






Influência da dosagem e do tempo de condicionamento de amina na flotação de minério de ferro utilizando a farinha de sorgo como depressor

Paulo Pereira de França Neto ^{1,2} 
Carlos Eduardo Domingues da Mata ² 
André Carlos Silva ^{2*} 
Elenice Maria Schons Silva ² 
Luís Alberto Silva ² 

Resumo

Uma das etapas mais importantes no processamento do minério de ferro itabirítico é a flotação catiônica reversa, sendo os amidos orgânicos e as aminas graxas os principais reagentes depressores e coletores utilizados, respectivamente. Os depressores à base de sorgo têm se destacado como alternativas em relação aos reagentes obtidos a partir do milho, pois este insumo é produzido principalmente para atender a produção alimentícia, tanto do interna quanto externa. Testes de flotação com minério de ferro da mina da Anglo American situada na cidade de Conceição do Mato Dentro/MG foram realizados em escala de bancada e etapa *rougher* pela primeira vez substituindo o *gritz* de milho usado atualmente pela empresa por farinha do sorgo. A influência do tempo de condicionamento e da dosagem do coletor (Flotigam EDA 3C, da Clariant) no teor de Fe no concentrado e a recuperação metalúrgica foram analisadas. Os resultados obtidos indicam que a dosagem do coletor foi o único parâmetro que teve influência estatística sobre o teor de ferro no concentrado. Os resultados mais promissores (teor de Fe > 60%) foram obtidos nas dosagens de coletor acima de 58,5 g/t com tempos de condicionamento de 0,5 e 1,0 min. Para a recuperação metalúrgica de Fe tanto a dosagem quanto o tempo de condicionamento do coletor foram significativos. Os melhores resultados (recuperação metalúrgica > 88%) foram obtidos com dosagem de coletor de 39,5 g/t e tempos de condicionamento de 0,5 e 3,0 min.

Palavras-chave: Minério de ferro; Tempo de condicionamento; Dosagem de coletor.

Influence of amine dosage and conditioning time on iron ore flotation using sorghum flour as a depressant

Abstract

One of the most important steps in the processing of itabirite iron ore is reverse cationic flotation, with organic starches and fatty amines being the main depressant and collector reagents used, respectively. Sorghum-based depressants have stood out as alternatives to reagents obtained from corn, as this input is mainly produced to meet food production, both internally and externally. Flotation tests with iron ore from the Anglo American mine located in the city of Conceição do Mato Dentro/MG were carried out on a bench scale and rougher stage for the first time, replacing the corn grits currently used by the company with sorghum flour. The influence of conditioning time and collector dosage (Flotigam EDA 3C, from Clariant) on the Fe content in the concentrate and the metallurgical recovery were analyzed. The obtained results indicate that the collector dosage was the only parameter that had a statistical influence on the iron content in the concentrate. The most promising results (Fe content > 60%) were obtained in collector dosages above 58.5 g/t with conditioning times of 0.5 and 1.0 min. Both the dosage and the collector conditioning time were significant for the Fe metallurgical recovery. The best results (metallurgical recovery > 88%) were obtained with a collector dosage of 39.5 g/t and conditioning times of 0.5 and 3.0 min.

Keywords: Iron ore; Conditioning time; Collector dosage.

¹Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Catalão, UFCAT, Catalão, GO, Brasil.

²Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral, Universidade Federal de Catalão, UFCAT, Catalão, GO, Brasil.

*Autor correspondente: ancarsil@ufcat.edu.br



1 Introdução

A flotação de minério de ferro é caracterizada pela diferenciação entre os minerais portadores de ferro (tipicamente representados pela hematita, Fe_2O_3) dos minerais de ganga (principalmente o quartzo, SiO_2) [1]. Existem atualmente duas rotas para o processamento deste tipo de minério: a flotação direta, onde o concentrado de Fe é o flotado, e a reversa, onde o concentrado é o afundado. Para Rocha et al. [2], essa última se dá por meio da adsorção de reagentes depressores na hematita e coletores no quartzo. O depressor é o primeiro reagente a ser adicionado à polpa mineral, adsorvendo-se preferencialmente sobre a superfície da hematita. O coletor é adicionado à polpa em seguida, adsorvendo-se preferencialmente à superfície das partículas de quartzo, tornando-as hidrofóbicas.

O amido de milho é o principal depressor de óxidos e hidróxidos de ferro no Brasil. Seu emprego impacta a recuperação metalúrgica deste bem mineral de forma relevante [3]. O emprego deste reagente na indústria mineral é impactado pelo preço e pela disponibilidade do mesmo, já que grande parte da produção nacional de milho é focada no mercado alimentício para consumo interno e exportação. Estudos vêm sendo desenvolvidos visando o emprego de amidos de outras fontes botânicas, alternativos ao amido de milho, para tentar diminuir a dependência que a indústria mineral tem deste insumo. Silva et al. [4] apresentaram o sorgo, obtendo resultados similares, ou superiores, na flotação de hematita quanto comparado com o milho.

Diversas amins podem ser empregadas como coletor catiônico na flotação reversa de minério de ferro. Os sais de amônio quarternário foram previamente empregados, mas os coletores catiônicos mais efetivos na operação são aqueles hidrolisados, que apresentam concomitantemente as espécies iônicas e moleculares na fase aquosa. A razão entre as espécies iônica e molecular depende fortemente do pH da polpa, sendo que esta razão determinará o mecanismo de adsorção das amins na superfície do quartzo [5].

Para Rosa et al. [6], o tempo de condicionamento dos reagentes é uma etapa importante na flotação, devendo ser conduzida de forma agitada e com tempo de residência adequado, de forma a assegurar que os reagentes e/ou modificadores (tais como depressores, ativadores, coletores e/ou espumantes) atuem de forma adequada. Segundo Henwood [7], alguns parâmetros afetam o condicionamento da polpa e, conseqüentemente, a taxa e extensão da adsorção do coletor na superfície mineral, sendo estas ligadas ao minério (incluindo-se o tipo dos minerais úteis, grau de liberação, granulometria e densidade da polpa), ao coletor (tipo, solubilidade, mecanismos de ataque e dosagem utilizada) e o sistema de flotação (incluindo-se o pH, tempos de condicionamento e flotação, temperatura da polpa, forma de agitação do sistema e forças iônicas envolvidas no sistema).

A correta definição da dosagem do coletor a ser adicionada à polpa não só reduz o desperdício deste reagente como gera resultados otimizados de teor e recuperações.

Cita-se como exemplo o trabalho de Maeda [8], que observou que o aumento na dosagem de amina gerou um aumento no poder espumante desta, resultando em piores performances da flotação, uma vez que houve um aumento significativo no arraste do mineral de interesse para o flotado. Já Furtado [9], mostrou que, como esperado, a flotabilidade do quartzo aumentou com o aumento da dosagem de amina até atingir um patamar.

O presente trabalho apresenta uma análise da influência do tempo de condicionamento e da dosagem do coletor na flotação catiônica reversa de minério de ferro. Para tal foram realizados testes de flotação *rougher* em escala de bancada em uma célula mecânica do tipo Denver, utilizando farinha de sorgo como depressor e o Flotigam EDA 3C, fornecido pela Clariant, como coletor.

2 Materiais e métodos

Amostras de minério de ferro foram doadas pela empresa Anglo American, oriundas da cidade de Conceição do Mato Dentro/MG. Estas foram coletadas como polpa, após a moagem e antes do condicionamento para a flotação. Após secagem estufa o minério foi enviado ao Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral (LaMPPMin) da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), situado na cidade de Catalão/GO, onde o mesmo foi novamente seco em estufa (100 °C por 24 h), homogeneizado e quarteamento usando quarteadores do tipo Jones, gerando alíquotas representativas de aproximadamente 1.000 g.

Grãos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) da variedade 1G100 da Dow Agrosociences colhidos em uma fazenda situado no município de Ipameri/GO foram doados pela empresa Agrocere para a realização deste trabalho. O preparo da farinha de sorgo foi realizado seguindo metodologia proposta por Silva et al. [10]. A gelatinização da farinha de sorgo foi realizada segundo procedimento padrão da Anglo American, com relação farinha de sorgo: NaOH de 5:1 (em peso), a uma concentração de 2,0% (p/v).

O coletor empregado nos ensaios de flotação foi o Flotigam EDA 3C, doado pela Clariant, que é uma alquileteramina parcialmente neutralizada com ácido acético. Sua saponificação foi realizada adicionando-se 1,0 g do coletor à 50 mL de água destilada. A solução foi mantida sob agitação magnética por 5 minutos para completa homogeneização. Posteriormente a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e volume completado com água destilada de modo a gerar uma solução com concentração de 1% (p/v).

Testes de flotação em escala de bancada foram realizados em célula mecânica do tipo Denver fabricada pela Engendrar (modelo CFB-1000N). Todos os testes foram realizados em etapa *rougher* utilizando uma cuba de 2,0 L de volume interno. A Tabela 1 apresenta as condições operacionais dos testes. Quatro dosagens do coletor (19,5 g/t, 39,0 g/t, 58,5 g/t e 78 g/t) e quatro tempos de condicionamento

Tabela 1. Condições operacionais dos testes de flotação em escala de bancada

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Teor médio de Fe na alimentação (%)	42,43	% de sólidos no condicionamento	60
Teor médio de SiO ₂ na alimentação (%)	39,00	% de sólidos na flotação	40
Volume de polpa (mL)	2.000	Rotação do impelidor no condicionamento (rpm)	1.500
Massa de minério na alimentação (g)	~1.000	Rotação do impelidor na flotação (rpm)	1.300
pH do condicionamento	10,5	pH flotação	10,5
Vazão de ar (L/min)	2,5	Tempo de flotação (min)	4
Dosagem de depressor (g/t)	615	Tempo de condicionamento do depressor (min)	5

(0,5 min, 1,0 min, 3,0 min e 5,0 min) foram testados, em consonância com os valores adotados na Anglo American. Todos os testes foram realizados em triplicata, totalizando 48 experimentos. Solução de NaOH a 10% (p/v) foi usada para regular o pH. Água de torneira foi utilizada em todos os testes.

Após os testes de flotação tanto o concentrado (afundado) quanto o rejeito (flotado) foram floculados com a adição de cinco gotas de Flotisor FL 7130, uma poliacrilamida aniônica fornecida pela Clariant, na concentração de 0,05% (p/v) em pH ácido (entre 2,5 e 3,0). Para tal foi utilizada uma solução de HCl 5% (p/v) para controle do pH. A redução do pH se mostrou necessária para o aumento da cinética da sedimentação das partículas minerais, que acontecia em menos de 1 minuto após a adição do floculante, mantendo-se a polpa em sedimentação livre. Após o desaguamento os produtos da flotação foram secos em estufa (100 °C por 24 h). Sem a realização da etapa de desaguamento o tempo de secagem do concentrado era superior a 48 h, devido à quantidade de água presente no mesmo.

Os teores de Fe e Si nos produtos da flotação foram determinados pela massa específica, sendo esta medida por picnometria. Adotou-se tal metodologia devido ao fato do minério de ferro ser composto predominantemente por hematita e quartzo. A determinação da massa específica foi realizada conforme metodologia proposta por Sampaio e Silva [11]. O teor de Fe no concentrado foi calculado usando a Equação 1 [12], considerando-se que o teor de Fe na hematita pura é de 69,96%.

$$\%Fe = \frac{\rho_{hem} \times (\rho_{con} - \rho_{qtz})}{\rho_{con} \times (\rho_{hem} - \rho_{qtz})} \times 69,96 \quad (1)$$

Onde %Fe é o teor de Fe, ρ_{con} é a massa específica do concentrado (g/cm³), ρ_{hem} é a massa específica da hematita (adotada como 5,30 g/cm³) e ρ_{qtz} é a massa específica do quartzo (adotada como 2,65 g/cm³).

O cálculo da recuperação metalúrgica foi realizado utilizando a Equação 2:

$$\%R_{met} = \frac{(c \times C)}{(a(R + C))} \times 100 \quad (2)$$

Onde %R_{met} é a recuperação metalúrgica de Fe, *a* é o teor de Fe na alimentação (adotado como 42,43%), *c* é o teor de

Fe no concentrado, *R* é a massa do rejeito (g) e *C* é a massa do concentrado (g).

Uma análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando-se o software Minitab®, versão 18, adotando um nível de significância de 5%, tendo como respostas analisadas a recuperação metalúrgica e o teor de ferro no concentrado.

3 Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta a relação entre o teor de Fe no concentrado (em %) em função do tempo de condicionamento do coletor. É possível notar que o teor de Fe no concentrado é inversamente proporcional ao tempo de condicionamento do coletor, com exceção do teste com a mais alta dosagem de depressor (78,0 g/t). Mowla et al. [13] flotaram areia de quartzo (flotação reversa) oriunda da mina de Kowli-Kosh (localizada no Iran) para remoção de hematita para uso na fabricação de vidros. Os melhores resultados obtidos para o teor de Fe foram obtidos condicionando-se o coletor por 5 a 6 minutos. Segundo os autores, maiores tempos de condicionamento podem levar à dessorção do coletor da superfície da hematita. Apesar dos autores não terem trabalhado com minério de ferro, e sim com quartzo de alta pureza, a hipótese da dessorção do coletor devido ao condicionamento prolongado, funcionamento como uma espécie de atrição, pode explicar os resultados obtidos no presente trabalho. Resultados similares foram obtidos por Silva [14], que observou, de forma geral, uma queda nos teores de Fe e, conseqüentemente, aumento no teor de SiO₂, à medida que se aumentou o tempo de condicionamento do coletor. Nota-se, contudo, que a adsorção da amina testada na superfície do quartzo é rápida, ocorrem em um tempo inferior a 0,5 minutos. Segundo Pinheiro et al. [15], a adsorção das aminas no quartzo apresenta caráter puramente eletrostático, sendo não específica, reversível e, de acordo com Lemos [16], rápida. Para Lima e Brandão [17], a maior adsorção da amina no quartzo justifica-se em razão da sua maior carga negativa superficial em comparação à hematita.

A Figura 2 apresenta o teor de Fe no concentrado em função da dosagem de coletor. Como esperado, o teor de Fe no concentrado aumento com o aumento da dosagem do coletor, até um ponto de máximo (atingido para a dosagem de coletor de 58,5 g/t), a partir do qual notou-se um decaimento no teor de Fe para os tempos de condicionamento menores (0,5 min

e 1,0 min). Brandão [18] afirma que a seletividade na flotação catiônica reversa de minério de ferro se baseia em aspectos quantitativos de adsorção do coletor e do depressor. Em teoria, a dosagem de amina e a flotabilidade do quartzo seriam grandezas diretamente proporcionais. No entanto, na realidade, um comportamento contrário tem sido observado. Existem suposições de que, em determinados cenários (granulometria do minério, composição do amido, pH e dosagem de reagentes), esses reagentes (coletor e depressor) podem se relacionar, de forma que parte do quartzo continua hidrofílico mesmo após o condicionamento sequencial dos reagentes, acarretando assim na redução da qualidade do concentrado.

A Figura 3 relaciona o teor de Fe com o tempo de condicionamento do coletor e a sua dosagem. Os maiores teores de Fe obtidos nos testes (> 60%) foram para dosagens

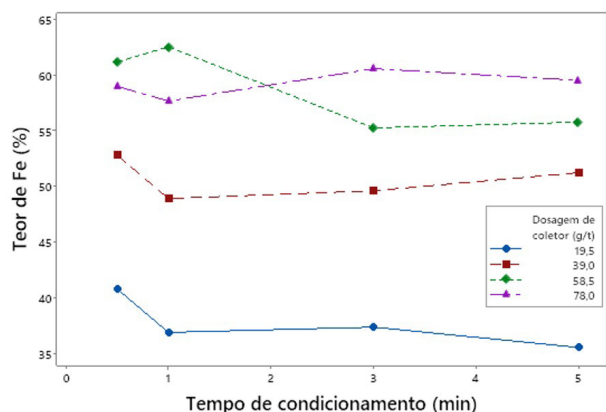


Figura 1. Teor de Ferro vs. tempo de condicionamento do coletor usando a farinha de sorgo como depressor.

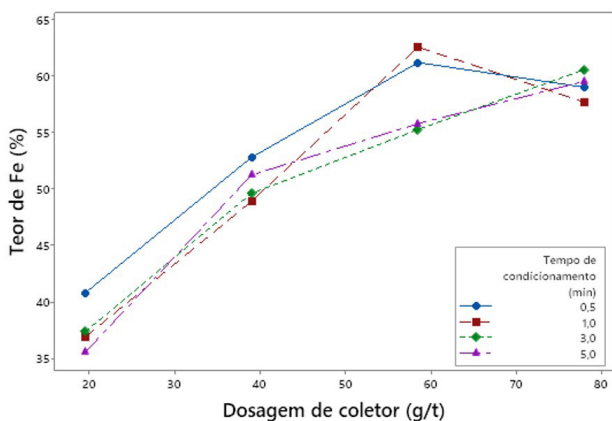


Figura 2. Teor de Ferro vs. dosagem do coletor usando a farinha de sorgo como depressor.

de coletor acima de 58,5 g/t com tempos de condicionamento entre 0,5 min e 1,0 min. Resultados semelhantes foram encontrados por Albino et al. [19], para um tempo de condicionamento de 1,0 min e dosagens do coletor de 50 g/t e 77 g/t (teor de Fe de 63,4% e 64,90%, respectivamente).

Os resultados do teste ANOVA para o teor de Fe no concentrado da flotação *rougher* são apresentados na Tabela 2. Nota-se que apenas a dosagem do coletor teve influência estatisticamente significativa no teor de Fe no concentrado ($p < 0,05$).

A Figura 4 apresenta a relação entre a recuperação metalúrgica de Fe e o tempo de condicionamento. Para as dosagens testadas, com exceção de 39 g/t, a recuperação metalúrgica foi máxima com 0,5 min de condicionamento, caindo com o aumento do tempo de condicionamento. Para a dosagem

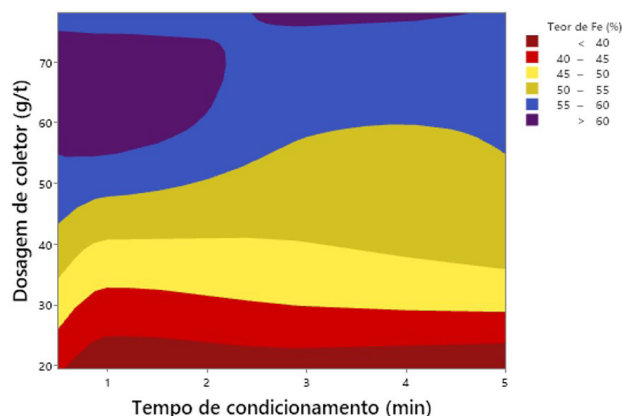


Figura 3. Teor de Fe em função da dosagem e tempo de condicionamento do coletor.

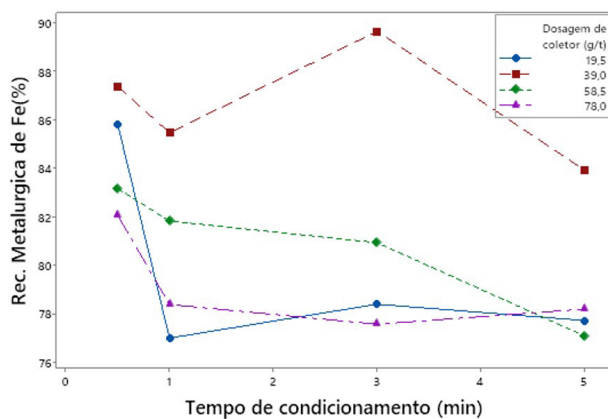


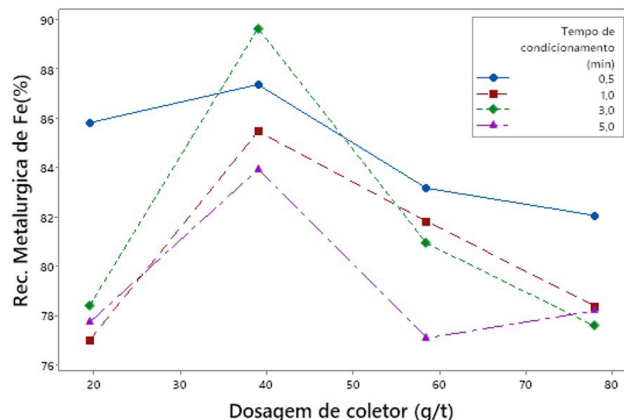
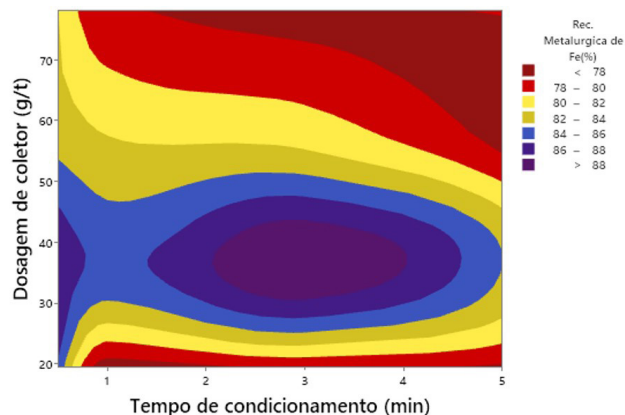
Figura 4. Recuperação metalúrgica de ferro vs. tempo de condicionamento usando a farinha de sorgo como depressor.

Tabela 2. Resultados ANOVA para teor de Fe nos ensaios para a farinha de sorgo como depressor

Fonte	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrados Médios	F-valor	P-valor
Dosagem do coletor (g/t)	3	1212,36	404,12	75,25	1,075E-6
Tempo de condicionamento do coletor (min)	3	21,35	7,12	1,33	0,325
Erro	9	48,32	5,37		
Total	15	1282,03			

Tabela 3. Resultados ANOVA para recuperação metalúrgica de Fe nos ensaios para a farinha de sorgo como depressor.

Fonte	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrados Médios	F-valor	P-valor
Dosagem do coletor (g/t)	3	142,56	47,519	10,82	2,429E ⁻³
Tempo de condicionamento do coletor (min)	3	61,81	20,602	4,69	3,086E ⁻²
Erro	9	39,54	4,393		
Total	15	243,90			

**Figura 5.** Recuperação metalúrgica de ferro vs. dosagem de coletor para a farinha de sorgo como depressor.**Figura 6.** Gráfico de contornos para a recuperação metalúrgica de Fe em função da dosagem e tempo de condicionamento do coletor.

de 39 g/t, por outro lado, obteve-se um pico de recuperação metalúrgica com tempo de condicionamento de 3 min.

A Figura 5 apresenta a variação da recuperação metalúrgica de Fe em função da dosagem de coletor. Independente do tempo de condicionamento adotado, o pico na recuperação metalúrgica ocorreu sempre na dosagem de 39 g/t, caindo rapidamente para dosagens superiores. A Figura 6 apresenta um gráfico de contorno para a recuperação metalúrgica de Fe em função do tempo de condicionamento e da dosagem do coletor. As recuperações metalúrgicas de Fe mais altas (> 88%) foram observadas na dosagem de 39 g/t e tempos de condicionamento em torno de 3 min. Tal dosagem de coletor é inferior à utilizada por Nunes [20], que trabalhou com amostras de minério de ferro provenientes de uma mineradora do Quadrilátero ferrífero. O autor obteve recuperação metalúrgica de Fe de 93,86% para uma dosagem de amina de 75 g/t.

Os resultados do teste ANOVA para a recuperação metalúrgica de Fe na flotação *rougher* podem ser vistos na Tabela 3. Tanto a dosagem quanto o tempo de condicionamento do coletor influenciaram significativamente a recuperação metalúrgica de Fe ($p < 0,05$).

4 Conclusão

Testes de flotação com minério de ferro da mina da Anglo American situada na cidade de Conceição do Mato Dentro/MG foram realizados em escala de bancada e etapa *rougher* pela primeira vez substituindo o *grit* de milho usado atualmente pela empresa por farinha do sorgo. Apenas a dosagem de coletor teve influência no teor de Fe no concentrado. Contudo, tanto o tempo de condicionamento quanto a dosagem de coletor tiveram influência na recuperação metalúrgica de Fe.

Os resultados mais promissores para o teor de Fe no concentrado foram para as dosagens de coletor acima de 58,5 g/t, com tempos de condicionamento entre 0,5 e 1,0 min. Para a recuperação metalúrgica de Fe, os melhores resultados foram obtidos com dosagem de coletor de 39,5 g/t e utilizando tempos de condicionamento em torno de 3 min. De modo a atingir resultados similares aos obtidos na Anglo American com *grit* de milho sugere-se operar com dosagens de coletor entre 39,5 g/t e 58,5 g/t, com tempo de condicionamento em torno de 3 min.

Referências

- 1 Milhomem FO. Cinética de flotação no sistema hematita e quartzo com uso de óleos vegetais [tese]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2020.
- 2 Rocha GM, Silva AMB, Pereira CA. Flotação de rejeito de minério de ferro. In: Anais do XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; 2019; Belo Horizonte. Belo Horizonte: UFMG; 2019. p. 1-7.
- 3 Moreira WR. Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2013.

- 4 Silva EMS, Peres AEC, Silva AC, Florencio DL, Caixeta VH. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 2 – flotation tests. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019;8(1):403-410.
- 5 Filippov LO, Severov VV, Filippov IV. An overview of the beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation. *International Journal of Mineral Processing*. 2014;127:62-69.
- 6 Rosa JJ, Rodrigues RT, Rubio J. Condicionamento em alta intensidade para aumentar a recuperação de finos de minério por flotação. In: *Anais do XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*; 1998; Águas de São Pedro. São Paulo; 1998. p. 521-542.
- 7 Henwood D. The effect of conditioning on froth flotation [thesis]. Rondebosch: University of Cape Town; 1994.
- 8 Maeda JMM. Estudo de caracterização mineral e de reagentes na flotação de minério de ferro [monografia]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2016.
- 9 Furtado RM. Estudo acerca dos reagentes na flotação catiônica reversa de minério de ferro: recirculação de amina e degradação do amido [monografia]. Araxá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; 2017.
- 10 Silva EMS, Peres AEC, Silva ACS, Leal MCDM, Lião LM, Almeida VO. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 1 – extraction and characterization. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019;8(1):396-402.
- 11 Sampaio JA, Silva FAG. Determinação das densidades de sólidos e de polpas. In: Sampaio JA, França SCA, Braga PFA, editores. *Tratamento de minérios: práticas laboratoriais*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2007. p. 37-51.
- 12 Torres MA. Flotação reversa de minério de ferro proveniente do depósito Jambreiro da região de Guanhães-MG [monografia]. Araxá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; 2015.
- 13 Mowla D, Karimi G, Ostadnezhad K. Removal of hematite from silica sand ore by reverse flotation. *Separation and Purification Technology*. 2007;58(3):419-423.
- 14 Silva GR. Caracterização, estudos fundamentais e flotação de minério de ferro goethítico [dissertação]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2014.
- 15 Pinheiro VS, Baltar CAM, Leite JYP. Flotação com amina: a importância da qualidade da água. *REM: Rev. Esc. Minas*. 2012;65(4):549-552.
- 16 Lima JL. Flotação de óxidos de terras raras: estado da arte [monografia]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá; 2017.
- 17 Lima RMF, Brandão PRG. A seletividade na flotação reversa de minérios de ferro. In: *Anais do XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*; 1998; Águas de São Pedro. São Paulo; 1998. p. 413-432.
- 18 Brandão PRG. A seletividade na flotação reversa de minério de ferro: adsorção dos reagentes. In: *Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*; 2005; Natal. Natal: ENTMME; 2005. p. 22-33.
- 19 Albino KIP, Depieri JP, Lima OA. Coletores de baixa toxicidade para flotação reversa de minério de ferro. In: *Anais do XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*; 2019; Belo Horizonte. Belo Horizonte: ENTMME; 2019. p. 1-7.
- 20 Nunes TC. Otimização dos parâmetros da flotação de minério de ferro utilizando metodologia de superfície de resposta [dissertação]. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá; 2019.

Recebido em: 11 Out. 2022

Aceito em: 15 Fev. 2023