



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE HIDROCICLONES EM CIRCUITOS DE MOAGEM

Série
Tecnologia Mineral

nº 35

Seção Beneficiamento

nº 22

Brasília

1985

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

Antonio Aureliano Chaves de Mendonça - Ministro de Estado

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

José Belfort dos Santos Bastos - Diretor Geral

DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL

Sylvio Baeta Neves - Diretor

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Roberto Cerrini Villas Bôas - Superintendente

Autores : José Ignácio de Andrade Gomes *
Regina Coeli Casseres Carrisso * *

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE HIDROCICLONES EM CIRCUITOS DE MOAGEM

Execução e elaboração do trabalho pelo
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM
Através do convenio DNPM/CPRM

* Eng. Metalúrgico
* * Eng. Metalúrgico

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral
Setor de Autarquias Norte
Quadra 01 - Bloco B - Telex (061) III 6
70.000 - Brasília (DF) - Brasil

Copyright 1985
Reservados todos os direitos
Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte

Depósito Legal
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro
Instituto Nacional do Livro

Brasil. DNPM

Aplicação da simulação de hidrociclones em circuitos de moagem/J.I. Andrade Gomes e R.C. C. Carrisso. - Brasília, 1985.

...p.: il. - (Brasil. DNPM. Série Tecnologia Mineral; 35. Seção Beneficiamento; 22)

"Trabalho executado pelo Centro de Tecnologia Mineral, através do Convênio DNPM/CPRM".

Bibliogr.

I. Tecnologia Mineral - Brasil. I. Gomes, J. I. de A. II. Carrisso, R.C.C. III. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro. IV. Título. V. Série.

CDD 622.7
CDU 622.2 (81)

RESUMO

ABSTRACT

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. EQUAÇÕES DO MODELO | 02 |
| 3. CÁLCULOS DOS PARÂMETROS EXPERIMENTAIS | 03 |
| 4. AJUSTE DO MODELO | 05 |
| 5. ENSAIOS DE SIMULAÇÃO | 06 |
| 6. NOMENCLATURA | 11 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 11 |

RESUMO

O trabalho descreve a metodologia necessária para ajustar o modelo de Plitt a operações envolvendo hidrociclones. É apresentada uma situação real de bateria de hidrociclones fechando um circuito de moagem da usina de concentração da Caraíba Metais S.A. A partir de resultados de amostragens, ajustados por um programa de balanço de massas nos fluxos de entrada e saída de bateria de hidrociclones, para uma condição operacional, foram modificadas as constantes das equações do modelo que relacionam os parâmetros que definem a operação com as variáveis dimensionais. Com o modelo ajustado, foram realizadas simulações, através de programa de computador, em condições operacionais diferentes. Comparações entre os resultados previstos pelo modelo e os resultados experimentais mostraram boa concordância, indicando que esse pode ser utilizado para prever a performance dos ciclones com razoável precisão.

ABSTRACT

The research describes the methodology to fit the Plitt's model to operations concerning hydrocyclones. It is showed a industrial case of a grinding circuit closed with cyclones of a copper concentration plant from Caraíba Metais S/A. The sampling results of the streams in the input and output of the cyclones were adjusted by a material balance program. The predicted parameters of the model were compared with the experimental ones for a specific set of operating conditions and the constants of the model were modified in order to have a calibrated model, for the system studied. Simulation results with different sets of operating conditions were compared with experimental results, showing that the model can be used to predict cyclone performance with reasonable accuracy.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem sido grande o esforço dedicado pelos pesquisadores visando o desenvolvimento de modelos matemáticos, essencialmente teóricos, que sejam universalmente aplicáveis. Entretanto, devido à natureza dos minérios, que apresentam formações geológicas específicas, esses modelos têm aplicações limitadas. Já os modelos fenomenológicos, que apresentam alguns parâmetros relacionados com as características do minério e equipamento, e que necessitam da determinação desses parâmetros para cada caso específico, são mais gerais e mais precisos. Uma vez ajustados através de observações, e desde que utilizados dentro das condições operacionais em que foram desenvolvidos, esses modelos podem se tornar uma ferramenta útil na otimização de processos ou auxiliar na definição de uma modificação a ser realizada no circuito.

Apenas 4 parâmetros são necessários para caracterizar a performance de um hidrociclone: 1) o tamanho de corte corrigido (d_{50c}), que é definido como o tamanho onde 50% das partículas que vêm da alimentação dirigem-se para o "underflow", como resultado apenas da ação de classificação, isto é, corrigido para a quantidade de água que se dirigiu para o "underflow"; 2) a partição do fluxo (S), representado por vazão volumétrica de polpa no "underflow"/vazão volumétrica de polpa no "overflow"; 3) a eficiência da classificação (m), que é proporcional à inclinação da curva de partição (quanto maior a inclinação, mais perfeita é a separação); 4) a pressão na entrada do ciclone (p), que está relacionada com a capacidade do mesmo. Conhecendo-se os quatro parâmetros descritos acima para um dado conjunto de condições operacionais, é possível determinar o balanço de massa completo em torno do ciclone, junto com a distribuição granulométrica dos produtos.

No modelo de Plitt ⁽²⁾, esses parâmetros foram relacionados, através de regressões lineares múltiplas, com as variáveis dimensionais do ciclone e características físicas da alimentação, a partir de 297 ensaios experimentais, sen

2.

do 123 destes os mesmos utilizados por Lynch e Rao⁽¹⁾. Apesar de ser um modelo empírico, Plitt procurou colocar as equações no mesmo formato de equações teóricas obtidas anteriormente⁽⁶⁾, e incluiu as variáveis mais importantes previstas pela teoria.

2. EQUAÇÕES DO MODELO

A seguir, são apresentadas as equações que relacionam os parâmetros citados com as variáveis dimensionais e características físicas da alimentação:

$$d_{50c} = \frac{35 \times D_c^{0,46} \times D_i^{0,6} \times D_o^{1,21} \times e^{(0,063\theta)}}{D_u^{0,71} \times h^{0,38} \times Q^{0,45} (\rho_s - \rho)^{0,5}} \quad (1)$$

$$S = \frac{2,9 (D_u/D_o)^{3,31} \times h^{0,54} \times (D_u^2 + D_o^2) \times e^{(0,0054\theta)}}{H^{0,24} \times D_c^{1,11}} \quad (2)$$

$$m = e^{(0,58 - 1,58rv)} \times \frac{D_c^2 \times h^{0,15}}{Q} \quad (3)$$

$$p = \frac{4,7 \times Q^{1,78} \times e^{(0,0055\theta)}}{D_c^{0,37} \times D_i^{0,94} \times h^{0,28} \times (D_u^2 + D_o^2)^{0,87}} \quad (4)$$

As constantes, em cada uma das equações, devem ser modificadas de acordo com resultados experimentais, para calibração do modelo a um determinado sistema ciclone-minério existente. A equação que calcula a % do minério recuperado no "underflow", em cada intervalo granulométrico, em relação à alimentação⁽⁷⁾, é a seguinte:

$$Y_{c_i} = 1 - e^{(0,693(d_i/d_{50c})^m)} \quad (5)$$

Com o conhecimento da partição do fluxo (S) e dos sólidos, é possível calcular a água recuperada no "under flow" (Rf) e, conseqüentemente, obter-se a curva de partição atual, que representa a análise granulométrica do "underflow".

3. CÁLCULOS DOS PARÂMETROS EXPERIMENTAIS

A bateria de ciclones opera fechando um circuito de moagem de bolas convencional. As amostras foram coletadas na descarga do moinho e nos produtos dos ciclones. A descarga do moinho com adição da água de diluição constitui a alimentação dos ciclones. Os resultados de amostragens em três condições operacionais diferentes foram ajustados por um programa de balanço de massas (Matbal-4) (10), visando obtenção de valores mais confiáveis e satisfazendo as equações de conservação da massa na entrada e saída dos ciclones. As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam: as condições operacionais em que foram obtidas as amostras, os valores resultantes da amostragem e os valores ajustados pelo balanço de massas.

| | ALIMENTAÇÃO | | "OVERFLOW" | | "UNDERFLOW" | |
|---------------------------------------|-------------|--------|------------|--------|-------------|--------|
| | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. |
| Taxa de Sólidos (t/h) | 913,0 | 866,2 | 206,0 | 206,0 | 707,0 | 660,2 |
| Vazão de água (m ³ /h) | 504,0 | 486,5 | 303,0 | 299,8 | 201,0 | 186,7 |
| % sólidos | 64,4 | 64,0 | 40,5 | 40,7 | 77,8 | 78,0 |
| Vazão volumétrica (m ³ /h) | 796,0 | 763,2 | 369,0 | 365,6 | 427,0 | 397,6 |
| % RETIDA TAMANHO (MICRA) | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. |
| 297 | 40,75 | 40,05 | 0,00 | 0,00 | 51,69 | 52,55 |
| 210 | 11,71 | 11,60 | 7,29 | 7,30 | 12,85 | 12,95 |
| 149 | 13,76 | 13,87 | 13,57 | 13,54 | 14,05 | 13,96 |
| 105 | 7,31 | 7,87 | 13,06 | 12,63 | 6,75 | 6,39 |
| 74 | 5,90 | 6,06 | 11,63 | 11,48 | 4,43 | 4,36 |
| 53 | 3,76 | 3,92 | 9,24 | 9,00 | 2,39 | 2,34 |
| 44 | 2,76 | 2,50 | 6,65 | 7,01 | 1,06 | 1,09 |
| -44 | 14,05 | 14,15 | 38,56 | 39,04 | 6,78 | 6,40 |

Tabela 1. - Resultados de amostragens. Dia 23/03/84. Três ciclones em operação, diâmetro do vórtex = 10", diâmetro do ápex = 5", pressão da alimentação = 44kPa, densidade do sólido = 3,13 g/cm³.

| | ALIMENTAÇÃO | | "OVERFLOW" | | "UNDERFLOW" | |
|---------------------------------------|-------------|--------|------------|--------|-------------|--------|
| | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. |
| Taxa de sólidos (t/h) | 792,0 | 782,3 | 198,0 | 198,0 | 534,0 | 584,3 |
| Vazão de água (m ³ /h) | 516,0 | 511,8 | 336,0 | 335,5 | 180,0 | 176,3 |
| % sólidos | 60,6 | 60,5 | 37,1 | 37,1 | 76,8 | 76,8 |
| Vazão volumétrica (m ³ /h) | 769,0 | 761,8 | 399,0 | 370,0 | 370,0 | 363,0 |
| % RETIDA TAMANHO (MICRA) | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. |
| 297 | 32,13 | 31,23 | 1,01 | 1,01 | 40,41 | 41,47 |
| 210 | 13,73 | 13,90 | 3,34 | 3,34 | 17,70 | 17,48 |
| 149 | 14,15 | 15,57 | 11,05 | 10,83 | 19,11 | 17,18 |
| 105 | 11,09 | 9,60 | 15,03 | 15,72 | 7,08 | 7,53 |
| 74 | 6,81 | 6,95 | 13,35 | 13,21 | 4,88 | 4,83 |
| 53 | 4,03 | 4,11 | 9,54 | 9,43 | 2,32 | 2,30 |
| 44 | 2,26 | 2,33 | 5,93 | 5,81 | 1,16 | 1,15 |
| -44 | 15,80 | 16,31 | 40,75 | 40,65 | 7,34 | 8,06 |

Tabela 2. - Resultados de amostragens. Dia 17/02/83. Três clones em operação, diâmetro do vórtex = 12", diâmetro do ápex = 4 3/4", pressão de alimentação = 40kPa, densidade do sólido = 3,13g/cm³.

| | ALIMENTAÇÃO | | "OVERFLOW" | | "UNDERFLOW" | |
|---------------------------------------|-------------|--------|------------|--------|-------------|--------|
| | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. |
| Taxa de sólidos (t/h) | 1365,0 | 1403,5 | 200,0 | 200,0 | 1165,0 | 1203,5 |
| Vazão da água (m ³ /h) | 944,0 | 960,6 | 581,0 | 584,0 | 363,0 | 374,3 |
| % sólidos | 59,1 | 53,4 | 25,6 | 25,5 | 76,2 | 73,6 |
| Vazão volumétrica (m ³ /h) | 1381,0 | 1409,0 | 645,0 | 647,9 | 736,0 | 758,8 |
| % RETIRADA TAMANHO (MICRA) | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. | OBS. | AJUST. |
| 297 | 38,43 | 38,20 | 0,34 | 0,34 | 43,23 | 44,50 |
| 210 | 15,32 | 15,70 | 3,06 | 3,06 | 18,26 | 17,80 |
| 149 | 16,72 | 17,24 | 12,73 | 12,69 | 18,54 | 17,99 |
| 105 | 9,70 | 9,94 | 15,51 | 15,42 | 9,22 | 9,03 |
| 74 | 5,01 | 5,22 | 13,75 | 13,52 | 3,96 | 3,85 |
| 53 | 1,84 | 2,00 | 7,19 | 6,83 | 1,27 | 1,21 |
| 44 | 1,93 | 2,01 | 7,88 | 7,69 | 1,09 | 1,07 |
| -44 | 10,05 | 9,69 | 39,54 | 40,45 | 4,43 | 4,55 |

Tabela 3. - Resultados de amostragens. Dia 29/04/82. Cinco clones em operação, diâmetro do vórtex = 27,4cm, diâmetro do ápex = 12,3cm, pressão de alimentação = 43kPa, densidade do sólido = 3,13g/cm³.

Com os valores ajustados da amostragem do dia 23/03/84 e mais a pressão medida na entrada dos ciclones, foram obtidos os parâmetros d_{50c} , m , S e p , que estão apresentados na Tabela 4. Com os dados de vazões de sólidos e análises granulométricas, obteve-se a curva de partição atual, que foi corrigida para a água recuperada do "underflow" (R_f), para obtenção da curva corrigida. A eficiência de classificação (m) foi determinada pela inclinação da reta que se obteve após utilização de regressão linear com os pontos $\ln d_i \times \ln \left(\frac{1}{1 - y_{ci}} \right)$.

A reta obtida apresenta a linearização da equação (5), de onde pode ser determinado o valor de d_{50c} . A partição do fluxo (S) foi determinada pela relação: vazão volumétrica do "underflow" / vazão volumétrica do "overflow".

| PARÂMETROS | VALORES EXPERIMENTAIS | VALORES PREVISTOS | FATOR DE CALIBRAÇÃO |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| d_{50c} | 123 | 378 | 0,325 |
| m | 2,34 | 2,07 | 1,130 |
| S | 0,91 | 0,19 | 4,789 |
| p | 40,0 | 37,2 | 1,076 |

Tabela 4. - Fatores de calibração para ajuste do modelo às condições do dia 23/03/84.

4. AJUSTE DO MODELO

Com o conhecimento das variáveis dimensionais do ciclone, $D_c = 66,04$, $D_o = 30,48$, $D_u = 12,70$, $D_i = 22,20$ e $h = 230$, em centímetros, foram calculados os parâmetros previstos pelas equações (1), (2), (3) e (4). Os valores encontrados estão comparados com os valores experimentais obtidos na Tabela 4. Observa-se uma grande discrepância entre os parâmetros previstos e os experimentais, o que certamente proporcionará análises granulométricas dos produtos previstos (equação 5), bem distante das obtidas experimentalmente. Os fatores de calibra

ção, que foram obtidos pela divisão dos valores experimentais pelos previstos, foram multiplicados pelas constantes das equações (1), (2), (3) e (4). Observações "in situ" da descarga do ápex mostraram ser essa do tipo cordão. Embora se tenha pouca informação quantitativa do efeito desse tipo de descarga na performance do ciclone, sabe-se que, nessa situação, a polpa descarregada perde seu movimento rotacional, e que há uma sobrecarga de sólidos no ápex, existindo uma % de sólidos limite para a descarga. Esse efeito faz com que certa quantidade de material grosseiro, que normalmente deveria se dirigir para o "underflow", seja descarregada no "overflow", acarretando um rápido acréscimo no d50c (8), invalidando a equação (1). No programa utilizado para esse trabalho, esse efeito é manipulado especificando-se, pelo usuário, a percentagem de sólidos máxima, em volume, permitida no ápex para alimentação com 20% de sólidos em volume. Foi assumido que a concentração limite permitida no ápex aumenta com a % de sólidos, em volume, da alimentação, segundo a equação: $Lu = Lu_{20} + 0,0068 (\phi - 20)$. Se essa restrição é encontrada, o d50c é repetidamente aumentado de 5%, até que a concentração de sólidos no "underflow" seja reduzida a um valor abaixo da concentração limite. O número de iterações é armazenado de tal forma que uma mensagem pode ser impressa indicando de quanto foi aumentado o d50c. Com o modelo calibrado para as condições do dia 23/03/84, foram realizadas diversas simulações, com alterações no valor de Lu_{20} . Os resultados simulados foram comparados com os experimentais. O valor de Lu_{20} que proporcionou melhor simulação foi de 0,428.

5. ENSAIOS DE SIMULAÇÃO

A Figura 1 apresenta uma comparação entre os valores obtidos experimentalmente e os obtidos pelo modelo calibrado para as condições operacionais do dia 23/03/84. Os dados de entrada do programa foram modificados para as condições operacionais dos dias 17/02/83 e 29/04/82 e realizadas si

| | TAXA DE SÓLIDOS | VAZÃO DE ÁGUA | % DE SÓLIDOS |
|-------|-----------------|---------------|--------------|
| UNDER | 670,8 | 182,9 | 78,6 |
| OVER | 195,4 | 303,5 | 39,2 |

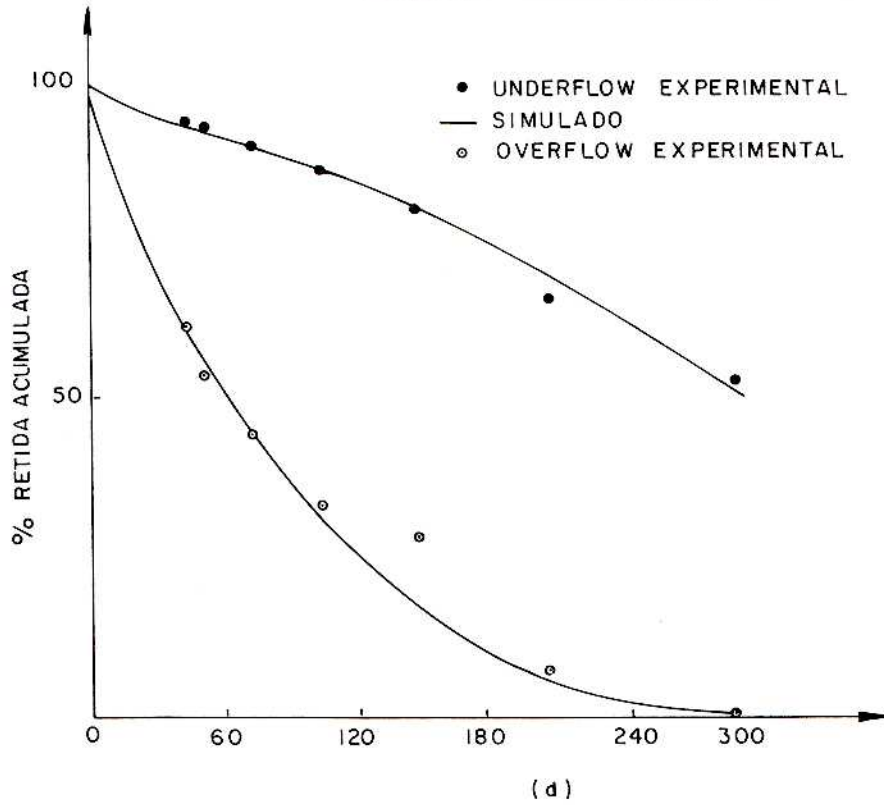


FIGURA 1— ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS PRODUTOS E BALANÇO DE MASSA SIMULADO DIA 23/03/84

mulações para essas condições. As Figuras 2 e 3 apresentam uma comparação entre os valores previstos e os experimentais dos produtos do ciclone. Observa-se boa concordância entre esses valores, indicando que o modelo pode ser aplicado para o sistema ciclone-minério estudado.

6. CONCLUSÕES

Verificou-se que, para utilização do modelo, é necessária a realização de amostragens no circuito, a fim de verificar e corrigir as possíveis distorções entre os resultados previstos e os experimentais. No caso estudado, com a modificação das constantes das equações que relacionam os parâmetros que definem a operação com as variáveis operacionais, e com a definição de uma equação relacionando a concentração limite de sólidos no ápex com a percentagem de sólidos na alimentação, foi possível obter simulações da operação para as condições em que foram obtidas as amostras. Entretanto, em cada caso, devem ser investigadas as variações dos parâmetros com as variáveis operacionais de interesse, dependendo do propósito da simulação, e, caso existam distorções, as constantes devem ser alteradas por funções das variáveis em questão, através de regressões.

O modelo ajustado pode ser utilizado como auxiliar na definição do valor das principais variáveis que alteram a performance do hidrociclone, visando obtenção de produto de moagem adequado para a operação de flotação subsequente. Estudos de otimização do circuito de moagem por simulação dependem de um modelo que relacione as características da alimentação com o produto do moinho, que diretamente influencia a alimentação do ciclone. Dessa forma, é possível obter simulador, para o circuito de moagem, que poderá ser utilizado como uma ferramenta na otimização do mesmo. Esse estudo está sendo desenvolvido, e deverá ser apresentado futuramente.

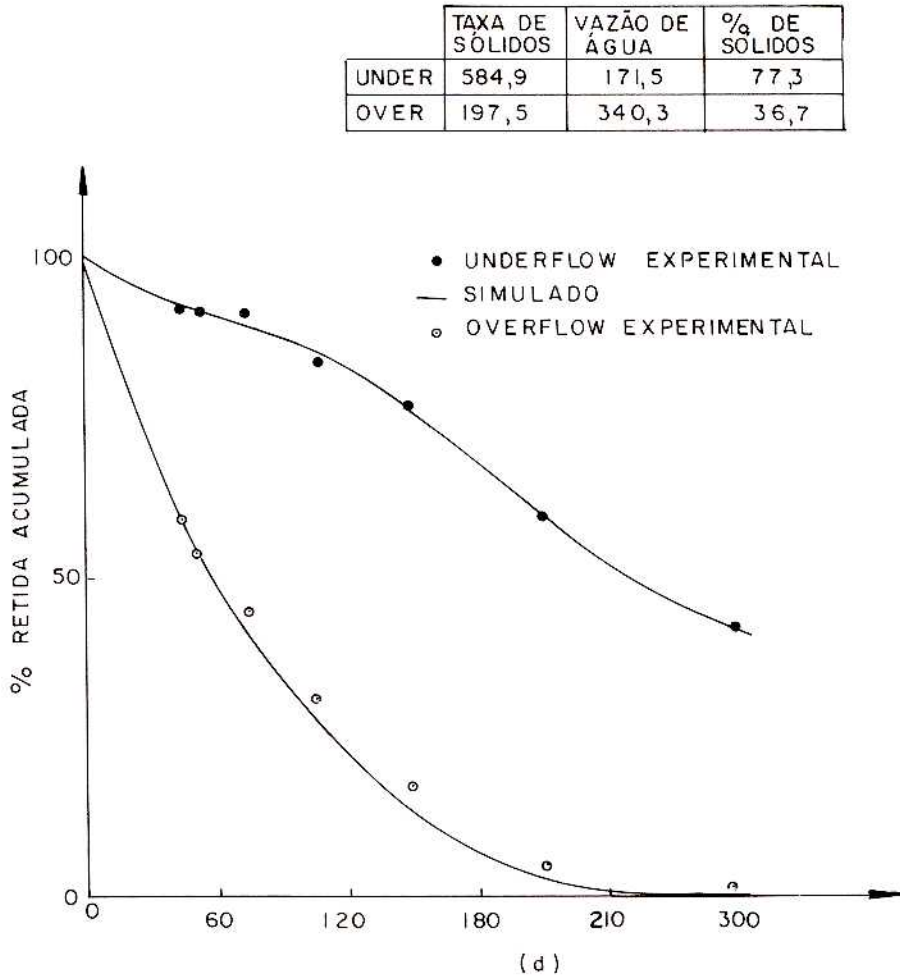


FIGURA 2 — ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS PRODUTOS E BALANÇO DE MASSA SIMULADO DIA 17/02/83

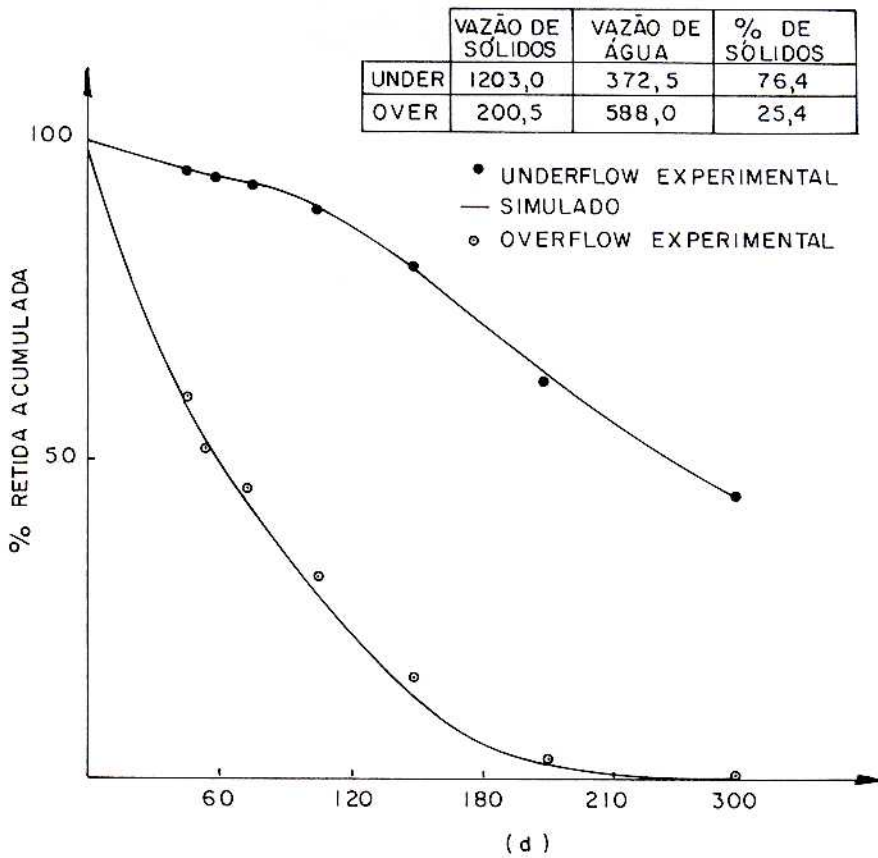


FIGURA 3— ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS PRODUTOS E BALANÇO DE MASSA SIMULADO DIA 29/04/82

7. NOMENCLATURA

| | |
|-------------|---|
| D_c | = diâmetro do ciclone |
| D_i | = diâmetro interno da entrada do ciclone |
| D_o | = diâmetro interno do vórtex |
| D_u | = diâmetro interno do ápex |
| h | = altura livre do vórtex, definida como a altura entre o fundo do vórtex e o topo do ápex |
| \emptyset | = fração de sólidos, em volume, na alimentação |
| ρ_s | = densidade do sólido |
| ρ_l | = densidade do líquido |
| Q | = vazão volumétrica da polpa na alimentação |
| H | = pressão no ciclone, expressa em altura de polpa |
| R_v | = recuperação de polpa, em volume, no "underflow" |
| d | = diâmetro da partícula |
| Lu | = concentração limite de sólidos no ápex |
| Lu_{20} | = concentração limite de sólidos no ápex para alimentação com 20% de sólidos em volume |
| Y_{c_i} | = fração de material recuperado no "underflow", corrigida, no tamanho i . |

8. BIBLIOGRAFIA

01. LINCH, A.J. & RAO, R.C. Modelling and scale-up of hydrocyclones classifiers. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 2, Cagliari, 1975. Proceedings.
02. PLITT, L.R. A mathematical model of the hydrocyclone classifier. CIM Bull, Dec. 1976.
03. STRATTON; CRAWLEY, R.; AGAR, G. Multi-stage hydrocyclone circuit optimization by computer simulation. In: ANNUAL MEETING CMP, 2, Ottawa, 1979.
04. FORD, M.A. The simulation of ore dressing plants. Johannesburg. U. Witwatersrand. (Tese).

12.

05. MELVOR, R.E. Process application design of hydrocyclones for closed circuit grinding. In: ANNUAL MEETING CMP, 16, Ottawa, 1984.
06. BRADLEY, D. The hydrocyclone. Pergamon Press, 1965.
07. PLITT, L.R. The analysis of solid-solid separations in classifiers. CIM Bulletin, 64, p. 42, 1971.
08. PLITT, L.R. & FLINTOFF, B.C. Classification and coal processing equipment. Canmet, En. Mines Res. Canada, Division Report, MR P/MSL 83-84 (IR).
09. LYNCH, A.J. Mineral crushing and grinding circuits: their simulation, optimization, design and control. New York, Elsevier.
10. LAGUITTON, D. Material balance computation for process evaluation and modelling. Canmet, En. Min. Res. Canada, Division Report, MR P/MSL 81-123 (IR).

Números Publicados na SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

- Nº 01 - Flotação de Carvão; estudos em escala de bancada (esgotado)
- Nº 02 - Beneficiamento de talco; estudos em escala de bancada;
- Nº 03 - Beneficiamento de talco; estudos em usina piloto;
- Nº 04 - Flotação de cianita da localidade de Roa Esperança (MG);
- Nº 05 - Beneficiamento de diatomita do Ceará (esgotado);
- Nº 06 - Eletrorecuperação de zinco; uma revisão das variáveis influentes;
- Nº 07 - Redução de gipsita com carvão vegetal;
- Nº 08 - Beneficiamento de diatomita de Canavieira, do Estado do Ceará;
- Nº 09 - Moagem autógena de itabirito em escala piloto;
- Nº 10 - Flotação de minério oxidado de zinco de baixo teor (esgotado)
- Nº 11 - Estudos de corrente de pulso sobre o eletrorefino da prata (esgotado);
- Nº 12 - Lixiviação bacteriana do sulfeto de cobre de baixo teor Caraíba (esgotado);
- Nº 13 - Flotação de minérios oxidados de zinco; uma revisão da literatura (esgotado);
- Nº 14 - Efeito de alguns parâmetros operacionais no eletrorefino do ouro (esgotado);
- Nº 15 - Flotação de Carvão de Santa Catarina em escala de bancada e piloto;
- Nº 16 - Aglomeração seletiva de Carvão de Santa Catarina; estudos preliminares;
- Nº 17 - Briquetagem e sua importância para a indústria (em revisão);
- Nº 18 - Aplicação da petrografia no beneficiamento de carvão por flotação;
- Nº 19 - Recuperação do cobre do minério oxidado de Caraíba por extração **por** solventes em escala de bancada (esgotado);
- Nº 20 - Dynawhirpool (DWF) e sua aplicação na indústria mineral;
- Nº 21 - Flotação dos rejeitos finos de Scheelita em planta piloto (esgotado);
- Nº 22 - Coque de Turfa e suas aplicações;
- Nº 23 - Refino eletrolítico de ouro; processo Wohlwill (esgotado);
- Nº 24 - Flotação de oxidados de zinco; estudos em escala piloto;
- Nº 25 - Dosagem de ouro;
- Nº 26 - Beneficiamento e extração de ouro e prata de minério sulfetado;
- Nº 27 - Extração por solventes de cobre do minério oxidado de Caraíba;
- Nº 28 - Preparo eletrolítico de solução de ouro;
- Nº 29 - Recuperação de prata de fixadores fotográficos;
- Nº 30 - Amostragem para processamento mineral;
- Nº 31 - Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro;
- Nº 32 - Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Urucum, Corumbá-MS;
- Nº 33 - Biolixiviação de minério de Cobre de Baixo Teor;
- Nº 34 - Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo;