

PESQUISA EM FLOTAÇÃO: UMA VISÃO CRÍTICA

João Martins da Silva (1)
Maria José Gazzí Salum (2)
Sônia Margarida de Assis (3)

R E S U M O

Faz-se uma análise crítica da pesquisa em flotação. Discute-se a dificuldade observada na distinção entre pesquisa básica e aplicada. Destacam-se casos históricos em que as metodologias típicas das pesquisas básica e aplicada são usadas, simultaneamente, com sucesso.

A B S T R A C T

Research in flotation is critically reviewed. The difficulties associated with the distinction between basic and applied research are discussed. Emphasis is given to historical cases where the typical methodologies used in basic as well as in applied research go together, with success.

(1, 2, 3) Engenheiros de Minas, Mestres, Professores Adjuntos do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG.

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de alteração seletiva da hidrofobicidade dos minerais, através do estabelecimento de condições físico-químicas adequadas, faz da flotação o método de concentração mais importante no tratamento de minérios. O elevado potencial desse método, associado à insuficiência do conhecimento dos seus princípios fundamentais, tornam-no objeto de um considerável volume de pesquisas básicas e aplicadas. A maior parte dessas pesquisas visam à obtenção de reagentes seletivos e/ou entendimento de seus mecanismos de ação nos diversos sistemas minerais.

As necessidades de pesquisa para os profissionais das empresas de mineração são colocadas em função de fatores econômicos. A metodologia usada na procura de soluções é, geralmente, a metodologia empírica, visando resultados a curto prazo. Para os pesquisadores profissionais, não ligados às empresas de mineração, colocam-se geralmente, outros problemas para os quais não há um prazo fatal de solução. Geralmente, a metodologia de pesquisa adotada é a dos estudos fundamentais. Assim, é comum a divisão dos pesquisadores em teóricos (acadêmicos) e empíricos (práticos com vivência industrial).

À metodologia empírica são atribuídos a maioria dos avanços atingidos na flotação, apesar de cerca de 90% das pesquisas, desde 1920, referirem-se à química de superfície⁽¹⁾.

Guy e Trahar⁽²⁾, comentando recentemente sobre a flotação de sulfetos afirmaram:

"It is unfortunate that the application of the results of laboratory-basic studies ... to real ores unreal flotation systems has not met with any great success. After a prolonged search, we are unable to point with certainty to any advance in practice that has originated from a laboratory study".

Certamente tal afirmação, se verdadeira para sulfeto, não pode ser estendida para outras situações. No Brasil, apesar da incipiência

da pesquisa como um todo, sabemos que não teria sido possível estar hoje aproveitando os fosfatos nacionais não fosse o sucesso das pesquisas realizadas, inicialmente, em laboratório.

A polêmica sobre este assunto, que ocorre a nível internacional (1 - 4), chega às vezes a ser sem sentido, uma vez que o limite entre o que possa ser pesquisa básica e aplicada, nem sempre pode ser perfeitamente definido. Falta, evidentemente, a cooperação mútua postulada por Coelho (4), entre empresas, universidades e centros de pesquisa.

2. PESQUISA BÁSICA

Conhecer os mecanismos pelos quais ocorre a alteração seletiva da hidrofobicidade dos minerais é o objetivo principal da pesquisa básica em flotação. Entretanto, apesar do grande volume de pesquisa básica, estes estudos têm gerado poucas teorias de validade geral. Geralmente, é possível identificar se o mecanismo de interação mineral/reagente de flotação é de natureza específica ou não específica através da utilização conjunta de técnicas associadas aos fenômenos eletrocinéticos, principalmente medidas de mobilidade eletroforética, e espectroscopia de infravermelho. No atual estágio da arte, entretanto, parece que tais resultados são insuficientes para implementar os avanços necessários, correndo-se o risco de chegar-se a lugares comuns quando a investigação se limita a tais constatações.

Vários são os fatores que podem ser apontados como causas do insucesso na busca do conhecimento dos mecanismos da interação entre reagentes e superfícies minerais que forneçam teorias mais gerais:

- 1) tentativa de se pautar os estudos fundamentais sobre mecanismos por interesses práticos. Em função disso, costuma-se utilizar reagentes comerciais, espécimes minerais com complicados res só detectáveis no tipo em estudo sem dispor de condições de caracterizá-las perfeitamente e, ainda, à tentativa de se buscar correlações diretas com a prática industrial. Desta forma, os estudos tornam-se de validade limitada às espécies usadas na

investigação, sem nenhuma possibilidade de chegar-se a teorias de validade geral:

- ii) pré-tratamento das superfícies minerais (5). Os estudos sobre mecanismos são realizados em minerais purificados e com superfícies limpas, o que exige uma rotina de preparação dos minerais. Os resultados obtidos nas propriedades superficiais dependem dos tratamentos utilizados para preparar os minerais e limpar as superfícies. É necessário escolher a maneira mais adequada para se ter superfícies representativas do "bulk" mineral. Técnicas tais como, cominuição, polimento de material montado em plástico, lixiviação para limpeza de superfícies, secagem e envelhecimento em água podem alterar propriedades superficiais dos minerais. Por exemplo, pode-se citar mudanças no potencial zeta da apatita por lixiviação ou por condicionamento em água por período de uma semana;
- iii) heterogeneidade dos minerais naturais. A heterogeneidade e complexidade dos corpos de minérios devido à diferentes condicionamentos geológicos podem fazer com que amostras de minerais similares, provenientes de diferentes jazidas, tenham propriedades superficiais diferentes (físico-químicas e morfológicas). Assim, extremo cuidado é necessário ao selecionar amostras para estudos fundamentais. Estudos centrados na físico-química da solução aquosa, sem levar em consideração as características intrínsecas aos minerais, podem identificar causas insuficientes para explicar fenômenos observados.
- iv) técnicas de medida da hidrofobicidade dos minerais (6). Dentre as técnicas utilizadas para avaliação da hidrofobicidade pode-se citar: medidas de ângulo de contato, tempo de indução, "bubble pick up", flotação à vácuo e microflotação em tubo Hallimond. Os experimentos de microflotação em tubo de Hallimond recebem maior aceitação por permitir o controle de variáveis hidrodinâmicas tais como: fluxo de gás, tempo de agitação e tempo de flotação, mais próximas da realidade do processo de flotação. Mesmo assim, o grande número de variáveis envolvidas na flotação faz com que os trabalhos de natureza mais fundamental, ao abordarem apenas sistemas simplificados, não produzam, com a velocidade desejada, as informações necessárias;

- v) seleção de reagentes. Devido à necessidade de resolução de problemas mais imediatos, de natureza prática, a maioria dos estudos sobre desenvolvimento de reagentes apresenta-se, quase sempre, restrita a sistemas particulares, onde a refratariedade dos minérios aos esquemas mais comuns de flotação exigiriam avanços maiores. Assim é que Fuerstenau e colaboradores (7) desenvolveram estudos mostrando que a coleta de haletos alcalinos por sais de amina está relacionado com o raio iônico do cátion haleto. Ludt e colaboradores (8), observando a afinidade entre determinados silicatos e alguns corantes básicos, desenvolveram um reagente através da associação de um destes corantes com cadeias hidrocarbônicas pelo processo de síntese orgânica.

Um critério utilizado de maneira generalizada para as diversas classes de minerais e reagentes é o do efeito do tamanho da cadeia hidrocarbônica na performance dos coletores, que tem um papel bem definido nos sistemas de flotação.

Uma teoria mais geral sobre a maneira de se abordar o assunto interação entre reagentes e superfície mineral é encontrada nos estudos de Bogdanov e col (9). A quimisorção de reagentes nos minerais é considerado sob o ponto de vista da teoria dos orbitais moleculares (OM). Neste caso, a interação entre reagentes e minerais pode ser considerada como dependente do tipo de reagente doador de átomos, sua localização, nº e carga (OM do reagente) tanto quanto do tipo de cátion ou ânion mineral, simetria da rede cristalina e tipo dos compostos de superfície formados sobre a ação de oxigênio e água (OM do mineral). Baseados nesta teoria, os autores citados, além de explicar a ação de alguns coletores em alguns sistemas minerais, sintetizaram um reagente capaz de fornecer maior seletividade na flotação de um minério de cobre/molibdênio.

3. PESQUISA APLICADA

Alterar seletivamente a hidrofobicidade dos minerais é um dos principais objetivos da pesquisa aplicada em flotação, visando ao de-

envolvimento de processo original, adaptação de processo, otimização de processo, substituição de reagentes visando baixar custos, etc.

A seleção de condições físico-químicas favoráveis à alteração seletiva da hidrofobicidade dos minerais é realizada através de testes de flotação em escala de bancada e piloto.

Apesar do grande avanço no desenvolvimento de reagentes de flotação, a escolha de reagentes tem sido feita com base em tentativas e erro. A metodologia empírica, às vezes, não consegue vencer grandes desafios impostos por minérios altamente refratários. Neste caso, na maioria das vezes, parte-se para desenvolver reagentes específicos.

Os autores deste trabalho acreditam que, se após uma campanha exaustiva de testes de flotação em escala de bancada, selecionando condições físico-químicas adequadas, o minério ainda se mostrar refratário, a utilização de técnicas e metodologias da pesquisa básica pode ajudar a elucidar a questão. Utilizando-se o tubo de Hallimond, por exemplo, pode-se identificar e isolar as principais variáveis complicadoras do minério e trabalhar para solucioná-las. Tais experimentos podem ser realizados inicialmente, com os principais minerais do minério.

No Brasil podem ser citados, pelo menos, quatro casos históricos relevantes, em que a pesquisa aplicada esteve bem próxima dos métodos típicos da pesquisa fundamental, envolvendo estudos com minerais purificados a partir do minério em condições restritas, não aplicáveis imediatamente a sistemas reais. São os casos Serrana, envolvendo o desenvolvimento de processo original para a separação por flotação de apatita/carbonatos (10); Arafertil, em que se conseguiu a separação da apatita em relação à barita (11); Nuclebrás, em que se aplicou processo diferente do usado pela Serrana na separação apatita/carbonatos (12) e Caraíba Metais, em que se utilizou reagente não convencional na depressão de silicato portador de ferro em minério de cobre (13).

Uma análise do histórico dos casos anteriores, deixa evidente a necessidade de uma abordagem inteligente de cada situação, desprezan

do-se os procedimentos lineares geralmente usados na adaptação de processos já existentes à situações aparentemente semelhantes. Es tá-se, também, diante de oportunidade ímpar de se definir temas pa ra pesquisas fundamentais de longo prazo que poderão contribuir pa ra o estabelecimento de um sistema mais racional para a interpreta ção de novos problemas.

4. CONSIDERAÇÃO FINAL

O estabelecimento de uma efetiva colaboração entre os estudiosos dos fundamentos e os que se dedicam a resolver os problemas mais imediatos, gerados pela prioridade econômica, pode ajudar a vencer, com maior rapidez, os desafios tecnológicos que nos são impostos. Mesmo porque, o limite entre a pesquisa básica e aplicada torna-se tênue frente à complexidade de alguns problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARBITER, N. Mineral Processing: Past, present and future. In: Advances in Mineral Processing, p. 12, Society of Mining Engineers, Littleton, Colorado; 1986.
2. GUY, P.J.; TRAHAR, W.J. The effects of oxidation and mineral interaction on sulphide flotation, In: Flotation of Sulphide Minerals, Elsevier, p. 101.
3. WIEGEL, R.L.; LAWVER, J.E. Reducing theory to practice (or vice versa) in mineral processing, In: Advances in Mineral Processing, p. 685 - 694, Society of Mining Engineers, Littleton, Colorado, 1986.
4. COELHO, E.M. Perspectivas de pesquisa na área de tratamento de minérios. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 11., Natal, 1985. Anais ... Natal, CERN, 1985, p. 299 - 309.
5. SOMASUNDARAN, P.. Pretreatment of mineral surfaces and its effect on their properties. Symp. Clean Surfaces: Their Preparation and characterization for Interfacial Studies, Realeigh North Caroline, April, 1968.

6. SOMASUNDARAN, P. & ANANTHAPADMANABHAN, K.P. Experimental techniques in flotation basic research, In: SME Mineral Processing Handbook, Society of Mining Engineering, p. 30 - 87/30 - 95, New York, 1985.
7. FUERSTENAU, D.W.; FUERSTENAU, M.C. Ionic size in flotation collection of alkali halides. Transactions AIME, March 1956, p. 302 - 307.
8. LUDT R.W.; DE WITT, C.C. The flotation of copper silicate from silica. Mining Transactions, February 1949, p. 49 - 51.
9. BAGDANOV, O.S. et. alii. Reagents hemisorption on minerals as a process of formation of surface compounds with a coordination bond. In: International Mineral Processing Congress, 12., Proceedings... São Paulo, MME/DNPM, 1985, Vol. II, p. 280 - 303.
10. ANDERY, P.A. Concentração de apatita do carbonatita de Jacupiranga, Estado de São Paulo. Tese para o Concurso à Cadeira nº 33 "Lavra de Minas e Tratamento de Minerais" - USP. São Paulo, 1967.
11. CHAVES, N. Comunicação pessoal, 1985 (Escola de Engenharia da UFMG).
12. ASSIS, S.M.. SILVA, J.M. & ARAÚRO, A.C. A new approach for the flotation of Brazilian carbonated phosphate ores. Artigo aceito para publicação nos Anais do XVI th International Mineral Processing Congress a ser realizado em junho/88, na Suécia.
13. PEREIRA, C.E. Estudo da seletividade de flotação de um minério sulfetado de cobre de ganga silicatada. B.H., Depto. de Engenharia Metalúrgica, UFMG, 1984. (Tese, Mestrado).