmeralda, em Pindobaçu, região de Campo Formoso (BA). Este rejeito foi submetido a flotação para extração de minério de molibdênio (Mo), gerando um resíduo secundário. Este resíduo, utilizado nos experimentos, apresentava 4,9 % de K<sub>2</sub>O total (Tabela 1) e granulometria fina, com 3,1 % das partículas do tamanho de 2,00 a 0,84 mm, 21,45 % de 0,84 a 0,297 mm e 74,97 % menor que 0,297 mm. O KCl p.a. foi utilizado como tratamento de referência. Estas fontes foram combinadas com três doses de K<sub>2</sub>O (60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup>), calagem e outros nutrientes, mais dois tratamentos adicionais (testemunha absoluta, testemunha mais outros nutrientes), totalizando 11 tratamentos, que foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso de plástico com 3,2 dm<sup>3</sup> de solo.

Foram aplicadas e incorporadas ao solo de cada vaso, o resíduo de mineração de flogopitito, objeto do estudo, o KCl, o fósforo (P) (200 mg dm<sup>-3</sup>, na forma de Ca(HPO<sub>4</sub>)), assim como o corretivo de acidez (CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub> p.a., na relação Ca:Mg de 3:1, para V=70%), deixando-os em incubação por um período de 30 dias, com a umidade em torno de 80% da capacidade de campo. Depois da incubação, todas as unidades experimentais, com exceção dos tratamentos testemunha absoluta e tratamentos com resíduo de mineração menos demais nutrientes, receberam uma adubação básica e uniforme com enxofre (S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo), fornecidos, respectivamente, nas dosagens de 30,0; 0,81; 1,39; 1,55; 3,66; 4,0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup>. Estas doses foram parceladas em três aplicações durante o primeiro cultivo, na forma de solução nutritiva.

A avaliação da eficiência dos tratamentos na disponibilização de K e outros nutrientes foi realizada em cultivos sequenciais. Primeiramente foram cultivadas plantas de soja (*Glycine max*), variedade Sambaíba, por um período de 36 dias. Na seqüência foi cultivado milho (*Pennisetum glaucum*), cultivar IPA

BULK 1, por 32 dias e finalmente melão (*Cucumis melo*), variedade Tropical, por 30 dias. A fim de avaliar o efeito residual das rochas silicáticas utilizadas no primeiro cultivo, foi realizada apenas adubação nitrogenada com 200 e 120 mg dm<sup>-3</sup> de N, respectivamente, nos cultivos de milho e melão, aplicados na forma de nitrato de amônio. A soja, não recebeu adubação nitrogenada porque foram utilizadas sementes inoculadas com rizóbio específico. Antes e depois de cada cultivo o solo de cada vaso foi preparado, submetido a secagem e amostragem para realização das análises químicas.

Os teores de K foram determinados pelos extratores Mehlich 1 e Acetato de Amônio pH 7,0, conforme metodologias descritas por Silva [5].

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e comparação de médias pelo teste Tukey. Na avaliação dos métodos de extração de K no solo, foram determinados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os dois extratores para K disponível.

## Resultados

### A. Após Incubação

As análises realizadas após a incubação mostram que a calagem, realizada para elevar a saturação por bases a 70%, também promoveu aumento do pH, dos teores de Ca e Mg, da CTC e da saturação por bases (V) nos tratamentos que receberam o corretivo de acidez (Tabela 2). A aplicação de P também promoveu aumentos nos teores de P disponível no solo.

A aplicação do resíduo de mineração, tanto na presença quanto na ausência de calagem e demais nutrientes, não promoveu aumentos nos teores de K disponível obtidos por ambos os extratores avaliados. Por outro lado, os teores de K sofreram aumentos crescentes em função das doses de KCl aplicadas.

Comparando os teores de K obtidos pelos dois extratores, observa-se que, embora os teores de K obtidos pelo Mehlich-1 apresentem tendência de serem maiores que aqueles obtidos por acetato de amônio, a correlação entre eles é positiva e significativa ( $r=0,996^{**}$ ).

### B. Após Cultivos Sucessivos

As análises realizadas após o cultivo de melão (terceiro cultivo) apontam para a manutenção dos aumentos de pH, dos teores de P e dos valores de V nos tratamentos que receberam calagem e demais nutrientes, embora estes valores tendam a ser menores que aqueles obtidos após a incubação (Tabela 2). Ca, Mg e CTC tiveram aumentos influenciados pela adubação complementar com S, cuja fonte foi o MgSO<sub>4</sub>, nos tratamentos que receberam calagem e demais nutrientes. Nos demais tratamentos em que o resíduo de mineração foi a fonte exclusiva de nutrientes, os valores destas características aumentaram, possivelmente devido a liberação das bases, Ca e Mg, pelo resíduo.

Os teores de K, obtidos por ambos os extratores, mantiveram-se baixos em todos os tratamentos que não receberam os demais nutrientes. Contudo, estes valores foram ainda mais baixos, menores que os da testemunha

absoluta, nos tratamentos que receberam os demais nutrientes, tanto com resíduo mineral quanto com KCl, com exceção do tratamento KCl (240), que apresentou os maiores teores de K.

Os extratores Mehlich-1 e acetato de amônio apresentaram correlação positiva e significativa entre si ( $r=0,804^{**}$ ).

### Discussão

Os valores de pH obtidos após o terceiro cultivo foram menores que aqueles encontrados após a incubação (antes da fase com plantas), sem uma relação direta com as diferentes doses do resíduo ou do KCl. Souza Filho et al. [7] obtiveram resultados semelhantes no cultivo do mamoeiro.

Esta redução do pH proporcionou aumento da disponibilidade de Cu, Fe, e Mn (dados não apresentados), sem uma relação direta com os tratamentos. Da mesma forma, os teores de Ca e Mg e a CTC aumentaram e o valor V diminuiu, em consequência de maior acidez potencial (dados não apresentados). Souza Filho et al. [7], observaram que nos tratamentos que receberam KCl houve elevação dos teores de Na devido ao deslocamento do mesmo para a solução do solo, pela ação do KCl. Observaram ainda, comportamento semelhante em relação ao H+Al, nas doses maiores do KCl, com as conseqüentes reduções nos valores de V. No ensaio em questão, as alterações podem estar relacionadas tanto a liberação dos nutrientes pelo resíduo em condições de acidez, quanto aos ciclos de umedecimento e secagem entre o processo de preparo do solo e a sucessão de cultivos, promovendo a mineralização da matéria orgânica e o aumento dos teores desses nutrientes.

As concentrações de P obtidas após o terceiro cultivo foram inferiores àquelas obtidas após a incubação (antes da fase com plantas), devido a extração deste nutriente pelos cultivos. No entanto, nos tratamentos em que foi aplicado exclusivamente o resíduo e praticamente não houve crescimento de plantas, estes teores apresentaram tendência de aumento, o que também pode estar relacionado a mineralização da matéria orgânica.

Os baixos teores de K obtidos após o terceiro cultivo para a maior parte dos tratamentos que receberam KCl e demais nutrientes e resíduo de mineração mais nutrientes demonstram que, além do K liberado pelas fontes externas, houve extração do K disponível do solo para satisfazer a demanda de produção dos três cultivos sucessivos (dados não apresentados). No caso do KCl, a maior dose (240 mg dm<sup>-3</sup>) foi suficiente para três cultivos neste solo e ainda manteve uma concentração de K no solo capaz de suportar um quarto cultivo. Quanto ao resíduo mineral do flogopitito, não houve liberação de K da matriz capaz de repor o nutriente absorvido pelas plantas cultivadas. Resultados semelhantes foram obtidos na aplicação de um flogopitito no cultivo do

mamoeiro [7]. Em outro ensaio, houve liberação de K das rochas brecha alcalina, biotita xisto e ultramáfica alcalina, de forma a atender a demanda de dois cultivos sucessivos [3]. A rocha ultramáfica destacou-se por apresentar poder corretivo da acidez e liberação de outros nutrientes além do K.

Os extratores Mehlich-1 e acetato de amônio mostraram-se eficientes na predição da disponibilidade de K em solos que receberam aplicação de resíduo de rochas silicáticas. Resende et al. [3] e Sobral et al. [6] consideram que o Mehlich-1 foi mais consistente em estimar o K liberado pelas rochas. Este aspecto é relevante, considerando que o extrator Mehlich-1 é utilizado rotineiramente na maioria dos laboratórios de análise de solos do Brasil.

### Conclusões

O resíduo de mineração apresentou baixa eficiência na liberação de K e outros nutrientes; os teores de Ca e Mg no solo aumentaram após o terceiro cultivo sucessivo; e o extrator Mehlich-1 mostrou-se eficiente na predição da disponibilidade de K em solos que receberam aplicação de resíduo de rochas silicáticas.

### Referências

- [1] LOPES, A.S. 2005. Reservas de minerais de potássio e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, p.21-32.
- [2] NASCIMENTO, M. & LOUREIRO, F.E.L. 2004. *Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 66 p. (Série Estudos e Documentos, 61).
- [3] RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R. & LINHARES, N.W. 2006. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. *Espaço & Geografia*, 9:135-161.
- [4] RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; SENA, M.C.; MACHADO, C.T.T.; KINPARA, D.I. & OLIVEIRA FILHO, E.C. 2006. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*, 9:19-42.
- [5] SILVA, F.C. (Org.) 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370p.
- [6] SOBRAL, L.F.; FONTES JUNIOR, R.C.; VIANA, R.D. & MARTINS, E.S. 2006. Liberação de K pelo flogopitito, ultramáfica e brecha em um Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros *Espaço & Geografia*, 9:117-133.
- [7] SOUZA FILHO, L.F.S.; CRUZ, J.L.; SOUZA, L.F.S.; CALDAS, R.C.; MAGALHÃES, A.F.J.; CONCEIÇÃO, H. & SOUSA, J.S. 2006. Eficiência de um flogopitito como fonte de potássio para o desenvolvimento inicial do mamoeiro. *Espaço & Geografia*, 9:215-229.

**Tabela 1.** Caracterização química do resíduo de mineração

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
	ppm		ppm		%
B	559700	Zn	295	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,1
Ba	221	Al	85370	CaO	3,1
Cd	51	Ca	22365	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7
Co	-	Fe	32940	K <sub>2</sub> O	4,9
Cr	899	K	40870	MgO	9
Cu <sup>1</sup>	-	Mg	54460	MnO	0,1
Mo	1093	Mn	979	Na <sub>2</sub> O	11,3
Ni	369	Na	83770	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,9
Pb	-	P	3737	SiO <sub>2</sub>	47,7
S	16665	Si	222750	TiO <sub>2</sub>	0,1
Sr	242	Ti	898		
V	419				

<sup>1</sup> Abaixo do limite de detecção**Tabela 2.** Valores de pH, concentrações de fósforo (P), concentrações de potássio (K) obtidas pelos extratores Mehlich-1 e Acetato de Amônio, concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), valores de CTC e saturação por bases (V) obtidas em amostras de um Argissolo Acinzentado coletadas após um período de 30 dias de incubação e após cultivos sucessivos de soja, milho e melão em função de doses do resíduo de mineração (RM) e cloreto de potássio (KCl).

Tratamento <sup>1</sup>	pH	P	K-Mehlich	K-Acetato de Amônio	Ca	Mg	CTC	V
mg dm <sup>-3</sup> de K <sub>2</sub> O		mg dm <sup>-3</sup>	-----		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		%
Após Incubação								
Testemunha	5,70 d	2,75 b	0,09 d	0,08 e	0,95 b	0,55 c	2,92 cd	54,95 c
-K +todos	6,40 a	147,50 a	0,10 d	0,08 e	1,53 a	0,98 a	3,55 ab	73,36 ab
RM (60) -todos	5,73 d	5,50 b	0,10 d	0,09 de	0,98 b	0,65 bc	2,97 cd	58,46 c
RM (120) -todos	5,63 d	7,50 b	0,10 d	0,08 de	0,90 b	0,50 c	2,74 d	55,02 c
RM (240) -todos	5,63 d	12,25 b	0,11 d	0,09 d	0,90 b	0,55 c	2,77 d	56,89 c
RM (60) +todos	6,40 a	131,00 a	0,09 d	0,07 e	1,50 a	0,75 abc	3,26 bcd	72,35 b
RM (120) +todos	6,43 a	120,00 a	0,09 d	0,07 e	1,60 a	0,63 bc	3,31 bc	70,25 b
RM (240) +todos	6,38 a	144,75 a	0,10 d	0,08 e	1,53 a	0,75 abc	3,37 abc	70,73 b
KCl (60) +todos	6,38 ab	138,75 a	0,21 c	0,17 c	1,63 a	0,88 ab	3,75 ab	72,67 b
KCl (120) +todos	6,25 c	124,50 a	0,32 b	0,25 b	1,53 a	0,85 ab	3,77 ab	71,64 b
KCl (240) +todos	6,28 bc	144,75 a	0,50 a	0,39 a	1,55 a	0,98 a	3,87 a	78,78 a
Após Cultivos Sucessivos								
Testemunha	4,73 d	3,00 d	0,07 bc	0,07 b	1,25 b	0,80 ab	3,97 bc	54,32 c
-K +todos	5,25 ab	94,00 a	0,07 bc	0,04 d	1,88 a	0,73 ab	4,43 abc	60,93 a
RM (60) -todos	4,93 bcd	6,00 cd	0,07 bc	0,06 bc	1,33 b	0,88 ab	4,20 abc	54,74 bc
RM (120) -todos	4,93 bcd	7,50 cd	0,08 b	0,07 b	1,33 b	0,75 ab	4,05 abc	54,21 c
RM (240) -todos	4,88 cd	13,50 c	0,08 b	0,07 b	1,28 b	0,73 ab	3,92 c	53,84 c
RM (60) +todos	5,30 a	84,00 b	0,03 f	0,05 cd	1,85 a	0,83 ab	4,43 abc	61,86 a
RM (120) +todos	5,28 a	91,25 ab	0,04 ef	0,05 cd	1,80 a	0,70 b	4,26 abc	60,12 ab
RM (240) +todos	5,08 abc	95,25 a	0,04 ef	0,04 d	1,90 a	0,75 ab	4,50 ab	60,62 a
KCl (60) +todos	5,20 abc	90,00 ab	0,05 de	0,05 cd	1,78 a	0,93 a	4,52 a	61,77 a
KCl (120) +todos	5,25 ab	88,00 ab	0,06 cd	0,06 bc	1,80 a	0,90 ab	4,45 abc	63,14 a
KCl (240) +todos	5,35 a	94,50 a	0,11 a	0,11 a	1,78 a	0,83 ab	4,47 ab	61,42 a

<sup>1</sup> Testemunha=solo natural; -K=sem fornecimento de K; +todos=fornecimento dos demais nutrientes além do K (200,0; 30,0; 0,81; 1,39; 1,55; 3,66; 4,0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de P, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo respectivamente) e correção da acidez (mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> p.a. para V=70%); - todos=sem fornecimento dos demais nutrientes; KCl (60), (120) e (240)=cloreto de potássio nas dosagens equivalentes a 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente; RM (60), (120) e (240)=resíduo de mineração nas dosagens equivalentes a 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.