

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE TENSOATIVO NO TAMANHO DE BOLHAS E *HOLDUP* DE AR NA FLOTAÇÃO EM COLUNA

A. M. R. FILHO¹, G. R. L. e CARVALHO¹, P. H. M. LUZ¹, A. S. REIS¹, M. A. S. BARROZO¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química
E-mail para contato: sreis.angelica@gmail.com

RESUMO – No beneficiamento de minérios, como a apatita, para promover a separação das partículas de interesse dos minerais de ganga, um dos métodos utilizados é a flotação em coluna. A flotação é um processo de concentração baseado no comportamento físico-químico das superfícies das partículas presentes em uma suspensão aquosa. Visto que o diâmetro de bolha é uma variável importante na otimização desse processo, a determinação e controle do tamanho das bolhas formadas tornam-se essenciais para caracterizar o processo de flotação e, assim, determinar os valores operacionais que resultem em melhores recuperações da apatita. A utilização de tensoativos no processo de flotação tem como principais funções controlar o tamanho de bolha, produzindo bolhas menores aumentando assim a probabilidade de colisão bolha-partícula e consequentemente o aumento do *holdup* de ar. Desta forma este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da adição de tensoativo observando as variações do tamanho de bolha e do *holdup* de ar. Para isso foram realizados testes nos quais foram variáveis a velocidade superficial do gás, concentração de tensoativo e a vazão de alimentação de tensoativo. Para determinar o diâmetro de bolhas foram utilizadas técnicas de filmagem e o *holdup* foi calculado através de medidas obtidas em manômetros diferenciais. Os resultados mostraram que ao longo do tempo o tensoativo agiu diminuindo o tamanho de bolhas juntamente com o aumento do *holdup* conforme visto na literatura. Conclui-se que a utilização de tensoativo é eficaz para geração de bolhas menores em coluna de flotação.

1. INTRODUÇÃO

A flotação em coluna é um processo físico-químico utilizado no beneficiamento de minérios, como a apatita, com o objetivo de promover a separação das partículas de interesse dos minerais de ganga. Nesse processo, bolhas de ar são injetadas e/ou formadas no interior da coluna. Assim, as partículas hidrofóbicas se aderem à superfície das bolhas formando agregados bolha-partículas que ascendem (flotam), formando uma fase de espuma coletada no topo do equipamento. As partículas hidrofílicas permanecem em suspensão aquosa e são removidas na base do equipamento, como rejeito.

Visto que o diâmetro de bolha é uma variável importante na otimização desse processo, a determinação e controle do tamanho das bolhas formadas tornam-se essenciais para

Vários estudos são realizados para o controle do tamanho de bolha, sendo o uso de tensoativos uma das alternativas. Em geral, a estrutura molecular dos tensoativos (espumantes) apresenta uma parte hidrofóbica (não polar) e uma hidrofílica (polar). Comumente a parte hidrofílica é representada pelo grupo OH (como no caso dos alcoóis) e, a parte hidrofóbica é uma cadeia hidrocarbônica. Devido a sua bipolaridade, o espumante adsorve na superfície da bolha de maneira a ficar com a parte hidrofílica voltada para a água e a hidrofóbica para a bolha (FINCH et al., 2008).

Diante da necessidade de controle do tamanho de bolhas para aumentar a probabilidade de colisão bolha-partícula e, consequentemente, a recuperação do processo de flotação, este trabalho teve como objetivo verificar a influência da adição de tensoativo no diâmetro de bolha e no *holdup* de ar ao longo do tempo.

Unidade Experimental: A unidade experimental, representada pela Figura 1, encontra-se no Laboratório de Sistemas Particulados da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. A unidade consiste de uma coluna de flotação feita de acrílico composta por uma seção cilíndrica com 150 cm de comprimento de 4 cm de diâmetro, abaixo uma seção tronco-cônica com 9,5 cm de altura e abaixo desta seção cilíndrica com 12 cm de altura e 10 cm de diâmetro.

Legenda:

- 1- alimentação de água
- 2 - ponto de coleta do concentrado
- 3,4,5,6,7 – pontos de amostragem do *holdup*
- 8 - sistema de alimentação de ar comprimido com filtro de ar e rotômetro
- 9 – Venturi
- 10 – aerador
- 11 – bomba peristáltica
- 12 – ponto de coleta do rejeito
- 13 – sistema de amostragem de bolhas
- 14 – manômetros diferenciais

Metodologia para a determinação do holdup: O valor foi determinado através dos manômetros diferenciais (16) ilustrados na Figura 1. A diferença de nível entre os manômetros era obtida quando não se observava uma variação significativa no holdup da coluna e daí se calculava o *holdup* de ar. Assim o holdup foi calculado como a razão entre o valor obtido entre do desnível entre os manômetros diferenciais (Δh) pela distância entre os pontos de amostragem (L).

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

Metodologia para determinação do diâmetro das bolhas: Para a medida do diâmetro das bolhas foram utilizadas duas técnicas de filmagem realizadas com o auxílio de uma câmera de alta velocidade e um estereomicroscópio. Uma das técnicas consistia na amostragem de bolhas de forma intrusiva e a segunda a filmagem direta das bolhas foi realizada de maneira não-intrusiva. Uma melhor descrição dessas técnicas podem ser obtidas no trabalho realizado por Filho et al. (2014).

3. Planejamento Experimental

Com o objetivo de conhecer o comportamento do sistema com a adição de tensoativo e determinar qual a faixa de valores a ser utilizada para cada variável, foram realizados três testes com o sistema operando com condições máxima, intermediária e mínima das variáveis.

As variáveis estudadas foram a velocidade superficial do gás (J_G), a concentração de tensoativo (C), a vazão de alimentação do tensoativo (Q_t). Os detalhes dos testes são mostrados na Tabela 1. Nestes testes, a pressão de ar foi fixada em 3 bar e as amostragens foram realizadas a cada 3 min durante o tempo total de 24 min. Foi utilizado o Genagen, como tensoativo.

Tabela 1 – Testes

Teste	J_G (cm/s)	C (ppm)	Q_t (mL/min)
1	2,5	50	100
2	1,5	30	50
3	0,5	5	14

Dessa forma, a partir da Equação 2, foi calculada a velocidade superficial do gás (J_G), variável escolhida para ser analisada nos próximos planejamentos, visto que ela tem sido mais utilizada em vários trabalhos científicos. Outro motivo é o fato de que é uma referência para os processos de flotação, da qual muitos afirmam que uma boa eficiência no processo de flotação ocorre para J_G na faixa de 1-2 cm/s.

$$J_G = \frac{Q_{ar}}{A} \quad (2)$$

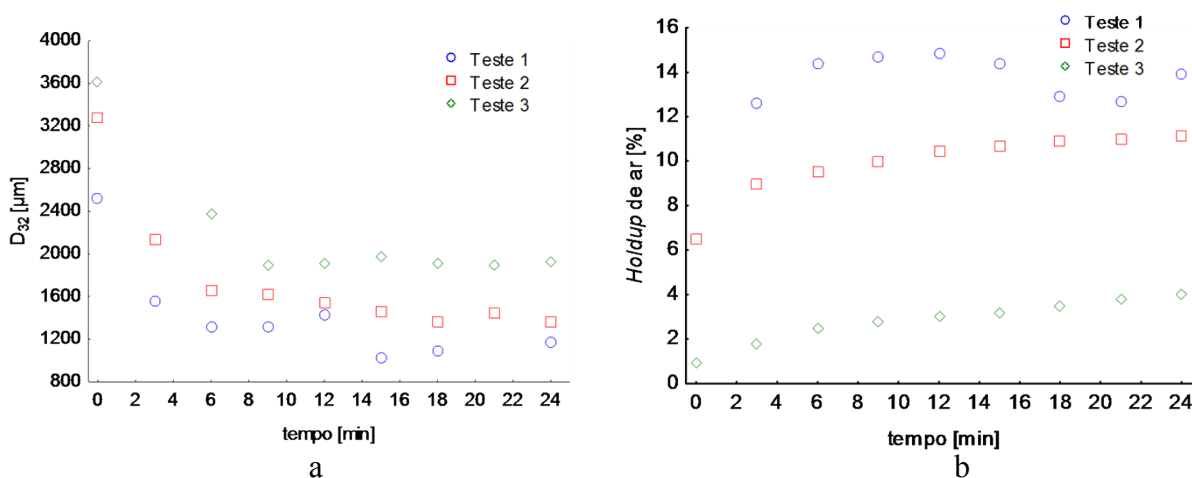
4. Resultados e discussão

A ação do tensoativo, no diâmetro de bolha e no *holdup*, ao longo do tempo pode ser observada através da Figura 2. A Figura 2-a mostra que, como mencionado na literatura por vários autores (SHUKLA et al, 2010; LEIVA et al., 2010; GRAU et al., 2005; ALDRICH E FENG, 2000), o tensoativo atua de forma eficaz na diminuição do tamanho de bolha, ou melhor, sua presença no sistema diminuiu a ocorrência do fenômeno de coalescência, mantendo assim, as bolhas com diâmetros menores.

Observa-se também que a ação do tensoativo sobre o diâmetro de bolha tende a um valor fixo, mostrando que há uma estabilização do sistema. O tensoativo adicionado em um tempo maior atua apenas para manter o tamanho das bolhas.

Na Figura 2-b é possível notar que a adição de tensoativo também agiu de maneira efetiva no valor do *holdup* (ϵ_0), tendo como consequência um aumento do *holdup* à medida com que se passava o tempo e o tensoativo era adicionado. Observa-se que o aumento do ϵ_0 tende a estabilizar, da mesma forma como aconteceu para o D_{32} , o que era esperado, já que existe uma relação direta entre o tamanho de bolha e o *holdup*.

Figura 2 - Influência ao longo do tempo da adição de tensoativo no D_{32} e no *holdup*.



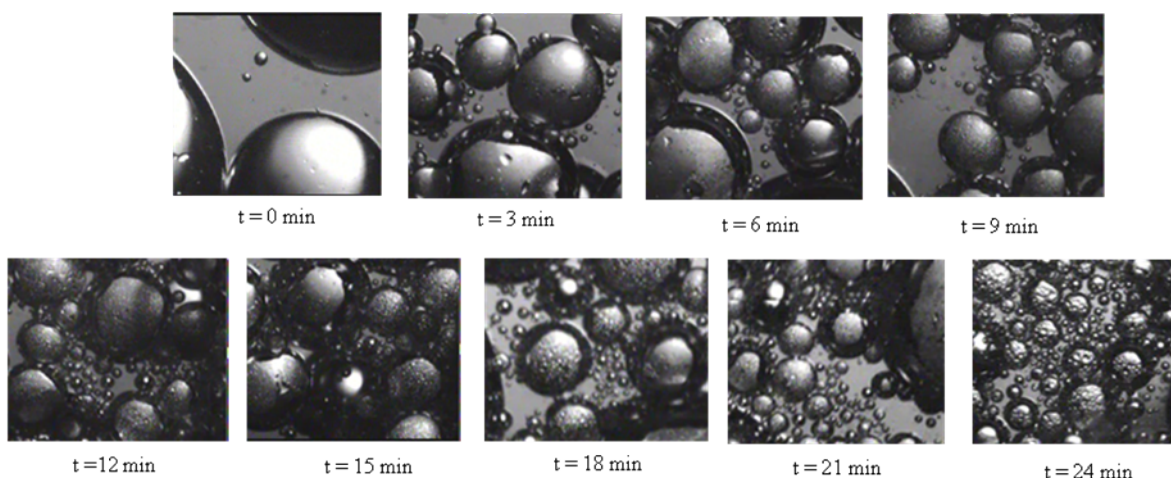
A partir destes resultados, foi possível observar que no Teste 3, no qual foram utilizadas as menores condições para vazão de ar, concentração e alimentação de tensoativo, obteve-se uma diminuição de bolha, relativa ao tamanho inicial, próxima com os outros testes. Porém, mesmo com o aumento provocado pelo tensoativo, o valor do *holdup* continuou baixo comparado com o desejado (5-35%) e as bolhas continuaram grandes. Portanto, definiu-se a concentração de 5 ppm de tensoativo como o valor mínimo para os testes posteriores a esse.

A mesma análise foi feita para o Teste 1, no qual a vazão de ar, concentração e alimentação de tensoativo foram testadas com valores mais altos. Notou-se que essas condições foram suficientes para diminuir o diâmetro médio das bolhas a valores dentro da faixa de bolhas com tamanho intermediário. Com relação ao *holdup*, verificou-se que houve

um aumento significativo alcançando o valor de 15%, valor médio na zona de recuperação da faixa especificada como favorável para o processo de flotação.

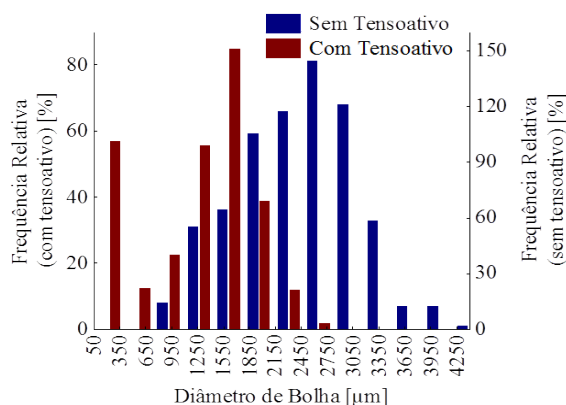
A Figura 3 mostra uma sequência de fotos, obtidas no método da amostragem de bolhas, relativas a cada um dos tempos amostrados. Essas fotos comprovam o efeito do tensoativo observado pelos gráficos, nas quais foi possível observar a diminuição do tamanho das bolhas e o aumento na concentração de bolhas, que diz respeito ao aumento do ϵ_0 .

Figura 3: Fotos mostrando a ação do tensoativo no tamanho de bolha (D_{32}) e no *holdup* (ϵ_0).



Na Figura 4 é mostrado um histograma comparativo das DTB para o sistema ar-água sem e com a adição de tensoativo (Genagen). Nesse, fica visualmente evidente o efeito na diminuição do tamanho de bolhas, provocada pela adição do tensoativo.

Figura 4: Histograma comparativo das DTB do sistema ar-água operando sem e com a adição de tensoativo.



5. Conclusões

Conclui-se através dos resultados que o uso do tensoativo foi eficaz para a diminuição do diâmetro de bolha e o aumento do *holdup* de ar nos testes 1 e 2 que possuíam maior

valores para as variáveis analisadas. Já no teste 3, o uso de tensoativo acarretou a diminuição do diâmetro de bolhas mas não teve aumento significativo no *holdup* de ar, pois as bolhas ainda continuaram grandes devido a baixa concentração do tensoativo. Em todos os testes observou-se que ao passar do tempo ocorre uma estabilização do sistema mantendo fixo o tamanho de bolha. A DTB foi menor quando o sistema operou com adição de tensoativo de acordo com o previsto pela literatura.

6. REFERÊNCIAS

- ALDRICH, C.; FENG, D. The effect of mothers on bubble size distributions in flotation pulp phases and surface froths. **Minerals Engineering**, v. 13, n. 10, p. 1049-1057, 2000.
- CHO, YOON-SEONG; LASKOWSKI, J. S. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. **International Journal of Mineral Processing**, v. 64, n. 2, p. 69-80, 2002.
- FILHO, A. M. R.; GARDUSI, Fernanda; CARVALHO, Guilherme R. L.; LUZ, Pedro H. M.; REIS, Angelica S.; BARROZO, Marcos A. S. **Estudo de técnicas para monitoramento da distribuição do diâmetro de bolhas na flotação**, Jorneq, UFU, Uberlândia (MG), 2014.
- FINCH, J. A.; NESSET, Jan E.; ACUÑA, Claudio. Role of frother on bubble production and behaviour in flotation. **Minerals Engineering**, v. 21, n. 12, p. 949-957, 2008.
- GRAU, R. A.; LASKOWSKI, Janusz S.; HEISKANEN, Kari. Effect of frothers on bubble size. **International Journal of Mineral Processing**, v. 76, n. 4, p. 225-233, 2005.
- LEIVA, J.; VINNETT, L.; CONTRERAS, F.; YIANATOS, J. Estimation of the actual bubble surface area flux in flotation. **Minerals Engineering**, v. 23, n. 11, p. 888-894, 2010.
- SANTOS, M.A. **A flotação por ar dissolvido como alternativa ao tratamento de efluente mineral visando ao reuso da água e à melhoria do processo de flotação de apatita**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2014.
- SHUKLA, S.C.; KUNDU, G.; MUKHERJEE, D. Study of gas holdup and pressure characteristics in a column flotation cell using coal. **Minerals Engineering**, v. 23, n. 8, p. 636-642, 2010.
- SOBHY, A.; TAO, D. Nanobubble column flotation of fine coal particles and associated fundamentals. **International Journal of Mineral Processing**, v. 124, p. 109-116, 2013.
- RIBEIRO, J. A. **Contribuição ao estudo experimental e em CFD da fluidodinâmica de colunas de bolhas com aplicações na separação de misturas oleosas e processamento mineral por ar dissolvido**, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia (MG), 2012.

7. Agradecimentos

Agradecimentos especiais à Capes e ao CNPq, como órgãos de fomento da pesquisa e à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia pelo incentivo e apoio à realização deste trabalho.