

OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE MOAGEM DE BOLAS DO MINÉRIO FOSFÁTICO DA USINA DE BENEFICIAMENTO DE CATALÃO-GO/FOSFERTIL

Fábio D.P. da Costa¹, Júlio C. da Silva¹, Helder Souza¹ & Roberto Galéry²

¹ Equipe de Operação de Beneficiamento da Usina de Catalão/GO - Fosfertil
E-mails: fabiocosta@fosfertil.com.br, juliosilva@fosfertil.com.br, heldersouza@fosfertil.com.br

² Departamento de Engenharia de Minas da UFMG. E-mail: rgalery@demin.ufmg.br

RESUMO

O presente trabalho envolve a aplicação do modelo do balanço populacional em um estudo de otimização de Processo do circuito de moagem do minério fosfático de Catalão/GO. O estudo envolveu simulações utilizando os parâmetros de quebra baseado em dados obtidos de amostragem industrial da usina, para testes de moagem realizados num moinho de torque, em escala de laboratório combinado com a calibração do modelo a partir de resultados dos moinhos em escala industrial. O resultado após a modificação conforme indicado na simulação de otimização do processo de moagem na configuração dos moinhos de bolas em paralelo apresentou ganhos reais de aumento de capacidade gerando consequentemente ganhos em produção após a moagem otimizada.

PALAVRAS-CHAVE: Moagem, Simulação, otimização de Moagem

ABSTRACT

This work involves the application model balance sheet population for optimization process circuit milling for fosfate ore of Catalão/GO. The study involved simulations using parameters break based data obtained from sampling industrial power tests milling a windmill torque scale laboratory combined with the model calibration from results of Mills. The result after modification as indicated in the simulation optimization process milling configuration ball's miH's em parallel present real gains increase generating capacity consequently gains in production after milling optimized.

KEY WORDS: Milling, Simulation, optimization of Milling

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado no Complexo Mineraloquímico de Catalão (CMC) que tem como atividade principal a produção de Concentrado de Rocha Fosfática para obtenção de matérias-primas para o componente P (Fósforo) dos fertilizantes. No próprio complexo (CMC 2) realiza-se a obtenção do Superfosfato Simples (SSP). O CMC atende a clientes internos: os Complexos Industriais de Piaçaguera (CPG) e de Uberaba (CIU), por via férrea e rodoviária respectivamente e clientes externos.

A usina de beneficiamento do CMC possui todas as etapas para processo de concentração de fosfato Moagem, Separação Magnética de Baixa e Alta intensidade, Classificação, Deslamagem, Flotação distribuída em três circuitos (Grossos, Finos e Ultrafinos).

O beneficiamento da Rocha Fosfática se inicia na retomada da pilha de homogeneização que deve atender um teor médio em P_2O_5 e contaminantes (Fe_2O_3 , SiO_2 , BaO , CaO , MgO , SrO , entre outros) dentro das especificações da Usina. Mesmo se tratando de uma pilha de homogeneização as características da jazida proporcionam atualmente uma percentagem predominante de minério micáceo além de minerais mais competentes mecanicamente devido à presença de óxidos e silicatos.

A etapa de cominuição é a etapa responsável pela adequação da granulometria para as etapas posteriores de concentração de apatita e obtenção dos Concentrados, Convencional e o Ultrafino. Mesmo sendo uma etapa que obtém seus produtos com utilização de propriedades físicas, operar da melhor forma possível os circuitos de moagem provoca impacto direto na eficiência das etapas de deslamagem e flotação. Com possível diminuição do teor de P_2O_5 no rejeito final e melhor controle dos contaminantes, tudo isso através do grau de liberação do minério e dos minerais constituintes da rocha além de trabalhar da melhor forma o consumo de insumos, ou seja, está diretamente ligada aos custos de produção do concentrado de rocha fosfática.

O presente trabalho teve como objetivo otimizar a etapa de moagem por meio de alteração na configuração dos moinhos que até então eram utilizados em serie e passaram à configuração em paralelo.

2. EXECUÇÃO

2.1 Descrição da Usina de Beneficiamento

O processo é desmembrado em três circuitos: Grossos, Finos e Ultrafinos. A Usina de concentração do Complexo Mineraloquímico de Catalão (CMC) é composta da mais completa junção de etapas de concentração mineral: Retomagem, Moagem, Classificação, Separação Magnética de Baixa Intensidade (SMBI), Atrição, Deslamagem, Flotação de Barita, Flotação de Apatita e Separação Magnética de Alta Intensidade e com trabalhos em desenvolvimento de mais uma etapa de Flotação reversa de Apatita (Flotação direta de silicatos).

Os Circuitos de Moagem da Usina no CMC são constituídos de um Moinho de Barras com operação em aberto recebendo toda a alimentação da Usina determinando assim a etapa de moagem primária e mais dois Moinhos de Bolas com operação fechada e reversa, ou seja, possuem carga circulante para garantir a granulometria adequada nas etapas subsequentes. Os circuitos de moagem processam em média 870 t/h de minério base úmida ao longo de três turnos diários de oito horas. Tal massa alimentada resulta em uma produção de aproximadamente um milhão de toneladas com teor médio de 36% de P_2O_5 total.

A moagem primária é realizada a úmido com porcentagem de sólidos em torno de 70% em moinho de barras Allis Chalmers 3,81 m x 5,49 m, com motorização síncrona de 1500 HP e acionamento coroa-pinhão. A velocidade de rotação é de 67,2% da velocidade crítica. Como descrito anteriormente o equipamento opera em circuito aberto com grau de enchimento médio de 37,6% e carga de 125 t, constituída por barras com diâmetro de 88,9 mm e com 5,4 m de comprimento. A liberação de magnetita, objetivo dessa operação unitária, ocorre abaixo de 1,7 mm (Santos et AL, 2002). O produto da moagem primária alimenta um circuito de Separação Magnética de Baixa Intensidade. O produto magnético constituído fundamentalmente por magnetita é transportado para um conjunto caixa/bomba que transfere esse material para a barragem de rejeitos.

O produto não-magnético é transportado por gravidade a um conjunto caixa/bomba da carga circulante do circuito de moagem secundária onde o material é incorporado à descarga do moinho e bombeado para a classificação por ciclones fechando o circuito. A malha de liberação da apatita em minério constituinte é 0,21 mm (Santos et ai, 2002). O corte na classificação - que opera com pressões de trabalho situadas entre 0,8 e 1,0 kgf/cm² - ocorre em 0,10 mm (d80 do overflow). O underflow dos ciclones flui por gravidade e alimenta o moinho de bolas Allis Chalmers 4,88 x 6,05 m, com motorização de 2750 HP e sistema de descarga por diafragma.

A moagem secundária está configurada com operação reversa realizada com 78% de sólidos em massa e velocidade de rotação igual a 71,83% da velocidade crítica. A carga de corpos moedores é formada por bolas com diâmetro de 50 mm e seu grau de enchimento atinge 41,6%. O produto do circuito de moagem secundária (overflow classificação) alimenta a etapa de primeira deslamagem, onde seu underflow é direcionado ao conjunto caixa/bom-

ba da carga circulante do circuito de remoagem onde o material é incorporado à descarga do moinho e bombeado para a classificação por ciclones fechando o circuito.

A moagem terciária está configurada com operação reversa realizada com 77% de sólidos em massa e velocidade de rotação igual a 75% da velocidade crítica. A carga de corpos moedores é formada por bolas com diâmetro de 40 mm e seu grau de enchimento atinge 38%.

As configurações descritas acima foram visualizadas em dezembro de 2007 com visitas ao campo para realização desse trabalho. As demais operações unitárias realizadas sobre o overflow da classificação do circuito de remoagem são apresentadas pelo fluxograma na Figura 1.

2.2 Alterações realizadas

Na parada programada para manutenção realizada nos dias 08,09 e 10 de abril de 2008 a adequação do circuito de moagem secundária e do circuito de remoagem para configuração de suas operações em paralelo foi concretizada.

O produto da moagem primária não sofreu alterações, ou seja, continua alimentando a etapa de Separação Magnética de Baixa Intensidade. O produto não-magnético, após alteração, passou a ser transportado por gravidade aos dois conjuntos caixa/bomba de cargas circulantes dos circuitos que passaram a compor o estágio de moagem secundária, onde o material é incorporado à descarga dos moinhos e bombeado para as classificações por ciclones fechando os circuitos estabelecendo a operação em paralelo. A carga de corpos moedores é formada, após alteração, por bolas com diâmetro de 50 mm nos dois moinhos. O material composto pelos produtos dos circuitos de moagem secundária (overflow das classificações) alimenta a etapa de primeira deslamagem e segue sequência do processo de separação das lamas e concentração por flotação nas frações grossa, fina e ultrafina.

Em seguida realizou-se, no dia 16/04/2008, uma campanha de amostragem objetivando a avaliação do comportamento do processo na nova condição. Os resultados obtidos com essa amostragem serão descritos a seguir.

2.3 Modelo do balanço populacional

O modelo do balanço populacional utilizado neste estudo é dado pela equação (1), abaixo:

$$\frac{dM_i(t)}{dt} = -S_i M_i(t) + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ji} S_j M_j(t) \quad (1)$$

Na equação (1), $M_i(t)$ é a fração em massa de partículas contidas no intervalo de tamanho i após o tempo t de moagem; S_i é a velocidade específica de quebra das partículas de tamanho i , b_{ji} representa a distribuição sofrida pelos fragmentos após a quebra. É conhecido também como função quebra e representa a fração de material do tamanho superior j que após a quebra se dirigiu para o tamanho i . Geralmente assume-se que a função quebra é uma característica do material, enquanto que a taxa específica de quebra depende das condições de moagem.

O outro parâmetro, a Função Seleção ou a velocidade específica de quebra, S_i . Para as diversas faixas granulométricas de tamanho, a forma funcional discretizada da velocidade específica de quebra pode ser representada pela equação (2):

$$S_i = \alpha_0 \left(\frac{x_i}{x_m} \right)^\alpha \cdot Q_i \quad (2)$$

Na equação (2), o parâmetro α_0 é característico do material e sua unidade é igual a tempo⁻¹. O segundo parâmetro α_1 depende das condições de moagem. A Fig. 1 mostra o resultado típico da variação da velocidade específica de quebra, S^e , em função do tamanho de partículas, x_i para as moagens de bolas do minério fosfático de Catalão.

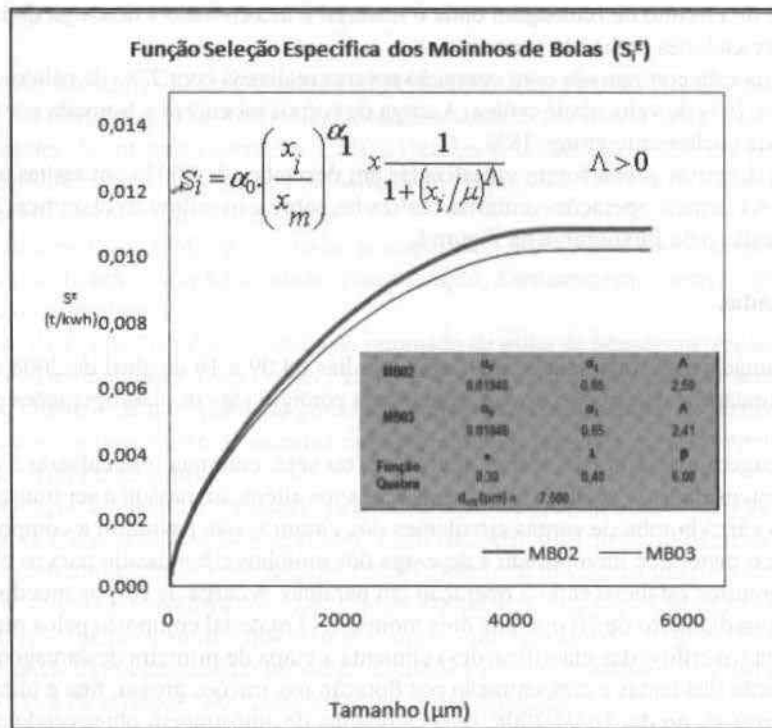


Fig. 1 - Velocidade específica de quebra em função do tamanho da partícula.

3. RESULTADOS

3.1 Granulometria do Produto das Moagens

A tabela 1 apresenta o resumo sobre as granulometrias dos produtos dos circuitos de moagem secundária, compostos pelos moinhos 320-MB-002 e 320-MB-003 antes e após a modificação.

Tabela: 1 - Resumo da Granulometria do Produto Final das moagens

	320-MB-002			320-MB-003		
	F80(μm)	P80(μm)	Taxa de Redução	F80(μm)	P80(μm)	Taxa de Redução
Projeto	691	247	2,8	400	150	2,67
Série	388	102	3,8	263	144	1,83
Paralelo	929	158	5,88	929	155	5,99

Pela análise dos resultados apresentados na tabela 1 verifica-se que a opção dos moinhos em paralelo provocou um ligeiro acréscimo no tamanho do produto do circuito constituído pelo 320-MB-003, no entanto o P_{80} continua próximo ao requerido pelo processo subsequente de flotação de apatita. Outro ponto relevante é o aumento da relação de redução, mas este incremento foi substancialmente afetado pelo aumento do F_{80} resultado do aumento da taxa de alimentação do moinho de barras.

O gráfico a seguir apresenta as curvas de distribuição granulométrica dos produtos dos dois circuitos, assim como a junção dos mesmos que forma a alimentação da etapa de deslamagem.

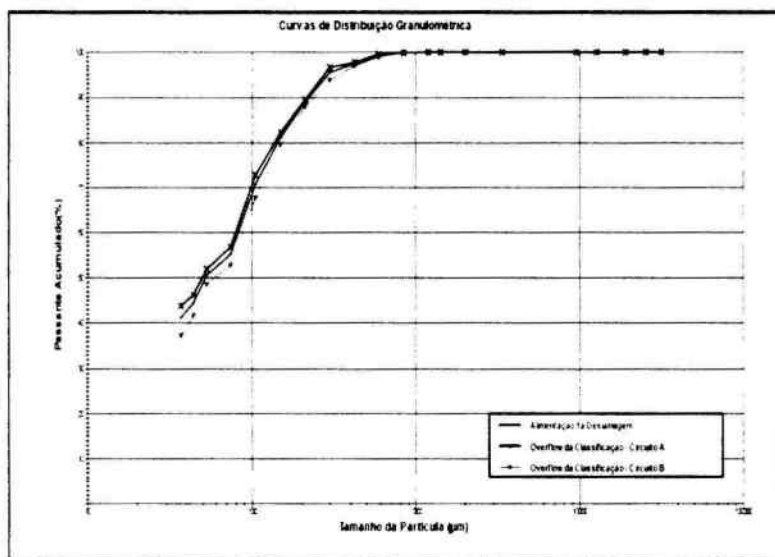


Fig. 2 – Curvas de distribuição granulométrica.

A análise dos resultados apresentados no gráfico da figura 2 demonstra que a alimentação da deslamagem apresenta valor próximo a 0,156 mm, ou seja garante valor representativo de liberação do mineral de interesse.

3.2 Potências dos Moinhos

A tabela 2 apresenta o resumo das Potências dos Moinhos antes e após a modificação.

Tabela: 2 - Resumos das Potências dos Moinhos

Operação em Série (ALPL 870t/h) x Operação em Paralelo (ALPL 900t/h)							
Estágio	Tipo de Moinho	Tamanho do Moinho (ft)	Potência Instalada (kW)	Potência Consumida		% Potência Utilizada	
				Circuito Série (kW)	Circuito Paralelo (kW)	Circuito Série (%)	Circuito Paralelo (%)
Primário	Barras	12,5' x 18,0'	1119	862	990	77	88
Secundário	Bolas	16,0' x 20,0'	2050	1940	1890	95	92
Terciário	Bolas	12,5' x 19,0'	1491	1340	1240	90	83

Pelos resultados apresentados na tabela 2 verifica-se um acréscimo da potência consumida para as moagens primária e terciária, o primeiro em função do incremento da alimentação e o segundo pelo desvio de parte do fluxo da moagem secundária para este último após a modificação para configuração em paralelo.

A redução da potência da moagem secundária foi em função de dois motivos. Um mencionado anteriormente o desvio de parte do fluxo da moagem secundária para a moagem terciária e o segundo em função da redução do nível de carga circulante de 3% devido à maior eficiência de moagem.

4. CONCLUSÃO

Para obtenção do grau de liberação e ganho de capacidade a opção de moinhos em paralelo maximiza a produção desde que a flotação suporte o aumento da massa.

Os resultados apresentados após a implantação do projeto confirmam uma operação de moagem secundária otimizada, conforme simulado na etapa inicial do projeto.

A operação da moagem otimizada possibilitou o acréscimo de 8% na taxa horária de alimentação, porém o processo ainda possui limitações a serem superadas nas etapas anteriores e subsequentes para obtenção de um real aumento de produção.

Outro fato importante é a utilização racional do insumo - Energia Elétrica, pois havia um desvio operacional de consumo relacionado ao 320-MB-003, já que esse consumia energia sem realizar redução granulométrica, o que não ocorre na operação em paralelo.

5. Referências Bibliográficas

- Beraldo, J. L. Moagem de minérios em moinhos tubulares. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.
- Chaves, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios - Volume 1. São Paulo: Signus, 2006.
- Chaves, A. P.; Peres, A. E.C. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios -Volume 3 - Britagem, Peneiramento e Moagem. São Paulo: Signus, 2006.
- Chaves, A. P.; Peres, A. E.C. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios -Volume 4 - Flotação. São Paulo: Signus, 2006.
- Bond, F. C. The Third Theory of Comminution. Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 1952.
- Bond, F. C. Crushing and Grinding Calculations. British Chemical Engineering, 1961. GY, P. M. The Sampling of Particulate Materials - A General Theory. Symposium of Sampling Practices in the Mining Industries. Melbourne, 1976.
- GY, P. M. Sampling of Particulate Materials - Theory and Practice. Elsevier, Amsterdam, 1982.
- Lynch, A. J. Mineral Crushing and Grinding Circuits - Their simulation Optimization and Control. Amsterdam: Elsevier, 1977.
- Mular, A. L. Design and Installation of Comminution Circuits. Editorial Board, New York, 1982.
- Wills, B. A. Mineral Processing Technology. Butterworth Heinemann, Oxford 1997. ROWLAND, C. A. JR. Selection of Comminution Circuits to Prepare Beneficiation Feed. Allis Chalmers, Milwaukee, 1983.