

# UTILIZAÇÃO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA DA INDÚSTRIA MINERAL

**Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva**

Bolsista de Inic. Científica, Química Licenciatura, UFRJ

**Sílvia Cristina Alves França**

Orientadora, Eng<sup>a</sup>. Química, D. Sc.

## RESUMO

*Nesse trabalho está sendo estudado o processo de flotação por ar dissolvido (FAD) no tratamento do rejeito provenientes do processo de flotação do minério de ferro. O objetivo desse estudo é a recuperação da água presente nesse rejeito, cerca de 50% em volume, visando a sua reutilização no processo de beneficiamento mineral.*

*Porém, a reutilização dessa água estará relacionada com a sua qualidade, no tocante às quantidades de sólidos dissolvidos e reagentes residuais que apresentar após o tratamento. Para tal, faz-se necessária a otimização dos parâmetros operacionais da FAD, para cada tipo de rejeito a ser tratado.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em razão do grande potencial mineral do Brasil e do elevado volume de água utilizada nas tecnologias de lavra e beneficiamento mineral, o tratamento de água tornou-se uma etapa crítica para a indústria de mineração, sob aspectos ambientais, econômicos e jurídicos. A variedade de produtos químicos utilizados nas diversas etapas do beneficiamento de minérios cresceu com a necessidade de aumentar a eficiência dos processos e, dentre estes, ressaltam-se os produtos orgânicos, que são utilizados em elevadas concentrações, como depressores, dispersantes, floculantes, coletores, espumantes, auxiliares de filtração, dentre outros. A remoção destes produtos permite aumentar a percentagem de água de recirculação e diminuir a contaminação nas barragens de rejeito.

Dessa forma, o crescente aumento no consumo de água, assim como o elevado nível de poluição dos rios e a dificuldade da renovação natural dos

recursos hídricos, pela intervenção do homem, vêm motivando o desenvolvimento de estudos com o objetivo de uma utilização mais racional dos recursos hídricos.

Um caso típico de uso de volumes elevados de água é o processo de concentração de minério de ferro, onde é utilizada a técnica de flotação reversa, para a separação da sílica do minério de ferro. Neste processo são utilizados como coletor e espumante alguns reagentes orgânicos, como as aminas, que são substâncias de difícil degradação e que também reduzem a taxa de absorção de oxigênio, diminuindo a velocidade de autodepuração dos rios.

Como o processo utilizado é o da flotação reversa o rejeito da coluna de flotação rico em sílica e amina, é encaminhado para a barragem. O tratamento desse rejeito da flotação do minério de ferro requer a atenuação das quantidades de sólidos suspensos, bem como das aminas, para que água tratada possa ser reutilizada no processamento mineral.

## **2. OBJETIVO**

Neste trabalho, estão sendo realizados ensaios em bancada e em escala piloto com o objetivo de recuperar a água utilizada no processamento mineral. O tratamento do efluente visa a sua reciclagem e adequação das percentagens de sólido (a partir da recuperação de finos do minério de ferro) para sua reutilização, aumentando dessa forma, a recirculação da água nas diversas operações de lavra e beneficiamento.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O material estudado é um efluente real da mineração de ferro, proveniente da Mineração Casa de Pedra – CSN. Na realidade, no processo de beneficiamento do minério de ferro, o rejeito da etapa *rougher* da flotação é que é considerado o efluente.

Nesse rejeito têm-se partículas coloidais de ferro e partículas maiores de sílica com amina adsorvida na sua superfície. O rejeito é composto por basicamente 50% de sólidos e essa fase é facilmente sedimentada por ação da gravidade (Figura 1-a). Dessa forma, o objeto de estudo desse trabalho é

a fase sobrenadante do rejeito da coluna *rougher* (Figura 1-b) cuja caracterização é mostrada na Figura 2, por meio de uma análise por difração de raios-X.

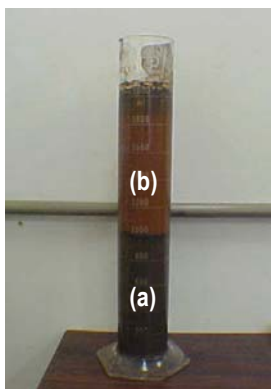


Figura 1 – Ensaio de Proveta com efluente da mineração de ferro a ser tratado

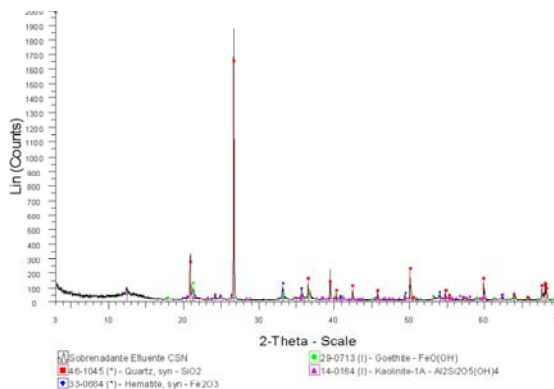


Figura 2 – Espectro de difração de raios-X da fase sobrenadante do rejeito estudado

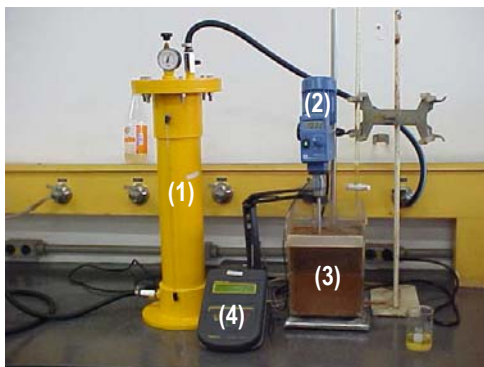
O espectro mostrado na figura acima identifica os minerais quartzo, hematita, goethita e caulinita.

### **3.1 Flotação por Ar Dissolvido (FAD)**

A flotação pode ser definida como um processo de separação de partículas via adesão de bolhas. A união partícula – bolha apresenta uma densidade menor que a do meio aquoso e flutua (levita) até a superfície da célula de flotação (ou interface líquido/ar) de onde as partículas são removidas. A remoção ocorre em uma fase de espuma, sendo o produto denominado de concentrado.

Hoje em dia a FAD é reconhecida por ser um dos mais econômicos e efetivos métodos de recuperação e remoção de sólidos, íons, microrganismo, redução da DQO e DBO e espessamento de lodo no tratamento de efluentes domésticos e ETE urbanos (Rubio e Tessele, 2002). O processo é realizado a partir da geração e introdução das bolhas no líquido por redução brusca de pressão; a dissolução do ar na água depende da temperatura e da pressão.

A unidade de bancada para flotação por ar dissolvido é mostrada na Figura 3, onde (1) é o vaso saturador; (2) é um agitador mecânico, para auxiliar na floculação e manter a homogeneidade da suspensão; (3) é a cuba de flotação e (4) é o medidor de pH, para controlar as condições de floculação. Essa unidade pode saturar 4,5 L de água e a cuba de flotação pode tratar 4,0 L de rejeito por batelada.



**Figura 3 – Unidade de FAD de bancada (batelada)**

Dentre as várias formas de contatar o ar com a água, o mais utilizado é o difusor onde a água, junto com o ar, passa por um empacotamento de anéis sob uma pressão de ar de 4 a 5 atm. Este empacotamento aumenta a superfície de contato e esta pressão permite que ocorra a saturação do ar na água. A água saturada com ar é injetada na célula de flotação através de uma válvula tipo agulha; a variação brusca de pressão faz com o ar que estava dissolvido retorne à forma gasosa, formando bolhas minúsculas que aderem às partículas, ocorrendo a flotação.

### 3.2 Coagulação e Floculação

A adesão bolha partícula pode ficar comprometida quando o efluente a ser tratado apresentar partículas finas (suspensões coloidais), já que estas apresentam grande estabilidade devido sua pequena dimensão e a existência de cargas superficiais que promovem a sua repulsão (Barraque et al, 1979). Um dos métodos utilizados para desestabilizar essas suspensões é a coagulação, que tem como objetivo unir as partículas finas em agregados maiores (flocos) suscetíveis de serem capturadas pelas microbolhas. Alguns produtos químicos podem ser utilizados com o objetivo de favorecer a formação de flocos, estes são os floculantes.

Alguns efluentes, após a adição de coagulantes, são capazes de flocular-se a partir da agitação homogênea e lenta, esse processo possibilita que partículas coloidais neutralizadas encontrem flocos já formados, favorecendo o processo de floculação. A Figura 4 mostra a montagem experimental em laboratório para a realização dos ensaios de coagulação /floculação.

Nesse trabalho foram estudados diferentes sistemas de reagentes, visando a otimização do processo de formação dos flocos, levando em conta as características requeridas para a flotação por ar dissolvido, bem como o custo do processo de floculação.

Tabela 1 – Reagentes utilizados no processo de coagulação/floculação

reagente	fórmula química	concentração
Cloreto férrico	$\text{FeCl}_3$	3,0 g/L
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	2,0 g/L
Ácido clorídrico	HCl	2,0 % (v/v)
Sulfato de alumínio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	10 % (m/v)



Figura 4– Unidade para ensaios de coagulação/floculação

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A otimização do processo de floculação das partículas é mostrado seguir. O pH inicial do sobrenadante do efluente era na faixa de 8,3, e este apresentava uma aparência extremamente turva.

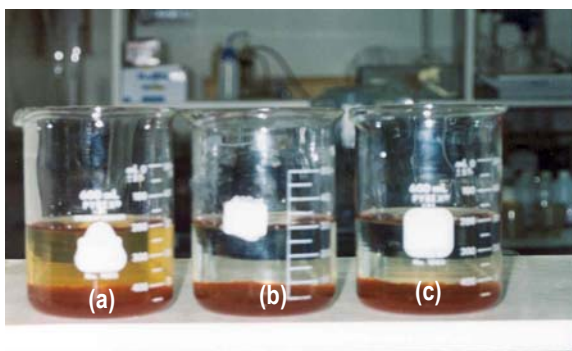
Durante a realização dos ensaios de coagulação/floculação foram estabelecidas duas metas: a máxima eficiência na floculação dos sólidos suspensos, porém, a valores finais de pH em torno de 6. A preocupação com o valor do pH está na possibilidade de interferências que essa água tratada possa causar a algumas etapas do processo de beneficiamento, devido à sua recirculação, bem como algum impacto ao meio ambiente em caso de descarte para as barragens de rejeitos.

Foram realizados diferentes ensaios para cada sistema de reagentes. Uma avaliação qualitativa dos resultados pode ser feita por meio da Figura 5; as condições operacionais de cada ensaio serão discutidas a seguir:

- (a) nesse caso, o sobrenadante teve o pH reduzido para valores próximos de 6,0 com uma solução de HCl 2% (v/v), o que já foi suficiente para promover a aglomeração das partículas. Porém, a qualidade do

sobrenadante não é satisfatória, apresentando ainda alguma turbidez, e o valor do pH já atingiu o seu valor mínimo aceitável;

- (b) na situação mostrada nessa figura, o sobrenadante foi floculado com uma solução de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  10% (v/v). A formação dos flocos foi eficiente e o sobrenadante mostrou-se de boa qualidade (sem turbidez);
- (c) finalmente, nesse ensaio de floculação foi utilizada uma solução de  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  de concentração 2g/L. Também nesse caso a floculação foi eficiente e o sobrenadante apresentou características satisfatórias ao reuso da água.



**Figura 5 – Ensaio de floculação do sobrenadante da CSN utilizando diferentes sistemas de reagentes**

O material floculado foi seco e analisado por difratometria de raios-X, para avaliação dos minerais que foram floculados, como pode ser observado nas Figuras 6 e 7.

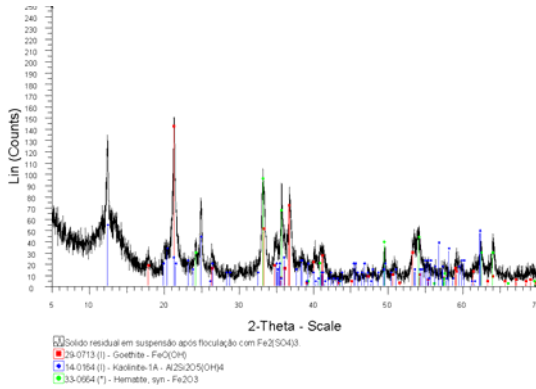


Figura 6 – Difratoograma de raios-X do precipitado ( sistema  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  )

Para a floculação realizada com a solução de sulfato férrico, foram encontrados nos flocos a goethita, caulinita e hematita.

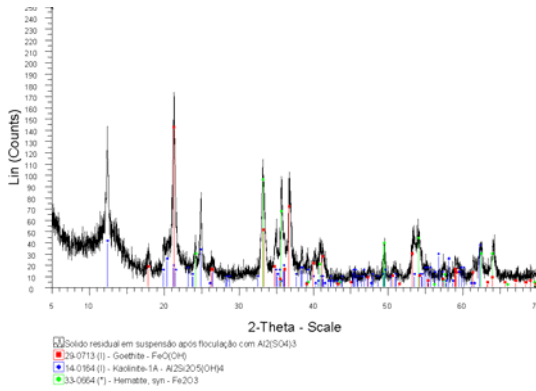


Figura 7 – Difratoograma de raios-X do precipitado ( sistema  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  )

Resultado semelhante foi observado para os sólidos floculados com sulfato



de alumínio, verificando-se também a presença de goethita, caulinita e hematita. Após a etapa de otimização da formação dos flocos, a suspensão floculada foi então submetida ao tratamento por flotação por ar dissolvido. A Figura 8 ilustra um ensaio de FAD em bancada, onde pode-se observar a formação de espuma, gerada a partir das microbolhas, carreando os flocos, que são recolhidos na superfície da cuba de flotação.



**Figura 8 – Espuma do processo de flotação por ar dissolvido**

## **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

Para que possa ocorrer a recuperação da água utilizando a técnica de FAD faz-se necessário um tratamento prévio do rejeito, retirando a fração grossa de sólidos por sedimentação, como já foi apresentado na Figura 1, e tratando o sobrenadante por coagulação/floculação.

Embora o sulfato de alumínio apresente custo menor que o dos demais floculantes estudados, resíduos de alumínio no concentrado de minério de ferro poderão afetar o processo siderúrgico de obtenção do aço.

Uma vez otimizadas as condições operacionais da FAD por meio de ensaios em batelada, será realizado o estudo do tratamento do rejeito em escala piloto. A qualidade da água tratada será avaliada pela empresa interessada, fazendo parte da etapa de otimização do processo em escala piloto.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BARRAQUE, CH. Y OTROS (1979). Manual Técnico del Agua – Coagulación y Floculación del Agua. Ed. Degremont, Salamanca-Espanha.
- BUNKER, D.Q., EDZWALD, J.K., DAHLQUIST, J. AND GILLBERG, L. (1995). "Upretreatment Consideration for Dissolved Air Flotation: Water Type, Coagulants and Flocculation". *Water Science and Technology*, VOL. 31, Nº 3-4, PAGES. 63-71.
- FRANÇA, S.C.A. (2003). "Utilização do Processo de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluente da Indústria Minero-Metalúrgica". Relatório Técnico, CETEM/MCT, 23P.
- LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., MONTE, M. B. M., ALMEIDA, S. L. (2002). Tratamento de Minérios, 3ª ed., CETEM/MCT, 850 p.
- MASSARANI, G. (2002). Fluidodinâmica em Sistemas Particulados, 2ª ed., Ed. E-papers, 152 p.
- OLIVEIRA, A. P. A., LUZ, A. B. (2001). Recursos Hídricos e Tratamento de Água na Mineração. *Série Tecnologia Ambiental*, nº 24, Ed. MCT/CETEM, 32p.
- RUBIO, J., TESSELE, F. ET AL. (2002). "Flotación Como Processo de Remoción de Contaminantes: Avances e Aplicaciones en la Flotación por Aire Dissuelto". *Minerales*, vol. 57, nº 243, p. 21-28.
- RUBIO, J., SOUZA, M. L. E SMITH, R. W. (2002). "Overview of Flotation as a Wsatewater Treatment Technique". *Minerals Engineering*, , nº 15, p. 139-155.

