

ESTUDOS DE COLETORES ALTERNATIVOS PARA FLOTAÇÃO REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO

STUDIES ON ALTERNATIVE COLLECTORS FOR REVERSE IRON ORE FLOTATION

Larissa Guerra Ricardo

Aluna de Graduação de Química Industrial, 3º período, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Período PIBIC/CETEM: fevereiro de 2026 a agosto de 2026,
larissaguerra@eq.ufrj.br

Elves Matiolo

Orientador, Engenheiro de Minas, D.Sc.
ematiolo@cetem.gov.br

Gabriel Dutra de Oliveira

Coorientador, Químico Industrial, B.Sc.
gabrielutr.o@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de flotação em escala contínua na Mini Planta Piloto (MPP), realizados com uma amostra da alimentação da flotação de uma planta concentradora de hematita do Quadrilátero Ferrífero (MG). O objetivo foi comparar o desempenho de dois coletores alternativos do tipo amida/amina, utilizados sem a adição de depressor, com o circuito convencional de flotação reversa, que emprega amina como coletor e amido de milho gelatinizado como depressor, avaliando seus efeitos sobre o teor e a recuperação metalúrgica de ferro nos concentrados finais. O circuito utilizado consistiu em etapas *rougher* e *scavenger* em células mecânicas, e *cleaner* e *recleaner* em colunas. Os resultados mostraram que o coletor 1 (150 g/t) atingiu teor de Fe de 66,4% e SiO₂ de 1,7%, com recuperação metalúrgica de 91,5%. O coletor 2 (130 g/t) obteve teor de Fe de 65,6% e SiO₂ de 1,4% (recuperação de 91,3%). Ambas as alternativas superaram o circuito padrão com reagentes convencionais (60,0% de Fe, 4,8% de SiO₂ e 84,3% de recuperação). Conclui-se que os novos coletores se apresentaram como uma alternativa ao conceito aplicado atualmente que envolve a adição de depressor em conjunto com o coletor. A exclusão do depressor dos circuitos em escala industrial pode significar ganhos importantes tanto do ponto de vista financeiro como na simplificação dos atuais sistemas de dosagem de reagentes.

Palavras chave: Minério de ferro, coletor, flotação reversa.

ABSTRACT

This study presents a continuous-scale flotation investigation conducted at a Mini Pilot Plant (MPP) using a flotation feed sample from a hematite concentrator in the Iron Quadrangle (Minas Gerais, Brazil). The objective was to compare the performance of two alternative amide/amine-type collectors—used without a depressant—against a conventional reverse flotation circuit employing amine as the collector and gelatinized corn starch as the depressant, specifically evaluating their impact on iron grade and metallurgical recovery in the final concentrates. The circuit comprised rougher and scavenger stages using mechanical cells, followed by cleaner and recleaner stages using flotation columns. Results showed that Collector 1 (150 g/t) achieved an Fe grade of 66.4% and SiO₂ content of 1.7%, with a metallurgical recovery of 91.5%. Collector 2 (130 g/t) yielded an Fe grade of 65.6% and SiO₂ content of 1.4% (91.3% recovery). Both alternatives outperformed the standard circuit using conventional reagents (60.0% Fe, 4.8% SiO₂, and 84.3% recovery). It is concluded that these new collectors

offer a viable alternative to the current practice of adding a depressant alongside the collector. Eliminating the depressant from industrial-scale circuits could lead to significant benefits, both financially and through the simplification of existing reagent dosing systems.

Keywords: Ore iron, collector, revers flotation.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria do minério de ferro, a flotação catiônica reversa consolidou-se como a principal rota de beneficiamento para remoção de minerais de ganga silicatada, especialmente em minérios itabiríticos de baixo teor, nos quais os silicatos são flotados enquanto os minerais de ferro permanecem na polpa. No Brasil, segundo maior produtor mundial de minério de ferro, cerca de 60% da produção é concentrada por esse processo, evidenciando sua relevância técnica e econômica (HOUOT, 1983; FILIPPOV et al., 2014; ARAÚJO et al., 2005; BALTAR, 2021; USGS, 2026).

O sistema convencional de flotação reversa emprega coletores à base de éter-aminas ou éter-diaminas, parcialmente neutralizados com ácido acético, em conjunto com depressores à base de amido gelatinizado. Nesse sistema, o amido adsorve seletivamente sobre os minerais de ferro, impedindo sua flotação, enquanto as aminas tornam a superfície do quartzo hidrofóbica, favorecendo sua remoção na espuma. Apesar da ampla aplicação industrial, esse sistema apresenta limitações relacionadas ao preparo, à dosagem do depressor, ao elevado consumo de reagentes e à complexidade operacional do circuito (HOUOT, 1983; ARAÚJO et al., 2005).

Diante desse cenário, diferentes formulações de coletores vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de simplificar o processo de flotação, reduzir o consumo de reagentes e, principalmente, eliminar ou minimizar a necessidade de utilização de depressores convencionais. Estudos recentes têm demonstrado que coletores alternativos, como aqueles baseados em formulações amida-amina, podem apresentar elevada seletividade e desempenho metalúrgico, constituindo uma alternativa promissora para a flotação reversa de minério de ferro (HOUOT, 1983; ARAÚJO et al., 2005; ALBINO et al., 2017).

2. OBJETIVOS

Avaliar o efeito de dois coletores alternativos sobre o teor e a recuperação metalúrgica de Ferro (Fe) no concentrado final, comparando sua performance com os reagentes convencionais das plantas de concentração mineral (amina como coletor e amido de milho gelatinizado como depressor).

3. METODOLOGIA

3.1. Amostras e Reagentes

Foram recebidos no CETEM aproximadamente 500 kg de uma amostra de minério de ferro proveniente de uma planta de concentração do Quadrilátero Ferrífero. A caracterização física da amostra de minério de ferro foi realizada no CETEM por meio da análise da distribuição granulométrica. Para isso, foram utilizadas peneiras da série Tyler com aberturas de malha de 210, 150, 106, 74, 53 e 44 μm . As frações retidas foram secas em estufa a 100 °C e pesadas. A caracterização química foi realizada em um laboratório químico em São Paulo (SP).

3.2. Flotação em Células Mecânicas - Escala MPP

Os ensaios de flotação em escala de Mini Planta Piloto (MPP) foram realizados utilizando um circuito composto pelas etapas *rougher* e *scavenger* em células mecânicas, enquanto as etapas *cleaner* e *recleaner* foram conduzidas em colunas de flotação de 3" e 2", respectivamente. A etapa *scavenger* foi alimentada pelo rejeito combinado das etapas *cleaner* e *recleaner*. A velocidade superficial do ar variou de 0,5 a 0,8 cm/s nas células mecânicas e de 0,2 a 1,0 cm/s

nas colunas de flotação. Nas colunas foi utilizado água de lavagem com velocidades superficiais de 0,05 e 0,1 cm/s. A polpa, contendo aproximadamente 56% de sólidos em massa, foi utilizada para alimentar o circuito de condicionamento.

O pH foi mantido em 9,8 por meio da adição de NaOH. Foram avaliados o coletor convencional tipo amina e os coletores alternativos. No circuito convencional, utilizou-se fécula de mandioca como depressor, enquanto os coletores alternativos foram avaliados na ausência de depressor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da Amostra

A amostra de alimentação apresentou 38,7% de ferro e a sílica é o principal constituinte com 39% (Tabela 1) e a distribuição granulométrica indicou P_{80} de 87 μm , com 52% das partículas abaixo de 44 μm .

Tabela 1: Composição química da amostra expressa na forma de óxidos.

Teor (%)		
Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃
38,7	39,0	1,0

4.2. Flotação em Escala Contínua (MPP) - Reagentes Convencionais

Na etapa *rougher*, foram testados 31 g/t de coletor e 743 g/t de depressor, enquanto nas etapas *cleaner* e *recleaner* foi empregada uma dosagem de 7 g/t de coletor. O concentrado obtido na etapa *recleaner* apresentou teor de Fe de 60%, recuperação metalúrgica de 86% e rendimento em massa de 55%.

4.3. Flotação em escala contínua (MPP) – Coletor 1

Para o coletor 1 foram realizados ensaios com dosagens de coletor de 100 g/t e 150 g/t na ausência de depressor. Nestes ensaios foi alcançado um teor de Fe, em média, de 43% nas dosagens de 100 g/t e de 66% nas maiores dosagens, atingindo recuperações metalúrgicas de 98% e 91,5%, respectivamente.



Figura 1: Imagens da espuma de flotação nas etapas *rougher* e *cleaner*.

4.4. Flotação em Escala Contínua (MPP) - Coletor 2

Foram realizados ensaios com o coletor 2 com dosagens de 92 g/t, 100 g/t 130 g/t e 140 g/t na ausência de depressor. Foi atingindo um teor de Fe, em média, de 42,5% de Fe para as dosagens de 90 g/t, 60% nas dosagens de 100 g/t, 67,6% para dosagens de 130 g/t e 66,5 para dosagens de 140 g/t.



Figura 2: Imagens da espuma de flotação nas etapas *rougher* e *cleaner*.

4.5. Flotação em Escala Contínua (MPP) - Resumo dos resultados

O resumo de todos os ensaios realizados na campanha na Mini Planta Piloto está representado na Figura 3.

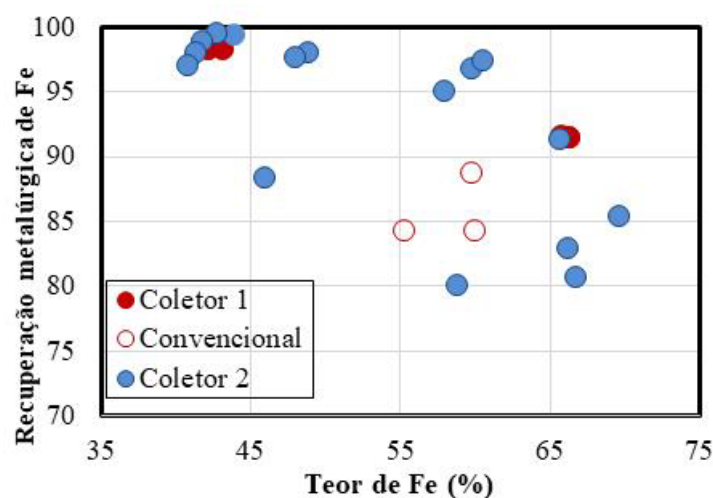


Figura 3: Curva de teor versus recuperação metalúrgica de Fe para os ensaios usando os coletores alternativos 1 e 2 nas diferentes dosagens de coletor testadas em comparação com os ensaios convencionais.

Observa-se na Figura 4, que dosagens do coletor 2 superiores a 120 g/t proporcionaram desempenho superior ao coletor convencional, resultando em teores de ferro, em média, 5% maiores para um mesmo nível de recuperação metalúrgica.

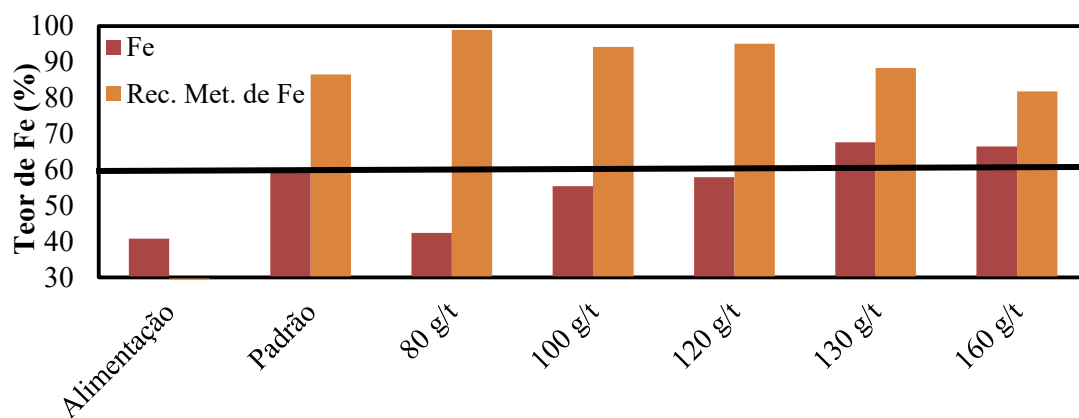


Figura 4: Gráfico relacionando teor (%) e recuperação metalúrgica (%) de Fe com cada condição testadas do coletor 2.

Os resultados metalúrgicos obtidos nesse estudo indicam um potencial aplicação dos novos coletores sem a adição dos depressores convencionais na flotação reversa de minério de ferro na amostra estudada. Contudo, vale destacar que os teores de alimentação encontrados via análise química não são compatíveis aqueles encontrados via cálculo por teores, desta forma, os teores encontrados no concentrado final podem se divergir dos reais. Para a continuidade do desenvolvimento do processo, sugere-se a realização de testes em escala industrial para fins de comprovação dos resultados obtidos em escala piloto.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa PIBIC, ao CETEM pela oportunidade e infraestrutura disponibilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, ao meu orientador Elves Matiolo e coorientador Gabriel Dutra pela orientação e apoio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, K. I. P.; TOLEDO, D. B.; LIMA, O. A. New etheramine collector for the reverse flotation of iron ore effective on the overfrothing prevention. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA (ENTMME), 27, 2017, Belém. Anais... Belém: ENTMME, 2017.

ARAÚJO, A. C.; VIANA, P. R. M.; PERES, A. E. C. Reagents in iron ores flotation. *Minerals Engineering*, v. 18, n. 2, p. 219-224, 2005.

BALTAR, C.A. M., Flotação: em nova abordagem. 1.ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2021, p.31.

FILIPPOV, L.O., SEVEROV, V.V., FILIPPOVA, I.V., 2014. An overview of the beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation. *Int. J. Miner. Process.* 127, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2014.01.002>.

HOUOT, R., 1983. Beneficiation of iron ore by flotation- Review of industrial and potential applications. *Int. J. Miner. Process.* 10, 183-204. <https://doi.org/10.1016/0301>.

LIMA, R.M.F., BRANDÃO, P.R.G., PERES, A.E.C., 2005. The infrared spectra of amine collectors used in the flotation of iron ores. *Miner. Eng.* 18, 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.016>.

SOUZA, H.S., TESTA, F.G., BRAGA, A.S., KWITKO-RIBEIRO, R., OLIVEIRA, A.H., LEAL FILHO, L.S., 2015. Desenvolvimento de uma rota de flotação com alternativa para concentração de minérios de manganês de baixo teor. In: XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Poços de Caldas-MG, 18 a 22 de Outubro 2015 (in Portuguese).

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Iron Ore*. In: *Mineral Commodity Summaries* 2026. Reston, VA: U.S. Geological Survey, fev. 2026. 2 p. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026-iron-ore.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2026.