

# ESTUDO COMPARATIVO DE DESGASTE DE CORPOS MOEDORES, NA MOAGEM DE CARAJÁS/CVRD<sub>1</sub>

*Antonio Lucas de Medeiros Silva<sup>2</sup>  
Kesley Medeiros Julianelli<sup>3</sup>  
Neuber Salgado Ferreira<sup>4</sup>  
Jose Osmário de Azevedo<sup>5</sup>  
Henrique Gustavo da Silva<sup>6</sup>  
Keulla Venya Urbano e Silva<sup>7</sup>*

## Resumo

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a metodologia utilizada no estabelecimento da liga metálica de melhor custo x benefício para utilização de corpos moedores aplicados na Moagem de Bolas da Serra dos Carajás/CVRD. A metodologia consiste basicamente em 3 Partes: Parte 1 - O acompanhamento diário das variáveis operacionais do moinho com o intuito de estabelecer o controle de desgaste do material (levantamento e consolidação dos dados para análise); Parte 2 – baseando-se nos resultados da fase 1 realizamos um teste com bolas marcadas, para consolidação dos resultados; Parte 3 - Troca da carga moente em um dos moinhos para avaliar, em escala industrial, o consumo das bolas. Além dos aspectos descritos também foram avaliados os seguintes: a capacidade de atendimento do fornecedor e a logística de transporte do insumo. O resultado do presente trabalho será a redução de no mínimo 35% do custo dos corpos moedores aplicados no processo citado – avaliação em andamento, conclusão prevista para Agosto de 2005.

**Palavras-chave:** Corpos moedores; Moinho de bolas; Circuitos de moagem.

*(1) Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso Nacional da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais realizado de 25 a 27 de Julho de 2004, em Belo Horizonte - MG;*

*(2) Técnico em Planejamento e Lavra de Minas – Técnico de Controle de Processos da Gerencia de Moagem e Produção de Pellet Feed da Mina de Carajás/CVRD;*

*(3) Engenheiro de Minas – Gerente de Estocagem e Expedição da Mina de Carajás/CVRD;*

*(4) Técnico em Metalurgia – Analista Operacional da Gerencia de Moagem e Produção de Pellet Feed da Mina de Carajás/CVRD;*

*(5) Técnico em Mineração – Supervisor de Usina e Tratamento de Minério de Ferro da Gerencia de Moagem e Produção de Pellet Feed da Mina de Carajás/CVRD;*

*(6) Técnico em Eletroeletrônica – Técnico de Eletroeletrônica da Gerencia de Moagem e Produção de Pellet Feed da Mina de Carajás/CVRD;*

*(7) Técnica em Planejamento e Lavra de Minas – Técnica de Controle de Processos da Gerencia de Moagem e Produção de Pellet Feed da Mina de Carajás/CVRD.*

## INTRODUÇÃO

O estudo da relação custo x benefício em plantas industriais é um aspecto fundamental para o sucesso do empreendimento qualquer que seja a área de atuação. O desenvolvimento de novos processos agrega valor aos produtos e aumenta consideravelmente a eficiência das empresas. Com base nestes preceitos desenvolvemos o trabalho apresentado.

A Moagem de Sinter Feed de Carajás/CVRD, doravante denominada Moagem PPL, iniciou suas operações em Agosto de 2002, sendo seu objetivo principal fornecer Pellet Feed moído para posterior filtragem em filtros prensa, na produção de fino para pelotização. Sua configuração é descrita a seguir:

Dados básicos de dimensionamento dos moinhos:

- Tipo de moinho: Moinho de bolas, com descarga por "Overflow";
- Grau de Enchimento variando entre 35% e 37%.
- WI operacional = 11,8 kWh/t;
- P80 = 54  $\mu\text{m}$ ;
- F80 = 4.000  $\mu\text{m}$ .
- Potência mínima requerida no eixo pinhão: 12.000 kW;
- Potência total instalada (motor): 2 x 4.250 cv por moinho;

Dados básicos sobre a planta de Moagem

- Circuito de moagem: duas linhas de moagem;
- Tipo de circuito: Circuito fechado com hidrociclones;
- Moinhos equipados com cone retentor de expurgo de Bolas;
- Sistema de alimentação dos moinhos: alimentadores de correia, com velocidade variável (inversores de frequência), balança e indicadores On line da umidade de alimentação;

### 1. Aspectos Operacionais

O desgaste de corpos moedores em moagem úmida é basicamente influenciado por três parâmetros fundamentais: abrasão, corrosão e impacto.

O desgaste por *abrasão* é determinado pela tipologia mineral presente no material a ser processado, pela granulometria do minério alimentado do moinho, pela moabilidade do minério e formato das partículas: partículas esféricas ou pontiagudas. Já a *corrosão* tem basicamente influência do pH e da composição da água de processo: presença de íons (Cl-, S=), composição do minério: minérios condutivos, minérios não-condutivos, temperatura da polpa e diferença de potencial entre a carga de bolas e a polpa.

O desgaste por *impacto* é influenciado pelo tipo de descarga: overflow (baixo impacto), grelha (alto impacto), pelo poder de levantamento do revestimento, o percentual de sólidos, o grau de enchimento e pelos procedimentos de limpeza do moinho.

### 2. Aspectos Econômicos:

No custo total da Moagem PPL, os corpos moedores representam cerca de 40% do orçamento anual da Gerência de Moagem e Produção de Pellet Feed – GATIN/CVRD, sendo imprescindível otimizar os resultados da planta no que diz respeito ao consumo deste insumo, estabelecendo uma relação custo x benefício competitiva sem prejudicar a qualidade do processo.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Parte 1 – Acompanhamento e Controle:

Durante o *Start-Up* os corpos moedores foram aplicados de acordo com a seguinte configuração:

- Moinho 137k 01 – Bolas de origem Chilena, composição química conforme especificado na Tabela 1 – Coluna 01. Este corpo moedor apresenta logística de fornecimento mais complicada em relação ao seu concorrente, porém conta com incentivos governamentais no que diz respeito à importação de insumos;
- Moinho 137k 02 – Bolas alto cromo de origem nacional, composição química conforme especificado na Tabela 1 – Coluna 02. Apresenta logística de fornecimento menos complicada, seu custo é mais alto em função da liga metálica conter alto teor de cromo.

**Tabela 1.** Composição Química – Corpos Moedores

		Moinho 137k 01	Moinho 137k 02
Química	C	1,15	2,9
	Cr	0,9	20
Dureza	hrc	59	65

O controle da performance dos corpos moedores é baseado numa planilha eletrônica (em Excel®) na qual realizamos o registro das variáveis operacionais de Moagem para posterior análise. Nela são registrados todos os dados inerentes ao processo em estudo: Produtividade diária, consumo de energia elétrica dos moinhos e reposição de corpos moedores. Sendo as principais fontes de dados os sistemas de banco de dados CVRD, além de relatórios diários de produção, operação e manutenção, dentre eles: Infoplus PIMS – “Process Information Management System”, RDPE – Relatório Diário de Produção e Expedição e SGDS – Sistema de Gestão da Demanda e Suprimentos.

Após a análise destes índices operacionais, no período de Julho/2002 a Dez/2003, concluímos que o corpo moedor de liga aço carbono oferecia uma melhor relação de custo na operação da Moagem PPL, com uma diferença de 23% em relação ao custo da concorrente.

MÊS	Ore (t) Base Seca	Hours		KWh	Balls (kg)	t/h Base Seca	Power (kW)	kWh/t	Wear			Blaine	% < 44	% solids
		Operação	Alimentação		Ø 60mm				g/t	g/kWh	kg/h			
JAN	230.677	685,2	640,4	4.442.898	186.000	360	3.242	19,3	806,3	41,9	290,5	1.612	64,0	2,72
FEV	219.778	656,8	624,6	4.285.289	183.000	352	3.262	19,5	832,7	42,7	293,0	1.593	62,8	2,72
MAR	232.700	698,9	672,4	4.658.938	226.500	346	3.333	20,0	973,4	48,6	336,8	1.635	62,7	2,72
ABR	222.688	659,7	641,3	4.367.324	156.500	347	3.310	19,6	702,8	35,8	244,0	1.734	62,0	2,72
MAI	240.342	697,6	671,7	4.645.047	208.500	358	3.329	19,3	867,5	44,9	310,4	1.669	63,1	2,72
JUN	262.463	698,5	685,2	4.624.750	172.500	383	3.310	17,6	657,2	37,3	251,7	1.666	63,8	2,72
JUL	250.758	649,8	628,0	4.180.457	190.500	399	3.217	16,7	759,7	45,6	303,4	1.655	62,8	2,72
AGO	191.416	535,8	515,6	3.428.398	103.500	371	3.199	17,9	540,7	30,2	200,7	1.601	63,2	2,72
SET	254.879	677,3	654,3	4.285.188	210.000	390	3.164	16,8	823,9	49,0	321,0	1.598	63,7	2,72
OUT	243.504	658,0	643,4	4.189.828	151.000	378	3.184	17,2	620,1	36,0	234,7	1.676	62,6	2,72
NOV	228.789	660,2	640,9	4.234.891	204.500	357	3.207	18,5	893,8	48,3	319,1	1.544	63,2	2,72
DEZ	233.796	681,5	666,2	4.365.031	159.500	351	3.203	18,7	682,2	36,5	239,4	1.487	63,8	2,72
<b>Total</b>	<b>2.811.789</b>	<b>7959,32</b>	<b>7683,99</b>	<b>51.708.038</b>	<b>2.152.000</b>	<b>365,9</b>	<b>3.248</b>	<b>18,4</b>	<b>765,3</b>	<b>41,6</b>	<b>280,1</b>	<b>1.622,5</b>	<b>63,1</b>	<b>2,7</b>

**Figura 1.** Exemplo de planilha de dados operacionais do moinho.

## Parte 02 – Teste com Bolas Marcadas:

Durante a primeira parte do processo de definição da liga metálica a ser aplicada na Moagem PPL houveram diversos problemas relacionados à operação da planta e fornecimento dos corpos moedores. Com o intuito de verificar os resultados da parte um, realizamos um teste com bolas marcadas nos dois moinhos – Figura 1.



**Figura 2.** Bolas com furos (marcação para teste)

### – Teste com bolas marcadas:

Consiste em inserir no moinho, bolas com diâmetro maior que o das utilizadas em sua carga e diversas ligas diferentes. Após um certo tempo de operação de operação (no caso, aproximadamente 1000 horas de operação) estas bolas são recolhidas e submetidas a análises de peso e desgaste. Estes corpos moedores especiais foram distribuídos nos Moinhos com as seguintes ligas: Proacer, Aço Carbono Laminada 1,0% e 0,8% Carbono, 21% Cromo, 24% Cromo e 30% Cromo.

Este teste é extremamente eficaz e relativamente econômico para determinação da liga de melhor performance. Numa nova planta é fundamental que este teste seja realizado tão logo o moinho entre em operação.

### Informações do Teste:

Início: 19/02/04

Primeiro controle de recolhimento: 12/03/04

Segundo controle de recolhimento: 07/04/04

Horas trabalhadas:

Moinho 1: 1.026,7 horas

Moinho 2: 1.012,2 horas

Após o segundo controle encerramos o teste com bolas marcadas, cujos resultados estão explícitos a seguir:

#### a) Bolas Aço Carbono:

**Tabela 2.** Bolas aço carbono.

Parâmetros	Bola Laminada 1,0% C		Bola Laminada 8,8% C		Proacer	
	Moinho 01	Moinho 02	Moinho 01	Moinho 02	Moinho 01	Moinho 02
Peso inicial (g)	1.999,0	1.999,0	1.999,0	1.999,0	1.947,0	1.947,0
Diâmetro inicial (mm)	79,35	79,35	79,35	79,35	78,66	78,66
Peso final (g)	1.363,8	1.303,6	1.322,0	1.252,0	1.268,1	1.207,0
Diâmetro final (mm)	69,89	68,82	69,14	67,89	68,18	67,07
Perda de massa (g)	635,2	695,4	677,0	747,0	678,9	740,0
Velocidade de desgaste (mm/100h)	0,924	1,040	0,994	1,132	1,021	1,132

b) Bolas Alto Cromo:

**Tabela 3.** Bolas alto cromo.

Parâmetros	Bolas c/ 21% Cr		Bolas c/ 24% Cr		Bolas c/ 30% Cr	
	Moinho 01	Moinho 02	Moinho 01	Moinho 02	Moinho 01	Moinho 02
Peso inicial (g)	1.528,0	1.528,0	1.458,0	1.458,0	1.488,0	1.488,0
Diâmetro inicial (mm)	72,56	72,56	71,43	71,43	71,92	71,92
Peso final (g)	1,1	1.073,1	1.126,1	1.068,2	1.321,2	1.264,8
Diâmetro final (mm)	65,59	64,49	65,54	64,4	69,12	67,8
Perda de massa (g)	399,0	454,9	331,9	389,8	166,8	223,2
Velocidade de desgaste (mm/100h)	0,679	0,797	0,574	0,695	1,400	0,407

Então individualizamos os melhores resultados por moinho: Tabela 5, o que permitiu a identificação das performances e dos coeficientes de superioridade entre as bolas.

**Tabela 4.** Desgaste mm/100h

Liga	Carga Moedora	
	Alto Cromo	Baixo cromo
21% Cr	0,7966	6781
24% Cr	0,6951	0,574
30% Cr	0,4067	0,2722
Laminada (1% C)	1,0412	0,925
Proacer	1,1450	1,024

Ao extrapolar estes resultados para escala industrial encontramos os consumos que estão relacionados na Tabela 6, optamos por um terceiro estágio de verificação com o objetivo de definir a liga de melhor custo, fizemos isso trocando a carga do moinho que já possuía bolas alto cromo, com 21% Cromo para bolas com 30% Cromo, liga muito mais resistente à corrosão – fator de alta importância nos moinhos de Carajás determinante no desgaste de corpos moedores.

Parte 3 – Escala Industrial: Troca da Carga Moedora de Um dos Moinhos.

Observando os resultados do teste com bolas marcadas optamos pela substituição da carga moente de um dos moinhos de acordo com a seguinte metodologia, que está baseada nas seguintes premissas:

- Alimentação: 350 ton/h (base seca)
- Grau de enchimento: 35 %.

Tempo de purga das bolas com 20 % Cromo: 5.120 horas, trata-se do tempo necessário para que toda carga residual de bolas 20 % Cromo seja completamente eliminada, após estas horas de operação teremos apenas bolas com 30 % Cromo na carga.

Diâmetros de recarga: Como a recarga foi feita com bolas 30% Cromo, cuja velocidade de desgaste é diferente da carga atual (com 20% Cromo), visando minimizar o efeito de Gap (“buracos” na distribuição da carga moedora), buscamos nos aproximar ao máximo da superfície de carga em equilíbrio, portanto realizamos a seguinte metodologia de recarga por um período inicial de 1.850 hrs:

- 1/3 bolas diâmetro 50 mm
- 2/3 bolas diâmetro 60 mm

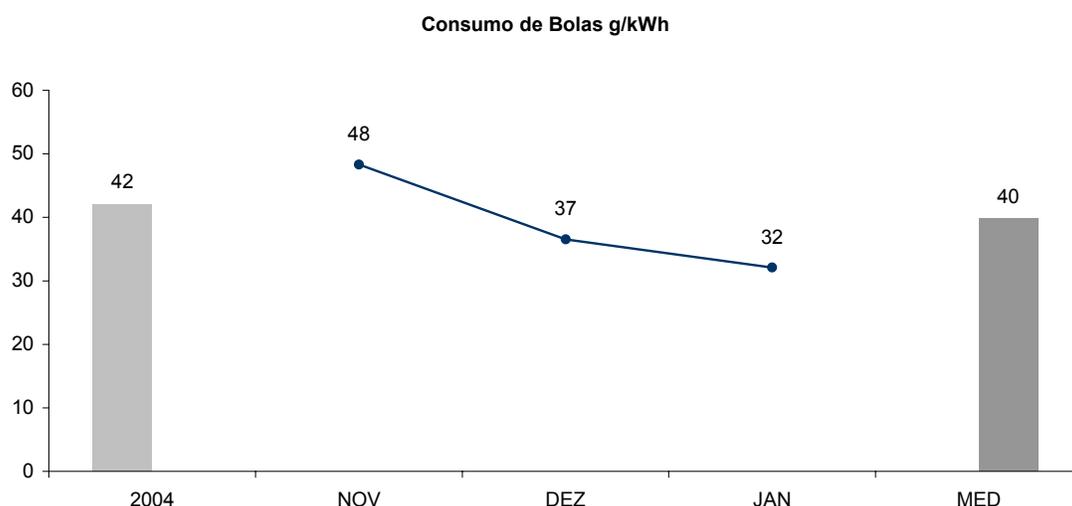
Após 1.850 h, passamos a recarregar apenas bolas com diâmetro de 60 mm, eliminando a adição de bolas diâmetro 50 mm.

Ao término desta fase o moinho estará com carga moente completamente composta por bolas 30% de Cromo, a partir de Fevereiro/2005 já observamos resultados positivos com a redução do consumo específico.

## RESULTADOS

Na hipótese de, ao concluirmos a fase 1, optarmos pelo corpo moedor de melhor custo x benefício, estaríamos economizando 23% do orçamento de corpos moedores.

Quando a terceira fase deste trabalho estiver concluída, esperamos reduzir em até 35% o nosso desembolso com corpos moedores da Moagem PPL.



**Gráfico 1.** Decréscimo do consumo específico de bolas.

Houve um considerável decréscimo no índice gramas de bola consumidos por kWh absorvido nos moinhos, que mede o desgaste específico de bolas (Gráfico 1).

## CONCLUSÕES

Existem diversas maneiras de se desenvolver um controle de desgaste de materiais aplicados a cominuição, com ganhos diferentes, e metodologia também, devemos definir o que melhor se aplica às nossas necessidades evitando desperdícios e inconformidade de informações. Neste trabalho foram trabalhada metodologia enriquecedoras no alicerce de uma decisão estratégica. Optar pelos corpos moedores 30% Cromo, num primeiro momento, reduziu consideravelmente os custos de produção, sem comprometer a qualidade do produto, nossa missão principal.

## Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram para realização deste trabalho, em especial as empresas CVRD, Magotteaux e MolyCop pelo apoio incondicional na busca da otimização do desgaste dos corpos moedores na Moagem PPL de Carajás/CVRD.

# COMPARATIVE STUDY OF BALLS WEARING, IN THE BALL MILLS OF CARAJÁS/CVRD

*Antonio Lucas de Medeiros Silva  
Kesley Medeiros Julianelli  
Neuber Salgado Ferreira  
Jose Osmário de Azevedo  
Henrique Gustavo da Silva  
Keulla Venya Urbano e Silva*

## **Abstract**

The present work has for objective to evidence the methodology used in the establishment of the more economic metallic league of the applied grinding bodies in the Milling of Balls of the Mountain range of the Carajás/CVRD. The methodology used for this end consists basically of 3 phases: Phase 1 - The daily accompaniment of the operational 0 variable of the mill with intention to establish the control of consuming of this material (survey and consolidation of the data for analysis); Phase 2 - from the results of phase 1 we carry through a test with marked balls, what it allowed the accomplishment of the third stage of the process; Phase 3 - Exchange of the grinding load in one of the mills. Beyond the described aspects others they had been above evaluated, as for example the capacity of attendance of the supplier and the logistic one of transport of raw materials. The result of this work will be the reduction of at the very least 35% in the cost with applied grinding bodies to the process in question.

**Key-words:** Grinding balls; Circuits of milling.