

Efeito de alguns aspectos mineralógicos na flotação de fosfatos

João Martins da Silva *
Élcio Marques Coelho, PhD **

1. INTRODUÇÃO
2. MATERIAIS E MÉTODOS
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO
4. CONCLUSÕES
5. BIBLIOGRAFIA

* Engenheiro do Depto. de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFMG

** Engenheiro do Depto. de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFMG

Resumo

Nesta investigação procurou-se estabelecer correlações qualitativas entre a flutuabilidade e características específicas de uma rocha fosfática como: composição mineralógica, contaminações superficiais dos minerais e grau de alteração.

Amostras de um mesmo depósito - Tapira/MG, mas de comportamentos diferentes na flotação, foram utilizadas. Mostrou-se que as causas principais da diferença de comportamento

entre elas eram: i) presença de elevada proporção de diopsídio com alto grau de hidrofobicidade; ii) existência de cimento calcítico recobrimo minerais de ganga; iii) tendência à heterocoagulação devido, possivelmente, à presença de mica com elevada carga estrutural.

Obteve-se boas perspectivas de se conseguir seletividade satisfatória na flotação da amostra mais complexa usando-se silicato de sódio com relação $\text{Si}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ igual a 3,22 como depressor. Concentrados "rougher" com teores de P_2O_5 superiores a 28% e recuperações acima de 70% foram alcançados.

1. Introdução

Apesar da indiscutível relevância das características do minério na performance da flotação, é comum dar-se prioridade ao estudo dos parâmetros ligados ao equipamento e/ou processo. A prática, entretanto, tem demonstrado que as expectativas de resultados têm sido frequentemente revertidas quando baseadas em informações insuficientes quanto à natureza do minério.

Deve-se ressaltar o sucesso conseguido no Brasil na eliminação de problemas mineralógicos limitantes da flotação seletiva de fosfatos: separação apatita/barita, por CHAVES e separação apatita/calcita, dolomita, por ANDERY (1). Contudo, não é comum, na literatura nacional, estudos visando correlacionar parâmetros mineralógicos e resposta à flotação. Presumivelmente, estudos dessa natureza poderiam identificar parâmetros ligados à natureza do minério que seriam de grande utilidade no controle, interpretação e desenvolvimento de processos.

Neste trabalho procurou-se correlacionar, qualitativamente, os resultados da flotação de duas amostras da jazida de Tapira - MG, com algumas de suas características, tais como, composição mineralógica, nível de impureza dos minerais e solubilidade durante a moagem.

2. Materiais e métodos

2.1. Amostras

As amostras procederam de Tapira - MG. A primeira é considerada de comportamento padrão na flotação, enquanto a segunda é considerada refratária a essa técnica. As amostras (cerca de 60 kg cada) foram fragmentadas até apresentarem cerca de 95% de passante em 14 mesh Tyler.

Minerais puros para testes de flutuabilidade, análises químicas, difração de raios X e estudos em microsonda eletrônica foram separados por cata ou métodos físicos combinados (líquidos densos, separações magnéticas e eletromagnéticas).

2.2. Caracterização

As análises químicas foram realizadas pelo método mais adequado a cada caso. Métodos por via úmida e absorção atômica foram os mais empregados. Análises mineralógicas qualitativas foram feitas por difração de raios X. As determinações do grau de liberação da apatita foram realizadas por contagem ao microscópio. As composições mineralógicas foram estimadas com base nos dados de difração de raios X, microsonda eletrônica, análises químicas quantitativas e separações físicas.

2.3. Testes de flotação

Alíquotas de 500 g, a -14 mesh Tyler, eram moídas individualmente, a úmido, até apresentarem cerca de 95% de material passante na peneira de 65 mesh Tyler. Em seguida deslamava-se o material em béquer de 4 litros, com 13% de sólidos e pH 11,0, após decantação por 3 minutos. O material sedimentado era então submetido a condicionamento com depressor, por 5 minutos, e com coletor, por 4 minutos, sempre a 1400 RPM e 30% de sólidos, em célula Denver D-1. A espuma era recolhida enquanto se apresentasse mineralizada (cerca de 4 minutos).

Testes de hidrofobicidade com minerais puros foram realizados em tubo de Hallimond modificado (2).

2.4. Reagentes

O coletor usado foi o oleato de sódio. Como depressores foram empregados: metassilicato de sódio, silicato de sódio neutro e silicato de sódio alcalino com relações $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, respectivamente, iguais a 1, 2,84 e 3,22; Collamil (nome

comercial do amido de milho produzido pelas Refinações de Milho Brasil); Cataflot P40 (polímero acrilato produzido pela firma francesa Pierefitte Auby); fluorsilicato de sódio e pirogalol. Os controladores de pH foram o ácido clorídrico e o hidróxido de sódio. Óleo de pinho foi o espumante empregado nos testes em escala de bancada, quando necessário, à razão de 40 g por tonelada de minério. Os reagentes usados nos testes de bancada, exceto o ácido clorídrico e o hidróxido de sódio, eram de grau comercial. Os testes de hidrofobicidade em tubo de Hallimond foram feitos com reagentes de grau analítico.

Em todos os testes utilizou-se água destilada, visando eliminar possíveis interferências de íons estranhos ao sistema estudado.

3. Resultados e discussão

A tabela 1 contém um resumo das principais características dos minérios "padrão" e "problema" usados na investigação. Os dados foram compilados de um estudo mais completo realizado pelos autores, em 1983 (2,3), onde podem ser encontrados detalhes não relatados neste trabalho.

TABELA 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MINÉRIOS PADRÃO E PROBLEMA

| Características | Minério padrão | Minério problema |
|--|--|--|
| Mineralógicas. | hidroxiapatita (34%), diopsídio (0%) biotita alterada (25%), perovskita + anatásio (11%), magnetita (20%), outros óxidos de ferro - limonita, goethita (8%), calcita (< 1%), quartzo (< 1%), não detectados (2%). | hidroxiapatita (15%), diopsídio (30%), biotita alterada (21%), perovskita + anatásio (15%), magnetita (8%), outros óxidos de ferro-limonita, goethita... (5%), calcita (2%), quartzo (< 1%), não detectados (3%). |
| Liberação da apatita. | (85 + 9%) na fração 65 x 100 mesh Tyler e cerca de 100% a partir da fração 100 x 150 mesh Tyler. | idem. |
| Tendência à coagulação. | baixa; consegue-se boa dispersão em pH em torno de 11,0. | alta; dispersão razoável só é conseguida com elevadas adições de hexametáfosfato ou silicato de sódio. |
| Concentrações de elementos na polpa de moagem, após contato com água por 24 horas (em ppm). | K (2,30), Mg (6,89), Ca (31,0), Al (3,45) outros elementos (< 1,0). | K (1,30), Mg (0,17), Ca (0,94) Al (5,25) outros elementos (< 1,0). |
| Contaminações "superficiais". | apatita de cor amarela, provavelmente ferro hidroxilado. | apatita de cor branca, calcita tende a formar cimento sobre minerais de ganga. |
| Grau de intemperismo | mais avançado | menos avançado |
| Hidrofobicidade dos minerais na ausência de íons e/ou colóides do minério com oleato de sódio. | mica mais hidrofóbica, menos sensível às variações de pH entre 8,0 e 11,0 | mica menos hidrofóbica, sensível ao pH com máximo em 10,0 diopsídio altamente hidrofóbico. |

Entre as características mais marcantes do minério "padrão" destacam-se: o conteúdo mais elevado de magnésio e cálcio na polpa de moagem - respectivamente 6,89 e 31,0 ppm contra 0,17 e 0,94 ppm no minério "problema"; a maior incidência de ferro na "superfície" da apatita - devido ao grau de intemperismo mais avançado do minério; o nível de hidrofobicidade mais elevado da biotita alterada.

As características principais do minério "problema" são: o baixo teor de apatita

(15% contra 34%); o alto teor de diopsídio (30% contra 0%); a tendência à coagulação mais acentuada; a existência de calcita "cimentando" os grãos de minerais de ganga.

Uma maior profundidade na interpretação do comportamento das duas amostras exigiria um estudo ainda mais detalhado. As implicações da heterogeneidade mineralógica nas propriedades interfaciais, tais como, potencial zeta e adsorção (4), por exemplo, seriam informações de grande valor. Entretanto, a análise se limitou às

características mais facilmente obtíveis, reservando para o futuro estudos mais aprofundados.

A amostra do minério "padrão" respondeu satisfatoriamente à flotação nas condições usuais em que é realizada. Os melhores testes - realizados em apenas um estágio - apresentaram teores de P_2O_5 entre 35,2 e 36,7% e recuperações globais entre 68 e 81%.

Por outro lado, a seletividade foi sempre insatisfatória na flotação do minério "problema". Os depressores silicato de sódio, amido de milho gelatinizado, fluorsilicato de sódio, pirogalol e cataflot P40 foram testados sem resultados satisfatórios. Quando se atentou para o controle da relação SiO_2/Na_2O no silicato de sódio, conforme sugerido pela literatura (5,6), obteve-se resultados mais promissores. Os melhores resultados foram obtidos quando essa relação foi de 3,22 (as outras relações testadas foram 1 e 2,84). Os dois melhores testes - realizados em apenas um estágio - apresentaram teores de P_2O_5 de 29,3 e 33,5%, com recuperações na flotação respectivamente iguais a 70 e 49%. Esses testes foram efetuados em pH 10,0 e com oleato de sódio à razão de 500 g por tonelada de minério.

Os flutuados dos testes realizados com o minério "problema" apresentavam-se sempre contaminados com diopsídio, biotita alterada, magnetita e perovskita + anatásio, diluindo o teor de apatita para níveis inaceitáveis.

A alta tendência à flutuabilidade apresentada pelo diopsídio foi posteriormente confirmada através de testes em tubo de Hallimond (2). Os testes realizados na ausência de íons e/ou colóides do minério mostraram que a flutuabilidade do mineral não dependia apenas desses fatores. Por outro lado, mostrou-se que o cimento calcítico contribuía decisivamente para a sua flutuabilidade, uma vez que ela caía de 85% para 15% após lixiviação com ácido clorídrico a 5%.

A flutuabilidade dos outros minerais de ganga - biotita alterada, magnetita e perovskita + anatásio - poderia ser explicada, parcialmente, pela presença do cimento calcítico (a presença desses minerais em proporções semelhantes no minério "padrão" não causou restrições à flotação).

A alta tendência à coagulação do minério "problema" devida, provavelmente, à biotita alterada de carga estrutural mais elevada (2), parece ter sido uma causa importante da baixa seletividade conseguida na flotação desse minério. O efeito torna-se mais evidente quando se leva em consideração que os melhores resultados obtidos corresponderam às melhores condições de dispersão.

Os parâmetros apontados como causas das dificuldades encontradas na flotação do minério "problema" mostraram-se relevantes na sua caracterização, possivelmente em maior grau que teor de P_2O_5 , CaO e outros. A utilidade desses parâmetros estaria ligada à possibilidade de quantificá-los.

Estudos mais aprofundados, entretanto, serão necessários para se identificar e correlacionar quantitativamente causas mineralógicas e resposta à flotação de rochas fosfáticas. Como consequências de esforços de pesquisa nesse sentido teríamos a minimização de experimentos no desenvolvimento de novos processos e a possibilidade de melhor controle dos já existentes.

4. Conclusões

O estabelecimento de parâmetros realmente indicativos do comportamento de rochas fosfáticas na flotação depende ainda de muito trabalho de pesquisa. O problema, contudo, não poderá ser resolvido sem o concurso da caracterização rigorosa dos fatores intrínsecos que afetam as propriedades de "superfície" dos minerais.

No caso investigado foram detectados como parâmetros relevantes: i) a presença de diopsídio, com nível de hidrofobicidade próximo ao da apatita; ii) a presença de cimento calcítico nos grãos minerais e iii) o nível de alteração da biotita refletindo na sua carga estrutural e, conseqüentemente, no grau de dispersão da polpa.

5. Bibliografia

- 1 - BETZ, E.W. Beneficiation of brazilian phosphates. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 13. Varsovia, 1979.
- 2 - SILVA, J.M. Efeito de alguns aspectos mineralógicos na flotação de fosfatos. Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, 1983. (Tese de mestrado)
- 3 - SILVA, J.M. & COELHO, E.M. Caracterização das rochas fosfáticas brasileiras: estágio atual e perspectivas futuras. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE ROCHA FOSFÓRICA, 1. Cochabamba, out. 1983.
- 4 - KULKARNI, R.D. & SOMASUNDARAN, P. Mineralogical heterogeneity of ore particles and its effects on their interfacial characteristics. Powder Technology, 14: 279-85, 1976.
- 5 - FUERSTENAU, M.C. et alii. The Influence of sodium silicate on non-metallic flotation systems. AIME Transaction, 241: 319-23, 1968
- 6 - SOLLENBERGER, C.L. & GREENWALT, R.B. relative effectiveness of sodium silicates of different SiO_2/Na_2O ratios on gangue depressants in nonmetallic flotation. Min. Engng., 10 (6): 691-93, 1958.

Agradecimento.

Os autores agradecem o apoio financeiro da FINEP, através do convênio METALURGIA/FINEP, linha de pesquisa "Recuperação de Finos de Minérios Brasileiros".