

# **Estudos de flotação aniônica direta de rejeito de minério de ferro para produção de areia**

## **Studies on anionic flotation direct of iron ore tailings for sand production**

**Thais Oliveira de Siqueira**  
Bolsista PCI, Eng. Química, B. Sc.

**Elves Matiolo**  
Supervisor, Eng. Minas, D. Sc.

### **Resumo**

O presente trabalho apresenta os resultados de ensaios de flotação aniônica direta de ferro com amostra de rejeito proveniente de um separador magnético de uma mina no Quadrilátero Ferrífero para a produção de areia. A partir de uma amostra com 6% de Fe e 93% de SiO<sub>2</sub>, a flotação aniônica de minério de ferro mostrou-se eficiente em remover o contaminante da fração afundada atingindo teores de Fe abaixo de 2%. O coletor utilizado foi o ácido graxo saponificado variando as dosagens entre 60 g/t e 414g/t. O melhor teste foi alcançado com a dosagem de 242 g/t, atingindo uma recuperação mássica de 74,3%, recuperação metalúrgica de SiO<sub>2</sub> de 80,4% e o teor de SiO<sub>2</sub> de 97,3%; além de obter o menor teor de Fe na fração afundada (1,2%) que poderá ser utilizada como areia na construção civil.

**Palavras-chave:** flotação; areia; rejeito; minério de ferro.

### **Abstract**

This paper presents the results of direct anionic iron flotation tests on a tailings sample from a magnetic separator at a mine in the Iron Quadrangle for the production of sand. Starting with a sample containing 6% Fe and 93% SiO<sub>2</sub>, the anionic flotation of iron ore proved to be efficient in removing the contaminant from the sinking fraction, achieving Fe contents below 2%. The collector used was saponified fatty acid, with dosages varying between 60g/t and 414g/t. The best test was achieved with a dosage of 242 g/t, achieving a mass recovery of 74.3%, metallurgical recovery of SiO<sub>2</sub> of 80.4% and SiO<sub>2</sub> content of 97.3%; in addition to obtaining the lowest Fe content in the sunk fraction (1.2%) which could be used as sand in construction.

**Keywords:** flotation; sand; tailings; iron ore.

## 1. Introdução

A areia desempenha um papel fundamental na construção civil, sendo um dos principais agregados na produção de concretos, argamassas, bases de pavimento e asfaltos. No cenário nacional, a principal fonte de areia natural é majoritariamente oriunda da extração de leitos de rios, enquanto um pequeno percentual é proveniente de várzeas e mantos de decomposição de rochas. O processo de obtenção desse agregado consiste no processamento de lavra, como o desmonte hidráulico e a dragagem (SEBRAE, 2010). De acordo com a Agência Nacional de Mineração (2017), foram produzidas aproximadamente 312 milhões de toneladas de areia destinadas ao setor de construção civil em 2016.

Ao mesmo tempo em que cresce a demanda por esse agregado, o processamento mineral gera um alto volume de resíduos que impactam o meio ambiente. Assim, surge a necessidade de minimizar tais problemáticas. Dessa forma, a flotação de rejeitos oriundos do beneficiamento de minério de ferro se apresenta como uma alternativa promissora porque além de possibilitar uma destinação mais adequada aos rejeitos e evitar o acúmulo de material metálico em barragens, pode reduzir a quantidade de areia a ser extraída do meio ambiente e proporcionar um ganho econômico para a empresa mineradora a partir da comercialização de um subproduto arenoso destinado à construção civil. (PEDROSO, 2020).

A flotação é uma das principais tecnologias aplicadas nas etapas de concentração de minerais. O processo de flotação fundamenta-se em diferenças nas propriedades superficiais dos minerais, sendo a hidrofobicidade a propriedade física diferenciadora que permite a separação e a concentração dos minerais de interesse (AGUIAR, 2017).

Em geral, existem duas rotas diferentes de flotação para o minério de ferro: a flotação catiônica reversa e a flotação aniônica direta. A primeira tecnologia é comumente aplicada a minerais com alto teor de ferro e possui maior seletividade, além de usar a amina como coletor (Costa, 2009). Na flotação aniônica direta, o coletor utilizado é um ácido graxo e é direcionada a minérios de baixo teor de ferro ou para recuperação do metal em rejeitos (Lopes, 2009).

## 2. Objetivos

O objetivo geral foi avaliar determinar a faixa de dosagem ideal de coletor necessária à remoção dos minerais portadores de ferro contido em amostras de rejeito de um separador magnético

Os objetivos específicos são:

- Realizar a caracterização física e química da amostra de minério;
- Avaliar a influência da dosagem do coletor sobre desempenho metalúrgico dos ensaios de flotação em termos de teor e recuperação de Fe e SiO<sub>2</sub>.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Preparação da amostra

O rejeito de minério de ferro foi recebido pelo corpo técnico do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) com uma massa aproximada de duas toneladas base seca. Após o recebimento das amostras, foram realizadas as etapas de homogeneização, pilha cônica e, por fim, a pilha alongada para a retirada de amostras representativas de 2 kg para serem empregadas na operação unitária de flotação, conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1. Etapa de homogeneização da amostra, execução da pilha cônica e alongada para caracterização.

#### 3.2. Caracterização

A distribuição de tamanho de partículas para caracterizar a amostra foi realizada através do peneiramento a úmido, utilizando peneiras laboratoriais circulares (8") das marcas Bertel e Granutest. Utilizou-se a série Tyler com as seguintes peneiras: 150, 106, 74, 53 e 38  $\mu\text{m}$ . As massas obtidas em cada fração foram secas em estufa a 100°C, pesadas e quarteadas, obtendo-se alíquotas para análise química. As análises químicas das amostras cabeça e dos fluxos resultantes dos ensaios de flotação foram caracterizados através da técnica de Fluorescência de Raios X (FRX) em laboratório contratado. As substâncias químicas analisadas foram: Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, P, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub> e PPC.

#### 3.3. Reagentes

Os reagentes utilizados nos ensaios de flotação foram: coletor Lioflot 502A após saponificação com concentração de 4% e solução de 20 % de NaOH para saponificação do ácido graxo.

#### 3.4. Ensaios de flotação

Os ensaios de flotação em escala de bancada foram realizados em uma célula mecânica convencional da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência, conforme ilustrado na Figura 2. Para cada ensaio utilizou-se aproximadamente 2 kg de amostra de minério de ferro em uma cuba de volume igual a 3L. Previamente à flotação, foi adicionado o coletor, que foi condicionado por cinco minutos em pH natural de 8,0 a

9,1. A porcentagem de sólidos no condicionamento foi de 60%. Após o condicionamento, a polpa foi diluída para uma porcentagem de sólidos de aproximadamente 47% a fim de alimentar a etapa *rougher* da flotação. Por fim, os produtos gerados por cada ensaio de flotação, o concentrado *rougher* e o rejeito *rougher*, foram filtrados, secos, pesados e enviados para análise química pela técnica de FRX.



Figura 2. Máquina de flotação mecânica Denver, modelo D12 do CETEM utilizada nos ensaios de flotação em escala de bancada.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Análises Físicas e Químicas

A amostra de minério de ferro foi caracterizada quanto a sua composição química pela técnica de FRX e quanto aos parâmetros físicos, como densidade e distribuição granulométrica, que foram determinados, respectivamente, através da picnometria de gás hélio e por peneiramento a úmido. O valor da densidade obtido pela picnometria foi de 2,8 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com a distribuição granulométrica, o P<sub>80</sub> da amostra cabeça é de aproximadamente 121 µm e 14% do material apresenta granulometria inferior a 38 µm.

A caracterização química indicou que os principais componentes contidos nesta amostra de rejeito de minério de ferro são: SiO<sub>2</sub> (93%), que é o óxido mais abundante nesta amostra; o Fe (6,2%), que é o principal elemento contaminante, e por último, o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com teor de aproximadamente 1%.

### 4.2. Ensaio de flotação

Foram realizados ensaios de flotação em bancada do rejeito de minério de ferro a fim de avaliar a melhor dosagem do coletor para um circuito *rougher*. A Tabela 1 apresenta os resultados de recuperação em massa e os teores e recuperação de Fe, SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para o concentrado final. O teor de SiO<sub>2</sub> no concentrado variou de 94,1% a 98,3% para recuperações de SiO<sub>2</sub> variando entre 53,3% a 99%. O Fe, que é o principal contaminante

para esse processo, apresentou teor médio de 2,4% com recuperação metalúrgica de 34,1%. Já o  $Al_2O_3$ , outra impureza dessa amostra, não apresentou variação significativa quanto ao teor, no qual o valor médio foi de 0,5%, além de recuperação metalúrgica de aproximadamente 47%, em média.

Tabela 1. Resumo dos ensaios de flotação em bancada com configuração *rougher*.

Teste	Coletor: Lioflot 502 <sup>a</sup> g/t	Rec Mas. (%)	Teor (%)			Rec. Met. (%)		
			Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	150,9	90,7	2,8	98,2	0,6	42,6	96	58,1
2	80,4	94,7	4,5	94,4	0,6	73,6	97,2	66
3	100,7	95,1	4,5	94,6	0,7	72,9	97,8	70,5
4	120,8	92,4	3,4	96,2	0,5	55,3	96,4	60
5	60,6	97,3	5	94,2	0,8	83,3	99	78,5
6	200,2	80,1	1,6	94,7	0,6	20,2	87,7	43,9
7	252,9	69	1,2	98,3	0,5	13,7	74,9	34,2
8	311,5	62,9	1,7	94,1	0,6	16,4	68,2	38,4
9	353,4	58,2	1,4	95,7	0,6	13,3	63,7	31
10	414,4	49	1,5	98,2	0,5	11,8	53,3	25,6
11	120,4	85	2,1	96,3	0,5	29,6	91,3	48,7
12	150,1	84	2	96,2	0,5	27,7	90,2	45,4
13	180,6	77	1,5	97,3	0,5	19,5	83,2	40,1
14	211,8	72,6	1,3	97,5	0,3	16	78,5	28,7
15	241,9	74,3	1,2	96,8	0,5	15,4	80,4	38

O último teste de flotação foi o ensaio que apresentou o menor valor de teor de contaminante ferro (1,2%) no concentrado *rougher* com uma dosagem intermediária de coletor (242 g/t). Nessa condição, obteve-se uma recuperação mássica de 74,3%, além de altos valores de teor (96,8%) e recuperação metalúrgica de SiO<sub>2</sub> (80,4%).

A Figura 3 representa o efeito da dosagem dos reagentes sobre o teor de Fe no afundado. De acordo com o gráfico abaixo, observou-se que em todos os ensaios realizados com uma dosagem de coletor acima de 121 g/t obtiveram resultados conforme a especificação requerida de teor de Fe, menor que 3% no concentrado final. No entanto, verificou-se que a faixa entre 180 g/t e 253 g/t aparenta ser o intervalo ótimo de dosagem de coletor, tendo em vista que é possível obter valores de teor de contaminante (Fe) abaixo de 2%, menores que a especificação.

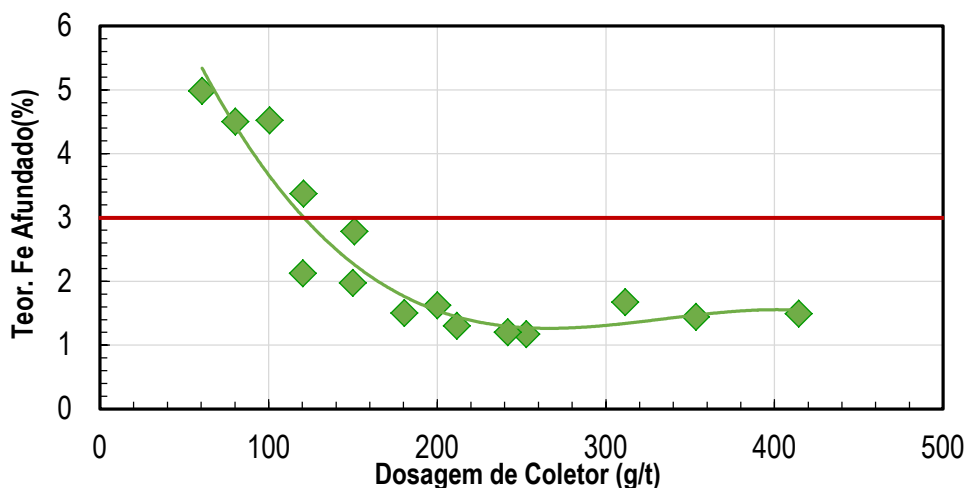


Figura 3. Efeito da dosagem de coletor sobre o teor de Fe no afundado.

## 5. Conclusão

Foi avaliado o efeito da variação da dosagem de coletor cujo intervalo foi de 61 g/t a 414 g/t sobre a eficiência de remoção de Fe em uma amostra de rejeito da separação magnética de um circuito de beneficiamento de minério de ferro. Segundo os balanços de massa, o teor de Fe no afundado apresentou valor entre 1,2 a 5%, enquanto o teor de SiO<sub>2</sub> nesta mesma fração variou de 94,1% a 98,3% com recuperação metalúrgica entre 53,3 e 99%.

O teste que apresentou o menor teor de Fe no concentrado final com valor de 1,2% foi obtido com dosagem de coletor de 242 g/t, teor de SiO<sub>2</sub> de 98,3% com recuperação metalúrgica de 80,4%, além de recuperação mássica de 74,3%. Dessa forma, o concentrado gerado pode ser utilizado como areia, já que atinge o requisito referente ao teor de sílica especificado pela ABNT NBR 7214 (acima de 95%), a qual discorre que tal material é destinado à execução do ensaio de determinação da resistência a compressão do cimento Portland.

De acordo com os testes de flotação aniônica em escala de bancada, os resultados demonstraram a possibilidade de obter concentrados que atendam às especificações requeridas de teor de ferro abaixo de 3% a fim de produzir areia destinada à construção civil.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CETEM/MCTI pela estrutura e suporte para a execução deste estudo. Ao CNPq pelo suporte para execução deste estudo e pela bolsa concedida.

## 7. Referências Bibliográficas

AGUIAR, M.A.M. **Seletividade na Flotação Catiônica de Minério de Ferro**. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 2017, Belém, PA. p.1-8 CHAVES, A. P.; FILHO, L. S. L.; BRAGA, P. F. A. Flotação. In: : LUZ, Adão;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2015. Acesso em: 11 out. 2023

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Sumário Mineral** / Coordenação Geral Marina Marques Dalla Costa, Karina Andrade Medeiros e Thiers Muniz Lima. Brasília: ANM, 2019. 13 201 p.: il.; 29 cm. Disponível em: <[http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serieestatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral\\_2017](http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serieestatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017)>. Acesso em: 27 set. 2023.

Costa, J. L.- Seletividade na flotação de minérios ferríferos dolomíticos. Ouro Preto: Escola de Minas da UFOP – Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas -136p., 2009.

LOPES, G. M. Flotação direta de minério de ferro. 2009. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2009.

PEDROSO, Daniela Evaniki. **Aproveitamento do rejeito de minério de ferro em compósitos para construção civil**. 2020. 115 f. Tese (Doutorado na área de concentração de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: < <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4941/2/rejeitominerioconstrucaocivil.pdf>. Acesso em: 04 out. 2023

SEBRAE. **A exploração e comércio de areia**. 2010. p. 1-42. Disponível em: <[https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/IDEIAS\\_DE\\_NEGOCIO/PDFS/187.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/IDEIAS_DE_NEGOCIO/PDFS/187.pdf)> Acesso em: 29 set. 2023.