

Estudo de distribuição de tamanho de bolhas em células de flotação

Study of bubbles size distribution in flotation cells

Renata Nigri de Almeida

Bolsista PCI, Eng. Química, UFRJ

Hudson Jean Bianchini Couto

Supervisor, Eng. Químico, D. Sc.

Resumo

O tamanho médio e a distribuição de tamanho de bolhas - DTB são variáveis importantes no processo de flotação, influenciando diretamente na eficiência de coleta e no transporte das partículas. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência das partículas minerais sobre o tamanho de bolhas geradas em uma célula *Magotteaux*. A dosagem do espumante Flotanol D14 e a porcentagem de sólidos foram as variáveis do processo de flotação avaliadas neste estudo. Para a captura e visualização das bolhas foi utilizado o equipamento *Anglo Platinum Bubble Sizer* (APBS) e o software livre ImageJ foi utilizado para o processamento das imagens.

Palavras chave: flotação, tamanho de bolha, célula *Magotteaux*, processamento de imagem.

Abstract

The average size and the bubble size distribution - BSD are important variables in the flotation process, as they influence the efficiency on collecting and transporting the particles. Therefore, the present work has as objective to evaluate the influence of mineral particles on the bubbles size generated in a *Magotteaux* cell. The Flotanol D14 frother dosage and solids percentage were the variables of the flotation process evaluated in this study. The *Anglo Platinum Bubble Sizer* (APBS) was used to capture and visualize the bubbles and the ImageJ free software was used for image processing.

Key words: flotation, bubble size, *Magotteaux* cell, image processing.

1. Introdução

O processo de flotação vem sendo utilizado desde o início do século XX na separação seletiva de minerais, e mais atualmente, no tratamento de efluentes em escala industrial. Esse processo físico-químico consiste na adesão de bolhas de ar introduzidas no sistema à fase dispersa (partículas), sendo o conjunto formado bolha-partícula carregado para a superfície da célula de flotação onde ocorre a recuperação das partículas. É um dos processos mais utilizados industrialmente na concentração mineral por apresentar um aproveitamento de minérios complexos e de baixos teores de forma econômica e com bons rendimentos metalúrgicos (KELLY e SPOTTISWOOD, 1982).

O tamanho de bolha é um parâmetro e a distribuição de tamanho de bolhas (DTB) são parâmetros importantes no processo de flotação devido a seu efeito na eficiência de coleta e de transporte das partículas, exigindo uma variação extensa da DTB para diversos tamanhos de partícula.

Apesar de o tamanho de bolha ser uma variável chave nos processos de flotação, poucos trabalhos têm sido encontrados em células mecânicas de flotação, principalmente em sistemas trifásicos (água, ar e minério) devido a sua complexibilidade. Grau e Heiskanen (2005), Tucker *et al.* (1994) e Vazirizadeh *et al.* (2016) estudaram a influência de variáveis físicas e químicas no tamanho da bolha em uma célula de flotação utilizando diferentes espumantes comerciais para um sistema trifásico.

2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da presença das partículas minerais no tamanho médio de bolhas geradas em uma célula *Magotteaux* do CETEM, utilizando a técnica de obtenção de imagens digitais (equipamento *Bubble Sizer*). Algumas variáveis importantes do processo de flotação serão avaliadas, como dosagem do espumante Flotanol D14 e porcentagem de sólidos.

3. Material e Métodos

3.1 Reagentes

Para os estudos de determinação do tamanho de bolhas foi utilizado o espumante Flotanol D14, um polipropileno glicol metiléter, fornecido pela Clariant. Foram utilizadas dosagens deste reagente nas concentrações de 2,5, 5, 10, 20 e 50 mg/L.

3.2 Minério utilizado

Foi utilizado um minério sulfetado com cerca de 1,8% de Pb e 1,0% de Zn, composto principalmente por galena e esfarelita. O minério foi homogeneizado, quarteado, armazenado em alíquotas de 3 kg e separado para a etapa de britagem. A moagem da amostra foi em um moinho de barras, conduzida até um P_{80} de 125 μm . Os ensaios foram realizados para três condições distintas, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Condições experimentais para os ensaios realizados.

| | Porcentagem de sólidos (%) | Concentração do espumante (C_i) |
|----------|--|-------------------------------------|
| Ensaio 1 | 10% | 2,5-50 mg/L |
| Ensaio 2 | 5-40% | 20 mg/L |
| Ensaio 3 | 10% (em diferentes faixas granulométricas) | 20 mg/L |

3.3 Célula de Flotação

Os ensaios foram realizados em uma célula de flotação *Magotteaux* modelo FM001, equipada com uma cuba de 1,5 litros. Foram mantidas constantes a velocidade da rotação mecânica em 800 rpm, a vazão de ar em 3 L/min e a pressão, em 10 psi (69 kPa).

Para visualização e captura de bolhas foi utilizado o equipamento *Anglo Platinum Bubble Sizer* (APBS), comercializado pela *Stone Three* (África do Sul). A Figura 1(a) mostra a foto da célula de flotação acoplada ao APBS utilizada nos ensaios e a Figura 1 (b) apresenta o desenho esquemático do sistema montado para os ensaios de determinação do tamanho de bolha.

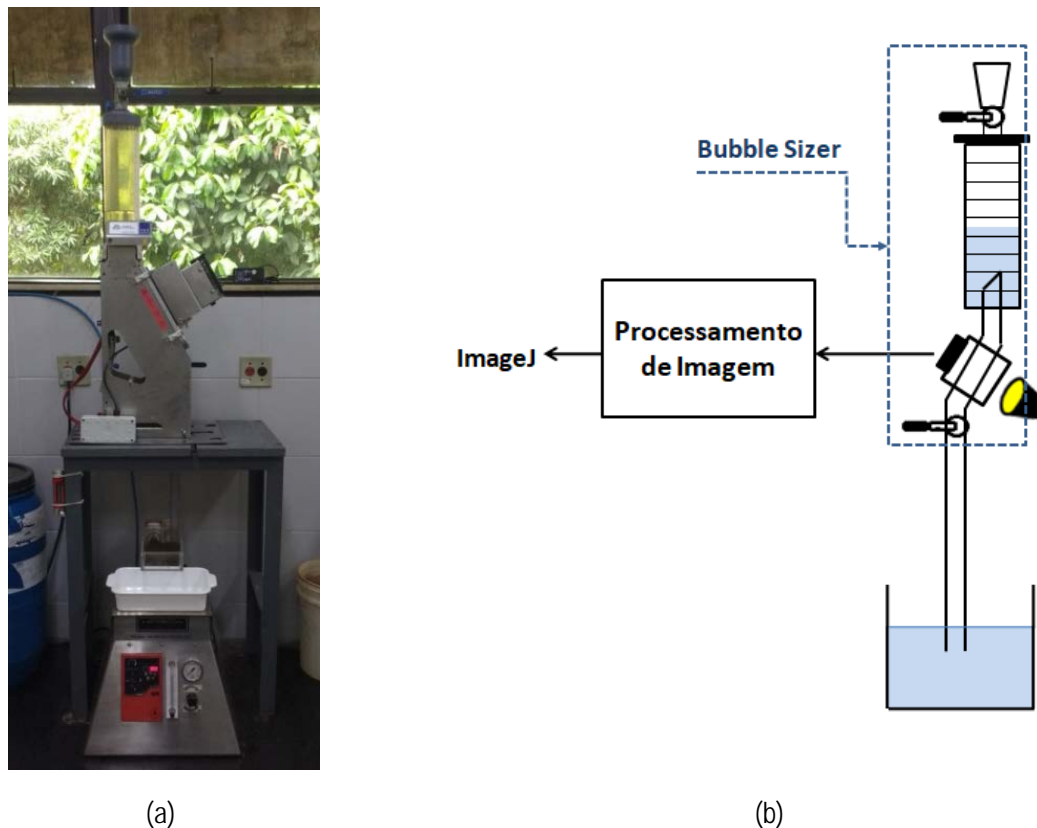


Figura 1. Foto da célula de flotação acoplada ao APBS (a) e desenho esquemático do sistema montado.

3.4 Processamento e Análise das Imagens

Foi utilizado o software livre ImageJ para o processamento e análise das imagens, que tem como principal vantagem a possibilidade de visualizar em tempo real o resultado de diferentes técnicas de tratamento de imagens, através de uma interface gráfica (ALMEIDA *et al.*, 2017). As seguintes etapas foram utilizadas no processamento das imagens: 8-bit (conversão para tons de cinza); *Bandpass filter* (filtro); limiarização (*threshold*); *fill holes* (preenchimento das bolhas demarcadas); *watershed* (segmentação); identificação e análise das imagens.

Na análise das imagens foi adotado como diâmetro médio o diâmetro médio de Sauter ($D_{3,2}$), definido como o diâmetro médio volume-superfície, conforme apresentado pela Equação 1, onde d_b e n são o diâmetro de bolha e o número de bolhas para classe de tamanho "i", respectivamente.

$$D_{3,2} = \frac{\sum n_i \cdot d_{bi}^3}{\sum n_i \cdot d_{bi}^2} \quad (1)$$

4. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra a influência da concentração do espumante Flotanol D14 sobre o tamanho de bolha para um sistema bifásico (água e ar) e trifásico (água, ar e minério) e a Figura 3 apresenta a influência da porcentagem de sólidos sobre o tamanho de bolha para uma concentração fixa de Flotanol D14 em 20 mg/L.

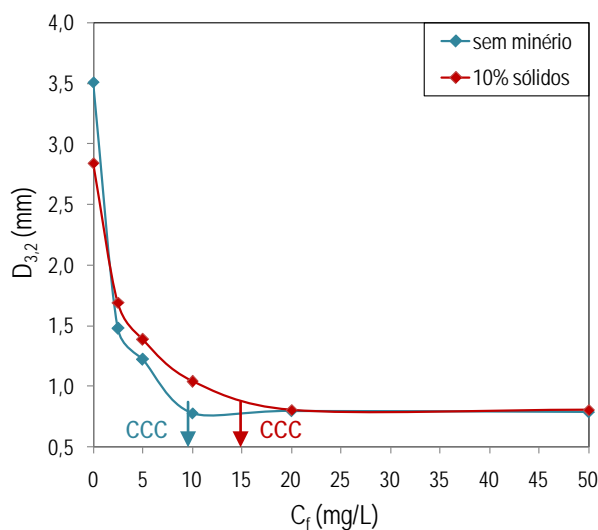


Figura 2. Efeito da concentração do espumante (C_f) sobre o tamanho de bolhas ($D_{3,2}$), em sistema bifásico e trifásico.

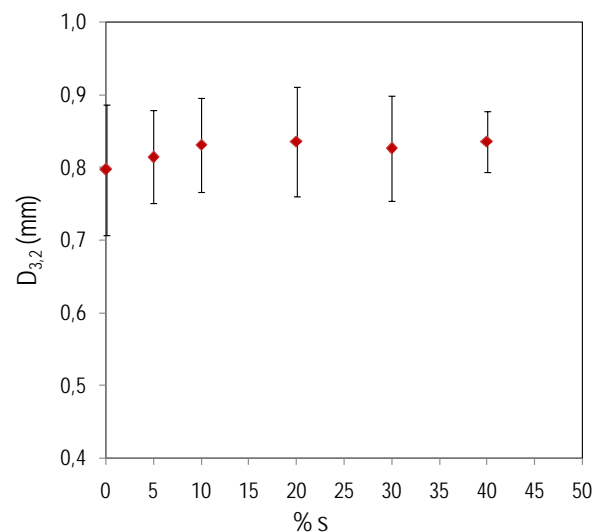


Figura 3. Efeito da porcentagem de sólidos (% s) sobre o tamanho de bolhas ($D_{3,2}$). $C_f = 20$ mg/L.

Segundo alguns autores (GRAU *et al.*, 2005; GUPTA *et al.*, 2007), a concentração crítica de coalescência (CCC) de um espumante corresponde a menor concentração que proporciona o menor diâmetro de bolha, sendo um importante parâmetro para comparar o desempenho de diferentes espumantes de flotação. Pela Figura 2 é possível obter os valores da CCC para o espumante Flotanol D14, que é aproximadamente 10 mg/L para o sistema bifásico e 15 mg/L para o sistema trifásico.

Ainda analisando a Figura 2 é possível notar que houve um pequeno aumento do diâmetro médio de Sauter com a adição do minério de Pb/Zn para as concentrações de espumante entre 2,5 a 10 mg/L. Esse efeito similar da influência do minério sobre o diâmetro médio de Sauter foi reportado por outros autores (GRAU e HEISKANEN, 2005; TUCKER *et al.*, 1994). Para as concentrações de 20 e 50 mg/L do espumante não houve diferença no tamanho de bolha, esse resultado pode ser explicado pelo fato desses valores de concentração se encontrarem acima da CCC, tornando constante o diâmetro de bolha a partir desse ponto.

De acordo com a Figura 3 não é possível notar diferença significativa do tamanho de bolhas com o aumento da porcentagem de sólidos, mostrando que esta variável não mudou a tendência observada anteriormente de tamanho médio de bolha constante acima da CCC. (TUCKER *et al.*, 1994; VAZIRIZADEH *et al.*, 2016)

A Figura 4 apresenta o comportamento do diâmetro médio de Sauter sobre diferentes faixas granulométricas. Foi mantido constante a porcentagem de sólidos em 10% e a concentração do Flotanol D14 em 20 mg/L (acima da CCC). Pode-se observar que praticamente não houve variação nos valores do tamanho de bolhas para diferentes faixas granulométricas, havendo apenas um pequeno aumento nas faixas de maior granulometria, reforçando o comentário anterior, que para valores de concentração acima da CCC não há variação significativa do diâmetro de bolha.

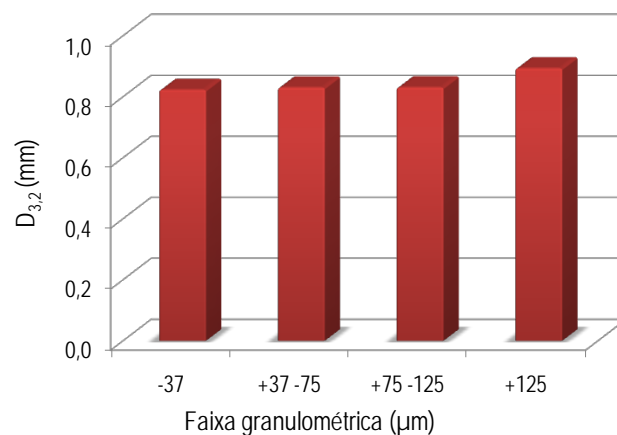


Figura 4. Variação do diâmetro médio de Sauter ($D_{3,2}$) para diferentes faixas granulométricas. %s = 10% e $C_f=20\text{mg/L}$.

5. Conclusão

Com o sistema proposto foi possível avaliar o efeito do tamanho de bolha para um sistema trifásico e compará-lo com um sistema bifásico. Os resultados obtidos mostraram que abaixo da CCC do Flotanol D14 o minério influencia no tamanho de bolha, havendo um pequeno aumento no diâmetro de bolha. Já acima da CCC foi verificado que a presença do minério, mesmo em concentrações maiores, não influenciou o tamanho de bolhas.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida e ao CETEM pela infraestrutura.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R.N.; BARRETO, E.G.C.; GOMES, O.F.M.; COUTO, H.J.B. Avaliação do Tamanho de Bolhas em uma Coluna de Flotação. In: XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2017, Belém, Brasil.

GRAU R.A., HEISKANEN, K. Bubble size distribution in laboratory scale flotation cells. **Minerals Engineering**, v. 18, p. 1164–1172, 2005.

GRAU, R.A.; LASKOWSKI, J.S.; HEISKANEN, K. Effect of frothers on bubble size. **International Journal of Mineral Processing**, v.76, p.225-233, 2005.

GUPTA, A.K., BANERJEE, P.K., MISHRA, A., SATISH, P., PRADIP. Effect of alcohol and polyglycol ether frothers on foam stability, bubble size and coal flotation. **International Journal of Mineral Processing**; v.82; p.126-137, 2007.

KELLY E.G.; SPOTTISWOOD D.J. **Introduction to mineral processing**. John Wiley & Sons; 1982.

TUCKER, J.P.; DEGLON, D.A.; FRANZIDIS, J.P.; HARRIS, M.C.; O'CONNOR, C.T. An evaluation of a direct method of bubble size distribution measurement in a laboratory batch flotation cell. **Minerals Engineering**, v.7, p.667-680, 1994.

VAZIRIZADEH, A.; BOUCHARD, J.; CHEN, Y. Effect of particles on bubble size distribution and gas hold-up in column flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v.57, p.163-173, 2016.