

# APLICAÇÃO DE EXTENSOR DE CADEIA E EMULSIFICANTE NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

José Pedro da Silva <sup>1</sup>  
Alaine Moreira Imbelloni <sup>2</sup>  
Carlos Alberto Pereira <sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da flotação reversa de minério de ferro, usando coletor (amina), na presença e na ausência de extensor de cadeia (óleo diesel) e emulsificante (lauril sulfato de sódio). Foram realizados seis ensaios de flotação com duplicata. Os ensaios utilizando amina, óleo diesel e lauril sulfato de sódio são os que mostram um melhor resultando, apresentando recuperação metálica de 91,82% e sílica no concentrado igual a 1,68%. Assim, comprova-se que o uso do extensor de cadeia e emulsificante, em conjunto com a amina, evidencia um melhor resultado na flotação, em termos de recuperação metálica e seletividade, comparativamente ao uso de apenas amina, ou amina com óleo diesel.

**Palavras- chave:** Flotação; Amina; Emulsificante.

## CHAIN EXTENDER AND EMULSIFIER APPLICATION IN IRON ORE FLOTATION

## Abstract

The present study aims to evaluate the reverse flotation performance of iron ore, using collector (amine), in the presence and absence of chain extender (diesel oil) and emulsifier (sodium lauryl sulfate). Six tests were realized with duplicate. Tests using amine, diesel oil and sodium lauryl sulphate show the better results, with metallurgical recovery of 91.82% and the concentrate silica equal 1.68%. Thus, it is found that the use of emulsifier and chain extender together with the amine, shows better results in the flotation, in terms of metal recovery and selectivity, when compared to using only amine or amine and diesel oil.

**Key words:** Flotation; Amine; Emulsifier.

---

<sup>1</sup>Engenheiro metalúrgico, Professor associado em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Rua Anália Esteves Ribas, 331, Jardim Alvorada, Cep 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: josepedro.josepedro@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Engenheira de Minas, Mestra em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Rua João XXIII, 169, São Cristóvão, Cep 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: alaine\_imbeloni@hotmail.com

<sup>3</sup>Engenheiro de Minas, Professor Associado, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Rua João XXIII, 240, São Cristóvão, CEP 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail pereiraufop@gmail.com

## I INTRODUÇÃO

A técnica de flotação reversa é a mais utilizada entre os processos de concentração de minério de ferro. A amina é utilizada como agente coletor do quartzo, e o amido, como depressor dos minerais de ferro.

Baltar<sup>(1)</sup> define as aminas como coletores catiônicos derivados do amônio (NH<sub>3</sub>), pela substituição de um ou mais de seus átomos de hidrogênio por um número correspondente de cadeias hidrocarbônicas.

De acordo com Neder e Leal Filho,<sup>(2)</sup> as aminas e seus derivados adsorvem não especificamente (adsorção eletrostática) nas superfícies dos oximinerais. Formam-se íons associados na interface mineral/solução, chamados de hemi-micelas, ocorrendo interações entre as cadeias hidrocarbônicas dos coletores por forças laterais de Van der Waals. As hemimicelas apresentam sua parte polar (hidrofílica) voltada para o mineral e sua parte apolar (hidrofóbica) direcionada para o interior da solução.

Os coletores com cadeias longas podem proporcionar maiores recuperações, apesar de apresentarem uma menor solubilidade. O óleo diesel é composto principalmente por hidrocarbonetos e pode ser utilizado como extensor de cadeia da amina. A preparação da emulsão pode interferir no resultado da flotação, tanto na recuperação como na seletividade, pois adição de reagentes oleosos na polpa sem emulsificação não é tão eficaz, uma vez que eles são pouco dispersos e grande quantidade de óleo fica na superfície, passando através da espuma, aumentando assim o consumo do reagente e a contaminação dos efluentes aquosos. Para aumentar a estabilidade das emulsões são adicionados reagentes que são adsorvidos na interface entre as fases líquidas, e são formados filmes estabilizantes de adsorção, que impedem a agregação ou coalescência das gotículas.<sup>(3)</sup>

O efeito de óleos apolares na flotação depende da sua composição química e das condições de sua preparação antes da flotação. De acordo com Pereira,<sup>(3)</sup> o uso de óleos apolares como reagentes de flotação apresentam as seguintes vantagens: redução da dosagem de coletor requerida; aumento da taxa de hidrofobicidade do mineral a ser flotado, devido à melhor adesão bolha-partícula; melhor seletividade do processo; maior probabilidade de flotação de partículas grossas, sem contaminação do flotado.

Estudos de Capponi, Matiolo e Rubio<sup>(4)</sup> mostram que o uso de óleos emulsificados, incluindo o óleo diesel, na flotação de sulfetos de cobre, após a adição dos coletores tradicionais, aumenta a recuperação metálica de

cobre e molibdênio, e a constante cinética de flotação. Os resultados são devidos ao aumento da hidrofobicidade e agregação das partículas finas e ultrafinas por forças de efeito hidrofóbico.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho da flotação reversa de minério de ferro, utilizando emulsão de amina e óleo diesel, com o emulsificante lauril sulfato de sódio (C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>NaO<sub>4</sub>S), variando-se as dosagens de coletor e as combinações de cada reagente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra utilizada nos ensaios foi coletada na alimentação da flotação industrial já moída e deslamada. Foram realizados seis ensaios de flotação em bancada com duplicata em duas sequências de três ensaios cada, utilizando amina na presença e ausência de extensor de cadeia e emulsificante, em diferentes dosagens. A dosagem do depressor (amido) e os demais parâmetros dos ensaios (pH, rotação do rotor da célula e vazão de ar) foram mantidos constantes.

### 2.1 Metodologia

Após a secagem, foi realizada a homogeneização e quarteamento da amostra global no quarteador carrossel, separando as alíquotas para os ensaios de flotação e para a caracterização da alimentação, a partir de análises granulométricas, química e mineralógica. Em seguida, prepararam-se os reagentes, de acordo com o estabelecido pela campanha de ensaios preliminares.

Para avaliação do impacto do uso do óleo diesel como extensor de cadeia da amina e o emprego do lauril sulfato de sódio como emulsificante, foi organizada uma campanha de ensaios dividida em duas sequências.

A primeira sequência foi estabelecida visando avaliar a substituição de 14% da amina por óleo diesel e, finalmente, avaliar a adição de emulsificante lauril sulfato de sódio na proporção 10:1 da mistura amina+óleo:lauril.

A segunda sequência foi estabelecida visando avaliar a adição de 14% de óleo à amina e, finalmente, avaliar a adição de emulsificante lauril sulfato de sódio na proporção 11:1 da mistura amina+óleo:lauril. Os ensaios foram realizados com as dosagens de reagentes mostradas na Tabela I.

**Tabela I.** Dosagens dos reagentes de acordo com as duas sequências de ensaios de flotação

Sequência	Ensaio	Amina (g/t)	Óleo diesel (g/t)	Lauril sulfato de sódio (g/t)
1 <sup>a</sup>	1	40,0	0,0	0,0
	2	34,4	5,6	0,0
	3	34,4	5,6	4,0
2 <sup>a</sup>	4	40,0	0,0	0,0
	5	40,0	5,6	0,0
	6	40,0	5,6	4,0

As dosagens de amina foram definidas levando em conta a prática industrial da flotação reversa do minério de ferro em estudo. As dosagens dos reagentes (óleo diesel e lauril sulfato de sódio) foram pré-definidas experimentalmente.

## 2.2 Preparação dos Reagentes

A quantidade de lauril sulfato de sódio utilizada nas emulsões foi experimentalmente definida. O critério adotado foi a quantidade suficiente para permitir que as fases amina e óleo diesel não se separassem até 60 minutos passados a partir da preparação da emulsão. Todas as emulsões apresentavam a mesma concentração de amina (1%).

Foram preparadas as seguintes emulsões:

- *Emulsão de amina*: pesou-se a amina (10 g) em um béquer, que foi colocado em agitação (agitador magnético), e acrescentaram-se 500 mL de água;
- *Emulsão de amina e óleo*: pesaram-se no mesmo béquer a amina (10 g) e o óleo diesel. O béquer foi colocado em agitação (agitador magnético) e acrescentaram-se 500 mL de água;
- *Emulsão de amina, óleo e emulsificante*: pesaram-se no mesmo béquer a amina (10 g) e o óleo. Colocou-se o béquer em agitação (agitador magnético) e acrescentaram-se 500 mL de água. Pesou-se o emulsificante em um vidro de relógio, que, posteriormente, era adicionado aos poucos no béquer, com amina, óleo diesel e água em agitação.

Após 5 minutos de agitação, as emulsões foram transferidas para um balão de vidro de 1.000 mL, completando-se o volume com água deionizada.

## 2.3 Ensaios de Flotação em Bancada

Para os ensaios de flotação em bancada, foi utilizada a célula mecânica modelo CDC, com extrator de espuma e cuba de acrílico de 3.500 mL. Em todos os ensaios a rotação da célula permaneceu em 1100 rpm e a vazão de ar na flotação em 5 L/min.

Os ensaios de flotação seguiram o padrão *rougher e cleaner*, de acordo com os seguintes procedimentos:

- Amostra de 1.500 g e 40% de sólidos em cuba de acrílico e agitação da polpa;
- Adição do depressor (amido na forma de farinha de mandioca da Amafil) com condicionamento por 5 minutos, na dosagem de 450 g/t;
- Correção do pH com NaOH para o valor de 10,5;
- Adição de coletor ou emulsão e condicionamento por 1 minuto;
- Flotação por 5 minutos; e
- Filtragem e secagem em estufa, e pesagem dos produtos: concentrado e rejeito.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização da Amostra

De acordo com a distribuição granulométrica, a amostra utilizada nos ensaios apresentava granulometria 90% abaixo de 0,149 mm (Figura 1).

A mineralogia da amostra de minério de ferro foi analisada demonstrando elevada porcentagem de hematita especular e quartzo liberado. A Tabela 2 apresenta o resultado da mineralogia analisada a partir da porcentagem por área e por porcentagem em peso. A amostra global apresentava teor de ferro de 46,8%.

### 3.2 Ensaios de Flotação em Bancada

Para os ensaios de flotação em bancada, os parâmetros considerados mais importantes foram: recuperação em massa, recuperação metálica, teor de sílica e índice de seletividade de Gaudin.

Os resultados da recuperação em massa obtidos nas duas sequências de ensaios (substituindo 14% da amina por óleo diesel e adicionando 14% de óleo à amina) estão mostrados na Figura 2.

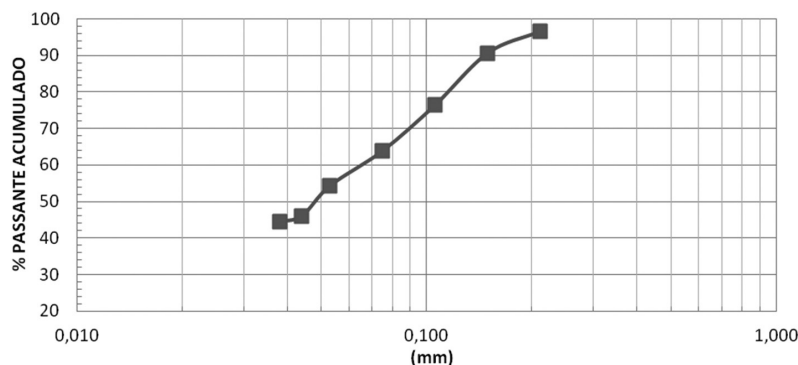


Figura 1. Distribuição granulométrica da alimentação dos ensaios de flotação.

Em ambas as seqüências ocorre aumento na recuperação em massa e os melhores resultados são obtidos nos ensaios empregando o emulsificante. Destaca-se o ensaio realizado substituindo 14% da amina por óleo diesel e lauril sulfato de sódio no qual se obtém o melhor resultado de recuperação em massa.

Os resultados obtidos de recuperação metálica, nas duas seqüências de ensaios, estão mostrados na Figura 3. Os melhores resultados de recuperação metálica também são obtidos nos ensaios empregando a dosagem de óleo diesel e emulsificante, sendo o maior valor obtido no ensaio substituindo 14% da amina por óleo diesel.

A Figura 4 mostra os resultados de sílica no concentrado. Observa-se uma tendência da elevação deste contaminante quando é feita a substituição da amina por óleo diesel. No entanto, obtém-se uma estabilidade do

teor de sílica no concentrado acompanhada do aumento da recuperação, em peso e metálica, no ensaio realizado mantendo a dosagem da amina e adicionando o óleo diesel e o emulsificante lauril.

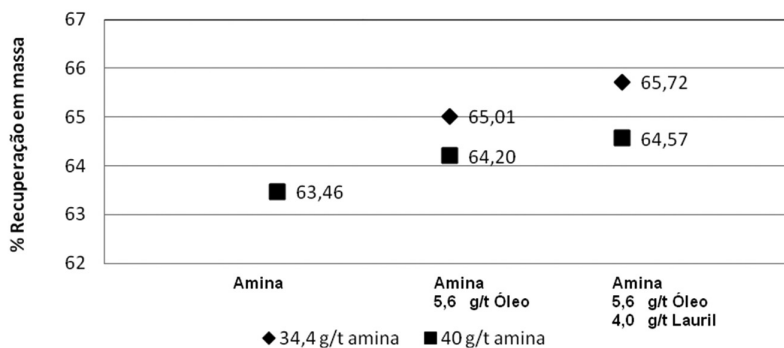
Os valores de índice de seletividade de Gaudin são calculados a partir dos resultados obtidos nos ensaios e estão mostrados na Figura 5. Observa-se uma tendência de estabilidade entre os ensaios realizados somente com amina e nos ensaios em que 14% da amina foi substituída por óleo, mesmo com a adição do emulsificante lauril. O índice de seletividade do ensaio realizado mantendo a dosagem da amina e adicionando o óleo e lauril é o maior.

Assim, em todos os parâmetros avaliados, os ensaios realizados empregando a amina, óleo diesel e emulsificante lauril sulfato de sódio apresentam melhores resultados, com exceção do teor de sílica no concentrado que mostra tendência de elevação à medida que a amina é substituída por óleo diesel. No entanto, no ensaio

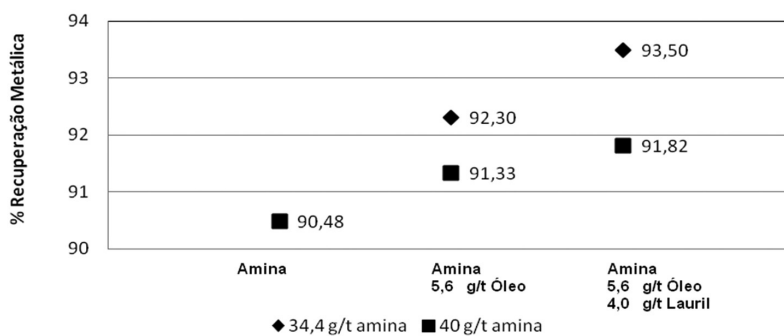
**Tabela 2.** Mineralogia analisada a partir da porcentagem da área analisada e da porcentagem em peso

	% da área	% em peso
<b>Hematita especular</b>	35,7	44,7
<b>Hematita porosa</b>	15,3	19,1
<b>Goethita botrioidal</b>	5,3	5,5
<b>Goethita maciça</b>	2,9	3,1
<b>Magnetita</b>	3,3	4,0
<b>Quartzo</b>	36,6	23,1
<b>Quartzo misto</b>	0,9	0,5

502 minerais contados



**Figura 2.** Gráfico mostrando recuperação em massa nas duas seqüências de ensaios.



**Figura 3.** Gráfico mostrando a recuperação metálica no concentrado obtido em cada ensaio, nas diferentes dosagens de amina.



Figura 4. Gráfico do teor de sílica no concentrado.

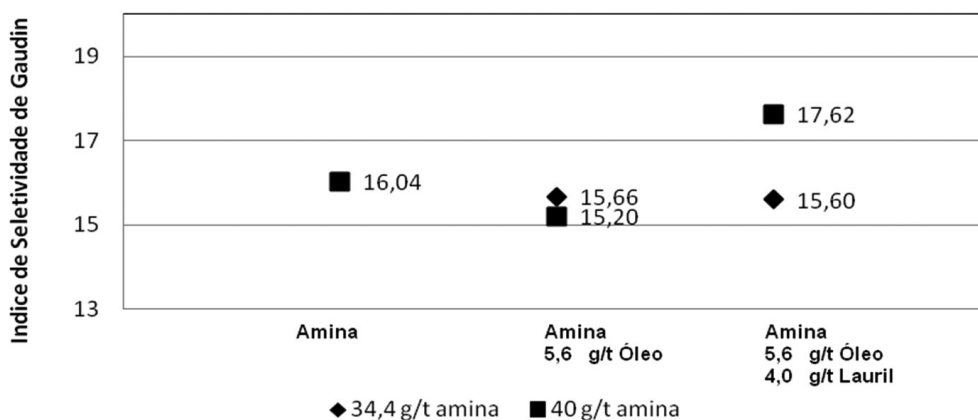


Figura 5. Gráfico mostrando o índice de seletividade de Gaudin.

com 14% da amina substituída por óleo diesel e emulsificante há significativo aumento da recuperação em massa e metálica. De acordo com os estudos de Pereira,<sup>(3)</sup> para possibilitar a utilização do óleo diesel na flotação reversa de minério de ferro é a sua necessária emulsificação prévia com água e amina, utilizando-se um reagente emulsificante. Isso pode justificar o melhor resultado da flotação.

Segundo Capponi, Matiolo e Rubio,<sup>(4)</sup> existem diferenças entre a flotação realizada com óleos não emulsificados e os coletores tradicionais adicionados no mesmo instante (convencional), e a realizada com a adição de óleo emulsificado após a adição dos coletores. A dispersão do óleo diesel em água é função do ponto e forma de adição e da agitação. A alimentação na forma de emulsão apresenta vantagens porque a difusão das “gotas” do óleo até a superfície das partículas é mais rápida e uniforme.

Para uma aplicação industrial deve-se levar em consideração a especificação de sílica no concentrado. É necessário adotar a melhor proporção entre a amina e o óleo diesel que permita um aumento na recuperação metálica, mantendo o teor de sílica dentro dos limites aceitáveis para o minério.

## 4 CONCLUSÃO

Os ensaios realizados demonstram melhora no desempenho metalúrgico da flotação do minério itabirítico refletido no aumento da recuperação em massa, recuperação metálica e seletividade (representada pelo índice de seletividade de Gaudin) quando se utiliza a emulsão de amina, óleo diesel e emulsificante lauril sulfato de sódio.

A proporção entre amina e óleo diesel deve ser a que favoreça o desempenho metalúrgico da flotação dentro do limite de especificação de sílica no concentrado. Pode ser estabelecida uma aplicação industrial fixando uma dosagem do óleo diesel e do emulsificante lauril sulfato de sódio e variando a dosagem de amina de acordo com o teor de sílica no concentrado. Uma redução dos custos operacionais pode ser tanto maior quanto maior for a proporção de óleo diesel empregado em substituição à amina, pois aquele custa em média 5 vezes menos o custo desta, o que poderia justificar o uso de mais um reagente no processo de concentração.

Entretanto, para o emprego de óleo diesel na flotação, existem restrições de caráter ambiental, uma vez que não são biodegradáveis e, também, porque atualmente buscam-se alternativas para minimizar a demanda de óleos derivados do petróleo, por serem fontes de energia não renováveis. De acordo com Vichi e Mansor,<sup>(5)</sup> a finitude dos recursos fósseis, aliada aos danos ambientais que eles causam têm levado a uma busca, cada vez mais intensa, por fontes de energia limpas e renováveis, tais como os biocombustíveis, incluindo o biodiesel. Desta forma, vê-se uma oportunidade de continuação desta pesquisa substituindo

o diesel pelo biodiesel ou suas variações, comprovando sua eficácia na flotação e verificando seus impactos ambientais bem como a forma de mitigá-los.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Samarco Mineração S/A; a UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – Fapemig; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

## REFERÊNCIAS

- 1 Baltar CAM. Flotação no tratamento de minérios. Recife: Departamento de Engenharia de Minas/ Universidade Federal de Pernambuco; 2008.
- 2 Neder EE, Leal Filho LS. O uso de aminas graxas e seus derivados na flotação de minérios brasileiros. In: Anais do 21. Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – ENTMME; Natal, Brasil; 2005. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2005. v. 1, p. 53-75.
- 3 Pereira RSN. O uso de óleos apolares na flotação catiônica reversa de um minério de ferro [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais; 2004.
- 4 Capponi F, Matiolo E, Rugio J. Flotação extensora de finos de minério de cobre e molibdênio. In: Anais do 21. Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – ENTMME; Natal, Brasil; 2005. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2005. v. 1, p. 235-242.
- 5 Vichi FM, Mansor MTC. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. Quim Nova. 2009; 32:757-767. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000300019>

Recebido em: 25/10/2012

Aceito em: 06/06/2013