

# CARACTERIZAÇÃO DE REJEITOS DE FLOTAÇÃO EM COLUNAS DA MINA DO PICO POR ANÁLISE COMPUTADORIZADA DE IMAGEM<sup>1</sup>

José Farias de Oliveira<sup>2</sup>  
Paulo Roberto Costa Camargo<sup>2</sup>  
Katia de Quadros Wilberg<sup>2</sup>  
Emir Birro de Castro<sup>3</sup>

## RESUMO

O circuito de flotação em colunas da mina do Pico processa cerca de 450t/h de minério com um teor médio de 8% de SiO<sub>2</sub>. Este teor, no entanto, é bastante irregular podendo variar de 3% a 30% de SiO<sub>2</sub>, dependendo da frente de lavra. Esta instabilidade de alimentação dificulta o controle do processo, podendo acarretar, ocasionalmente, uma diminuição do teor dos concentrados ou flotação indevida de hematita na espuma.

No presente trabalho são apresentados resultados do estudo de composição mineralógica e da granulometria do quartzo e hematita presentes na espuma de flotação de dois rejeitos de flotação. A material do rejeito foi recolhido em dias distintos, caracterizados por uma operação que resultou em alto e baixo teor de sílica no rejeito flotado.

As amostras foram submetidas a análise de imagem por um sistema composto por um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Zeiss 940-A com detector de elétrons secundários e retroespalhados ("backscattered"), platina motorizada para mudança automática do campo visual, e um sistema de microanálise por energia dispersiva (Oxford Link eXL-II), sendo todo o sistema controlado, automaticamente, pelo computador de análise de imagem (IBAS-KONTROM).

A amostra com alto teor de sílica apresenta diferenças significativas entre o tamanho médio das partículas de sílica e de hematita, sugerindo uma possível recuperação adicional da hematita presente no rejeito por peneiramento. No entanto, a amostra com baixa sílica apresenta uma quantidade maior de quartzo fino.

Palavras-chave: Caracterização mineralógica, análise de imagem, microscopia eletrônica.

---

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado ao I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, Ouro Preto, MG, 14 a 17 de outubro de 1996.

<sup>2</sup> Laboratório de Química de Interfaces e Sistemas Coloidais. Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - COPPE/UFRJ, Caixa Postal 68.505, Rio de Janeiro, RJ (FAX: (021) 290-6626)

<sup>3</sup> Superintendência da Mina do Pico - Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR - Nova Lima, MG.

## 1. Introdução

O Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais é um dos maiores centros produtores de minério de ferro do mundo. O minério, por ser de excelente qualidade, conquista um importante segmento de um mercado cada vez mais exigente com relação aos teores de ferro do produto comercializado. No entanto, muitas dessas minas iniciaram um processo de limites das reservas de forma que as empresas dependem agora da viabilidade de exploração de outros minérios com teores mais baixos de ferro.

Dessa forma, uma concentração eficiente dos minérios de ferro passam a ser fundamental para manutenção desse segmento de mercado. Os primeiros processos de flotação catiônica reversa com emprego de aminas ou derivados de sais de amônio como coletores e amido como depressor da hematita foram iniciados com a operação da Samarco Mineração S.A. (Germano, 1977), seguida pela Companhia Vale do Rio Doce (Itabira e Timbopeba, 1990), Samitri (Alegria, 1990), CSN (1993) e por último a MBR (Pico, 1994).

A usina do Pico da MBR faz uso da tecnologia de flotação em colunas, devido ao seu baixo custo e alto rendimento metalúrgico. O minério apresenta um teor médio de 8% de  $\text{SiO}_2$ . Este teor, no entanto, é bastante irregular podendo variar de 3 a 30% de  $\text{SiO}_2$ , dependendo da frente de lavra. Esta instabilidade de alimentação dificulta o controle do processo, podendo acarretar, ocasionalmente, um aumento do teor de sílica no concentrado ou flotação indevida de hematita na espuma.

O teor de sílica no concentrado de minério de ferro é uma variável fundamental para o enquadramento do produto dentro das especificações exigidas pelo mercado internacional. A caracterização do rejeito "rougher" (material flotado) pode contribuir para uma melhor compreensão dos processos ocorridos dentro das colunas e orientar possíveis soluções no sentido de estabilizar o teor de sílica dentro das especificações.

No presente trabalho são apresentados resultados do estudo de composição mineralógica e da granulometria do quartzo e hematita presentes na espuma de flotação de dois rejeitos amostrados. A material do rejeito foi recolhido em dias distintos caracterizados por uma operação que resultou em alto e baixo teor de sílica no rejeito.

## 2. Materiais e Métodos

Duas amostras com alta sílica foram recolhidas nos dias 01/06/96 e 02/06/96. A primeira apresentava um teor de 29,55% de Fe, 54,37% de  $\text{SiO}_2$  e 0,50% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e a segunda um teor de 30,24% de Fe, 52,10% de  $\text{SiO}_2$  e 0,11% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

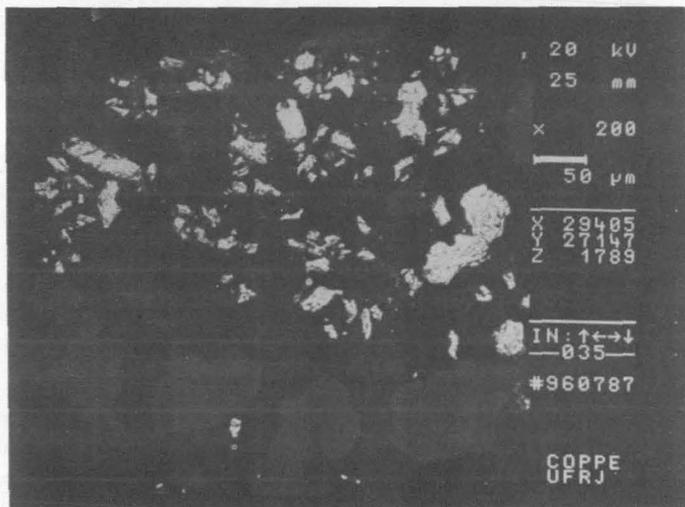
Por outro lado, duas amostras com baixa sílica foram coletadas no dia 08/06/96 apresentando um teor de 48,70% de Fe, 27,97% de  $\text{SiO}_2$  e 1,57% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de 42,99% de Fe, 36,14% de  $\text{SiO}_2$  e 1,11% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , respectivamente.

A partir dessas amostras foram preparados briquetes que, após polimento e metalização, foram submetidos a análise de imagem por um sistema composto por um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Zeiss 940-A com detector de elétrons secundários e retroespalhados ("backscattered"), platina motorizada para mudança automática do campo visual, e um sistema de microanálise por energia dispersiva (Oxford Link eXL-II), sendo todo o sistema controlado automaticamente pelo computador de análise de imagem (IBAS-KONTROM).

A análise granulométrica foi realizada através de um programa específico (macro) elaborado com a utilização das funções disponíveis no software de análise de imagem do IBAS, que permitiu automatizar a coleta e contagem dos grãos minerais presentes. A análise de imagem para ambos os minerais foi realizada em 36 campos visuais, sendo a análise granulométrica realizada com um aumento de 200X para o quartzo e 400X para a hematita. Esse aumento na visualização foi necessário para que as partículas pequenas de hematita fossem melhor distinguidas.

### 3. Resultados e Discussão

Um campo representativo da amostra contendo sílica alta pode ser observado na Figura 1 e de sílica baixa na Figura 2. Através da microanálise foi possível identificar o quartzo, os grãos mais escuros, e a hematita, os grãos mais claros. Os raros grãos encontrados que continham alumínio estavam sempre associados com ferro.



**Figura 1 - Fotomicrografia da amostra do rejeito de flotação do minério da mina de Pico. Amostra com alta sílica (Aumento 200X).**

Observa-se também que não houve a necessidade de se realizar uma análise de liberação quantitativa pois, raramente, foram encontrados grãos mistos. Ambas as

amostras mostraram que, quase na totalidade, os grãos de quartzo e de hematita estavam praticamente liberados. A hematita, portanto, deve atingir a espuma por outros motivos, provavelmente por arraste mecânico devido ao seu tamanho reduzido em relação ao quartzo.

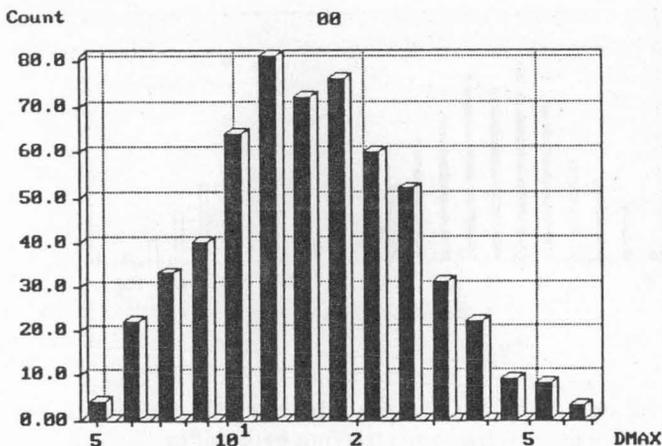
As Figuras 1 e 2, coletadas sob o mesmo aumento, mostram uma população muito grande de pequenas partículas de hematita enquanto que o quartzo está presente sob a forma de partículas de maior granulometria



**Figura 2 - Fotomicrografia da amostra do rejeito de flotação do minério da mina de Pico. Amostra com baixa sílica (Aumento 200X).**

O programa de computação preparado permite separar uma imagem como a apresentada na Figura 1 em duas imagens binárias (com fundo em preto e o mineral em branco) sendo uma imagem correspondente ao quartzo e outra à hematita. Isso é possível devido à capacidade do IBAS de discriminar 256 tons de cinza no espectro entre o branco e preto e de realizar a segmentação da imagem nas faixas correspondentes aos diferentes minerais presentes. Mais detalhes sobre a metodologia têm sido apresentados em trabalhos anteriores [1, 2, 3].

O resultado dessas imagens binárias monominerálicas (quartzo e hematita, respectivamente) referentes a uma das amostras de baixa sílica é apresentado nas Figuras 3 e 4. Observa-se que a hematita apresenta-se com dimensões variando de 4,59μm até 171,14μm, com valor médio em 19,96μm, enquanto que o quartzo variou de 16,14μm até 285,79μm com valor médio em 82,92μm. O número de grãos da hematita contados nos 36 campos visuais foi de 577 enquanto que para o quartzo foi de 286, ou seja, embora a análise da hematita tenha sido feita em um aumento maior, devido ao tamanho reduzido de seus grãos, o número de grãos coletados foi praticamente o dobro daquele do quartzo.

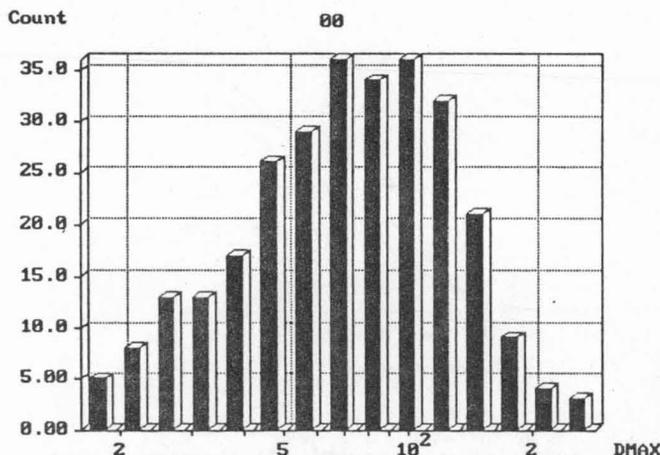


```

file      : table-1
parameter : DMAX
counts    : 577
lower bound : 4.59
upper bound : 71.14
underflow  : 0
in range   : 577
overflow   : 0
classes    : 15
modul      : 1.20
min.class  : 3.00
max.class  : 81.00
Statistics
minimum    : 4.59
maximum    : 71.04
sum        : 10362.06
medianvalue : 12.53
mean       : 17.96
variance   : 103.41
std.dev.   : 10.17
skewness   : 1.65
kurtosis   : 3.60

```

Figura 3 - Histograma de distribuição granulométrica da hematita no rejeito de flotação do minério da mina de Pico. Amostra com baixa sílica. Dimensões em µm.



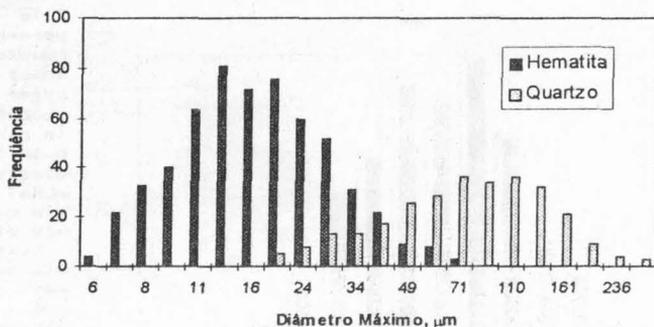
```

file      : table-1
parameter : DMAX
counts    : 286
lower bound : 16.14
upper bound : 285.79
underflow  : 0
in range   : 286
overflow   : 0
classes    : 15
modul      : 1.21
min.class  : 3.00
max.class  : 36.00
Statistics
minimum    : 16.14
maximum    : 285.69
sum        : 23713.88
medianvalue : 25.70
mean       : 82.92
variance   : 2288.32
std.dev.   : 47.84
skewness   : 1.29
kurtosis   : 2.50

```

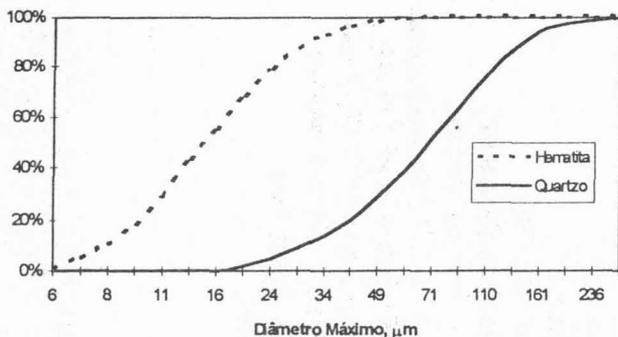
Figura 4 - Histograma de distribuição granulométrica do quartzo no rejeito de flotação do minério da mina de Pico. Amostra com baixa sílica. Dimensões em µm.

A figura 5 mostra a distribuição granulométrica em conjunto da hematita e do quartzo. Nota-se a diferença significativa entre os grãos de hematita e quartzo. Os resultados sugerem que é possível recuperar a hematita presente no flotado através de um processo de peneiramento.



**Figura 5 - Histograma conjunto de distribuição de granulométrica da hematita e do quartzo. Amostra com baixa sílica.**

A curva de percentagem acumulada para o quartzo e para hematita é apresentada em conjunto na Figura 6. Pode-se observar que para um diâmetro de 50μm o índice de recuperação da hematita é de 100% enquanto que para o quartzo é de apenas 20%.



**Figura 6 - Curva de percentagem acumulada da hematita e quartzo em amostra com baixa sílica.**

O resultado das análises granulométricas de uma amostra de alta sílica é apresentado nas Figuras 7 e 8. Observa-se que a hematita apresenta-se com dimensões variando de 3,51μm até 118,79μm, com valor médio em 16,06μm, enquanto que o quartzo variou de 7,16μm até 251,94μm, com valor médio em 49,50μm. Nesse caso, a granulometria da hematita é praticamente a mesma da amostra de baixa sílica, mas para o quartzo há uma maior concentração de finos,

embora os limites do diâmetro do maior e do menor grão estejam bastantes próximos daqueles da amostra com baixa sílica.

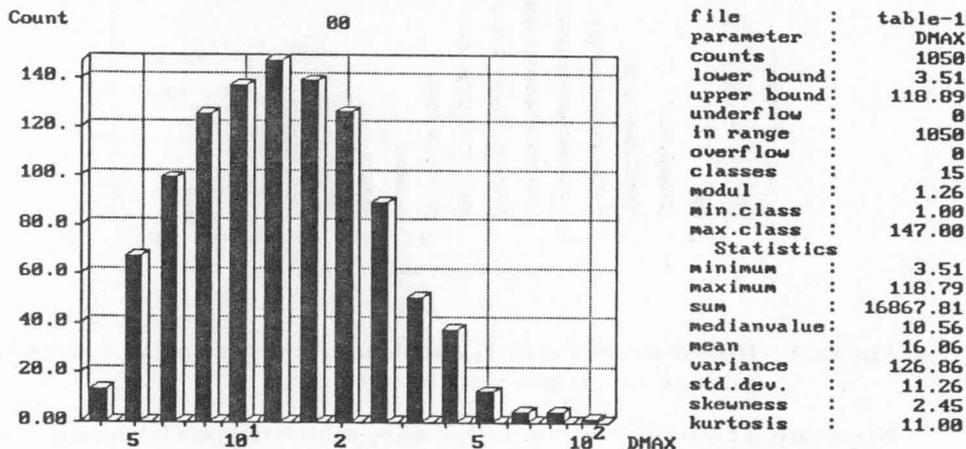


Figura 7 - Histograma de distribuição granulométrica da hematita no rejeito de flotação do minério da mina de Pico. Amostra com alta sílica. Dimensões em  $\mu\text{m}$ .

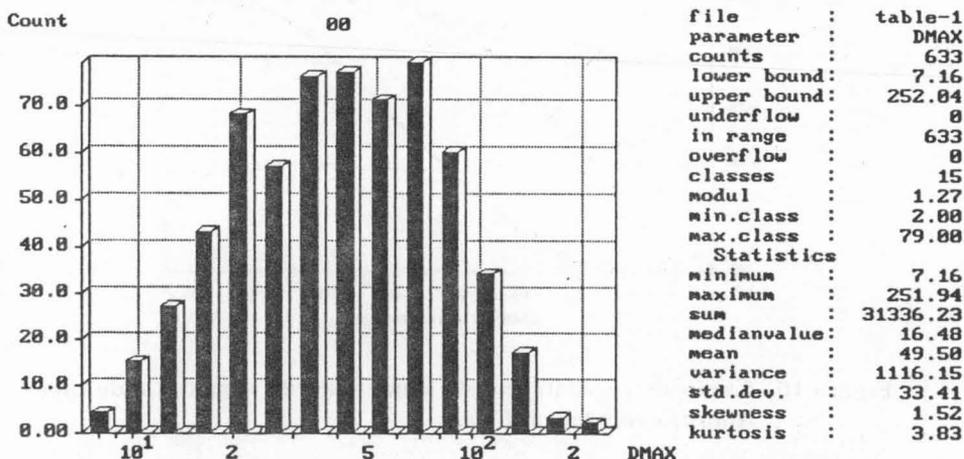
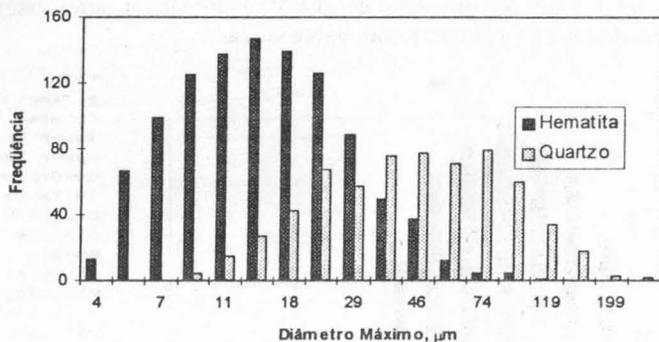


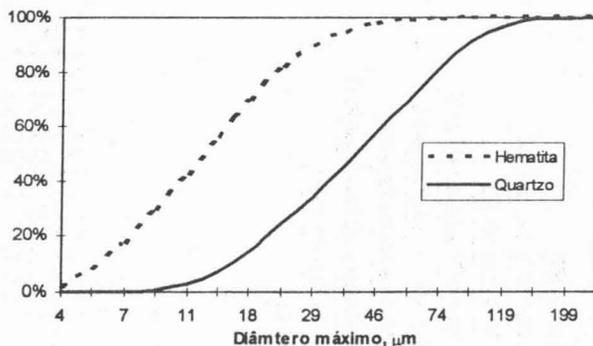
Figura 8 - Histograma de distribuição granulométrica do quartzo no rejeito de flotação do minério da mina de Pico. Amostra com alta sílica. Dimensões em  $\mu\text{m}$ .

A Figura 9 mostra em conjunto a distribuição granulométrica da hematita e do quartzo. Para essa amostra não é mais possível recuperar a hematita, através de peneiramento, sem que haja prejuízo do teor de sílica devido a uma maior quantidade de sílica fina.



**Figura 9 - Histograma conjunto da distribuição granulométrica da hematita e do quartzo. Amostra com baixa sílica.**

Nesse caso, a Figura 10 mostra que 100% da hematita é recuperada com um corte em 50μm, mas o índice de recuperação do quartzo é também elevado, da ordem de 60%.



**Figura 10 - Curva de percentagem da acumulada da hematita e do quartzo. Amostra com baixa sílica.**

#### 4. Conclusão

Os resultados mostraram que para uma operação rotineira das colunas de flotação, onde os teores de sílica são relativamente baixos no concentrado e altos no rejeito, ainda é possível realizar uma recuperação adicional da hematita presente nesse rejeito através de uma separação granulométrica por peneiras tipo DSM, ou de alta frequência. Por outro lado, um melhor controle da água de lavagem da coluna de flotação poderia minimizar o arraste mecânico.

No caso das amostras com baixos teores de sílica, esse tipo de separação não é mais aconselhável pois, de acordo com a análise granulométrica, a quantidade de material a ser recolhida dentro das especificações por peneiramento é bastante reduzido.

Considera-se, no entanto, necessária uma caracterização mais detalhada para confirmar se os resultados descritos, observados para as amostras estudadas, podem ser generalizados para a operação geral da usina.

## 5. Agradecimentos

À MBR pelo fornecimento das amostras analisadas.

## 6. Referências

- 1 - MAINWARING P. R. & PETRUK, W. *Introduction to image analysis in the earth and mineral sciences*. In: Short Course on Image Analysis. Mineralogical Association of Canada, Ottawa, 1989.
- 2 - OLIVEIRA, J. F. *Caracterização tecnológica por análise de imagem: um método automático de estudos mineralógicos*. Anais do XIII Encontro de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, São Paulo, 1988. pp. 325-332.
- 3 - OLIVEIRA, J. F. & JUAREZ, C. M. *Análise de imagem computadorizada aplicada ao processamento de minerais*. Anais do XV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Belo Horizonte, Minas Gerais, 1992.

# CHARACTERIZATION OF THE PICO'S MINE COLUMN FLOTATION TAILINGS BY IMAGE ANALYSIS

José Farias de Oliveira  
Paulo Roberto Costa Camargo  
Katia de Quadros Wilberg  
Emir Birro de Castro

## ABSTRACT

The column flotation process of Pico's mine treats about 450ton/h of ore containing an average of 8% of  $\text{SiO}_2$ . However, this grade is very irregular and it can oscillate between 3% and 30%  $\text{SiO}_2$ , depending on the mining area. This instability of the feed renders the process control very difficult, and leads, sometimes, to a reduction of grade or undue hematite flotation with the tailings.

In this work mineral characterization studies were conducted by scanning electron microscopy and image analysis which included grain size distribution of quartz and hematite in the tailings. The samples studied were collected on different days whose products were characterized by low and high silica content. The high silica samples presented a very sharp difference in grain size distribution which suggests that a good separation by sizing through DSM screens could be achieved.

Key words: mineral characterization, image analysis, electron microscopy