

## INFLUÊNCIA DO TIPO DE ESPUMANTE NA PREVENÇÃO À COALESCÊNCIA DAS BOLHAS

VERAS, M.M.<sup>1</sup>, BALTAR, C.A.M.<sup>2</sup>, PAULO, J.B.A.<sup>3</sup>, LEITE, J.Y.P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP).  
e-mail: moacir.veras@ifap.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia de Minas,  
Grupo de Tecnologia Mineral, e-mail: camb@ufpe.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Engenharia  
Química, e-mail: jbosco@eq.ufrn.br

<sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).  
e-mail: jyp.leite@ifrn.edu.br

### RESUMO

Uma das principais funções dos reagentes espumantes usados em flotação é a de contribuir para a estabilidade do tamanho das bolhas, especialmente, na zona de polpa. O espumante provoca um efeito impermeabilizante que dificulta o fenômeno da coalescência, responsável pelo aumento do tamanho das bolhas. Nesse trabalho verificou-se a influência do tipo de espumante no controle da coalescência. Foram usados os três tipos mais comuns de espumante: óleo de pinho, éter glicólico e metilisobutilcarbinol (MIBC). A determinação do tamanho da bolha foi feita com uso do sistema HYDROMESS adaptado. Foram realizados testes de microflotação com finos de grafita. O MIBC é o espumante mais eficiente na prevenção à coalescência. A *concentração crítica de coalescência (ccc)* foi atingida com apenas 20 ppm. A partir dessa concentração de MIBC o tamanho médio das bolhas ficou estabilizado em 2,2 mm. Os melhores resultados de flotação também foram obtidos com MIBC o que, provavelmente, está relacionado com o controle mais eficiente da coalescência.

**PALAVRAS-CHAVE:** flotação; espumante; coalescência; tamanho de bolhas.

### ABSTRACT

One of the main functions of frother reagents used in flotation is to contribute to the stability of the bubbles size, especially in the pulp zone. The frother causes a waterproofing effect which hinders the coalescence phenomena responsible for the increase in the bubbles size. In this study it was investigated the influence of the type of frother in the control of the coalescence. It was used the three most common types of frothers: pine oil, polyglycol ether and metilisobutilcarbinol (MIBC). The determination of the bubble size was made using the adapted HYDROMESS system. Microflotation tests were performed with fines of graphite. MIBC is more efficient in preventing coalescence. The critical concentration of coalescence (ccc) was achieved with only 20 ppm. From this concentration of MIBC the average bubble size was stabilized at 2.2 mm. The best results of flotation were also obtained with MIBC what is probably related to more efficient control of coalescence.

**KEYWORDS:** minimum flotation; frother; coalescence; bubble size.

## 1. INTRODUÇÃO

Na interface líquido-gás ocorrem fenômenos de grande importância, para a flotação, tais como a tensão superficial e a coalescência de bolhas. A tensão superficial da interface água-ar deve ser diminuída a fim de permitir um maior tempo de vida às bolhas e a possibilidade de formar espumas. Por sua vez, a coalescência deve ser evitada, pois o crescimento das bolhas diminui a eficiência de colisão bolha-partícula (BALTAR, 2010). Os dois objetivos podem ser alcançados com o uso de um espumante.

A membrana interfacial na superfície das bolhas é permeável permitindo a migração de ar, de uma bolha para outra, após a ruptura da película de água existente entre as bolhas. A presença de moléculas do espumante retarda a drenagem de água, dificultando a coalescência. Assim, quanto mais moléculas do espumante na interface líquido-gás, menos intensa é a coalescência. Portanto, o tamanho das bolhas, na zona de polpa, diminui com a concentração de espumante (GRAU et al., 2005; KRACHT e FINCH, 2009). Isso, porém, só acontece até que um determinado tamanho limite que é atingido quando a coalescência é completamente eliminada. A concentração do espumante que corresponde a esse tamanho limite da bolha é denominado “*concentração crítica de coalescência*” (*ccc*).

Os tipos de espumante mais usados em flotação são: o óleo de pinho (cujo poder espumante deve-se ao  $\alpha$ -terpinol), o metilisobutilcarbinol (MIBC) e os eterglicólicos. São reagentes com estruturas químicas diferentes e, portanto, com desempenhos diferentes na prevenção à coalescência.

O trabalho teve como objetivo verificar a influência do tipo de espumante na prevenção à coalescência e observar a importância dessa prevenção na flotação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Amostra mineral

Nos testes de microflotação usou-se uma amostra de grafita comercial, com elevada pureza, fornecida pela VONDER.

#### 2.1.2. Equipamentos

- Sistema *Hydromess*, composto de sonda fotoelétrica e capilar de vidro com diâmetro inter de 0,8 mm, usado para medir o tamanho de bolhas;
- Tubo de Hallimond modificado com diâmetro de 1”, dotado de placa porosa (10  $\mu$ m), foi empregado nos testes de flotação;
- Analisador de Tamanho de Partículas a Laser, marca MALVERN, modelo Mastersizer 2000;
- Medidor de pH, marca Digimed, modelo DM-22.

### 2.1.3. Reagentes

Foram utilizados, no trabalho, os reagentes espumantes: Metil-isobutil-carbinol (MIBC), fabricado pela CYTEC; Óleo de Pinho ( $\alpha$ -terpinol), fabricado pela Hercules Yarmor e um eterglicólico, fabricado pela Flomin Inc. As soluções foram preparadas variando a concentração entre 0 a 50 ppm.

## 2.2. Metodologia

### 2.2.1. Determinação do tamanho de bolhas

Para a determinação do diâmetro médio de bolhas usou-se o sistema *Hydromess*® 1.40. O equipamento dispõe de software de aquisição e uma sonda fotoelétrica, constituída por duas células luminosas e dois fototransistores acoplados a um capilar de vidro. O sistema estima o diâmetro médio de bolha combinando a interface capilar/sonda fotoelétrica (VERAS, et. al., 2014).

Uma sucção gerada no capilar de vidro suga bolhas que passam pela sonda (Figura 1). A distância entre as células luminosas é de 2 mm e a inclinação entre elas é de 90°. A primeira célula luminosa emite os feixes de luz para os fototransistores. O resultado das leituras é enviado por sinal elétrico baseado nos índices de refração das fases presentes.

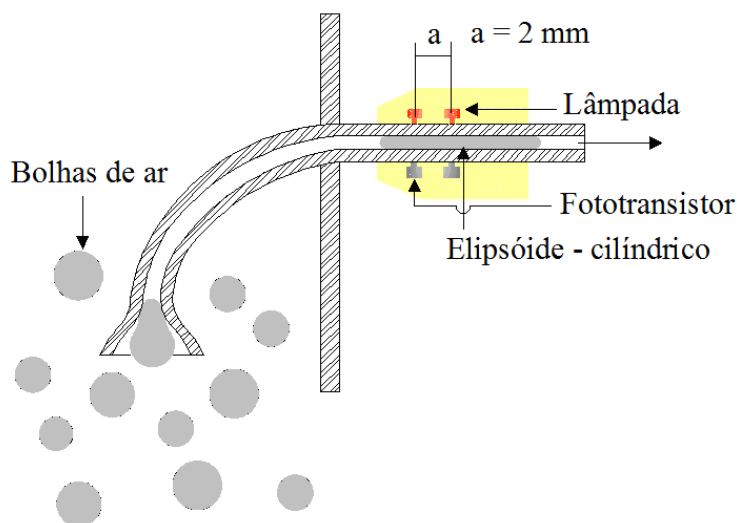
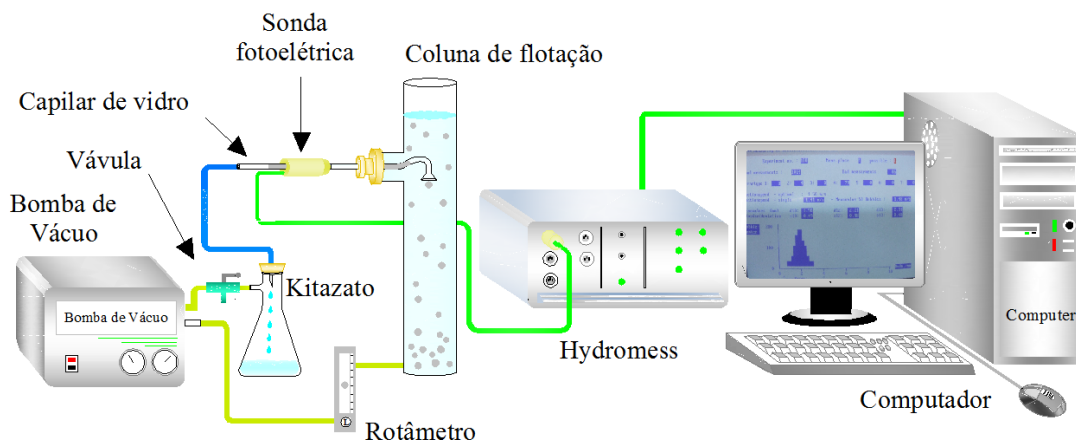


Figura 1. Sonda de sucção fotoelétrica para captura de bolhas de ar e formação de elipsoide no capilar de vidro (Paulo et al., 2003).

O sistema é composto por capilar de vidro, sonda fotoelétrica, coluna de flotação, válvula de escape para controle da velocidade de sucção de aspiração das bolhas, bomba de vácuo acoplada a um kitazato para gerar vácuo e sucção das bolhas no capilar de vidro imerso na solução, aerador em placa porosa e rotâmetro para controlar fluxo de ar que entra no sistema, conforme é ilustrado na Figura 2.



**Figura 2. Aparato para determinação do diâmetro médio de bolhas pela técnica do *Hydromess* em coluna de flotação.**

Nos ensaios utilizou-se água destilada em pH natural. A velocidade de sucção foi ajustada para valores próximos de 1,5 m/s com auxílio de bomba de vácuo e a vazão de ar se manteve constante em 122 cm<sup>3</sup>/min para todos os ensaios.

Verificou-se a influência da concentração dos espumantes na faixa entre de 0 a 50 ppm. Em seguida, variou-se o pH entre os valores de 2 a 10. Para a regulagem do pH foram usados ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH).

### 2.2.2. Testes de microflotação

Os testes de flotação de grafita foram realizados em Tubo de *Hallimond* modificado, com uma bomba de vácuo acoplada para aeração e um rotâmetro para controlar o fluxo ar.

As condições operacionais foram mantidas constantes durante os ensaios. O sistema foi aerado com fluxo de ar em 122 cm<sup>3</sup>/min, sob temperatura ambiente ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ). Usou-se uma água destilada com pH 5,8 (natural). As soluções dos espumantes tiveram as concentrações variadas entre 0, 10, 20, 30, 40 e 50 ppm.

O tempo de condicionamento, assim como o de flotação, foi de 1 minuto. O material flotado foi filtrado a vácuo e, em seguida, secado em estufa a 85°C para pesagem posterior em balança de precisão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Flotação sem coletor

Os minerais naturalmente hidrofóbicos podem flotar sem coletor. A flotação desses minerais exige, no entanto, a adição de um espumante com a função de aumentar o tempo de vida da bolha e dificultar o fenômeno da coalescência (BALTAR, 2010). É na função de controlar a coalescência que o tipo de espumante mais influencia na flotação desse tipo de mineral.

A fim de se verificar a influência do tipo de espuma na flotação de um mineral naturalmente hidrofóbico, foi realizada uma série de testes de microflotação com uma grafita fina de elevada pureza. Os testes foram realizados sem o uso de coletor. A Figura 3 apresenta os resultados.

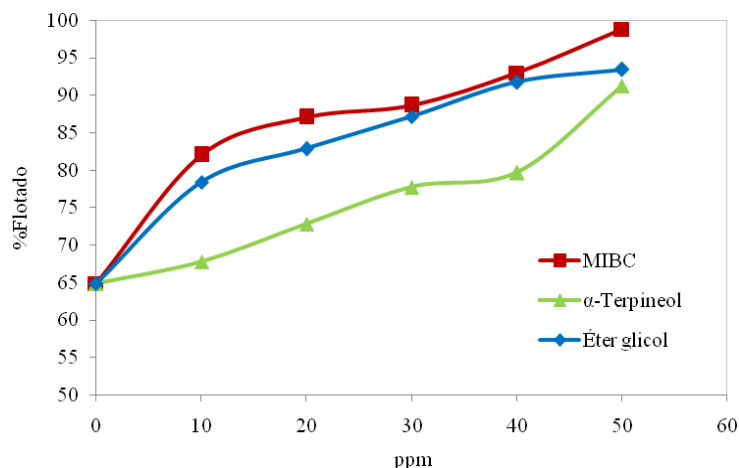


Figura 3. Influência do tipo e da concentração de espuma na flotação de grafita sem coletor.

Observa-se, na Figura 3, que no teste realizado sem a adição de espuma, a flotabilidade da grafita foi de 65%. A adição de qualquer um dos espumantes resulta em um aumento da flotabilidade. A massa flotada cresce com o aumento da concentração. Considerando-se que os espumantes adsorvem-se na interface líquido-gás e, portanto, não contribuem para a hidrofobização superficial da grafita, o aumento da massa flotada deve estar relacionado à ação do espuma contra a coalescência das bolhas. A diminuição do tamanho das bolhas aumenta a eficiência de colisão bolha-partícula e, conseqüentemente, a velocidade de flotação e a massa flotada durante o teste.

Para qualquer concentração de espuma, os melhores resultados foram obtidos com o MIBC. Por sua vez, a menor quantidade de massa flotada foi verificada nos testes com o óleo de pinho.

### 3.2. Influência do tipo de espuma no tamanho das bolhas

A fim de se verificar a influência do tipo de espuma na prevenção à coalescência, determinou-se o tamanho médio das bolhas em diversos sistemas. A Figura 4 mostra a influência do tipo e da concentração de espuma no diâmetro médio das bolhas.

Observa-se que o tamanho das bolhas diminui com o aumento da concentração do espuma até atingir a estabilização, o que acontece na *concentração crítica de coalescência* (ccc) do surfatante. Isso é válido para qualquer dos espumantes testados.

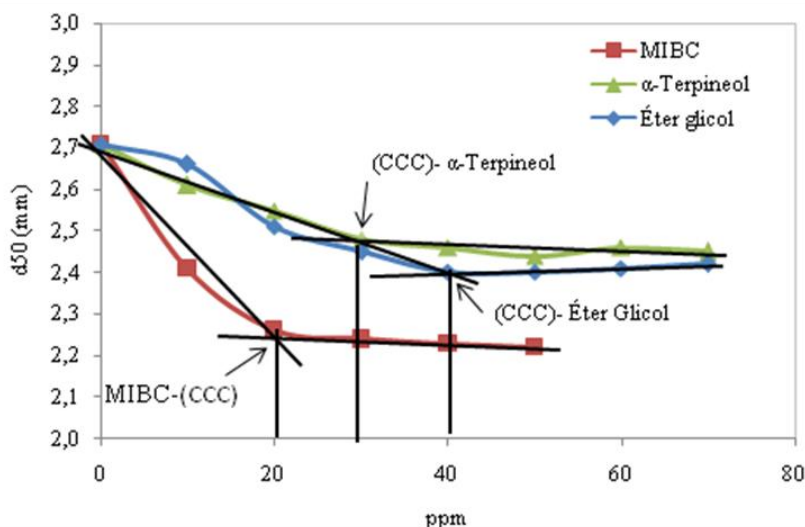


Figura 4. Diâmetro médio das bolhas em função do tipo e da concentração de espumante.

Devido à coalescência, o diâmetro médio das bolhas nos testes sem a presença de espumante é de 2,7mm. A presença de um espumante, mesmo em pequenas concentrações, diminui a coalescência mantendo as bolhas com tamanho próximo ao original.

Para qualquer concentração de espumante, o menor diâmetro médio das bolhas foi verificado nos testes com o MIBC. A *concentração crítica de coalescência* foi verificada com apenas 20ppm. A partir dessa concentração o diâmetro médio fica estabilizado em 2,2mm. Observa-se que esse valor é aproximadamente 18% menor do que o verificado sem o uso de espumante.

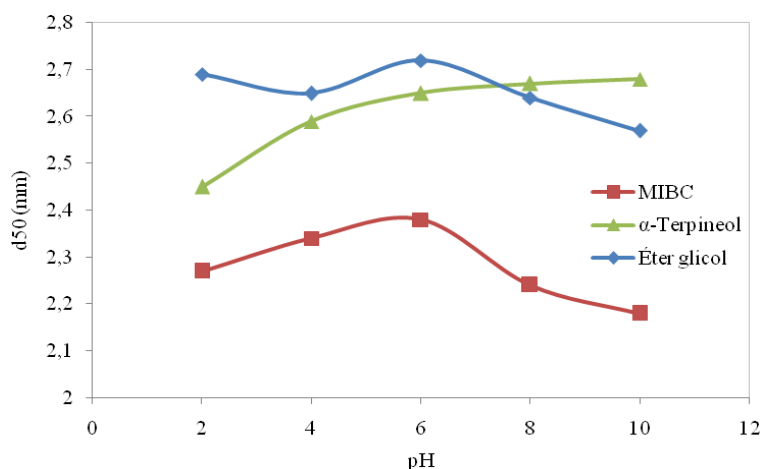
A eficiência do MIBC na prevenção à coalescência já havia sido observada por Cho e Laskowski (2002). Os autores verificaram que, na ausência de espumante, as bolhas apresentaram um diâmetro médio de 2,4 mm. O uso de MIBC na ccc resultou em uma redução do diâmetro médio de 28%.

Na comparação do óleo de pinho com eterglicólico observa-se que, para pequenas concentrações, o óleo de pinho (cuja substância espumante é o  $\alpha$ -terpinol) manteve as bolhas com menor tamanho médio. No entanto, a partir de 20 ppm o eterglicólico passou a ser mais eficiente na prevenção à coalescência, com o tamanho médio sendo estabilizado em 2,4 mm, o que representa uma redução de 11% em relação ao tamanho das bolhas na ausência de espumante. A ccc do eterglicólico foi observada na concentração de 40 ppm. Por sua vez, a ccc do óleo de pinho foi obtida com 30 ppm do surfatante, com o tamanho médio das bolhas se estabilizando em 2,5 mm, o que significa uma redução de apenas 10%. Szyszka *et al.* (2006), encontrou a ccc para o óleo de pinho na concentração de 0,16 mmol/dm<sup>3</sup>, com diâmetro de bolha correspondente a ccc de aproximadamente 3,3 mm. A Tabela 1 resume os resultados obtidos com os três tipos de espumantes.

**Tabela 1. Capacidade dos espumantes na prevenção da coalescência das bolhas.**

| ESPUMANTE         | CCC (ppm) | TAMANHO DAS BOLHAS (mm) |
|-------------------|-----------|-------------------------|
| Sem espumante     | --        | 2,7                     |
| MIBC              | 20        | 2,2                     |
| Eterpoliglicólico | 40        | 2,4                     |
| Óleo de pinho     | 30        | 2,5                     |

A influência do pH no diâmetro médio das bolhas foi verificado para os três tipos de espumante. Os resultados são apresentados na Figura 5. A concentração dos espumantes foi mantida em 10ppm em todos os testes.



**Figura 5. Variação do tamanho médio de bolhas em função do pH para cada tipo de espumante.**

Os resultados, mostrados na Figura 5, confirmam a maior capacidade do MIBC na prevenção à coalescência, já que as bolhas apresentaram os menores tamanhos em toda a faixa de pH estudada. O menor tamanho médio (menos de 2,2mm) foi observado em meio alcalino. O mesmo foi verificado com relação ao eterglicólico que teve o melhor desempenho em pH 10 (tamanho médio de bolhas de menos de 2,6mm).

O óleo de pinho apresentou a maior sensibilidade com relação à variação de pH. Os resultados sugerem que o óleo de pinho atua de forma mais eficiente na prevenção à coalescência em meio ácido.

A determinação do tamanho de bolhas confirma a relação entre a coalescência das bolhas e a eficiência da flotação. A presença de qualquer um dos espumantes conseguiu uma redução no tamanho médio das bolhas (Tabela 1) e um aumento na eficiência da flotação (Figura 3). O espumante mais eficiente na prevenção à coalescência foi o MIBC (Figura 4) que também proporcionou a maior quantidade de massa flotada nos testes com grafita (Figura 3).

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios no sistema *Hydromess* mostraram que a técnica pode ser empregada para medição de tamanho de bolhas em sistema bifásico. O equipamento se mostrou eficiente quanto à confiabilidade de leitura dos dados gerados e reprodutibilidade dos resultados.

Os resultados permitiram avaliar o desempenho de três espumantes quanto à capacidade de evitar a coalescência entre bolhas e o reflexo disso na flotação. Observou-se uma clara relação entre a prevenção á coalescência e a eficiência na flotação da grafita.

O aumento da concentração de espumante diminui a coalescência, o que resulta em bolhas menores e flotação mais eficiente. Dentre os espumantes testados, o MIBC foi o que apresentou a maior capacidade de inibir a coalescência em toda a faixa de pH estudada. A *concentração crítica de coalescência* (ccc) foi atingida a uma concentração de 20 ppm, com o diâmetro das bolhas estabilizando-se em torno de 2,2 mm, o que significa uma redução de aproximadamente 18% em relação aos tamanhos verificados sem o uso de espumante. Os melhores resultados de flotação também foram obtidos com o MIBC. Com a adição de 50 ppm a recuperação da grafita aumentou de 65% para aproximadamente 99%.

No outro extremo, o óleo de pinho teve o pior desempenho tanto na capacidade de prevenir a coalescência quanto na eficiência da flotação de grafita.

#### 5. REFERÊNCIAS

Baltar, C.A.M. Flotação no Tratamento de Minérios. 2a. ed. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco; 238p; 2010.

Cho, Y.S.; Laskowski, J.S. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. *International Journal of Mineral Processing* (64), 69-80; 2002.

Grau, R.A., Laskowski, J.S., Heiskanen, K. Effect of frothers on bubble size. *International Journal of Mineral Processing* (76), 225-233; 2005.

Kracht, W.; Finch, J.A. Bubble break-up and the role of frother and salt. *International Journal of Mineral Processing* (92), 153-161; 2009.

Szyska, D., Drzymala, J., Luczynski, J., Wilk, K. A., Patkowski, J. Concentration of alfa-terpineol and (2-dodecanoyloxyethyl) trimethyl ammonium bromide required for prevention of air bubble coalescence in aqueous solutions. 40, 53-59; 2006.

Veras, M.M.; Baltar, C.A.M.; Paulo, J.B.A.; Leite, J.Y.P. Comparative study of the main flotation frothers using a new HYDROMESS adapted technique. *REM: Revista da Escola de Minas*, 67(1), 87-92, 2014.