

A influência da granulometria na flotação de rejeito de minério de zinco

(The influence of size distribution on the flotation of zinc ore tailings)

Mário Luís Cabello Russo

Mestrando em Engenharia Mineral PPGEM/DEMIN/EM/UFOP. E-mail: cabello@cefetop.edu.br

Alexandro Uliana

Graduando em Engenharia de Minas - DEMIN/EM/UFOP. E-mail: alexuliana@yahoo.com.br

Luciana Gois

Graduanda em Engenharia de Minas - DEMIN/EM/UFOP. E-mail: lucianagois@yahoo.com.br

Carlos Alberto Pereira

Dr., Professor Adjunto, PPGEM/DEMIN/EM/UFOP. E-mail: pereira@demin.ufop.br

Resumo

No mercado mundial, o valor dos metais tem aumentado consideravelmente. Todas as empresas mineradoras estão adotando medidas com o objetivo de otimizar seus processos de concentração, sempre visando retirar a máxima quantidade de metal de interesse do minério "ROM". Esse princípio é compatível com o alvo ambiental de minimização da geração de resíduos na atividade mineral. Beneficiando-se rejeitos, objetiva-se, tanto aumentar a produção, como, também, amenizar impactos ambientais. Esse trabalho apresenta uma análise dos fenômenos interfaciais que regem a flotação de silicatado de zinco, principalmente os finos, além de parâmetros para a concentração de rejeitos do circuito de flotação de willemite. As amostras de rejeito estudadas foram fornecidas pela Votorantim Metais, unidade de vazante. Depois de determinados quais reagentes respondem melhor ao processo e quais as suas condições ideais de dosagem, foram desenvolvidos testes de flotação em faixas granulométricas específicas, com o objetivo de se analisar o efeito do tamanho da partícula no processo de flotação.

Palavras-chave: Flotação, minério de zinco, emulsão.

Abstract

In the world market, the metal prices have been increasing considerably. All mining companies have adopted actions with the objective of minimizing their concentration processes, enhancing the recovery of the metal bearing mineral from the ROM. This line is compatible with the environmental target of minimizing the generation of wastes in the mining activities. It aims at increasing the zinc production, while reducing environmental impacts. The goal of the present investigation is to analyze the interface phenomena that control the flotation of zinc silicate, mainly the fines, and to determine which conditions concentrate the tailings of the willemite's flotation circuit. The samples of tailings were supplied by Votorantim Metais, Vazante. After determining the best reagents for the flotation and their dosages, flotation's tests was carried out with specifically-sized samples, aiming to analyze the effect of the grain's size in the flotation's process.

Keywords: Flotation, zinc ore, emulsion.

1. Introdução

No século XIX e até o começo do século XX, os minérios oxidados de chumbo e zinco eram concentrados por processos gravíticos. Os finos gerados nas etapas precedentes da cominuição eram descartados e as recuperações obtidas eram da ordem de 40%. Por volta de 1927, em Gorno, Itália, foi implementado um sistema de classificação de minério e começou a se tratar os finos, chegando, assim, a uma recuperação de até 60%, porém com custos altos (Billi, 1957)

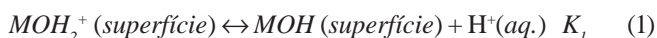
Rey (1979) cita suas experiências, através das quais chega à conclusão de que o melhor processo para a concentração de minérios oxidados de zinco é a flotação, tendo como etapa preliminar uma dispersão da lama, a sulfetização, e, por fim, a adição de coletor e espumante. Variações a essa proposta foram estudadas, porém não foram encontrados resultados como os obtidos pela flotação catiônica com aminas primárias após dispersão e sulfetização.

Segundo Galéry (1985), esse processo de concentração por flotação catiônica com aminas em polpas sulfetizadas apresenta as vantagens de se poder trabalhar com minérios mais pobres e de liberação nas faixas mais finas de granulometria, obtendo-se concentrados finais com teores de zinco acima de 40% e com baixos teores de contaminantes.

1.1 A formação de carga superficial nos silicatos

A carga superficial dos silicatos tem sua origem primária nas ligações químicas não totalmente satisfeitas eletricamente e a posição relativa dessas ligações na estrutura cristalina é determinada pela superfície de quebra associada ou não a planos de clivagem (Viana, 2006).

Fusternau e Raghavan (1977) sugerem que a reação geral que estabelece o aparecimento de cargas em óxidos pode ser descrita pelas equações (1) e (2):



Onde:

M - É o cátion.

MOH_2^+ - São sítios positivos.

MOH - São sítios hidroxilados superficiais neutros.

MO^- - São sítios negativos.

A flotação de minério oxidado de zinco é extremamente complexa, devido a vários fatores, como a solubilidade elevada do minério e a grande variedade de reagentes usados no processo, o que gera uma gama de reações de diferentes naturezas, que interferem no resultado final. Uma parte dessas reações é de natureza predominantemente eletrostática, outra de

natureza predominantemente química. Existem, ainda, importantes interações que ocorrem entre moléculas e/ou entre agregados.

1.2 Princípios da flotação de minério silicatado de zinco

A estabilidade de uma dispersão (ou seu grau de dispersão) é representada pela sua resistência à agregação e sedimentação com o tempo. Uma dispersão pode ser, então, considerada estável, se não houver nenhuma mudança sensível no número total de partículas com o tempo (Galéry, 1985). Tanto o sulfeto de sódio ($Na_2S \cdot 9H_2O$) quanto o hidróxido de sódio ($NaOH$) constituem-se em dispersantes para a willemita. Porém o mesmo efeito não se verifica para a ganga dolomítica. O sulfeto de sódio, além de exercer sua função como dispersante, ainda proporciona uma alcalinidade necessária ao meio.

Segundo Pereira (2004), a dispersão natural do minério oxidado de zinco varia de acordo com o pH, como mostra a Figura 1.

Os reagentes normalmente utilizados como dispersantes para minérios silicatados são os inorgânicos, que atuam, principalmente, aumentando a carga da dupla camada elétrica, adsorvendo na superfície das partículas por pontes de hidrogênio ou adsorção química, e os orgânicos, que atuam como floculantes.

Billi e Quai (1963), em seus estudos, testaram vários tipos de sulfetos e chegaram à conclusão que o sulfeto de sódio é o mais eficiente. É aconselhada, inclusive, a adição de sulfeto de sódio estagiada. A perda da cobertura sulfetizada pela atrição na célula de flotação seria neutralizada por estágios de adição de sulfeto no lugar de uma única etapa de adição.

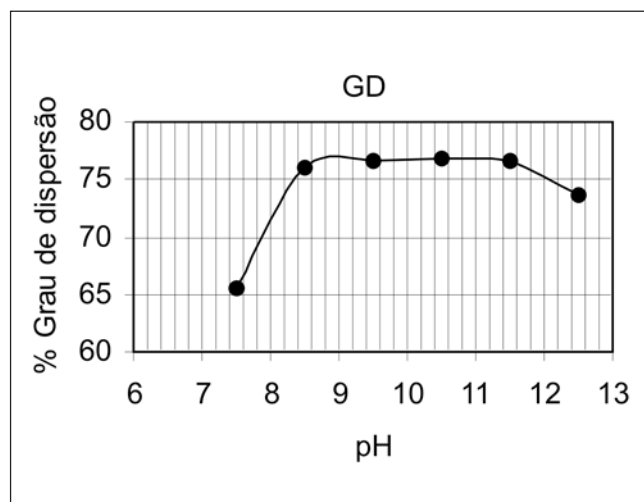


Figura 1 - Grau de dispersão da calamina em função do pH.

Rey (1979) acredita que o enxofre, até certo ponto, tem o papel de bloquear os íons de zinco na superfície do mineral. A presença do enxofre, na superfície do mineral oxidado, implica um aumento da carga superficial negativa desse mineral, o que viria a favorecer o processo de flotação catiônica.

A função do sulfeto de sódio, como modulador de pH, seria explicada pelas características de seus produtos de dissolução em água, de acordo com as seguintes reações:



O sulfeto de sódio (Na_2S) se hidrolisa na presença de duas moléculas de água, gerando o hidróxido de sódio ($NaOH$) e o ácido sulfídrico (H_2S), na proporção estequiométrica de dois para um.

O hidróxido de sódio gerado é totalmente dissociável (base forte), gerando, então, uma grande quantidade de íons sódio (Na^+) e hidroxilas (OH^-) (equação 2), estas fazendo com que o meio se torne alcalino, condição propícia ao processo. Já as constantes de dissociação do H_2S e do SH^- são extremamente baixas, mas, à medida que o meio se torna alcalino, e se encontra em estado crescente de saturação de íons (OH^-), as equações (5) e (6) se deslocam para a direita, visando a atingir o equilíbrio iônico. Ocorre, assim, a liberação de mais ânions SH^- e S^{2-} na polpa. E esses íons se adsorvem na superfície mineral, gerando um aumento de sua carga superficial negativa, favorecendo a flotação catiônica (Fuesternau & Raghavan, 1977).

Ativadores são reagentes que aumentam a eficiência da ação dos coletores (aminas, neste caso), tornando-os mais seletivos na flotação dos minerais de interesse. Alteram a natureza química da superfície, permitindo uma melhor adsorção do coletor. Na maioria das vezes, são sais solúveis e se ionizam em solução (Borges, 1993).

Segundo estudos de Baltar (1980), em hemimorfita e willemita, a adsorção de aminas é, predominantemente, eletrostática. O autor baseia a sua hipótese no fato de a amina se adsorver mais intensamente nas superfícies sulfetizadas, as quais apresentam o potencial eletrocinético medido mais negativo do que as não sulfetizadas. Na prática, são utilizadas, em geral, aminas cujo comprimento de cadeia varia entre 12 e 18 carbonos. Seu consumo industrial varia de 100 a 200 g/t.

1.3 O efeito do tamanho das partículas

Como o mercado vem exigindo especificações cada vez mais rígidas para os concentrados e como os minérios das jazidas em exploração têm alcançado graus de liberação em faixas granulométricas mais finas, verifica-se um aumento considerável nas etapas de moagem precedentes ou intercaladas com a flotação.

Segundo Trahar (1976), para a maioria dos minerais, reagentes e máquinas de flotação recuperam adequadamente partículas de tamanho intermediário, entre 10 μ m e 100 μ m. Abaixo de 10 μ m, a recuperação decresce, dependendo do mineral em questão. Não existe evidência de um tamanho crítico abaixo do qual a flotação seja impraticável, mas, se sabe que, abaixo de 1,0 μ m, esse processo de beneficiamento é extremamente delicado.

Entretanto, para minérios onde os minerais de interesse apresentam granulometria fina, não existe escolha. A obtenção de concentrados dentro das especificações exige uma moagem até se atingir essa granulometria. Segundo Pease (2005), os principais aspectos que fazem com que minérios de granulometria fina respondam de maneira diferente à flotação são:

- Possuem alta área superficial por unidade de massa, necessitando de altas dosagens de reagentes.
- Partículas finas têm maior tendência a seguir o fluxo de água que as partículas maiores.

- Apresentam menores energias de coesão partícula-bolha.
- As taxas de flotação serão menores, a flotação será mais lenta.
- Tendem a ser mais afetadas pelo “slimes coating”.
- São mais afetadas pelas características químicas da água e íons em solução.

Peres e Galéry (1981) observaram a importância da recuperação de finos no minério de zinco. Trabalhando com amostras de minério willemítico da empresa CMM, observaram que a lama descartada representava 43% (em peso) da alimentação. Verificaram, também, que a presença de zinco na rede cristalina da dolomita, bem como da argila, afeta a recuperação. Em se tratando de minério calamínico, 25% em peso da alimentação era de granulometria inferior a 37 μ m.

2. Materiais e métodos: ensaios de flotação

É mostrado, na Tabela 1, o resultado da análise granulométrica de amostras do rejeito da willemita, fornecidas pela Votorantim Metais, unidade de Vazante, se onde vê que, nas faixas granulométricas intermediárias (entre 400# e 200#), têm-se uma redução nos teores de zinco. Já, nas faixas granulométricas maiores de 200# e menores que 400#, o teor de zinco é maior, acima de 3,0%.

Para se analisar o comportamento do material em relação à flotação envolvendo faixas granulométricas específicas, flotaram-se amostras submetidas a um peneiramento prévio a úmido, e amostras submetidas à decantação. Nas amostras de willemita submetidas a peneiramento a úmido, usaram-se as peneiras de 200# e 325#, obtendo-se três frações:

- Fração > 200#.
- 325# < Fração < 200#.
- Fração < 325#.

Descartou-se a fração de granulometria intermediária (325# < Fração > 200#) e fez-se uma blendagem entre as

outras duas frações (Fração > 200# e Fração < 325#), que são as faixas granulométricas onde se tem um maior teor de zinco.

As amostras de willemita submetidas à decantação foram deixadas em repouso por 10 minutos, sem a adição de floculante ou coagulante. O sobrenadante foi sifonado e o afundado foi flotado.

Todos os testes foram feitos com réplicas. O pH de trabalho era na faixa de 11,5. Os testes foram desenvolvidos com adição estagiada de sulfeto de sódio e de emulsão. Os reagentes foram usados nas seguintes dosagens: 500 g/t de sulfeto de sódio, 1000 g/t de silicato de sódio e 400 g/t de emulsão composta por dodecilamina, óleo diesel e MIBC na relação de 1:0.16:0.4, segundo determinado via ferramentas estatísticas por Russo (2007).

3. Resultados e discussões

Os resultados dos testes de flotação são mostrados na Tabela 2.

4. Conclusões

1. Ao se excluir a fração intermediária (325# < Fração > 200#), obteve-se uma recuperação média inferior à dos testes com a faixa granulométrica completa, mas o teor encontrado teve um acréscimo de quase 16%.
2. Nos testes onde se excluiu o extrafino via sifonagem, obteve-se uma recuperação média inferior à recuperação média nos testes com a faixa granulométrica completa, porém novamente o teor encontrado foi superior e, nesse caso, o acréscimo foi de 28%, provavelmente devido ao acréscimo de efetividade natural do processo de flotação ao ser precedido por etapas de deslamagem. A redução de, aproximadamente, 10% na recuperação provavelmente é devido à perda do zinco existente no ultrafino.

Tabela 1 - Análise Granuloquímica do Rejeito de Willemita.

| Peneira # | Massa Retida (g) | % Simples | % Acumulada | % Zn | % Fe |
|--------------|------------------|------------|-------------|------|-------|
| 100 | 68,1 | 5,97 | 5,97 | 3,04 | 2,05 |
| 150 | 70,6 | 6,18 | 12,15 | 3,04 | 3,01 |
| 200 | 49,6 | 4,35 | 16,5 | 2,44 | 5,57 |
| 270 | 53,6 | 4,7 | 21,2 | 1,96 | 8,03 |
| 325 | 64,4 | 5,65 | 26,85 | 1,74 | 9,84 |
| 400 | 38,3 | 3,36 | 30,21 | 1,63 | 10,42 |
| -400 | 796,1 | 69,79 | 100 | 3,16 | 9,51 |
| TOTAL | 1140,7 | 100 | | | |

Tabela 2 - Resultados dos Testes de Flotação.

| Teste | Teor Médio | Recuperação Média |
|------------------------|------------|-------------------|
| Granulometria Completa | 9,92 | 56,73 |
| Peneiramento | 11,47 | 51,81 |
| Sedimentação | 12,72 | 51,3 |

5. Referências Bibliográficas

- BALTAR, C. A. M. *Aproveitamento de minério oxidado de zinco com baixo teor por flotação*. Rio de Janeiro: Coppe UFRJ, 1980. (Dissertação de Mestrado).
- BILLI, M. How gorno recovers oxidized zinc, *Engineering and Mining Journal*, 158, 4, p. 82-86, 1957.
- BILLI, M., QUAI, V. Developments and results obtained in the treatment of zinc oxide ores at the AMMI Mines, International Mineral Processing Congress, Cannes. 1963, p. 631-649.
- BORGES, A. A. M. *Influência do estado de dispersão na flotabilidade de minério oxidado de zinco*. Belo Horizonte: UFMG, 1993. (Dissertação de Mestrado).
- FUERSTENAU, D. W., RAGHAVAN, S. The crystal chemistry, surface properties and flotation behavior of silicate minerals. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PROCESSAMENTO DE MINERAIS, 12. *Anais...* Brasília: DNPM, 1977. p. 368-415.
- GALLERY, R. *Influência do estado de dispersão na flutuabilidade do sistema willemita/dolomita*. Belo Horizonte: UFMG, 1985. (Dissertação de Mestrado).
- PEASE, J. D., CURRY, D. C., YOUNG, M. F., Designing flotation circuits for fines recovery, Mineral Processing. 2005.
- PEREIRA, C. A. *Estudo da dispersão e concentração de minério calamínico*. Belo Horizonte: UFMG, 2004. (Dissertação de Doutorado).
- REY, M. Memoirs of milling and process metallurgy: Flotation of oxidized ores, Transactions Institution of Mining and Metallurgy, 1979.
- RUSSO, M.L.C. *Flotação de Rejeito de Minério de Zinco*. Ouro Preto: UFOP, 2007. (Dissertação de Mestrado).
- TRAHAR, W. J., Warren, L. J., The flotability of very fine particles - Review. *International Journal of Mineral Processing*, p. 103-131, 1976.
- VIANA, P. R. M. *Flotação de espodumênio, microclina, quartzo e muscovita com coletores aniônicos, catiônicos, anfotéricos e mistura de coletores*. Belo Horizonte: UFMG, 2006. (Tese de Doutorado).

Artigo recebido em 28/05/2007 e aprovado em 01/12/2007.