TESTES DE DESEMPENHO DE CORPOS MOEDORES ATRAVÉS DE AMOSTRAS MARCADAS

G.S. Maia[1] ; L.A.F. Barros[2] ; G.C. Correa[3]

Este trabalho apresenta a experiência da FOSFÉRTIL na realização de testes com corpos moedores através de amostras marcadas, indicando metodologia aplicada, discutindo os resultados obtidos e benefícios gerados.

GRINDING MEDIA TESTS THROUGH MARKED SAMPLES

This paper presents the experience of FOSFÉRTIL in carring out tests of evaluation of grinding media through marked samples, showing the methodology used discussing the results abtained and the benefits reached.

1 - Chefe do Setor de Desenvolvimento Tecnológico

2 - Chefe da Divisão de Beneficiamento Mineral

3 - Chefe da Divisão Técnica

FOSFÉRTIL S/A - Complexo de Mineraçao de Tapira

Fazenda Boa Vista - Rodovia MG 341 - KM 25

38.185 - TAPIRA - MG

INTRODUÇÃO

Os custos operacionais de moagem são sempre os maiores na composição de custos de uma planta de tratamento de minérios.
No caso específico do Complexo de Mineração de Tapira da FOSFÉRTIL S/A, os custos de corpos moedores correspondem a aproximadamente 45 % do custo de moagem.

A necessidade de se obter produtos de moagem dentro das especificações desejadas a um custo industrial compatível, levou a FOSFÉRTIL a desenvolver programas de melhoria de qualidade dos corpos moedores utilizados junto aos seus fornecedores tradicionais.
O desenvolvimento de novos fornecedores, fomentando a concorrência, também tem trazido bons frutos para a FOSFÉRTIL, uma vez que produtos de boa qualidade tem sido fornecidos a preços mais compatíveis.

A utilização de um novo corpo moedor requer uma avaliação prévia de desempenho onde possam ser analisados consumo específico, índice de quebras, deformação, etc.

Esta avaliação é realizada através de testes que quando bem conduzidos, propiciarão uma maior segurança ao operador de instalação de moagem, garantindo a ele conhecimento prévio do desempenho deste insumo quando em utilização industrial (1).

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CORPOS MOEDORES

A moagem é uma operação onde inúmeras variáveis estão envolvidas e a maioria delas difíceis ou até mesmo impossíveis de serem controlados.
Assim, testes para avaliação de corpos moedores devem ser realizados preferencialmente onde seja possível reproduzir as condições normais da moagem, ou seja, no moinho industrial em sua operação normal.
Neste caso, há duas possibilidades. A primeira seria a colocação de uma carga teste completa em um moinho que operasse em paralelo com outro em condições idênticas utilizando a carga moedora usual.

Embora este método apresente os resultados mais próximos da realidade, é extremamente oneroso, envolvendo manuseio de grandes massas e em caso de resultados negativos, bastante deficitário, sendo portanto, inviável quando se trata de moinhos de grande porte.
A segunda possibilidade consiste na colocação de um lote de amostras devidamente marcadas no moinho em operação normal, acompanhando o desgaste através da pesagem de amostras colhidas em sucessivos períodos de controle (2) (3).

As amostras retiradas do moinho permitem observação de ocorrências de possíveis anormalidades como quebras, lascamentos, desgaste irregular , além do acompanhamento normal da carga moedora existente, objetivando extrapolações e comparações de resultados.
O método de amostras marcadas permite o conhecimento da lei de desgaste do corpo moedor em prova com boa precisão.

Tem a vantagem de ser de baixo custo, uma vez que utiliza pequena quantidade de material, o que também impossibilita comprometimento da carga moedora existente, bem como elimina riscos de interferência na produção do moinho.
Para a avaliação do consumo de um corpo moedor em teste é assumido que " a redução do seu diâmetro é constante e uniforme em função do tempo de operação ou da produção do moinho " (4) (5), o que matematicamente se traduz na equação /1/:

$$\frac{d\,\emptyset}{d\,t} = k \quad /1/$$

sendo,

$\emptyset$ = diâmetro do corpo moedor
t = tempo de operação
k = constante de desgaste

Este princípio é totalmente aplicável nos casos desenvolvidos na FOSFÉRTIL, tendo sido comprovada sua aplicabilidade conforme mostrado em trabalho anterior dos autores (1), devendo ser discutido novamente em tópico posterior do presente trabalho.

O conhecimento da lei de desgaste de um corpo moedor é de grande importância no dimensionamento de cargas moedoras, cálculo de recargas, avaliação e projeção de consumos, extrapolações para condições semelhantes e conhecimento do desempenho de revestimentos (1) (6).

TESTES COM CORPOS MOEDORES NA FOSFÉRTIL

Atualmente, a Fosfértil vem operando em seu Complexo de Mineração de Tapira/MG nove moinhos tubulares, sendo dois moinhos de barras de 11' x 20' de 1.500 HP cada, cinco moinhos de bolas de 13,5' x 20' de 2.500 HP cada, além de dois moinhos de bolas para remoagem do concentrado fosfático, um 10' x 10' de 500 HP e outro 10' x 16' de 600 HP.
Estes moinhos geram um consumo mensal de 120 toneladas de bolas e 120 toneladas de barras, valores que justificam os esforços desenvolvidos para reduzí-los.

Os testes com corpos moedores são bastante sensíveis, refletindo qualquer problema com o material em teste,bem como sendo influenciado pelas condições operacionais do moinho utilizado.
Desta forma, o lote para teste deve apresentar uma uniformidade de tamanho, em que a variação do peso entre as peças individualmente seja a menor possível. Também deve ser considerada a homogeneidade quanto a esfericidade, ovalização, rebarbas de fundição e canal de vazamento (1) (7).
A homogeneidade do material quanto às características físico-químicas deve ser elevada.
O moinho para realização dos testes deve apresentar boa estabilidade de alimentação de minério e consumo energético, carga moedora equilibrada e madura e revestimentos em boas condições.

Embora os estudos de desgaste de corpos moedores (4) tenham sido desenvolvidos para bolas, a Fosfértil tem extrapolado este princípio para barras e cylpebs com bons resultados.
Em função da quantidade de peças para possibilitar a coleta de amostras em meio à carga moedora, são utilizados para testes de bolas e cylpebs lotes de 2 toneladas e para barras 12 toneladas.

Duração de teste é função do corpo moedor, cuja velocidade de desgaste indicará até que ponto as provas podem ser identificadas dentro do moinho. Contudo, os tempos mínimos aceitos para validade de teste são da ordem de 1.500 horas para bolas e barras e 900 horas para cylpebs.

As amostras para teste são marcadas através de furos com diâmetro de 5 mm e profundidade aproximada de 20 mm.

Em algumas ocasiões já foram realizados na Fosfértil testes com corpos moedores de diâmetros superiores ao de recarga em substituição aos furos de identificação. Embora esta prática não influa no teste em si, cria condições de comportamento diferenciado em relação aos diâmetros usuais devido principalmente à geometria dos revestimentos, podendo haver mascaramento dos resultados, exigindo portanto, maior controle operacional.

CÁLCULO DO CONSUMO

Normalmente o cálculo do consumo de corpos moedores em teste consiste no conhecimento da variação superficial total da carga moedora e sua distribuição, de onde se calcula o número de bolas nas diversas faixas granulométricas, obtendo-se então os consumos.

Na Fosfértil é feita uma adaptação através de método gráfico onde, após plotada a evolução do diâmetro da bola em teste em função do tempo, considera-se a mesma lei de desgaste para os demais diâmetros componentes da carga equilibrada existente no moinho (Fig.1). Desta forma é possível estipular a evolução de um colar de bolas em todos os diâmetros de uma carga em equilíbrio.

Uma vez determinado o colar existente ao final do teste calcula-se a carga residual do moinho e por diferença a quantidade de metal consumido. Muitas vezes quando se faz esta representação gráfica são obtidos segmentos de retas correspondentes a cada período de avaliação em lugar de uma reta única.

Nestes casos, é necessária a correção do gráfico, tornando-o uma reta única de onde se possa calcular facilmente a constante K da lei de desgaste (equação /1/).

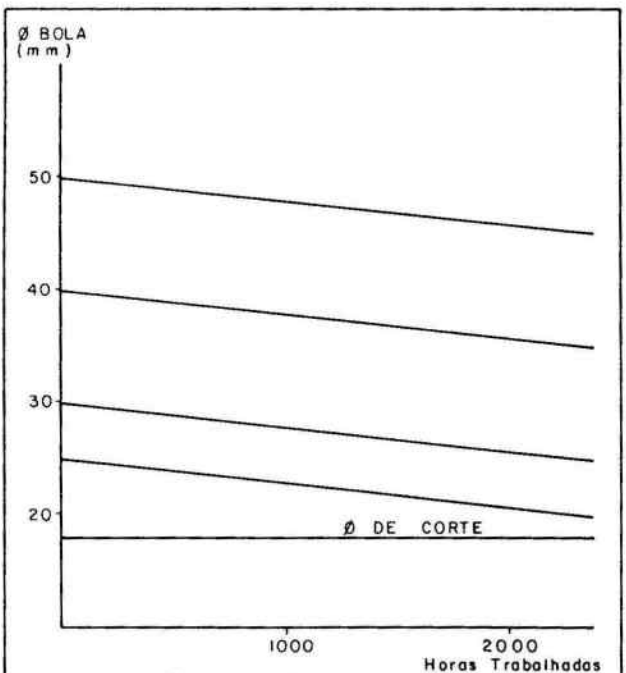

Fig 1 - EVOLUÇÃO DOS DIÂMETROS DA CARGA MOEDORA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO

A correção é efetuada obtendo-se a reta que se ajuste da melhor forma em substituiçãoaos segmentos, mantendo-se sob ela a mesma área total anterior , obtendo-se assim, um valor médio da constante K para todo o período de teste.

A figura 2 mostra os gráficos, real e corrigido, para dois testes com bolas marcadas realizados na Fosfértil.

RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Primeiramente deve ser salientada a confiabilidade dos testes executados. Para todo teste realizado na Fosfértil é obtida a equação da reta de desgaste do corpo moedor relacionando a redução do diâmetro com o tempo de operação e calculado o índice de correlação dos dados obtidos, que indicará a performance do teste.

Índices baixos indicarão falhas no teste ou problemas com o corpo moedor, exigindo análises mais profundas.

Efeito do Diâmetro

Uma primeira constatação a ser comentada é a confirmação dos trabalhos desenvolvidos pela ARMCO (4) referentes ao princípio da uniformidade e constância da redução do diâmetro do corpo moedor em função do tempo, independendo do seu diâmetro inicial.
A figura 3 mostra a reta de desgaste de dois testes realizados com bolas de mesmas características, sendo a bola A em diâmetro de 70 mm e a B em diâmetro de 50 mm.
As retas de desgaste apresentam declividades praticamente iguais conforme pode ser visto em suas equações.

Bola A : $D = -0{,}0025\ t + 71{,}5380$, $cc = 0{,}9935$
Bola B : $D = -0{,}0026\ t + 50{,}7926$, $cc = 0{,}9987$

onde:

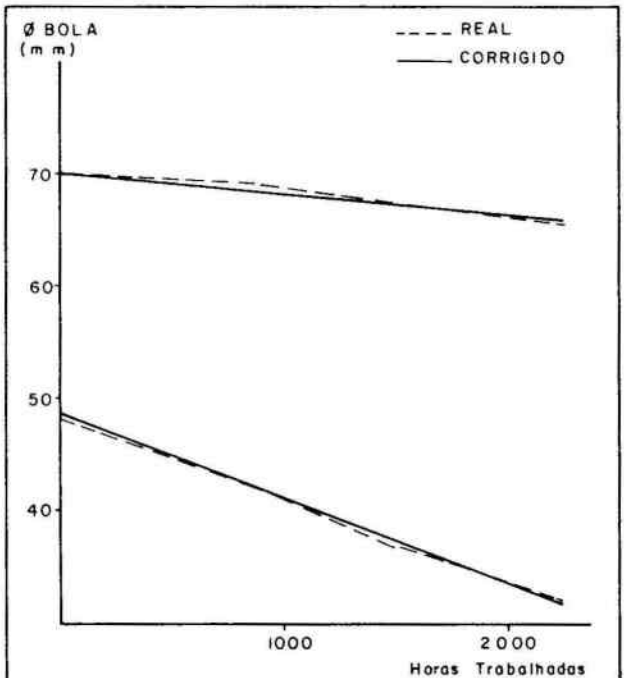

Fig 2 - CORREÇÃO DA CONSTANTE K DA LEI DE DESGASTE

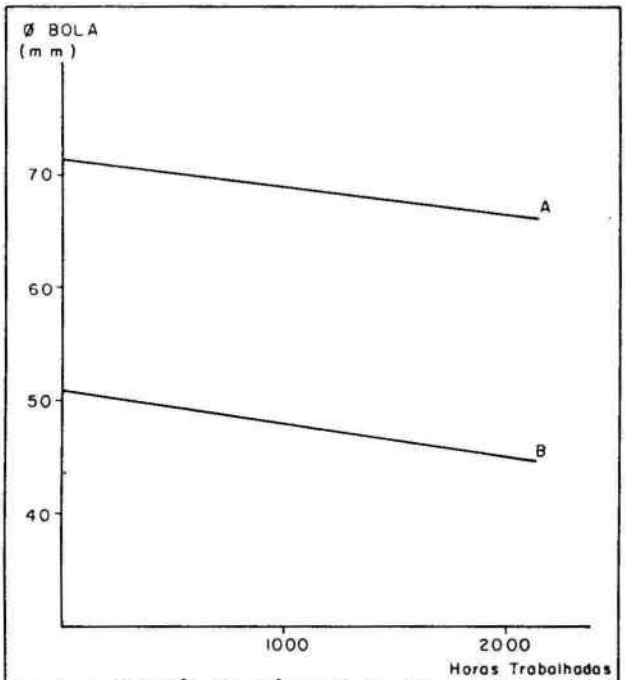

Fig. 3 - A REDUÇÃO DO DIÂMETRO DA BOLA DEVIDA AO DESGASTE É CONSTANTE E UNIFORME EM FUNÇÃO DO TEMPO

Ø = diâmetro
t = tempo de operação
cc = coeficiente de correlação

O mesmo comportamento foi obtido para barras e é mostrado na fig.4, sendo os diâmetros iniciais das barras C e D respectivamente 100 e 90 mm.
As equações das retas de desgaste são:

Barra C = Ø = - 0,0233 t + 101,5867 , cc = 0,9999
Barra D = Ø = - 0,0229 t + 88,8472 , cc = 0,9998

Efeito da Composição Química e Dureza

A figura 5 apresenta as retas de desgaste de testes realizados com barras laminadas em aço SAE 1095 fornecidas por um mesmo fabricante, sendo que a barra F teve adição balanceada de micro-elementos de liga (Cr e Mo) além de melhor controle de resfriamento, o que conferiu a ela uma dureza maior. As retas de desgaste evidenciam uma nítida superioridade de desempenho da barra F, indicando um consumo de 10 a 15% a menor que a barra E, valor confirmado a posterior em utilização industrial.

As equações correspondentes a estas barras são:

Barra E : Ø = - 0,0227 t + 89,5850 , cc = 0,9997
Barra F : Ø = - 0,0080 t + 88,8831 , cc = 0,9996

A figura 6 mostra os resultados de testes com bolas em ferro fundido branco de alto cromo, com as seguintes características:

	BOLA G	BOLA H
Teor de cromo	19 %	12 %
Dureza superficial (Rc)	65	63
Dureza núcleo (Rc)	64	61

A bola G apresentou um consumo 50 % inferior em relação à bola H, levando a Fosfértil a adotá-la como padrão de utilização.

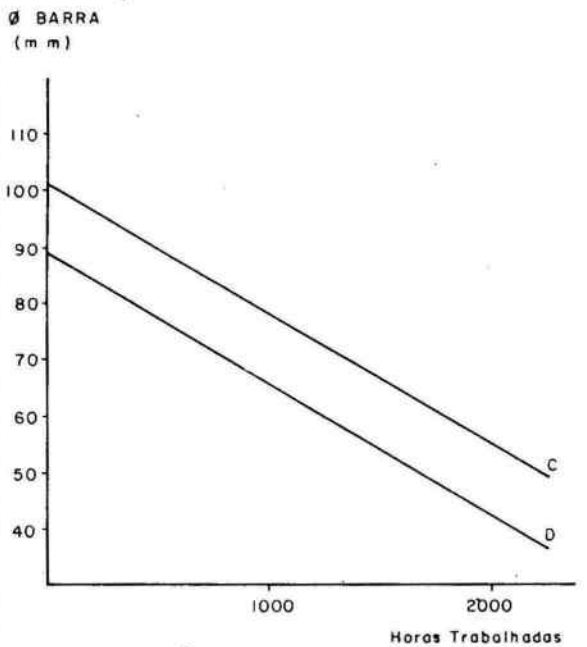

Fig 4 - A EVOLUÇÃO DO DIAMETRO DE BARRAS INDE-PENDE DO DIÂMETRO INICIAL

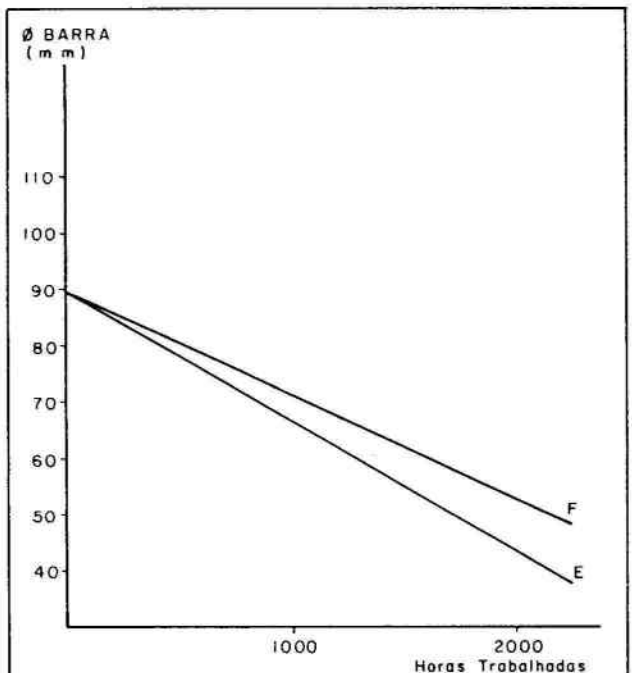

Fig 5 - EFEITO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DUREZA NO DESEMPENHO DE BARRAS

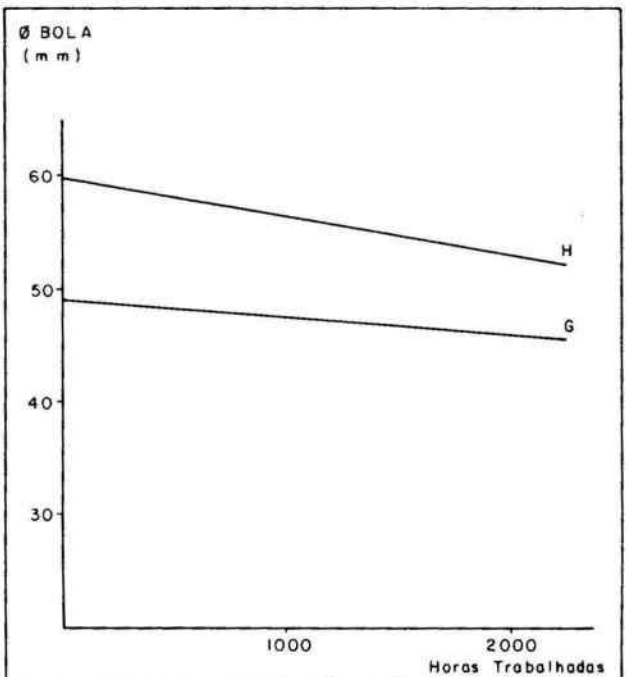

Fig 6 - EFEITO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA NO DESEMPENHO DE BOLAS

Problemas com Corpos Moedores Detectados no Teste

Uma das grandes vantagens dos testes com corpos moedores antes da utilização industrial é a possibilidade de se prever possíveis problemas de fabricação, além de possibilitar a monitoração do controle de qualidade do fabricante.
No caso da bola I, cujas retas de desgaste são mostradas na figura 7, foi notada uma grande variação de pesos das amostras colhidas nos períodos de controle, indicando comportamento diferenciado das bolas durante o teste.

Uma análise mais cuidadosa possibilitou o agrupamento das bolas em duas classes de comportamento, sugerindo problemas de tratamento térmico. Através de análise metalográficas foi possível confirmar as suspeitas iniciais uma vez que foi detectado alto índice de perlita em uma das classes.

Um segundo caso típico é relatado por Sinatora e Albertim (7) onde durante o teste realizado na Fosfértil e acompanhado pelos autores, ocorreram várias quebras e alto índice de desgaste irregular ocasionando deformações geométricas.
De acordo com este estudo as quebras teriam sido originadas por micro trincas que se propagavam a partir dos furos de identificação.
As deformações seriam devido a desencontros dos moldes, presença de pequenos rechupes e na quebra das junções da "árvore de bolas".

Testes com Cylpebs

A partir de 1990 a Fosfértil tem realizado testes com cylpebs ligados.
A figura 8 mostra as retas obtidas em dois testes.
Embora a qualidade do cylpeb ligado seja bastante inferior à das bolas ou cylpeb em ferro fundido branco com alto cromo ou em aço forjado, seu baixo preço pode levar a uma economicidade.
Outros fatores tais como o efeito no produto da moagem, consumo energético do moinho, influência na capacidade de moagem, etc, ainda serão estudados.

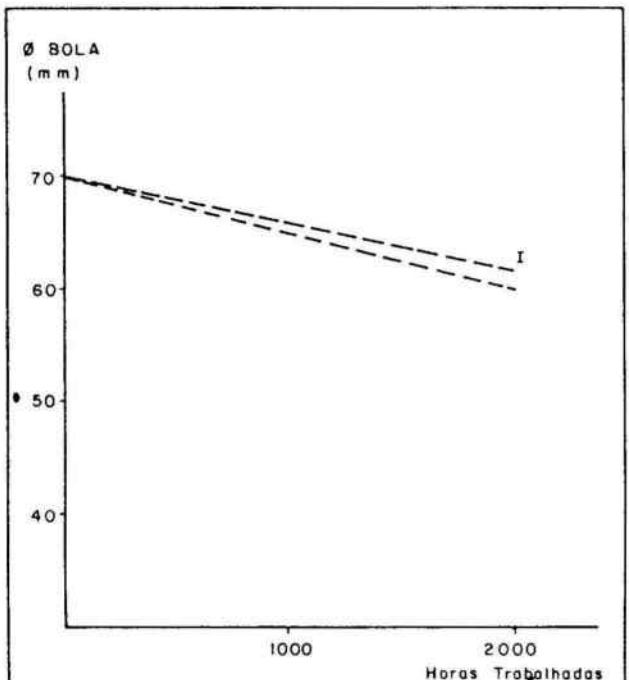

Fig. 7 - TESTE COM LOTE HETEROGENIO LEVANDO A DUAS CLASSES DE COMPORTAMENTO

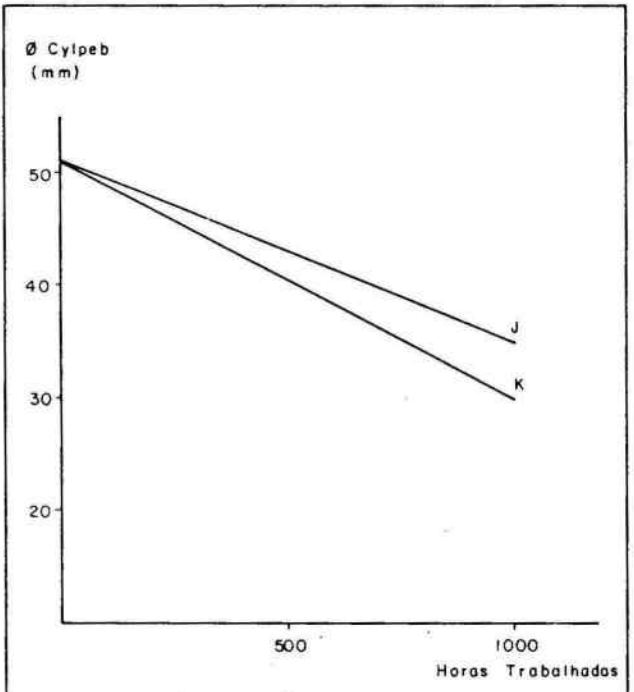

Fig. 6 - EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO DO CYLPEB [illegible]

CONCLUSÕES

Os testes com corpos moedores marcados são uma ferramenta importante na avaliação destes insumos, possibilitando antever possíveis problemas de qualidade, reduzindo níveis de riscos operacionais e possibilitando aos fornecedores desenvolvimento de produtos de melhor qualidade, além de propiciar desenvolvimento tecnológico ao pessoal envolvido.

Os benefícios advindos através da realização destes testes são bastante significativos, tendo gerado para a Fosfértil em 1991 uma economia de US$ 700 mil devido a redução de preços provocada pelo desenvolvimento de novos fornecedores e redução de consumo de bolas da faixa de 25 a 30 g/kwh para 20 a 25 g/kwh através da melhoria de qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barros, L.A.F., Maia, G.S.; Souza, A.C.; Testes de Avaliação de Corpos Moedores, II Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/Univ. Fed. de Uberlândia, Uberlândia, 1991, pp 481 - 502.

2. Souder, A.; Prueba de Bolas em La Molienda, Simposium Sobre Molienda , ARMCO Chile S/A, Vinã Del Mar, 1975, pp 56 - 58.

3. Lubeck, E.F.; Determination Of Wear in Grinding Balls, Zement - Kalm - Gips (ZKG), nº 4, Alemanha, 1990, pp 90 - 95.

4. Azzaroni, E.; Determinacion de La Ley de Desgste Y Distribuicion Del Tamaño de Las Bolas en Los Molinhos de Bola, Simpossium Sobre Molienda ARMCO Chile S/A, Vinã Del Mar, 1977, pp 114 - 182.

5. Beraldo, J.L.; Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1987, pp 111 - 129.

6. Fosfértil, Fertilizantes Fosfatados S/A, Relatórios Técnicos Internos.

7. Sinatora, A.; Albertim, E.; Análise da Fratura e do Desgaste Irregular de Bolas de Moinho de Ferro Brancos com Alto Cromo, II Seminário Sobre Materiais resistentes ao desgaste, ABM/Univ. Fed. Uberlândia, Uberlândia 1991, pp 503 - 523.