

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE MOSCOVITA DO ESTADO DA PARAÍBA VISANDO APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

E. Valdiviezo¹; E.E.P. Silva²

¹ Prof. Associado, Departamento de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande.

Av. Aprígio Veloso, 882 – Campina Grande – PB, 58.109-970. E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com

2M.Sc. Químico Industrial, Universidade Federal de Campina Grande

RESUMO

As micas pertencem ao grupo de minerais constituídos por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio, e ocasionalmente lítio. Esses minerais se caracterizam por sua facilidade de clivagem, flexibilidade, baixa condutividade térmica e acústica, entre outras. Dentre as micas, a moscovita é o mineral com maior uso na indústria. Em termos comerciais, a moscovita se apresenta em duas classes: folha e moída. A mica moída é mais empregada em aplicações industriais incluindo-se nessa subclasse à mica “micronizada”. Atualmente existe uma demanda crescente para mica com granulometria fina e ultrafina para uso como pigmento para indústrias de cosméticos, plásticos e tintas. Esses produtos podem ser obtidos através de moagem fina e ultrafina empregando-se equipamentos de moagem diferenciados. As amostras de moscovita são provenientes de resíduos de diferentes áreas de extração mineral do Estado da Paraíba. Na etapa de caracterização química foi analisado o teor de ferro, critério que foi empregado para selecionar apenas uma das amostras que foi usada na continuidade dos ensaios. Para aplicações na indústria de tintas e plásticos, entre outros, o pigmento obtido a base do mineral moscovita deve satisfazer as seguintes especificações: teor de ferro menor que 1,0 %, granulometria menor que 45 micrômetros e a forma das partículas preferencialmente arredondada. Com a finalidade de obtenção do pigmento destinado a esse setor industrial foram efetuados ensaios de moagem ultrafina e de clareamento químico. Os ensaios de moagem foram realizados usando-se um moinho vibratório de laboratório. Os ensaios de clareamento químico da moscovita foram realizados com a finalidade de remoção parcial ou total do ferro. O material foi tratado com as seguintes soluções: a) ácido sulfúrico, b) ditionito de sódio, e c) hidróxido de sódio. Os resultados revelaram que o clareamento foi eficiente com os métodos de intercalação e troca iônica, independente do tempo de clareamento, e que o teor de ferro de todos os produtos obtidos foi inferior a 1,0 %. O melhor resultado foi obtido usando-se o processo de intercalação iônica e os sais de hidróxido de potássio e acetato de potássio, cujo teor de Ferro antes do clareamento, de 1,44 % passou para, após o clareamento, 0,57 e 0,50 %, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: mica; moscovita; resíduos; processamento; moagem fina; clareamento.

1. INTRODUÇÃO

A mica moscovita é um mineral funcional com propriedades muito raras e exclusivas, que determina sua funcionalidade de alto desempenho em diversas aplicações industriais como tintas, cosméticos, plásticos e similares. A moscovita é constituída de silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio, e ocasionalmente lítio, os quais apresentam diferenças nas composições químicas e propriedades físicas. (Hepburn *et al.*, 2000; Tanner, 1994).

Segundo Silas Sena (2007) e Cavalcante *et al.* (2005), as micas se destacam por se fragmentarem perfeitamente em lamelas ou folhas, como se fosse um maço de papéis espalhados sobre uma mesa. Essas propriedades concedem ao mineral múltiplas aplicações industriais. Dentre as micas, a moscovita é o mineral com maior número de usos na indústria.

De acordo com Cavalcante *et al.* (2005), o termo mica vem do latim “micare” cujo significado é brilho. A moscovita é reconhecidamente de forma lamelar com alta razão entre suas dimensões (relação entre a maior e a menor dimensão do mineral), geralmente branca, com certa pureza química e apresentando um aspecto de purpurina no visual e no tato.

A moscovita é um dos tipos de mica mais comum, podendo ocorrer em uma grande variedade de ambientes geológicos. No Brasil ocorre principalmente na região Nordeste. As micas são encontradas na província pegmatítica da Borborema, localizada no lado ocidental do Planalto da Borborema e na região do Seridó, entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (Luz *et al.*, 2003; Bezerra de Carvalho, 1997).

Esta pesquisa tem por objetivos o aproveitamento de rejeito de mica moscovita do Estado da Paraíba visando aplicações na indústria de cosméticos e similares; contribuir para o enriquecimento de conhecimentos acerca do tema abordado; e criar subsídios para potenciais aplicações comerciais da moscovita para fins nobres, este é, obtenção de um produto com maior valor agregado.

As etapas desenvolvidas no estudo foram: (a) Caracterização de amostras de mica procedentes da região Borborema-Seridó que possuam a devida qualidade para atender a segmentos específicos da indústria, com base nas especificações técnicas; (b) Possibilitar alternativas tecnológicas de beneficiamento em função do tipo de aplicação na indústria; (c) selecionar uma amostra de mica a fim de proceder ao estudo em escala de laboratório, empregando-se como critério o teor de ferro que deve ser inferior a 1,0% .

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de mica, objeto do estudo, são provenientes dos municípios de Pedra Lavrada e Nova Palmeira, no Estado da Paraíba. A região situa-se no centro-norte do Estado, meso-região da Borborema e micro-região do Seridó oriental paraibano, distando da capital cerca de 210 km, sendo seu acesso, a partir da cidade de João Pessoa, efetuado através das rodovias pavimentadas BR 230 e PB 177.

2.1. Preparação de Amostras

No total, foram coletadas 06 amostras, 50 kg de cada uma, sendo que 04 dessas amostras foram de rejeitos da usina de beneficiamento da empresa do Seridó Mineração, localizada no município de Nova Palmeira, 01 amostra foi coletada do rejeito da usina “Fazenda Dois Irmãos”, localizada no município de Pedra Lavrada e a última amostra é proveniente do rejeito da usina de beneficiamento da Mineração Pedra Preta, município de Juazeirinho. No laboratório, as amostras foram submetidas a secagem, homogeneização, quarteamento,

deslamagem, e pesagem para obtenção de sub-amostras de 1,0 kg. De todas as amostras estudadas, uma delas foi selecionada para um estudo mais detalhado.

2.2. Caracterização Física, Mineralógica e Química

As amostras foram caracterizadas através de técnicas instrumentais de análise como difração de raios-x (DRX), fluorescência de raios-x (FRX), análise térmica diferencial (ATD) e termo gravimétrica (TG), e determinação de tamanho de partícula.

2.3. Ensaio Tecnológicos

Os ensaios tecnológicos consistiram de duas etapas, que foi a moagem fina e ultrafina das amostras de mica moscovita com emprego de um moinho vibratório. A segunda etapa foi de clareamento químico e determinação do teor de ferro nas amostras de mica submetidas ao clareamento.

Os ensaios de micro-moagem foram realizados, a seco, usando-se um moinho vibratório modelo SPEX. A metodologia consistiu de colocar 5,00 g de mica na granulometria (-0,5 mm) no recipiente e foram estudados diferentes tempos de moagem. O corpo moedor era composto de esferas com diâmetros de ¼ polegada. O recipiente era fechado com tampa de rosca e submetido á intensa vibração, por um tempo determinado. Em seguida, a amostra era colocada na estufa a uma temperatura de 80 °C, para retirar a umidade. O produto micronizado era passado na peneira de 45 µm e pesado para se determinar a fração porcentual passante. Os ensaios foram realizados com tempo seqüencial de 5 em 5 min com remoção da fração (-45 µm) entre os intervalos de moagem.

Os ensaios de clareamento da mica foram efetuados com a fração (-74 µm) com a finalidade de remoção do ferro. O material foi tratado com as seguintes soluções: a) ácido sulfúrico nas concentrações de 10 e 20 %, b) ditionito de sódio nas concentrações de 5 e 10 g/t ajustando-se o pH em 3,0 com ácido sulfúrico 0,1 M, c) hidróxido de sódio nas concentrações de 0,05; 0,1 e 0,2 M, e d) sais inorgânicos. O material, 10,0 g era colocado junto com 100 ml de solução em recipiente provido de defletores e haste, mantido sob agitação de 750 rpm durante tempos determinados. Em seguida todas as amostras foram filtradas, lavadas com água bidestilada e a fração sólida colocada na estufa a 100 °C. Esse clareamento emprega o mecanismo de troca iônica.

No clareamento com os sais inorgânicos foram usados cloreto de potássio (KCl), acetato de potássio ($\text{CH}_3\text{-COOK}$) e KOH. Esse clareamento emprega o método de intercalação iônica. Esse método consistiu de colocar num béquer 10 g de mica na granulometria desejada, junto com 100 mL da solução intercalante. Nos béqueres foram colocados vidros de relógio e estes foram levados à estufa de 85°C, por um período de 144h ou 6 dias. As soluções de intercalação foram preparadas com água bidestilada. Após esse tempo, as amostras foram esfriadas à temperatura ambiente e analisadas por FRX para determinação do teor de FeO.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização Química, Física e Mineralógica

Análise química. O teor de FeO (%) das amostras coletadas foram os seguintes: Amostra A – (1,44%); Amostra B – (2,00%); Amostra C – (2,71%); Amostra D – (1,44 %); Amostra E – (1,19%); e Amostra F – (1,27%). As quatro primeiras procedem da empresa Seridó Mineração; e as duas últimas procedem da empresa Fazenda Dois Irmãos e Mineração Pedra Preta, respectivamente. Na continuação dos trabalhos foi selecionada a mica denominada de “Amostra D”, por duas razões, ser gerada no rejeito geral da usina de beneficiamento da empresa e pela quantidade significativa armazenada na bacia de rejeitos.

Os resultados da análise química para a amostra D de mica estão dispostos na Tabela I. Os percentuais dos elementos químicos estão apresentados em forma de óxidos, e os valores foram comparados aos da literatura mostrados na Tabela II (Cavalcante, 2005). Os teores dos elementos principais da composição química da moscovita que são: SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 , Na_2O , MgO , CaO e TiO_2 , encontram-se dentro dos valores atribuídos às moscovitas comerciais.

Tabela I – Composição química da amostra de mica proveniente do rejeito da usina de beneficiamento da empresa Seridó Mineração Ltda.

Elemento	Fórmula do Óxido	Porcentagem (%)
Silício	SiO_2	46,4
Alumínio	Al_2O_3	35,8
Magnésio	MgO	--
Cálcio	CaO	0,08
Potássio	K_2O	10,5
Sódio	Na_2O	0,5
Titânio	TiO_2	0,4
Ferro	FeO_2	1,44
Perda ao Fogo	P.F	4,8

Tabela II – Composição química genérica de micas comerciais.

Elemento	Fórmula do Óxido	Porcentagem (%)
Silício	SiO_2	44 - 47
Alumínio	Al_2O_3	30 - 38
Magnésio	MgO	0,3 - 1,5
Cálcio	CaO	0,1
Potássio	K_2O	8,5 - 11,5
Sódio	Na_2O	0,1 - 0,8
Titânio	TiO_2	0 - 0,9
Ferro	FeO_2	0,2 - 5,0
Perda ao Fogo	P.F	4 - 5

Fonte: Rochas e Minerais Industriais – CETEM (Cavalcante, 2005).

Difração de raios-x. O difratograma apresentado na Figura 01 mostra os picos característicos da moscovita. Os picos nas posições: $2\theta = 8,48^\circ$, $2\theta = 18,96^\circ$, $2\theta = 26,85^\circ$ são típicos desse mineral (Evangelista e Delgado, 2007; Grim *et al.*, 1951). A posição do pico próximo a $2\theta = 8,48^\circ$ representa a localização do plano basal (001) característico da moscovita.

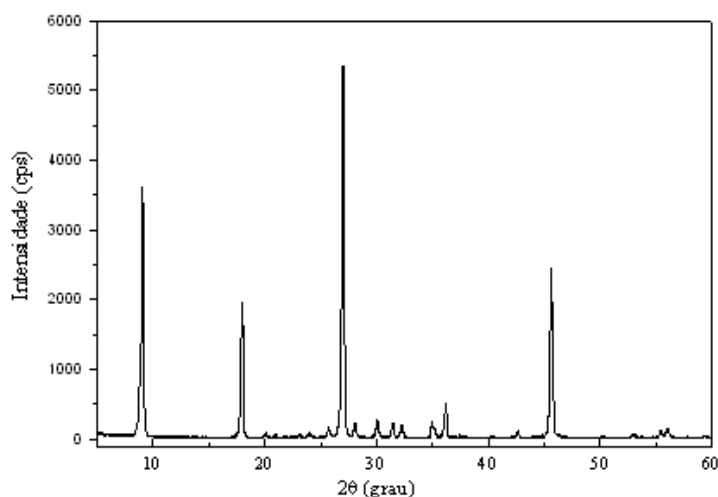


Figura 01 – Difratograma de DRX correspondente à amostra de moscovita coletada na usina de beneficiamento da empresa Seridó Mineração Ltda.

Análise granulométrica. Na Tabela III são apresentados os resultados da análise granulométrica, a seco, realizada com a amostra de mica. O ensaio foi efetuado com uma massa de 1,0 kg de amostra.

Tabela III – Resultados da análise granulométrica a seco da amostra de moscovita.

Granulometria		Distribuição porcentual			
Malhas Tyler	(mm)	Massa (g)	Retido (%)	Cumulativo (%)	Passante (%)
8#	2,36	785,0	83,5	83,5	16,5
10#	1,68	68,8	7,3	90,8	9,2
16#	1,19	38,8	4,1	94,9	5,1
20#	0,84	6,5	0,7	95,6	4,4
32#	0,50	14,6	1,5	97,1	2,9
35#	0,425	2,2	0,2	97,3	2,7
48#	0,30	8,3	0,8	98,1	1,9
65#	0,21	5,4	0,6	98,7	1,3
100#	0,149	5,5	0,6	99,3	0,7
150#	0,106	1,6	0,2	99,5	0,5
200#	0,074	1,0	0,1	99,6	0,4
270#	0,053	0,6	0,1	99,7	0,3
325#	0,045	0,6	0,1	99,8	0,2
-325#	-0,045	1,1	0,1	100,0	0,0
Total		940,0	100,0	--	--

Os resultados mostraram que a maior parte do material encontra-se na fração maior que 2,36 mm que foi de 83,5%. Enquanto que a fração passante em 0,50 mm foi de apenas 2,9%. Em termos quantitativos, o material na granulometria adequada para ser submetido à moagem fina, que corresponde a -0,50 mm (2,9%), seria muito pequeno, dado que a maior proporção do material (97,1%) encontra-se acima dessa granulometria.

Esse resultado é muito significativo, já que permitiu verificar a necessidade de submeter o rejeito de mica a etapas preliminares de cominuição, objetivando a obtenção de um produto com tamanho menor que 0,50 mm. Caso haja o aproveitamento desse rejeito em termos

industriais, recomenda-se a moagem e/ou delaminação do material antes da moagem fina e ultrafina. Esse processo deverá ser realizado em equipamentos específicos, como o moinho de facas. Ensaios em laboratório foram efetuados empregando-se um liquidificador doméstico, a seco, e conseguiu-se gerar um produto de mica com granulometria apropriada para posterior moagem fina.

3.2. Ensaios Tecnológicos

Micro-moagem. Os ensaios foram realizados com uma massa de 5,0 g de mica em uma granulometria de -0,5 mm. Os tempos seqüências de moagem foram de 5; 10; 15; 20; e 25 min sendo que entre os intervalos de tempo era removida a fração de -0,045 mm. Os resultados mostraram que com o tempo parcial de moagem de cinco em cinco minutos até um tempo de 25 min foi possível reduzir a granulometria do material 100% a -0,045mm.

Na Figura 02, encontram-se apresentados os resultados obtidos de distribuição de tamanho de partícula realizado com uma das amostras dos produtos gerados na etapa de micro-moagem. Os ensaios foram efetuados em um granulômetro CILAS mantendo-se as seguintes condições: concentração de sólidos: 176 mg.L^{-1} em pH natural. Antes do ensaio a solução foi submetida ao banho de ultrassom durante 60 s. Conforme mostrado nessa figura, em uma percentagem cumulativa de 10; 50 e 90% o diâmetro médio das partículas foi de 3,0; 13,9 e 35,3 μm , respectivamente.

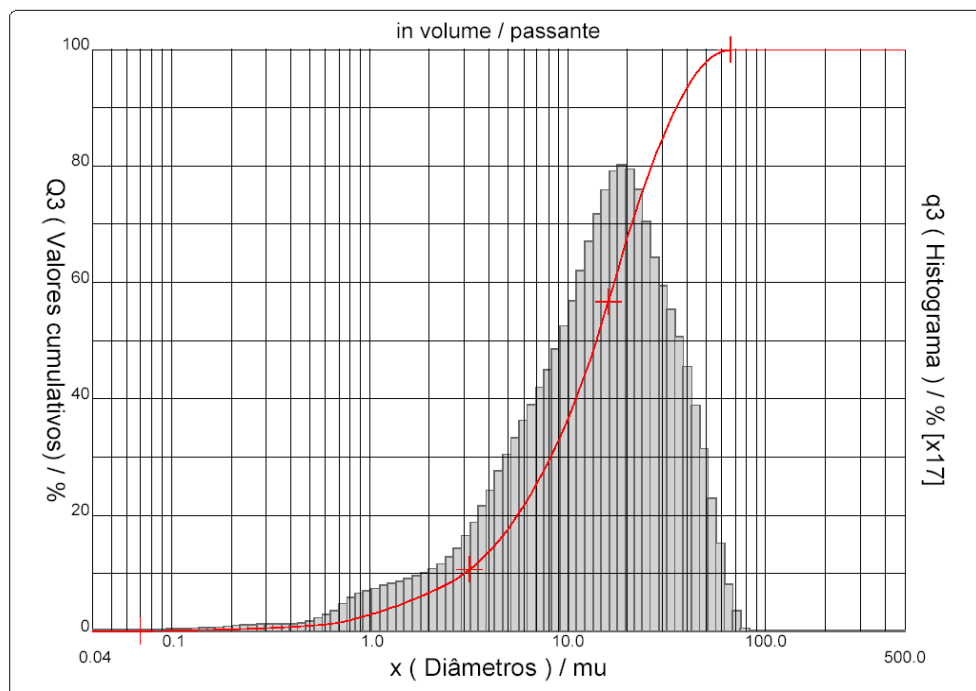


Figura 02 – Histograma correspondente ao ensaio de distribuição de tamanho de partícula realizado com o material obtido na micro-moagem.

Esse resultado permitiu verificar que o material foi completamente micronizado 100 % a (-0,045) mm, sendo que o 50% do total encontra-se numa granulométrica de (-13,9) μm . A mica usada nos ensaios foi moída a um diâmetro que atende às especificações exigidas para aplicações industriais.

Clareamento químico. Essa etapa constou de realização de ensaios com ácidos e sais, através de métodos de intercalação e troca iônica. Os resultados revelaram que o clareamento é eficiente em ambos, independente do tempo e que os teores de ferro de todos os produtos foram

menores que 1,0 % (Tabelas IV e V). Os resultados indicaram que é possível obter a remoção do ferro contido na amostra original, através do clareamento químico.

Esses resultados permitiram verificar a eficiência dos processos empregados na remoção do ferro já que o teor de 1,44 % de FeO, antes do clareamento, passou para a faixa entre 0,5 a 0,65 % de FeO, após o clareamento. O melhor resultado foi obtido usando-se o processo de intercalação iônica e os sais de hidróxido de potássio e acetato de potássio, cujos teores de ferro, após o clareamento, foram de 0,57 e 0,50% Fe, respectivamente (Tabela V).

O mecanismo atuante na remoção do Fe empregando-se o processo de intercalação iônica consistiu na substituição do cátion K^+ , que compõe a solução intercalante, pelos cátions trocáveis da moscovita localizados na camada interlamelar. O efeito da temperatura (80 °C) em que é efetuado o processo, acarreta a migração por difusão dos cátions intercalantes tanto para a camada interlamelar quanto para a camada octaédrica da mica.

Tabela IV – Resultados de clareamento químico de mica com uso de ácido e ditionito através do método de troca iônica.

Reagente	Tempo de clareamento (min)	FeO (%)
Ácido sulfúrico	120	0,64
Ditionito de sódio	240	0,65
Alimentação	--	1,44

Tabela V – Resultados de clareamento químico de mica com emprego de sais inorgânicos através do processo de intercalação iônica.

Reagente	Tempo de clareamento (dias)	FeO (%)
KCl	6	0,61
KOH	6	0,57
CH ₃ COOK	6	0,50
Alimentação	--	1,44

Os resultados obtidos neste estudo mostraram a potencialidade apresentada pela mica da Paraíba para uso na indústria. Segundo Andry, citado por Cavalcante *et al.*, (2005), a mica moída e a mica micronizada, dominam em termos de volume, as aplicações comerciais. Prevê-se uma demanda crescente por mica fina e ultrafina para ser empregada como pigmento na fabricação de coloríficos, plásticos e cosméticos.

4. CONCLUSÕES

O espectro DRX indicou que a amostra de mica apresentou os picos principais nas posições: $2\theta = 8,48^\circ$, $2\theta = 18,96^\circ$, $2\theta = 26,85^\circ$, que são características da moscovita. A posição do primeiro pico representa a localização do plano basal.

Os ensaios da análise granulométrica mostraram que a porcentagem cumulativa retida na peneira de 0,5 mm foi de 97,1 % e o passante foi de 2,9 %. Esse resultado permitiu verificar a necessidade de submeter a amostra de mica a etapas preliminares de cominuição visando a obtenção de um produto 100% a - 0,5mm, requerido para moagem fina e ultrafina.

Os resultados da análise química mostraram que os teores dos elementos principais da composição química da moscovita são: SiO₂ (46,4%), K₂O (10,5%), Al₂O₃ (35,8%), Na₂O (0,5%), CaO (0,08%) e TiO₂ (0,40%), e P.F. (4,8%), encontram-se dentre os valores atribuídos às moscovitas comerciais.

Os ensaios tecnológicos consistentes de micro-moagem e clareamento químico da mica mostraram que com uma massa de 5,0 g de mica em uma granulometria de -0,5 mm, empregando-se tempos seqüências de moagem de 5 em 5 min até um tempo de 25 min, foi possível reduzir a granulometria do material 100% a -0,045 mm, sendo que entre os intervalos de tempo foi removida a fração de -0,045 mm.

Os resultados revelaram que o clareamento é eficiente nos métodos de intercalação e troca iônica, independente do tempo de clareamento, e que o teor de ferro de todos os produtos obtidos foi inferior a 1,0 %. O melhor resultado foi obtido usando-se o processo de intercalação iônica e os sais de hidróxido de potássio e acetato de potássio, cujo teor de FeO antes do clareamento, de 1,44 % passou para, após o clareamento, 0,57 e 0,50 %, respectivamente.

Os resultados obtidos neste estudo mostraram a potencialidade apresentada pela mica da Paraíba para aplicação na indústria, como pigmento para fins mais nobres. Assim criou-se uma alternativa de aproveitamento dos resíduos gerados no beneficiamento de mica, que além de diminuir o passivo ambiental, com a denominada “mica lixo”, obtêm-se um produto com maior valor agregado.

5. REFERÊNCIAS

Bezerra, M.S; Carvalho, V.G.D. (1997). *Minerais e Rochas Industriais da Região do Seridó, PB/RN*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 31p.

Cavalcante, P.M.T; Baltar, C.A.M; Sampaio, J.A. (2005). *Rochas e Minerais Industriais - Mica*: CETEM/MCT, Rio de Janeiro-RJ, p.531-544.

Evangelista, H.J; Delgado, C.E.R. (2007). Amalgatolito. *Revista Brasileira de Geociência*. Minas Gerais-MG, V.37, p.195-203.

Grim, R.E; Bradley, W.F; Brown, G. (1951). *X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*. G.W. Brindley Editor. Mineralogical Society, London, Chapter V, p.138-172.

Hepburn, D.M; Kemp, I.J; Shields, A.J. (2000). *Mica, Deis*, p.19.

Luz, A.B; Lins, F.A.F; Piquet, B; Costa, M.J; Coelho, J.M. (2003). *Pegmatitos do Nordeste: Diagnóstico Sobre o Aproveitamento Racional e Integrado*. Série Rochas e Minerais Industriais. CETEM/MCT, Rio de Janeiro-RJ.

Silas Sena. (2007). *Pesquisa Mineral*. Lamil Lage Minérios Ltda.

Tanner Jr., J.T. (1994). *Mica. In: Industrial Minerals and Rocks*, 6ª edição. Ed. Donald D. Carr.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem especialmente ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro concedido para a realização deste estudo. Ao CETEM/MCT pelo suporte outorgado. Aos professores e funcionários da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia da UFCG pelo apoio prestado.