

## ESTUDO MINERALÓGICO E PROPRIEDADES DE ESFOLIAÇÃO TÉRMICA DA VERMICULITA DE SANTA LUZIA-PB

*Elbert Valdiviezo Viera<sup>1</sup>; Marcondes Mendes de Souza<sup>2</sup>.*

**RESUMO** - Este trabalho objetivou a caracterização de amostras do minério de vermiculita da jazida de Santa Luzia, Paraíba, em termos de composição química e mineralógica, com ênfase para determinação de suas propriedades de esfoliação. Os resultados mostraram que no minério de Santa Luzia, a vermiculita apresenta-se com pouca uniformidade mineralógica e elevado grau de alteração. No entanto, esse comportamento pouco altera a sua propriedade de esfoliação.

**Unitermos:** Caracterização, mica, vermiculita, minério, esfoliação térmica.

## MINERALOGY AND PROPERTIES OF THERMAL EXFOLIATION STUDY ON VERMICULITE FROM SANTA LUZIA-PB (BRAZIL)

**ABSTRACT** – This paper aims the characterization of ore samples of vermiculite from the mine of Santa Luzia, Paraíba State, in terms of chemical and mineralogical composition, with emphasis on determining their properties of thermal exfoliation. The results showed that in the ore of Santa Luzia, vermiculite presents with little uniformity mineralogy and high degree of weathering. However, this behavior just changes their properties of exfoliation.

**Uniterms:** Characterization, mica, vermiculite, ore processing, thermal exfoliation.

---

<sup>1</sup>Professor Associado II, D.Sc, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, CTRN/UFCCG.

E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com

<sup>2</sup>Professor, M.Sc, Departamento de Recursos Naturais, IFRN/Natal-RN.

## INTRODUÇÃO

A vermiculita é um mineral semelhante às micas, pertencente ao grupo dos filossilicatos. Esse mineral é constituído de silício, alumínio, magnésio, ferro e água, em proporções variáveis. Apresenta clivagem basal paralela e ocorre em placas compostas por finíssimas lamínulas superpostas (Valdiviezo et al., 2003). No estado natural, os espaços entre as lamínulas (espaço interlamelar) são ocupados por água. Essa água interlamelar não está submetida a ligações fortes podendo ser quase ou totalmente removida através de aquecimento moderado (Santos, 1989).

A principal característica que a diferencia de outras micas, como a moscovita, é que quando as placas de vermiculita são submetidas à temperatura acima de 900 °C, a água de hidratação contida entre as suas milhares de lâminas se transforma em vapor, expulsando-a de modo irreversível, constituindo flocos. A esfoliação ou piroexpansão ocorre na direção perpendicular ao plano basal e provoca um aumento de até 30 vezes o volume inicial. Esses flocos, denominados de vermiculita esfoliada ou expandida, apresentam uma elevada área superficial específica e pequena massa, em relação à vermiculita natural (Castro, 1996).

A vermiculita possui uma cela unitária do tipo 2:1, constituída por duas folhas tetraédricas e uma octaédrica entre elas. As folhas tetraédricas são compostas por tetraedros de silício ( $\text{SiO}_4$ ), onde ocasionalmente o silício pode ser substituído isomorficamente pelo alumínio. As folhas octaédricas são formadas de átomos de alumínio, oxigênio e hidrogênio, compondo  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , onde o alumínio pode ser substituído por magnésio, ferro, ou por outros elementos (Santos, 1989).

As camadas T-O-T (tetraedro-octaedro-tetraedro) são separadas por duas ou mais camadas de moléculas de água, arranjadas em formato ou estrutura hexagonal, onde os cátions trocáveis, principalmente magnésio, e também cálcio e sódio, encontram-se situados entre as folhas de moléculas de água (Valdiviezo et al., 2002).

A origem da vermiculita é assumida como sendo proveniente da ação do intemperismo sobre os minerais: biotita e flogopita. Os piroxênios, anfibólios e olivinas, minerais componentes de rochas ultramáficas (ígneas) e metamórficas, bem como sienitos e carbonatitos, foram primeiro alterados para formar biotita, flogopita, serpentina e clorita. A alteração supergênica deu-se pela circulação de água, que removeu álcalis, redistribuiu o magnésio e acrescentou água, a qual foi intercalada nas camadas intercrystalinas, para formar vermiculita (Castro, 1996).

Os maiores depósitos comerciais do mundo ocorrem em rochas máficas e ultramáficas e o mineral minerado é, usualmente, composto de camadas mistas ou interestratificadas de biotita + vermiculita ou flogopita + vermiculita (Hennies e Stellin, 1976). Por outro lado, as vermiculitas apresentam diferentes composições químicas, mesmo aquelas encontradas em um mesmo depósito ou em áreas próximas (vermiculite.org, 2002).

No Brasil, os principais depósitos de vermiculita situam-se nos Estados de Goiás, Bahia, Piauí, Paraíba e Paraná. Os dados estatísticos concedem ao Brasil o quarto lugar na produção mundial de concentrado de vermiculita. As quatro empresas responsáveis por essa produção foram: Eucatex Mineração do Nordeste S.A., que opera no Estado do Piauí, responde por 57%; Mamoré Mineração e Minertec Mineração e Comércio Ltda., ambas em Goiás, e Mineração Phoenix, na Bahia, produziram o restante (DNPM, 2007).

Para os próximos anos, há bastante incerteza quanto à evolução do mercado mundial de vermiculita, propiciado, entre outros fatores, pelo crescimento de sua substituição por outros materiais ou minerais; contaminação com asbestos (tremolita); decréscimo cada vez mais acentuado das frações nobres, denominadas no mercado de Prêmio (8-16) mm, Grande (4-8) mm e Médio (2-4) mm; e aumento das frações finas, denominadas de Fina (1-2) mm, Superfina (0,5-1,0) mm e Microfina (0,3-0,5) mm, as quais apresentam preços relativamente inferiores em relação às frações nobres (Castro, 1996).

As propriedades da vermiculita, principalmente na forma expandida, a tornam um material de inúmeras aplicações em diversos setores entre os quais podem citar-se os seguintes: construção civil, indústria, agricultura, química, outros usos (Hindman, 1994).

Este estudo objetivou a caracterização tecnológica da vermiculita de Santa Luzia visando aplicações industriais, sejam convencionais e, eventualmente, aplicações não convencionais; obter subsídios que propiciem um melhor conhecimento do minério e a maximização do seu aproveitamento, com destaque

para o processo de esfoliação térmica, visando fornecer informações para melhorar a compreensão dos fatores determinantes do processo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de amostras do minério foi efetuada na jazida da empresa União Brasileira de Mineração (UBM) localizada no município de Santa Luzia. As amostras retiradas consistiram de: minério extraído da mina (ROM). Este era o minério que alimentava a usina de beneficiamento. Amostras do rejeito foram também coletadas bem como dos produtos concentrados. Em torno de 400 L do material foram colocados em sacos plásticos, etiquetados e transportados ao laboratório da Unidade de Mineração e Geologia da UFCG para a realização de ensaios tecnológicos.

As amostras foram homogeneizadas e quarteadas em lotes de 5 kg e 1,0 kg, porém previamente foram secadas a temperatura ambiente, em lona de polietileno, durante 2 dias. A seguir, com amostra do minério foi efetuado ensaio granulométrico, a úmido, com peneiras da série Tyler. Com o minério, também foi realizado ensaio de peneiramento, obtendo-se seis frações, a saber: (4-8) mm; (2,36-4) mm; (1,0-2,36) mm; (0,5-1,0) mm; (0,3-0,5) mm e (-0,3) mm. As primeiras cinco frações foram submetidas a ensaios de esfoliação, e em seguida, a porcentagem de material expansível era determinada em cada uma das frações.

Algumas das frações granulométricas foram selecionadas para os ensaios de caracterização que consistiram de: difração de raios-x (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise térmica diferencial (ATD) e termo gravimétrica (TG), fluorescência de raios-x (FRX) e ensaios de afunda e flutua para se determinar a porcentagem de material expansível, no minério e nos concentrados.

Os ensaios de esfoliação foram realizados com amostras de concentrado com diferentes frações granulométricas. Nos testes foi usado um forno-mufla Quimis, modelo Q-318D24 com potência de 4.000 W, termopar de Ni-Cr-Ni e controle digital de temperatura. O material esfoliado era coletado e o mesmo era analisado quanto à porcentagem de material expansível, ou teor de vermiculita. A determinação desses índices foi efetuada com base na metodologia recomendada pela “The Vermiculite Association”, instituição americana que padronizou as normas técnicas referentes à vermiculita e seus produtos (www.vermiculite.org.2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização Mineralógica

No minério de vermiculita foram identificados por DRX os filossilicatos: vermiculita como mineral principal, hidrobiotita, biotita, talco e serpentina. O piroxênio detectado foi o diopsídio. Entre os anfibólios, a hornblenda. Também foram identificados o feldspato microclínio e os carbonatos: calcita e dolomita. Existem ainda pequenas proporções de óxidos de ferro, como a goethita.

O difratograma de DRX obtido com amostra de concentrado de vermiculita apresentou os picos característicos nas seguintes posições:  $2\theta = 5,99$  (14,70 Å);  $2\theta = 18,41$  (4,82 Å);  $2\theta = 24,82$  (3,62 Å);  $2\theta = 30,97$  (2,89 Å);  $2\theta = 37,56$  (2,39 Å);  $2\theta = 60,11$  (1,53 Å);  $2\theta = 64,44$  (1,45 Å). O valor de  $2\theta$  corresponde ao ângulo de Bragg e o valor entre parênteses refere-se à distância interplanar. A vermiculita apresenta uma reflexão basal ou plano basal localizado na posição  $2\theta = 5,99$  (14,70 Å).

Na Figura 1 estão apresentados os resultados de ATD e TG. Os dois principais picos endotérmicos aparecem nas temperaturas de 200 e 300 °C, sendo o primeiro mais acentuado que o segundo. Pequenas variações das curvas ATD foram registradas, em termos de intensidade e posição dos picos, entre 0 e 150 °C. O primeiro pico que aparece com um mínimo pronunciado a 200 °C, representa a remoção de água adsorvida por higroscopia, ou seja devido à umidade. O segundo pico indicaria a transição da camada de água para uma fase anidra (Machado, 2000; Assunção, 1985).

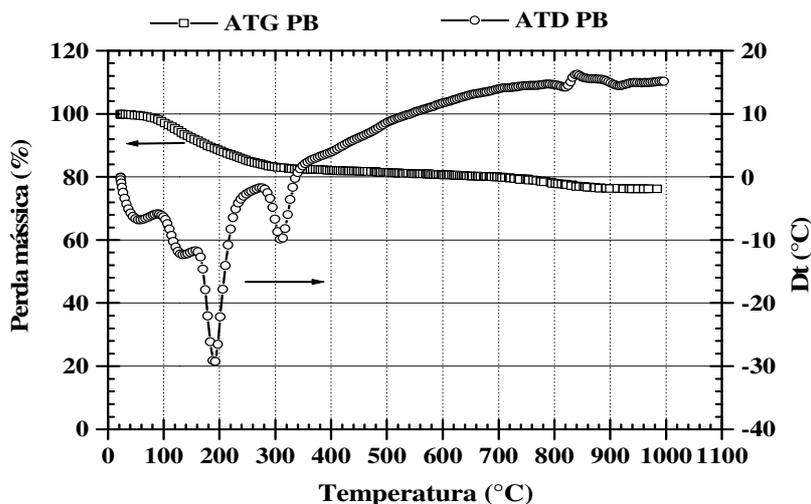


Figura 1 – Curvas de ATD e TG de amostra de concentrado de vermiculita de Santa Luzia.

A perda de massa, referentes à evaporação de água que gerou um pico endotérmico com um mínimo em 200 °C, foi de aproximadamente 12%. Segundo Grim, citado por Machado (2000), a intensidade desses picos está diretamente relacionada à quantidade de água contida na amostra e ao mesmo tempo, a quantidade dessa água, depende da composição mineralógica da vermiculita.

A variação da massa, na faixa de temperatura entre 300 e 800 °C, foi de aproximadamente 5%. A vermiculita apresentou um pico endotérmico em 830 °C, caracterizando um processo de desidroxilação. A curva ATD apresentou um pico exotérmico em 840 °C. Acima dessa temperatura, a decomposição térmica restringe-se à recristalização de uma nova fase mineralógica, com a destruição da anterior e perda de toda a água de desidroxilação. Essa fase mineral é a enstatita, que também foi citada por outros autores em outros estudos realizados (Machado, 2000; Martins et al., 2001). A variação exotérmica apresentada pela vermiculita entre 340 e 800 °C, onde se registrou uma ascensão da curva de ATD, pode ser interpretada como sendo devido à oxidação do ferro  $Fe^{2+}$  em  $Fe^{3+}$  (Mackenzie, 1957).

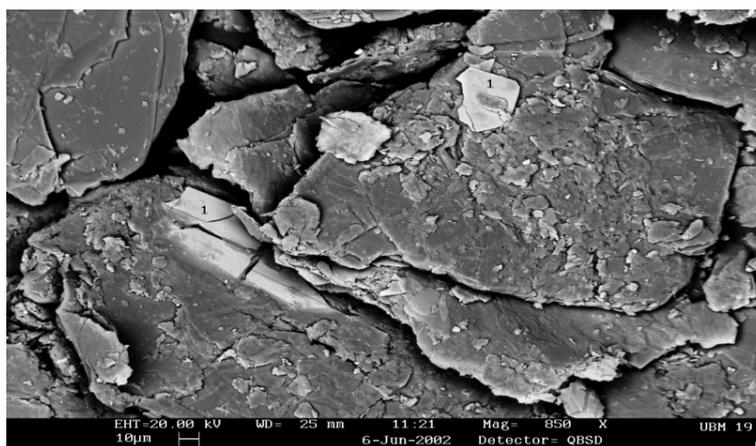


Figura 2 – Micrografia mostrando detalhes da morfologia e textura da vermiculita de Santa Luzia e sua associação com espinélio (fase mais clara). Aumento: 850x.

A Figura 2 apresenta a micrografia pertencente ao concentrado de vermiculita de Santa Luzia. Observa-se que as placas de vermiculita apresentam superfícies com elevado grau de alteração ou intemperização e pouca uniformidade mineralógica. Foram registradas freqüentemente as placas compondo estruturas semelhantes a agregados. Segundo De La Calle e Suquet, citados por Machado (2000), o processo de alteração ocorre na seqüência de transformação seguinte: mica (biotita ou flogopita) → vermiculita → esmectita. No caso da jazida de Santa Luzia, a vermiculita co-existe simultaneamente com

as outras fases, ou seja, há vermiculita pura, vermiculita associada ou interestratificada com biotita, biotita pura, vermiculita transformando-se para esmectita, e esmectita pura.

A Figura 2 mostra as placas de vermiculita e sua associação com espinélio. Esse mineral ocorre compondo pequenos cristais e em pequenas concentrações. O estudo realizado por Assunção (1985) com amostras de diferentes procedências do estado da Paraíba, entre elas de Santa Luzia, determinou o teor de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , através de absorção atômica e quantificou os teores na faixa de 0,13 a 0,22%. Devido aos baixos teores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  no mineral, o mesmo não representa problemas às propriedades de esfoliação da vermiculita, conforme será visto mais adiante.

### Caracterização Química

O resultado de FRX obtido com amostra de concentrado de vermiculita encontra-se apresentado na Tabela 1. Conforme observado nessa tabela, os teores dos elementos principais da composição química do mineral que são:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e outros voláteis, encontram-se dentro dos valores atribuídos às vermiculitas comerciais (Tabela 2). Os outros teores, como  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{CaO}$ , apresentam valores ligeiramente inferiores aos valores comerciais; porém, devido às baixas concentrações em que eles se encontram, não afetam a qualidade do produto esfoliado.

Tabela 1 – Análise por FRX da vermiculita de Santa Luzia.

Teor (%)											
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{O}$	P.F	Total
39,43	10,95	25,73	0,51	0,39	9,89	0,77	0,09	0,03	n.d	12,09	99,88

n.d: não detectado; P.F = Perda ao fogo a 950 °C; Limite de detecção: 0,01%.

Tabela 2 – Faixas de composição química de vermiculita comercial típica.

Teor (%)											
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{O}$	P.F	Outros
38-46	10-16	16-35	1-5	1-6	6-13	1-3	n.d	n.d	n.d	8-16	0,2-1,2

Fonte: The Vermiculite Association, 2002.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) da vermiculita de Santa Luzia. A CTC é dada em meq (miliequivalentes) por 100 g de amostra. Por exigência da metodologia empregada a amostra foi cominuída a uma granulometria de -0,147 mm.

Tabela 3 – CTC da vermiculita de Santa Luzia.

Cátions						
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{H}^+$	Total
18,25	97,24	0,15	2,02	1,60	n.d	118,62

n.d: não detectado.

Conforme pode ser observado nessa tabela, a CTC total foi 118,62 meq por 100 g de amostra. Esse valor encontra-se na faixa citada na literatura, que foi de 50 a 250 meq por 100 g de amostra (Santos, 1992; Assunção, 1985).

### Esfoliação Térmica

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados da porcentagem em massa retida e a porcentagem de material expansível em cada uma das seis (06) frações granulométricas obtidas a partir do minério. Essa tabela mostra que a maior distribuição do material encontra-se na granulometria (-2,36+1,0) mm; (-1,0+0,5) mm; e (-0,5+0,3) mm. Nas granulometrias de (-1,0+0,5) mm e (-0,5+0,3) mm as porcentagens de expansíveis foram de 39,1 e 45%, respectivamente. Observou-se um aumento da % de material expansível com a diminuição da granulometria. Conforme mostrado nessa tabela, a % de

expansíveis nas granulometrias mais nobres (Grande e Média) é inferior em relação às frações Fina, Superfina e Microfina.

Tabela 4 – Distribuição em massa (% retida) e % de material expansível do minério de Santa Luzia. Massa de amostra = 1,0 kg. Peneiramento a seco realizado no Ro-tap.

	Granulometria (%)						
	-8+4	-4+2,36	-2,36+1	-1+0,5	-0,5+0,3	-0,3	Total
<b>Retida (%)</b>	11,1	8,6	24,5	26,6	10,9	17,3	100,0
<b>Expansível* (%)</b>	11,7	6,9	20,8	39,1	45,1	n.a	--

(\* ) A % de material expansível mede aproximadamente o teor de vermiculita; n.a: não analisado.

Na continuidade do trabalho foi estudada a variação da esfoliação térmica em função de diversos parâmetros relevantes no processo, cujos resultados serão relatados em uma próxima publicação.

## CONCLUSÕES

Os resultados de caracterização mineralógica mostraram que o minério de vermiculita de Santa Luzia é constituído pelos seguintes minerais: Os filossilicatos: biotita, moscovita, vermiculita, ilita, talco e serpentina. O piroxênio detectado foi o diopsídio e os anfibólios: actinolita e hornblenda. Entre os feldspatos: microclínio, e os carbonatos: calcita e dolomita, bem como o óxido de ferro goethita.

No minério de Santa Luzia, a vermiculita foi identificada em placas ou partículas assim como compoendo placas com interestratificações de vermiculita + biotita. Essa vermiculita não apresenta uniformidade mineralógica na superfície exposta dos planos, observando-se um acentuado grau de alteração intempérica.

Na superfície das placas foram observados pequenos cristais de espinélio; porém, devido à baixa concentração de  $Cr_2O_3$ , no mineral, esse elemento, não representa problemas às propriedades de esfoliação da vermiculita.

## REFERÊNCIAS

- Assunção, L.M.C. (1985). Estudos da expansão e caracterização de vermiculitas nordestinas. *Dissertação de Mestrado*. Engenharia Química - UFPB, Campina Grande - PB, Brasil, 93p.
- Castro, O.G. (1996). *A vermiculita e suas aplicações*. Relatório Técnico: Aporte Consultores e Associados Ltda., São Paulo, Brasil, 54p.
- Hennies, W. T.; Stellin Jr., A. (1976). Testes de piroexpansibilidade em vermiculitas brasileiras. *Geologia e Metalurgia*, N° 40, São Paulo, Brasil, p.433-445.
- Machado, A. O. D. V.; Araújo, J. M. M. (2002). *Influência do carbonato de sódio em dispersões de bentonita*. Anais do XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, v.1, Recife, Brasil, p. 570-573.
- Mackenzie, R.C. (1957). *The differential thermal investigations of clays*. Mineralogical Society, London, England, p. 191-204.
- Martins, J.; Machado, L.C.R.; Marcos, C.; Zacarias, C.M. (2001). *Caracterização tecnológica de vermiculitas brasileiras*. Anais do XVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e VI SHMMT, v.3. Rio de Janeiro, Brasil.

Santos, P.S. (1989). *Ciência e Tecnologia de Argilas*. Ed. E. Blucher, 2ª edição, v.3. São Paulo, Brasil.

Santos, P.S. (1992). *Ciência e Tecnologia das Argilas*, Editora Edgard Blücher Ltda. v.2, São Paulo, Brasil, 861p.

Valdiviezo, E. V. (2003). *Caracterização tecnológica de insumos minerais para a perfuração de poços de petróleo* – Sub-projeto: Estudo de caracterização e processamento de vermiculitas para aplicações em fluidos de perfuração de poços de petróleo. Relatório Final, FINEP-CTPETRO/FADE, Campina Grande, Brasil, 22p.

Valdiviezo, E. V.; Souza, M. M.; Leitão, T. J. V.; Guerara, E. A. (2002). *Caracterização e esfoliação térmica de vermiculitas dos estados da Paraíba e do Piauí*. Anais do XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, v.1, Recife, Brasil, p.562-569.

VERMICULITE ASSOCIATION. *Vermiculite*, (2002). Disponível em: <<http://www.vermiculite.org>>. Acesso em: 10 de setembro de 2007.

. Ed. Donald D. Carr.