

# **Avaliação de diferentes espumantes na distribuição do tamanho de bolhas do processo de flotação por meio dos softwares ImageJ e Anglo Platinum Bubble Size - APBS**

## **Evaluation of different frothers in the bubble size distribution on flotation process using ImageJ and Anglo Platinum Bubble Size - APBS software.**

**Luiz Felipe Alves dos Santos**  
Bolsista PCI, Eng. De Minas, B. Sc

**Hudson Jean Bianchini Couto**  
Supervisor, Eng. Químico, D. Sc.

### **Resumo**

Na flotação um dos principais reagentes utilizado é o espumante, desempenhando um papel vital na formação das bolhas, que separa o mineral de interesse, dos minerais de ganga sendo essencial uma boa distribuição de tamanho de bolhas, com minimização do efeito de coalescência, prejudicial ao processo. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os espumantes MIBC, Senfroth 6005 (SF6005) e Senfroth 6010 (SF6010), quanto a distribuição do tamanho de bolhas, diâmetro médio de Sauter e, por consequência, determinação das suas respectivas concentrações críticas de coalescência, em sistema bifásico. Os testes foram realizados com uso de uma célula de flotação Magotteaux FM100 e o Anglo Platinum Bubble Size, para todos os espumantes com uma concentração de 1%, e dosagens de 2, 5, 10, 20, 50 mg/L. Concluiu-se que as dosagens de 20 e 50 mg/L foram as que mais produziram bolhas em todos os espumantes para os dois softwares utilizados, o APBS não detectou bolhas nas duas primeiras faixas de diâmetros, diferente do *ImageJ*. A CCC do MIBC foi de 12,8 mg/L, a do SF6005 foi de 14,5 mg/L enquanto a do SF6010 foi de 11,4 mg/L.

Palavras-chave: Bolhas; espumantes; diâmetro; distribuição; CCC.

### **Abstract**

In flotation, one of the main reagents used is the frothers, which plays a vital role in bubble formation that separates the mineral of interest from the gangue minerals. Bubbles are essential to the flotation stage, and we understand the importance of having a good distribution of bubble sizes and preventing them from coalescing, as this can hinder the process. Therefore, the objective of this study was to evaluate the frothers MIBC, Senfroth 6005 (SF6005), and Senfroth 6010 (SF6010) regarding bubble size distribution and average Sauter diameter, and consequently determine their respective critical coalescence concentrations in a two-phase system. Tests were conducted using a Magotteaux FM100 flotation cell and Anglo Platinum Bubble Size software, with all frothers tested at a concentration of 1% for dosages of 2, 5, 10, 20, and 50 mg/L. It was concluded that the dosages of 20 and 50 mg/L produced the most bubbles in all frothers for both software programs used; APBS did not detect

bubbles in the first two diameter ranges, unlike ImageJ. The critical coalescence concentration (CCC) of MIBC was 12.8 mg/L, for SF6005 it was 14.5 mg/L, and for SF6010 it was 11.4 mg/L.

Key words: Bubbles; sparkling wines; diameter; distribution; CCC.

## 1. Introdução

Para Baltar (2021), a flotação é uma técnica de concentração de minérios, fundamentada na separação de minerais com características superficiais diferentes. Tal capacidade de alterar a superfície de um mineral é realizada com o uso de reagentes, mais especificamente o coletor, uma vez que o mineral esteja hidrofobizado e por meio do uso de espumantes, é possível fazer com que o conjunto bolha/partícula seja coletado havendo, assim, a separação de fato.

Os espumantes são compostos orgânicos heteropolares com uma grande afinidade pela água, tendo suas propriedades aumentadas a medida em que o comprimento da cadeia também aumenta, porém, dentro de um limite. Diferentemente dos coletores que adsorvem na interface sólido/líquido, o espumante adsorve preferencialmente na interface líquido/gás (Baltar, 2021; Pawliszak *et al.*, (2024)), reduzindo a tensão superficial, provendo estabilidade as bolhas produzidas e diminuindo a coalescência (SRDJAN, 2007). Afetando assim, o tamanho das bolhas. Outro fator que afeta o tamanho das bolhas é a concentração do espumante. À medida em que se aumenta sua concentração, o diâmetro das bolhas diminui até um ponto em que a concentração do espumante não tem mais efeito sobre o diâmetro. Essa diminuição passa a ser consequência do processo de quebra que ocorre próximo ao impelidor (GRAU; LASKOWSKI e HEISKANEM (2005)) Uma vez que a concentração do espumante não afeta mais o tamanho da bolha, não há necessidade de usá-lo excessivamente, evitando assim custos e desperdício de reagentes. Outra variável importante além da rotação é vazão de ar, que, na medida em que se aumenta a vazão de ar, faz com que o diâmetro das bolhas aumente, como observado por Gorain, Franzidis e Manlapig (1995).

Bolhas menores afetam significativamente a flotação, sobretudo de partículas finas, pois, aumentam a área superficial, aumentando assim a probabilidade de contato bolha/partícula (REAY, 1973). Ahmed e Jameson (1985) estabeleceram a dependência que a constante cinética de flotação tem com o diâmetro de bolha, sendo esta inversamente proporcional ao tamanho da bolha, e o tempo para a formação do agregado bolha/partícula é consideravelmente menor quando as bolhas são menores como foi observado por Gu *et al.* (2003). Como relatado as bolhas menores apresentam uma série de vantagens, porém, bolhas menores apresentam uma menor capacidade de carregamento e uma menor velocidade de ascensão, podendo ser levada pelo fluxo na célula, sendo necessário uma boa distribuição de bolhas para uma flotação efetiva.

Diversas são as técnicas utilizadas para se determinar o tamanho de bolhas, destacando-se método óptico com tubo capilar e métodos baseados em capturas de imagens com visor externo, combinados com processamento de imagens por softwares.

O diâmetro médio de Sauter ( $D_{32}$ ) é uma importante medida nos ensaios de distribuição de tamanho de bolhas que representa uma medida eficaz do tamanho de partículas (ou bolhas) em uma coleção, que leva em consideração tanto o volume como a área de superfície (KOWALCZUK e DRZYMALA (2016)).

Portanto, entender como o diâmetro de bolhas se relaciona com a vazão de ar e a rotação e como concentração de espumante afeta o diâmetro e a distribuição das bolhas é fundamental para um processo de flotação efetivo.

## 2. Objetivos

Determinar a concentração crítica de coalescência dos espumantes MIBC, Senfroth 6005 e Senfroth 6010 e avaliar os espumantes quanto a distribuição do tamanho de bolhas e ao diâmetro médio de Sauter para um sistema bifásico de flotação.

## 3. Material e Métodos

Os reagentes utilizados foram três espumantes, sendo eles: O metil isobutil carbinol (MIBC), e os espumantes comerciais denominados Senfroth 6005 e senfroth 6010, nas dosagens de 2, 5, 10, 20 e 50 mg/L.

A realização dos ensaios consistiu em avaliar as dosagens já mencionadas para os três espumantes. Os ensaios foram realizados nas instalações do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), sendo utilizada a célula de flotação *magotteaux*. Modelo FM1000, equipada com uma cuba de acrílico com capacidade para 3 litros. Para a captura e análises das bolhas utilizou-se o *Anglo Platinum Bubble size (APBS)*, acoplado a este uma câmera digital Canon, modelo Powershot S95. Cada teste foi realizado com pelo menos 3 imagens obtidas de forma contínua com intervalos de tempo de cerca de 3s. O processamento das imagens é realizado através do *software ImageJ* e APBS, sendo um software de código livre e outro pago que acompanha o equipamento de mesmo nome, respectivamente.

## 4. Resultados e Discussão

Definido os parâmetros operacionais, rotação de 1000 RPM e vazão de 2 L/min foi realizado a varredura das concentrações dos espumantes, o MIBC como mostra a Figura 1, apresenta uma distribuição feita pelo APBS na qual a maior quantidade de bolhas ocorre na faixa de 0,354 a 0,5 mm para a dosagem de 50 mg/L, já para a distribuição realizada pelo *ImageJ* a dosagem de 20 mg/L se destaca apresentando maior quantidade de bolhas na faixa de 0,177 a 0,25 mm, nota-se que o a distribuição realizada pelo *ImageJ* apresenta bolhas de diâmetros menores enquanto que a distribuição realizada pelo APBS detectou mais bolhas de forma geral.

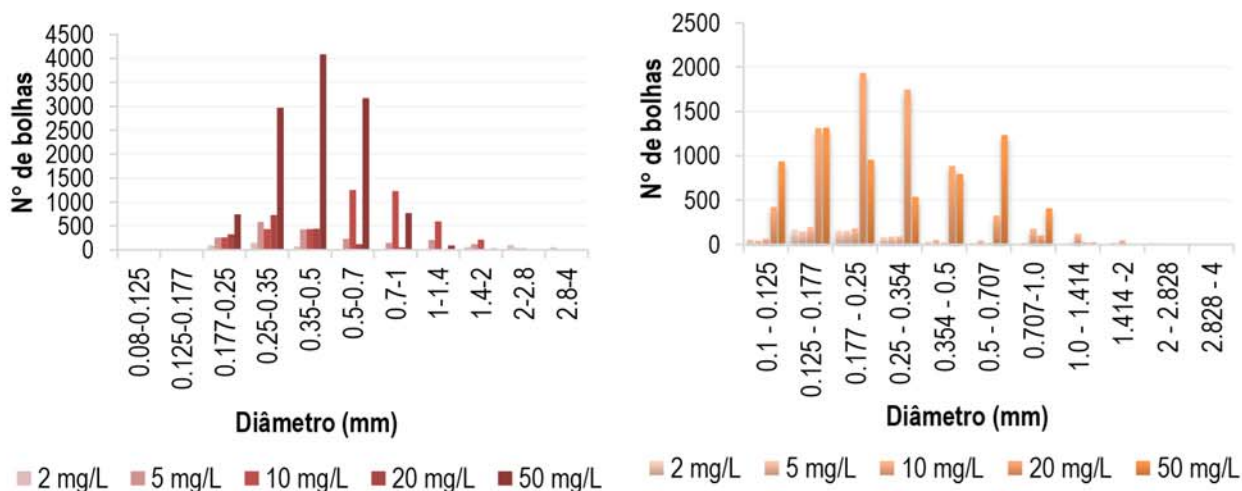


Figura 1. Distribuição do tamanho de bolhas para o MIBC processadas pelo software APBS e ImageJ, respectivamente.

A Figura 2 apresenta o diâmetro médio de Sauter para o espumante MIBC para as concentrações testadas. Nota-se que o  $D_{32}$  diminui à medida que se aumenta a concentração, apresentando valores 2,56 mm a 0,53 mm para 2 e 50 mg/L, respectivamente. As dosagens intermediárias 5, 10 e 20 mg/L obtiveram resultados de 1,44, 1,09 e 0,63, nesta ordem. Usando o modelo de Laskowski (2003) e traçando retas pelo método dos mínimos quadrados foi possível determinar a concentração crítica de coalescência (CCC) para o MIBC nas condições testadas, com valor de 12,8 mg/L, percebe-se que a partir disso a variação do  $D_{32}$  é mínima.

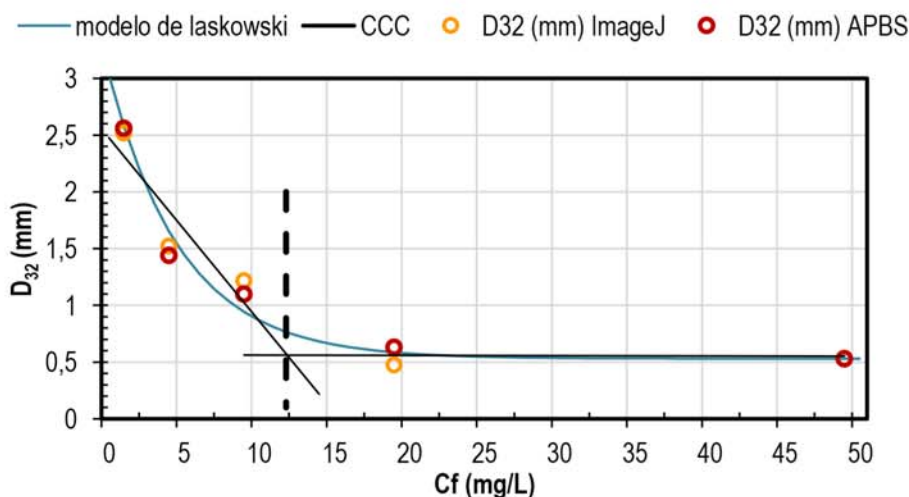


Figura 2. Determinação da CCC para o MIBC.

A varredura das concentrações do Senfroth 6005 (Figura 3), mostrou uma superioridade de bolhas detectadas pelo APBS de forma geral, com maior quantidade de bolhas nas faixas intermediárias, para as dosagens de 20 e

50 mg/L, nota-se, também bolhas de diâmetros maiores porém, em quantidade bem menores nas faixas de diâmetros maiores, diferentemente do APBS, o *ImageJ* tem sua distribuição mais deslocada para a esquerda, o que representa bolhas de diâmetros menores, sendo a maior quantidade de bolhas na faixa 0,5 a 0,707 mm para a dosagem 50 mg/L, seguida da faixa de 0,354 a 0,5, também para a dosagem de 50 mg/L, as demais dosagens produziram abaixo de 500 bolhas.

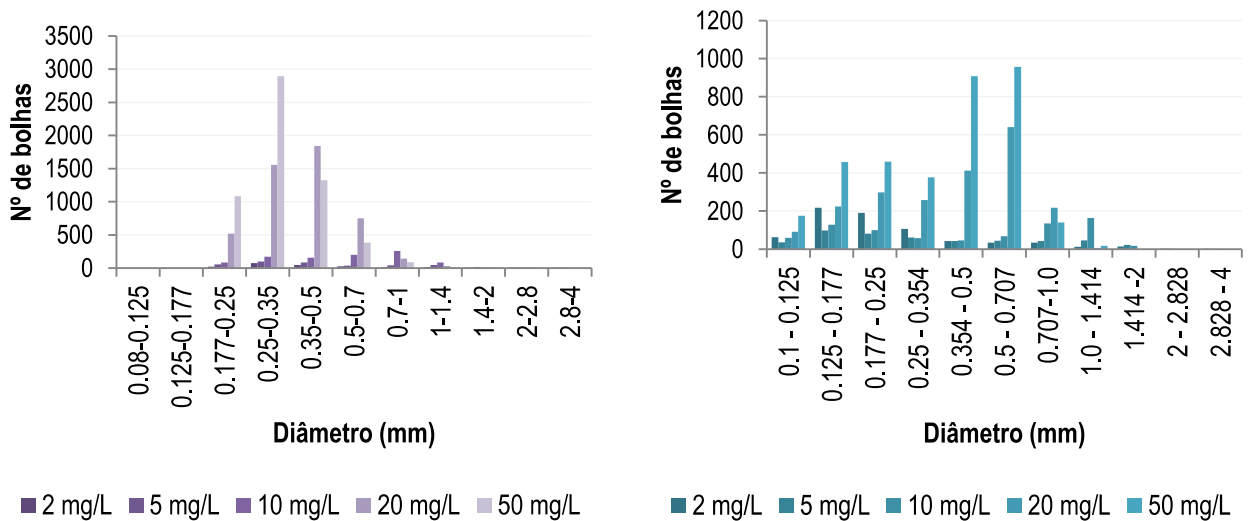


Figura 3. Distribuição do tamanho de bolhas para o Senfroth 6005 processadas pelo *software* APBS e *ImageJ*, respectivamente.

O diâmetro médio de Sauter para o Senfroth 6005, exibido na Figura 4, apresenta variação de 1,6 mm, 1,3 mm, 1,0 mm, 0,52 mm e 0,47 mm, para as dosagens de 2, 5, 10, 20 e 50 mg/L. Enquanto que a CCC foi determinada na concentração de 14,5 mg/L, nota-se, também uma distancias dos valores de  $D_{32}$  nas concentrações de 2, 5 e 10 mg/L, isso pode ser justificado pela quantidade de bolhas detectada por cada *software* nessa concentração.

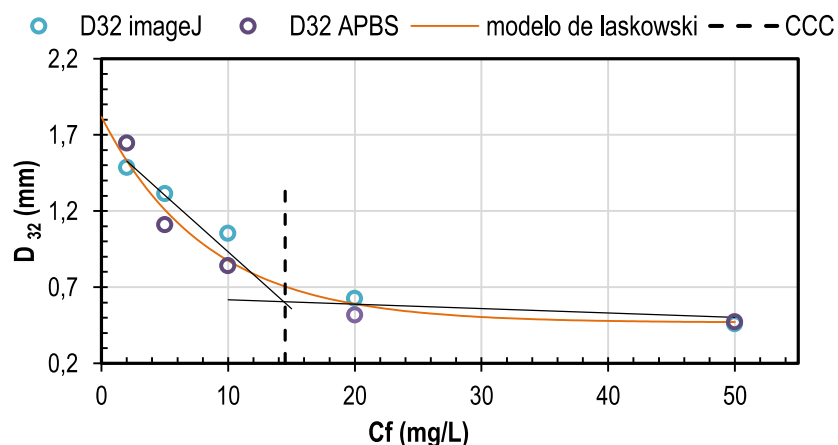


Figura 4. Determinação da CCC para o Senfroth 6005.

A distribuição de bolhas para o Senfroth 6010 (Figura 5), feita pelo *ImageJ*, mostra que a faixa de diâmetro que mais possui bolha é a de 0,125 a 0,177 mm, seguido da terceira faixa (0,177 a 0,25), para as dosagens de 50 e

20 mg/L, produzindo acima de 2000 bolhas, enquanto que o APBS detectou maior quantidade de bolhas em faixas de tamanho intermediárias (0,25 - 0,5 mm), novamente para dosagens mais altas.

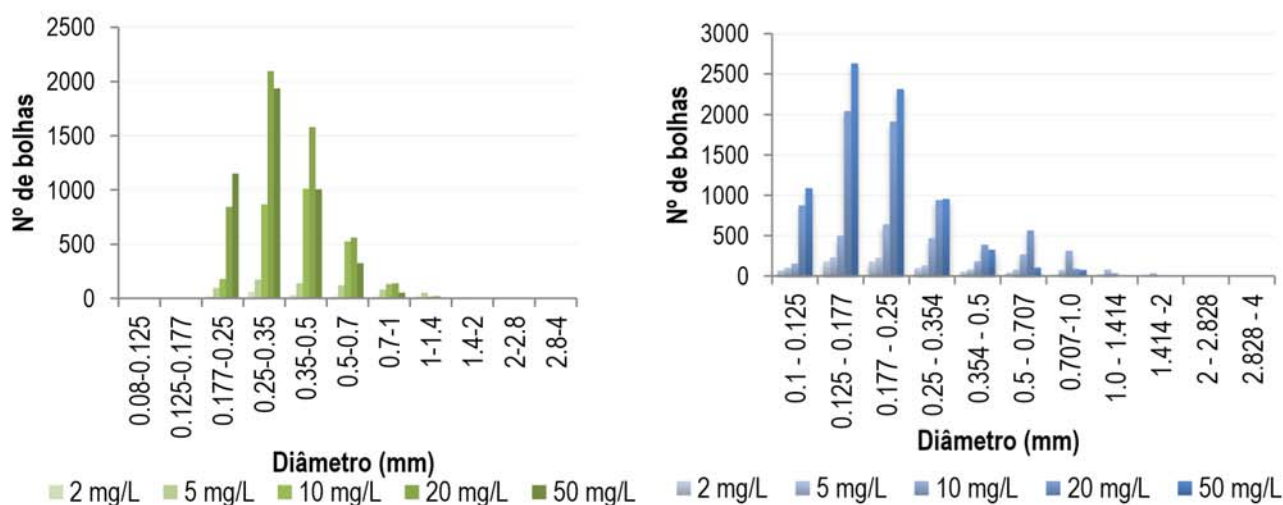


Figura 5. Distribuição do tamanho de bolhas para o Senfroth 6010 processadas pelo software APBS e ImageJ, respectivamente.

O diâmetro médio de Sauter obtido (Figura 6) apresenta valores de 1,27 mm a 0,4 mm, para 2 e 50 mg/L, respectivamente, com dosagens intermediárias com valores de 1,09 mm, 0,58 mm e 0,48 mm, para 5, 10 e 20 mg/L, nesta ordem. A CCC deste espumante foi determinada em 11,4 mg/L.

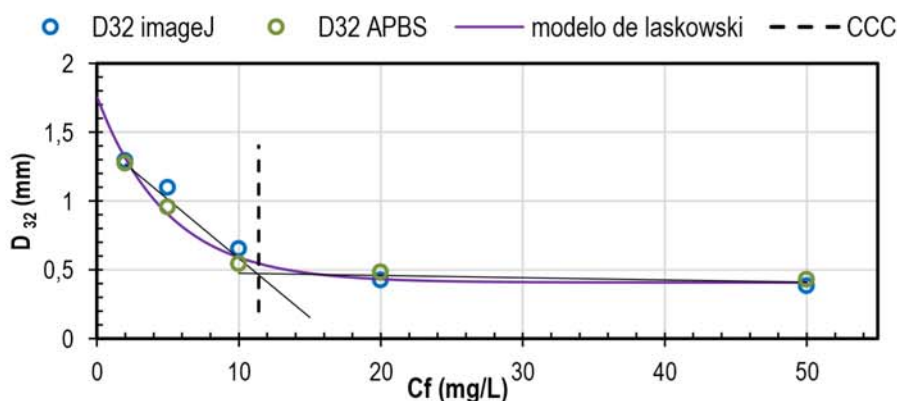


Figura 4. Determinação da CCC para o Senfroth 6010.

## 5. Conclusão

Conclui-se, por meio dos ensaios preliminares, que a rotação ideal para os testes foi de 1000 RPM e a vazão de ar de 2 L/min. Analisando a distribuição dos 3 espumantes, realizada pelo software APBS elas apresentam um comportamento bem similar com o pico de detecção de bolhas na faixa de 0,25 a 0,354 mm com a excessão do MIBC no qual o pico de detecção de bolha foi na faixa de 0,354 – 0,5 mm. Enquanto que, as distribuições realizadas

pelo *ImageJ* apresentam mais diferentes formatos de um espumante para outro, sendo as faixas com maior quantidade de bolhas distintas, com a faixa de 0,177 – 0,25 para o MIBC, 0,5 – 0,707 para o senfroth 6005 e 0,125 – 0,177 para o senfroth 6010. Quanto ao diâmetro médio de Sauter, MIBC apresentou os maiores diâmetros para todas as concentrações, quanto a CCC o maior valor foi para SF6005 (14,5 mg/L), seguido pelo MIBC (12,8 mg/L) e em seguida pelo SF6010 com (11,4 mg/L). O valor mais alto para o SF6005 pode ser a baixa produção de bolhas nas faixas de diâmetro menores. Como trabalhos futuros pretende-se investigar o comportamento dos espumantes em sistemas trifásicos, com variação da porcentagem de sólidos e realização de testes em coluna de flotação.

## 6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa concedida, ao centro de tecnologia mineral (CETEM) pela infraestrutura, ao Dr. Hudson Couto e a todos os bolsistas que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

## 7. Referências Bibliográficas

AHMED, N.; JAMESON, G. J. The effect of bubble size on the rate of flotation of fine particles. **International journal of mineral processing**, v. 14, n. 3, p. 195-215, 1985.

BALTAR, Carlos Adolfo Magalhães. Flotação: em nova abordagem. **Recife: Ed. UFPE**, p. 537, 2021.

GORAIN, B. K.; FRANZIDIS, J.-P.; MANLAPIG, E. V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell—Part 1: Effect on bubble size distribution. **Minerals Engineering**, v. 8, n. 6, p. 615-635, 1995.

GRAU, Rodrigo 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.

GU, Guoxing et al. A novel experimental technique to study single bubble-bitumen attachment in flotation. **International Journal of Mineral Processing**, v. 74, n. 1-4, p. 15-29, 2004.

KOWALCZUK, Przemyslaw B.; DRZYMALA, Jan. Physical meaning of the Sauter mean diameter of spherical particulate matter. **Particulate Science and Technology**, v. 34, n. 6, p. 645-647, 2016.

LASKOWSKI JS. Fundamental properties of flotation frothers. In: Lorenzen L, Bradshaw DJ. Proceedings 22nd Int. Mineral Processing Congress. Cape Town; 2003. p. 788-797.

PAWLISZAK, Piotr et al. Frothers in flotation: A review of performance and function in the context of chemical classification. **Minerals Engineering**, v. 207, p. 108567, 2024.

REAY, David. Removal of fine particles from water by dispersed air flotation. 1973. SRDJAN, M. Bulatovic. Handbook of Flotation Reagents Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores. **Elsevier Science & Technology Books**, 2007.