

## COMINUIÇÃO<sup>5</sup>

João Alves Sampaio\*; Homero Delboni Jr.\*\*

### 1. ESTADO DA ARTE

A operação unitária de cominuição é parte constituinte da maioria dos empreendimentos mineiros. Assim, com exceção de minérios naturalmente cominuídos, a mineração inclui etapas de fragmentação, englobando desde o desmonte na mina até os produtos finais, ou ainda intermediários, para etapas subseqüentes de transporte, concentração física de minerais ou metalurgia extrativa.

A energia despendida nos processos de fragmentação é o principal fator que modula os custos de operação e investimentos em circuitos industriais de britagem e moagem. Os custos associados à fragmentação de minérios são função, entre outros aspectos, da granulação requerida e acompanham o consumo de energia específica. Seguindo a divisão clássica da fragmentação em operações de desmonte, britagem e moagem, a energia específica aumenta em uma ordem de magnitude nessa seqüência. Assim, enquanto operações de desmonte de rocha por explosivo consomem cerca de 0,1 kWh/t, em britadores, atinge valores da ordem de 10 kWh/t, e em circuitos de moagem. Nas etapas de pulverização, moagem fina ou micronização, o consumo específico pode atingir até 100 kWh/t.

No final dos anos 50, Bond propõe uma equação paramétrica que atingiria uma sobrevida espetacular, sendo usado no dimensionamento dos moinhos e na caracterização de minérios quanto à cominuição. Ainda hoje, as leis de Kick, Rittinger e Bond fornecem boas estimativas preliminares para o cálculo da energia necessária às etapas de britagem, moagem e moagem fina, respectivamente. Em particular as contribuições de Bond resultaram num método de cálculo de potência consumida por moinhos, ensaios de caracterização de minérios quanto à abrasão e britagem, além de cálculo de tamanhos máximos de corpos moedores.

Na década de 80, uma iniciativa governamental dos EUA para melhoria do desempenho energético de circuitos de cominuição estimou que 1,5% da energia elétrica gerada naquele país era utilizada em circuitos industriais de britagem e moagem, incluindo a energia empregada para produção de corpos moedores. O mesmo estudo indicou que essas melhorias poderiam acarretar em diminuição de 20 MWh anuais, que, a preços atuais, significariam cerca de 1 bilhão US\$.

O cenário que dominou as décadas subseqüentes foi de grupos de pesquisa dedicados a dois temas principais. O primeiro tema foi o desenvolvimento de métodos mais elaborados de previsão de desempenho de equipamentos e, o segundo, liderado pela

---

<sup>5</sup> Versão preliminar, sujeita a discussões no Seminário a ser realizado em novembro de 2006.

\* Doutor pela COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tecnologista do CETEM. jsampaio@cetem.gov.br

\*\* Professor da USP - Universidade de São Paulo.

indústria de equipamentos, com dedicação ao projeto e construção de equipamentos com maiores potências instaladas.

Atualmente, os resultados mais significativos dos esforços de pesquisa e desenvolvimento são simuladores integrados, amplamente empregados nas áreas de projeto e melhoria de desempenho de circuitos de britagem e moagem. Como as pesquisas, na sua maioria, foram subsidiadas pela própria indústria, os avanços se deram na modelagem de equipamentos mais comuns em usinas industriais de minérios metálicos. Áreas como tratamento dos minerais industriais que incluem, por exemplo, britagem por impacto, moagem a seco e micronização, receberam proporcionalmente menor atenção.

A principal vertente de pesquisas aplicadas à fragmentação constitui-se na assim denominada visão holística do processo, qual seja, integração das operações de britagem e moagem ao desmonte, bem como a previsão de grau de liberação do produto moído.

Os métodos conhecidos como Mina a Usina (*Mine-to-Mill*) incluem rotinas de previsão da curva de desmonte com base nas características da rocha e do maciço rochoso, plano de fogo, características dos explosivos, entre as principais variáveis. O minério desmontado é então simulado em etapas de britagem, seguidas de moagem. A literatura específica apresenta vários relatos de aumentos significativos de produção resultantes da implementação de programas.

A previsão do grau de liberação é uma etapa que, apesar de complexa por natureza, resulta em avanços importantes, na atualidade. Nesse caso, a caracterização tecnológica tem importância fundamental, notadamente na definição da textura do minério e sua estrutura cristalina. A forma de aplicação de energia e sua relação com o fraturamento determinam a liberação das espécies presentes. A quantificação da liberação dos minerais presentes é a etapa que deverá ligar modelos de equipamentos de cominuição aos de concentração, como flotação e métodos densitários.

Uma comparação simples entre os equipamentos de cominuição instalados em usinas atuais e aqueles implementados há 25, anos mostra os resultados de evoluções em equipamentos pré-existent, ou seja, os princípios empregados e a concepção mecânica de moinhos e britadores são essencialmente os mesmos. Poucos são os equipamentos que podem ser considerados revolucionários, contrastando assim com a tendência de evolução contínua. Dentre os novos equipamentos destaca-se o moinho de rolos de alta pressão (HPGR - *High Pressure Grinding Rolls*). Mesmo que não seja considerado totalmente original, dada a existência de precursores, é inegável que as inovações incorporadas aos HPGR ampliaram o espectro de aplicações. Dentre os fatores que contribuíram para o crescente sucesso do moinho de rolos de alta pressão estão: a faixa granulométrica do produto, o consumo energético e a criação de microfissuras que proporcionam a diminuição da resistência do produto e/ou maior acessibilidade à lixiviação de minérios portadores de metais preciosos.

A área de controle de processos de cominuição apresentou um crescimento surpreendente nas últimas duas décadas, acompanhando assim o desenvolvimento dos computadores. Se na década de 70 os sistemas mais modernos eram aplicados a

malhas simples de controle, atualmente os sistemas especialistas incluem técnicas sofisticadas como inteligência artificial, redes neurais etc., aplicados com sucesso em usinas industriais de cominuição, em controles otimizantes de malhas isoladas ou de processos integrados.

## **2. AGENDA**

2.1 Desenvolver ou melhorar os modelos de simulação de processos de cominuição.

Investimento: R\$ 500.000,00/anual.

2.2 Desenvolver processos de moagem que resultem em menor consumo de energia, pois o custo de energia no Brasil é considerado muito alto em relação a outros países.

Investimento: R\$ 1.000.000,00/anual.

2.3 Avaliar o potencial do uso de britadores de rolos de alta pressão (HPGR) nos processos de cominuição.

Investimento: R\$ 300.000,00/anual.

2.4 Estudar os processos de micronização, principalmente para os minerais industriais, em que o consumo de energia é o mais elevado de todos os processos de cominuição.

Investir R\$ 500.000,00/anual.

2.5 Estudar e/ou melhorar os materiais usados em revestimentos de equipamentos de cominuição e meio moedor.

Investimento: R\$ 300.000,00/anual.

