

# Redução de consumo específico de corpos moedores

José Pimenta dos Reis \*  
Marconi Tarbes Vianna \*  
Ludovico Sebastião Costa \*  
Paulo Fernando T. Sachs \*

1. INTRODUÇÃO
2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO
3. DESCRIÇÃO DOS MOINHOS
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS
5. METODOLOGIA
6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS
7. CONCLUSÕES
8. BIBLIOGRAFIA

\* Técnicos da Araxá S/A Fertilizantes e  
Produtos Químicos - ARAFÉRTIL



# Resumo

Utilizando-se de teorias de moagem universalmente

aceitas, o trabalho mostra a metodologia empregada que levou a uma redução de cerca de 50% no consumo específico de barras e bolas.

## 1. Introdução

Este trabalho tem o propósito de descrever um estudo relativo ao controle de carga de corpos moedores da Arafertil.

Não há pretensão de apresentar uma teoria e metodologia inéditas, mas um estudo de caso que conduziu à economia destes insumos na moagem.

O objetivo era adequar o produto da moagem à etapa posterior de deslamagem via otimização da distribuição granulométrica da carga.

## 2. Descrição do processo

A usina da Arafertil beneficia um minério residual proveniente da jazida fosfática do Barreiro de Araxá, lavrada a céu aberto, cujas características físicas possibilitam uma extração convencional utilizando para tanto tratores, carregadeiras frontais e caminhões.

A produção da mina é em torno de 4.200.000 t/ano de minério e 2.000.000 t/ano de estéril.

As principais características do minério são as seguintes:

Mineralogia	:	apatita	:	30,2%
		barita	:	3,0%
		quartzo	:	8,4%
		gorceixita	:	11,2%
		mica	:	8,0%
		magnetita	:	9,8%
		limonita e goethita	:	20,4%
		Outros	:	9,0%

Teores do minério	:	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	:	16,0%
		CaO	:	17,5%
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	30,0%
		MgO	:	2,0%
		BaSO <sub>4</sub>	:	3,0%
		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	:	6,0%
		SiO <sub>2</sub>	:	12,0%
		TiO <sub>2</sub>	:	2,0%
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	3,0%
		Outros	:	8,5%

Granulometria	:	2"	:	2,0%
		3/4"	:	10,0%
% Ret. Ac.	:	1/4"	:	20,0%
		28 #	:	40,0%
		65 #	:	45,0%
		150 #	:	55,0%
		400 #	:	65,0%

Work Index : 8,26 KWh/t

Densidade : 1,65 (empolado)

A usina, através do processo de concentração por flotação, produz 700.000 t/ano de concentrado apatítico, sendo 590.000 t/ano com 37% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> destinadas a solubilização ácida pelos processos convencionais e o restante com 35% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> destinado a consumo cativo para solubilização parcial e venda para aplicação direta na agricultura.

O fluxograma simplificado do processo de concentração pode ser visto na Figura 1.

Este fluxograma mostra três moinhos, dois na moagem principal, um de barras e outro de bolas, sendo que o terceiro, também de bolas, localiza-se na remoagem do rejeito da flotação principal. Tais moinhos é que foram alvo do controle que se passa a relatar.

### 3. Descrição dos moinhos

MOINHOS	MN.401	MN.402	MN.403
Dimensões	11' x 16'	12,5 x 17'	10' x 13'
Potência	900 HP	1800 HP	600 HP
Rotação	15,7 rpm	16,7 rpm	17,9 rpm
% Velocidade Crítica	68%	75%	75%
Acionamento	Air-Clutch	Air-Clutch	Air-Clutch
Tipo de Alimentação	Spout-feeder	Scoop-feeder	Scoop-feeder
Tipo de Descarga	Overflow	Diafragma	Overflow
Revestimento	One-wave	One-wave	One-wave
Corpos Moedores	Barras	Bolas	Bolas
Especificação	Aço - 1095	18% Cromo	12% Cromo
Top-size	3.1/2"	60 mm	40 mm
Grau de Enchimento	35%	36%	34%
Tipo de Circuito	Aberto	Fechado	Fechado
Alimentação Total	480 t/h	800 t/h	290 t/h
d <sub>80</sub> Alimentação	1/4"	28 #	100 #
% de Sólidos	60%	70%	65%

Os moinhos da Arafertil são todos de fabricação ALLIS-CHALMERS e trabalham a úmido.

Suas alimentações, à exceção do moinho de barras que recebe o produto da britagem, são provenientes de underflow de hidrociclones.

### 4. Fundamentos teóricos

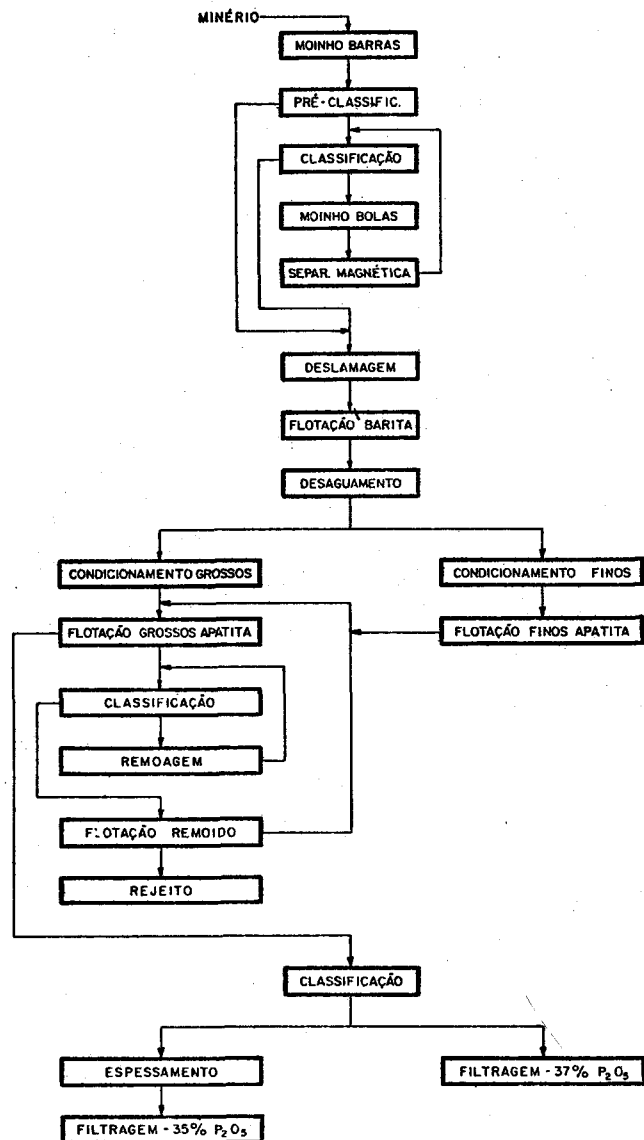
Segundo Bond, quando um moinho funciona um determinado tempo com uma dada reposição, mantendo-se normal o tamanho de corpos moedores na saída do moinho, é estabelecido um equilíbrio na distribuição granulométrica da carga, o qual continua indefinidamente.

Este equilíbrio depende de uma regra geralmente aceita, segundo a qual igual filme desgasta em igual tempo de moagem. Um filme de igual espessura será removido de todos os tamanhos de corpos moedores durante o mesmo período de moagem, excluindo-se os corpos quebrados.

De acordo com esta regra, quando o diâmetro do corpo moedor é plotado em abscissa e a percentagem em peso passante de cada diâmetro é plotado na ordenada, a distribuição granulométrica equilibrada é representada em papel log-log por uma reta, cujo coeficiente angular é igual a 3,84 para bolas e 3,01 para barras, que é traduzida matematicamente pela expressão:

$$Y = \left( \frac{x}{B} \right)^m$$

Figura 1 - Fluxograma de Blocos Concentração



onde:

- Y - é a percentagem em peso passante
- x - é um diâmetro qualquer
- B - o diâmetro do Top-size
- m - coeficiente angular

### 5. Metodologia

Foi traçado num papel log-log uma linha reta, a partir do ponto definido por 100% passante e pelo Top-size de reposição de cada moinho com respectivo coeficiente angular, definindo-se assim a reta de equilíbrio da carga de corpos moedores.

Isto posto, iniciou-se um programa de amostragem nos moinhos com o objetivo de determinar as distribuições reais das cargas.

#### 5.1. Moinho de barras

##### 5.1.1. Amostragem

A amostragem é executada em todas as barras da superfície exposta medindo-se os diâmetros das

extremidades e do centro com o auxílio de um paquímetro, sendo adotado como diâmetro a média aritmética das três medições.

### 5.1.2. Confeção da curva de distribuição

As barras são classificadas em intervalos de classe a cada meia polegada.

Para fins de cálculo da participação percentual de cada classe em relação à massa total, o diâmetro de cada barra é elevado ao quadrado, uma vez que sua massa é proporcional ao quadrado do diâmetro. Divide-se então a somatória dos quadrados dos diâmetros da classe pela somatória dos quadrados de todos os diâmetros, obtendo-se a participação da classe.

Constrói-se a partir destes valores a curva real de distribuição da carga.

## 5.2. Moinho de bolas

### 5.2.1. Amostragem

Esta amostragem é executada retirando as bolas através de quatro trincheiras transversais e equidistantes, abertas na superfície exposta.

### 5.2.2. Confeção da curva de distribuição

Estas bolas são classificadas em intervalos de classe, iguais à metade da diferença entre dois diâmetros comerciais consecutivos, com o auxílio de um Trommel classificador. Posteriormente as classes são pesadas, extraindo-se então o percentual que cada uma delas participa em relação ao total. Com os valores obtidos constrói-se a curva real de distribuição da carga.

## 5.3. Representatividade das amostragens

Por ocasião de uma parada da usina para troca de revestimentos dos moinhos, um ano após o início deste controle, foi elaborado um programa para checagem do esquema de amostragem.

Para tanto, amostrou-se os moinhos, dando às amostras o tratamento usual. Logo em seguida, retirou-se as cargas dos moinhos, classificando-se os três lotes. Os resultados obtidos, após pesagem direta tanto das barras quanto das bolas, foram comparados com os da amostragem prévia constatando-se a representatividade da metodologia adotada.

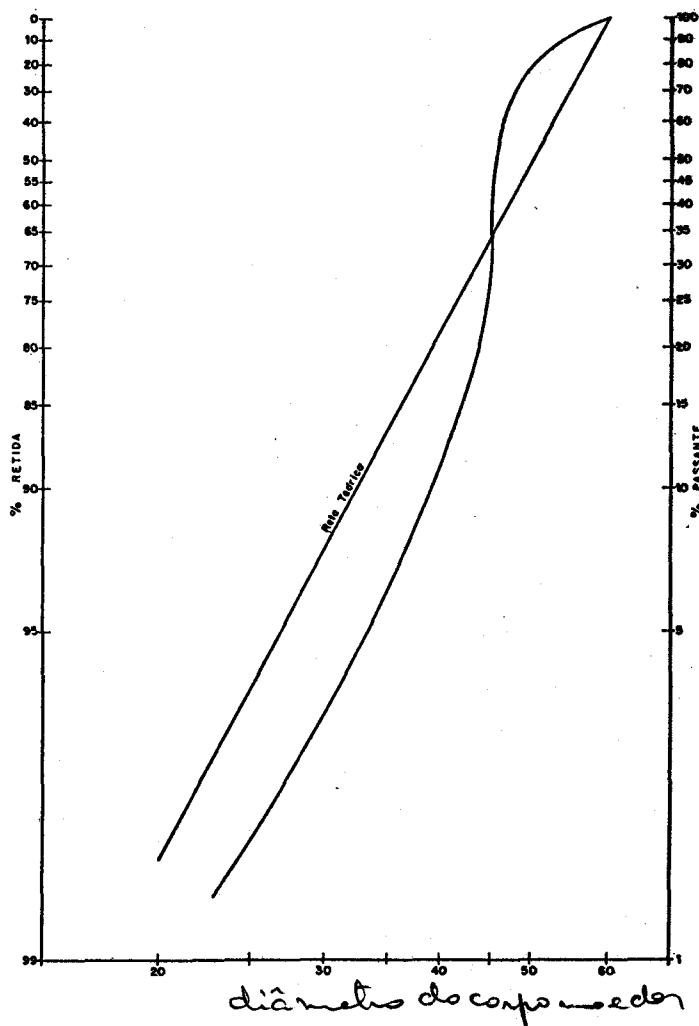
Certificou-se também que a amostra tem uma massa equivalente a 10% da carga total de barras e 1,5% da carga total de bolas.

## 6. Interpretação dos resultados

As primeiras amostragens revelaram uma carga distorcida do equilíbrio padrão (conforme Figura 2), porém através de um exame de tendência da curva real em relação à teórica, obtém-se uma orientação segura a respeito das novas reposições que foram adequadas às reais necessidades do moinho.

Nesta fase inicial, a principal preocupação recaiu no aspecto apresentado pela curva real, e os esforços foram dirigidos no sentido de diminuir as sinuosidades apresentadas, alterando as proporções dos diâmetros de reposição, para torná-la o mais próximo possível de uma reta. Atuou-se então na taxa de reposição a fim de aproximar as retas real e teórica.

Figura 2 - Controle de corpos moedores Moinho de bolas



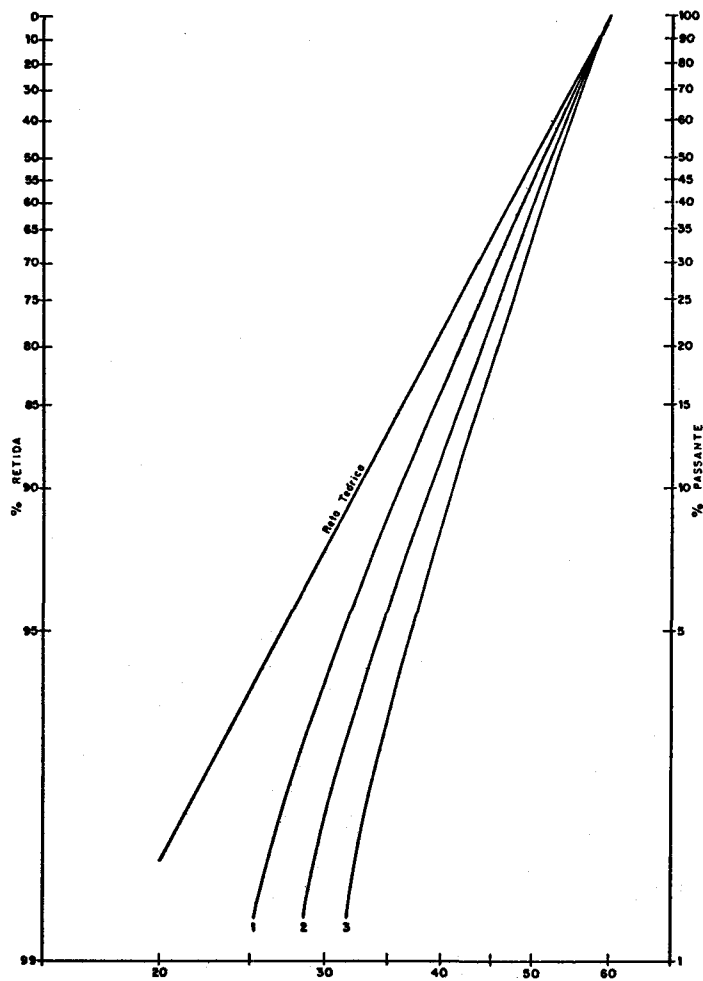
Cita-se como exemplo as atuações no moinho de bolas da moagem principal, que podem ser generalizadas aos outros dois moinhos.

Os valores de consumos específicos, citados a seguir, são calculados com base na alimentação da usina.

Com a eliminação das sinuosidades e mantendo-se a reposição de 45 g/t, a distribuição granulométrica real, que já se apresentava praticamente reta, começou a se afastar da reta teórica de equilíbrio, no sentido de um engrossamento de carga, como mostra a Figura 3 através das curvas 1, 2 e 3. Tal fato mostrou um claro indicativo de que a quantidade de corpos moedores reposta ao moinho estava maior que a velocidade de desgaste da carga, ou seja, indicou que a taxa de reposição de 45 g/t estava alta. Nesse caso, as novas reposições, com distribuições granulométricas iguais, foram sendo gradativamente diminuídas e consolidadas em 22 g/t, depois de aproximadamente sete meses de operação contínua, valor este em que se opera ainda hoje.

Para manutenção do equilíbrio da carga, é conveniente que as reposições sejam as menores e mais frequentes possíveis, uma vez que o caso ideal seria uma reposição contínua, visto que o desgaste é contínuo. No caso da Arafertil, as reposições são feitas de dois em dois dias.

Figura 3 - Controle de corpos moedores  
Moinho de bolas



## 8. Bibliografia

1. BOND, F.C. Grinding ball size selection s.l., Pit and Quarry, outubro 1967
2. BARTOL, J.R. Calculo sobre carga de bolas. In: SIMPOSIUM SOBRE MOLIENDA, 2. Chile, nov. 1977.
3. AZZARONI, E. Determinacion de la ley de desgaste y distribuicion del tamaño de las bolas en los molinos de bola. In: SIMPOSIUM SOBRE MOLIENDA, 2. Chile, nov. 1977.
4. Relatórios internos da Arafertil.

## 7. Conclusões

### 7.1. Alteração de consumos

O critério utilizado para controle das cargas e reposição de corpos moedores, proporcionou uma diminuição de consumo da ordem de 50%.

No moinho de barras o consumo baixou de 75 g/t para 38 g/t, no de bolas do circuito principal de 45 g/t para 22 g/t e no da remoagem de 28 g/t para 12 g/t.

Ficou também evidenciado que as reduções nos consumos independem da composição do corpo moedor, desde que não sejam misturados corpos de qualidades diferentes.

### 7.2. Deformações e quebras

Houve uma sensível redução de quebras de barras finas, quando passamos a adotar essa metodologia, em comparação com a época em que fazíamos a reposição apenas com as barras de maior diâmetro.

Quanto às bolas, existem referências de que sob condições específicas, este controle atenua o grau de deformação da carga. Para isto, algumas condições devem ser mantidas tais como manutenção do equilíbrio e uniformidade da carga de corpos moedores. Não obstante, sabe-se que outras variáveis podem atuar no sentido contrário, dada a complexidade do processo de moagem.