

## Efeito da dispersão em polpas de minérios itabiríticos

### *Dispersion effect on itabirite ores*

#### **Adriano Raimundo Totou**

Engenheiro de Minas da CSN, mestrando do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral.  
[adriano.totou@csn.com.br](mailto:adriano.totou@csn.com.br)

#### **Carlos Alberto Pereira, Dr.**

Professor do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP.  
[pereira@demin.ufop.br](mailto:pereira@demin.ufop.br)

#### **Philippe Gonçalves Fernandes Machado**

Graduando em Engenharia de Minas no Departamento de Engenharia de Minas da UFOP.  
[pgfmachado@yahoo.com.br](mailto:pgfmachado@yahoo.com.br)

#### **Carlos Adolpho Magalhães Baltar**

Dr., Professor do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE.  
[camb@ufpe.br](mailto:camb@ufpe.br)

### **Resumo**

A flotação reversa do minério de ferro é antecedida de uma operação de deslamagem, cuja eficiência aumenta com o uso de um reagente que promova a dispersão da polpa. O trabalho avaliou a influência do tipo e da concentração do dispersante na eficiência da dispersão e nos resultados da flotação. Os resultados foram avaliados em termos de tamanho das partículas da lama, grau de dispersão e Índice de Seletividade de Gaudin, obtido na flotação. Os resultados mostram a importância da dispersão antes da deslamagem e sugerem que o reagente escolhido, como dispersante, não pode ser depressor para o quartzo. O hidróxido de sódio parece ser a melhor alternativa entre os reagentes testados.

**Palavras-chave:** *Dispersão, deslamagem, seletividade na flotação.*

### **Abstract**

*The reverse flotation of iron ores is preceded by a desliming stage whose efficiency increases with the use of reagents that promote the dispersion of the pulp. The present study addressed the influence of the type and of the concentration of the dispersant on the dispersion efficiency and on the flotation results. The results were appraised in terms of the slimes' particle sizes, the dispersion degree and the Gaudin's Selectivity Index obtained in the flotation experiments. The results show the importance of the dispersion before the desliming stage and also suggest that the selected dispersants must not be quartz depressants. Sodium hydroxide seems to be the most effective among the tested reagents.*

**Keywords:** *Dispersion, desliming, flotation selectivity.*

## **1. Introdução**

A deslamagem antecedendo a flotação é prática industrial estabelecida há mais de 50 anos, introduzida na flotação catiônica reversa de minérios de ferro com o processo USBM (Clemmer, 1947).

As partículas finas tendem a agregar-se ou a recobrir as partículas grossas (slimes coating). Em ambas as situações, dificultam a realização de uma deslamagem eficiente, passando parcialmente para a etapa de flotação, onde causam uma série de problemas (Baltar, 2008), sendo o consumo excessivo do coletor o que mais afeta a eficiência do processo em plantas de flotação para minério de ferro. O termo

deslamagem, que se refere à eliminação de lamas indesejáveis para a operação unitária subsequente (por exemplo, flotação ou separação em meio denso), é um tanto vago em termos granulométricos. Geralmente significa a eliminação de uma grande quantidade de material fino, sem uma conotação de separação granulométrica precisa ou eficiente. Um adequado grau de dispersão das partículas na polpa é requisito essencial para uma deslamagem eficiente. Uma maneira simples, mas onerosa, para se conseguir um alto grau de dispersão é elevar o pH mediante altas dosagens de NaOH, aumentado a repulsão

eletrostática entre as partículas. Experimentos de laboratório simples e confiáveis fornecem uma correlação entre grau de dispersão e eficiência de deslamagem, constituindo-se em ferramenta útil para predição do desempenho na flotação. As aminas adsorvem-se por atração eletrostática, portanto de forma não específica. Os finos, por terem maior energia superficial, consomem a maior parte do coletor impedindo uma flotação eficiente do quartzo. Desta forma, a presença de finos na flotação resulta em maiores contaminações e menor teor de ferro no concentrado.

Uma tentativa de minimizar o problema anteriormente descrito é através da elevação do nível de estabilidade do sistema, via adição de eletrólitos inorgânicos (dispersantes) e ou polieletrólitos, que po-

dem se adsorver seletivamente nos minerais de ganga. Subseqüentemente efetua-se uma deslamagem, através da qual se eliminam os finos que prejudicam a etapa de flotação. Um elevado grau de dispersão das partículas na polpa é essencial para uma deslamagem eficiente, que, por sua vez, é requisito para seletividade na flotação em sistemas envolvendo não-sulfetos. Investigações sobre o efeito do estado de dispersão das partículas em polpas são mais raras (Luz & Araujo, 1988).

O uso de um reagente dispersante é importante porque possibilita a desagregação das partículas, permitindo uma deslamagem mais eficiente. Os dispersantes atuam no sentido de provocar o aumento da repulsão elétrica entre as partículas (por exemplo metafosfato de

sódio e silicato de sódio) ou de promover uma estabilização estérica (por exemplo, carboximetilcelulose e poliacrilato).

São vários os agentes dispersantes utilizados para manter a estabilidade do sistema, podendo ser orgânicos e inorgânicos. Os dispersantes atuam aumentando a carga da dupla camada elétrica em função da adsorção na superfície das partículas por ligações de hidrogênio ou outro tipo de adsorção química (Rabelo, 1994).

Esse trabalho descreve o comportamento de minérios itabiríticos frente aos processos de deslamagem e flotação, tendo sido realizados estudos de caracterização e ensaios de determinação do grau de dispersão em polpas de minérios itabiríticos e de deslamagem e flotação nas melhores condições de dispersão.

## 2. Materiais e métodos

Amostras de minério itabirítico foram obtidas através da classificação mecânica, coletadas no fluxo de overflow de classificador em espiral, onde 90 % das partículas estão abaixo do diâmetro de corte em 0,15 mm. Tais amostras foram

preparadas conforme o fluxograma ilustrado na Figura 1, onde estão representados o esquema de preparação da amostra, a realização dos testes tecnológicos em bancada e a caracterização dos produtos.

A análise granulométrica da amos-

tra foi realizada a úmido e, utilizando-se o seguinte conjunto de peneiras: 2,4; 1,0; 0,50; 0,25; 0,15; 0,106; 0,075 e 0,045 mm. A análise foi realizada a úmido com o auxílio de um peneirador vibratório suspenso de laboratório do tipo "Ro-Tap".

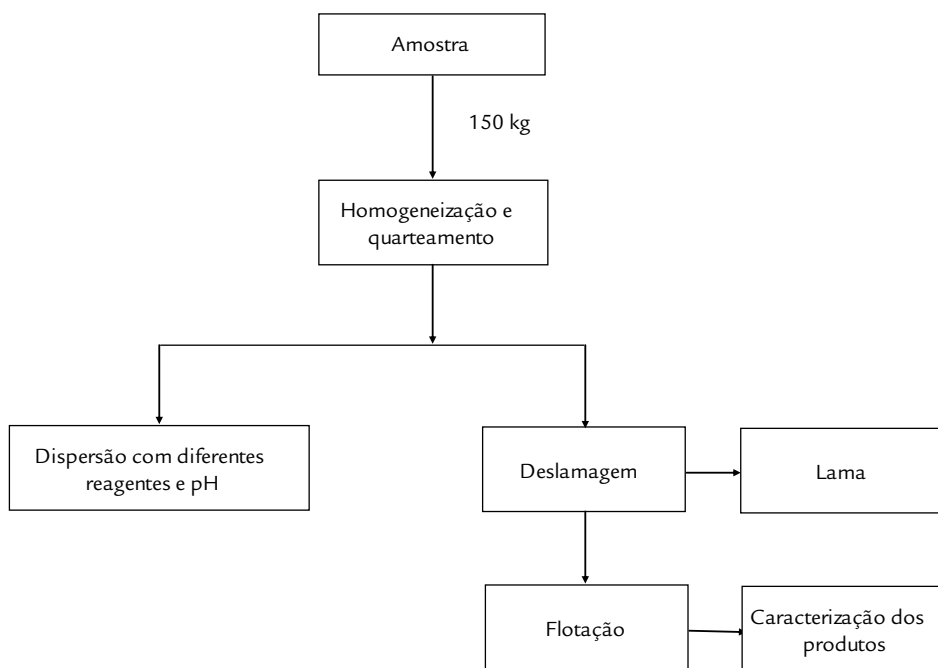


Figura 1 Fluxograma de preparação das amostras.

### Análise mineralógica

Microscopia ótica de luz refletida

foi utilizada para a caracterização mi-

neralógica global da amostra.

### Ensaio de dispersão e flotação

Nos ensaios de dispersão, usou-se cerca de 5g do minério. Também foram utilizados os reagentes hidróxido de sódio (NaOH), hexametáfosfato de sódio,

silicato de sódio, metassilicato de sódio e poliacrilato de sódio, adicionados em um tubo de sedimentação de 200 mL. Esse aparelho consta de um tubo de

vidro de 4,5 cm de diâmetro e 18,5 cm de altura, com uma saída de 0,5 cm de diâmetro para o sobrenadante a 1,5 cm do fundo do tubo. O tubo é instalado

sobre um agitador magnético que realiza a agitação da polpa mediante uma barra magnética. O controle do pH foi efetuado através da imersão do eletrodo na polpa, na parte superior do tubo. O ajuste do pH foi feito na fase inicial de cada experimento e o eletrodo era retirado do tubo de sedimentação quando se certificada que o pH estava no valor

desejado, para que este não influenciasse no processo de sedimentação das partículas em suspensão.

Terminados os cinco minutos de condicionamento e/ou agitação, desligava-se o agitador magnético, permitindo-se, assim, que a polpa ficasse em regime de sedimentação por mais um minuto. Depois desse intervalo, esgotava-se o

sobrenadante através de um orifício situado a 1,5 cm da base do tubo. Em seguida, secavam-se e pesavam-se as alíquotas obtidas (a massa dispersa e a massa afundada).

A estabilidade das suspensões foi avaliada em termos de grau de dispersão (GD) das partículas presentes na polpa, dado pela expressão:

$$GD = \frac{M_{of}}{M_{of} + M_{uf}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$M_{of}$  = massa de overflow em gramas  
 $M_{uf}$  = massa de underflow em gramas.

Todos os experimentos foram realizados em duplicata. Para o hidróxido de sódio, a variável foi o pH (desde natural até 11,0) e, para os demais reagentes,

foi utilizada a dosagem mínima de 300 g/t e máxima de 1200 g/t. Os melhores resultados da dispersão foram utilizados nos testes de deslamagem e flotação em

bancada. As dosagens de coletor, amina, foram de 25 a 30 g/t e de depressor, amido, foram de 600 a 800 g/t.

### 3. Resultados e Discussão

As amostras foram caracterizadas quimicamente pelo método de fluores-

cência de raios X. Os resultados são apresentados na Tabela 1. O resultado

da distribuição granulométrica é apresentado na Figura 2.

Tabela 1  
Análise química global da fração <0,15 mm

Análise Química Global (%)								
Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC
58,69	11,53	0,073	1,63	0,081	0,139	0,009	0,062	2,00

Figura 2  
Distribuição granulométrica da amostra de minério estudada.

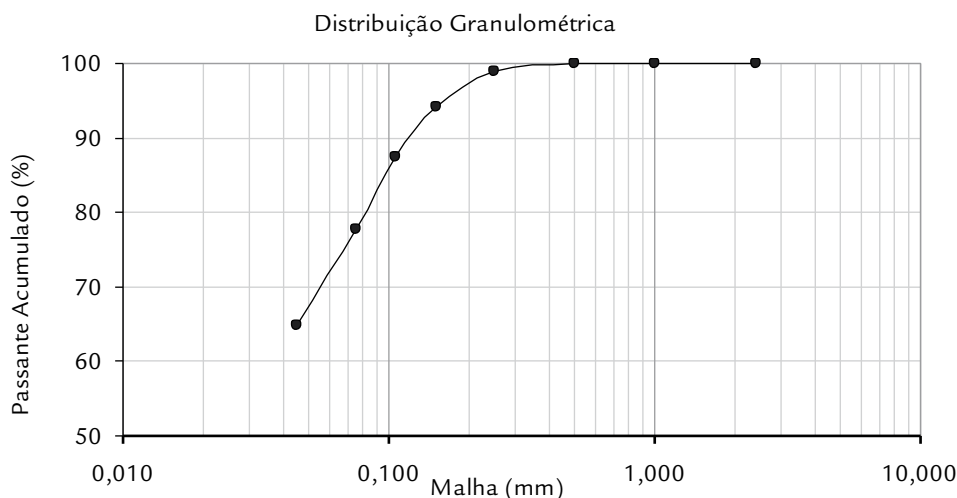


Tabela 2  
Quantificação mineralógica global da amostra-fração <0,15 mm

Mineral	HE	HL	HG	HM	MA	GO	GT	QL	GB
%	2,71	19,65	25,68	28,47	1,25	7,21	1,62	13,17	0,23

Legenda:

HE: Hematita especular; HL: Hematita lamelar; HG: Hematita granular. HM: Hematita martítica; MA: Magnetita; GO: Goethita; GT: Goethita terrosa. QL: Quartzo livre; GB: Gibbsita; HC's = HE + HL + HG.

Conforme apresentado na Tabela 2 e ilustrado na Figura 3, a quantificação resultante da análise mineralógica global mostra % significativa de goethita e goethita terrosa, que são fontes de geração de "lamas". A quantidade de material passante nas diversas aberturas de peneira é uma indicação do grau de dispersão. Os resultados apresentados

na Figura 4 mostram que a melhor dispersão foi conseguida com o controle de pH através da adição de hidróxido de sódio. A adição de um polímero (poliacrilato) também proporcionou uma boa dispersão.

Por sua vez, o hexametáfosfato não apresentou ação dispersante significativa nas condições testadas. Os resul-

tados obtidos para o nível de dispersão nos testes realizados com os reagentes hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio, silicato de sódio, metassilicato de sódio e poliacrilato de sódio estão ilustrados na Figura 5. Houve um aumento no nível de estabilidade da suspensão, principalmente quando se utilizou uma dosagem de 900 g/t na polpa,

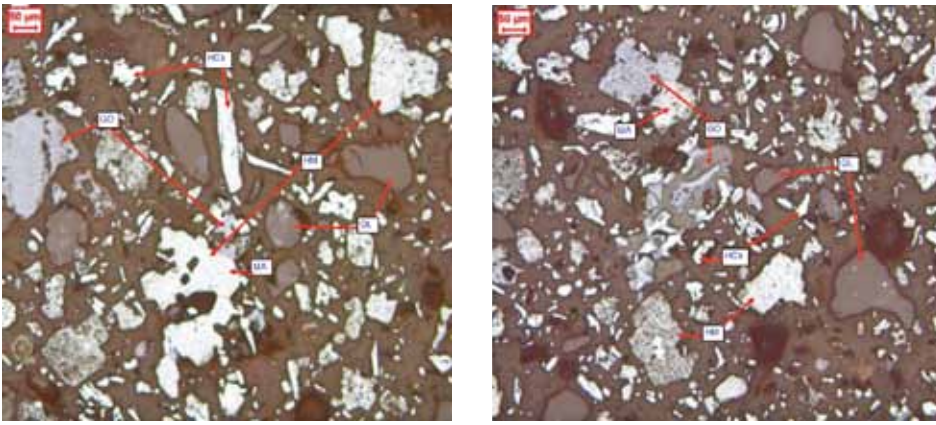


Figura 3  
Fotomicrografias da amostra na fração -0,15mm.

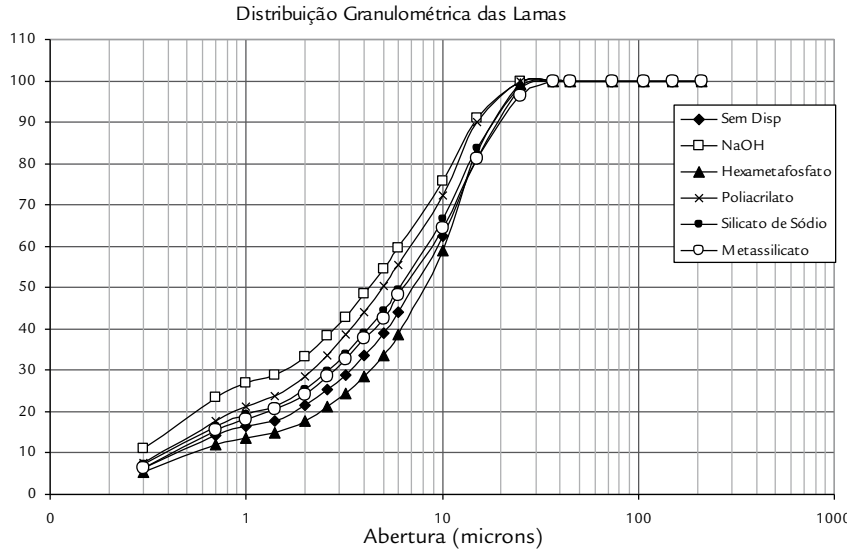


Figura 4  
Distribuição granulométrica das lamas geradas nos testes de deslamagem.

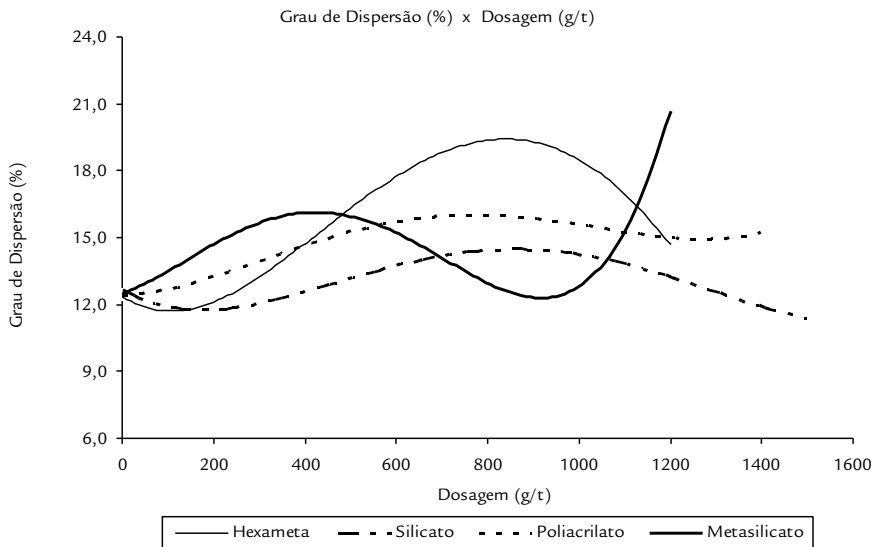


Figura 5  
Grau de dispersão em função do pH.

ressaltando-se o efeito do hexametafosfato de sódio. Silva (1994) mostrou a eficiência do hexametafosfato de sódio na estabilidade termodinâmica da polpa para concentração acima de 300 g/t e pH acima de 7,0. O hidróxido de sódio atingiu o maior grau de dispersão em pH na faixa de 9,6 a 9,8. Esse fato confirma o mecanismo de atuação desses reagentes no sentido de promover um aumento e manutenção da carga elétrica

na dupla camada elétrica que envolve as partículas em uma suspensão. Os menores níveis de dispersão da polpa ocorrem em pH natural (5,4 a 5,8), resultados similares aos obtidos por Lima (2001) para minérios itabiríticos.

Os resultados da Figura 5 mostram a importância da concentração para a eficiência dos dispersantes metassilicato de sódio e hexametafosfato. A eficiência do metassilicato de sódio

aumenta bastante a partir de uma concentração em torno de 900 g/t, chegando a um grau de dispersão em torno de 21%. Enquanto isso, o hexametafosfato atinge a eficiência máxima com cerca de 800 g/t, quando o grau de dispersão é de cerca de 20%. A eficiência do poliacrilato é menos dependente da variação da concentração, com o grau de dispersão estabilizando-se em torno dos 15% para concentração maiores do que 500

g/t. Com o controle do pH, conseguiu-se um grau de dispersão máximo em torno dos 19% em pH 9,5. Como nessa faixa de pH o quartzo está com carga negativa e OH<sup>-</sup> é um de seus íons determinantes de potencial, o aumento do pH acarreta um aumento dessa carga negativa e, conseqüentemente, uma melhor dispersão (o que está de acordo com os resultados obtidos até pH em torno de 9,5).

No caso da hematita, ao contrário, a carga elétrica diminuiria até chegar ao seu ponto isoelétrico, prejudicando a dispersão. Após esse pH, a dispersão aumentaria com o aumento da alcali-

linidade. Portanto o aumento do pH, na faixa muito alcalina, aumentaria a carga elétrica negativa de ambos os minerais, conforme apresentado na Figura 6.

Os testes de deslamagem em bancada foram realizados em dois estágios utilizando-se os reagentes dispersantes propostos no estudo. Através dos resultados do grau de dispersão, obtiveram-se as dosagens ótimas dos reagentes que geraram os melhores índices de dispersão (maior estabilidade termodinâmica) da polpa.

De acordo com os resultados da análise química da lama mostrados na

Tabela 3, pode-se observar que os teores de fósforo, alumina e perda por calcinação são mais elevados para os testes com os reagentes dispersantes soda cáustica e hexametáfosfato de sódio.

O teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varia de 5,37% até 6,50%. Os testes com adição de hidróxido de sódio (soda cáustica) e hexametáfosfato de sódio apresentaram os maiores teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ou seja, a maior remoção desse contaminante.

Já os reagentes à base de silicato (silicato de sódio, poliácrlato de sódio e metassilicato de sódio) apresentam os maiores percentuais de remoção de lamas para o overflow (sobrenadante).

Figura 6  
Grau de dispersão em função do pH.

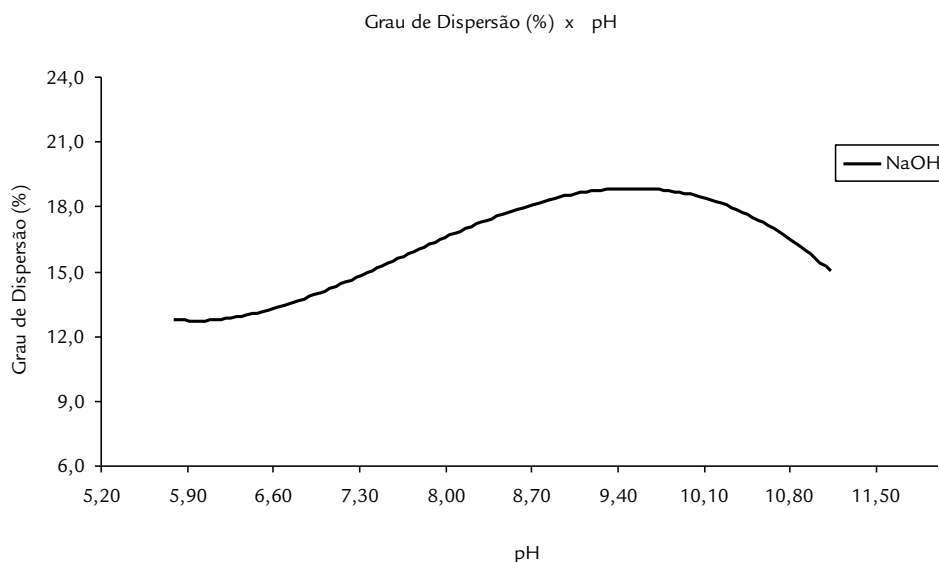


Tabela 3  
Análise química global das lamas.

Reagente	% Lama	Análise Química (%)					
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	PPC
Sem Dispersante	5,29	56,22	6,37	0,182	5,37	0,210	6,67
Soda Cáustica	7,94	54,08	6,61	0,235	6,50	0,266	7,96
Hexametáfosfato	9,03	55,18	6,42	0,217	6,41	0,233	6,78
Silicato de Sódio	14,77	53,62	6,35	0,204	5,59	0,233	9,95
Poliácrlato de Sódio	15,15	55,92	6,47	0,195	5,44	0,233	7,00
Metassilicato de Sódio	14,60	55,81	6,32	0,201	5,35	0,232	7,36

Tabela 4  
Análise química global do concentrado e o índice de seletividade Gaudin.

Reagente Dispersante	Recuperação Flotação (%)		Recuperação Global (%)		Teor do Concentrado				IS Gaudin
	Massa	Met.	Massa	Met.	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Sem Disp.	54,9	67,9	52,2	64,8	67,21	0,88	0,062	0,686	7
NaOh	63,2	62,0	57,6	61,6	67,55	0,48	0,057	0,630	9
Hexametáfosfato	58,0	69,9	54,7	59,3	67,43	0,51	0,061	0,600	10
Poliácrlato	57,5	59,3	44,5	62,1	66,68	1,72	0,057	0,685	5
Silicato	70,2	78,5	56,6	76,7	66,91	1,16	0,055	0,680	8
Metassilicato	67,8	77,3	62,8	75,8	67,09	1,13	0,059	0,656	7

As Figuras 7a e 7b mostram a eficiência da dispersão da polpa com o auxílio de reagente dispersante. A coloração das partículas de quartzo é nítida na Figura 7 b, sem a presença de partículas ultrafinas recobrando a superfície mineral.

Os maiores teores de sílica presente na lama são aqueles dos ensaios envolvendo os reagentes soda caústica, poliacrilato de sódio e hexametáfosfato de sódio. A perda por calcinação teve o

maior teor nas lamas para os reagentes silicato de sódio, hidróxido de sódio e metassilicato de sódio.

Para o teor de ferro, nas lamas, não houve diferença significativa. A concentração da solução dos reagentes foi de 1,0% em peso. A dispersão foi feita nas seguintes faixas de pH: para os silicatos, foi 6,2 a 9,8 e, para o hexametáfosfato e poliacrilato de sódio, não houve alteração no pH e, finalmente, para o hidróxido de sódio, a faixa de trabalho

foi de 6,2 a 11,0 conforme apresentado na Figura 6.

Os melhores teores na flotação (refletidos no “Índice de Seletividade de Gaudin”) foram observados nos testes com o hidróxido de sódio e com o hexametáfosfato, reagentes que não apresentam efeito depressor sobre o quartzo. Os resultados sugerem que o teor do concentrado depende mais do efeito depressor do reagente do que da sua eficiência como dispersante (Tabela 4).

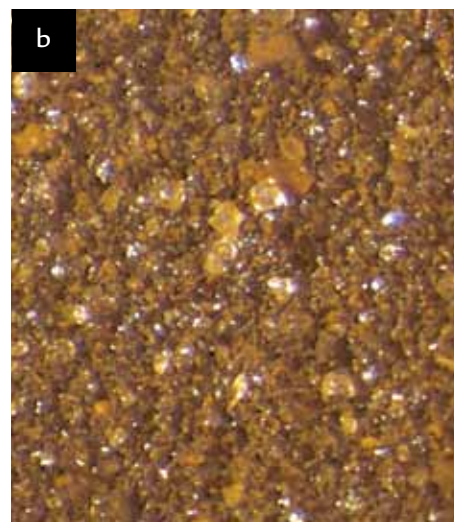


Figura 7

(a) Amostra deslamada

sem adição de reagente dispersante.

(b) Amostra deslamada com adição

de reagente dispersante.

## 4. Conclusão

O uso de um reagente dispersante possibilita a desagregação das partículas, permitindo uma deslamagem mais eficiente de forma a favorecer a seletividade do processo de flotação.

Reagentes como metassilicato de sódio e poliacrilato são eficientes na função de dispersante, mas provocam

a depressão do quartzo na flotação, aumentando o teor de contaminantes e diminuindo o teor de ferro do concentrado.

O controle do pH com o hidróxido de sódio parece ser a melhor opção, já que proporciona, ao mesmo tempo, uma dispersão/deslamagem eficiente e um

aumento da carga negativa na superfície do quartzo, facilitando a flotação e, conseqüentemente, produzindo um concentrado de melhor qualidade.

O uso do dispersante hexametáfosfato, que não apresenta efeito depressor sobre o quartzo, pode ser uma alternativa para uma boa deslamagem.

## 5. Referências bibliográficas

- BALTAR, C.A.M. *Flotação no Tratamento de Minérios*. 2008. p.32-43.
- CLEMMER, J.B. Flotation of iron ore. In: 8th Ann. Min. Symposium. 1947 January. Proceeding... p. 23-32.
- LUZ, J. A. M., ARAUJO, A. C. Fenômenos de agregação: sua influência sobre operações de processamento de minerais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 13. *Anais...* São Paulo, 1988. p.37-49.
- LIMA, N. P. *Comportamento de minérios itabiríticos dos complexos Alegria e Fábrica Nova frente aos processos de deslamagem e flotação*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2001. 126p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- RABELO, P. J. B. *Estudos de caracterização e redução do teor de fósforo do minério de ferro da Mina de Alegria, Mariana, MG*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 1994. 305p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- SILVA, G. M. A. *Estudo sobre o estado de agregação de suspensões de um minério de ferro*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1994. 145p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

Artigo recebido em 15 de julho de 2010. Aprovado em 05 de janeiro de 2011.