

Estudo de comparação de *softwares* para processamento de imagens em estudos de distribuição de tamanho de bolha

Comparative study of software for image processing in bubble size distribution studies

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

Hudson Couto
Supervisor, Eng. Químico, D. Sc.

Resumo

O tamanho médio das bolhas bem como a sua distribuição são variáveis de grande importância no processo de flotação, influenciando diretamente na eficiência e coleta e no transporte das partículas, para analisar esse fenômeno é necessário analisar imagens capturadas das bolhas que foram processadas por três *softwares*, o *Anglo Platinum Bubble Sizer* (APBS) de código fechado, o *Bubble analyser* e o *ImageJ* ambos de código aberto, conhecer os parâmetros e os processos por trás da análise das imagens é fundamental para verificar a confiabilidade dos resultados. O presente trabalho teve por objetivo comparar os três *softwares* citados, avaliando-os através de variáveis como facilidade de aplicação, eficiência computacional e exatidão nos resultados. O *software ImageJ* se mostrou mais a frente nos parâmetros facilidade de aplicação e exatidão nos resultados enquanto que o *software APBS* se mostrou superior no parâmetro eficiência computacional.

Palavras-chave: bolhas, *software*, processamento, comparação.

Abstract

The average size of bubbles as well as their distribution are crucial variables in the flotation process, directly influencing the efficiency of particle collection and transport. To analyze this phenomenon, it is necessary to examine images captured of the bubbles processed by three different software tools: the closed-source Anglo Platinum Bubble Sizer (APBS), the open-source Bubble Analyzer, and ImageJ. Understanding the parameters and processes behind image analysis is essential to assess the reliability of the results. This study aimed to compare the three mentioned software tools, evaluating them based on variables such as ease of application, computational efficiency, and accuracy of results. ImageJ proved to be superior in terms of ease of application and accuracy of results, while APBS excelled in computational efficiency.

Keywords: bubbles, software, processing, comparison.

1. Introdução

No processamento mineral existe um empenho na recuperação de particulado fino, em especial os perdidos em processos de circuitos de flotação comumente utilizados, se tornando um dos principais desafios do processo. Os equipamentos de flotação largamente utilizados produzem bolhas entre 600 e 2500 μm , sendo consideradas grandes para a captura de partículas finas, para Rubio *et al.*, (2002) a falta de bolhas pequenas e médias (10 – 600 μm) em células de flotação é o principal fator que atrapalha na recuperação dos finos.

Os meios de concentração se utilizam de propriedades diferenciadoras intrínsecas dos minerais para o material que se quer concentrar (minério) e do material que se descarta (ganga), entre essas características estão, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica e densidade, com base nessas características é possível desenvolver equipamentos e métodos que se aproveitem desses atributos e consigam concentrar o material de interesse. Com a flotação não é diferente, porém a característica intrínseca em questão é a superfície das partículas minerais. De maneira sucinta Baltar (2021) define a flotação como uma técnica de separação de minerais com base na molhabilidade de superfície, podendo esta ser alterada com uso de reagentes.

Um desses reagentes é o espumante, definido como compostos orgânicos de caráter heteropolar, parte polar podendo apresentar caráter iônico ou neutro enquanto a parte apolar apresenta caráter aerofílica sendo capazes de se adsorver na interface água/ar o que proporciona uma maior resistência das bolhas, com maior dispersão e estabilidade (BULATOVIC, 2007; BALTAR 2021). Para Chaves, Leal Filho e Braga (2018) as propriedades dos espumantes aumentam com o comprimento da cadeia não polar. Uma pequena quantidade de espumante é suficiente para afetar fortemente o tamanho das bolhas, o diâmetro das bolhas diminui exponencialmente com a concentração do espumante, essa relação é válida até a CCC (CHO; LASKOWSKI, 2000).

Existem vários métodos descritos pelos autores para determinação do tamanho de bolhas, tais como: a utilização de correlações fluidodinâmicas, medidas de eletro resistividade, difração laser, análise de imagem, dentre outras (COUTO et al., 2009; GRAU e HEISKANEN, 2005). Entre esses métodos destacam-se aqueles com base na captura e processamento de imagens digitais utilizando visores externos, apresentando-se como uma alternativa promissora para avaliação do tamanho de bolhas em células de flotação industriais.

Uma vez configurado os parâmetros do ensaio e obtida as imagens a etapa seguinte é o tratamento destas para obtenção dos dados, sendo este feito através dos *softwares* de processamento de imagens etapa crucial para se ter informações como distribuição de tamanho de bolha e diâmetro médio de Sauter por exemplo. Tendo em vista a importância que os *softwares* de processamento de imagem têm para a análise DTB o objetivo deste trabalho é avaliar os *softwares* *ImageJ*, *APBS* e *Bubble Analyser*, comparando-os em características como facilidade de execução, eficiência computacional e exatidão nos resultados.

2. Objetivos

O objetivo geral foi avaliar os *softwares* Anglo Platinum Bubble sizer, *ImageJ* e *Bubble Analyser* quanto a facilidade de execução, eficiência computacional e exatidão nos resultados.

Os objetivos específicos são:

- Analisar as características diferenciais de cada software
- Determinar o *software* que mais se adequa para os estudos futuros de distribuição de tamanho de bolha em sistemas trifásicos.

3. Material e Métodos

3.1. Obtenção das imagens

As imagens são provenientes de estudos de distribuição de tamanho de bolha anteriores feitos pelo CETEM, resultando em um total de 32 imagens, no qual foram obtidas com a seguinte instrumentação:

- Célula *magotteaux* e *Anglo Platinum Bubble Sizer* (APBS)
- Câmera digital *Canon PowerShot S95*

Os testes de flotação foram desenvolvidos em uma célula mecânica *Magotteaux* modelo FM001 equipada com uma cuba de 5L. A determinação do tamanho médio de bolhas foi realizada por meio do uso do equipamento *Anglo Platinum Bubble Sizer* com uma câmera digital *Canon Power Shot S95* acoplada para captura e visualização das bolhas e do *software ImageJ*, APBS e *Bubble analyser* para análise e processamento das imagens digitais.

3.1.1. *ImageJ*

O *ImageJ* é um *software* de processamento de imagens desenvolvido em Java de domínio público, existindo versões *online* e local o mesmo pode exibir, editar, analisar, processar, salvar e imprimir imagens para 8, 16 e 32 bits, aceita uma ampla entrada de formato de imagem, é *multithread* o que permite uso simultâneo enquanto a imagem é processada, o *ImageJ* pode realizar inúmeras operações como cálculo de áreas, estatísticas de valor de pixel definidas pelo usuário, medição de distância e ângulos, criação de histogramas e manipulação de variáveis de imagens como contraste, nitidez e suavização também são possíveis, por ser projetado com arquitetura aberta o mesmo fornece uma grande variedade de *plugins* e também permite que o próprio usuário possa desenvolver seus próprios *plugins* o que proporciona uma solução mais adaptada a necessidade do usuário (*ImageJ*, [s.d.]).

3.1.2. APBS

Anglo platinum bubble sizer é um *software* pago desenvolvido pela empresa *Stone Three mining solutions* e o mesmo possui um funcionamento mais simples e intuitivo porém sem possibilidades de adequação ou alteração de parâmetros e ainda permite a análise de imagens em lote o que agiliza o processo, os parâmetros observados pelo *software* são: erro de processamento, número de bolhas, diâmetro máximo de bolhas, diâmetro médio de bolhas, diâmetro médio de Sauter, variância do diâmetro de bolha e quantidade de bolhas por faixa (*bins*) que é estipulada pelo próprio *software*.

3.1.3. Bubble Analyser

Bubble analyser é um *software* de código aberto e gratuito para processamento especificamente de imagens de bolhas permitindo que o usuário quantificar a distribuição das mesmas num histograma que é editável no próprio *software*, este foi projetado para ser expandido com facilidade com novos algoritmos de análise de imagens, possuindo uma interface de fácil manuseio e ainda permite a manipulação de parâmetros e a visualização instantânea de como as alterações modificam as análises antes de executar o processamento em lote. Após a análise o *software* permite a configuração do histograma ajustando o mesmo as necessidades do usuário. (Bubble analyser, [s.d.]).

Os parâmetros de análise são feitos a partir de avaliação da facilidade de aplicação medida através dos recursos disponíveis de importação e exportação de arquivos e pelo número de passos necessários até início do processamento, da eficiência computacional medida pelo tempo de execução das análises e da exatidão dos resultados obtida através da comparação dos resultados obtidos por meio do teste de *Bland-Altman*. Os dados compostos pelas imagens serão submissos aos três *softwares* e os três parâmetros acima avaliados. O *hardware* utilizado foi um Intel i5, com 2,53 GHz, com disco rígido de 500 Gb e 4 GB de memória RAM, arquitetura 64 bits e sistema operacional *Windows 7*.

4. Resultados e Discussão

4.1. Facilidade de Aplicação

O *ImageJ* necessitou de 14 passos para a execução em modo manual enquanto que utilizando macro foram necessários apenas 3 passos. Quanto aos recursos disponíveis os dados são salvos em formato .csv, o *software* também oferece uma gama de imagens à medida que o processamento é feito que possibilitam ver as aplicações dos filtros bem como a numeração de bolhas ao fim do processo. As etapas dos processos estão exemplificados na Figura 1.

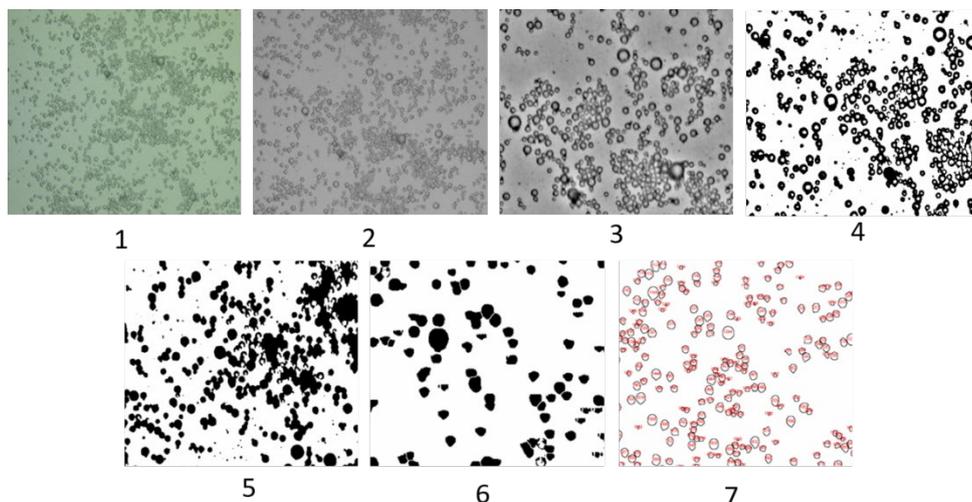


Figura 1. Etapas do processamento no software ImageJ. (1) Imagem original; (2) conversão para 8 bits; (3) filtro de banda; (4) Limiarização; (5) Preenchimento das bolhas; (6) Segmentação (7) numeração

O APBS é um *software* específico para análise e processamento de imagens de bolhas diferentemente do *ImageJ*. O *software* não permite o controle dos filtros aplicados e nem fornece alguma informação sobre quais são utilizados, a quantidade de etapas até o processamento das imagens são seis, ao fim do processamento é fornecido um arquivo csv com os dados e a possibilidade de verificação da imagem processada exemplificada na Figura 2. O APBS também oferece informações como variância, diâmetro mínimo e máximo, a faixa de diâmetros para construção de posteriores gráficos é estabelecida pelo *software* sem possibilidade de alteração.

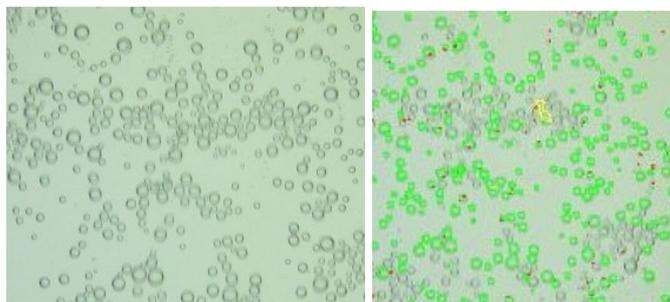


Figura 2. Etapas do processamento no software APBS na primeira imagem a esquerda tem-se imagem original e a direita a imagem processada.

Já o *Bubble analyser* necessita de oito passos até o processamento da imagem o mesmo oferece a opção de inserção de imagem de fundo o que facilita a identificação das bolhas, a possibilidade de inserir manualmente o valor da escala e antes do processamento o mesmo oferece uma oportunidade de ver como a alteração dos valores das variáveis afetam as bolhas antes do processamento de fato (exemplificado na Figura 3) após o processamento o BA oferece a distribuição de bolhas na forma de um histograma no qual é possível alterar a quantidade de faixas, o mesmo permite a visualização do diâmetro médio e o diâmetro médio de sauter, ao exportar/salvar os arquivos csv, são gerados três arquivos, um para a calibração das imagens, parâmetros de processamento de imagens e resultado das imagens processadas mas nenhum dos arquivos fornecem valores de diâmetros médio e de Sauter disponível apenas visualização no histograma que pode ser salvo em diversos formatos de imagem. A imagem de plano fundo utilizada é salva separadamente em uma pasta o que pode facilitar a sua reutilização.

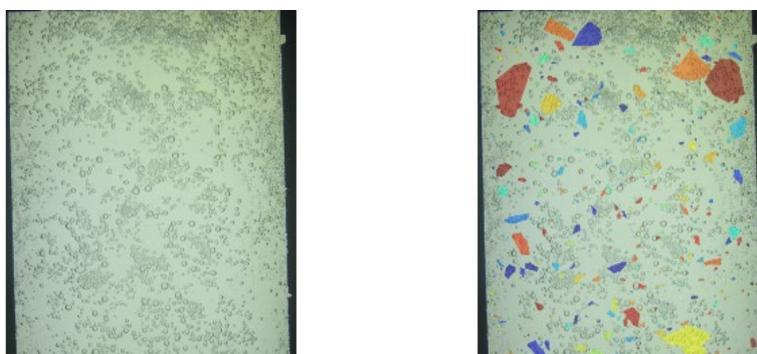


Figura 3. imagens original e exemplificação do de como a alteração dos parâmetros afetam o processamento.

Apesar de que o APBS e o BA serem *softwares* específicos para análise de bolha, eles não especificam e nem discorrem sobre como esse processamento é feito, já o *ImageJ* oferece uma gama de possibilidades e filtros

disponíveis e parâmetros no qual se pode controlar que afeta a quantidade de bolhas identificadas como circularidade mínima que a bolha deve ter e a faixa de valores que se deseja observar o mesmo ainda possui gama de material disponível para consulta na internet, diferentemente do APBS que já fornece as faixas de tamanho com a respectiva quantidade de bolhas e o BA que fornece o histograma de distribuição das bolhas, o *ImageJ* nos fornece apenas a área de cada bolha o que se faz necessário a manipulação dos dados em outros *softwares* como excel ou no caso em questão foi desenvolvido uma aplicação em *python* para produzir as informações fornecidas pelo APBS (quantidade de bolhas por faixas, diâmetros médio, máximo, mínimo e de Sauter) e pelo BA (histograma de frequência das bolhas).

4.2. Eficiência Computacional

O tempo de processamento de imagem é bem similar nos três *softwares* sendo obtido os tempos de 1, 8,3 e 4,04 segundos, respectivamente para APBS, *ImageJ* e BA, dentre os três o *ImageJ* teve maior tempo de processamento, provavelmente em razão da quantidade de filtros aplicados.

4.3. Exatidão nos Resultados

Para comparar os resultados obtidos foi utilizado método de *bland altman*, tal método é bastante utilizado quando se quer identificar discrepâncias entre métodos de medição e avaliar a concordância entre eles, para um intervalo de confiança de 95%. Para que ele funcione é necessário um método de referência que neste trabalho foi determinado como sendo os dados obtidos pelo APBS uma vez que o *software* foi desenvolvido com esse objetivo específico pela empresa que também desenvolveu o equipamento. Com o método de referência determinado os dois outros métodos (*ImageJ* e *Bubble analyser*) foram comparados com ele com o objetivo de determinar a concordância entre eles. A Figura 4 corresponde ao gráfico de Bland-Altman para o *ImageJ* e BA, percebe-se que os pontos que correspondem ao *ImageJ* são mais coesos o que implica dizer que a diferença entre os valores obtidos entre o *ImageJ* e o APBS é menor do que os valores do *bubble analyser* isso é um indício de que comparado com o padrão de referência o *ImageJ* se sai melhor.

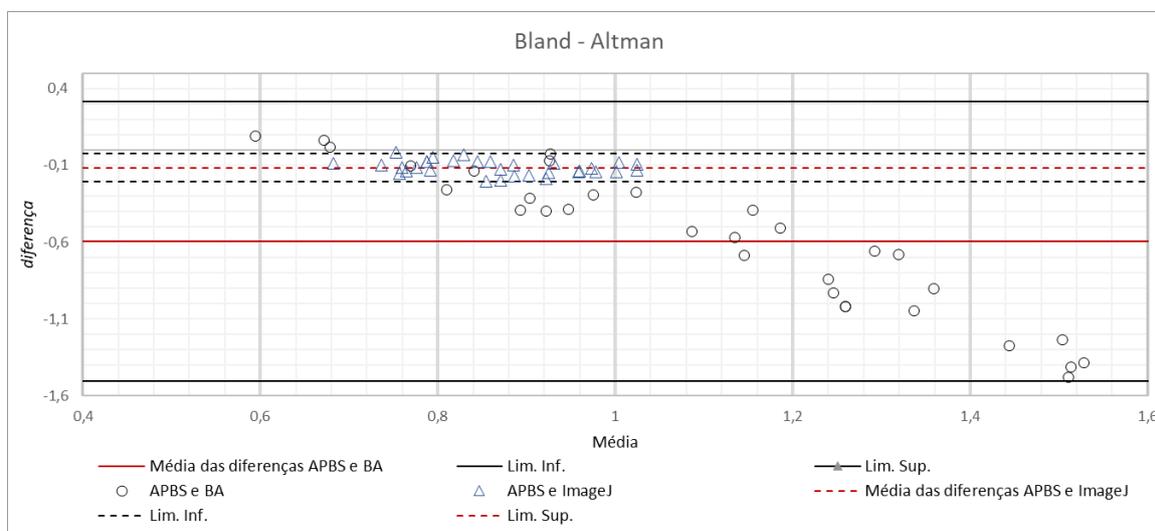


Figura 4. Teste de Bland Altman para os *softwares* *Bubble Analyser* e *ImageJ*.

5. Conclusão

Foram realizados o processamento de 32 imagens de estudos antecessores de distribuição de tamanho de bolhas em três *softwares* distintos sendo o APBS o padrão de referência com o intuito de avaliar a aplicabilidade dos outros dois para a mesma função tendo em vista que os mesmos são de código aberto e de mais fácil acesso, nos três fatores analisados O *ImageJ* se mostra mais vantajoso que o BA no primeiro parâmetro apenas com uso de macros sendo que reduz significativamente a quantidade de passos ele também oferece uma gama de filtros e maior controle de das operações durante todo o processo, no tempo de processamento o BA foi superior ao *ImageJ* levando metade do tempo por imagem em média porém na forma de disponibilizar os dados processados e referencial bibliográfico o *ImageJ* se mostra superior.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CETEM/MCTI pela estrutura e suporte para a execução deste estudo. Ao CNPq pelo suporte para execução deste estudo e pela bolsa concedida.

7. Referências Bibliográficas

- BALTAR, Carlos Adolfo Magalhães. Flotação: em nova abordagem. Recife: Ed. UFPE, p. 537, 2021.
- BUBBLE ANALYSER. Bubble Analyser. Free open-source image analysis. [S.l.]. Bubble Analyser, 2022. Disponível em: <https://www.bubbleanalyser.com/>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- BULATOVIC, Srdjan M. Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: Volume 1: flotation of sulfide ores. Elsevier, 2007.
- CHAVES, A. P.; LEAL FILHO, L. S.; BRAGA, P. F. A. Flotação. In: Tratamento de minérios. 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap.10, p.405-459.
- CHO, Yoon-Seong; LASKOWSKI, J. S. Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability. International Journal of Mineral Processing, v. 64, n. 2-3, p. 69-80, 2002.
- COUTO, H.J.B., NUNES, D.G., NEUMANN, R., FRANÇA, S.C.A. Micro-bubble size distribution measurements by laser diffraction technique. Minerals Engineering, 2009; 22; 330-335
- GRAU R.A., HEISKANEN, K. Bubble size distribution in laboratory scale flotation cells. Minerals Engineering, v. 18, p. 1164–1172, 2005.
- ImageJ, Documentação, s.d. Documentação. Disponível em: <<https://imagej.net/ij/docs/index.html>>. Acesso em: 01 de nov. de 2023.
- RUBIO, J., SOUZA, M.L., SMITH, R.W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. Minerals Engineering, 15, p. 139–155, 2002