

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE LAMA NA FLOTAÇÃO CATIÔNICA REVERSA DE MINÉRIOS DE FERRO DA MINA DE MIGUEL BURNIER-MG*

Thiago Santos Guedes¹
Kleber Menezes Reis²
Lucas Fonseca Rodrigues Oliveira³
Felipe Paiva Alves de Souza Mendonça⁴

Resumo

Neste artigo é apresentada uma avaliação dos efeitos da adição de lama (partículas menores que $10\mu\text{m}$) no desempenho de processo da flotação catiônica reversa de minérios de ferro de baixo teor, utilizando amostras de Itabirito da Mina de Miguel Burnier. Foram comparados os resultados obtidos no processo de concentração, com os seguintes percentuais de lama na alimentação: 0%, 2%, 5% e 10% (p/p). De maneira geral, para a obtenção de um concentrado com 3% de SiO_2 , quando se aumenta a quantidade de lama para valores superiores a 5% p/p., se faz necessário uma dosagem de amina 60% maior e um tempo de flotação 100% maior, com um teor de ferro no rejeito 63% maior. Esses resultados podem ser explicados devido à maior quantidade de espécies minerais com elevada superfície específica, intensificando a ocorrência do “*slime coating*”, bem como o arraste hidrodinâmico das partículas finas.

Palavras-chave: Minério de ferro; Lama; Flotação.

EFFECTS EVALUATION OF SLIME ADDITION ON THE REVERSE CATIONIC FLOTATION OF IRON ORES FROM MIGUEL BURNIER-MG MINE

Abstract

In this paper is carried out an effects analysis of slime addition (particles smaller than $10\mu\text{m}$) on the performance of low-grade iron ores reverse cationic flotation, using a sample of itabirite from Miguel Burnier Mine. The results obtained in the concentration process were compared when adding 0%, 2%, 5% and 10% of slime into the feed. In general, for a concentrate with 3% of SiO_2 , when the amount of slime is increased to values greater than 5% w/w., a 60% higher amine dosage and a 100% greater flotation time is required, with a 63% higher grade of iron in the tailing. These results can be explained by the higher amount of mineral species with greater specific surfaces area values, intensifying the occurrence of “*slime coating*” as well as the hydrodynamic drag of the fines particles.

Keywords: Iron ore; Slime; Flotation

¹ Graduado em Engenharia Química (UFMG), Especialização em Processamento Mineral (UFMG), técnico em Química (CEFET/MG), Mecânico (SENAI/MG), Coordenador de Controle de Processos e Laboratórios, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

² Graduado em Engenharia de Produção (Pitágoras), pós-graduado em Engenharia de Minas (UFOP), técnico em Química (CEFET), Mecânico (SENAI/MG), Especialista Sênior de Controle de Processos e Laboratório de Processos, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

³ Graduado em Engenharia de Minas (UFOP) e Especialista de Processos e Produtos, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

⁴ Graduando em Engenharia de Minas (UFMG) e estagiário superior de Controle de Processos e Laboratório de Processos, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os efeitos causados por partículas finas nos processos de concentração, com especial atenção à flotação, são objetos de frequentes estudos no tratamento de minérios. Isso se justifica pela necessidade econômica e ambiental de se recuperar as frações mais finas do minério com qualidades químicas adequadas, além de reduzir o volume de rejeito gerado, bem como pela natural tendência de afinamento dos depósitos de minério de ferro conhecidos.

Segundo Baltar [1], as características físicas dos finos acarretam uma série de problemas na flotação das partículas mais grossas. As propriedades superficiais das lamas resultam na: i) maior rigidez (estabilidade) da espuma; ii) criação de recobrimentos das partículas grossas pelos finos (“*slimecoating*”); iii) interferência no contato bolha-partícula; iv) maior viscosidade da polpa; v) menor efetividade da atuação dos reagentes devido à suas interações com as lamas, que possuem áreas superficiais enormes quando comparadas com as das partículas do minério, aumentando seu consumo.

Cruz [2] pontua que o fenômeno denominado “*slimecoating*” pode ser entendido como sendo a adesão de partículas ultrafinas à superfície de partículas mais grossas, por meio de forças intermoleculares semelhantes às forças existentes nas interações entre partículas e bolhas de ar. Este fenômeno pode ser deletério para a flotação de diferentes maneiras: se as partículas finas são compostas pelo mineral-minério e as partículas grossas pela ganga, há um empobrecimento do teor do concentrado. Quando as partículas finas são que consistem de minerais de ganga e, então, se aderem às superfícies das partículas dos minerais-minério, impedindo o contato destas partículas com as bolhas de ar, a recuperação do mineral minério cai significativamente.

O aumento do consumo de reagentes deve-se a elevada área superficial das lamas, apresentando um número maior de sítios ativos, o que confere a essas partículas um alto poder de adsorção. Outra causa da influência das partículas finas no consumo de reagentes pode ser a alta energia de superfície, devido ao maior número de extremidades, cantos e imperfeições cristalográficas. Isso causa um aumento na tendência de ocorrência de adsorção não específica do coletor, que acontece de forma a desconsiderar a natureza eletroquímica ou elétrica da dupla camada [3].

A presença de partículas finas também afeta outros parâmetros da flotação, como a taxa de carregamento, definida segundo Rubio *et al.* [4] como o fluxo de sólidos máximo por unidade de área da seção transversal da coluna, e o “*liploading*”, definido por Amelunxen [5] como a taxa máxima de produção de concentrado por unidade de comprimento até a saída do “*overflow*”. A limitação dessas taxas é atribuída ao recobrimento completo da superfície das bolhas pelas partículas finas, de pequena massa e grande superfície específica [4].

A perda de recuperação no concentrado pode ocorrer devido à pequena massa das partículas de minerais de ferro que podem ser carregadas pela água contida na espuma ou arrastadas mecanicamente pelas partículas sendo flotadas. Borges [6], estudando o arraste na flotação catiônica reversa de minérios de ferro, comprovou que a recuperação de partículas hidrofílicas no produto flotado se deu exclusivamente na fração menor que $37\mu\text{m}$, tanto em testes realizados com hematita compacta quanto para testes realizados com itabirito friável, confirmando assim a presença do mecanismo de arraste nesse sistema de flotação.

Não há uma granulometria determinada que identifique os finos. Em geral considera-se, como tal, a fração do minério que apresenta dificuldades para flotar ou causa problemas na flotação das partículas grossas. Peres [7] afirma que o limite inferior da faixa granulométrica para alimentação da flotação está associado ao conceito de “lamas”, que se referem a materiais de granulometria menores que $10\mu\text{m}$. Dessa maneira, seguiu-se essa definição para o incremento de lamas na alimentação da flotação.

Neste artigo é analisada a influência da lama na flotação catiônica reversa de minério de ferro para amostra de itabirito proveniente da Mina de Miguel Burnier, localizada na região do Quadrilátero Ferrífero/MG. Os resultados obtidos foram considerados nessa análise quando se atingiu um teor de SiO_2 no concentrado de 3%, valor meta para o retorno das operações da Unidade de Tratamento de Minérios I da Gerdau Aços Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com sequenciamento de lavra, a amostra representativa de “ROM” apresentada na Tabela 1 foi coletada na mina Miguel Burnier e submetida ao teste padrão da planta de beneficiamento, chegando-se a etapa de deslamagem em hidrociclones onde foram geradas as amostras utilizadas neste estudo.

Tabela 1 – Análise Química do “ROM”

Análise Química - %					
FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnT	P	PPC
40,9	36,9	1,10	0,53	0,048	2,51

2.1 Deslamagem

O fluxo menor que $150\mu\text{m}$ (alimentação da deslamagem) foi diluído a 10% de sólidos em peso e deslamado em hidrociclone (AKW 40) a uma pressão de $0,8\text{kgf/cm}^2$. O “underflow” foi mantido em recirculação na alimentação do próprio hidrociclone com o objetivo de aumentar a eficiência na redução do “by-pass” de lama, eliminando

assim o máximo de partículas menores que $10\mu\text{m}$ no “*underflow*” (alimentação da flotação). O “*overflow*” gerado (lama) foi reservado para ser utilizado como incremento de finos na alimentação da flotação.

2.2 Flotação

Os ensaios cinéticos de flotação, foram realizados a uma concentração de sólidos de 55% em peso na polpa, mantendo-se o pH em 10,5 e dosando (30g/t, 50g/t, 70g/t, 90g/t e 110 g/t) da amina EDA Flotigam 7072 - Clariant de forma estagiada e acumulativa, mantendo-se a dosagem de amido Caramuru otimizada em 700g/t (dosagens base minério).

O amido foi condicionado em 3,2L de polpa a uma rotação de 1700rpm durante 5 minutos. Em seguida, para cada dosagem de amina condicionada por 2 minutos, fez-se o teste de flotação a uma vazão de ar de 7,5NLPM (5bar), até o esgotamento da espuma, registrando o tempo.

Para a verificação do efeito da lama na flotação, como ponto de referência, inicialmente foi realizado um ensaio nas mesmas condições com o “*underflow*” da deslamagem, e nos ensaios sucessivos foram incrementados a essa alimentação, quantidade de lama para se atingir percentuais de 2%, 5% e 10% de lama na alimentação.

Em todos os ensaios, para cada estágio de dosagem de amina, gerou-se uma amostra de rejeito que foi quantificada e analisada quimicamente. As variáveis respostas analisadas, foram: consumo de amina, tempo de flotação e teor de ferro no rejeito.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Deslamagem

Os percentuais de partículas retidas e acumuladas em $10\mu\text{m}$ no “*underflow*” - alimentação da flotação - e no “*overflow*” - lama - foram, respectivamente, 98,4% e 4,7% conforme distribuição de tamanho apresentada na Figura 1. Estes valores comprovam a eficiência na remoção da lama, validando o “*underflow*” como referência inicial nos ensaios cinéticos de flotação.

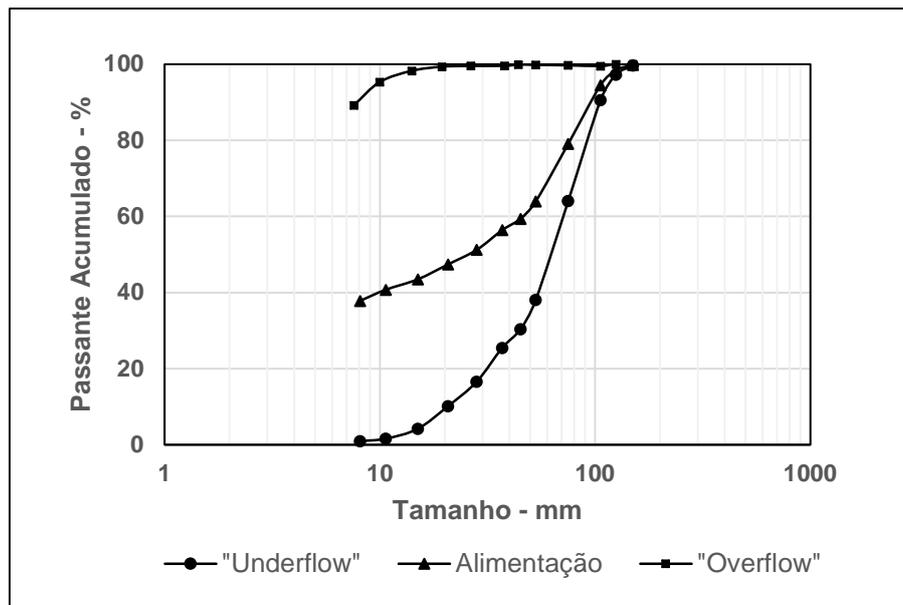


Figura 1.Distribuição de tamanho – Deslamagem

A

Tabela 2 apresenta os resultados de análise química dos fluxos da deslamagem. Nela observa-se um aumento expressivo nos teores de Al_2O_3 e PPC no “*overflow*”, normalmente associados à presença de caulinitas e goethitas que, segundo Santos e Brandão [8], produzem uma grande quantidade de finos, prejudicando a reologia e outras propriedades das polpas durante as etapas de concentração.

Tabela 2.Análise química dos fluxos da deslamagem

Fluxo	%	Análise Química - %						
		Partição	FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnT	P	PPC
-0,150mm	100		34,8	44,8	1,31	0,54	0,054	2,9
"Underflow "	81,3		32,8	51,7	0,33	0,18	0,022	0,60
"Overflow "	18,7		44,4	13,0	5,69	2,12	0,193	12,8

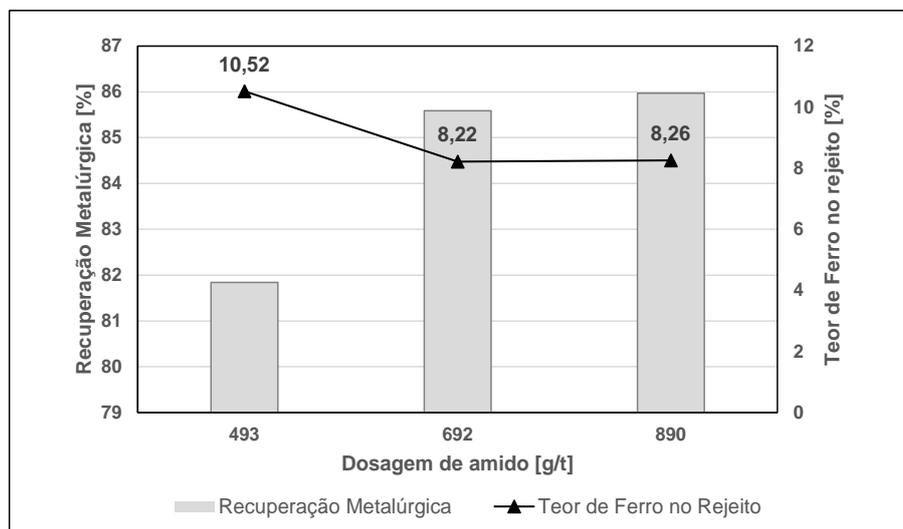
3.2 Flotação

Os resultados apresentados na Tabela 3 referem-se às alimentações dos testes de flotação. Pode-se observar o aumento nos teores dos contaminantes para os respectivos incrementos de lama realizados na amostra de “*underflow*”.

Tabela 3. Análise química das amostras utilizadas nos testes de flotação

Teste	Amostra	Análise Química - %						
		% Lama	FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnT	P	PPC
1	"Underflow"	0	32,8	51,7	0,33	0,18	0,022	0,60
2		2	33,1	50,6	0,42	0,23	0,020	1,10
3	"Blending"	5	33,3	49,8	0,53	0,27	0,023	1,40
4		10	33,4	48,6	0,78	0,34	0,020	1,90

Por meio dos ensaios de otimização utilizando o "underflow" da deslamagem, verificou-se que a dosagem ótima de amido encontra-se em torno de 700g/t obtendo uma recuperação metalúrgica de ferro em 85%, com um teor de ferro no rejeito em torno 8%, conforme apresentado na Figura 2.

**Figura 2.** Otimização do amido

Os resultados obtidos nos ensaios de flotação foram avaliados considerando-se como meta de qualidade um concentrado de flotação com teor de sílica de 3%. Observa-se, pela Figura 3, que o aumento de lama na alimentação da flotação requer um aumento significativo na dosagem de amina para garantir essa meta de qualidade.

Conforme observado, em relação à flotação inicial do "underflow" com 54g/t de amina, as dosagens tiveram um aumento de 6%, 60% e 72% com o aumento do percentual de lama na alimentação de 2%, 5% e 10% de lama, respectivamente.

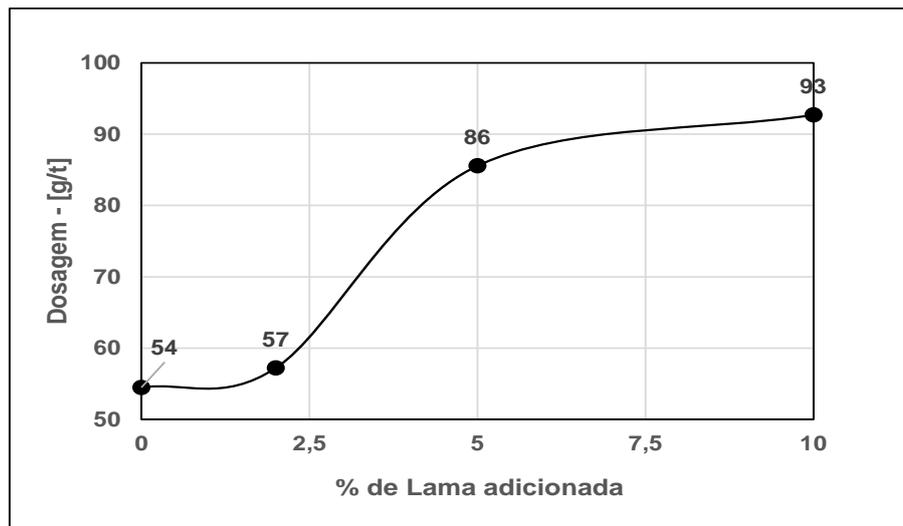


Figura 3. Dosagem de amina vs. Adição de lama (para 3% SiO₂ no Concentrado)

Associa-se esses fatos ao aumento da quantidade de partículas com elevada superfície específica devido aos acréscimos de lama na alimentação da flotação, promovendo assim um número maior de sítios ativos, e,consequentemente aumentando o poder de adsorção, justificando assim os aumentos sucessivos de dosagens do coletor.

Além disso é notável, durante o processo de concentração, que nos instantes iniciais a priorização na flotação é sobre as partículas mais finas, sendo a maioria delas representadas por minerais goethíticos e aluminosos, e à medida que são removidas pelas bolhas vão perdendo a prioridade para os minerais de sílica e ferro.

A figura 4 apresenta a recuperação metalúrgica de alguns elementos em função do tempo de flotação para 5% de lama. Aos 6 minutos de flotação a recuperação de Al₂O₃ e PPC é aproximadamente o dobro da recuperação de ferro e sílica, invertendo-se a situação nos instantes seguintes.

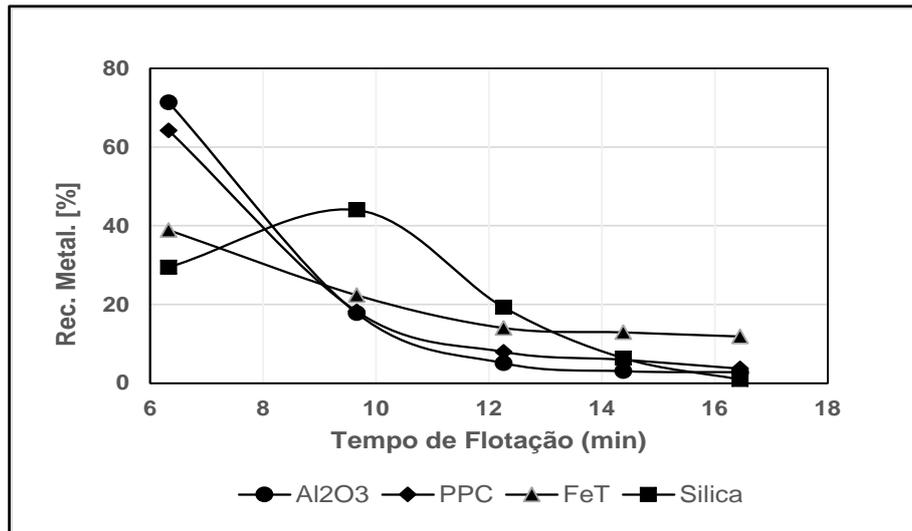


Figura 4. Recuperação de minerais para o rejeito (com 5% lama)

A presença de minerais de ferro no rejeito é proporcional à quantidade de lama adicionada ao “*underflow*”, que inevitavelmente seguem para o rejeito por acompanharem as linhas do fluxo da fase líquida ou pelo efeito do “*slime coating*”, conforme mostrado na Figura 5.

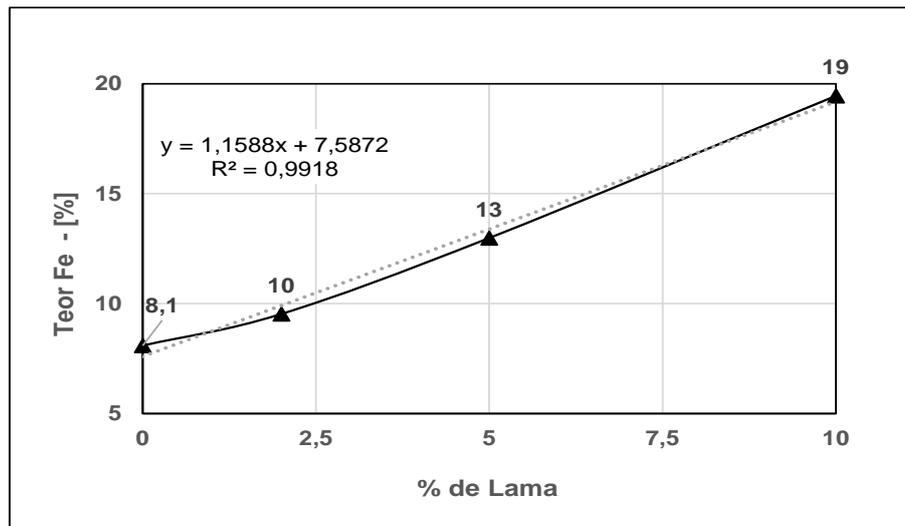


Figura 5. Teor de ferro no rejeito vs. Adição de lama

O tempo de flotação necessário para atingir a meta de qualidade (SiO_2 de 3%) variou em função da quantidade de lama presente na alimentação da flotação, ou seja, a medida que se incrementou lama, se fez necessário um tempo maior de flotação conforme mostrado na Figura 6.

Observou-se também que as bolhas inicialmente formadas com alta coalescência, persistentes e com aspecto de baixa mineralização, tiveram, à medida que a lama foi flotada, as suas características transformadas, tornando-se menores e cada vez mais mineralizadas justificando a baixa cinética de flotação.

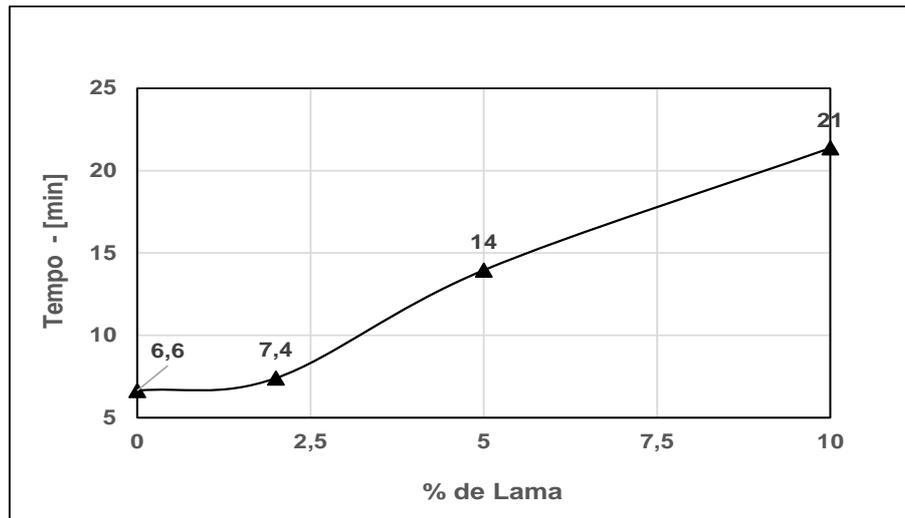


Figura 6. Tempo de flotação vs. Adição de lama

4 CONCLUSÃO

Para as amostras ensaiadas e objetivando verificar os impactos causados pela lama no processo de flotação da planta de beneficiamento, conclui-se que:

- Os impactos causados no processo de flotação são mais significativos quando a concentração de lama na alimentação é maior que 5%, gerando um maior consumo de amina e aumentando o tempo de flotação necessário para a redução do teor de sílica no concentrado;
- Valores de concentração acima de 5% tendem a diminuir significativamente a taxa de carregamento no início do processo de flotação (*“rougher”*), podendo inviabilizar a operação da coluna de flotação devido ao baixo desempenho na etapa. Além disso, a maior quantidade de finos no rejeito dificulta sua sedimentação.
- O tempo de flotação instalado na planta indústria (40min) parece ser suficiente para obtenção de um concentrado de qualidade (sílica de 3%) a partir de uma alimentação com até 5% de lama.

Deverão ser desenvolvidos novos estudos que visem a definição dos valores de taxa de carregamento e *“liploading”* das colunas. Além disso, ensaios de flotação em circuito contínuo - LCT (*“locked cycle test”*) poderão ser realizados para avaliar possíveis alterações no circuito da planta de beneficiamento.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Gerdau Aços Brasil, a Gerência de Planejamento e Qualidade pelo constante apoio e incentivo a pesquisa e inovação e a equipe do Laboratório de Processos da Mina de Miguel Burnier.

6 REFERÊNCIAS

- 1 Baltar CAM. Flotação no Tratamento de Minério. Recife: UFPE; 2008.
- 2 Cruz MR. Flotação Fracionada: Aumento do Rendimento da Flotação através da Divisão da Alimentação em Duas Frações Granulométricas [tese de mestrado]. Belo Horizonte, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2010.
- 3 Fuerstenau MC, Miller JD, Kuhn MC. Chemistry of flotation. Kingport: Kingport press; 1980.
- 4 Martínez-Gómez, V., Pérez-Garibay, R., Rubio, J., 2013. Factors involving the solids-carrying flotation capacity of microbubbles. International Journal of Mineral Processing 53 (2013), 160– 166.
- 5 Amelunxen, R.L. 1990. Moly upgrading profiles with flotation columns, CMP Proc. 22nd Annual Meeting, p.258
- 6 Borges AMB. Arraste na flotação catiônica reversa de minérios de ferro. [tese de mestrado]. Belo Horizonte, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 1993.
- 7 Peres AEC. Flotação Convencional e Princípios de Flotação: microflotação. Belo Horizonte; 1992.
- 8 Santos LD, Brandão PRG. Variações mineralógicas, morfológicas e microestruturais em minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero, MG e suas implicações no processamento mineral. In: IV Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro; 2003; Ouro Preto, Brasil. Ouro Preto: CETEM; 2003. p. 674-682