



ESTUDO DE COLETORES COM DIFERENTES PERFIS DE ESPUMAÇÃO PARA FLOTAÇÃO REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO

CRUZ, M.R.¹, MACIEL, L.C.², MAZON, W.³, BICALHO, L.S.⁴, ROLLO, P.M.A⁵, MARTINS, H.M.⁶,

¹Ferrous Resources, Engenheiro de Minas (UFMG). e-mail: marcello.rodriques@ferrous.com.br

²Ferrous Resources, Engenheiro Metalurgista (UFMG). e-mail: leandro.maciell@ferrous.com.br

³Ferrous Resources, Gerente de Qualidade. e-mail: walter.mazon@ferrous.com.br

⁴Clariant Mining Solutions, Engenheiro de Minas (UFMG). e-mail: leandro.bicalho@clariant.com

⁵Clariant Mining Solutions, Químico (UNICAMP). e-mail: pedro.rollo@clariant.com

⁶Clariant Mining Solutions, Engenheira Química (UFSJ). e-mail: helen.martins@clariant.com

RESUMO

A flotação reversa é uma das operações mais comumente aplicada para concentração de minério de ferro dentro da indústria da mineração. As características do coletor, das partículas do minério, da água e do processamento podem gerar um excesso de espumação nos processos subsequentes causando diversos problemas operacionais. O presente trabalho se propôs a avaliar diferentes coletores em relação ao desempenho na flotação e característica de espumação (formação e abatimento). Foram realizados testes de espumação por aeração (método de Bikerman) e de flotação em bancada com os coletores FLOTIGAM 16541, FLOTIGAM 7500 e FLOTIGAM 7100. No teste de espumação por aeração, o produto FLOTIGAM 16541 alcançou quebra total da espuma após 80 segundos, enquanto os coletores FLOTIGAM 7500 e FLOTIGAM 7100 apresentaram coluna de espuma residual durante os 180 segundos do teste. Para os ensaios de flotação, FLOTIGAM 16541 apresentou performance similar aos outros coletores, indicando que sua utilização é uma potencial solução à espuma excessiva em usinas de beneficiamento de minério de ferro

PALAVRAS-CHAVE: Flotação, Minério de ferro, Coletor.

ABSTRACT

Reverse flotation is one of the most commonly applied operations for iron ore concentration in the mining industry. Characteristics from the collector, mineral particles, water and mineral processing may cause excessive foaming in the subsequent processes, causing various operational problems. The present study proposed to evaluate different collectors in relation to their performance in flotation and foam characteristics (formation and abatement). Foaming tests were performed by aeration (Bikerman method) and bench flotation trials with the collectors FLOTIGAM 16541, FLOTIGAM 7500 and FLOTIGAM 7100. In the aeration foaming test, FLOTIGAM 16541 achieved total foam breakage after 80 seconds, while FLOTIGAM 7500 and FLOTIGAM 7100 collectors showed residual foam column during the 180 seconds of the test. For flotation tests, FLOTIGAM 16541 presented similar performance to the other collectors, indicating that its use is a potential solution to the excessive foam present in iron ore beneficiation plants.

KEYWORDS: Flotation, Iron Ore, Collector.

1. INTRODUÇÃO

A concentração de minério de ferro é comumente realizada através do processo de flotação catiônica reversa. Neste método de concentração o quartzo, principal mineral de ganga, é flotado com o uso de coletores catiônicos do tipo éteramina, enquanto a hematita, principal mineral minério, é deprimida com o uso de depressores. Os amidos de milho e mandioca são os principais depressores utilizados nesta aplicação. (Araujo et al., 2013)

Conforme descrito por Silva (2014), os coletores utilizados na flotação reversa de minério de ferro exercem também o papel de espumante, atuando nas características da espuma formada. Propriedades como a capacidade de formação de espuma, tamanho das bolhas, estabilidade, drenagem e colapso da espuma formada estão diretamente relacionadas ao tipo de coletor utilizado. Desta forma, a variação na configuração da estrutura do coletor (tamanho e ramificação de cadeia) assim como no grau de neutralização alteram não somente a seletividade para coleta dos minerais, mas também o comportamento da espuma na flotação.

Silva (2014) descreve ainda que há uma influência direta no comportamento da espuma devido a concentração de partículas minerais. Partículas finas e hidrofóbicas, quando bem dispersas, tendem a quebrar a espuma devido a acelerarem a coalescência das bolhas; por outro lado, partículas hidrofóbicas grossas reduzem a taxa de coalescência, conferindo maior estabilidade.

Dentre os desafios encontrados nas usinas de flotação de minério de ferro estão a presença de espuma residual nos processos de beneficiamento subsequentes à flotação, como espessamento e filtragem, além das caixas de passagem, tanques de polpa, entre outros. O excesso de espuma nestas etapas pode causar problemas de bombeamento, transbordo de polpa nas calhas e caixas de passagem, perda de produtividade, entre outros transtornos operacionais.

O presente trabalho se propôs a estudar o uso de diferentes coletores para flotação reversa de minério de ferro, com a finalidade de avaliar o desempenho na flotação assim como as propriedades dos produtos para formação e drenagem/colapso da espuma. O estudo foi realizado com amostra da usina de beneficiamento mineral Ferrous Resources, localizada em Congonhas, Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com uma amostra de minério proveniente da alimentação da flotação da usina de processamento da Ferrous Resources. A caracterização da amostra envolveu as análises descritas abaixo:

- Análise granulométrica por peneiramento a úmido
- Análise química por fluorescência de raios-X (FRX)
- Análise mineralógica por difração de raios-X (DRX)
- Análise de liberação por microscopia de luz refletida (MLR)

Os ensaios de flotação foram realizados pelo método de flotação em bancada utilizando célula Denver D12, auto aerada, disponível no Centro de Aplicação e Desenvolvimento para mineração da Clariant, em Belo Horizonte. Os testes foram realizados com os parâmetros apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros dos ensaios de flotação.

Parâmetro	Valor
pH	10,7
Depressor (amido de milho)	600 g/t (4:1)
Rotação da Célula	1500 rpm
% Sólidos condicionamento	60%
% Sólidos flotação	40%
Tempo de condicionamento do depressor	5 minutos
Tempo de condicionamento do coletor	1 minuto
Condições avaliadas	FLOTIGAM 7500 (75 – 100 – 125 g/t)
	FLOTIGAM 7100 (75 – 100 – 125 g/t)
	FLOTIGAM 16541 (75 – 100- 125 g/t)

Os testes foram realizados com três coletores de flotação disponibilizados pela Clariant. O produto FLOTIGAM 7500 e FLOTIGAM 7100 são coletores comumente utilizados nas operações de minério de ferro do Brasil, sendo o primeiro o produto padrão utilizado pela Ferrous Resources. O produto FLOTIGAM 16541 trata-se de um novo coletor avaliado no presente trabalho com foco em uma menor espumação residual. A condição de 100 g/t com uso do coletor FLOTIGAM 7500 é definida como a condição padrão para o presente estudo.

Para avaliar a capacidade da espumação e quebra de espuma dos coletores, foi realizado o teste de espumação por placa porosa, conhecido como método de *Bikerman*, conforme ilustrado na figura 1. O procedimento do teste é descrito a seguir:

- Prepara-se uma solução na concentração de 1% de coletor (m/m);
- Transfere-se 500 mL da solução para uma proveta graduada de 1 litro;
- A placa porosa é colocada no fundo da proveta e o ar é borbulhado na solução durante 40 segundos a uma taxa de 1 litro por minuto;
- Registra-se altura da camada de espuma formada durante a injeção de ar;
- A bomba compressora é desligada e registra-se o perfil de abatimento da espuma;
- Traça-se o gráfico de altura da camada de espuma *versus* tempo.

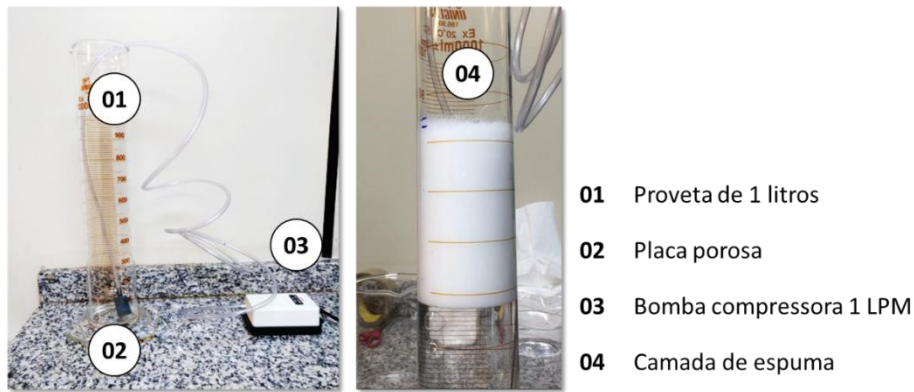


Figura 1. Estrutura do teste de espumação (método de Bikerman).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da amostra de minério

A distribuição granulométrica está indicada na figura 2. A amostra apresenta *top size* na peneira granulométrica de 300 micrometros, 80% das partículas passante em 87 micrometros, diâmetro médio em aproximadamente 50,6 micrometros. Em relação a partículas finas, a amostra apresentou 34,33% passante em 38 micrometros.

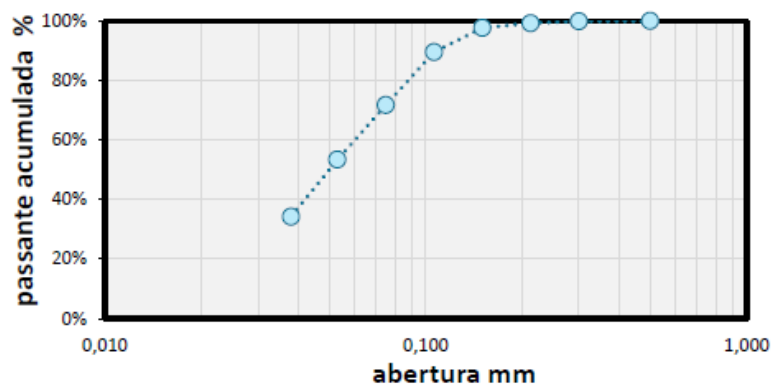


Figura 2. Distribuição granulométrica da amostra da alimentação da filtragem.

Os resultados da caracterização química e mineralógica da amostra estão indicados nas tabelas 2 e 3, a seguir. Os resultados indicam que os principais minerais portadores de ferro presentes na amostra são hematita e goethita. O quartzo aparece como principal impureza com um teor de aproximadamente 32%. Os resultados confirmam a característica típica de uma alimentação de flotação de minério de ferro do quadrilátero ferrífero.

Tabela 2. Caracterização química da amostra da alimentação da flotação.

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Fe (%)	P (%)	Mn (%)	LOI (%)
32,7	0,29	0,02	<0,1	0,03	<0,1	<0,01	44,7	0,07	0,30	2,01

Tabela 3. Caracterização mineralógica da amostra da alimentação da flotação.

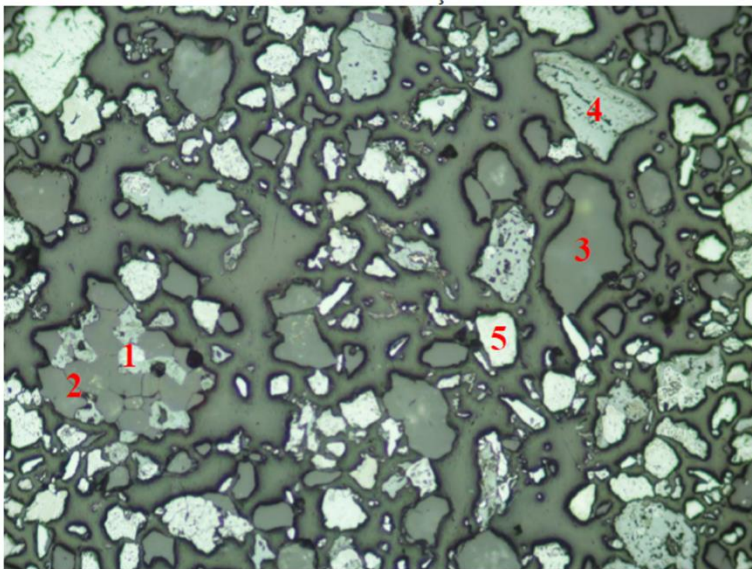
Mineral	Fórmula Química	% Estimado
Hematita	Fe ₂ O ₃	39
Goethita	FeO ₂ (OH)	23

Magnetita	Fe ₃ O ₄	5
Quartzo	SiO ₂	32

A tabela 4 apresenta os resultados do grau de liberação por MLR. O resultado indica uma boa liberação para os óxidos/hidróxidos de ferro e para os minerais de ganga. A figura 3 ilustra uma das imagens analisadas para determinação do grau de liberação da amostra.

Tabela 4. Grau de liberação da amostra de minério

Óxidos / Hidróxidos de ferro	Ganga
96,3	89,0



Luz refletida, nicóis paralelos, Objetiva 10x, Ocular 10x, Zoom da câmera 4x

- (1) Óxido/Hidróxido de ferro associado à ganga (2)
- (3) Ganga livre
- (4) Hidróxido de ferro livre
- (5) Óxido de ferro livre

Figura 3. Fotomicrografia da amostra de minério (MLR)

3.2 Ensaios de flotação em bancada

Com os resultados de flotação construiu-se o gráfico de teor de SiO₂ no concentrado versus recuperação metalúrgica, conforme apresentado na figura 4. Para ensaios de flotação em bancada, busca-se um *target* de qualidade no concentrado com valores abaixo de 2% de teor de SiO₂.

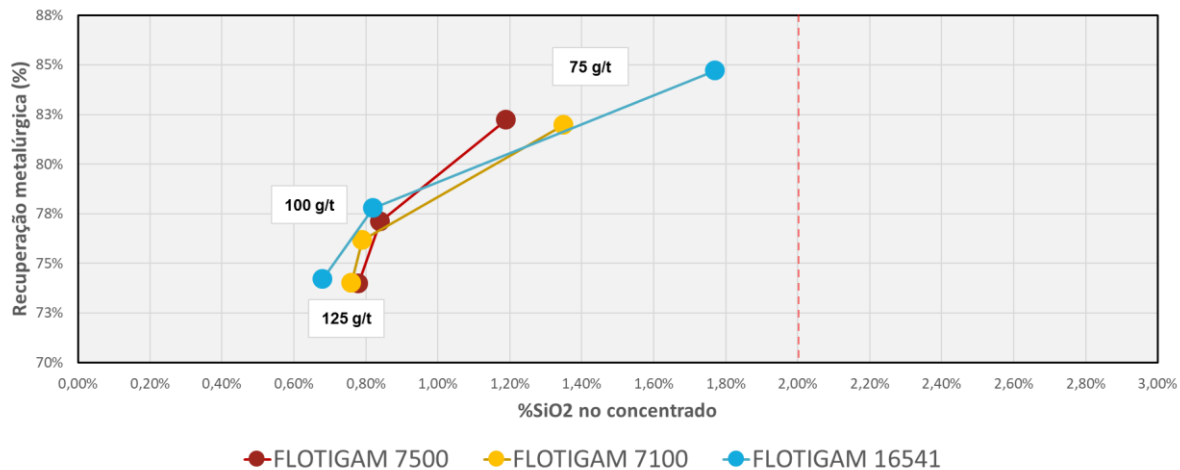


Figura 4. Recuperação metalúrgica versus %SiO₂ no concentrado dos ensaios de flotação.

Para todas as dosagens avaliadas os três coletores alcançaram valores dentro dos parâmetros de qualidade considerados para testes de bancada: teor de SiO₂ abaixo de 2%. Considerando a condição padrão de dosagem (100 g/t), os três coletores avaliados apresentaram resultados similares, com teor de SiO₂ em torno de 0,8% e recuperação metalúrgica variando entre 77-78%.

Os resultados de flotação em bancada indicam que os três coletores avaliados apresentam potencial para uso industrial para o minério da Ferrous Resources.

3.3 Ensaios de espumação por placa porosa

O perfil de espumação da solução de 1% (m/m) dos produtos assim como da condição sem reagentes (teste branco) está apresentada na figura 5. Observa-se que a condição “branco”, durante os 40 segundos iniciais de aeração, apresentou formação de uma pequena coluna de espuma e, imediatamente após o término da aeração, esta espuma foi abatida. Este comportamento comprova que não há uma contribuição significativa na coluna de espuma para os demais testes a partir da água utilizada.

Os produtos FLOTIGAM 7500 e FLOTIGAM 7100, durante os 40 segundos de espumação, apresentaram uma coluna de espuma de 108 e 122 milímetros, respectivamente. Com o término da injeção de ar no sistema a espuma foi reduzida e, após os 180 segundos de avaliação, os produtos apresentaram uma altura de camada de espuma residual de aproximadamente 50 milímetros.

O produto FLOTIGAM 16541 foi desenvolvido para minimizar os problemas operacionais ocasionados pelo excesso de espuma nas etapas de beneficiamento posteriores à flotação. O perfil de espumação evidenciou que, durante os 40 segundos de injeção de ar no sistema, a altura da camada de espuma do FLOTIGAM 16541 (60 milímetros) foi inferior aos produtos FLOTIGAM 7500 e FLOTIGAM 7100. Além disso, 40 segundos após cessar a aeração a espuma formada por este produto foi totalmente drenada.

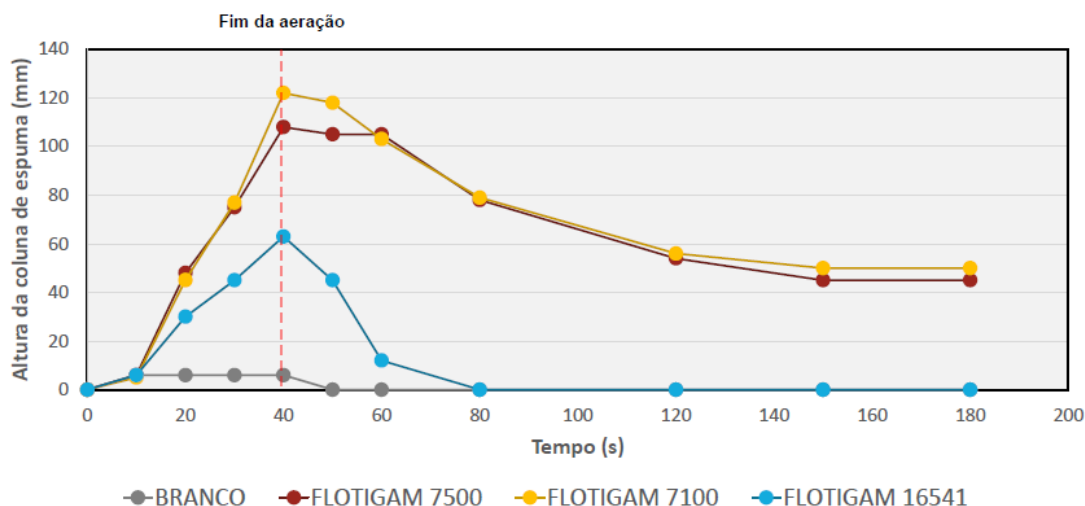


Figura 5. Perfil de espumação com água padrão 20 ppm de CaCO₃, método de Bikerman.

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de flotação em bancada confirmaram que os três produtos avaliados apresentaram resultados dentro do *target* de qualidade considerado para testes de flotação em bancada, apresentando-se como potenciais para uso a nível industrial.

Os testes de espumação pelo método de *Bikerman* evidenciaram um perfil de espumação distinto para o FLOTIGAM 16541, com formação menor de coluna de espuma e cinética mais rápida para o abatimento da mesma. Os outros produtos testados, por outro lado, mantiveram uma coluna de espuma durante toda a duração do teste.

Mediante aos resultados obtidos, o produto FLOTIGAM 16541 apresenta-se como uma alternativa para operações industriais que apresentam presença residual da espuma ocasionada pelo emprego de coletores.

6. REFERÊNCIAS

Araujo, A.C., Peres, A.E.C., Viana, P.R.M., Oliveira, J.F. Flotação de minérios de ferro. In: A flotação no Brasil. 3a ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2013

Silva, R.R.R. Sistemas de reagentes surfatantes na flotação catiônica reversa de minério de ferro. [Dissertação de mestrado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte; 2004.