

## CAPÍTULO 3

# Agalmatolito

Adão Benvindo da Luz<sup>1</sup>

Paulo Tomedi<sup>2</sup>

Rodrigo Martins<sup>3</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

Agalmatolito é uma rocha metamórfica resultante da alteração hidrotermal da rocha-mãe (protólito) riolito. Pode ser oriundo também da alteração de rochas sedimentares ricas em alumina em sistemas de dobramentos regionais. O agalmatolito é constituído principalmente por dois minerais, a pirofilita e a moscovita em proporções variadas, bem como outros minerais acessórios (Luz et al., 2001).

O agalmatolito ocorre na natureza de forma rara, sendo a China e Brasil dois de seus mais importantes produtores mundiais (Harben e Kuzvart, 1996). Apresenta pureza mineralógica elevada e, após beneficiamento apropriado, constitui-se em produto com vasta aplicação industrial.

O agalmatolito é utilizado principalmente como carga, sendo a indústria de tinta o principal mercado. Outros usos do agalmatolito são: cerâmica, refratários, plástico, papel, celulose, borracha, sabão etc. O agalmatolito é usado também em obras de arte plástica e na decoração de paredes de edifícios, principalmente em mosaicos. O mosaico que reveste a estátua do Cristo Redentor, na cidade do Rio de Janeiro, é constituído, em parte, pelo agalmatolito de Pará de Minas-MG e, em parte, pela esteatita de Herculano Pena (Jacques de Moraes et al., 1938).

O agalmatolito, em suas aplicações, tem uso parecido com o talco e o caulim e por isso, algumas vezes, tem sido distribuído no mercado nacional com denominações errôneas, como talco esteatítico e talco caulínítico.

---

<sup>1</sup>Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

<sup>2</sup>Geólogo, Diretor Kymera Minerals.

<sup>3</sup>Geólogo, Mineração Serra Grande – Crixás – Goiás.

O talco e a pirofilita (mineral constituinte da rocha agalmatolito) têm propriedades e usos similares. A textura lamelar e o aspecto sedoso ao tato confundem esses minerais. Há uma tendência mundial a não separar os seus dados estatísticos. A produção de pirofilita, no Brasil, provém toda do Estado de Minas Gerais, em particular do município de Pará de Minas. As atividades de mineração de agalmatolito iniciaram-se, nessa região, em 1958. Em 2004 a produção de agalmatolito foi de 120 mil t, contra 143 mil t em 2005 (Anuário Mineral Brasileiro – DNPM – 2005 e 2006), mostrando uma evolução de 19%. Em 2006, estima-se que a produção manteve-se ao redor de 140 mil t.

## 2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

O agalmatolito é constituído principalmente por dois filossilicatos de alumínio – pirofilita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e moscovita ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), em associação com minerais como: sericita (uma variedade de moscovita, finamente cristalizada), quartzo, cianita, andaluzita e diásporo (Luz et al., 2001) Como minerais acessórios é comum a presença de rutilo, zircão, córindon e turmalina. Dependendo de sua mineralogia, o agalmatolito pode apresentar cor branca, creme, cinza, esverdeada e roxa. O agalmatolito é inerte, apresenta densidade 2,7 a 3,0 e dureza entre 2,5 e 3,0 (Harben e Kuzart, 1996).

Nos municípios de Pará de Minas, Mateus Leme e Pitangui, todos no Estado de Minas Gerais, encontram-se as principais minas de agalmatolito do país. Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se as análises químicas de alguns minérios de agalmatolito dessas regiões.

Tabela 1 – Análises químicas típicas (%) de agalmatolito da região de Pará de Minas e Mateus Leme - MG.

Óxidos	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	FeO	$\text{K}_2\text{O}$	MgO	MnO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
Máximo	46,28	0,06	0,26	1,44	0,12	0,01	0,15	0,03	48,18	1,03
Mínimo	22,63	0,06	0,04	0,47	0,03	<0,01	0,07	0,07	73,19	0,52
Alto álcalis	36,74	0,07	0,79	9,06	0,16	<0,01	0,63	0,05	47,33	0,29

Fonte: Kymera Minerals.

Tabela 2 – Análises químicas (%) de agalmatolito da região de Pitangui - MG.

Óxidos	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
Máximo	39,47	1,87	2,45	1,17	0,07	0,01	0,13	0,01	47,65	4,17
Mínimo	12,13	0,05	0,07	3,09	0,06	<0,01	0,28	0,02	82,67	0,17

Fonte: Kymera Minerals.

Nas jazidas, dependendo das impurezas, o agalmatolito pode ser classificado em diferentes tipos (Luz et al., 2001):

- (i) agalmatolito de cor branca, constituído de pirofilita com traços de turmalina e óxido de manganês dentrítico;
- (ii) agalmatolito esverdeado e algumas vezes de cor amarela, com moscovita microcristalizada não orientada e menor proporção de pirofilita, diásporo, turmalina, rutilo, caulinita e quartzo;
- (iii) agalmatolito cinza escuro com alto teor de turmalina;
- (iv) agalmatolito de cor branca a cinza lamelar constituído essencialmente por moscovita.

O agalmatolito pode atingir níveis de alvura de até 95% (tendo o MgO como referência), o que representa uma propriedade física importante, quando o seu uso se destina à indústria de tintas, celulose e papel e plásticos, como carga. Algumas substâncias minerais são prejudiciais à alvura do agalmatolito, tais como turmalina, rutilo/anatásio, óxidos de manganês e de ferro; e neste caso é desejável fazer o controle desses minerais, na frente de lavra (Luz et al., 2001).

### 3. LAVRA E PROCESSAMENTO

#### Lavra

O método de lavra mais comum é a céu aberto, podendo também ser subterrânea (Figura 1 A), desde que a qualidade do produto a ser obtido suporte os custos da lavra. Em ambos métodos de lavra são necessários bons conhecimentos geológicos da jazida, principalmente devido à variabilidade do agalmatolito.

Conhecendo-se a mineralogia da jazida e em função dos produtos que se deseja obter, os diferentes tipos de agalmatolito são lavrados e estocados em um pátio da usina. A partir deste, é feita a blendagem dos diferentes tipos de

agalmatolito, em função do produto visado. Por exemplo, se o agalmatolito se destina à louça branca, é desejável usar um agalmatolito sericítico, para melhorar a resistência ao choque térmico, devido à sua baixa expansão térmica (Ciullo e Thompson, 1994).

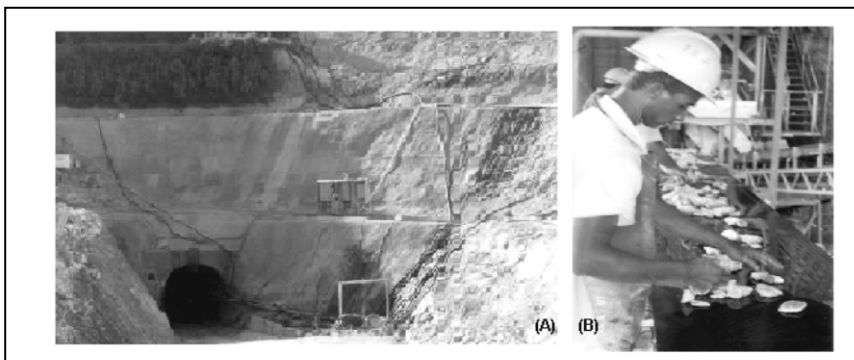


Figura 1 – Entrada da mina subterrânea (A) e catação manual (B) da Mineração LAMIL em Pará de Minas – MG.

### Processamento

O beneficiamento do agalmatolito consiste principalmente de britagem, moagem e classificação. Como o agalmatolito é uma mistura de minerais macios e duros (como, por exemplo, respectivamente, a pirofilita e o quartzo, durante o processo de moagem e classificação), a pirofilita, por ser mais mole, tende a se concentrar nas frações mais finas, a seguir separadas em classificador pneumático (Ciullo e Thompson, 1994).

A concentração a úmido é mais rara, embora a literatura registre a separação da pirofilita e andaluzita por meio denso, na Carolina do Norte. A pirofilita apresenta flotabilidade natural próxima à do talco, e flota usando apenas um espumante. No caso da pirofilita ocorrer associada a uma grande quantidade de quartzo, tem se usado a flotação como processo de separação (Harben e Kuzvart, 1996). No Brasil, o processo empregado para beneficiamento de agalmatolito consiste de (Luz et al., 2001):

- (i) lavagem;
- (ii) classificação;
- (iii) secagem;
- (iv) britagem, moagem e/ou micronização
- (v) remoção de contaminantes coloridos (turmalina, óxidos de Fe, Mn, Ti) e abrasivos (quartzo) por catação manual (Figura 1 B).

## 4. USOS E FUNÇÕES

O agalmatolito, dependendo de suas características químicas e físicas, pode ser usado como carga nas indústrias de: tintas, plástico, cerâmica de revestimento e de refratário, borracha, papel, adesivos, sabão e detergente em pó, cosméticos, cimento branco, etc. O consumo de agalmatolito como carga mineral no país é estimado em 143 mil t/ano (dados de 2005), sendo mais de 70% desta quantidade direcionada para o segmento de tintas. Alguns produtos mais elaborados podem ser utilizados como extensores do dióxido de titânio (pigmento branco) ou em substituições parciais ou totais dos carbonatos de cálcio precipitados e caulins calcinados.

O uso em formulações de tintas arquitetônicas é a grande aplicação do agalmatolito no Brasil. Na indústria de tinta, algumas propriedades são extremamente importantes: cor branca, alvura elevada, absorção de óleo e opacidade (poder de cobertura), já que os componentes da tinta devem ser interativos com os componentes de formulação. Outro fator essencial é a morfologia da partícula do agalmatolito, um filossilicato, que contribui com aspectos relacionados a tixotropia da tinta, sua estabilidade e facilidade de dispersão. Em estudo recente, Ciminelli (2001) relata a tendência do mercado de tintas, os grandes produtores de São Paulo, para o recebimento das cargas minerais de seus fornecedores em suspensão (slurry), transportadas em caminhão-tanque. Tal já aconteceu com o carbonato de cálcio precipitado. Com o carbonato natural e o agalmatolito, essa tendência também deve ocorrer.

Na indústria de refratários, as características mais importantes do agalmatolito são: baixo coeficiente de expansão térmica, condutividade térmica elevada, boa resistência à corrosão pelos metais fundidos e escórias básicas (Ciullo e Thompson, 1994). O fato de possuir baixos teores em álcalis e uma relação apropriada entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  também é importante. O agalmatolito de baixo álcalis direcionado para a indústria de refratários tem mostrado uma tendência de queda vertiginosa de consumo, substituído por outras matérias primas (Ciminelli, 2001). As reservas dessa variedade são grandes, bem superiores àquelas da variedade carga mineral, e seu aproveitamento é verticalizado pelas empresas de refratários detentoras de jazidas (Ciminelli, 2001).

Na indústria de cerâmica de revestimento, é utilizado principalmente como fonte de alumina e álcalis para a formulação de engobes e fritas. O baixo teor de óxidos cromóforos (responsáveis pela cor) confere uma excelente cor de queima ao agalmatolito.

Na indústria de celulose, o agalmatolito tem a função de adsorver o pitch coloidal (resina resultante do processo de fabricação da celulose), evitando, desta forma, a geração de incrustações prejudiciais ao processo e evitando que esse contaminante prejudique as propriedades do papel, principalmente a alvura. Nessa aplicação, o agalmatolito enfrenta a concorrência do talco nacional e importado.

Na indústria de borrachas, pode ser utilizado em conjunto ao negro de fumo ou sílicas precipitadas como agente de carga ou semi-reforçante, dependendo da granulometria. Possui uma boa incorporação à massa, provocando um menor consumo de energia e desgaste de equipamentos. Sua morfologia auxilia no fluxo do material e seu pH adequado colabora na vulcanização dos compostos.

Na indústria de plásticos, principalmente fios e cabos de PVC, auxilia nas propriedades de resistividade elétrica e mecânica. Colabora com sua alvura na formulação de plásticos brancos e coloridos. Pode ser utilizado como extensor do dióxido de titânio em proporções variáveis, atingindo até 35%.

Outros usos, como veículo em produtos agroveterinários, fármacos e cosméticos, podem ser apontados como alternativos.

## 5. ESPECIFICAÇÕES

Estão apresentadas, a seguir, especificações genéricas para alguns dos diferentes usos industriais de agalmatolito (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Vale ressaltar que a versatilidade de aplicações consiste na ocorrência, numa mesma jazida, de diversos “tipos” de agalmatolito que podem ser, de forma única ou combinado, utilizados para gerar os produtos necessários às várias aplicações.

Para alguns setores consumidores, a alvura é essencial; para outros, a análise química ou, mesmo, uma combinação desses fatores.

Tabela 3 – Especificações de agalmatolito para a indústria de tintas.

Propriedades físicas típicas		Análise	
Aspecto		pó fino	
Cor		branca	
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> ) solta		0,45 ± 0,05	
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )		2,80 ± 0,20	
Perda ao fogo a 900°C por 2 h (% máxima)		7,0	
Absorção em óleo (g de óleo/100 g)		35 ± 5	
Insolúveis em HCl, 23,8% (% mínima)		93	
Superfície específica – BET(m <sup>2</sup> /g)		5,3	
Diâmetro médio (D <sub>50</sub> ) (µm)		10	
pH (suspensão 5%)		8,0 ± 1,0	
Umidade (% máxima)		1,0	
Análise química típica			
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
SiO <sub>2</sub>	47,6	MgO	< 0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,7	MnO	< 0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	Na <sub>2</sub> O	0,44
TiO <sub>2</sub>	0,63	K <sub>2</sub> O	6,0
CaO	< 0,05	carbonatos	isento

Fonte: Luz et al. (2001).

Tabela 4 – Especificações de agalmatolito usado na indústria cerâmica e coloríficos.

Propriedades físicas típicas	Análise
Aspecto	Pó fino
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,80 ±0,20
Cor após queima	Branca
Umidade (% máxima)	1,0
Granulometria (top-cut) (µm)	75
Diâmetro médio (D <sub>50</sub> ) (µm)	26
Retenção em 74 µm (% max.)	10,0
Dilatação térmica (25–325°C(°C <sup>-1</sup> ))	6,35x10 <sup>-6</sup>
Perda ao fogo (% máxima).	7,0

n/a – Não analisado.

Análise Química Típica			
Óxidos	(%)	Óxidos	(%)
SiO <sub>2</sub>	49,7	CaO	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,3	MgO	0,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38	Na <sub>2</sub> O	0,28
TiO <sub>2</sub>	0,54	K <sub>2</sub> O (2 faixas)	7±1 e 10±2

Fonte: Luz et al. ( 2001).

Tabela 5 – Especificações de agalmatolito usado em formulações de primer massas rápidas e sintéticas para repintura automotiva.

Propriedades Físicas	Análise
Aspecto	pó fino
Cor	branca
Diâmetro médio (D <sub>50</sub> ) (µm)	7
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	2,80 ± 0,20
Umidade (% máxima)	1,0
Absorção em óleo (g de óleo/100 g)	40 ± 3
Sais solúveis em HCl 10% p/p (% max.)	2,0

Fonte: Luz et al. (2001).



Tabela 6 – Especificações de agalmatolito usado para adsorção de materiais resinosos (pitch) provenientes de polpação de celulose e/ou pasta mecânica.

Características	Análise Típica
Alvura ISO (mínimo)	86
Absorção de óleo ( g/100 g )	38
Superfície específica BET ( m <sup>3</sup> /g )	6,9
Abrasão Einlehner ( mg )	26
Peso específico ( g/cm <sup>3</sup> )	2,80 ± 0,20
pH (suspensão 5%)	7,5 ± 1,5
Solúveis em ácido (como CaO) (%)	0,0
Umidade (% máxima)	1,0

Fonte: Luz et al. (2001).

## 6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Como materiais alternativos ou substitutos do agalmatolito, dependendo da finalidade de uso, podem ser citados:

- (i) carga mineral em tintas: talco, carbonato de cálcio (precipitado ou natural), caulins e dióxido de titânio em formulações diversas de tintas;
- (ii) cerâmicas de revestimento: argilas, feldspatos;
- (iii) refratários: talco, argilas aluminosas;
- (iv) celulose e papel: talco para o controle de pitch;
- (v) borracha: caulim, talco, filito, argilas.

## AGRADECIMENTOS

O CETEM agradece aos geólogos Paulo Tomedi e Rodrigo Martins e a empresa KYMERA MINERALS pelo apoio na elaboração deste capítulo sobre agalmatolito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, L. E. G. (2004). Sumário Mineral, DNPM.
- CIMINELLI, R. (2001). Estudo de Mercado de Minerais Industriais. Publicação CGEE/MCT ([www.cgee.org.br](http://www.cgee.org.br)).
- CIULLO, P. A. e THOMPSON, C. S. (1994). Pyrophyllite. In: Industrial Minerals and Rocks, p. 815-826, 6<sup>th</sup> Edition, Donald D. Car, Senior Editor. SMME.
- De MORAES, JACQUES, L., LEIZ, V. e OROSCO, E. (1938). Estudo do Agalmatolito, Avulso nº 32, 33p., Serviço de Fomento da Produção Mineral, DNPM.
- HARBEN, P. e KUZVART, M. (1996). Pyrofillite. In: Industrial Mineral – A global Geology, p. 324-329, Industrial Minerals Information Ltd, Metal Buletin PLC, London.
- LUZ, A. B., ANDRADE, M. C. GASPAR, O. M., TOMEDI, P. e LARES, C. A. R. (2001) Agalmatolito-LAMIL. In: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil, p. 202-210, Editores: João A. Sampaio, Adão Benvindo da Luz, Fernando F. Lins, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 398p.
- REIS, E. et al. (2001). Levantamento da Situação e das Carências Tecnológicas dos Minerais Industriais Brasileiros. Publicação CGEE/MCT ([www.cgee.org.br](http://www.cgee.org.br)).