

ESTUDO COMPARATIVO DE APROVEITAMENTO DE UM ITABIRITO DE BAIXO TEOR EM FERRO POR FLOTAÇÃO DIRETA E REVERSA

Vieira, A.M.⁽¹⁾; Salum, M.J.G.⁽²⁾

⁽¹⁾ Eng^a. de Minas, Curso de Pós-graduação em Enga. Metalúrgica e de Minas da UFMG

⁽²⁾ Prof^a. Adjunto do Depto Enga. Minas da UFMG, Vice-diretora da EE.UFMG

Rua Espírito Santo, 35 - 4^o andar/ Diretoria, CEP: 30.160.030

Fone: (031) 238- 1860, Fax: (031) 222- 3433

ABSTRACT

This paper shows the results of flotation tests obtained with a low grade iron ore material from Cia. Vale do Rio Doce (Itabira-MG-Brazil), representing a reserve of one billion tons and considered, presently, as a waste mine. The tests were carried out as direct and reverse flotation, using sodium oleate and amine as collector, respectively. The results showed an appropriate recovery and iron content in the concentrates. Nevertheless, the silica content of these concentrates (approximately 4.0%) is higher than the limit of 2% specified for pellet concentrates, due to liberation problems. Similar results were obtained by both, reverse and direct flotation, although direct flotation with sodium oleate presents less consumption of reagents and environmental control.

Key-words: iron ore, flotation, sodium oleate, sodium silicate, amine, starch.

RESUMO

Neste trabalho estuda-se a possibilidade de concentração por flotação de um itabirito duro com baixo teor em ferro, considerado até o momento como estéril de mina. Perfazendo uma reserva de, aproximadamente, 1 bilhão de toneladas o itabirito apresentou resposta favorável à concentração por flotação. Os níveis de teor e recuperação de ferro nos concentrados obtidos em bancada encontram-se adequados à produtos "pellet-feed". Entretanto, apresentam teores de sílica (em torno de 4,0%) acima das especificações para este produto (2%), devido a problemas de liberação. Resultados semelhantes foram obtidos tanto a nível da flotação direta com oleato de sódio quanto da flotação reversa com amina, levando a uma comparação entre as condições e resultados obtidos nos dois processos.

Palavras-chaves: minério de ferro, flotação, oleato de sódio, silicato de sódio, amina, amido.

INTRODUÇÃO

Os minérios de ferro constituem hoje matéria-prima de fundamental importância para a indústria de produção de ferro e suas ligas, além de outras. Para o Brasil é um dos bens minerais de maior importância econômica, tendo gerado em 1991 divisas da ordem de 6 bilhões de dólares americanos, computadas as exportações de bens primários e manufaturados [1]. Portanto, o Brasil, além de consumidor, é grande exportador de minérios de ferro.

Ainda que grande parte da produção de minérios de ferro seja oriunda de minérios ricos (hematitas compactas e pulverulentas) e que esta situação ainda perdure por mais alguns anos, a maioria das mineradoras já se deparou com a problemática da concentração de itabiritos [2].

Dentro deste contexto, faz-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas objetivando a exploração mais racional das grandes jazidas com o aproveitamento de minérios de teores menores e faixas granulométricas mais finas. Além disto, há a responsabilidade de preservação do meio ambiente. Cada vez mais, a questão ambiental torna-se um fator determinante na escolha do processo de tratamento do minério a ser adotado.

Com esse intuito e devido às características granulométricas da amostra investigada, considerada até o momento como estéril de mina, o presente trabalho aborda o estudo de viabilidade técnica de concentração dessa amostra por flotação direta aniônica (contrariando a tendência verificada nos últimos anos, onde os minérios de ferro são concentrados através da flotação reversa) e por flotação reversa catiônica, possibilitando uma comparação das melhores condições e resultados obtidos nos dois processos.

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra utilizada no presente trabalho foi cedida pela Cia. Vale do Rio Doce(CVRD) e é proveniente da mina de Conceição, Itabira-MG. Trata-se de um Itabirito duro, constituído principalmente pelos minerais hematita e quartzo, apresentando um teor aproximado de 46% de ferro e uma reserva de um bilhão de toneladas. Atualmente é considerado como estéril de mina pela Cia. Vale do Rio Doce.

Exceto pelo baixo teor de ferro, a análise química inicial do "estéril" não apresentou problemas relacionados a altos teores em elementos normalmente controlados em produtos finais, tais como fósforo e alumina. A análise granulométrica mostrou que 95,87% das partículas

encontravam-se em granulometria acima de 0,038 mm (400# Tyler) e que o teor acumulado em ferro abaixo dessa fração era de 64,9%.

Após homogeneizações e quarteamentos do estéril, obteve-se uma amostra de aproximadamente 44,0 kg, que foi submetida a uma moagem abaixo de 0,212 mm (65# Tyler). Este material, denominado de - 65# Tyler, foi também homogeneizado e quarteado obtendo-se amostras de 400 g para os ensaios de flotação em bancada. A análise química por fração granulométrica do material -65# Tyler está apresentada na Tabela I.

Tabela I: Análise química por fração granulométrica do material -65# Tyler.

Abertura (mm)	%Retida Simples	% Retida Acumulada	Análise Química Teor (%)						
			Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO
"Cabeça"	-	-	46.01	34.11	0.004	0.17	0.013	0.000	0.021
+ 0.212	0.20	0.20	-	-	-	-	-	-	-
+ 0.150	17.82	18,02	31.82	53,61	0,005	0,13	0,004	0,000	0,023
+ 0,106	12,87	30,89	28,54	58,68	0,004	0,12	0,003	0,000	0,016
+ 0,074	20,11	51,00	38,34	44,77	0,003	0,15	0,008	0,000	0,019
+ 0,053	16,43	67,43	52,68	23,81	0,005	0,14	0,007	0,000	0,015
+ 0,038	15,51	82,94	59,62	15,02	0,006	0,16	0,012	0,000	0,008
- 0,038	17,06	100,00	62,35	10,71	0,020	0,24	0,023	0,000	0,041

TRABALHO EXPERIMENTAL

Este trabalho foi realizado em escala de bancada, utilizando-se uma célula de flotação Denver, tendo a cuba uma capacidade para dois litros de polpa.

O procedimento adotado para todos os ensaios será descrito a seguir:

- adição de 400g da amostra e 1800ml de água na cuba, seguido de agitação (1300rpm),
- ajuste de pH com NaOH e/ou HCl;
- adição de depressor e ajuste de pH;
- condicionamento da polpa por 5 minutos;

- condicionamento da polpa por 5 minutos,
- adição do coletor e ajuste de pH;
- condicionamento da polpa por 2 minutos,
- injeção de ar e coleta do flotado até o esgotamento da espuma.

Terminado o tempo de flotação, concentrado e rejeito eram submetidos à operação de secagem e, posteriormente, pesados e amostrados para serem submetidos à análise química.

A recuperação metálica de ferro no concentrado de cada ensaio foi calculada pela expressão:

$R (\%) = (C_c \times A_a) \times 100$ onde:

R = recuperação do elemento útil pelo concentrado;

C = peso de concentrado;

A = peso da alimentação;

c = teor de elemento útil no concentrado,

a = teor de elemento útil na alimentação.

Para os ensaios de flotação direta, o coletor usado foi o ácido oléico, escolhido por ser o mais importante composto químico utilizado como coletor para minerais não-sulfetos e, além disto, por apresentar baixo custo e boa eficiência. Neste estudo, foi sempre usado o seu sabão sódico (oleato). Como depressor da ganga silicatada (quartzo) foi escolhido o silicato de sódio, um reagente amplamente utilizado na flotação de óxidos, silicatos e minerais tipo-sal [3].

Para os ensaios de flotação reversa, os reagentes usados foram a amina (Flotigam), como coletor, e o amido (Colamil), como depressor, os quais são amplamente usados em processos de flotação.

Foram estudadas as seguintes variáveis: concentração de coletor e de depressor e pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Flotação Direta Aniônica

Nos ensaios de flotação direta em bancada, foi utilizada uma amostra moída abaixo de 0,212 mm (65# Tyler). A alimentação da flotação apresentava teores de 46,01% de Fe e 34,11% de SiO₂. Foram realizadas quatro séries de ensaios e os principais resultados obtidos, em cada série, são mencionados a seguir:

1ª série: foram mantidos constantes o pH em 8,4 e a concentração do depressor silicato de sódio em 60g/t, condições obtidas a partir da literatura [4,5,6]. Foi variada a concentração do coletor oleato de sódio (de 10g/t a 70g/t). Os resultados obtidos foram:

- i. o aumento da concentração do coletor afeta mais significativamente a recuperação de ferro e o teor de sílica do que o teor de ferro no concentrado. Para concentrações de coletor maiores que 40g/t, nota-se um aumento significativo na recuperação de ferro no concentrado (de 73,75% a 96,34%), embora com aumento também no teor de sílica (de 4,19% a 11,08%);
- ii. para concentrações de coletor inferiores a 30g/t, os teores de ferro e de sílica nos concentrados foram bons, aproximadamente 67% e 3%, respectivamente, mas obteve-se valores medíocres para a recuperação de ferro (menores que 50%);
- iii. para as condições de pH e concentração de depressor utilizadas nos ensaios, considerou-se a concentração de 30g/t de oleato de sódio como aquela que reunia as condições mais adequadas de recuperação metálica de ferro e de teores de ferro e de sílica no concentrado para uma etapa "rougher" de flotação.

2ª série: foram mantidos constantes o pH em 8,4 e a concentração de coletor oleato de sódio em 30g/t. Foi variada a concentração de silicato de sódio (de 0 a 70g/t), de acordo com dados da literatura [7,8]. Resultados obtidos:

- i. tanto a recuperação metálica quanto o teor de ferro apresentaram um patamar em torno de 70% e 66%, respectivamente, para concentração de silicato de sódio na faixa de 20g/t a 60g/t;
- ii. as menores recuperações de sílica no concentrado (5,94% e 5,64%) foram observadas para as concentrações de 30g/t e 60g/t, respectivamente;
- iii. a ausência de silicato de sódio no sistema proporcionou uma maior recuperação metálica de ferro, em torno de 73%, e uma maior recuperação de sílica no concentrado, em torno de 10%;
- iv. concentrações de silicato de sódio superiores a 20g/t proporcionaram decréscimos na recuperação metálica de ferro.

3ª série: foram mantidos constantes a concentração do coletor em 30g/t e foi variado o pH (de 5 a 9). Estes ensaios foram realizados na ausência de depressor no sistema. Resultados obtidos:

- i. os teores de ferro nos concentrados não mudam significativamente com o pH, ficando em torno de 65%;
- ii. melhores recuperações de ferro no concentrado são obtidas na faixa de pH 5 a 7, principalmente em pH 6 (80,41%) e em pH 7 (78,46%);
- iii. há um decréscimo da recuperação de ferro no concentrado a partir de pH 8,4 (condições básicas).

4ª série: foram mantidos constantes a concentração do coletor em 30g/t e a concentração do depressor silicato de sódio em 60g/t. Foi variado o pH (de 5 a 9). Resultados obtidos:

- i. pouca influência do pH nos teores de ferro dos concentrados, ficando em torno de 66%;
- ii. a maior recuperação metálica de ferro foi de 77,68%, com teores de 65,78% de ferro e 4,70% de sílica, para pH 7;
- iii. há um decréscimo na recuperação metálica de ferro nas faixas de pH mais ácido e mais básico;
- iv. no pH 7 foram obtidos os melhores valores de recuperação metálica de ferro e de teores de ferro e de sílica no concentrado, na presença ou não de silicato de sódio.

Na Tabela II estão as condições e os resultados dos ensaios que apresentaram os menores teores de sílica nos concentrados, através da flotação direta do "estéril".

Flotação Reversa Catiônica

Estes ensaios foram, também, realizados com a amostra moída abaixo de 0,212 mm (65# Tyler). Foram realizadas duas séries de ensaios e os principais resultados obtidos, em cada série, são mencionados a seguir.

Tabela II: Principais condições e resultados obtidos nos ensaios de flotação direta, considerando os menores teores de sílica no concentrado.

Condições			Concentrados		
Concentração Depressor (g/t)	Concentração Coletor (g/t)	pH	Teor Fe (%)	Teor SiO ₂ (%)	Recuperação Metálica Fe (%)
60	30	8,4	66,16	4,01	68,97
0	30	8,4	64,94	6,80	72,95
0	30	7,0	65,78	4,78	77,68

1ª série: foram mantidos constantes a concentração de amido em 100g/t e o pH em 10,5. Foi variada a concentração de amina (de 60g/t a 140g/t). Resultados obtidos:

- i. o aumento da concentração de amina não provocou quedas bruscas na recuperação metálica de ferro no concentrado, que permaneceu em torno de 93%;
- ii. a máxima recuperação de ferro no concentrado (95,84%) foi obtida quando utilizou-se a menor concentração de amina (60g/t);
- iii. o teor de ferro no concentrado foi maior (66,68%) para a maior concentração de amina empregada (140g/t).

2ª série: foram mantidos constantes a concentração de amina em 100g/t e o pH em 10,5. Foi variada a concentração de amido (de 70g/t a 100g/t). Resultados obtidos:

- i. para valores de concentração de amido a partir de 80g/t, tanto a recuperação metálica quanto o teor de ferro no concentrado apresentaram um patamar em torno de 93% e 62%, respectivamente;
- ii. para a menor concentração de amido (70g/t), foi obtido o maior teor de ferro no concentrado (65,40%) e o menor teor de sílica (5,99%), com uma recuperação metálica de ferro no concentrado de 90,43% (sendo que a máxima recuperação obtida nesta série de ensaio foi de 94,08%).

Na Tabela III estão as condições e os resultados dos ensaios que apresentaram os menores teores de sílica nos concentrados, através da flotação reversa do "estéril"

Tabela III: Principais condições e resultados obtidos nos ensaios de flotação reversa, considerando os menores teores de sílica no concentrado.

Condições			Concentrados		
Concentração Depressor (g/t)	Concentração Coletor (g/t)	pH	Teor Fe (%)	Teor SiO ₂ (%)	Recuperação Metálica Fe (%)
100	140	10,5	66,68	4,46	91,45
70	100	10,5	65,40	5,99	90,43
100	100	10,5	63,34	8,78	94,08

Deve-se ressaltar que o maior problema relacionado à concentração do "estéril", tanto na flotação direta quanto na flotação reversa, é a diminuição do teor de sílica no concentrado, mínimo obtido em torno de 4,5%, considerado elevado em relação ao limite superior desejável para um concentrado "pellet" de 2% no máximo. Tentativas de diminuição desse teor no concentrado de ferro com etapas de "cleaner" foram infrutíferas, ou seja, tanto para a flotação reversa quanto direta não houve decréscimo considerável do teor de sílica nos concentrados.

Resultados de caracterização dos concentrados obtidos mostraram que a grande maioria das partículas de quartzo presentes, apresentavam grãos de hematita associados, ou seja, há uma quantidade mínima de partículas de quartzo livres nos concentrados. Portanto, uma diminuição do teor de sílica nos concentrados só seria possível se fosse realizada uma moagem desses concentrados, a fim de se conseguir a liberação dos grãos de hematita, e, posteriormente, mais um estágio de flotação. Entretanto, essa moagem seria muito fina, devido ao tamanho reduzido desses grãos de hematita (aproximadamente 0,018 mm) [9], implicando em custos altos. Além disto, partículas muito finas podem tornar a técnica de flotação convencional ineficiente, pois elas têm uma baixa probabilidade de colisão com as bolhas de ar, resultando em baixa recuperação.

COMPARAÇÃO DAS CONDIÇÕES E RESULTADOS OBTIDOS NOS DOIS PROCESSOS

As Tabelas IV e V mostram, respectivamente, as melhores condições operacionais de concentração de reagentes e pH de flotação e os melhores resultados obtidos utilizando as técnicas de flotação direta e reversa, com relação aos menores teores de sílica obtidos nos concentrados.

Tabela IV: Melhores condições da flotação direta e reversa em termos de menor teor de sílica e maiores teor e recuperação metálica de ferro nos concentrados.

Variável	Flotação	
	Direta	Reversa
Concentração Coletor (g/t)	30	140
Concentração Depressor (g/t)	0	100
pH	7,0	10,5

Tabela V: Melhores resultados da flotação direta e reversa em termos de menor teor de sílica e maiores teor e recuperação metálica de ferro nos concentrados.

Flotação	Concentrados		
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Rec. Met. Fe (%)
Direta	65,47	4,70	78,46
Reversa	66,68	4,46	91,45

De acordo com os dados das Tabelas IV e V, verifica-se que a flotação reversa catiônica apresentou maiores níveis de teor e, principalmente, de recuperação metálica de ferro no concentrado em relação à flotação direta aniônica. Em contrapartida, sabendo-se que a escolha

do processo de concentração do minério a ser adotado deve-se basear não apenas na avaliação das recuperações metálicas, mas também em custos e considerações ambientais; é importante salientar que na flotação direta aniônica não é necessário o uso de depressor, a concentração de coletor oleato de sódio pode ser considerada como baixa (30g/t) e o pH de operação (pH 7) é próximo ao pH natural da polpa (pH 7,5). Já a flotação reversa catiônica exige a presença de um depressor (amido, 100g/t), concentrações não tão baixas do coletor (amina, 140g/t) e condução do processo em pH elevado (10,5), levando à necessidade de consumo de reagente modulador do pH. Além disso, o nível de degradação ambiental dos reagentes usados no processo de flotação reversa catiônica parece ser maior. Segundo Fuerstenau, Price and Wellik [10], o oleato é facilmente biodegradável, enquanto que a amina é biodegradável apenas em baixas concentrações. Ritcey [11] cita valores de limites de tolerância de espécies de peixes para este dois reagentes. Observa-se que os ácidos graxos apresentam valores maiores (10 para 100 ppm) que as amina (3,2 para 32 ppm), ou seja, os peixes estudados resistem mais aos ácidos graxos que às aminas.

CONCLUSÕES

- i. A concentração do itabirito duro, considerado até o momento como estéril de mina, poderá ser realizada através da flotação direta aniônica ou da flotação reversa catiônica. Entretanto, os teores de sílica nos concentrados (aproximadamente 4,5%), para as duas técnicas utilizadas, encontram-se elevados em relação ao limite de especificação de 2% máximo. Este é um fato de difícil solução técnica para o âmbito da flotação convencional desde que foi caracterizado como devido à problemas de liberação da hematita, que se encontra finamente disseminada em partículas de quartzo (tamanho médio em torno de 0,018 mm);
- ii. A técnica de flotação reversa catiônica apresentou concentrados com teor e recuperação de ferro mais elevados que os da flotação direta, embora com maior consumo de reagentes. Ainda, o uso de aminas, na flotação reversa, pode levar à exigência de um controle ambiental mais rigoroso.

AGRADECIMENTOS

- i. À Cia. Vale do Rio Doce pela concessão da amostra e apoio de análises química;
- ii. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- Quaresma, L.F. - Sumário Mineral, 1993. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral
- [2]- Viana, Sergio Mauricio Souza Martins - Caracterização de dois minérios de ferro itabiríticos do Quadrilátero Ferrífero, MG Belo Horizonte UFMG, 1993 p. 162. Tese de mestrado - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Belo Horizonte
- [3]- Gong Wen Qi - Mechanism of action of sodium silicate in the flotation of apatite from hematite. In International Journal of Mineral Processing, volume 39, 1993 p. 251 - 273
- [4]- Wang Qun and Heiskanen, K. - Batch flotation tests by fatty acid on a phosphate - iron oxide - silicate regolith ore sample from Sokli, Finland. In Minerals Engineering, 1990.
- [5]- Gong Wen Qi, Parentich, A., Little, L.H and Warren, L.J - Selective Flotation of apatite from iron oxides. In International Journal of Mineral Processing, volume 34, 1992 p. 83 - 101
- [6]- Pereira, A.M.T. e Brandão, P.R.G. - Ácidos graxos insaturados (isômeros cis/trans) e saturados na flotação seletiva de minerais levemente solúveis. Anais do III Encontro do Hemisfério Sul sobre Tecnologia Mineral / XV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, São Lourenço, Minas Gerais, Brasil, 1992. In Flotation p. 19 - 38
- [7]- Hernáinz, F. and Calero, M. - Flotation of celestite and calcite effect of quebracho and sodium silicate. In International Journal of Mineral Processing, volume 37, 1993 p. 283 - 297.
- [8]- Marinakis, K.I and Shergold, H.L. - Influence of sodium silicate addition on the adsorption of oleic acid by fluorite, calcite and barite. In International Journal of Mineral Processing, volume 14, 1985 p. 177 - 193
- [9]- Vieira, A.M. and Salum, M.J.G. - Studies of technical viability of concentration of an iron waste mine. Proceedings of The IV Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, and III Latin-American Congress on Froth Flotation, 1994. In Flotation, volume II, p. 215 - 222. volume 3, número 5 p. 473 - 481
- [10]- Fuerstenau, Price and Wellic in Read, A.D. and Manser, R.M. - Residual flotation reagents problems in effluent disposal and water re-cycle. Proceedings XI International Mineral Processing Congress, 1975
- [11]- Ritcey, G.M. - Tailings Management Problems and solutions in the mining industry, 1989.