

# ALTERNATIVAS DE CIRCUITOS DE MOAGEM PARA PELOTIZAÇÃO

Marcos Goossens (1)

Magno Rodrigues Ribeiro (2)

Gláucia Ellen de Moura (3)

## Resumo

Os circuitos de moagem que abastecem usinas de pelotização de minério de ferro apresentam características, equipamentos e fluxogramas diferentes. Isto em função do tipo de minério, da interação com usinas de concentração, da tecnologia disponível na época de projeto ou até mesmo da filosofia da projetista. As usinas que trabalham junto a concentrações em que a liberação ocorre em granulometria fina trabalham com circuito fechado, pelo menos até chegar a essa granulometria. O mesmo ocorre quando existe minério mais grosseiro, tipo “sinter feed” na alimentação dessa usina. Outras usinas, alimentadas exclusivamente por “pellet feed”, utilizam circuito aberto de moagem, buscando apenas atingir superfície específica para o pelotamento. O trabalho apresenta um comparativo, baseado em dados industriais, entre os circuitos aberto e fechado trabalhando com minério de mesma origem. Foi utilizada metodologia de medida da eficiência de geração de superfície específica. Conclui-se que, nos casos em que o fator limitante da operação de cominuição for o tamanho máximo das partículas, seria indispensável a presença de uma etapa de classificação. Uma classificação otimizada certamente levaria a ganhos de energia. Quando o objetivo da cominuição for o aumento de superfície específica, a classificação teria uma influência menor. Neste caso a otimização da operação ficaria mais por conta dos parâmetros operacionais (ex: densidade de polpa) e, principalmente, por manipulação de parâmetros geométricos, como por exemplo, diâmetro e formato dos corpos moedores, revestimentos etc.

**Palavras-chave:** moagem, ciclonagem, superfície específica

## Grinding Circuits Alternatives for Pelletizing Plants

### Abstract

Grinding circuits that feed iron ore pelletizing plants can show different characteristics, equipments and flow sheets, as a function of different kinds of ore, interaction with concentrator or available technology when it was built or even due to project philosophy. Plants that work together to concentrators, where liberation occurs at a fine size, should work in closed circuit until reach this size, at least. The same should happen when there is a coarse ore, like sinter feed in the feed of that plant. Other plants, that utilize exclusively pellet feed, can work in open circuit, only aiming to reach enough surface area to the balling. Based in industrial data and using the measurement of surface area generation efficiency, this paper shows a comparison of open and closed circuits, working with ore of same origin. The conclusion is that when the goal is the top size, a classification stage would be necessary. An optimized classification would certainly led to savings of energy. When the goal is the surface area increase, the influence of classification would be less important. In this case, operational optimization would be achieved by means of operational variables manipulation, like pulp density and mainly by manipulation of geometric parameters like size and shape of grinding media, liners, etc.

**Key-words:** grinding, hydrociclones, blaine, specific surface

### I. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O processo de pelotização originou-se da necessidade dos processos siderúrgicos, de serem alimentados por partículas grosseiras e da necessidade da mineração de liberar o mineral de ferro da ganga. O processo possibilitou também o aproveitamento de minério pulverulento e fino.

Para adequar resistência das pelotas, é prática freqüente uma cominuição adicional àquela necessária à liberação do minério.

Existem dois parâmetros principais que são controlados pelas usinas de pelotização:

- superfície específica, medida indiretamente em permeâmetros Blaine ou Fisher;
- tamanho máximo das partículas, expresso em porcentagem passante em 45 micrômetros.

No caso das Usinas de Pelotização do Sistema Sul da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), localizadas na Ponta de Tubarão, Vitória –

(1) Engenheiro de Minas - CVRD

(2) Engenheiro Metalurgista - CVRD

(3) Engenheira de Minas - Concremat

ES, utiliza-se circuito fechado por hidrociclones de 500 mm, com alimentação de minério direta no moinho. O circuito fechado neste caso é uma necessidade primordial, visto que, nesse caso, uma parte substancial da alimentação é de minério do tipo "sinter feed", ou seja, menor que 10 mm.

Outras usinas de pelotização, que são alimentadas predominantemente por "pellet feed", preferem o circuito aberto, o que significa uma substancial redução no investimento, já que são dispensados os hidrociclones, bombas, espessadores e demais periféricos que permitem a realização da classificação.

É fato conhecido que o circuito fechado é muito eficiente no controle do tamanho das partículas. Existe uma bibliografia bastante extensa a respeito e não é intenção deste trabalho discutir esse assunto. Em relação à geração de superfície específica entretanto, a literatura é mais rara. Este trabalho pretende exatamente discutir este ponto, ou seja, o efeito da classificação na geração de superfície específica.

## 2. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Ao longo dos anos diversos modelos têm sido propostos para correlacionar o consumo de energia da moagem com a resistência à fragmentação de partículas de diferentes tipos, tamanhos e formas. O mais antigo deles foi proposto por Rittinger, em 1867<sup>(1)</sup>, que lançou a chamada Primeira Lei da Cominuição ou Lei de Rittinger, que diz que o trabalho necessário para realizar a fragmentação é proporcional à nova superfície produzida.

Mourão et al.<sup>(2)</sup> desenvolveram um ensaio padronizado para a determinação do índice de moabilidade (IM), com base na teoria de Rittinger. Nesse ensaio a energia aplicada não é medida de forma tão precisa quanto nos moinhos de torque atualmente disponíveis. Através das equações desenvolvidas por Rowland e Kjois<sup>(4)</sup> pode-se calcular exatamente a energia aplicada nesse teste, chegando-se a uma energia ao valor de 232 Wh (ou 24,3 kwh/t). A validade da equação de Rowland para moinhos de laboratório foi comprovada experimentalmente em moinho de torque por Donda.<sup>(5)</sup>

Desta maneira, dividindo-se o Incremento de Superfície Específica por 24,3

temos a superfície específica em cm<sup>2</sup>/g gerada em 1 t de minério por 1 kWh de energia elétrica aplicada no pinhão do moinho (teórico). A este novo índice foi dado o nome de Índice de Moabilidade Intensivo (IMI).

Como o índice de moabilidade considerava uma energia de 1050 Wh, e a massa de minério ensaiado é de 9560g, para se chegar a um índice intensivo, obteve-se uma constante de transformação através da operação  $(232 \cdot 1000) / (1050 \cdot 9560)$ , obtendo-se o valor de 23,11. Portanto, considerando-se a correção dos fatores utilizados na metodologia atual, conclui-se que  $IMI = IM / 23,11$ .

## 3. METODOLOGIA

Foi feita uma comparação entre a operação em circuito aberto e fechado em uma mesma usina, a CVRD I. Aproveitou-se um período em que o espessador encontrava-se em manutenção e a moagem era forçada a trabalhar em circuito aberto. Compararam-se os dados dessa operação com os dados da operação normal, em circuito fechado durante os períodos imediatamente antes e depois da operação em circuito aberto. O índice de moabilidade neste caso durante esse tempo era elevado e variou no máximo 12% entre os lotes.

Deve ser ressaltado que a operação em circuito aberto nessa usina não é costumeira e que os procedimentos operacionais para circuito aberto não são tão otimizados como os para circuito fechado.

Foram levantados os dados operacionais referentes a cada 2 horas de operação, de 1 a 18 de março de 2003. Nesta ocasião estavam sendo produzidas pelotas tipo redução direta. Esses dados foram criticados, sendo eliminados os dados que apresentavam qualquer tipo de inconsistência. No total foram considerados 173 dados de operação em circuito fechado e 141 dados de operação em circuito aberto. Esses dados foram processados, sendo feito o gráfico seqüencial e calculadas as médias e desvios-padrão.

Julgou-se que seria interessante apresentar, além dos dados referentes à eficiência na geração de superfície específica, os dados referentes a granulometria (passante em 45 micrômetros) e os referentes à densidade de polpa na descarga dos moinhos. Esta última verificação visou apenas constatar um fato conhecido: na moagem em circuito aberto é necessário manter uma densidade de polpa ligeiramente inferior, visando manter a viscosidade ideal dentro do moinho.

## 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os moinhos da usina CVRD I possuem as seguintes características:

- diâmetro interno: 4,2 m; comprimento interno: 10,2 m;
- potência: 2 x 1500 kW (cada moinho);
- velocidade: 68,5 % da velocidade crítica;
- revestimento: borracha;
- enchimento: 36% do volume;
- corpos moedores: cylpebs, com reposição em 28 mm.

O Gráfico 1 apresenta os dados sequenciais de eficiência de moagem durante o período considerado.

A Tabela I apresenta o resumo dos dados obtidos durante o período. Nessa tabela, assim como no Gráfico 1, a eficiência de moagem foi obtida através da divisão da energia prevista pelo Índice de Moabilidade Intensivo (IMI) pela energia bruta efetivamente gasta na operação.

A análise feita com os dados que são resumidos nessa tabela I mostra que os valores de eficiência obtidos com ambos os métodos não apresentam diferença estatística significativa.

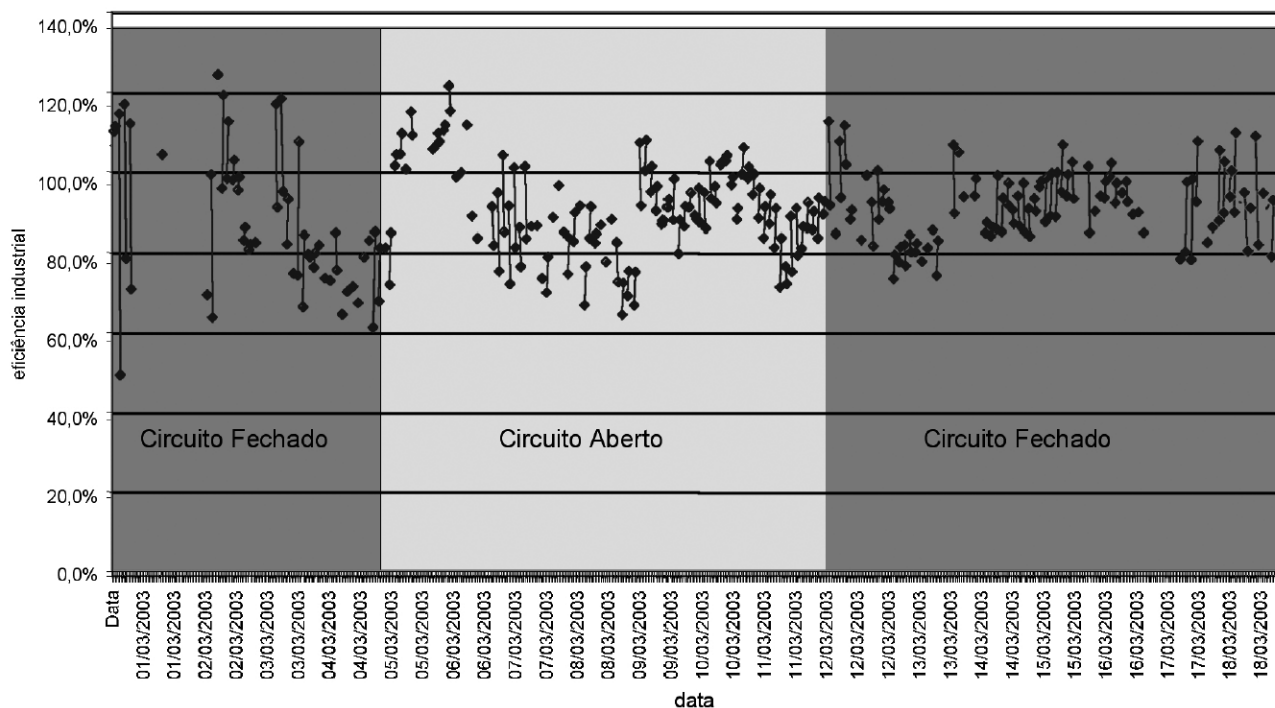


Gráfico 1. Eficiência Industrial de Moagem

Tabela I. Resultados da comparação entre circuitos abertos e fechados na Usina I

	Circuito Fechado	Circuito Aberto
Eficiência de Moagem - média	90,5%	89,8%
Eficiência de Moagem - desvio padrão	11,9%	11,7%
% > 45 micrômetros - média	83,9	77,7
% > 45 micrômetros - desvio padrão	6,2	3,1
% sólidos na descarga do moinho - média	81,5%	79,0%
Índice de Moabilidade Intensivo - média	83,8	79,7
Número de dados	173	141

## 5. CONCLUSÕES

As principais conclusões a serem tiradas dos dados apresentados são as seguintes:

- a moagem em circuito fechado é muito mais eficiente no controle do tamanho máximo de partículas, como é de amplo conhecimento. Com certeza trabalhos de otimização da classificação poderiam melhorar a eficiência para cada tipo de instalação e minério, minimizando o consumo energético para a obtenção de um determinado tamanho máximo de partícula;

- a geração de superfície específica, por outro lado, sofreria uma influência menor do circuito de classificação. Estaria mais ligada às condições de trabalho do moinho, tais como geometria e área superficial dos corpos moedores.

Os altos desvios-padrão obtidos nos dados levantados impedem conclusões mais fundamentadas. Os principais motivos dos desvios são:

- problemas com a estruturação de dados: os dados que foram utilizados foram coletados a partir da operação normal, sem que nenhum cuidado anterior tivesse sido tomado. Refletem portanto um grau de precisão compatível com o controle operacional, que é efetuado de maneira menos detalhada.

- o índice de moabilidade não foi determinado lote a lote na comparação feita na CVRD. São ponderações de dados históricos, cuja precisão é baixa.

Apesar das imprecisões, foi demonstrado com clareza que o circuito aberto é uma opção a ser considerada para toda e qualquer instalação de pelotização que seja alimentada por pellet feed.

Exemplo claro é a Usina de Pelotização de Fábrica (Congonhas – MG), alimentada exclusivamente por pellet feed. Como a alimentação não contém minério grosso, o circuito aberto apresenta vantagens como menor investimento, menores custos de energia de bombeamento e menores custos de desgaste de revestimentos de bombas e hidrociclones.

Uma vantagem adicional fornecida pelo circuito aberto é que a polpa sai diretamente dos moinhos para os tanques, não sendo resfriada em nenhum ponto do circuito. Essa temperatura mais alta favorece bastante a filtragem e o forno.

Nos casos em que o fator limitante da operação de cominuição for o tamanho máximo das partículas, seria indispensável a presença de uma etapa de classificação. Uma classificação otimizada certamente levaria a ganhos de energia.

Quando o objetivo da cominuição for o aumento de superfície específica, a classificação teria uma influência menor. Neste caso a otimização da operação ficaria mais por conta dos parâmetros operacionais (ex.: densidade de polpa) e principalmente por parâmetros geométricos, como por exemplo, diâmetro e formato dos corpos moedores, revestimentos etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RITTINGER, 1867 apud AUSTIN; KLIMPEL, 1964.
2. AUSTIN, L.G.; KLIMPEL, R.R. The theory of grinding operations. **Industrial and Engineering Chemistry**, v.56, n. 11, p.18-29, Nov. 1964.
3. MOURÃO, J. M.; TOLENTINO, J. J. R.; STEGMILLER, L.; SILVEIRA NETO, P. L. Avaliação da moabilidade dos finos de minério de ferro da CVRD e sua correlação com os parâmetros de produção dos moinhos industriais. In: ENCONTRO DO HEMISFÉRIO SUL SOBRE TECNOLOGIA MINERAL, 3., ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 15., São Lourenço, 1992. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Tecnologia Mineral, 1992. v. 1, p. 367-386.
4. ROWLAND, C. A.; KJOS, D. M. Rod and ball mills. In: KAWATRA, S. K. (Ed.). **Comminution practices**. Littleton, Colorado: SME, 1997. p. 319-338.
5. DONDA, J. D. **Um método para prever o consumo específico de energia na (re)moagem de concentrados de minérios de ferro em moinhos de bolas**. 2003. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.