

## CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POTÁSSICOS DO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS (MG)

P. Gonçalves<sup>a\*</sup>, F. C. Navarro<sup>a</sup>, M. G. Bergerman<sup>b</sup>, C. D. Roveri<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Alfenas

<sup>b</sup>Universidade de São Paulo

Rodovia José Aurélio Vilela, BR 267, Km 533, 11999 – Universidade Universitária,  
Poços de Caldas - MG, 37715-400

\*pattypgpatty@gmail.com

### RESUMO

*O potássio, que possui destaque no setor agrícola do Brasil e do mundo na aplicação em fertilizantes, está presente em rochas magmáticas, como fonólitos e nefelina sienitos, encontradas no Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MAPC). Os elementos terras raras (ETR), por sua vez, também ocorrem nessa região e possuem importantes usos em diversas áreas industriais. O objetivo desse estudo foi investigar o potencial das rochas potássicas do MAPC na indústria de fertilizantes e de terras raras. Cinco amostras foram coletadas e caracterizadas. Observou-se que não ocorreu concentração preferencial por faixa granulométrica de óxido de potássio, alumina, sílica e óxido de ferro. Foram encontrados massa feldspática, feldspato potássico e muscovita em todas as amostras. As amostras apresentam ETR com quantidades superiores às encontradas na crosta terrestre, com exceção do lutécio e escândio e possuíram teor médio de óxido de potássio entre 8,70 a 14,40%.*

Palavras-chave: Maciço Alcalino de Poços de Caldas, feldspato potássico, elementos terras raras, fertilizantes.

## INTRODUÇÃO

O setor agrícola apresenta grande importância no cenário econômico brasileiro. A aplicação de fertilizantes agrícolas em tal setor se torna necessário, para fins de aumento de produtividade, devido ao fato do clima brasileiro ser predominantemente tropical, o que torna os solos ácidos e pobres (1).

O potássio, elemento mais abundante na litosfera terrestre, se destaca como fertilizante agrícola por se constituir num importante nutriente para o solo, principalmente o cloreto de potássio (KCl). A produção interna de potássio fertilizante brasileira é insuficiente, restringindo-se apenas à lavra de silvinita do complexo mina/usina Taquari-Vassouras e apesar de exportação inexpressiva, o país é um grande importador do produto (2, 3).

No Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MG) existem diversos tipos de rochas potássicas, estando entre os principais tipos: fonólitos, nefelina sienitos, foiaítos e tinguaitos. As rochas nefelina sienitos da região são ricas em potássio e tratam-se de rochas alcalinas resultantes de alterações hidrotermais, com modificações químicas e mineralógicas e predomínio de feldspatos potássicos (1, 4, 5). Esse trabalho possuiu o intuito de realizar a caracterização de amostras de rochas potássicas oriundas desta região para determinação de seus potenciais na aplicação como fertilizantes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Cinco amostras de rochas potássicas foram coletadas no Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MAPC) – MG. Alguns fragmentos das amostras foram separados e o restante das amostras foi cominuído em britadores de mandíbulas e em seguida peneiradas a seco através de peneiras de aberturas de 25,4, 19,05, 12,7, 9,53, 4,75, 3,35, 2,36, 1,68, 1,17, 0,85, 0,60, 0,425, 0,30, 0,21 e 0,15 mm. As amostras foram submetidas às seguintes análises: difração de raios X (Rigaku Ultima, Mineração Curimbaba), fluorescência de raios X (Philips 1000), ICP-MS (Acme Analytical Laboratories, Vancouver, Canadá) e microscopia (Carl Zeiss, modelo Axioscope Scan 5000).

Ressalta-se que para a microscopia realizada para análise petrográfica, foram confeccionadas lâminas delgadas, sendo uma lâmina delgada de cada amostra, numeradas de 1 a 4 e duas lâminas da amostra 5, denominadas de 5 e de 5.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), principais compostos contidos nas amostras, obtidos através da análise granulométrica, que correlaciona as análises granulométricas e de fluorescência de raios X, estão dispostos na Tabela 1. Pode-se afirmar, de acordo com observação de tal tabela, que não existe uma faixa de granulometria de concentração preferencial significativa de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , o que torna impossível a concentração ou separação destes compostos com base na granulometria.

Tabela 1 - Teor de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  contido nas amostras de acordo com a malha.

Teor (%)												
Malha	Amostra 1				Amostra 2				Amostra 3			
	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
1"	59,10	10,20	19,70	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	56,40	8,59	20,10	3,69	55,80	12,80	19,90	4,07	59,00	14,00	18,60	4,84
1/2"	56,20	8,94	19,00	3,75	58,70	13,00	19,20	3,90	58,60	14,10	18,80	5,12
3/8"	55,20	8,77	18,90	4,00	56,90	12,90	18,80	3,93	60,00	14,30	18,80	3,89
4,75 mm	55,50	8,27	19,40	4,08	58,10	12,80	19,20	3,92	61,50	14,50	19,10	2,00
3,35 mm	55,60	8,36	19,60	4,22	57,40	13,00	19,10	3,81	60,30	15,00	19,10	2,72
2,36 mm	55,40	8,33	19,80	4,22	57,70	13,00	19,10	4,06	61,30	14,60	19,30	1,94
1,70 mm	-	-	-	-	57,50	12,90	19,00	4,12	-	-	-	-
1,18 mm	-	-	-	-	57,40	13,20	18,90	4,07	-	-	-	-
850 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	57,90	12,80	18,90	3,97	-	-	-	-
600 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	56,90	12,60	19,20	3,94	-	-	-	-
425 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	57,60	12,80	18,80	4,04	-	-	-	-
Coletor	54,80	8,11	19,60	4,24	55,10	12,40	19,90	4,89	60,30	14,30	19,80	2,45
Média (%)	56,03	8,70	19,51	3,97	57,25	12,85	19,17	4,06	60,14	14,40	19,07	3,28
Teor (%)												
Malha	Amostra 4				Amostra 5							
	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$				
1"	55,20	12,50	25,70	1,49	-	-	-	-				
3/4"	56,00	12,80	25,00	1,61	58,70	12,70	22,80	1,54				

1/2"	56,00	12,50	25,60	1,31	57,90	13,10	22,70	1,88
3/8"	56,30	12,60	25,30	1,47	58,50	13,40	22,60	1,64
4,75 mm	56,30	12,60	25,00	1,39	57,90	12,60	23,60	1,86
3,35 mm	55,30	12,50	25,60	1,82	58,50	13,00	22,20	2,07
2,36 mm	55,40	12,50	25,50	1,70	58,40	13,00	22,20	2,15
1,70 mm	54,80	12,10	25,70	1,86	58,10	13,00	22,10	2,12
1,18 mm	54,60	12,10	26,10	1,93	58,10	12,70	22,30	2,15
850 $\mu$ m	54,60	12,00	26,10	2,02	58,10	13,00	22,10	2,12
600 $\mu$ m	54,50	12,00	26,00	2,02	58,00	12,70	22,20	2,18
425 $\mu$ m	54,30	11,70	26,00	2,13	57,60	12,80	22,00	2,36
300 $\mu$ m	52,80	11,10	26,90	2,59	-	-	-	-
212 $\mu$ m	53,10	11,10	26,90	2,49	-	-	-	-
150 $\mu$ m	53,70	11,60	26,50	2,35	-	-	-	-
Coletor	56,80	12,90	24,10	1,53	56,90	12,10	22,00	2,94
<i>Média (%)</i>	54,96	12,16	25,75	1,86	58,06	12,84	22,40	2,08

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 1 contém a representação gráfica da relação entre hematita e óxido de potássio. No gráfico, pode-se visualizar que as amostras de maior teor de óxido de potássio foram as 2, 3, 4 e 5, sendo que a amostra 3 apresentou o maior teor (14,40%), seguida pelas amostras 2, 5, 4 e 1, e a 1 foi a que apresentou o menor teor (8,70%), o que indica que oriunda de região de menor potencial para aplicação de fertilizantes. Os teores de óxido de potássio contidos nas amostras analisadas estão dentro do limite apresentado por (6), que é de 7 a 15%, reafirmando desta maneira, o potencial da região do MAPC na mineração destas rochas.

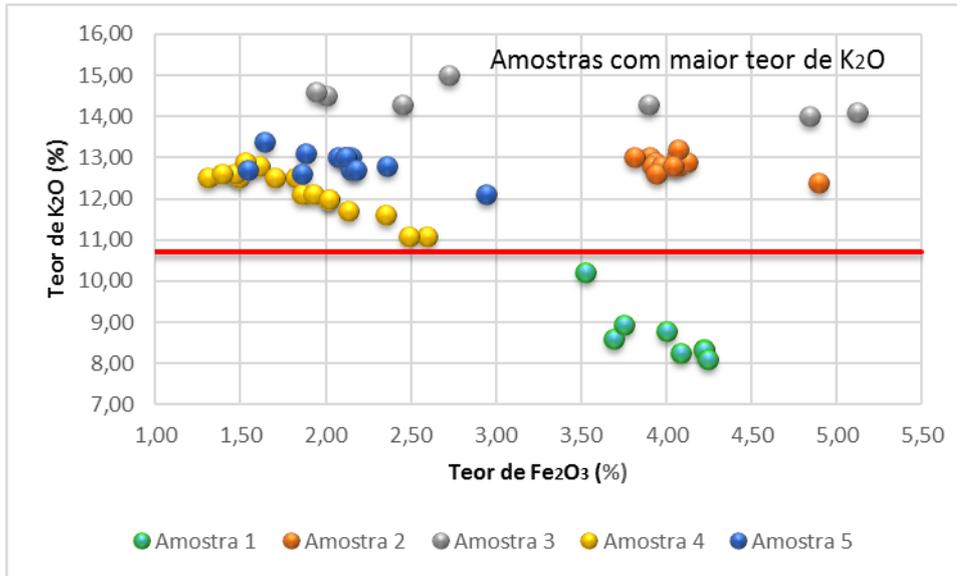


Figura 1 - Representação gráfica da relação entre o teor de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) das amostras 1, 2, 3, 4, e 5. Este gráfico visa mostrar a relação entre o óxido de potássio e o óxido de ferro nestas amostras, uma vez que a hematita atua como contaminante nas aplicações destas rochas.

Fonte: Elaboração própria.

Os fertilizantes químicos são os mais utilizados e dentre eles, o adubo mineral NPK 4-14-8 (4% de nitrogênio, 14% de fósforo e 8% de potássio), de liberação lenta, é o que possui menor teor de  $\text{K}_2\text{O}$  em sua composição, de 8% (7). Portanto, por meio da análise da Figura 1, pode-se dizer que, além das amostras 1, 2, 3, 4, e 5 poderem ser utilizadas na produção de fertilizantes minerais, elas também possibilitam a aplicação da técnica de rochagem, em que se utiliza o próprio pó da rocha para a liberação gradual de nutrientes no solo (1). Portanto, os teores destas amostras são equivalentes e competitivos com os de fertilizantes de liberação rápida largamente utilizados, como cloreto de potássio, sulfato de potássio, nitrato de potássio e sulfato de potássio e magnésio, que contêm 60, 50, 44 e 23% de teor de  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente.

O ferro, no geral, está presente em fertilizantes agrícolas em cerca de 0,1 a 5% por se tratar de um nutriente importante (8, 9), no entanto, em excesso, é considerado como contaminante, se tornando excessivo para nutrição de plantas. De acordo com o gráfico da Figura 1, nenhuma amostra possui conteúdo excessivo de ferro.

Considerando o crescente uso de Elementos de Terras Raras (ETR) no setor industrial, principalmente no de eletrônicos, buscou-se a verificação, por meio de análises químicas por ICP-MS, da quantidade destes elementos nas amostras em

estudo. As quantidades, presentes nas amostras 1, 3 e 5, dos elementos terras raras, de alumina, óxido de potássio e hematita constam na Tabela 2, juntamente com a abundância na crosta terrestre dos ETR.

Tabela 2 - Quantidades de elementos terras raras,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$  contidos nas amostras 1, 3 e 5 (\*10,11).

<i>Composto (%)</i>		<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Amostra 5</i>
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alumina)</i>		19,26	18,21	22,14
<i>K<sub>2</sub>O (óxido de potássio)</i>		8,50	14,25	13,04
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematita)</i>		4,12	4,81	2,13
<i>SiO<sub>2</sub> (sílica)</i>		55,44	59,26	58,27
<i>ETR (ppm)</i>	<i>Abundância na crosta (ppm)*</i>	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Amostra 5</i>
<i>Total (exceto Sc)</i>		1223,69	646,72	346,75
<i>La (lantânio)</i>	19	541,1	220,1	126,3
<i>Ce (cério)</i>	44	281,8	245,6	146,0
<i>Pr (praseodímio)</i>	5,6	63,43	30,63	11,23
<i>Nd (neodímio)</i>	24	182,4	83,8	29,8
<i>Sm (samário)</i>	6,5	20,56	9,32	3,34
<i>Eu (europio)</i>	1,0	5,73	2,37	0,93
<i>Gd (gadolínio)</i>	6,3	18,30	6,55	2,91
<i>Tb (térbio)</i>	1,0	2,39	0,94	0,42
<i>Dy (disprósio)</i>	3,0	11,40	4,71	2,59
<i>Ho (hólmio)</i>	1,2	2,17	1,07	0,54
<i>Er (érbio)</i>	2,4	5,88	3,49	1,95
<i>Tm (túlio)</i>	0,3	0,76	0,55	0,31
<i>Yb (itérbio)</i>	2,6	4,33	3,57	2,20
<i>Lu (lutécio)</i>	0,7	0,54	0,52	0,33
<i>Sc (escândio)</i>	22	<1	<1	<1
<i>Y (ítrio)</i>	31	82,9	33,5	17,9

Fonte: Elaboração própria.

A mineralogia básica encontrada nas amostras, Tabela 3, por meio de difratometria de raios X, comporta: feldspato potássico, nefelina, calcita, quartzo, hematita, albita, leucita e muscovita.

Tabela 3 - Minerais identificados em cada amostra na difração de raios X.

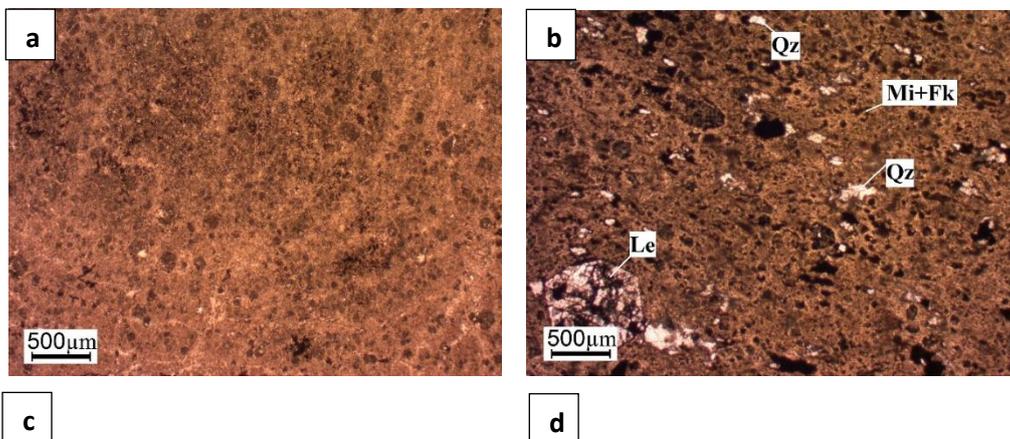
<i>Mineral</i>	<i>Amostra</i>				
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>

<i>Feldspato potássico</i> ( <i>microclínio/ortoclásio</i> )	x	x	x	x	x
<i>Anortita</i>	x				
<i>Muscovita</i>	x	x	x	x	x
<i>Gibbsita</i>	x				
<i>Hematita</i>	x		x		
<i>Analcima</i>	x				
<i>Albita</i>	x	x			x
<i>Magnetita</i>		x	x		
<i>Caulinita</i>					x

Fonte: Elaboração própria.

As amostras, apesar de provenientes de diferentes locais do MAPC, apresentaram as mesmas características: textura e estrutura inequigranular, holocristalina, granulação fina, subfanerítica, grãos anédricos e arranjo ou trama intergranular. Esta similaridade se deve ao fato de se tratar do mesmo depósito, em que amostras ocupam distintas posições quanto ao evento magmático.

Nas imagens da Figura 2, por análise petrográfica, verifica-se a matriz das amostras, na qual há a visão geral da textura das rochas e diferenças entre as amostras, desde coloração, até tamanho e variação dos grãos e também estão indicados alguns minerais que foram identificados. Notou-se principalmente: minerais opacos, quartzo, nefelina (Figura 3), hematita, leucita, mica, calcita, zircão, clastos, filete de nefelina e massa felspática.



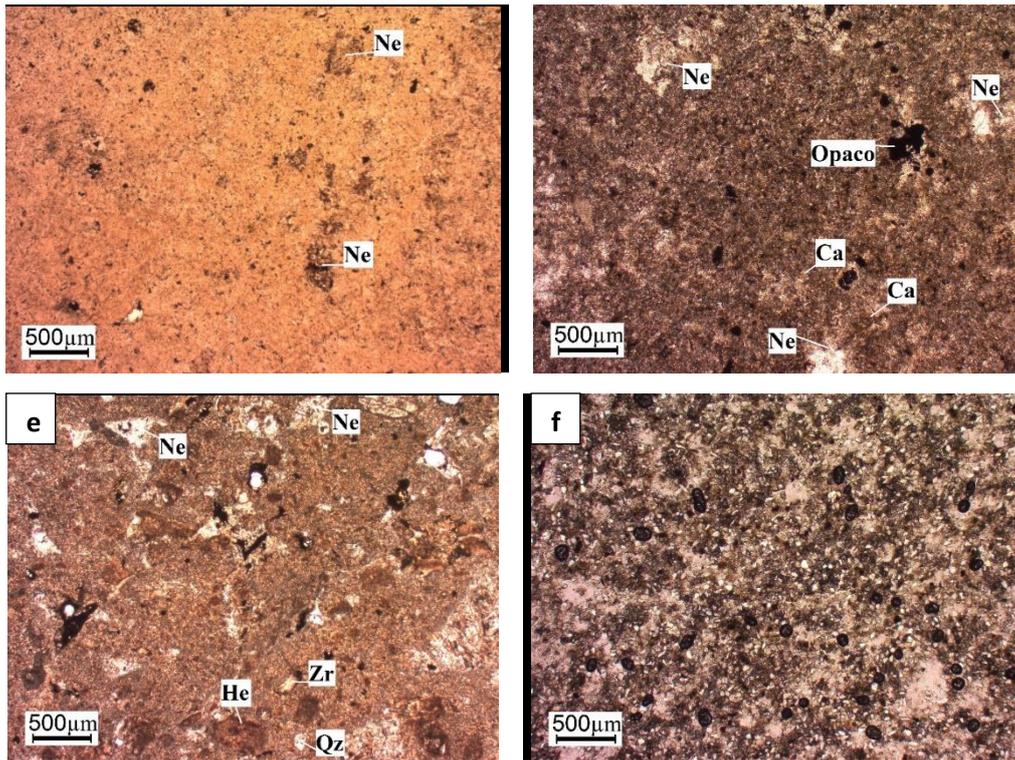


Figura 2 - Imagens das lâminas delgadas das amostras, com aumento de 2,5x e nicóis paralelos. a) Visão geral da amostra 1, mostrando fina granulação da rocha potássica. b) Visão geral da amostra 2, revelando massa de mica e feldspato potássico, com detalhe de cristais de quartzo e leucita. c) Visão geral da amostra 3, com detalhe dos cristais de nefelina. d) Visão geral da amostra 4. e) Visão geral da amostra 5, onde são mostrados massa de feldspato e mica, com detalhes de alguns minerais. f) Visão geral da amostra 5.1. Em que: Ca= calcita, Fk= feldspato potássico; He= hematita, Le= leucita, Mi= mica, Ne= nefelina, Opaco= mineral opaco, Qz= quartzo e Zr= zircão.  
Fonte: Elaboração própria.

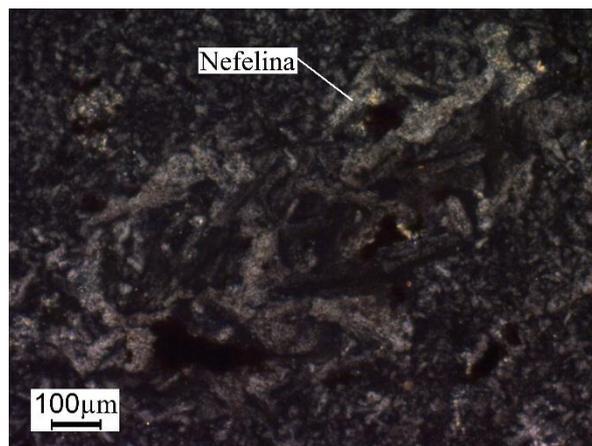


Figura 3 – Grão de nefelina. Nicóis cruzados e aumento de 10x.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados e análises realizadas neste trabalho, conclui-se, principalmente, que não existiu concentração preferencial significativa de sílica, óxido de potássio, alumina e hematita nas faixas granulométricas estudada, indicando que não é possível concentrar ou apartar estes compostos por meio da granulometria.

Considerando que os elementos terras raras apresentaram-se nas amostras em quantidades maiores do que suas abundâncias na crosta terrestre, com exceção do lutécio e escândio, pode haver potencialidade de mineração futura destes na região do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.

As amostras apresentaram as mesmas características petrográficas por se tratarem do mesmo depósito de rochas magmáticas, em diferentes posições quanto ao derrame magmático. Foi observada a presença de vários minerais, dentre os quais: nefelina, quartzo, hematita, mica, calcita, piroxênio, carbonato e nefelina.

Portanto, tais rochas potássicas podem ser aplicadas no uso de fertilizantes de liberação lenta, em rochagem. Ademais, suas respectivas áreas apresentam potencialidade para a mineração de elementos terras raras.

## AGRADECIMENTOS

À Mineração Curimbaba pela colaboração na coleta de dados e de ensaios laboratoriais. Ao Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., pelas análises realizadas e ao Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia da Universidade Estadual Paulista de Rio Claro pela confecção das lâminas delgadas.

Os autores agradecem também o auxílio disponibilizado pela Fapemig, CNPq e Capes para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- (1) TEIXEIRA, A. M. S., SAMPAIO, J.A., GARRIDO, F. M. S., MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonólito como fertilizante alternativo de potássio. **HOLOS**, 5, pp. 21-33, 2012. DOI: 10.15628/holos.2012.1102.

(2) ARAÚJO, M.S., SAMPAIO, J. A. **Estudo do uso de rocha potássica como fertilizante de liberação lenta.** In: Anais of II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. Campina Grande: CETEM/UFPE, pp. 145-153, 2010.

(3) DNPM. **Sumário Mineral 2013:** potássio. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, 2013. Disponível em: [https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8999](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8999) Acesso em: 10 set. 2016.

(4) ELLERT, R. Contribuição geológica do maciço alcalino de Poços de Caldas. **Bol. Fac. Fils. Ci. Let. Universidade de São Paulo**, v. 237, Geologia n. 18, p. 1-64, 1959.

(5) ULBRICH, M.N.C. Mineralogy of nepheline syenites from the Poços de Caldas alkaline massif SE Brazil: chemistry, X-ray data and microtextures of feldspars. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n.4, 388-399, 1993.

(6) FAQUIN, V.; KINJO, T.; MALAVOLTA, E. **Efeito do Tratamento Térmico e da Adição de Calcário Dolomítico na Cinética de Liberação de Potássio do Sienito Nefelínico de Poços de Caldas.** In: ANAIS E.S.A. "LUIZ DE QUEIROZ", 43(2), pp. 497-515. DOI: 10.1590/S0071-12761986000200008.

(7) FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. **Manejo da Fertilidade do Solo.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.

(8) ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p.363-372, abr. 2003. DOI: 10.1590/s0100-06832003000200016.

(9) VALE, F.; ALCARDE, J. C. Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p.441-451, jun. 1999. DOI: 10.1590/s0100-06831999000200027.

(10) ABRÃO, A. **Química e tecnologia das terras-raras**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_stm/stm-66.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_stm/stm-66.pdf)>. Acesso em 09 set. 2016.

(11) SCHENATO, F.; BACHI, F.A.; NEVES, P.C. P. **Introdução à Mineralogia Prática**. 2. ed. Canoas: Ulbra, 2008.

## CHARACTERIZATION OF POTASSIC MATERIALS OF POÇOS DE CALDAS ALKALINE MASSIF, SOUTHEASTERN BRAZIL

### ABSTRACT

*Potassium, which has featured in Brazil's agricultural sector and in the world's in the application of fertilizers, is present in magmatic rocks, such as nepheline syenite and phonolite, found in the Alkaline Massif of Poços de Caldas (AMPC). The rare earth elements (REE), in turn, also occur in this region and have important uses in various industrial fields. The aim of this study was to investigate the potential of potassic rocks of AMPC in the fertilizer and rare earths industry. Five samples were collected and characterized. It was observed that there was no preferential concentration by granulometric range of potassium oxide, alumina, silica and iron oxide. Feldspathic mass, potash feldspar, and muscovite were found in all samples. The samples show REE with amounts greater than those found in the earth's crust, except for lutetium and scandium and possessed average content of potassium oxide from 8.70 to 14.40%.*

Key-words: Alkaline Massif of Poços de Caldas, potassic feldspar, rare earth elements, fertilizers.