

Efeitos da combinação de etermonoamina e eterdiamina na flotação de minério de ferro

Camila Goes Mattioli^{1*} 
Geriane Macedo Rocha² 

Resumo

A flotação é um método de concentração consolidado na indústria do minério de ferro e os reagentes utilizados nessa etapa desempenham papel fundamental na separação dos minerais de interesse (concentrado) e dos minerais de ganga (rejeito). Este estudo avaliou a influência da mistura de etermonoamina e eterdiamina na flotação catiônica reversa de minério de ferro itabirítico da empresa Samarco, localizada no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Foram testadas, em escala de bancada, diferentes proporções na mistura desses reagentes em amostras da flotação de grossos (-150+44 μ m). Como depressor, foi utilizada a fécula de mandioca. O material da alimentação e os produtos de cada um dos testes passaram por análise química em fluorescência de raios-x e análise mineralógica em microscópio óptico. Os resultados demonstraram que o uso de 100% de eterdiamina na flotação de grossos apresentou o melhor índice de seletividade e recuperação metalúrgica, seguida da combinação de 10% etermonoamina e 90% de eterdiamina. Além disso, constatou-se que houve nesses dois casos menor perda de hematita especular para o rejeito.

Palavras-chave: Flotação; Minério de ferro; Eteraminas; Hematita especular.

Effects of ethermonoamine and etherdiamine combination on iron ore flotation

Abstract

Flotation is a well-established concentration method in the iron ore industry, and the reagents used in this stage play a crucial role in the separation of valuable minerals (concentrate) from gangue minerals (tailings). This study evaluated the influence of a mixture of ethermonoamine and etherdiamine on the reverse cationic flotation of itabirite iron ore from the Samarco company, located in the Quadrilátero Ferrífero in Minas Gerais, Brazil. Different proportions of these reagents were tested in bench scale on coarse flotation samples (-150+44 μ m). Cassava starch was used as depressant. The feed material and the products from each test were analyzed chemically by X-ray fluorescence and mineralogically by optical microscopy. The results showed that using 100% etherdiamine in coarse flotation presented the best selectivity and metallurgical recovery indices, followed by the combination of 10% ethermonoamine and 90% etherdiamine. Additionally, it was found that in these two cases, there was a lower loss of specular hematite to the tailings.

Keywords: Flotation; Iron ore; Etheramines; Specular hematite.

1 Introdução

As primeiras pesquisas de flotação de minério de ferro datam da década de 1930 [1]. Desde então, o conhecimento da técnica evoluiu e a flotação catiônica reversa tornou-se um processo de concentração mineral extensamente utilizado na indústria de minério de ferro, por meio do qual é feita a separação entre o material de interesse (óxidos de ferro) e a ganga (principalmente o quartzo) [2]. Nesse processo é explorada a diferença entre as características de superfície das partículas, que podem ser alteradas através da adição de

reagentes, que são adsorvidos nessas superfícies. Os reagentes utilizados na flotação catiônica do minério de ferro são as eteraminas, os amidos e hidróxido de sódio [3]. As eteraminas no pH próximo a 10,5 exercem as funções de coletor do quartzo e espumante [2]. Os amidos, principalmente de mandioca ou milho, são depressores e desempenham um papel crucial ao reforçar, de forma seletiva, a hidrofilicidade dos óxidos de ferro, impedindo que a amina seja adsorvida na superfície da hematita, de modo que essas partículas não

¹Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

²Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

*Autor correspondente: Milamattioli21@gmail.com



2176-1523 © 2024. Mattioli et al. Publicado pela ABM. Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

sejam direcionadas à espuma [4,5]. O hidróxido de sódio é utilizado para regular o pH da flotação, que tem influência nas reações químicas envolvidas no processo de flotação mineral, e também na gelatinização do amido [6].

Diversos pesquisadores avaliaram misturas de coletores catiônicos, coletores aniônicos, surfactantes não iônicos, óleo diesel, entre outros [7-11]. Araujo et al. [2] afirmaram que a performance da flotação de certos tipos de minérios de ferro é melhorada com o uso combinado de etermonoaminas e eterdiaminas, permitindo que seja obtido um concentrado com baixo conteúdo de sílica – avaliação que foi conduzida neste trabalho. Importante destacar que um regime universal de reagentes para a flotação catiônica reversa de minérios de ferro não pode ser proposto devido às variações na composição mineral de diferentes depósitos de minério de ferro [11].

As etermonoaminas e eterdiaminas são coletores que se diferem no número de grupos amina presentes em sua estrutura e apresentam, respectivamente, as seguintes fórmulas moleculares: $[R-O-CH_2-CH_2-C-NH_2]$ e $[R-O-(CH_2)_3-NH-(CH_2)_3-NH_2]$ [12]. Fan et al. [13] ressaltam que a estrutura molecular do coletor é um fator importante a ser avaliado, pois afeta diretamente a performance da flotação.

Diferentes estudos, como os conduzidos por Papini et al. [3] e Matos et al. [14,15], em escala laboratorial, avaliaram alguns tipos de aminas como coletores de quartzo na flotação de minério de ferro. Interessante notar que enquanto o estudo de Papini et al. [3] concluiu que as etermonoaminas foram mais eficientes que as eterdiaminas, o estudo de Matos et al. [15] chegou à conclusão oposta. Uma possível explicação reside no fato de que os autores testaram minérios diferentes, ratificando que não existe um reagente padrão para todos os tipos de minérios – o uso de cada reagente deve ser avaliado para que sejam obtidos os melhores resultados possíveis.

No caso da Samarco, em que é lavrado o minério de ferro itabirítico, o circuito de flotação é dividido em flotação de grossos (-150+44 μ m) e flotação de finos (-44 μ m). A dosagem de coletor é semelhante para ambos os circuitos, utilizando-se uma mistura na proporção etermonoamina/eterdiamina de 10/90. Na literatura, entretanto, ainda é escassa a informação sobre as proporções adequadas na mistura desses reagentes para diferentes tipos de minério, principalmente no que tange a compreensão do seu efeito com relação às fases minerais presentes. Assim, o presente estudo buscou entender a influência da mistura de etermonoamina e eterdiamina na eficiência de flotação do circuito de grossos, por meio de testes em escala de bancada.

2 Materiais e métodos

2.1 Amostra de minério de ferro

O material utilizado para os experimentos, denominado amostra-padrão, trata-se de um composto formado por

alíquotas separadas da alimentação do circuito de flotação de grossos da usina entre dezembro de 2020 a março de 2022. Tal material foi caracterizado quanto à sua distribuição granulométrica, através de peneiramento a seco, e quanto à sua composição química e mineralógica. Para a realização do teste de flotação, a amostra foi seca, desagregada e homogeneizada.

2.2 Ensaios de flotação

Os experimentos de flotação de minério de ferro foram realizados em escala de bancada e em duplicata. Foram definidas 6 proporções de eteraminas para serem testadas, as quais são nomeadas de Teste 1 a Teste 6 e estão descritas na Tabela 1.

Os reagentes utilizados nos ensaios de flotação foram: eteraminas como coletores na concentração de 1% p/v (100 g/t); fécula de mandioca gelatinizada na relação amido:soda de 5:1 em gramas, na concentração 1% p/v, como depressor (300g/t); e NaOH como modulador de pH. Os tempos de condicionamento do depressor e coletor foram 5 e 3 minutos, respectivamente. Na preparação dos reagentes e ensaios de flotação foi utilizada água deionizada. O percentual de sólidos no condicionamento foi 50% e de flotação 40%, velocidade do rotor de 1300 rpm, o tempo de coleta do flotado de 3 minutos e o pH de flotação 10,5. A Figura 1 abaixo apresenta fotos de algumas das etapas supracitadas.

Os produtos da flotação (concentrados e rejeitos), passaram pelo processo de filtragem, homogeneização, quarteamento e pulverização e foram enviados para análise química. Uma parcela do material quarteado foi separada para análise mineralógica.

2.3 Análise química

As amostras da alimentação e dos produtos dos ensaios de flotação foram preparadas em pastilha fundida (máquina de fusão Oregon - Katanax X600) e a composição química (Fe, Al_2O_3 , P, MnO, CaO, MgO e TiO) determinada por fluorescência de raios X (Rigaku, modelo Simultix-14, programa Simultix). A perda por calcinação (PPC) foi obtida através do cálculo do percentual de perda de massa da amostra em relação a uma massa inicial conhecida, após secagem por 1h à temperatura de 1000°C. O %SiO₂ foi calculado por diferença para fechamento químico.

Tabela 1. Proporções de etermonoamina/eterdiamina utilizadas nos testes

Teste	Etermonoamina (%)	Eterdiamina (%)
1	50	50
2	75	25
3	90	10
4	100	0
5	10	90
6	0	100

2.4 Análise mineralógica

A preparação das pastilhas (amostras da alimentação e dos produtos dos ensaios de flotação) foi realizada utilizando-se embutidora Struers cito press-1. A análise mineralógica foi feita no microscópio óptico petrográfico LEICA DNLP e as fotomicrografias foram obtidas no microscópio da marca Zeiss, image M2m, por meio do programa Zencore.

3 Resultados e discussão

3.1 Análise granulométrica

A curva granulométrica da amostra-padrão utilizada nos ensaios de flotação é apresentada na Figura 2. Tal amostra é composta por partículas de tamanho típico da flotação de grossos, com cerca de 70% do material entre 44 µm e 150 µm (D50 = 65 µm).

3.2 Análise química

Os resultados das análises químicas da amostra-padrão bem como do concentrado e rejeito de cada teste estão dispostos na Tabela 2. Como os ensaios foram feitos

em duplicata, os resultados apresentados para cada elemento químico são uma média simples dos dois testes.

O Índice de Seletividade (IS) criado por Gaudin [16] avalia a eficiência do processo de concentração e é apresentado na Equação 1:

$$IS = \sqrt{\frac{(Rec.Fe\ no\ concentrado) \times (Rec.SiO_2\ no\ Rejeito)}{(Rec.SiO_2\ no\ concentrado) \times (Rec.Fe\ no\ Rejeito)}} \quad (1)$$

Os IS e recuperações metálicas de cada um dos testes são expostos na Figura 3. Observa-se que o Teste 6 (100% eterdiamina) seguido do Teste 5 (10% etermonoamina e 90% eterdiamina) são os que apresentaram, respectivamente, melhores índices de seletividade – 12,22 e 12,02 – e recuperação metálica – 81,49% e 78,13%.

3.3 Análise mineralógica

As informações da análise mineralógica da amostra-padrão são apresentadas na Figura 4. Nota-se que o material é composto (em %massa) por cerca de 40% de hematitas, sendo 15,85% de hematita especular (HE) e 24,20% de hematita porosa (HP), além de 18,99% em goethitas.

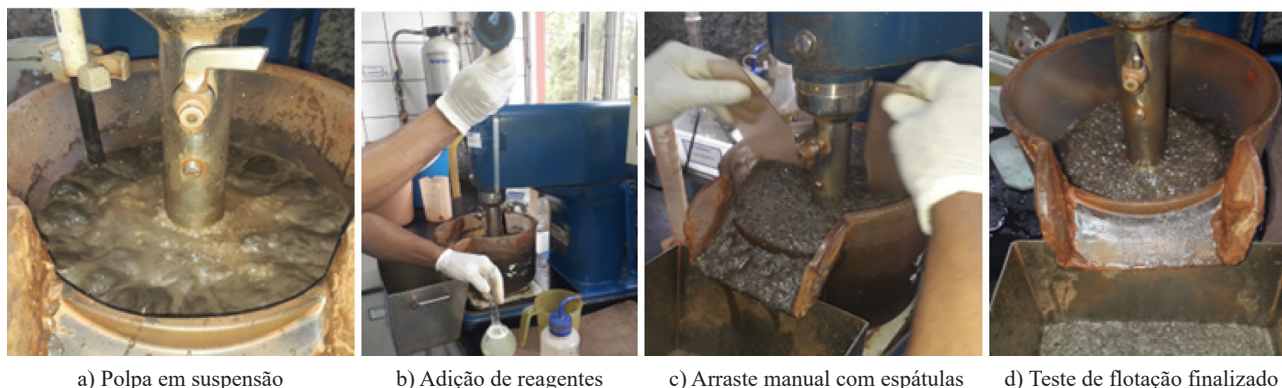


Figura 1. Etapas do processo de flotação em bancada.

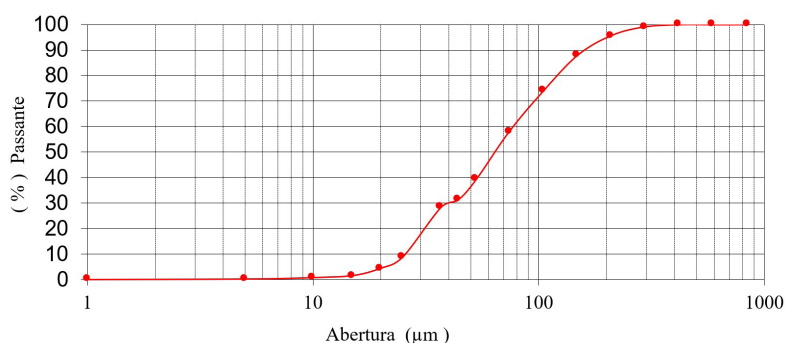


Figura 2. Curva granulométrica do material da alimentação.

Tabela 2. Análises químicas quantitativas das amostras (% em massa)

Amostra	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MnO	CaO	MgO	TiO	PPC
Am. Padrão	42,04	37,41	0,26	0,030	0,052	0,007	0,001	0,022	2,07
T1 – Conc.	65,78	1,86	0,33	0,046	0,087	0,014	0,015	0,035	3,53
T1 – Rej.	20,02	70,17	0,21	0,013	0,012	0,008	0,033	0,007	0,92
T2 – Conc.	65,81	1,80	0,33	0,046	0,089	0,015	0,016	0,034	3,56
T2 – Rej.	20,62	69,32	0,22	0,012	0,012	0,009	0,039	0,007	0,89
T3 – Conc.	65,70	1,98	0,33	0,046	0,088	0,015	0,011	0,034	3,54
T3 – Rej.	19,18	71,48	0,21	0,012	0,012	0,012	0,032	0,008	0,84
T4 – Conc.	65,71	1,98	0,32	0,045	0,089	0,016	0,014	0,034	3,52
T4 – Rej.	20,12	70,14	0,19	0,011	0,012	0,009	0,027	0,008	0,81
T5 – Conc.	65,87	1,79	0,34	0,044	0,087	0,015	0,016	0,037	3,47
T5 – Rej.	18,51	72,47	0,19	0,011	0,010	0,007	0,032	0,004	0,81
T6 – Conc.	65,70	2,02	0,36	0,046	0,084	0,015	0,017	0,037	3,46
T6 – Rej.	16,49	75,48	0,17	0,011	0,008	0,006	0,028	0,002	0,74

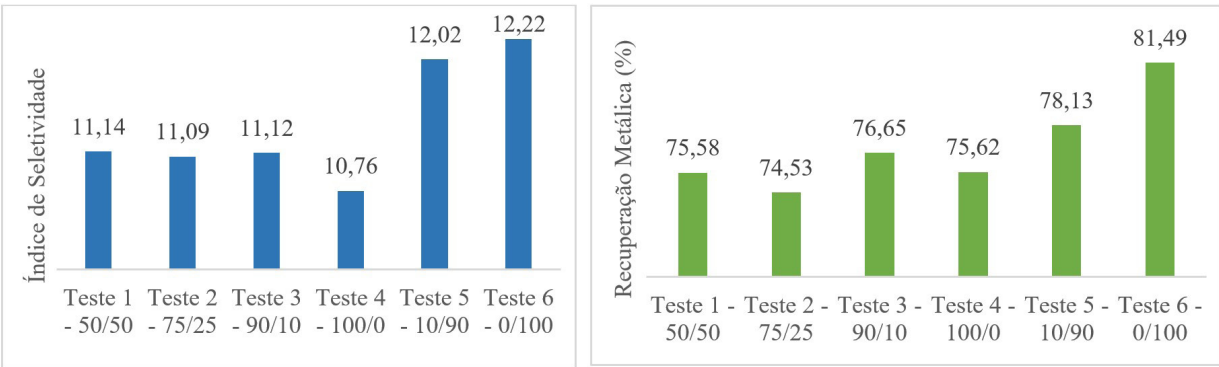


Figura 3. Índices de Seletividade e Recuperações Metálicas obtidas em cada um dos testes, conforme proporções de etermonoamina/eterdiamina.

A Figura 5 apresenta as fotomicrografias obtidas da amostra-padrão, nas quais é possível observar a presença de hematita porosa, hematita especular, goethita e quartzo.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os percentuais em massa dos minerais que compõem os concentrados e rejeitos, respectivamente, de cada um dos testes. A maior quantidade de quartzo presente nos rejeitos dos Testes 6 e 5 (73,09% e 70,35%, respectivamente) e menor quantidade de óxidos de ferro, são coerentes com os resultados de IS, demonstrando a maior eficiência do processo de flotação, quando comparados com os demais testes.

A Figura 6 sumariza a composição de óxidos de ferro presentes nos rejeitos. Os testes em que foram utilizadas maiores quantidades de eterdiaminas como coletores, Testes 5 e 6, apresentaram menores perdas de óxidos de ferro para o rejeito, confirmando os dados obtidos de recuperação metálica e IS (ver Figura 3). Tais resultados são coerentes com o estudo de Matos et al. [15], em que os autores detalham que a eterdiamina apresentou melhor seletividade de flotação em comparação com a etermonoamina. Os autores ressaltaram que as propriedades da espuma obtidas com a eterdiamina, mais seca e estável, favorecem a verdadeira flotação do quartzo e inibem a flotação ou arraste hidrodinâmico da hematita.

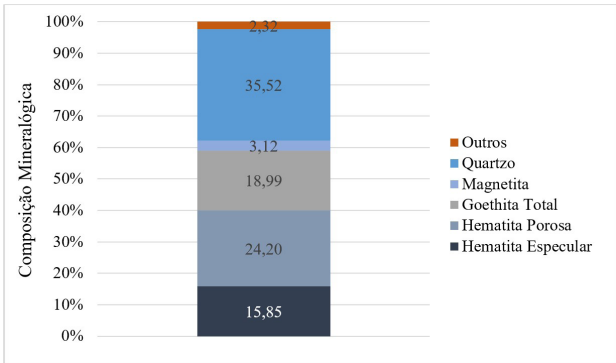


Figura 4. Composição mineralógica da amostra-padrão (%massa).

Na Figura 7 é possível observar os percentuais das partículas minerais direcionadas para o rejeito, quando se compara com o conteúdo original de cada teste. A perda mais significativa, em todos os testes, é de hematita especular, variando entre 13,9% e 23,0%. Novamente, os testes em que houve menor perda foram aqueles nos quais foram utilizadas maiores quantidades de eterdiaminas no processo de flotação. No caso do Teste 5 (10% etermonoamina e 90%

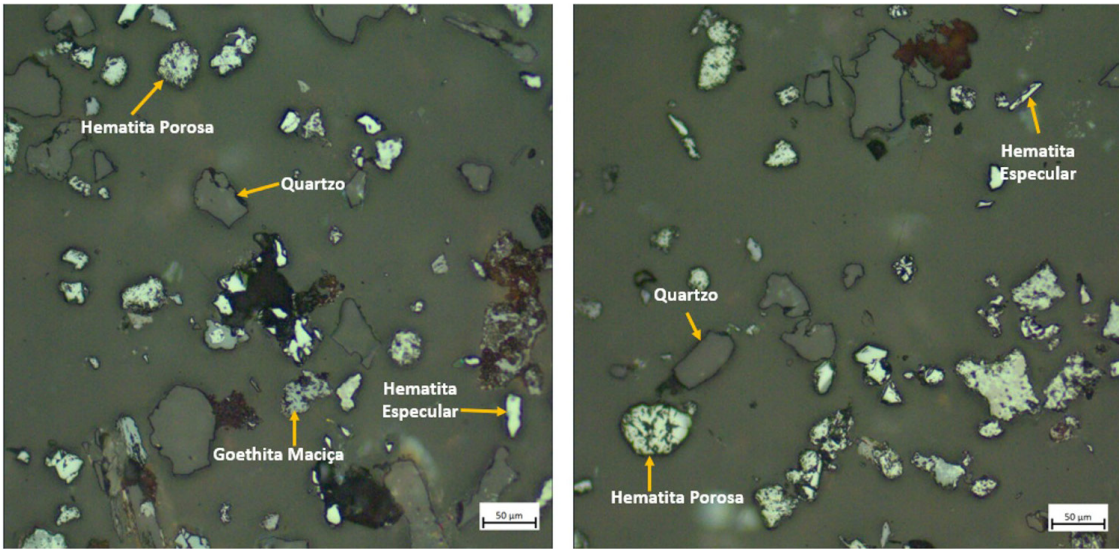


Figura 5. Fotomicrografia da amostra-padrão. Nicóis paralelos. Objetiva 20X, ocular de 10X.

Tabela 3. Análises mineralógicas dos concentrados dos testes de flotação (%massa)

Composição Mineralógica	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6
Hematita Especular	14,39	13,74	15,91	14,65	17,15	15,27
Hematita Porosa	52,39	50,12	45,27	50,73	44,51	47,86
Goethita Botrioidal / Maciça	26,85	29,96	26,44	26,43	28,95	26,63
Goethita Anfíbolítica	0,80	1,08	3,50	1,90	2,43	2,78
Goethita Terrosa	1,75	0,15	2,23	0,79	1,67	2,17
Magnetita	1,13	2,74	1,89	3,19	2,69	2,20
Quartzo Inteiro	1,45	0,75	3,09	1,15	1,10	1,50
Quartzo Misto	0,06	0,07	0,09	0,12	0,00	0,14
Outros*	1,18	1,40	1,57	1,04	1,50	1,45

*Outros: Caulinita, Gibbsita, Manganês(Pirolusita), Ilmenita e Rutilo.

Tabela 4. Análises mineralógicas dos rejeitos dos testes de flotação (%massa)

Composição Mineralógica	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6
Hematita Especular	12,28	11,35	15,58	13,33	11,47	10,89
Hematita Porosa	7,20	10,16	5,30	9,74	8,08	4,59
Goethita Botrioidal / Maciça	7,67	6,49	2,88	3,33	2,82	5,19
Goethita Anfíbolítica	0,00	0,24	0,00	1,76	0,54	0,24
Goethita Terrosa	2,30	0,48	4,72	1,54	3,49	3,08
Magnetita	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Quartzo Inteiro	68,13	69,44	68,28	67,56	70,35	73,09
Quartzo Misto	0,34	0,39	0,27	0,52	0,81	0,40
Outros*	2,09	1,45	2,96	2,18	2,43	2,54

* Outros: Caulinita, Gibbsita, Ilmenita e Rutilo.

eterdiamina), por exemplo, a perda de HE para o rejeito foi 15,8% - ou seja, os 84,2% restantes foram devidamente aproveitados no concentrado.

As fotomicrografias da amostra-padrão (ver Figura 5) mostram que, de maneira geral, as partículas de hematita especular têm comprimento inferior a 50 µm e largura cerca

de 5 vezes menor que o comprimento. Essas partículas alongadas ou irregulares têm uma maior área de contato com as bolhas de ar, facilitando sua adesão e aumento da probabilidade de serem levadas para a espuma. Elas também tendem a sedimentar mais lentamente do que partículas esféricas de mesma massa [17]. A perda de hematita especular

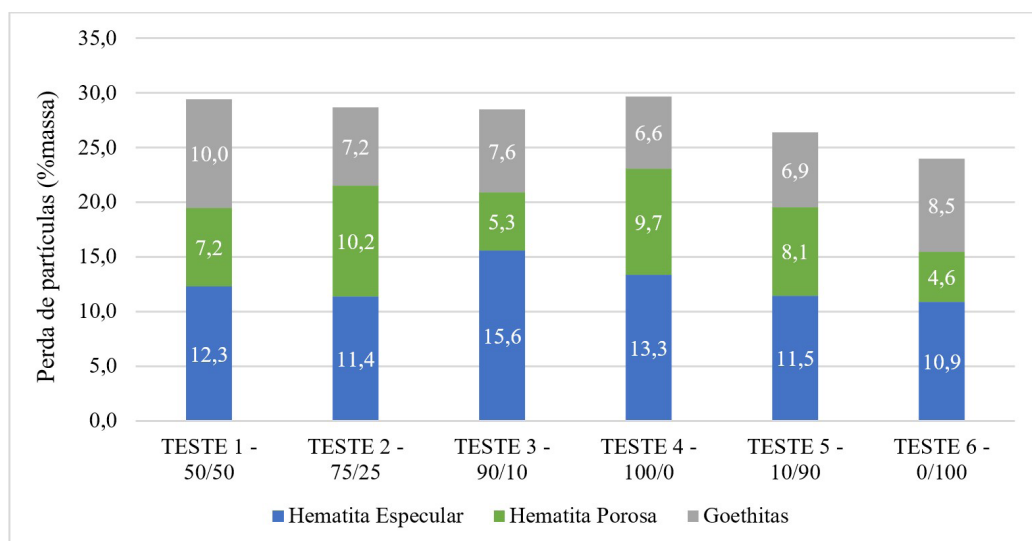


Figura 6. Composição mineralógica das amostras de óxidos de ferro nos rejeitos (%massa).

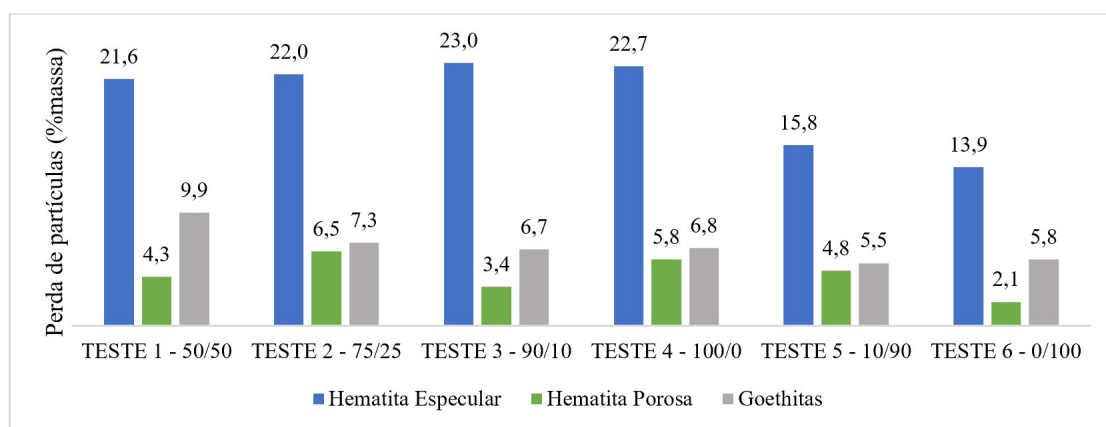


Figura 7. Perda das partículas minerais (%massa/massa) da amostra original de cada teste para o rejeito.

para o rejeito pode ser explicada também pelo fato de que partículas finas são facilmente levadas pelo fluxo da água, sendo submetidas ao arraste hidrodinâmico em direção à espuma, devido ao seu pequeno momento [12,18,19].

Por essa razão, destaca-se a necessidade de se usar um depressor mais eficiente para evitar que essas partículas sejam flotadas, reduzindo o teor de ferro no rejeito do processo [20-22].

4 Conclusão

Os melhores resultados de recuperação metalúrgica e índice de seletividade foram observados nos testes em que a presença de eterdiamina foi maior – 100% eterdiamina e 10% etermonoamina/90% eterdiamina. Em todos os testes houve uma perda significativa da hematita especular para o rejeito, entretanto na condição de dosagem de coletores com maior

quantidade de eterdiamina, foi constatada uma tendência de menor perda de hematita especular para o rejeito, 23% na proporção etermonoamina/eterdiamina de 90/10 (90% etermonoamina/10% eterdiamina) para 15,8% na proporção etermonoamina/eterdiamina de 10/90 (10% etermonoamina/90% eterdiamina). É importante ressaltar que os fatores de definição de qual combinação utilizar devem levar em consideração dados de produtividade, melhor aproveitamento do minério e fatores econômico-comerciais de cada um dos reagentes.

Agradecimentos

À empresa Samarco Mineração S.A. por ceder as amostras que foram objeto deste estudo; às equipes dos laboratórios LDP e LFQ pela condução dos testes de flotação, análises química e mineralógica; à equipe do CEERMIN UFMG pela oportunidade de aprendizado.

Referências

- 1 Houot R. Beneficiation of iron ore by flotation — review of industrial and potential applications. *International Journal of Mineral Processing*. 1983;10(3):183-204. [http://doi.org/10.1016/0301-7516\(83\)90010-8](http://doi.org/10.1016/0301-7516(83)90010-8).
- 2 Araujo AC, Viana PMR, Peres AEC. Reagents in iron ores flotation. *Minerals Engineering*. 2005;18:219-224. <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.08.023>.
- 3 Papini RM, Brandão PRG, Peres A. Cationic flotation of iron ores: amine characterization and performance. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2001;18(1):5-9. <http://doi.org/10.1007/BF03402863>.
- 4 Rath SS, Sahoo H. A review on the application of starch as depressant in iron ore flotation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2020;43(1):122-135. <http://doi.org/10.1080/08827508.2020.1843028>.
- 5 Shrimali K, Atluri V, Wang Y, Bacchuwar S, Wang X, Miller JD. The nature of hematite depression with corn starch in the reverse flotation of iron ore. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018;524(agosto):337-349. <http://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.04.002>.
- 6 Jordens A, Marion C, Kuzmina O, Waters KE. Surface chemistry considerations in the flotation of bastnäsite. *Minerals Engineering*. 2014;66-68:119-129. <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.04.013>.
- 7 Hanumantha Rao K, Antti BM, Forssberg KSE. Flotation of mica minerals and selectivity between muscovite and biotite while using mixed anionic/cationic collectors. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 1990;7(3):127-132. <http://doi.org/10.1007/BF03403286>.
- 8 Vidyadhar A, Rao KH, Chernyshova IV. Mechanisms of amine–feldspar interaction in the absence and presence of alcohols studied by spectroscopic methods. *Colloids and Surfaces. A, Physicochemical and Engineering Aspects*. 2003;214(1-3):127-142. [http://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00361-8](http://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00361-8).
- 9 Vidyadhar A, Rao KH, Chernyshova IV, Pradip E, Forssberg KSE. Mechanisms of amine–quartz interaction in the absence and presence of alcohols studied by spectroscopic methods. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2002;256(1):59-72. <http://doi.org/10.1006/jcis.2001.7895>.
- 10 Pereira SRN, Peres AEC, Araujo AC, Valadão GES. The use of non-polar oil in the reverse cationic flotation of an iron ore. In: *Proceedings of 23rd International Mineral Processing Congress*. Turkey; Istanbul Technical University; 2006. p. 644-48.
- 11 Filippov LO, Severov VV, Filippova IV. An overview of the beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation. *International Journal of Mineral Processing*. 2014;127(março):62-69. <http://doi.org/10.1016/j.minpro.2014.01.002>.
- 12 Vieira AM, Peres AEC. The effect of amine type, ph, and size range in the flotation of quartz. *Minerals Engineering*. 2007;20(10):1008-1013. <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.03.013>.
- 13 Fan G, Wang L, Cao Y, Li C. Collecting agent–mineral interactions in the reverse flotation of iron ore: a brief review. *Minerals (Basel)*. 2020;10(8):681. <http://doi.org/10.3390/min10080681>.
- 14 Matos VE, Nogueira SCS, Kowalczyk PB, Silva GR, Peres AEC. Differences in etheramines froth properties and the effects on iron ore flotation. Part I: two-phase systems. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2021;43(2):209-216. <http://doi.org/10.1080/08827508.2021.1875461>.
- 15 Matos VE, Nogueira SCS, Silva G, Kowalczyk PB, Peres AEC. Differences in etheramines froth properties and the effects on iron ore flotation. Part II: Three-phase systems. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2021;43(2):243-250. <http://doi.org/10.1080/08827508.2021.1888725>.
- 16 Gaudin AM. *Principles of mineral dressing*. New Delhi: Tata McGraw-Hill; 1939.
- 17 Yang B, Yin W, Zhu Z, Wang D, Han H, Fu Y, et al. A new model for the degree of entrainment in froth flotation based on mineral particle characteristics. *Powder Technology*. 2019;354(setembro):358-368. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.06.017>.
- 18 Fuerstenau DW. Fine particles flotation. In: Somasundaran P. (ed.), *Fine particles processing*, New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc.; 1980. p. 669-705
- 19 Pease JD, Young MF, Curry D, Johnson NW. Improving fines recovery by grinding finer. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2010;119(4):216-222. <http://doi.org/10.1179/037195510X12816242170852>.
- 20 Turrer H, Araujo A, Papini R, Peres AEC. Iron ore flotation in the presence of polyacrylamides. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2007;116(2):81-84. <http://doi.org/10.1179/174328507X163878>.
- 21 Farrokhpay S, Filippov L, Fornasiero D. Flotation of fine particles: a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2021;42(7):473-483. <http://doi.org/10.1080/08827508.2020.1793140>.

- 22 Sajjad M, Otsuki A. Correlation between flotation and rheology of fine particle suspensions. *Metals*. 2022;12(2):270. <http://doi.org/10.3390/met12020270>.

Recebido em: 11 Set. 2024

Aceito em: 27 Set. 2024