

# RECUPERAÇÃO DE MOLIBDENITA EM REJEITOS DE GARIMPO

**Paulo Fernando Almeida Braga**

Eng. Químico, M Sc

**Carla Barbato**

Eng. Química, M. Sc.

**Adão Benvindo da Luz**

Eng. de Minas, D. Sc.

## Resumo

Foram realizados um estudo em escala de bancada para recuperar a molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) contida em rejeitos da exploração de esmeralda/berilo da região garimpeira da Serra de Carnaíba em Pindobaçu, BA.

Planejou-se, com o presente trabalho, caracterizar os minérios, rejeitos e concentrados produzidos pelo processo de garimpagem e avaliar as técnicas extrativas utilizadas na região garimpeira da Serra da Carnaíba, onde não se observa qualquer preocupação com recuperações metalúrgicas ou com possíveis contaminações ambientais.

Os estudos realizados com amostras de minérios propiciaram a elaboração de uma rota preliminar de beneficiamento para recuperação da molibdenita contida nos rejeitos de garimpagem. Genericamente, o beneficiamento desses minérios deverá ser constituído das seguintes etapas de: britagem, moagem, separação gravítica em mesas oscilatórias/espírais concentradores e flotação *rougher* e *cleaner*.

## 1. Introdução

O molibdênio não é encontrado livre na natureza e sua principal fonte é a molibdenita, que é um mineral acessório em certos granitos, pegmatitos e aplitos. Comumente a molibdenita ocorre, em depósitos de filões, associada com a cassiterita, scheelita, wolframita e fluorita. Também pode ser encontrada em depósitos metamórficos de contato, com silicatos de cálcio, scheelita e calcopirita (DANA, H., 1971).

A cotação do molibdênio (metal) no mercado internacional atingiu um valor de aproximadamente US\$ 65.000/t, no corrente ano (2007). Durante os anos de 1997 a 2002, manteve seu preço cotado em cerca de US\$ 10.000/t, tendo atingido patamares de US\$ 103.000/t, em junho 2005 (<http://www.the-infoshop.com/study/info51123-molybdenum.html>).

No Brasil, as reservas não oficiais são modestas, e nesse contexto, surge como opção de aproveitamento econômico, o minério de molibdênio gerado como co-produto ou subproduto da garimpagem da esmeralda/berilo verde na Serra de Carnaíba em Pindobaçu, BA (NESI, J.R., 2007; ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, 2006).

## 2. Usos e Aplicações do Molibdênio

A capacidade do molibdênio de suportar altas temperaturas com baixo coeficiente de dilatação e alto ponto de amolecimento, o faz útil nas aplicações que envolvem um calor intenso, como na fabricação de peças de aviões, contatos elétricos, motores industriais e em filamentos elétricos. O molibdênio também é usado em ligas especiais devido a sua resistência à corrosão e a soldaduras. A maioria das ligas de aço de grande resistência contém de 8 a 25% de molibdênio. Apesar da utilização na siderurgia ainda ser pequena, mais do que 43.000 t/ano de molibdênio são utilizados na produção de aços inoxidáveis, em aços para ferramentas, em ferros fundidos, e em superligas para alta temperatura ( OLIVARES, G., 2005; MAGYAR, M. J., 2007).

Devido a sua densidade mais baixa e preço mais estável, o molibdênio é utilizado em algumas aplicações, em substituição ao do tungstênio. O molibdênio pode ser utilizado como um agente de liga e também como um revestimento antichama para outros metais. Embora seu ponto de fusão seja 2.623°C, o molibdênio se oxida rapidamente na temperatura de 760°C.

O bissulfeto de molibdênio ( $\text{MoS}_2$ ) é usado como lubrificante e agente anticorrosivo. O molibdato do sódio é um pigmento alaranjado brilhante utilizado na indústria cerâmica e de plásticos. O trióxido de molibdênio ( $\text{MoO}_3$ ) é usado como adesivo entre esmaltes e metais. O pó de molibdênio é usado como fertilizante em algumas plantas, tais como a couve-flor.

O diagrama em blocos da Figura 1 ilustra a formação dos principais produtos de molibdênio obtidos a partir de um concentrado de molibdenita (<http://www.imoa.info/>).

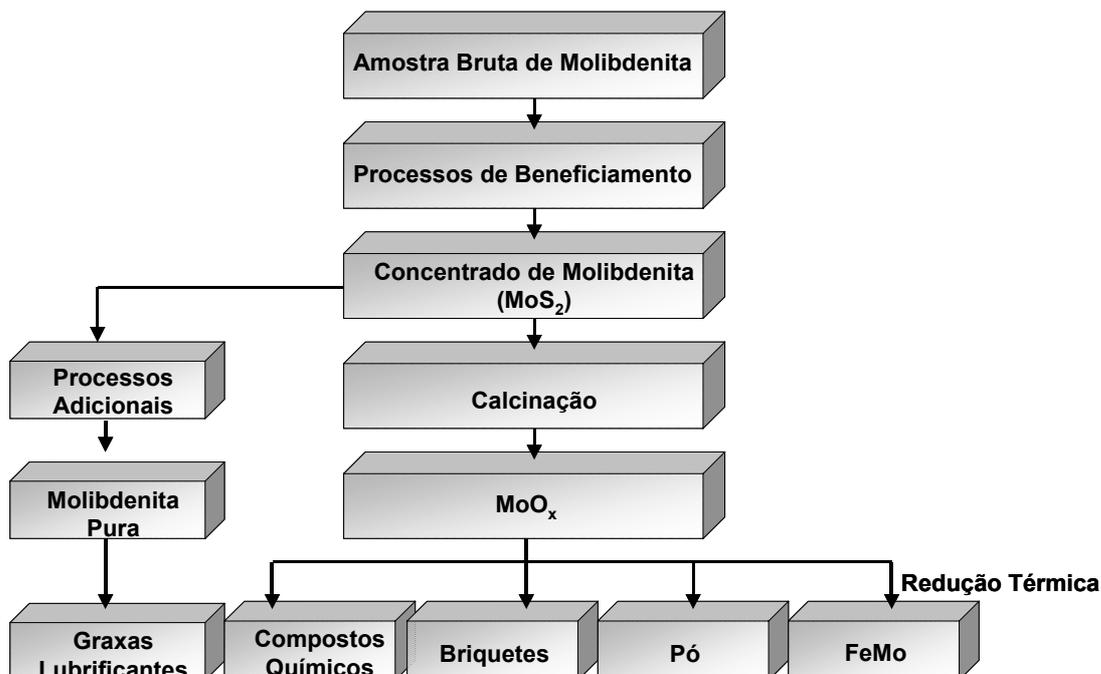


Figura 1 - Produtos de molibdênio obtidos do concentrado de molibdenita.

### **3. Lavra de Molibdenita na Serra de Carnaíba**

Os depósitos de molibdenita da região da serra de Jacobina distribuem-se em duas áreas: a do garimpo da Carnaíba (município de Pindobaçu), na parte média da região serrana, e a do garimpo de Socotó (Município de Campo Formoso), mais a norte, ambas do lado oeste da serra. O acesso a Carnaíba e a Socotó é feito por Campo Formoso (400 km de Salvador), mas também pode ser realizada por Pindobaçu.

A molibdenita na Serra de Carnaíba vem sendo obtida como um subproduto da garimpagem de esmeralda, por meio de escavações subterrâneas, onde os veios mineralizados são seguidos através de galerias (grunas). Para realizar o acesso as galerias, são utilizados poços verticais e galerias horizontais, caso a topografia possibilite. O desmonte das rochas encaixantes e do minério é realizado, manualmente ou com auxílio de explosivos (MOREIRA, M. D. e SILVA, R.W.S., 2006).

Após a lavra do minério de molibdenita, o mesmo é submetido a uma pré-concentração por catação manual realizada pelos garimpeiros, que vendem (ou partilham) este pré-concentrado de molibdenita para outros garimpos que efetuam o seu beneficiamento, recebendo ao final do processo e após apuração da produção do concentrado de molibdenita, o preço combinado.

### **4. Caracterização Mineralógica e Química**

Para realização do trabalho “Recuperação de Molibdenita em Rejeitos de Garimpo” foram coletados durante o mês de janeiro de 2007, amostras de minérios, concentrados e rejeitos, em diversos garimpos da Serra de Carnaíba.

A caracterização química e mineralógica foi realizada nos laboratórios do CETEM, por meio de análise de fluorescência de raios-X, análise química e com auxílio de lupa binocular, difração de raios-X e análise de imagem em microscópio eletrônico de varredura-MEV (NEUMANN, R., FERNANDES, T. L. A. P., SILVA, E. E., 2007).

#### **4.1. Amostra de Minérios**

Na Tabela 1 pode ser observado os resultados da análise química do minério “ROM” coletado durante a visita a Pindobaçu. Verifica-se que os minérios apresentam teores diferenciados de molibdênio (0,21%, 0,50%, e 1,73% MoO<sub>3</sub>). Também contém teores elevados de MgO e de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> caracterizado pela presença de clorita/clinocloro e talco que é um silicato de magnésio e/ou alumínio hidratado, sempre presente nos xistos.

Tabela 1- Análise química de minérios (ROM) de garimpos de Carnaíba.

Componentes (%)	Minérios (ROM) de Garimpos		
	Paulo	Marota	Fernando
SiO <sub>2</sub>	50,52	43,59	45,83
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,13	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,88	12,19	17,83
MgO	4,86	17,27	5,8
MnO	0,04	0,16	0,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,06	7,71	6,08
CaO	1,36	2,82	1,49
Na <sub>2</sub> O	4,3	1,41	3,67
K <sub>2</sub> O	3,02	5,82	5,6
F	0,00	2,06	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	1,25	0,23
MoO <sub>3</sub>	0,21	0,57	1,73
P. fogo	9,32	3,77	9,41

Na Tabela 2 encontra-se resumido a mineralogia das amostras coletadas nos Garimpos da Serra de Carnaíba. Verifica-se a presença de dois tipos de minérios distintos, o primeiro (Garimpos do Paulo e Marota) apresenta talco em sua composição e o segundo (Garimpo do Fernando) sem a presença do talco. A presença do talco interferirá na flotação da molibdenita (talco e molibdenita são hidrofóbicos).

Tabela 2- Mineralógica das amostras (ROM) dos Garimpos de Carnaíba.

Composição mineralógica (ROM) de Garimpos		
Paulo	Marota	Fernando
biotita	biotita	biotita
talco	talco	
albita	albita	albita
molibdenita	molibdenita	molibdenita
clinocloro		clinocloro

#### 4.2. Amostra de Rejeitos

Como pode ser observado na Tabela 3, os teores de molibdênio nos rejeitos coletados, são significativamente baixos (211 ppm, 162 ppm e 116 ppm Mo), inferindo uma boa recuperação no processo utilizado.

Tabela 3 – Análise química do rejeito da Flotação A// Minérios.

Mo (ppm) nos rejeitos de Garimpos		
Sérgio	A// Minérios	Tio Zé
211	162	116

Os estudos mineralógicos sobre grau de liberação da molibdenita em relação à sua ganga, mostraram que a mesma encontra-se 100% liberada na fração passante em 600 µm.

Os rejeitos das Flotações A// Minérios, Tio Zé e do Sérgio possuem distribuições granulométricas semelhantes, com p<sub>80</sub> na faixa de 850 µm, indicando a necessidade de um aumento no tempo de moagem ou fechamento da

grelha do moinho, de forma atingir uma maior liberação da molibdenita ( $p_{80}$  ideal  $600 \mu\text{m}$ ). A similaridade encontrada na distribuição granulométrica dos rejeitos dos garimpos pode ser explicada pelo uso de equipamentos de cominuição comum na região, isto é, o mesmo tipo de moinho de martelos empregado por todos os garimpos.

#### 4.3. Amostra de Concentrado de Molibdenita

A análise química do concentrado de molibdenita coletado no Garimpo do Paulo apresentou um teor de 51,5% de Mo (equivalente a 85,8%  $\text{MoS}_2$ ), abaixo do teor comercializado internacionalmente que é 90% de  $\text{MoS}_2$ , para os concentrados de molibdenita.

### 5. Beneficiamento Mineral

Os ensaios realizados com os minérios dos Garimpos do Paulo, da Marota e do Fernando, propiciaram a elaboração de uma rota preliminar de beneficiamento para recuperação da molibdenita contida nos rejeitos da garimpagem da esmeralda na Serra de Carnaíba. Genericamente, o beneficiamento desses minérios deverá ser constituído das seguintes etapas de: britagem, moagem, separação gravítica em mesas oscilatórias/espirais concentradores e flotação *rougher* e *cleaner*. Na Figura 2 pode ser observado um diagrama em blocos, do processo sugerido para beneficiamento da molibdenita.

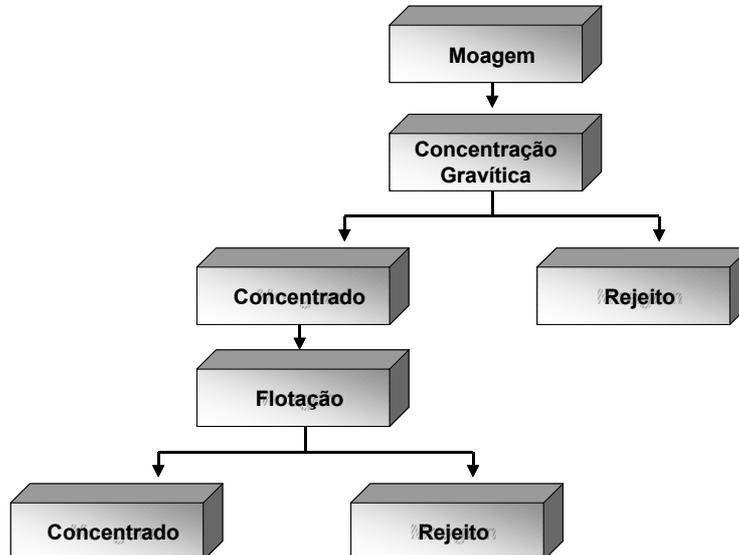


Figura 2 – Diagrama em blocos para beneficiamento dos minérios de molibdênio (ROM) dos Garimpos do Paulo, da Marota e do Fernando.

#### 5.1. Britagem e Moagem

Os minerais-minério devem estar liberados para responderem com eficiência, aos processos de beneficiamento por flotação. Neste contexto, para obter grãos minerais de molibdenita liberados, estes devem estar com uma granulometria 80% passante em  $600 \mu\text{m}$  (grau de liberação da molibdenita em relação aos minerais de ganga),

daí a necessidade do processo de cominuição que pode ser realizado em britadores de mandíbulas, seguido pela moagem em moinho de martelos e/ou bolas.

## 5.2. Concentração Gravítica

Os minérios dos Garimpos do Paulo e da Marota são constituídos, em sua grande maioria, pelos minerais biotita e talco. O talco é um mineral naturalmente hidrofóbico (não possui afinidade por água) como a molibdenita, desta forma, no beneficiamento por flotação, o talco é flotado com a molibdenita, resultando numa diminuição do teor de MoS<sub>2</sub> (molibdenita) no concentrado.

O processo de concentração gravítica em mesa oscilatória ou concentradores centrífugos poderia, ser utilizado na obtenção de um pré-concentrado de molibdenita com baixos teores de talco.

O minério do Garimpo do Fernando não apresentou talco em sua mineralogia, logo, não é necessária a etapa de concentração gravítica anterior a flotação.

## 5.3. Flotação

O estudo de flotação foi realizado em uma célula DENVER Mod D12 de laboratório, com uma cuba de 3 L e amostras de 1 kg. O coletor (espumante) utilizado no processo de flotação da molibdenita foi óleo de pinho, que servia para formação de espuma (fase hidrofóbica).

A flotação da molibdenita foi realizada em duas etapas denominadas de *rougher* e *cleaner*. A etapa *rougher* é o estágio inicial, tem a função de promover a primeira separação entre a molibdenita e os minerais contaminantes e a etapa *cleaner* é o estágio de limpeza do concentrado da flotação que teve por objetivo aumentar o teor de molibdenita no concentrado final.

Os ensaios de flotação realizados com o minério do Garimpo do Fernando propiciaram concentrados com 25% de Mo na etapa *rougher* e 45% de Mo na etapa *cleaner*. A recuperação global do processo foi de 85%. Na Tabela 4 podem ser observadas as condições operacionais dos ensaios de flotação da etapa *rougher* e *cleaner*. Não foi adicionado coletor (espumante) na etapa *cleaner*.

Tabela 4 – Condições operacionais do processo de flotação.

	Etapa <i>rougher</i>	Etapa <i>cleaner</i>
pH	7 - 8,5	7 - 8,5
Tempo de condicionamento com óleo de pinho	2 min	2 min
Concentração do óleo de pinho	150 g/t	-
% de sólidos no condicionamento	37	
% de sólidos na flotação	30-15	
Tempo de flotação	2 min	1 min

Os ensaios de flotação realizados com o minério dos Garimpos do Paulo e da Marota propiciaram concentrados com baixo teor de molibdênio (~20% Mo) devido a flotação conjunta do talco presente nesse minério.

## 6. Considerações Finais

Atualmente, a Serra de Carnaíba, na região de Pindobaçu, BA, é a única produtora de concentrado de molibdênio (molibdenita) do país. Existe uma produção artesanal (garimpagem) de aproximadamente 5 t/ano de molibdenita.

O atual preço do molibdênio no mercado internacional (US\$ 35/kg MoO<sub>3</sub>) incentiva a busca por essa *commoditie*. Na região de Pindobaçu o concentrado de molibdenita com 40% de MoO<sub>3</sub> é comercializado por R\$ 40 /kg.

O minério deve ser cominuído a uma granulometria de 600 µm (90% passante), de forma a propiciar uma boa liberação da molibdenita em relação aos seus minerais de ganga.

O processo de flotação para ser utilizado, comercialmente, na recuperação da molibdenita em rejeitos de garimpos da Serra de Carnaíba, deve ser previamente investigado em escala de laboratório e usina piloto. A presença de talco no minério pode prejudicar o teor nos concentrados de molibdenita.

Para recuperação da molibdenita associada ao talco, o processo gravítico em mesas oscilatórias e/ou concentradores centrífugos poderia ser uma opção barata de investimento, para tanto, deverá ser testada em escala piloto.

Da mesma forma, a realização de um estudo detalhado sobre reagentes depressores para o talco (principal contaminante da molibdenita) no processo de flotação, propiciaria o aproveitamento de outros depósitos minerais na Serra de Carnaíba, onde o talco é o principal contaminante.

## 7. Referências Bibliográficas

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, “Molibdênio”, *Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM*, V.34, Brasília, Brasil, 2006.

DANA, H. “Manual de Minerologia”, in: *Livros Técnicos e Científicos Editoras S.A*, 3 ed, RJ, Brasil, 1971.

<http://www.imoa.info/>

<http://www.the-infoshop.com/study/info51123-molybdenum.html>

MAGYAR, M. J., “Molybdenum”, *Minerals Yearbook*, USGS, 2007.

MOREIRA, M. D. e SILVA, R.W.S. “Esmeralda de Carnaíba, Bahia: Geologia e Desenvolvimento de Garimpo”, In: *Série Arquivos Abertos*, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Salvador, Brasil, 2006.

NESI, J.R., “Molibdênio”, in: *Sumario Mineral Brasileiro*, RN, Brasil, DNPM, 2007.

NEUMANN, R., FERNANDES, T. L. A. P., SILVA, E. E., “Caracterização de Molibdenita contida em Rejeitos de Garimpo da serra de Carnaíba, BA”, *Relatório Interno de Projeto*, Rio de Janeiro, Brasil, Cetem, 2007.

OLIVARES, G., “Mercado Nacional e Internacional Del Molibdno”, *Comision Chilena Del Cobre*, 2005.