

ESTUDOS DE OTIMIZAÇÃO POR SIMULAÇÃO DE PROCESSOS PARA A COMPANHIA VALE DO RIO DOCE - CARAJÁS

*Luiz Tavares dos Santos Junior*¹
*Marco Aurélio Soares Martins*²
*Klaydison Carlaile Silva*³
*Kesley Medeiros Julianelli*⁴
*Henrique Gustavo da Silva*⁵
*Keulla Venya Urbano e Silva*⁶

Resumo

A utilização da tecnologia de simulação de processo global por modelos matemáticos fenomenológicos é fundamental para alcançar a otimização de um circuito. Equações adequadas de scale-up são utilizadas para obter os parâmetros de cinética de quebra a partir daqueles correspondentes obtidos em laboratório. A predição do desempenho global do circuito é obtida utilizando-se o simulador devidamente calibrado a partir das condições do circuito industrial e laboratório. A capacidade do circuito é então levantada com precisão. O estudo em questão apresenta trabalhos de otimização do circuito de pellet feed da CVRD – Carajás que envolve estudos de otimização da moagem, incluindo carga de bolas, classificação e deslamagem.

Palavras-chave: Simulação de processos; Otimização; Moagem.

Contribuição técnica para 60° CONGRESSO ANUAL DA ABM - 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte - Minas Gerais

¹ *Eng. de Processos – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

² *M. Sc. e Diretor de Operações da CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

³ *Eng. de Processos – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

⁴ *Eng. de Minas e Gerente de Pellet Feed e Moagem – CVRD - Carajás*

⁵ *Técnico em Eletroeletrônica – CVRD - Carajás*

⁶ *Técnica em Mineração – CVRD - Carajás*

INTRODUÇÃO

Nos últimos meses, foi observada a redução da recuperação mássica da usina de beneficiamento da Companhia Vale do Rio Doce, unidade de Carajás.

Este relatório apresenta uma síntese das análises, estudos e ações executadas, visando a possibilidade de novas concepções para os circuitos de moagem, deslamagem e espessamento a fim de otimizar a recuperação nesta usina.

A CEMI utilizou como principal recurso, a simulação do processo através do software USIMPAC 3.0 para Windows, desenvolvido pela BRGM - Orleans – França.

Os trabalhos foram executados em frentes distintas:

- Diagnóstico do problema e modificações corretivas;
- Simulações de novas concepções para o circuito, visando sua otimização;
- Testes com espessador para determinação a curva de partição por hidrosseparação no mesmo;
- Teste de diluição no moinho;
- Testes para otimização da carga de bolas.

METODOLOGIA

A otimização total de uma usina de moagem tem como objetivo alcançar o máximo de performance técnica ou econômica, consistindo de duas partes:

- Otimização estacionária;
- Otimização dinâmica.

A otimização estacionária trata da identificação das melhores condições operacionais.

A implantação dos resultados da otimização resulta em maior eficiência de operação, portanto, maior capacidade, um produto de melhor qualidade, ou menor consumo de energia para a mesma capacidade e qualidade.

A utilização da tecnologia de simulação do processo global por modelos matemáticos fenomenológicos é fundamental para alcançar a otimização de um circuito. Muitas vezes, quando se enfoca unicamente pontos específicos do processo para otimizações, podem ocorrer problemas de interferências de outros pontos do circuito de forma a não permitir os ganhos pretendidos.

Este é o caso, por exemplo, de interferências da eficiência da classificação no circuito fechado de moagem no resultado global. Caso existam limitações ou pontos de estrangulamentos no circuito, a sensibilidade de modificações em outros pontos pode ficar bastante reduzida.

Equações adequadas de scale-up são utilizadas para obter os parâmetros da cinética de quebra industriais a partir daqueles correspondentes obtidos em laboratório. A predição do desempenho global do circuito é obtida utilizando-se o simulador devidamente calibrado a partir das condições do circuito industrial e laboratório. A capacidade do circuito é então levantada com precisão.

A seguir, é apresentada a base da tecnologia de modelamento matemático e simulação em processos de moagem:

A equação que descreve a taxa de variação de tamanho de partículas no moinho é conhecida como equação do balanço populacional.

$$\frac{dm}{dt} = -S_i m_i(t) + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} S_j m_j(t)$$

Onde:

m_i = Massa de material no intervalo de faixa granulométrica i ;

S_i = Função seleção;

b_{ij} = Função quebra;

t = Tempo.

A função seleção descreve a velocidade de quebra das partículas e depende das condições de moagem. A função quebra depende unicamente do material.

A função quebra e as funções seleção podem ser determinadas em laboratório com testes simples de moagem e técnicas de minimização de função. Como a função de quebra depende unicamente do material, ela pode ser transportada diretamente para o moinho industrial. Já a função seleção depende de um artifício para ser utilizada em escalas diferentes.

Para se fazer o scale-up dos resultados de laboratório para a escala industrial, é necessário determinar a função seleção específica que independe do tamanho do moinho:

$$S_i = S_i^E \left(\frac{P}{H} \right)$$

Onde:

P = potência;

H = hold-up (ou massa de minério interno ao moinho).

Para se determinar a potência em escala de laboratório, é utilizado o moinho de laboratório dotado de torquímetro. A potência do moinho industrial é determinada por cálculos de acordo com os dados de projeto como dimensões do moinho, enchimento de bolas e rotação.

Através do USIMPAC, este scale-up é feito apenas adequando o valor do parâmetro S_i^E da função seleção do teste de laboratório tal qual para o circuito industrial de forma a obter um produto com as mesmas especificações. Determinado o fator de correção de S_i^E , o mesmo é aplicado em todos os novos testes.

A tecnologia acima foi utilizada para se determinar novas opções de cargas de bolas para o circuito.

diminuição da velocidade das bombas para controlar o nível da caixa e fechamento de dois hidrociclones em cada bateria, restando apenas seis em operação por bateria. Adicionalmente, foi considerada a condição de máxima adição possível de água na caixa de alimentação da deslamagem.

Após alguns dias de operação foi considerado aumento significativo da recuperação, chegando próximo a níveis anteriormente alcançados, mas não melhores.

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS FLUXOGRAMAS

Nesta etapa do trabalho, foram feitas simulações alterando parâmetros de projeto na planta como tamanho e quantidade dos ciclones, dupla classificação, entre outras. As principais opções estudadas estão na tabela 1.

DESCRIÇÃO	
OP1	Dupla Classificação
OP2	Deslamagem em ciclones de 10" seguido por ciclones de 2"
OP3	Deslamagem em ciclones de 10" seguido por ciclones de 4"
OP4	Deslamagem em ciclones de 2"

Tabela 1 – Principais opções estudadas

Os resultados destas simulações são apresentados na tabela 2.

Descrição	Atual	OP1	OP2	OP3	OP4
Alimentação Moinho 1 t/h	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
Alimentação Moinho 2 t/h	351.00	350.00	351.00	351.00	351.00
Alimentação Total t/h	701.00	700.00	701.00	701.00	701.00
Carga Circulante Linha 1	2591.42	3606.84	2594.17	2594.18	2594.18
Carga Circulante Linha 2	2349.23	2623.65	2349.24	2349.24	2349.23
% Passante em 45 µm	66.88	68.19	67.07	66.67	66.40
SE OF Moinho 1	3442.61	3390.13	3363.05	3363.05	3359.44
SE OF Moinho 2	3380.20	3402.36	3383.77	3383.77	3380.20
SE UF Deslamagem	1593.23	1454.13	1573.58	1571.74	1594.89
UF Deslamagem t/h	530.65	545.06	568.13	561.21	556.71
% Variação	-	2.71%	7.06%	5.76%	4.91%
Ganho t/ano (rend. 85%)	0	107,248	279,029	227,565	194,016
Recuperação Produto Final %	75.70%	77.86%	81.04%	80.06%	79.42%
Recuperação % Variação	-	0.02	0.05	0.04	0.04

Tabela 2 – Resultados obtidos para novas concepções

Entre as opções estudadas as opções que envolvem duas etapas de deslamagem foram as que apresentaram os melhores resultados.

OTIMIZAÇÃO DA CARGA DE BOLAS

Foi feito um estudo visando a otimização da carga de bolas dos moinhos da planta. Verificou-se que a carga de bolas atual não tem uma grande eficiência na fração de interesse.

Objetivou-se então, através de testes de laboratório com diferentes composições de cargas de bolas, determinar uma nova carga que satisfizesse estas duas condições essenciais:

- Não geração de uma superfície específica alta;
- Maior eficiência no intervalo granulométrico entre 1 mm e 45 micra

Alguns destes testes foram feitos utilizando um novo tipo de corpo moedor chamado Millpebs. O Millpebs consiste de bolas atomizadas de diâmetros entre 6 e 12 mm.

A composição das cargas de bolas utilizadas é mostrada na figura 2.

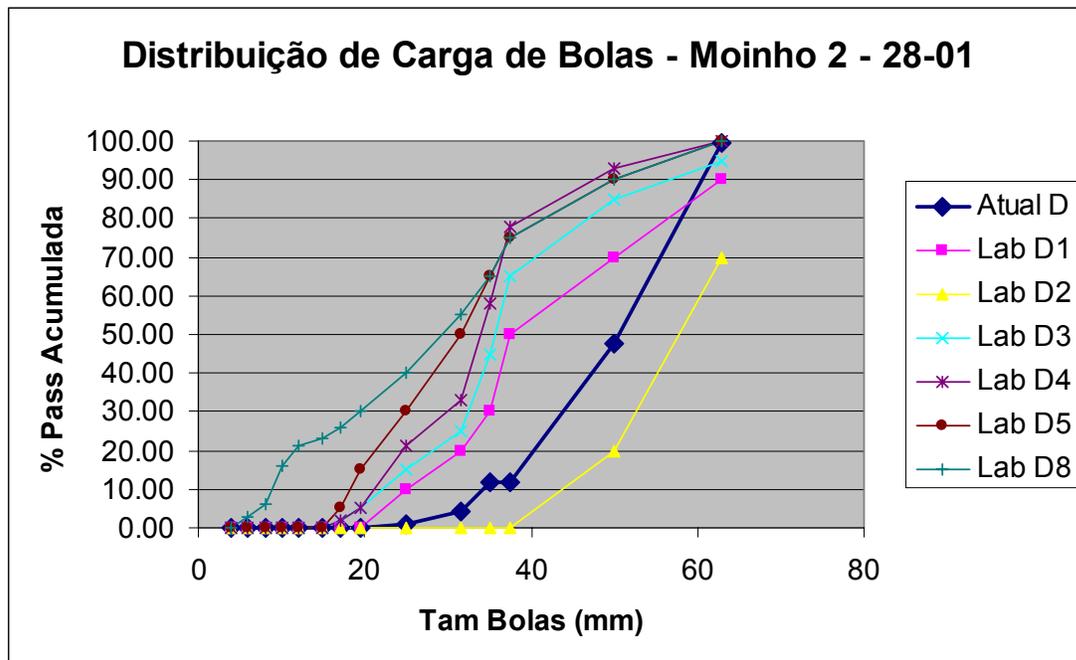


Figura 2 – Composição dos testes de carga de bolas

Após a realização dos testes foram feitas a calibração do moinho com as dimensões do moinho de laboratório. Após esta calibração é feito o scale-up, que consiste em passar para o moinho industrial as condições do moinho de laboratório.

Os resultados da simulação são apresentados na tabela abaixo.

MOINHO 2 - DIA 28/01							
TABELA DE RESULTADOS							
	Lab Ind	Lab B1	Lab B2	Lab B3	Lab B4	Lab B5	Lab B8
ALIMENTAÇÃO t/h - Moinho 1	358.10	358.10	320.00	420.00	420.00	500.00	530.00
ALIMENTAÇÃO t/h - Moinho 2	378.90	378.90	320.00	420.00	403.69	496.45	543.36
ALIMENTAÇÃO t/h - Total	737.00	737.00	640.00	840.00	823.69	996.45	1073.36
CARGA CIRCULANTE t/h - Linha 1	2288.38	1971.46	885.44	3035.04	2060.78	3872.20	3626.84
CARGA CIRCULANTE t/h - Linha 2	1840.19	2413.11	543.41	3190.03	2011.00	4073.23	3778.76
% Passante em 45 µm	69.20	70.69	66.82	69.02	71.42	67.75	70.56
SE g/cm2 - OF Moinho 1	2900.03	3488.79	2898.81	3205.50	3221.86	3309.53	3364.08
SE g/cm2 - OF Moinho 2	3427.99	3338.38	3680.28	3205.02	3244.03	3289.39	3334.44
SE g/cm2 - Al. Deslamagem	3171.46	3411.47	3289.75	3205.18	3235.04	3299.79	3348.04
PRODUTO t/h - UF Deslamagem	594.93	587.14	512.99	683.80	645.48	801.23	864.07
PRODUTO - % Variação	xxx	-1.31%	-13.77%	14.94%	8.50%	34.68%	45.24%
Ganho t/ano (rend. 85%)	xxx	-58,014.17	-610,131.27	661,719.17	376,414.06	1,536,136.98	2,004,009.59
RECUPERAÇÃO - Produto Final %	80.72%	79.67%	80.15%	81.40%	78.36%	80.41%	80.50%
% Variação	xxx	-1.06%	-0.57%	0.68%	-2.36%	-0.31%	-0.22%

Tabela 3 – Resultados da simulação de carga de bolas.

Os resultados mostraram que, no geral, a utilização de carga de bolas mais finas levaram a um aumento de capacidade do circuito industrial, sendo que as cargas compostas com millpebs tiveram melhores ganhos.

Isso se deve ao fato das cargas mais finas composta com Millpebs ou alta superfície específica de bolas terem uma melhor eficiência na cominuição de partículas na faixa compreendida entre 45 e 300 µm, intervalo esse problemático para a atual carga de bolas.

Segue abaixo os gráficos da cinética na faixa de interesse (100 a 1000 micra) para as cargas de bolas de cada teste efetuado:

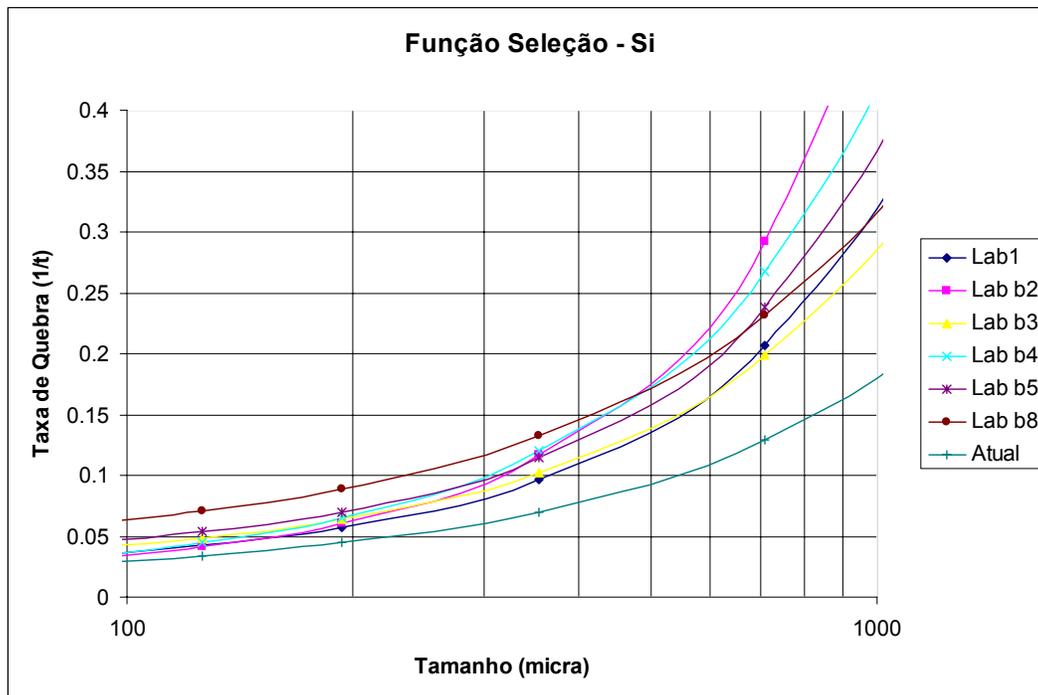


Figura 3 – Função seleção das diferentes cargas de bolas

Observou-se que em algumas composições de cargas de bolas, a redução do top size atuou da maneira esperada gerando ganhos quanto aos objetivos de recuperação.

CONCLUSÃO

A simulação de processos é uma importante ferramenta para prever diferentes situações em uma planta de beneficiamento de maneira rápida e com uma confiança muito grande.

As diversas simulações realizadas mostraram diferentes maneiras de conseguir a otimização do circuito de moagem, algumas mais simples e de fácil implementação e outras que, pelo grande investimento necessário, ainda requer um estudo mais detalhado.

Neste estudo podemos destacar a otimização da carga de bolas, onde foram realizados vários testes e que mostrou que uma carga de bolas mais fina é ideal para o circuito, principalmente as que utilizam microbola como corpo moedor, que mostraram ganhos surpreendentes.

Algumas das alterações recomendadas já foram executadas e mostraram realmente o ganho. Outras ainda estão em estudo e poderão ser concretizadas.

REFERÊNCIAS

1. Martins, M.A.S & Seixas, F. (1992) – “Avanços no Controle e Supervisão de Processos Minerais”.
2. Durance, M. V., Guillaneau, J.-C., Villeneuve, Fourniguet, G., Brochot, S., Usim Pac 2 for windows: “Advanced simulation of mineral Processes”, *Progress in Mineral Processing Technology*, Demirel & Ersayin (eds) © 1994, Balkema, ISBN
3. Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, J., Guyot, O., “Computer aided Optimization of Mineral Processing Plant: Usim Pac 2.0 for Windows”, *Advanced Technologies for Mineral Processes, three years of innovation*, junho de 1993, Orleans, França.
4. Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, Fourniguet, G., Brochot, S., “Computer simulation of mineral and hidrometallurgical processes: Usim Pac 2.0, a single software from design optimization”, *International Symposium on Modeling, Simulation and Control of Hidrometallurgical Processes*, 24 de agosto a 2 de setembro, 1993, Quebec, Canadá.
5. Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, J., Brochot, S., Fourniguet, G., “Simulation Improvements in Mineral Processing”, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1995, Vol. 15, pp. 205-215
6. Libaude, J., Morizot, G., Morin, D., Guillaneau, J.-C., “New Technological Developments in Mineral Processing”, *Asian Mining*, 1993, Índia.
7. Carvalho, C.R.C, (1999) - Relatório final do projeto de otimização dos circuitos de moagem de cimento da Fábrica de Tocantins – CCPI.

OPTIMIZATION STUDIES BY PROCESS SIMULATION TO COMPANHIA VALE DO RIO DOCE - CARAJÁS

*Luiz Tavares dos Santos Junior
Marco Aurélio Soares Martins
Klaydison Carlaile Silva
Kesley Medeiros Julianelli
Henrique Gustavo da Silva
Keulla Venya Urbano e Silva*

Abstracts

The process simulation technology using mathematical physical models is very important to perform optimization studies of plants. In grinding plants, appropriate scale-up equations are used to obtain the breakage parameters starting from those correspondents obtained in laboratory tests. The prediction of the global performance of the circuit is reached using the simulator properly calibrated with the industrial and laboratory conditions. The capacity of the circuit is then accurately studied. This text presents the optimization studies carried out for the CVRD pellet feed plant at Carajás, which included the optimization of grinding, classifying and slurring circuits.

Key-words: Process Simulation, Optimization e Grinding.

Technical Contribution to 60th ANNUAL CONGRESS OF ABM – July-2005, 25 - 28, Belo Horizonte – Brazil

¹ *Process Engineer – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

² *M. Sc. and Operations Director - CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

³ *Process Engineer – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

⁴ *Mining Engineer and Pellet Feed and Grinding Manager – CVRD - Carajás*

⁵ *Eletroeletronics Technician – CVRD - Carajás*

⁶ *Mining Technician - CVRD - Carajás*