

Tratamento de Efluente da Indústria Mineral Utilizando uma Unidade Piloto de Flotação por Ar Dissolvido

Daniel Guedes Nunes

Bolsista de Iniciação Científica, Eng. Químico, UFRJ

Silvia Cristina Alves França

Orientadora, Eng. Química, D. Sc.

Hudson Jean Bianchini Couto

Co-orientador, Eng. Químico, D. Sc.

Resumo

Para contornar um dos principais problemas da flotação convencional: a geração de bolhas relativamente grandes e, conseqüentemente, baixa recuperação de finos; novas concepções de flotação vêm ganhando destaque na indústria, como o processo de flotação por ar dissolvido (FAD), considerada uma tecnologia emergente. Este trabalho, que teve como etapas iniciais a avaliação da distribuição de tamanho das bolhas geradas na FAD (XV JIC do CETEM) e na otimização de parâmetros na eficiência da FAD em escala de bancada (XVI JIC do CETEM), consiste no estudo de variáveis inerentes ao processo contínuo de FAD em uma unidade piloto, visando ao tratamento de um efluente de rocha fosfática para reuso de água. Foi possível obter ótimas eficiências de tratamento do efluente a partir de 90% para todos os ensaios, avaliando-se valores de concentração de sólidos na alimentação de 5 e 10 g/L e vazões de alimentação entre 0,8 e 1,5 L/min.

1. Introdução

No processo de flotação por ar dissolvido (FAD), a geração de bolhas é feita por saturação de parte do efluente com ar em tanques a pressões superiores à pressão atmosférica, seguido de uma descompressão súbita em uma válvula tipo agulha ou em dispositivos de constrições de fluxo. Neste processo, são geradas bolhas de tamanho reduzido, na faixa de 10 a 100 μm , e a quantidade de ar disponível depende, essencialmente, da pressão de operação do sistema.

As principais diferenças entre a flotação por ar induzido, incluindo a flotação em células convencionais, e a flotação por ar dissolvido são relacionadas à concentração de sólidos utilizadas e ao volume de ar introduzido em cada processo. Na FAD a concentração de sólidos normalmente utilizada é baixa (0,1 – 3% em base mássica), comparada com a flotação por ar induzido (flotação mineral), cuja concentração de sólidos fica na faixa de 25 – 40% (base mássica). Em relação ao volume de ar introduzido, na FAD, cerca de 20 a 30 litros de ar são liberados por metro cúbico de alimentação (equivalente a 30 - 50% de reciclo do efluente tratado), enquanto na FAI é introduzido cerca de 500 vezes mais ar pelo mesmo volume de alimentação (Rubio et al., 2002; Rodrigues & Rubio, 2007).

Contudo, o número e a área superficial de bolhas por volume de líquido é maior no processo de FAD, em função de seus inferiores diâmetros de bolha, do que na FAI. Algumas diferenças entre o processo de flotação mineral e a FAD, aplicada ao tratamento de águas e efluente, são apresentadas na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Diferenças entre os processos de flotação mineral (FAI) e por ar dissolvido (FAD) aplicado ao tratamento de águas e efluentes (Rubio et al., 2002)

Características	FAI - Flotação mineral	FAD - Água e efluentes
Concentração de sólidos (% m/m)	25 - 40	< 4
Tamanho de partículas (μm)	10 - 150	1 - 50 (não floculada) 1000 - 5000 (floculadas)
Distribuição de tamanhos de bolha (μm)	600 - 2500	10 - 100
Velocidade de ascensão de bolhas (m/h)	~ 250 - 800	0,7 - 30
Número de bolhas por cm^3	2×10^2 - 9×10^3	2×10^6 - 6×10^8
Área superficial de bolhas (cm^2/cm^3)	30 - 100	600 - 4000
Porosidade de ar (%)	15 - 25	8 - 14

Em geral, a FAD vem sendo aplicada para separação de partículas pequenas e leves, flocos de hidróxidos, íons-metals, bactérias, óleo emulsionado, etc., geralmente particulados com massa específica próxima a da água, o que dificulta a separação por métodos convencionais como a sedimentação (Rubio et al., 2002). Recentemente, a FAD tem surgido com potencial em diversas aplicações minerais, como relacionado a seguir: (Rubio et al., 2007):

- Na separação sólido-líquido visando à recirculação de água de processo (clarificação) e nos processos de neutralização de drenagem ácida de mina com cal;
- No tratamento de efluentes líquidos removendo poluentes como óleo, metais pesados, íons, precipitados coloidais, coletores e espumantes orgânicos residuais;
- No tratamento de água filtrada a partir de concentrados da flotação de minérios;
- No tratamento e recuperação de finos da indústria mineral.

Diante do apresentado, a FAD tem sido amplamente estudada e utilizada para remoção de contaminantes e recuperação de produtos em efluentes aquosos industriais, nos últimos vinte anos. Acredita-se que, em um futuro próximo, a FAD poderá ser aplicada com eficiência para tratamento de efluentes de diversas indústrias, inclusive de mineração, não apenas na adequação as legislações ambientais vigentes, mas também, com objetivo de reciclo e reuso de água, considerada uma fonte finita e de custos cada vez mais elevados (Tessele et al., 1998; Rodrigues & Rubio, 2007).

O objetivo desse trabalho é avaliar uma unidade piloto de flotação por ar dissolvido (FAD) no tratamento de efluentes gerados pela indústria mineral, visando ao reuso de água de processo. O material a ser utilizado será os finos do processamento de minério de rocha fosfática.

2. Materiais de Métodos

2.1 Materiais

O material escolhido para os estudos iniciais foi a rocha fosfática por representar uma importante fonte de fósforo na indústria de fertilizantes, além da disponibilidade de grande quantidade de amostra no CETEM, possibilitando seu uso nos ensaios exploratórios, de otimização das condições experimentais nos processos em batelada (XVI JIC do CETEM) e nos ensaios contínuos. Para o condicionamento (pré-tratamento) foi utilizado o coagulante sulfato de alumínio da VETEC e como agente floculante o Flotigam® da Clariant. Na regulagem do pH foram usadas soluções de hidróxido de sódio (1 M) e ácido clorídrico (1 M).

2.2 Preparação da suspensão de sólidos da alimentação

A suspensão de finos de alimentação do processo foi preparada por peneiramento do material em peneira de 400 Mesh (37 μm), seguido de um repouso de 24 h da suspensão obtida e sifonagem do sobrenadante, para remoção das partículas muito finas ($\sim 0,1 \mu\text{m}$). A concentração de sólidos de alimentação foi ajustada para o valor pré-determinado nos ensaios de flotação e o pH da polpa ajustado para 6,5.

2.3 Testes de FAD na unidade piloto

Os ensaios de flotação contínua foram realizados utilizando o esquema experimental apresentado na Figura 1 abaixo e na Figura 2 é ilustrada a Unidade Piloto de FAD em operação contínua, com detalhes de todas as correntes de entrada e saída do sistema e dos principais equipamentos.

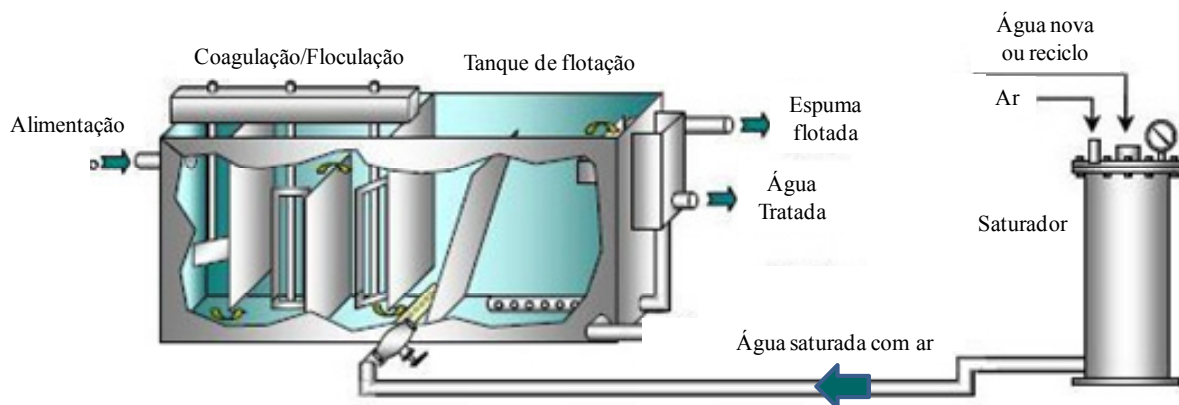


Figura 1. Esquema experimental simplificado da unidade piloto de FAD

Procedimento experimental

Inicialmente a polpa de finos foi preparada no tanque de suspensão (5), de acordo com a porcentagem de sólidos pré-estabelecida em cada ensaio. Em seguida o tanque de pressurização do ar (6) foi alimentado com água da rede e ar comprimido, ajustando-se a pressão de trabalho (4,5 atm) e o nível de líquido do tanque, limitado por marcações no visor de nível do mesmo. O controle da pressão foi realizado por um regulador de pressão e o controle de nível do tanque de pressurização por meio de válvulas num sistema *by-pass*. Após esta etapa, a suspensão de finos foi alimentada no tanque de flotação, assim como os agentes de coagulação e floculação, que foram alimentados através de uma bomba peristáltica dosadora utilizando vazões volumétricas

adequadas para cada ensaio, de acordo com a vazão e a porcentagem de sólidos da alimentação. As concentrações de coagulante e floculante utilizadas foram de 500 e 10 mg/L, respectivamente, determinados nos ensaios em batelada (JIC de 2008). Em paralelo, a água saturada com ar foi liberada na válvula de decompressão (8), liberando as micro-bolhas na zona de coleta de flotação do tanque. Após cerca de 30 min para o sistema atingir o estado estacionário de operação, amostras da corrente de saída (clarificado) foram recolhidas, em tempos adequados, para análise de sólidos suspensos totais e posterior cálculo da eficiência do processo.

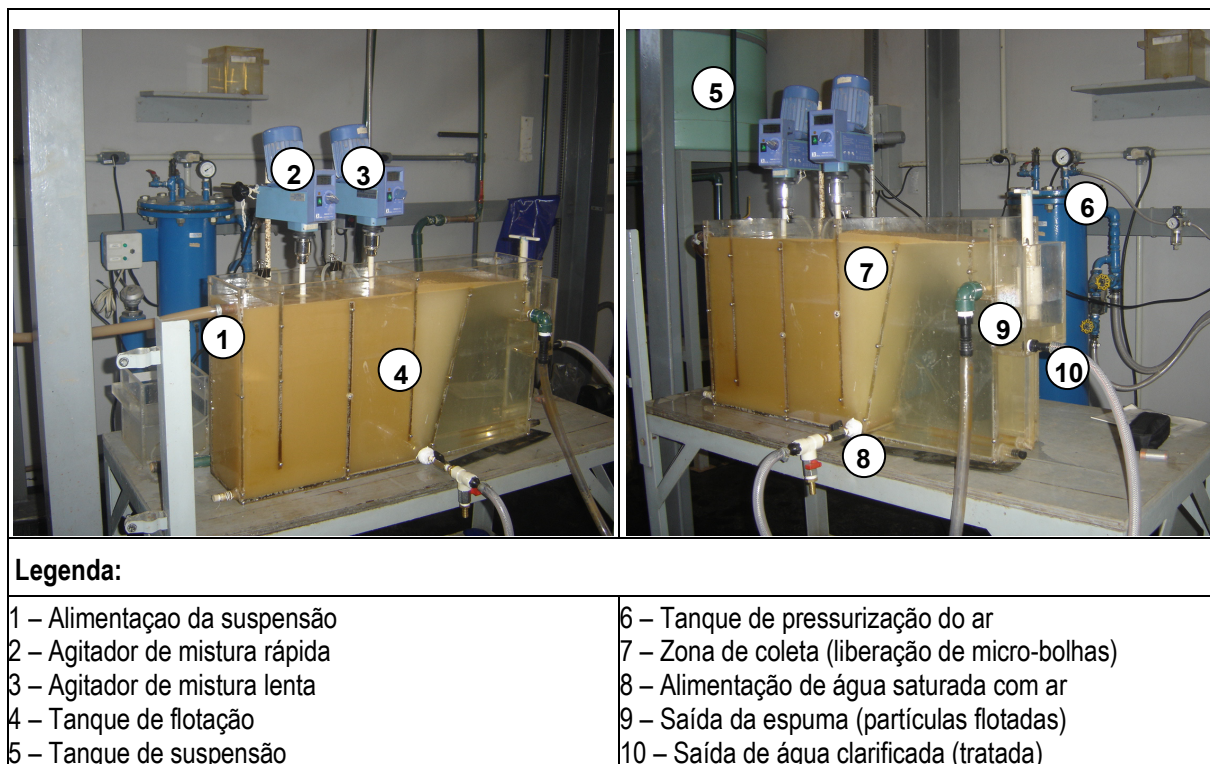


Figura 2. Ilustração de um ensaio de FAD na Unidade Piloto operada continuamente.

2.4 Determinação de sólidos suspensos totais.

A concentração de sólidos suspensos totais (SST) foi obtida por determinação da massa de sólido seco em balança de precisão de quatro casas decimais, após filtração a vácuo de uma amostra de volume conhecido (20 mL) em papel de filtro de 0,45 μm de abertura média de poro. O procedimento completo é descrito no *Standard Methods* (APHA, 2005).

2.5 Eficiência de separação (η)

A eficiência de remoção de partículas foi calculada em função do teor de SST na corrente de alimentação (SST_0) e na corrente de clarificado (SST) de acordo com a Equação 1. A razão V/V_0 é usada para corrigir a eficiência do processo devido a diluição do efluente com água saturada com ar, considerando desta forma a eficiência obtida apenas pelo processo de flotação.

$$\eta (\%) = \left(1 - \frac{SST}{SST_0} \right) \quad (1)$$

3. Resultados

Utilizando a Unidade Piloto de FAD apresentado anteriormente na Figura 2, foram conduzidos diversos ensaios contínuos de flotação variando-se a concentração e a vazão de alimentação da suspensão de finos de rocha fosfática. Inicialmente foi fixada uma vazão de alimentação (Q_a) de 1 L/min e variada a concentração de sólidos (C_s) em dois níveis: 10 e 5 g/L, obtendo-se os resultados de eficiência de remoção de partículas (η) apresentado na Figura 3.

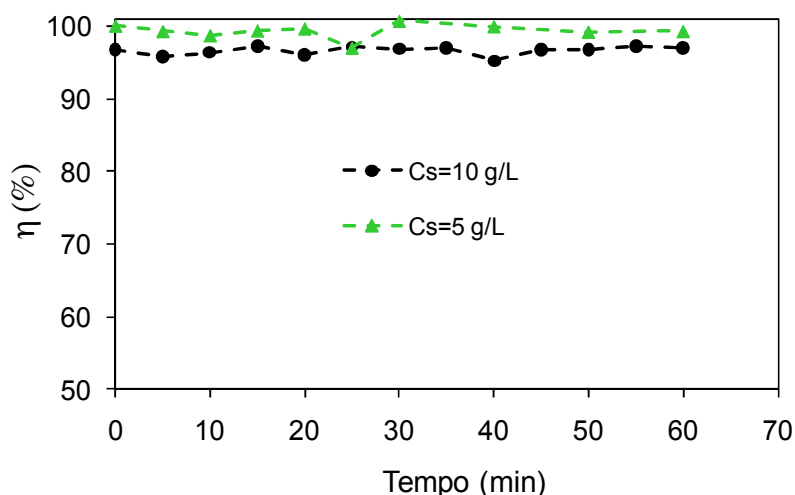


Figura 3. Eficiência de remoção de partículas com o tempo utilizando a Unidade Piloto de FAD para concentrações de sólidos de 10 e 5 g/L. Condições experimentais: $P_s = 4,5$ atm, $C_c = 500$ mg/L, $C_f = 10$ mg/L, $Q_a = 1$ L/min.

Observa-se que foi possível atingir bons patamares de eficiência de remoção acima de 90 % para os dois ensaios, mas com ligeira vantagem para o experimento realizado com menor concentração de sólidos (5 g/L), em função da maior quantidade de ar (bolhas) disponíveis para flotação neste caso, melhorando a eficiência de coleta de partículas. Valores de concentração inicial de sólidos acima de 10 g/L ou 1% (m/v), aplicados em tratamento de água de processo ou mesmo no tratamento de efluentes industriais e no espessamento de lodos utilizando a FAD são considerados altos, uma vez que o limite prático é de 3% de sólidos, dependendo do tipo de efluente. Valores típicos de concentração de sólidos situam-se entre 0,2 e 0,65% (Reali, 1999). Neste caso, foi fixada a concentração de sólidos em 0,5% (5 g/L) e avaliadas as vazões de alimentação de 0,8 e 1,5 L/min, sendo o resultado encontrado ilustrado na Figura 4 a seguir.

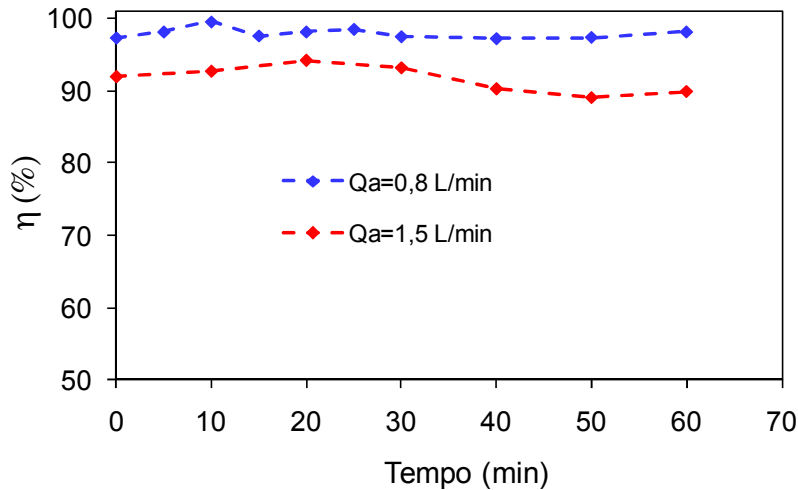


Figura 4. Eficiência de remoção de partículas com o tempo utilizando a Unidade Piloto de FAD para vazões de alimentação de 0,8 e 1,5 L/min. Condições experimentais: $P_s = 4,5$ atm, $C_c = 500$ mg/L, $C_f = 10$ mg/L, $C_s = 5$ g/L.

Da Figura 4 verifica-se que a utilização de maiores vazões de alimentação conduziu a menores patamares de eficiência de remoção, devido ao menor tempo de residência das partículas floculadas na zona de coleta do tanque de flotação, prejudicando o contato bolha-partícula e, conseqüentemente, a eficiência do processo.

Na Figura 5 encontra-se ilustrada a camada de espuma formada, contendo as partículas flotadas na superfície da zona de coleta, onde ocorre a liberação das micro-bolhas de ar.

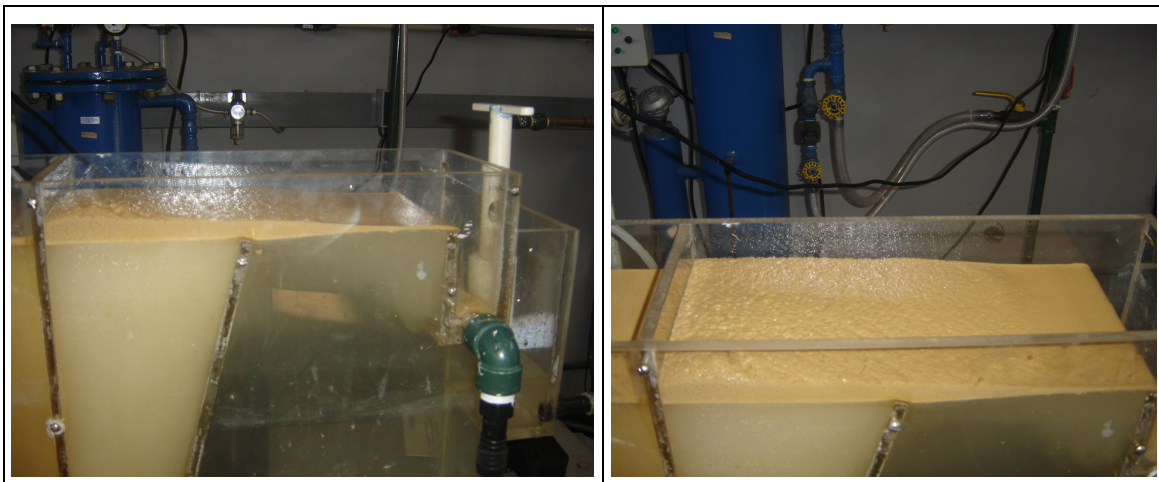


Figura 5. Detalhe da camada de espuma formada na superfície da zona de coleta de partículas.

4. Conclusões

O tratamento contínuo do efluente de rocha fosfática utilizando a unidade piloto de flotação por ar dissolvido (FAD) foi realizado com êxito, obtendo-se eficiências de remoção de partículas acima de 90%, chegando a valores próximos a 100% em alguns casos. As melhores condições experimentais, dentre as variáveis avaliadas, foram 0,8 – 1 L/min de vazão de alimentação e 5 g/L concentração de sólidos. A unidade piloto de FAD avaliada neste trabalho poderá ser utilizada em breve no tratamento de efluentes gerados por empresas de mineração que beneficiam outros tipos de minérios, como por exemplo, o minério de ferro.

5. Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica – BIC por intermédio do programa PIBIC/CETEM.

6. Referências Bibliográficas

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21st Edition, (Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E., Editors), American Public Health Association, Washington, D. C., 2005.

NUNES, D. G., FRANÇA, S. C. A., COUTO, H. J. B., Aplicação do Processo de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluentes e na Recuperação de Finos da Indústria Mineral, **Anais da XV Jornada de Iniciação Científica - CETEM**, Rio de Janeiro-RJ, (edição eletrônica), Julho, 2008, 8p.

NUNES, D. G., FRANÇA, S. C. A., COUTO, H. J. B., Estudo da Distribuição de Tamanho de Bolhas do Processo de Flotação por Ar Dissolvido para a Recuperação de Finos da Indústria Mineral, **Anais da XIV Jornada de Iniciação Científica - CETEM**, Rio de Janeiro-RJ, (edição eletrônica), Julho, 2007, 7p.

RODRIGUES, R. T.; RUBIO, J. DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry. **International Journal of Mineral Processing**, v.82, p.1-13, 2007.

RUBIO, J., CAPPONI, F., MATIOLO, E., NUNES, D. G., GUERRERO, C. P., BERKOWITZ, G., Advances in Flotation of Minerals Fines, **Proceedings XXII International Mineral Processing Congress**, Cape-Town, África do Sul, 2003, p. 1002-1014.

RUBIO, J., SOUZA, M.L., SMITH, R.W., Overview of flotation as a wastewater treatment technique, **Minerals Engineering**, 15, p. 139–155, 2002.

TESSELE, F., RUBIO, J., MISRA, M., Removal of Hg, As and Se ions from gold cyanide leach solutions by dissolved air flotation, **Minerals Engineering**, 11, v. 6, p. 535–543, 1998.