

# **Abordagem sobre a aplicação da flotação em coluna em beneficiamento mineral**

**Júlio Athanazio Caldara**

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

**Julio Cesar Guedes Correia**

Orientador, Químico, D. Sc.

## **Resumo**

A flotação é um dos processos de concentração mais utilizados na indústria mineral, possibilitando o aproveitamento de minérios complexos e/ou de baixo teor de forma econômica e com eficiência no rendimento. A importância desse processo tem motivado o desenvolvimento de novos equipamentos dentre os quais se destaca a coluna de flotação. Tem-se obtido bons resultados quando comparada com a flotação convencional. Além da simplicidade de operação, a utilização da coluna de flotação trouxe economia nos custos de capital e operacional. As colunas de flotação operam de forma semelhante às células mecânicas, as principais diferenças estão em quatro aspectos: geometria, uso da água de lavagem, sistemas geradores de bolhas e ausência de agitação mecânica. O rendimento das colunas está ligado aos ajustes operacionais. Vazão de ar, água de lavagem, *hold up*, e outras, são variáveis que influenciam na concentração do flotado. Tiram-se como conclusões algumas vantagens que a coluna de flotação obteve sobre as células convencionais.

Palavra Chave: Flotação em coluna; Beneficiamento Mineral; Células convencionais.

## **1 - Introdução**

O processo de flotação é um método de concentração mineral que utiliza a diferença entre as propriedades de superfície das partículas minerais como meio de separação. Foi desenvolvido no início do século XIX e tem sido economicamente utilizado para concentração de minérios complexos, com baixos teores dos minerais de interesse, levando a bons rendimentos metalúrgicos (Kelly & Spottiswood, 1982).

O crescimento acelerado das demandas por recursos minerais não renováveis tem acarretado a exaustão dos jazimentos mais ricos e mais simples de serem concentrados, colocando a indústria mineral frente ao desafio de tratar minérios cada vez mais complexos, com tamanho de liberação muito fina e com baixos teores. Além disso, devido à globalização da economia mundial, as unidades industriais têm sido obrigadas a produzir concentrados com especificações cada vez mais severas e custos menores. Considerando essa realidade e a importância da flotação como processo de concentração de minerais, têm sido realizados esforços no sentido de desenvolver novas tecnologias e equipamentos, dentre os quais pode ser destacada a coluna de flotação.

Os cientistas canadenses Tremblay e Boutin foram os responsáveis pelas primeiras patentes em 1961. A partir de então, foram realizados esforços no sentido de viabilizar a implantação dessa tecnologia em escala industrial, dentre os quais se destacam as aplicações realizadas pelo Prof. Wheeler (1966), considerado o pai da Coluna Canadense. Em 1982, Coffinn e Miszczak relataram que as primeiras colunas de flotação industrial de sucesso foram instaladas em uma planta de concentração de molibdenita em Les Mines Gaspé no Canadá.

As melhorias substanciais na qualidade dos concentrados obtidos nas colunas em diversas unidades industriais, operando com diferentes tipos de minérios, somadas aos ganhos no desempenho metalúrgico e à economia nos custos de capital e de operação, demonstram a importância desse equipamento para a indústria mineral. Tais fatores têm sido decisivos para a aplicação das colunas em processos de flotação, tanto para novos projetos, como para expansões industriais.

A coluna de flotação apresenta características diferentes das células mecânicas, principalmente no que se refere à capacidade de geração de bolhas pequenas, condições hidrodinâmicas de baixa turbulência, existência da água de lavagem e geometria (maior relação altura/diâmetro).

## **2 - Objetivo**

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão geral sobre os aspectos principais conceituais da flotação em coluna.

## **3 - Metodologia**

A coluna está esquematizada na Figura 1. Unidades comerciais possuem geralmente entre 9 a 15 metros de altura e 0,5 a 3,0 metros de diâmetro. A seção transversal pode ser quadrada ou circular. A geração de bolhas é obtida diretamente através de aeradores localizados na parte inferior da coluna. Aeradores são feitos de tubos perfurados revestidos geralmente em tecido ou borracha perfurada.

A água de lavagem é adicionada à espuma, geralmente a partir de uma série de tubos perfurados localizados logo abaixo da borda da coluna.

A alimentação de polpa entra na coluna a aproximadamente dois terços da altura a partir de sua base, e desce contra a corrente de bolhas geradas pelo aerador. Tais bolhas coletam as partículas flutuantes (zona de coleta ou recuperação) provenientes da polpa. As partículas hidrofóbicas recolhidas são transferidas para uma espuma estabilizada pela água de lavagem. A função principal da água de lavagem é retirar (limpar) da espuma as partículas aprisionadas na água que entra em contato com as bolhas na zona de coleta. Por esse motivo, a zona de espuma é também denominada zona de limpeza. O uso da água de lavagem é o principal aspecto que permite a elevada melhoria na qualidade dos concentrados obtidos.

A água de lavagem faz a divisão entre o que vai para a borda (também transporta para fora a parte flotada) e o que vai para baixo através da espuma para a zona de coleta. Esta água se movendo para baixo coluna é chamada de bias. Para limpeza eficiente deve-se operar com bias positivo, ou seja, maior que zero no sentido descendente. Quando o bias é positivo, o fluxo da água de rejeito é maior que o fluxo da alimentação e o bias fornece a diferença para que uma interface polpa/espuma seja mantida.

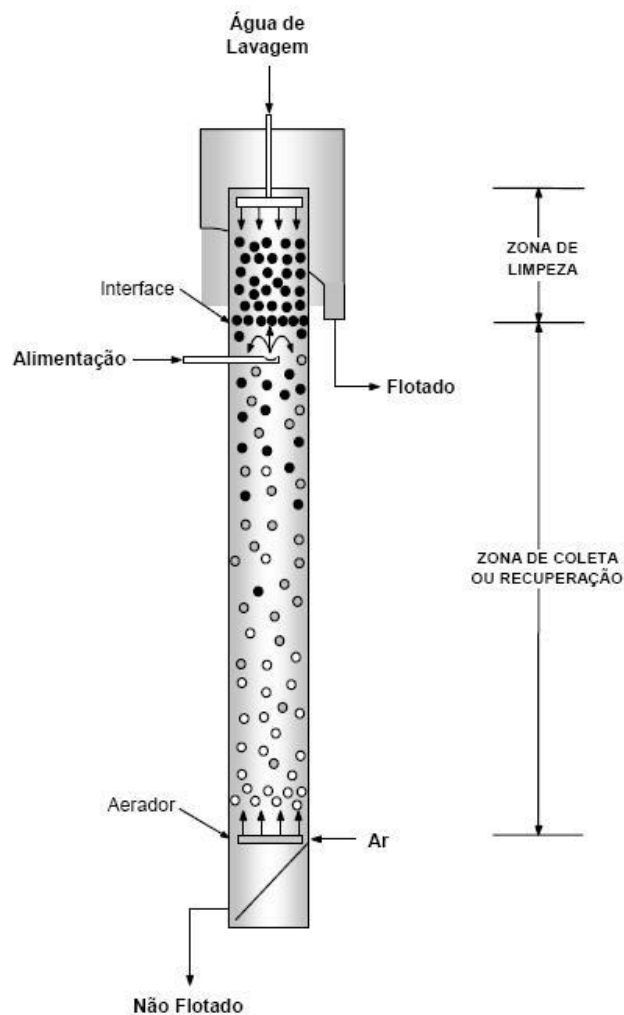


Figura 1. Esquema de uma coluna de flotação.

A ação geral da coluna de flotação é influenciada pela interação entre as zonas de coleta e de limpeza. É importante comentar que a fração de sólidos aprisionados na espuma que volta para a zona de coleta causa uma melhora na separação, mas diminui a capacidade por unidade de volume da coluna.

#### 4 - Discussões

O controle de operação da coluna é realizado através de ajustes em diversas variáveis operacionais:

- a) vazão de ar;
- b) vazão de água de lavagem;
- c) altura da camada de espuma;
- d) tamanho das bolhas;
- e) tamanho das partículas minerais, etc.
- f) *bias*
- g) tempo de residência

h) *hold up*

Tais variáveis causam efeitos significativos com relação à recuperação do mineral de interesse e a eficiência total do processo.

#### 4.1. Vazão de ar

Uma das variáveis mais importantes no processo, e também a mais comumente ajustada. Isso se deve à influência dessa variável sobre o tamanho e a quantidade de bolhas adequadas para a coleta e o transporte do mineral de interesse.

A recuperação do mineral normalmente é crescente quando aumentamos a vazão do ar até atingir um valor máximo. Esta melhoria na recuperação deve-se ao aumento do número e da área superficial das bolhas. Mas um acréscimo excessivo da vazão pode causar turbulência ou formação de espuma na zona de recuperação, interferindo negativamente no desempenho da flotação.

#### 4.2. Água de lavagem

É uma alternativa para se obter maior seletividade sem perder a recuperação. A ação da água de lavagem deve ser tal que ela passe por toda a área da seção da camada de espuma sem atrapalhar a saída da parte flotada.

#### 4.3. Altura da camada de espuma

A camada de espuma baixa favorece o arraste hidráulico do processo quando a vazão de ar é moderada. Para obter maior seletividade no processo ou quando a vazão de ar é alta, opera-se com camada de espuma mais alta.

#### 4.4. Tamanho das bolhas de ar

Influencia diretamente no efeito de coleta e transporte das partículas minerais. O tamanho das bolhas é definido através das condições operacionais do aerador que está sendo utilizado na coluna. Bolhas pequenas têm maior área superficial possibilitando maior cinética da coleta e transporte dos sólidos. Porém se a bolha for muito pequena sua velocidade poderá ser menor que a da polpa decrescente acarretando na perda das partículas agregadas a elas. Ou seja, há um tamanho médio que otimiza o processo e dependerá do tamanho das partículas minerais.

#### 4.5. Tamanho das partículas minerais

Não é uma variável operacional da coluna, mas também influencia nos resultados do processo. A flotação de partículas mais finas é mais vantajosa com relação as mais grossas. Contudo, usa-se cada vez mais a flotação em coluna mesmo para partículas grosseiras. Devido às suas vantagens de seletividade recuperação e custo.

## 5 - Conclusões

Analisando as discussões apresentadas podemos concluir o trabalho relatando as vantagens e desvantagens da flotação em coluna, e também aproveitarmos para fazer uma comparação entre células mecânicas convencionais e as de coluna.

A Tabela 1 mostra as principais diferenças entre os dois tipos de células de flotação.

Tabela 1. Diferenças Básicas entre as Células de Flotação em Coluna e Convencional

| CÉLULAS MECÂNICAS  | CÉLULAS DE COLUNA   |
|--|---|
| Forma geralmente cúbica  | Forma longitudinal, com seção transversal quadrada ou circular  |
| O ar é introduzido à polpa através de uma coluna central, e as bolhas são geradas mediante a um impulsor   | O ar é introduzido no fundo da coluna, através de um aerador poroso   |
| Precisa-se de agitação mecânica do impulsor para a aeração e manutenção das partículas sólidas em suspensão, gerando uma elevada turbulência na célula | Não necessita de mistura externa, e espera-se um nível mínimo de turbulência  |
| Não existe fluxo preferencial das partículas e bolhas de ar, exceto pelo efeito de levitação das bolhas  | A polpa e as bolhas se movem em direções opostas, dentro da zona de recuperação da coluna   |
| As bolhas com partículas minerais agregadas se movem até formar uma espuma estável   | As bolhas com partículas minerais agregadas não se movem necessariamente para formar uma espuma estável, podendo mover-se de forma independente |
| Geralmente, não usa água de lavagem na fase espuma   | Utiliza água de lavagem e bias positivo   |

A flotação em coluna apresenta algumas vantagens significativas sobre a flotação em células mecânicas:

- Maior recuperação de partículas minerais finas e grossas através do controle das dimensões das bolhas de ar;
- Aumento da probabilidade de adesão partícula-bolha devido ao fluxo contracorrente;
- Seletividade eficiente devido à diminuição do arraste de partículas hidrofílicas da polpa para a espuma, ao controle da altura da camada de espuma e ao uso da água de lavagem;
- Diminuição do espaço requerido na usina devido à sua forma predominantemente vertical;
- Baixo custo e simplicidade de fabricação, instrumentação e controle das colunas;
- Baixo custo de manutenção;
- Menor consumo energético;

Também há algumas desvantagens, mas que não comprometem a utilização das colunas. Desvantagens essas que podem ser minimizadas através de adaptações na aparelhagem, como por exemplo a utilização de subdivisões e calhas internas.

## 6 - Agradecimentos

Os autores agradecem ao CETEM ao CNPq pelo suporte financeiro.

## 7 - Referências Bibliográficas

FINCH, J.A; DOBBY, G.S. **Column Flotation**. Canada, Pergamon Press, 1990.

GUTIÉRREZ L. R; AGUILAR O. V. **CIMM y Su Experiência En La Tecnología de Flotacion Columnar**. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. Santiago de Chile.

PENNA R.; OLIVEIRA L. M.; VALADÃO G. E. S.; PERES A. E. C.; **Estudo Comparativo Entre Dois Sistemas de Aeração de Coluna de Flotação**. Rev. Esc. Minas vol.56 Nº 3 Ouro Preto July 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672003000300009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672003000300009&script=sci_arttext)> Acesso em: 14 jun. 2010.

SILVA A. A. M. **Estudo Sobre a Flotação de Silicatos em Coluna Para o Processo de Concentração da Apatita**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais (Brasil).