



CARACTERIZAÇÃO DE ESPUMANTES ATRAVÉS DO TAMANHO DE BOLHA E HOLDUP

SEGER, M.A.¹, RODRIGUES, R.T.¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M).
e-mail: rafael.teixeira@ufrgs.br

RESUMO

Este trabalho apresenta estudos de caracterização de espumantes através da determinação do tamanho de bolha e holdup. Quatro espumantes foram testados em uma coluna de flotação minipiloto instrumentada. O efeito da dosagem de espumante foi avaliado para dois valores de J_g (0,5 e 1,0 cm/s). Para todos os espumantes o diâmetro médio de bolha (D_{32}) e o holdup foram dependentes da dosagem de espumante e da velocidade superficial de gás (J_g). Observou-se a seguinte classificação, do menos eficiente (em aumentar o holdup), para o mais eficiente: Montanol 800; D25; Flotanol 7824; Flotanol 7166. A classificação dos espumantes baseada no holdup foi idêntica à classificação baseada no tamanho de bolha (sendo que esta última requer uma técnica muito mais elaborada).

PALAVRAS-CHAVE: Flotação, Tamanho de bolha, Holdup, Análise de imagem

ABSTRACT

This work presents studies for characterization of frothers through the determination of the bubble size and holdup. Four flotation frothers were tested on a laboratory-scale instrumented flotation column. The effect of the frother dosage on bubble size and holdup was evaluated for two superficial gas velocities (0,5 and 1,0 cm/s). The mean bubble size (D_{32}) and holdup were dependent of the frother dosage and superficial gas velocity (J_g). The following classification was obtained, from the least (to increase the holdup) to the most efficient: Montanol 800; D25; Flotanol 7824; Flotanol 7166. The frothers classification based on the holdup was identical to the classification based on the bubble size (however the last one requires more elaborated techniques).

KEYWORDS: Flotation, Bubble size, Holdup, Image analysis

1. INTRODUÇÃO

O tamanho de bolha, assim como a velocidade superficial de gás (J_g), o holdup e o fluxo de área superficial de bolhas (S_b), definido como a razão $6J_g/D_{32}$, possuem grande efeito sobre o desempenho do processo de flotação (Gorain, et al., 1995a; 1995b; 1996; 1997, Nasset et al, 2006; Schwarz and Alexander, 2006).

Neste contexto fica evidente que a flotação depende do emprego de espumantes para o controle o tamanho de bolha (Finch et al., 2006) e para cada tipo de minério existe uma distribuição de tamanho de bolha ideal que resultará na otimização da recuperação e cinética de flotação (Dobby and Finch, 1991).

Segundo Azgomi et al. (2007) o critério para seleção de espumantes, que no passado era focado principalmente no custo e disponibilidade, hoje também leva em consideração parâmetros referente à performance do processo de flotação, ao tamanho de bolha produzido e as propriedades da espuma com vistas ao melhor controle do processo. Dentre as técnicas para caracterização de espumantes destacam-se as baseadas nas propriedades da espuma, como sua estabilidade, recuperação de água, tempo de retenção (RTD), assim como os parâmetros holdup, tamanho de bolha e tensão superficial dinâmica.

O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes espumantes através da análise simultânea do tamanho de bolha e do holdup produzido em uma coluna de flotação instrumentada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Tabela 1 apresenta os espumantes utilizados e algumas de suas características.

Tabela 1. Informações sobre os espumantes utilizados.

Espumante	Fornecedor	Composição
Flotanol 7166	Clariant S/A	Base terpeno (óleo de pinho)
Flotanol 7824	Clariant S/A	Alto peso molecular, base PPG
D25	Clariant S/A	Médio peso molecular, Éter metílico de polipropilenoglicol
Montanol 800	Clariant S/A	Mistura de álcool, de éster e de éter alifático

*PPG = Polipropilenoglicol

A medição do tamanho das bolhas foi realizada via análise de imagens, previamente a entrada das mesmas na coluna de flotação, utilizando a metodologia e o equipamento descrito por Oliveira et al. (2015) e detalhado em Seger et al. (2019). A Figura 1 apresenta a referida montagem experimental utilizada. O sistema compreende de uma coluna de flotação de laboratório (2,75 cm de diâmetro x 210 cm de altura) e uma câmara de visualização para obtenção de imagens digitais para determinação do tamanho de bolha. Para dispersão do ar foi utilizado um tubo poroso (aço inox), com medidas externas de 15 x 30 mm (diâmetro x comprimento). As velocidades superficiais de gás utilizadas foram 0,5 e 1 cm/s. Soluções aquosas dos espumantes foram preparadas com água da rede de

abastecimento de Porto Alegre (DMAE) em um tanque mantido sob agitação constante. A partir deste tanque a solução foi bombeada para alimentação da coluna ($J_F=0,5$ cm/s) e injeção através da câmara de geração de bolhas (120 mL/min). O nível (interface) foi controlado pela vazão da bomba de “rejeito” e mantido em 20 cm em relação ao topo da coluna. Todos os ensaios foram realizados a temperatura ambiente (~ 23 °C), com pH natural ($\sim 7,5$). As imagens foram capturadas com uma câmera SONY XC-HR70 (1024 x 768 pixels), acoplada a uma lente de zoom (MLH-10X Macro Zoom – Moritex Corporation). As etapas de captura, processamento e análise das imagens foram automatizadas com o auxílio do software Matrox Inspector 8. Mais detalhes sobre os procedimentos experimentais podem ser obtidos em Oliveira et al. (2015) e Seger et al. (2019). O diâmetro médio adotado foi o diâmetro médio de Sauter (D_{32}).

O holdup foi determinado através de medidas de pressão realizadas por dois sensores de pressão instalados na zona de recuperação da coluna de flotação. O holdup do ar (ϵ_g) foi calculado através da equação 1:

$$\epsilon_g = 1 - \frac{\Delta P}{\rho_{SL} \cdot g \cdot L} \quad (1)$$

onde: ΔP = diferença de pressão entre os dois pontos da zona de recuperação (kPa); ρ_{SL} = massa específica da polpa (ou água) entre esses pontos (g/cm^3); L = distância entre os pontos das medidas de pressão (m); g = aceleração da gravidade (m/s^2).

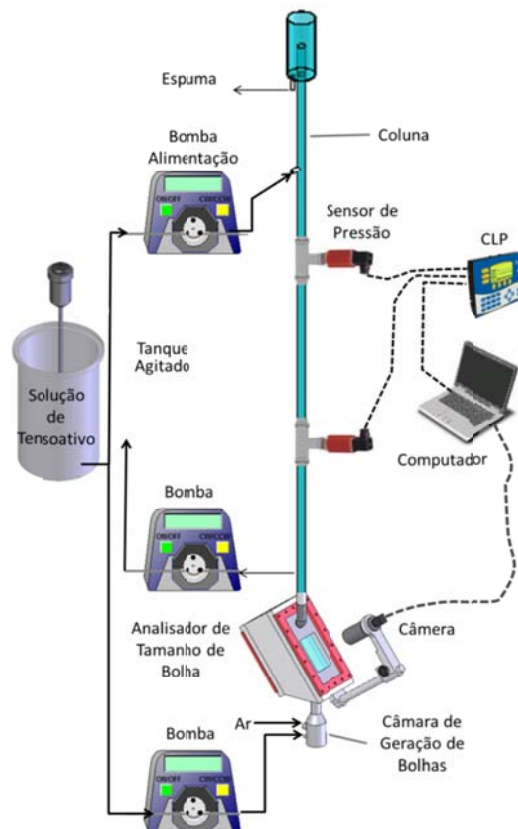


Figura 1. Montagem experimental para estudos de determinação de tamanho de bolha e holdup (adaptado de Oliveira et al., 2015 e Seger et al., 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o efeito da concentração de espumante no tamanho médio de bolha. Conforme esperado, bolhas grandes ($D_{32} = 2,2 - 2,7$ mm) são formadas na ausência de espumante e o seguinte comportamento foi observado: rápido decréscimo no tamanho de bolha e uma suavização à medida que a concentração de espumante aumenta. Estes resultados estão de acordo com o previsto segundo estudos publicados sobre a relação tamanho de bolha x dosagem de espumante (Nesset et al., 2006; Zhang et al., 2009; Leiva et al., 2010) e relativo à concentração crítica de coalescência (CCC) para diversos espumantes (Cho and Laskowski, 2002; Laskowski et al., 2003; Laskowski, 2004). Comportamento similar também foi verificado entre a dosagem de espumante e o holdup (Fig. 3). Como apresentado na Figura 2, todos os espumantes apresentaram CCC próximo a 10 mg/L, entretanto a seguinte classificação, do menos eficiente (em diminuir o tamanho de bolha com mesma dosagem de espumante), para o mais eficiente foi encontrada: Montanol 800; D25; Flotanol 7824; Flotanol 7166.

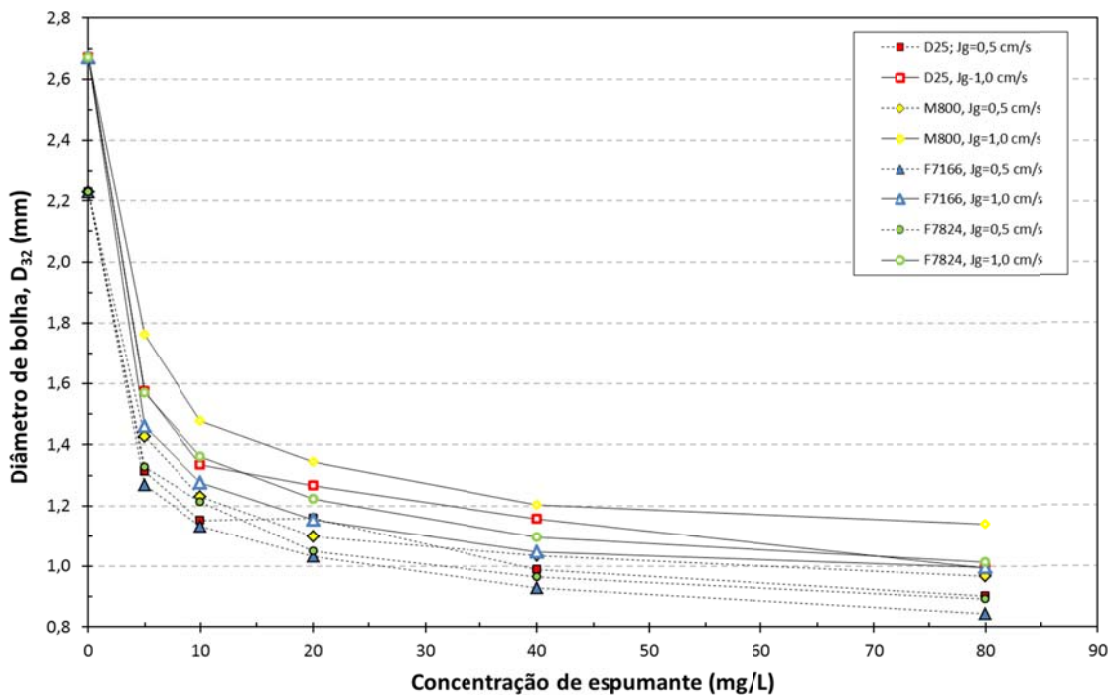


Figura 2. Efeito da concentração de espumante no diâmetro médio de bolha (D_{32}).

A Figura 3 mostra que também existe uma diferença entre os valores de holdup para uma mesma dosagem dos diferentes espumantes. Observou-se a seguinte classificação, do menos eficiente (em aumentar o holdup), para o mais eficiente: Montanol 800; D25; Flotanol 7824; Flotanol 7166. Estes resultados estão de acordo com o trabalho reportado por Azgomi et al. (2007), os quais utilizaram o holdup para classificar diferentes espumantes.

Para uma mesma vazão de ar, o número de bolhas e consequentemente o holdup e o S_b aumentam quando o tamanho de bolha diminui. Quanto menor o tamanho de bolha produzido maior o tempo de retenção das mesmas, devido a menor velocidade de ascensão e, consequentemente, maior será o holdup. Como apresentado na Figura 4, verificou-se uma correlação exponencial entre o tamanho de bolha (D_{32}) e o holdup.

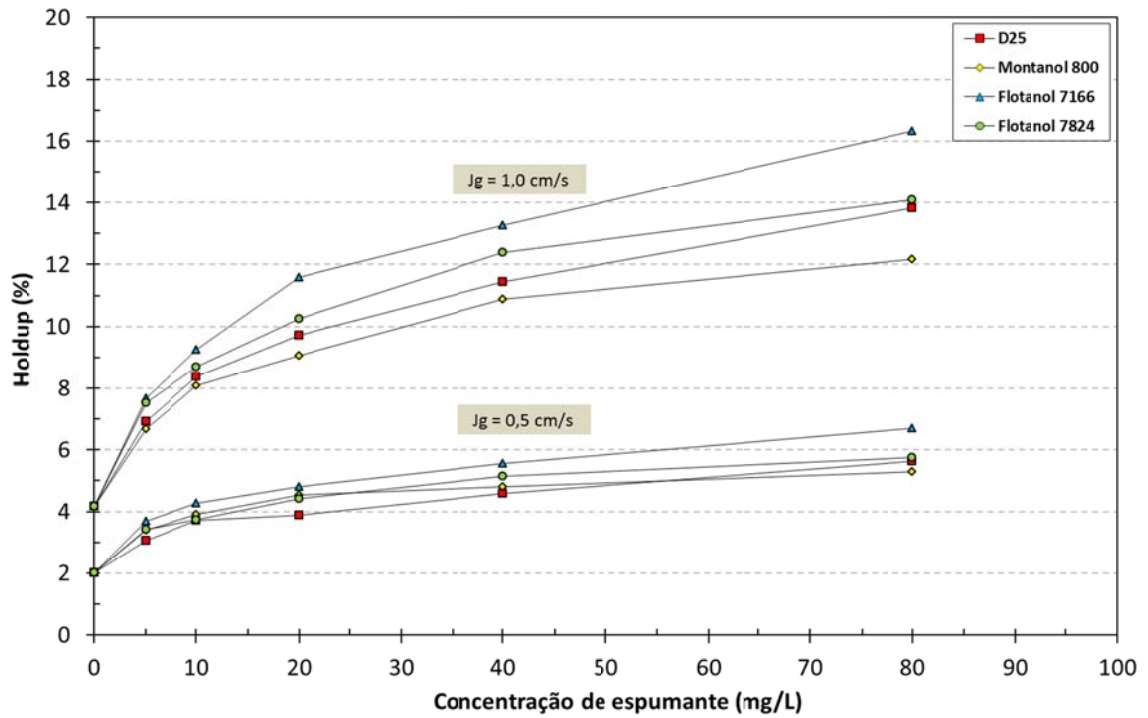


Figura 3. Efeito da concentração de espumante no holdup.

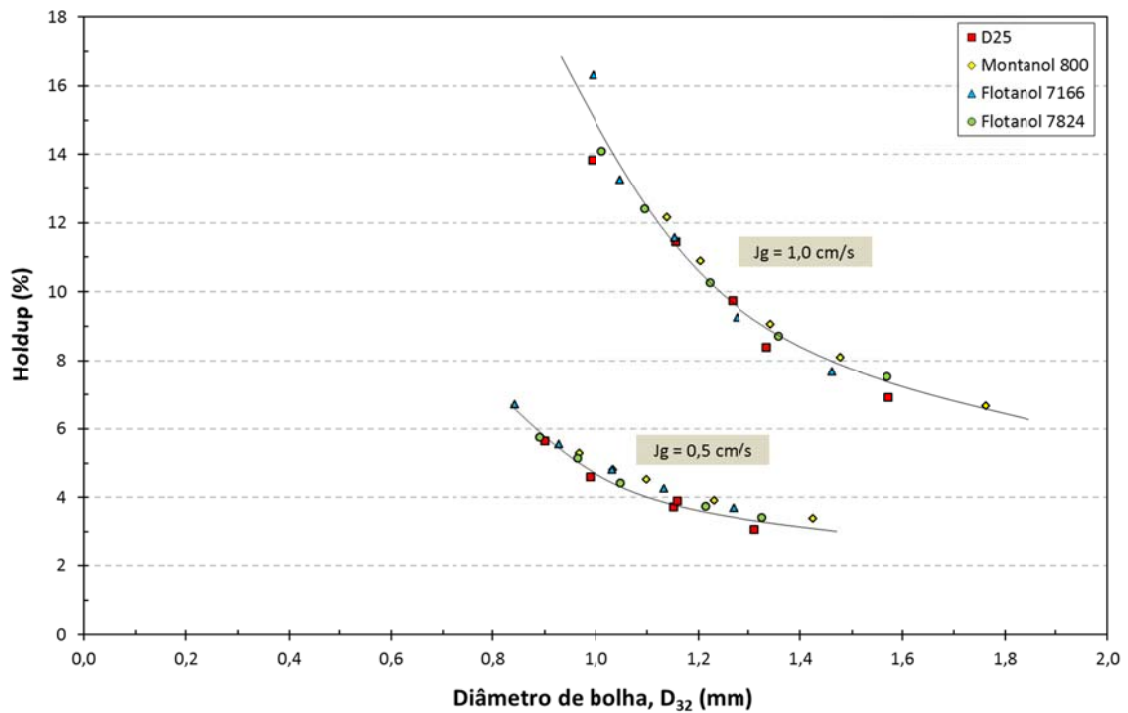


Figura 4. Correlação entre o D_{32} e o holdup.

A Figura 5 mostra a correlação entre holdup e S_b . Os resultados estão em concordância com diversos estudos reportados (Finch et al., 2000, Grau and Heiskanen, 2003, Vinnett et al., 2016) onde uma correlação linear tem sido observada para diferentes equipamentos de flotação e regimes de operação.

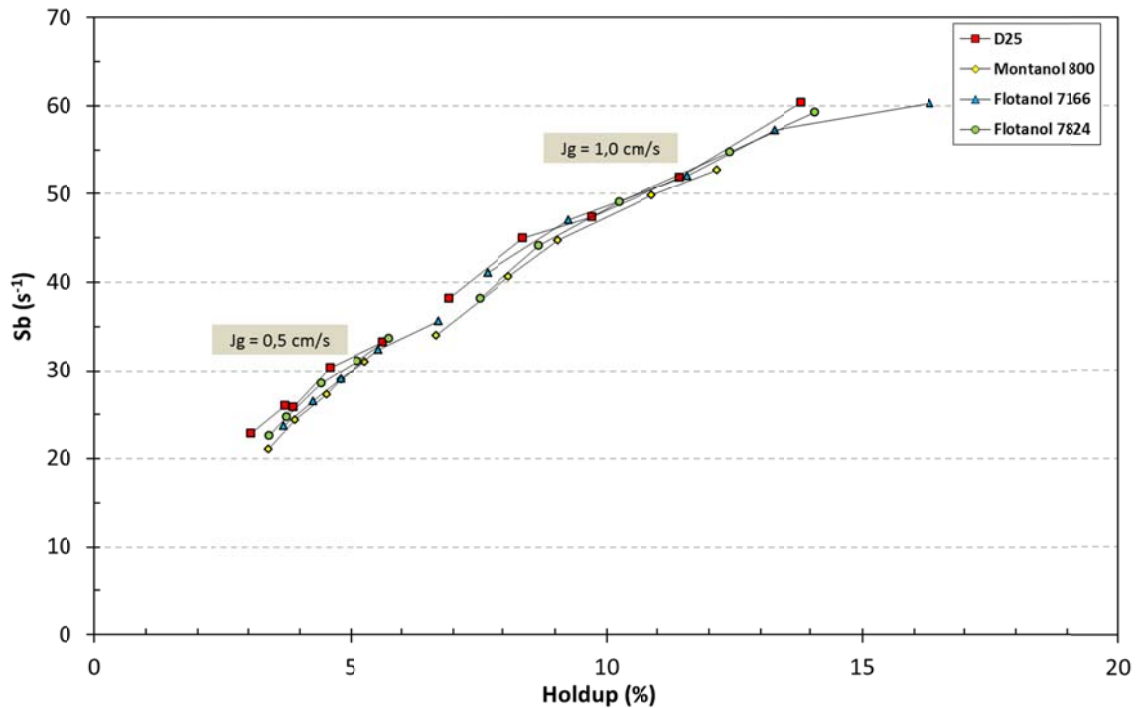


Figura 5. Correlação entre o holdup e o S_b .

4. CONCLUSÕES

Com a metodologia empregada neste trabalho foi possível concluir:

1. O diâmetro médio de bolha e o holdup foram fortemente influenciados pela dosagem de espumante até a concentração crítica de coalescência (CCC);
2. Observou-se a seguinte classificação, do menos eficiente (em aumentar o holdup), para o mais eficiente: Montanol 800; D25; Flotanol 7824; Flotanol 7166;
3. A classificação dos espumantes baseada no holdup foi idêntica à classificação baseada no tamanho de bolha (sendo que esta última requer uma técnica muito mais elaborada).

5. REFERÊNCIAS

- Azgomi, F., Gomez, C.O., Finch, J.A. Characterizing frother using gas hold-up. Canadian Metallurgical Quarterly, 2007; 46/3, 237-242.
- Cho, Y.S., Laskowski, J.S. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. Int. J. Miner. Process. 2002; 64; 69-80.
- Dobby, G.S., Finch, J.A., 1991. Column flotation: a selected review, part II. Miner. Eng. 4 (7-11), 911-923.
- Finch, J., Xiao, J., Hardie, C., Gomez, C.O. Gas dispersion properties: Bubble surface area flux and gas holdup. Minerals Engineering 2000, 13(4), 365-372.
- Finch, J.A., Gelinas, S., Moyo, P. Frother-related research at McGill University. Minerals Engineering 2006; 19; 726-733.
- Gorain, B.K., Franzidis, J.-P. Manlapig, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in industrial scale flotation cell – part 1: Effect on bubble size distribution. Minerals Engineering 1995a, 8(6), 615-635.

Gorain, B.K., Franzidis, J.-P. Manlapig, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in industrial scale flotation cell – part 2: Effect on gas holdup, *Minerals Engineering* 1995b, 8(12), 1557-1570.

Gorain, B.K., Franzidis, J.-P. Manlapig, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in industrial scale flotation cell – part 3: Effect on superficial gas velocity, *Minerals Engineering* 1996, 9(6), 639-654.

Gorain, B.K., Franzidis, J.-P. Manlapig, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in industrial scale flotation cell – part 4: Effect of bubble surface area flux on flotation performance. *Minerals Engineering* 1997, 10(4), 639-654.

Grau, R.A., Heiskanen, K. Gas dispersion measurements in a flotation cell. *Minerals Engineering* 2003, 16, 1081-1089.

Laskowski, J.S., Tlhone, T., Williams, P., Ding, K. Fundamental properties of the polyoxypropylene alkyl ether flotation frothers. *Int. J. Miner. Process.* 2003; 72(1-4); 289-299.

Laskowski, J.S., Testing flotation frothers. *Physicochemical Problems of Mineral Processing.* 2004, 38, 13-22.

Leiva, J., Vinnett, L., Contreras, F., Yianatos J. Estimation of the actual bubble surface area flux in flotation. *Minerals Engineering* 2010; 23; 888–894.

Nesset, J.E., Hernandez-Aguilar, J.R., Acuna, C., Gomez, C.O., Finch, J.A. Some gas dispersion characteristics of mechanical flotation machines. *Minerals Engineering* 2006; 19, 807–815.

Oliveira, C., Pompeo, A.A., Seger, M.A., Rodrigues, R.T. Desenvolvimento de um sistema de medição, monitoramento e controle do tamanho de bolha em uma coluna de flotação minipiloto. In: *Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Anais do XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; 2015; Poços de Caldas-MG, Brasil.*

Seger, M.A., Oliveira, C., Rodrigues, R.T. Development of a laboratory-scale flotation column with inlet bubble size measurement. *Minerals Engineering* 2019; 142, 105936.

Schwarz, S., Alexander, D., Gas dispersion measurements in industrial flotation cells. *Minerals Engineering* 2006, 19, 554–560.

Vinnett, L., Ledezma, T., Alvarez-Silva, M., Waters, K. Gas holdup estimation in flotation machines using image techniques and superficial gas velocity. *Minerals Engineering* 2016, 96-97, 26-32.

Zhang, W., Kolahdoozan, M., Nesset, J.E., Finch, J.A. Use of frother with sampling-for-imaging bubble sizing technique. *Minerals Engineering* 2009; 22, 513–515.