



14. ESTUDOS DA OPERAÇÃO UNITÁRIA DE MOAGEM POR MEIO DE
TRAÇADORES RADIOATIVOS

por

M. R. AUN
J. O. N. M. de CASTRO

IPR / CBTN

Apresentado no 19 ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS
COPPE/UFRJ 24 e 25 de maio de 1973 Ilha do Fundão

ESTUDOS DA OPERAÇÃO UNITÁRIA DE MOAGEM POR MEIO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

M. R. AUN /
J. O. N. M. CASTRO

Introdução.

A operação unitária de moagem vem sendo utilizada pela indústria através dos séculos, com base apenas em dados empíricos obtidos na prática industrial. A complexidade dos fenômenos que ocorrem no interior do moinho, bem como a presença de partículas irregulares, induziram os pesquisadores a estudar modelos fenomenológicos, que descrevessem o comportamento e as propriedades do sistema moinho-carga em termos de quantidade observáveis experimentalmente, sem visar a explicação de suas causas.

Uma teoria descritiva do processo real permitirá que o projeto, o controle e a previsão do desempenho de um moinho possam ser feitos cientificamente, visando a otimização do sistema.

Desenvolvimento da Teoria.

Epstein (1), em 1947, foi quem primeiro formulou um modelo baseado em dois parâmetros simples, capazes de receber uma interpretação física, e que enfeixam todos os fenômenos que ocorrem no moinho: a função de seleção e a função de quebramento.

A partir destes conceitos, começaram a aparecer os modelos matemáticos para a descrição do fenômeno. Gardner e Austin (2) contribuíram decisivamente para a aplicação prática dos modelos, desenvolvendo técnicas para a determinação experimental das funções básicas utilizando os traçadores radioativos, e introduzindo uma equação de balanço de população contínua no tempo. Sendo $P(y, t)$ a quantidade de material de um determinado tamanho y existente em um tempo de moagem t , a equação é dada por:

$$P(y, t) = \left[\begin{array}{l} \text{fração de material de di} \\ \text{mensão menor que } y \text{ pr} \\ \text{e sente no tempo } t = 0. \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{fração de material produ} \\ \text{zido pela quebra de mate} \\ \text{rial maior que } y \text{ após um} \\ \text{tempo de moagem } t. \end{array} \right]$$

ou seja,

$$P(y, t) = P(y, 0) + \int_0^t \int_y^{x_m} \left[\frac{\partial P(x, t)}{\partial x} \right] S(x) B(y/x) dx dt \quad (1)$$

onde,

$S(x)$ é a função de seleção, definida como a fração de peso das partículas de um determinado tamanho x que é quebrada por um tempo de moagem.

$U(y/x)$ é a função de quebramento, definida como a fração de peso do material de dimensão x que, por quebramento primário, passa a ter dimensão menor que y .

Porém, o método de solução da equação (1) proposto por Gardner e Austin fornece soluções contínuas em relação ao tamanho e descontínuas em relação ao tempo, implicando em duas restrições:

i - na determinação das funções básicas utilizamos os intervalos de tamanhos dados pela série de peneiras, sendo difícil obter medidas contínuas em relação ao tamanho.

ii - a não continuidade em relação ao tempo dificulta a extensão do modelo a moinhos operando em regime contínuo.

Dai surgiu o estudo de Reid (4), que desenvolveu um método que fornece soluções contínuas em relação ao tempo discretizadas em relação ao tamanho, facilitando a utilização prática do modelo, tanto para moagem em bateladas, quanto para moagens contínuas. Sua solução exige que as funções de seleção sejam independentes do tempo, o que tem sido verificado experimentalmente por vários autores. É necessário, entretanto, que esta condição seja verificada para cada situação experimental.

Técnica Experimental.

Utilizando um moinho de 20 cm de diâmetro por 30 cm de comprimento foi testado o modelo de Reid, com a técnica de determinação das funções básicas de Gardner e Austin, para prever as distribuições granulométricas de uma hematita friável, após diversos tempos de moagem. Cada fração granulométrica a ser estudada era retirada por peneiramento da amostra a ser moída e levada ao reator Triga do Instituto de Pesquisas Radioativas, para a formação do isótopo radioativo Fe-59. Assim, cada fração marcada pôde ser detetada sem a interferência das demais.

Estudo de Moagem em Batelada.

Nos testes em batelada, cada fração marcada era novamente mis

furada na amostra total e posta a moer por intervalo de tempo d_z terminado. Uma amostra era então retirada do moinho para a análise; após um peneiramento rigoroso em um peneirador tipo Denver as amostras eram levadas a uma cadeia de contagem Hewlett-Packard para a determinação da distribuição do material marcado presente nos diversos intervalos granulométricos.

A amostra retirada era novamente incorporada à carga do moinho e o processo repetido para outro tempo de moagem. Os dados assim obtidos permitem o cálculo direto da função de quebramento da fração marcada. Diversos pesquisadores verificaram que a função de quebramento é normalizável, isto é, depende, não do valor absoluto das dimensões das frações granulométricas em estudo, mas da relação entre elas. Isto causa sensível diminuição no trabalho experimental porque:

i - é possível, marcando-se apenas a fração superior, determinar todas as funções de quebramento.

ii - Um processo de cálculo inverso, descrito a seguir, permite o cálculo, por computador, das funções de seleção, eliminando a necessidade de sua medida experimental.

O Processo de Cálculo Inverso.

A função de seleção da fração granulométrica superior pode ser calculada diretamente dos dados experimentais. De posse deste valor, das funções de quebramento e da variação de granulometria com o tempo, é possível pesquisar-se, por computador, qual o valor da função de seleção (que, por definição, varia entre zero e um) da segunda fração granulométrica que melhor reproduz, a partir do modelo, os dados experimentais. Obtida a função de seleção da segunda fração, é possível calcular-se a da terceira, e assim por diante.

Este processo, embora economize trabalho experimental, tem a desvantagem intrínseca de propagar rapidamente possíveis erros experimentais. Portanto, sua aplicação a uma grande série de peneiramentos deve ser feita com cautela.

Resultados Experimentais.

As distribuições granulométricas foram calculadas pelo modo

to e comparadas com medidas diretas, para diversas configurações de moagem: moinho de bolas de diversos diâmetros com uma ou duas câmaras para diferentes cargas de minério, moinho de barras. Observou-se que o cálculo das distribuições, utilizando as frações de peso para a determinação das funções básicas, fornece valores mais próximos das medidas experimentais que quando se usa as frações de atividade. Isto é explicado pelo acréscimo no erro causado pela marcação de determinada fração. Porém, o cálculo usando frações de peso só pode ser feito para a fração mais grossa do material, tornando pois, o traçador radioativo de enorme utilidade no estudo da operação de moagem.

Na figura 1 apresentamos a distribuição granulométrica obtida para o moinho operando em batelada, com bolas de 19 mm de diâmetro, para diversos tempos de moagem. É apresentada a distribuição experimental e a calculada pelo modelo; podemos observar uma ótima concordância de resultados. Os resultados obtidos para demais configurações foram bastante semelhantes a este. (4,5,6)

Estudos da moagem em regime contínuo.

No caso de um moinho trabalhando em regime contínuo temos, além dos problemas já mencionados na moagem em batelada, o problema adicional causado pelo fato de que o material que entra no moinho em um dado instante t abandona o moinho a tempos que, teoricamente, variam entre $t + dt$ e infinito, ou seja, o material apresenta uma distribuição de tempo de permanência (DTP) no interior do moinho.

Sendo os traçadores radioativos um dos modos mais adequados para se medir esta DTP, é natural que se tente, determiná-la em uma única experiência, juntamente com as funções básicas.

Foram estudadas diversas configurações experimentais dentro desta técnica. Os resultados, bastante aceitáveis no caso de um moinho de bolas com uma câmara, tornavam-se progressivamente piores quando se passava para o moinho de duas câmaras e o moinho de barras. Isto parece ser devido ao modo pelo qual o material é transferido da entrada para a saída do sistema: quando esta transferência se faz de um modo próximo ao de um "misturador perfeito",

conseguem-se bons resultados; à medida que o sistema se afasta de um misturador perfeito, os resultados pioram. A fig. 2 mostra as curvas da DTP para diversos casos, comparadas com a DTP de um misturador perfeito.

Em vista destes resultados, mediram-se as funções de seleção e quebramento em um teste em batelada e a DTP separadamente. Estes dados permitiram obter sistematicamente boas previsões de granulometria em regime contínuo. A figura 3 mostra um resultado típico desta previsão.

Conclusões.

Os resultados obtidos mostram que:

i - As hipóteses feitas para aplicação do cálculo inverso (função seleção independente do tempo e função quebramento normalizável) não são completamente verificadas na prática. Apesar disto conseguem-se excelentes previsões de granulometria, na faixa de tempo estudada. É de se esperar que extrapolações conduzam a resultados mais pobres.

ii - Para o estudo de sistemas em regime contínuo não é conveniente tentar-se a determinação das funções de seleção e quebramento em um teste contínuo. Dada a virtual impossibilidade de operar-se um moinho industrial no regime de batelada será necessário, quando se passar de escala de laboratório para a industrial, conhecer-se os fatores de escala adequados.

É na determinação destes fatores de escala que devem ser concentrados os esforços na fase atual dos estudos.

Referências.

1. EPSTEIN, B.J., Franklin Inst., 244, p. 471, - 1947
2. GARDNER, R.P. e AUSTIN, L.G., Proceedings of the First European Symposium on Size Reduction, p.127, Verlag Chemie GMBH, Frankfurt
3. MOREIRA, R.M., Tese de Mestrado, Curso de CCTN - 1971. UFMG
4. Reid, K.J., Chém. Eng. Sci., 20, p. 953 - 1965
5. CASTRO, J.O.N.M., Tese de Mestrado, CCTN - UFMG - 1971
6. AUN, M.R., Tese de Mestrado, CCTN - UFMG - 1972.

