

## FLOTAÇÃO DE FLUORITA EM COLUNA SEM ÁGUA DE LIMPEZA

Carlos Hoffmann Sampaio<sup>a</sup>, Washington Aliaga<sup>a</sup>, Tiago Junqueira Pereira<sup>b</sup>, Marcos Antonio Batistella<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Processamento Mineral - Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15021, 90501-970 - Porto Alegre – RS. <sup>b</sup> Companhia Nitrquímica. Morro da Fumaça, Criciúma – SC.  
E-mail: [marcos.batistella@ufrgs.br](mailto:marcos.batistella@ufrgs.br)

### RESUMO

Neste trabalho se estuda a flotação de fluorita em coluna, sem a adição de água de limpeza. Os testes foram conduzidos em uma coluna de 10 cm de diâmetro e 3 metros de altura sendo utilizados *tall oil* como coletor e amido como depressor, a pH perto de 10. Os resultados experimentais mostram que a seletividade é excelente se comparado com a flotação convencional, acima de 90 % de fluorita com teor de 6 % de SiO<sub>2</sub> e recuperação ao redor de 93 %. Entre os parâmetros testados, a dosagem de coletor e a velocidade de alimentação influenciaram significativamente o processo, reduzindo a recuperação e aumentando o teor de sílica no concentrado. O não emprego de água de limpeza, além de tornar esta etapa mais simples, tem benefícios na recuperação de partículas grossas, podendo, ainda, aumentar a capacidade de carregamento da coluna, resultando na possibilidade de utilização em circuitos *rougher*.

PALAVRAS-CHAVE: flotação; fluorita; água de limpeza

### ABSTRACT

In this work column flotation of fluorite is studied without wash water addition. The tests were carried out in a 10 cm diameter column and 3 meters height, using *tall oil* as collector, starch as depressor and pH around the value of 10. Among the tested parameters were collector dosage, feed variations and airflow. The experimental results showed that selectivity improved compared to conventional system. The best result appeared around 90 % of CaF<sub>2</sub> and 6 % of SiO<sub>2</sub> with recoveries around 93 %. The parameters that showed a major influence in this system were collector dosage and feed flow, which affects recuperation and the content of SiO<sub>2</sub> in concentrate. The operation without wash water resulted advantageous for recuperation of coarse particles, and probably enhances carrying capacity of the column, resulting in a circuit appropriated for rougher operations.

KEY-WORDS: flotation; fluorite; wash water

## 1. INTRODUÇÃO

Fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) é um importante mineral de flúor, que é muito utilizado na fabricação de ácido fluorídrico e na indústria metalúrgica como fundente. Outros usos incluem a fabricação de vidros, cerâmicos e esmaltes. A operação mais usada para obtenção de fluorita grau ácido (97 % de  $\text{CaF}_2$  e teores de sílica menores que 2,5 %) é a flotação convencional, usando, tipicamente, ácidos graxos como coletor.

Flotação é um dos processos mais complexos e é afetado por um grande número de variáveis, o que tem levado a um aumento do interesse dos pesquisadores na busca por novas tecnologias. No caso da fluorita, recentemente há numerosos estudos visando modificações no esquema de beneficiamento, de maneira a aumentar a eficiência do processo, aumentando teores e recuperação, além de diminuir os custos. De Leeuw e outros (1998), em seu estudo, mostrou que o ácido metanoico pode adsorver-se seletivamente na superfície da fluorita em temperatura ambiente, aumentando a seletividade do processo. Aliaga e outros (2006) propõem o uso da coluna de flotação operada de forma não convencional, ou seja, sem adição de água de limpeza, visando obter recuperações da ordem de 95 % e teores elevados. O uso da coluna sem a adição de água de limpeza, sob condições ideais, implica em não haver camada de espuma, apenas a formação de uma pequena camada (natural), com o objetivo de fazer o concentrado fluir. Dessa forma, há uma diminuição significativa nos custos de investimento e manutenção.

Neste trabalho se aplicaram as condições reportadas por Aliaga e outros (2006), com um minério de fluorita que apresentava uma distribuição granulométrica bastante fina e um teor de fluorita baixo nas frações grossas e mais do dobro nas frações finas. Ademais, o conteúdo de sílica era bastante significativo em todas as faixas. Os resultados obtidos confirmam os fatos discutidos por Aliaga (2006). Estes resultados são discutidos desde o ponto de vista das recuperações e teores por faixa granulométrica.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1 Minério

#### 2.1.1. Análise química

O minério de fluorita utilizado neste estudo foi fornecido pela Companhia Nitroquímica, situada em Morro da Fumaça, Santa Catarina. Na tabela 1 são mostradas análises químicas e granulométricas desta amostra.

Tabela I. Análise granulométrica e química do minério.

Fração	Retido (%)	$\text{CaF}_2$ (%)	$\text{SiO}_2$ (%)
+200 $\mu\text{m}$	11	15,3	70,1
-200 + 74 $\mu\text{m}$	38	33,4	55,1
-74 + 37 $\mu\text{m}$	21	38,0	51,0
-37 $\mu\text{m}$	30	31,8	49,1

#### 2.1.2 Amostragem

A amostra foi coletada na forma de polpa, na alimentação da flotação convencional na planta, e armazenada em tambores para a realização dos testes no laboratório.

## 2.2 Reagentes

Os reagentes utilizados foram fornecidos pela empresa e são: *tall oil*, soda cáustica, soda barrila e amido. A concentração de coletor utilizada variou conforme o ensaio, porém o amido manteve-se constante em 390 g/t.

## 2.3 Procedimentos

Os testes foram realizados em uma coluna de 10 cm de diâmetro e altura de 3 metros, construída em PVC. Duas bombas pneumáticas controlavam as vazões da alimentação e do rejeito. A alimentação estava localizada a 1,1 metros do topo da coluna. Na figura 1 temos um diagrama esquemático do sistema. A polpa foi preparada com uma concentração de sólidos de 18 % e condicionada em pH 10. Soda cáustica e soda barrila foram utilizados para ajustar o pH da polpa. Os reagentes foram, então, adicionados na seguinte ordem: amido (10 minutos de condicionamento) seguido do *tall oil* (condicionado por 5 minutos). A coluna foi preenchida com água em pH 10. Após que a polpa estava já pré-condicionada foi alimentada à coluna com vazões de alimentação, rejeito e ar pré-determinadas. Quando o processo atingiu o regime estacionário, amostrou-se concentrado e rejeito. Modificou-se a nova variável e, após 15 minutos foi realizada nova amostragem. As amostras foram pesadas, filtradas, secas, separadas nas frações granulométricas pré-determinadas e analisada em termos de fluorita e sílica.

Os parâmetros testados incluem a dosagem de coletor, velocidades de aeração, alimentação e rejeito. A tabela 2 mostra os níveis dos parâmetros testados. Como já citado anteriormente, não houve a formação de uma camada de espuma.

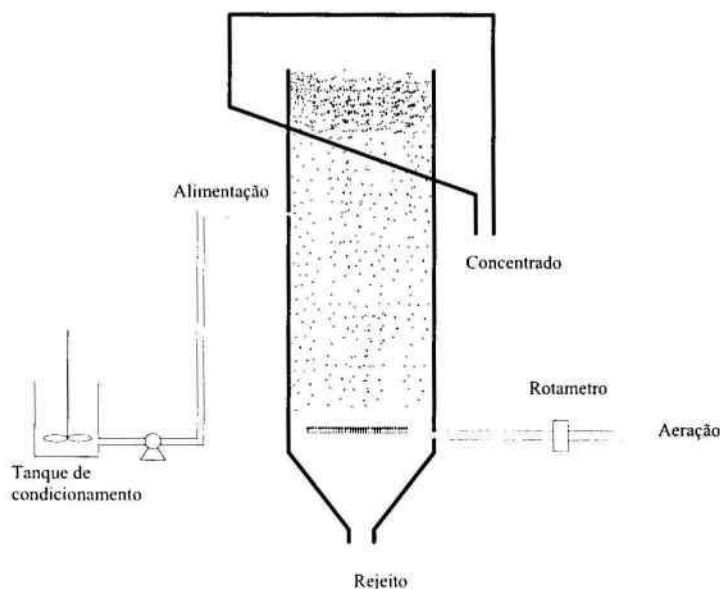


Figura 1. Diagrama esquemático do sistema de flotação em coluna.

\* Tabela II. Níveis das variáveis testadas.

Alimentação (cm/s)	1,5 - 1,8
Rejeito (cm/s)	1,3 - 1,6
Aeração (cm/s)	1,1 - 1,55
Concentração tall oil (g/t)	250 - 350
Concentração de sólidos (%)	18
Hold up (%)	18 - 20
Alura da camada de espuma* (cm)	-

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Tamanho de Partícula

Na figura 2 temos a plotagem de vários pontos obtidos nos testes recuperação em função do tamanho de partícula. É interessante observar que, dependendo dos parâmetros, a recuperação na faixa considerada grosseira chega a 90 %, com teores da mesma ordem, como é mostrado na figura 3. A fração em que a flotação mostrou-se mais eficiente foi entre 37  $\mu\text{m}$  e 74  $\mu\text{m}$ , o que está de acordo com valores obtidos por Trahar e outros (1981). A velocidade do rejeito em todos os ensaios foi da ordem de 1,33 cm/s e a dosagem de *tall oil* foi de 350 g/t, que é uma concentração similar à usada pela empresa Nitroquímica, fornecedora dos minério para os testes. Como pode ser observado, a recuperação das partículas menores que 37  $\mu\text{m}$  e acima de 150  $\mu\text{m}$  foram relativamente baixas nos ensaios em concordância com os dados reportados na literatura. (Fuerstenau, 1980, Trahar, 1981).

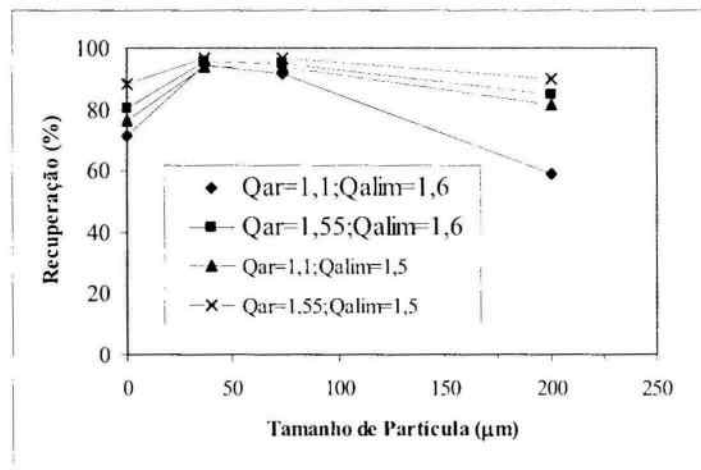


Figura 2. Recuperação versus tamanho de partícula. Concentração *tall oil*: 350 g/t  $J_{rej}$ : 1,33 cm/s

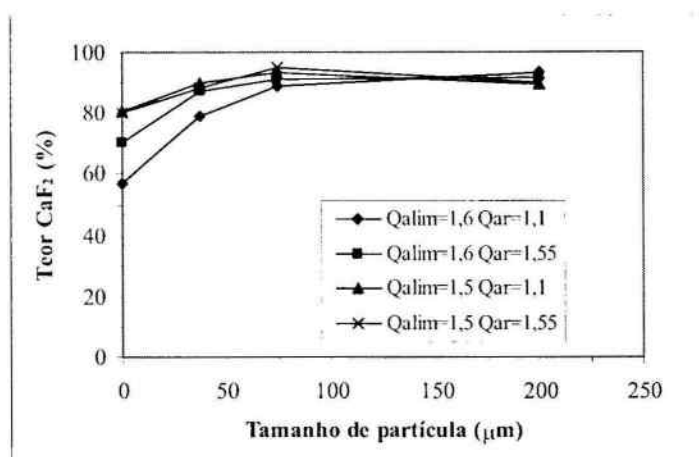


Figura 3. Teor versus tamanho de partícula. Concentração *tall oil*: 350 g/t  $J_{rej}$ : 1,33 cm/s

Na figura 4, podemos observar os resultados obtidos quando diminuimos a concentração de coletor. Neste caso, a recuperação das partículas grosseiras cai drasticamente. Esse efeito se deve ao fato de que as partículas finas, por possuírem uma superfície mais reativa, além de ter uma superfície específica maior, tendem a adsorver a maior quantidade de coletor deixando a solução inadequada para a flotação das partículas grosseiras. Isso está de acordo com Shanon e Trahar (1986), que, em seu estudo, mostraram que a recuperação de cobre, em função do tamanho de partícula e da dosagem do reagente coletor não é afetada de forma significativa quando da redução da concentração de coletor de 7,5 para 0,4 g/t, enquanto a recuperação de partículas grossas é fortemente influenciada pela redução de coletor.

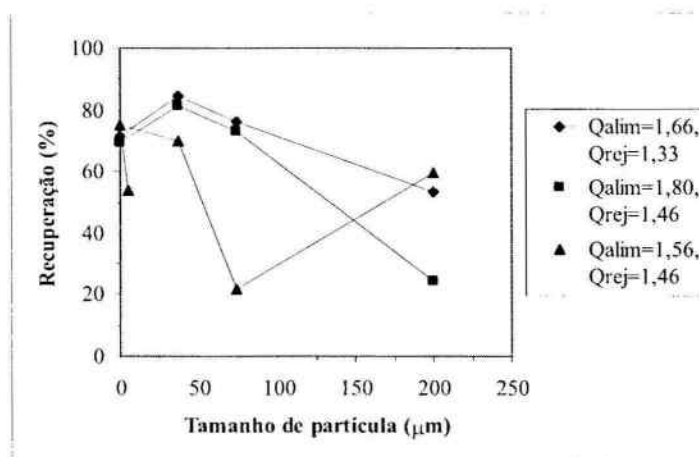


Figura 4. Tamanho de partícula versus recuperação.  $J_{ar}$ : 1,1 cm/s. Concentração de *tall oil*: 250 g/t

### 3.2 Influencia da Aeração

Nas figuras 5 e 6, é analisada a influência da aeração na recuperação e teor, respectivamente. Com esperado, um incremento na aeração produz um aumento na recuperação, que passa de 87,1 % para 93,5 %, não havendo perdas significativas no teor, que se manteve constante em 88,5 %. O fluxo de ar passou de 1,1 cm/s para 1,55 cm/s. Os fluxos de alimentação e rejeito foram mantidos constantes em 1,66 cm/s e 1,33 cm/s, respectivamente.

Carlos Hoffmann Sampaio, Washington Aliaga, Tiago Junqueira Pereira, Marcos Antonio Batistella

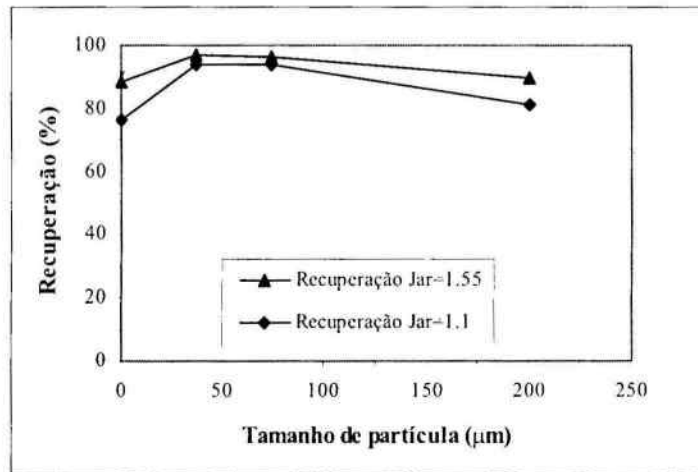


Figura 5. Influencia da aeração.  $J_{alim}$ : 1,66 cm/s,  $J_{rej}$ : 1,33 cm/s. Concentração de *tall oil*: 350 g/t.

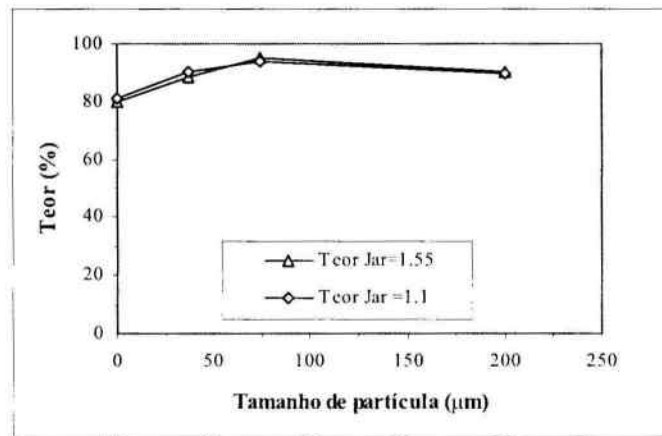


Figura 6. Influencia da aeração.  $J_{alim}$ : 1,66 cm/s,  $J_{rej}$ : 1,33 cm/s. Concentração de *tall oil*: 350 g/t.

Estes resultados apóiam a conclusão de que as perdas nos finos se devem majoritariamente por arraste quando as concentrações de coletor, ainda que suficientes para a fluorita, podem influenciar negativamente a seletividade da flotação nesta fração. De qualquer forma, o beneficiamento das frações finas separadamente deveria incidir consideravelmente sobre a recuperação.

### 3.3 Água de Limpeza

Nas figuras 7 e 8 é mostrado um ponto interessante. Temos um comparativo entre as recuperações com e sem água de limpeza. Na figura 7, nos ensaios realizados com água de limpeza, as recuperações quando adicionada a água de limpeza são maiores em todas as faixas granulométricas analisadas. Porém, se igualarmos as velocidades do concentrado, diminuindo a velocidade do rejeito e mantendo o fluxo da alimentação, as recuperações praticamente se igualam, mantendo, ainda, o teor do concentrado elevado, com a vantagem de simplificar o processo. Como já citado anteriormente, a coluna operada sem adição de água de limpeza não tem camada de espuma, de forma que este parâmetro não influenciou os resultados. Esse efeito é mostrado na figura 8. Em todos estes ensaios os fluxos de ar e da alimentação foram mantidos constantes em

1,1 cm/s e 1,58 cm/s, respectivamente, com concentração de coletor de 250 g/t. Os resultados seguem a tendência discutida mais acima.

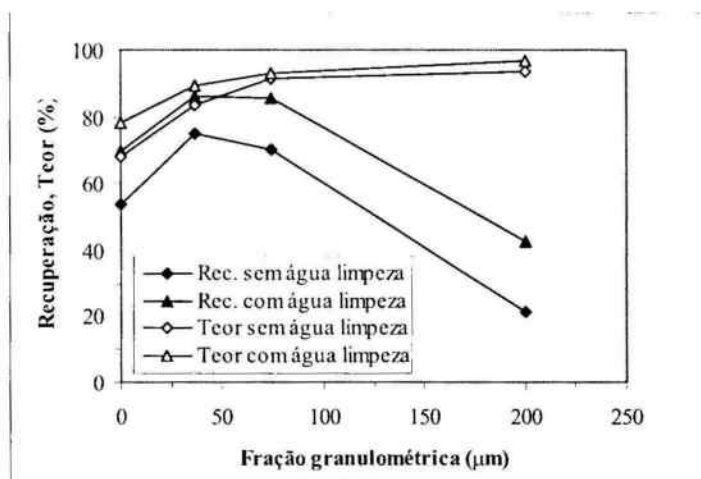


Figura 7. Comparação entre recuperações obtidas com e sem a adição de água de limpeza. ,  $J_{ar}$ : 1,1 cm/s,  $J_{alim}$ : 1,58 cm/s. Com água de limpeza :  $J_{rej}$ : 1,59 cm/s, sem água limpeza:  $J_{rej}$ : 1,46 cm/s.

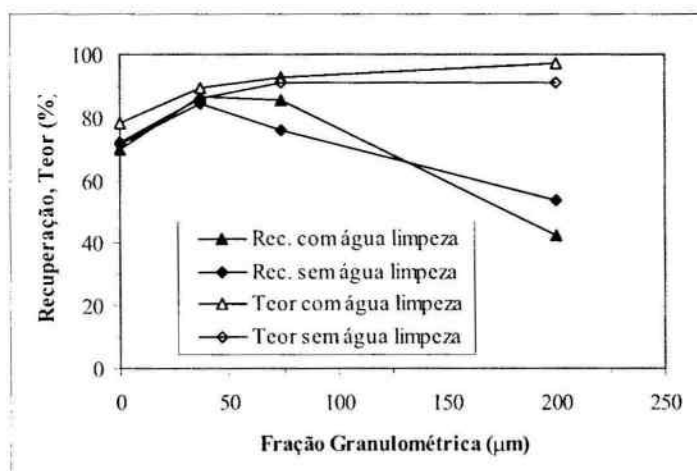


Figura 8. Comparação entre recuperações obtidas com e sem a adição de água de limpeza. ,  $J_{ar}$ : 1,1 cm/s.  $J_{alim}$ : 1,58 cm/s. Sem água de limpeza:  $J_{rej}$ : 1,33 cm/s, com água de limpeza:  $J_{rej}$ : 1,59 cm/s

#### 4. CONCLUSÕES

A concentração de coletor influenciou significativamente a recuperação da fração grosseira. Os melhores resultados metalúrgicos foram obtidos com dosagem de 350 g/t.

A aeração influenciou de forma significativa a recuperação, sendo que os melhores resultados foram obtidos com velocidade de 1,55 cm/s.

A coluna operada sem a adição de água de limpeza se mostrou eficiente, com recuperação de 94 % e teores de 88%.

Carlos Hoffmann Sampaio, Washington Aliaga, Tiago Junqueira Pereira, Marcos Antonio Batistella

Pelos resultados preliminares obtidos neste estudo, a coluna mostrou-se eficiente como etapa *rougher*.

## 5. REFERÊNCIAS

- Aliaga, W., Sampaio, C. H., Brum, I. A. S., Ferreira, K. R. S., Batistella, M. A. Flotation of high-grade fluorite in a short column under negative bias regime. *Minerals Engineering*, Volume 19, Issue 13, November 2006, Pages 1393-1396
- Finch, J. A.; Dobby, G. S. Column Flotation: A selected review. Part I. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 33, Issues 1-4, November 1991, Pages 343-354
- Fuerstenau, D.W. Fine particle flotation. In: *Fine particles processing*, P. Somasundaran (Ed.), 1, 1980. 669-705.
- Honaker R.Q., Ozsever A.V. Evaluation of the selective detachment process in flotation froth. *Minerals Engineering*, Volume 16, Issue 10, October 2003, Pages 975-982.
- Kawatra, K. S., Eisele, T. C. Flotation column design for coal and phosphate processing IN: *Proceedings of IX Congreso Internacional de Metalurgia Extrativa*. Universidad de Sonora. México, pp 43-66.
- Oteyaka, B., Soto, H. Modeling of negative bias column for coarse particles flotation. *Minerals Engineering*, Vol. 8, No. 1/2, pp. 91-100, 1995
- Patwardhan, A., Honaker, R.Q., 2000. Development of a carrying capacity model for column froth flotation. *Int. J. Miner. Process.* 59 (4), 275-293
- Shannon, L.K. and Trahar, W.J. The role of collector in sulphide ore flotation. *Advances in mineral processing*. Littleton, Colorado: SME, 1986 p. 408-425
- Soto, H., Aliaga, W., 1993. Application of column cells to potash flotation in brines. *Trans IMM/Sect. C*, c170-c174.
- Trahar W.J., A rational interpretation of the role of particle size in flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 8, 289-327 (1981).
- Witney, J. S., Yan, D. S. Reduction of magnesia in nickel concentrates by modification of the froth zone in column flotation. *Minerals Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 139-154, 1997
- Zhang, Y., Song S. Beneficiation of fluorite by flotation in a new chemical scheme. *Minerals Engineering*, Volume 16, Issue 7, July 2003, Pages 597-600