

DETERMINAÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO USANDO APARATO DIDÁTICO

João Paulo P. DA SILVA (1); Moacir Medeiros VERAS (2); José Yvan Pereira LEITE (3)

(1) CEFET-RN, Av. Sen. Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, (84) 4005.2636, e-mail: j.paulo_rn@yahoo.com.br

(2) CEFET-RN, e-mail: moacir@cefetrn.br

(3) CEFET-RN, e-mail: leite@cefetrn.br

RESUMO

O ângulo de contato entre bolhas de ar e a superfície dos sólidos em um fluido, está diretamente ligado à recuperação mássica no processo de flotação. Quando não houver uma boa adesão entre: bolha de ar / partícula mineral, ocasionará uma flotação de baixa recuperação. Desta forma, tem-se por objetivo estudar algumas propriedades como: tensões superficiais, energia do sistema, ângulo de contato e adesão de bolhas de ar nas partículas do mineral. Em laboratório a tensão superficial do líquido pode ser medida por um tensiômetro do qual se entendeu que: quanto menor for a tensão superficial do líquido menor será a possibilidade da bolha estourar devido à presença de um reagente com caráter bipolar, constituída de um radical orgânico (apolar) e outro inorgânico (polar). Com finalidade de proporcionar um aparato de baixo custo e precisão para medir a tensão superficial entre os três sistemas: sólido, líquido, ar, o projeto propõe o desenvolvimento de um dispositivo que consiste em uma câmara de vidro, que comportará o fluido no qual será imerso o mineral, uma garra de precisão alinhada e um feixe de luz. Os minerais em estudo, disponíveis no Laboratório de Processamento Mineral e Resíduos (LPMR) no CEFET-RN como: quartzo, mica, calcita e feldspato. Os minerais serão estudados quando estes atenderem o critério de possuir grau de pureza elevado, e clivagem de corte sem deformação, com finalidade de observar a formação das bolhas na superfície dos minerais. Eles terão que ser lapidado na forma de um cubo simples, onde a face de contato com a bolha será polida. Com o auxílio de uma seringa será injetada uma bolha de ar na superfície polida do mineral. Uma luz iluminará a lateral do equipamento e projetará a imagem na parede do aparato, facilitando a visualização para a determinação do ângulo tangencial a imagem. Os valores encontrados serão aplicados na equação de Young Dupré. O sistema será utilizado para fins didáticos nos cursos de técnicos em Mineração e Geologia e superior em Gestão Ambiental, tendo em vista sua aplicação ao método de flotação.

Palavras-chave: Ângulo de contato, tensão superficial, flotação.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos que envolvem fenômenos de superfície, nos quais diferentes fluidos podem interagir com substratos sólidos, sempre foi assunto de grande interesse científico e econômico, resultado das interações moleculares existentes entre ambos os fluidos, e o substrato sólido, se revelando como a relação entre forças de coesão e adesão possibilita a formação de um ângulo de contato. O desequilíbrio entre as forças que agem sobre as moléculas da superfície dos líquidos em relação àquelas que se encontram no interior do mesmo, resulta em uma tensão superficial responsável pela atração das moléculas da superfície do líquido para o seu interior tornando-se o principal obstáculo para a formação de bolhas e sua adesão na superfície dos minerais.

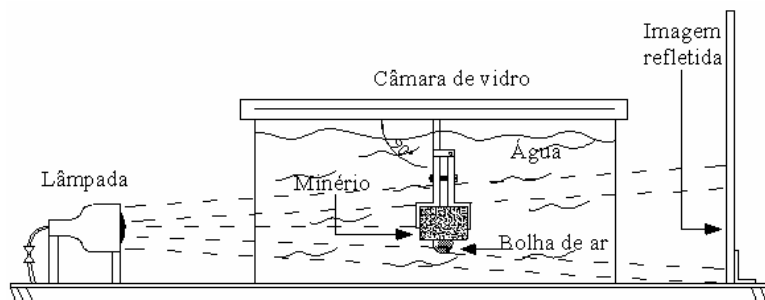


Figura 1 – Aparato desenvolvido para medir ângulo de contato das bolhas de ar em contato com minerais

O trabalho tem por objetivo apresentar resultados de teste do aparato, com minério de calcita submetendo-a em uma solução com caráter de coletor. A metodologia a ser seguida tem por finalidade proporcionar medições de ângulos de contatos e de tensões superficiais entre os três sistemas: sólido, líquido, ar a partir da construção de um equipamento de baixo custo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão dos fenômenos interfaciais reveste importância não só teórica, mas também prática em amplas áreas do conhecimento como a física, a química e a biologia. Suas aplicações estendem-se por diversos processos entre eles os de adsorção, flotação, adesão e problemas gerais da química coloidal (Rabockai, 1979).

O estudo das interfases constitui a base do processo de flotação. Este processo consiste em tornar hidrofóbicas as superfícies de certas espécies minerais, enquanto as superfícies de outras espécies ficam hidrofílicas. Minerais que tem características de hidrofobicidade se fixam na interfase ar-líquido que é representada pela superfície livre de um líquido, água, ou pela superfície de uma bolha de ar no seio da polpa. Resultando-se num transporte seletivo do material pelas bolhas de ar até a superfície da polpa (Figueira, 1981).

Grande parte do suprimento mundial de cobre, chumbo, zinco e prata são obtidos através de uma concentração prévia do mineral por flotação. Ela permite o aproveitamento de minérios de baixo teor e de minérios complexos que os métodos gravimétricos jamais teriam concentrado. Cerca de 80% do minério concentrado no mundo é feito por flotação (Figueira, 1981).

A tensão superficial surge nos líquidos, como resultado do desequilíbrio entre as forças que agem sobre as moléculas da superfície em relação àquelas que se encontram no interior da solução. As moléculas de qualquer líquido, localizada na interfase líquido-ar realizam um número menor de interações intermoleculares comparadas com as que se encontram no interior do líquido. A força resultante que atrai as moléculas da superfície de um líquido para o seu interior torna-se o principal obstáculo para a formação de bolhas, gotas e a nucleação de cristais em líquidos. Estas forças de coesão tendem a diminuir a área superficial ocupada pelo líquido, ou gás (Behring et al, 2004).

Quando uma gota de água ou uma bolha de ar entra em contato com um sólido, elas assumem a forma que minimiza a energia livre do sistema, como é mostrado na figura 2 (Leite, 2003).

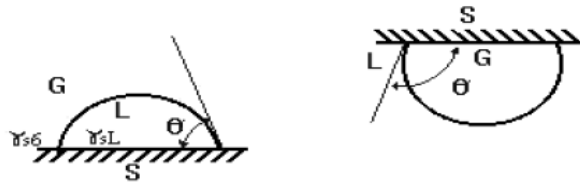


Figura 2 – Superfície sólida em contato com uma gota de água e uma bolha de ar

Para uma gota em equilíbrio com seu gás e em contato com uma superfície sólida, observa-se a existência de uma linha comum para as três fases, conhecida como linha de contato. Essa configuração origina a definição macroscópica do ângulo de contato θ , como sendo o ângulo resultante entre a linha tangente à interface líquido / gás e a linha paralela à superfície do sólido (Fabiano et al, 2005).

A definição macroscópica de ângulo de contato pode ser adotada para o caso em questão, pela desconsideração daquela região próxima à linha de contato, que diverge do comportamento esférico, e extrapolando a curvatura da parte posterior da gota até a superfície sólida, como ilustrado na figura 3.

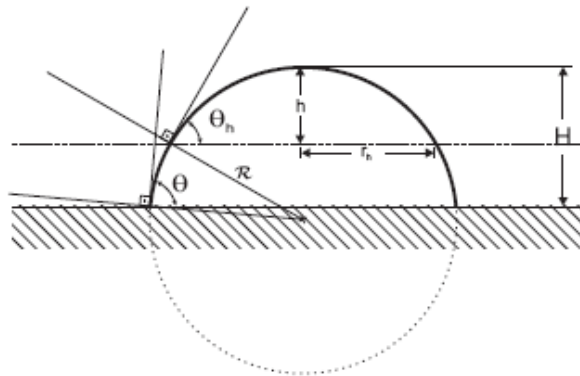


Figura 3 – Representação geométrica do ângulo de contato corrigido

3. METODOLOGIA

Para determinação do ângulo de contato, o mineral em estudo, disponível no Laboratório de Processamento Mineral e Resíduos (LPMR) do CEFET-RN foi à calcita, atendendo os critérios de grau de pureza elevado, e clivagem de corte sem deformação com finalidade de observar a formação das bolhas na superfície do mineral. Foi lapidado na forma de um cubo simples, onde a face de contato com a bolha é polida. Na seqüência, prende-se o mineral na garra de sustentação e submerge no fluido (solução). Com o auxílio de uma seringa, injeta-se uma bolha de ar na superfície polida do mineral e utilizando-se um feixe de luz ilumina a bolha de ar aderida na superfície do mineral, projetando a imagem na parede do aparato, na qual foi posto papel milimetrado, facilitando a visualização e marcação da formação da bolha. E por fim, a imagem analisada foi submetida a algumas correções e considerações como a definição macroscópica, onde se assumi uma superfície esférica, possibilitando a medição do ângulo tangencial a partir da relação 1:

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{h}{r} \quad [\text{Re. 01}]$$

Onde h e r são: altura e o raio da base da gota, respectivamente.

Para isto, mede-se o ângulo h numa altura h da superfície sólida (usando a relação 1), onde a aproximação esférica é satisfeita, em seguida, calcula-se o ângulo de contato requerido θ , a partir da relação 2.

$$\theta = \arccos\left(1 - \frac{H}{rh} \sin \theta h\right) \quad [\text{Re. 02}]$$

Para um ensaio teste do aparato desenvolvido determinou-se a tensão superficial de uma solução (A) através do método do peso da gota. Para tal, utilizaram-se os seguintes materiais: Bureta de 50 ml, erlenmeyer de 10 ml, paquímetro digital, suporte universal e uma balança digital.

Inicialmente, com o paquímetro determinou-se o raio da bureta, na seqüência, fixou-se a bureta no suporte universal, acoplado um erlenmeyer, de forma que a parte inferior à torneira ficasse toda dentro do recipiente coletor, evitando desta forma, a influência de correntes de ar sobre a formação da gota. Em seguida, completou-se a bureta com a solução em estudo, e com o auxílio da torneira regulou-se a queda das gotas medindo a massa de uma gota, foram coletadas 15 gotas, repetiu-se o mesmo processo por duas vezes a uma temperatura de 25 °C. A massa foi determinada na balança digital. Por fim, aplicaram-se os resultados na relação 3, a qual revela uma relação linear entre a massa de uma gota e o raio da extremidade do tubo onde esta se formou, determinando-se o raio (r) necessário para o cálculo da tensão superficial exclusivamente a partir da massa (m) de uma gota (Behring et al, 2004).

$$r = -0,02815 + 3,81292 \cdot m \quad [\text{Re. 03}]$$

No exato momento de desprendimento, a força exercida pelo peso da gota (m.g) é equilibrada pela tensão superficial (γ) multiplicada pela circunferência ($2 \cdot \pi \cdot r$) da gota formada. Desta forma, com os valores da massa (m) de uma gota da solução em estudo e do raio (r), ambos encontrados anteriormente como mencionados acima, aplicaram-se na equação 1, para a determinação da tensão superficial.

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Depois de determinado o ângulo de contato e a tensão superficial, aplicaram-se os valores na equação 4, equação de Young, que relaciona o ângulo de contato de equilíbrio com três tensões interfaciais. Para tal, combinaram-se as equações 2 e 3, utilizando-se da 2ª lei da termodinâmica, onde o trabalho de adesão, $\omega s / g$ é dado pela equação 3 e tendo em vista que $\gamma s / g$ e $\gamma l / l$ não podem ser medidos.

$$\gamma s / l = \gamma s / g + \gamma l / g \cdot \cos \theta \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

$\gamma s / l$ - tensão superficial sólido-líquido;

$\gamma s / g$ - tensão superficial sólido-gás;

$\gamma l / g$ - tensão superficial líquido-gás;

θ = ângulo de contato.

Como $\gamma s / g$ e $\gamma l / l$ não podem ser medidos. Usando a 2ª lei da termodinâmica, tem-se que o trabalho de adesão, $\omega s / g$ é dado por:

$$\omega s / g = \gamma l / g + \gamma s / l - \gamma s / g \quad [\text{Eq. 03}]$$

Combinando as equações [02] e [03], tem-se:

$$\omega s / g = \gamma l / g \cdot (1 - \cos \theta) \quad [\text{Eq. 04}]$$

Com isso é determinado o trabalho de adesão, ou seja, a energia necessária para que haja a adesão da bolha de ar com a superfície do mineral.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Seguindo as metodologias apresentadas, realizou-se uma análise para medir o ângulo de contato da bolha de ar em contato com a superfície do mineral calcita, como mostrado na figura 4, em uma determinada solução (A), a qual apresenta pH 7,29 a 25°C, utilizando o aparato desenvolvido. Obtendo-se os resultados dispostos na tabela 1.



Figura 4 – Bolha de ar em contato com a superfície do mineral calcita

Mineral	Ângulo de contato (θ)	Tensão Superficial (dyna/cm)	Energia de adesão (N/m)
Calcita	8,6°	71,43	0.014205

Tabela 1 – Valores de ângulo de contato, tensão superficial e trabalho de adesão para o mineral calcita

Estudos de variação do processo serão realizados para definir quais as melhores condições de trabalhabilidade dos minerais que mais são flotados pela indústria da mineração.

5. CONCLUSÃO

Os laboratórios de análise de flotação, desperdiçam uma quantidade significativa de reagentes para otimização da concentração dos coletores em ensaios de bancada. O equipamento desenvolvido proporcionará um melhor rendimento do tempo e de reagentes que tem por finalidade modificar física ou quimicamente a superfície dos minerais para torná-los hidrofóbicos ou hidrofílicos. O resultado apresentado no teste com calcita mostra-nos que o dispositivo é viável para uso em laboratório. O equipamento será apresentado aos alunos dos cursos de geologia e mineração para aulas didáticas.

REFERÊNCIAS

RABOCKAI, T. **Físico-Química de Superfícies**. Instituto de Química da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1979.

BEHRING, J. L; LUCAS, M; MACHADO, C e BARCELLOS, I. O. **Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: Um método simplificado para a quantificação da cmc de surfactantes no ensino da química**. Vol. 27, No. 3, 492-495, 2004.

FIGUEIRA, H. V. O. **Flotação**. Rio de Janeiro, 1981.

YOUNG, T. **An essay on the cohesion of fluids**. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 95:65-87, 1805.

FABIANO, G. W.; LUIZ O. E. S.; PAULO C. P. **Modelagem da molhabilidade sobre superfícies sólidas pelo método lattice-boltzmann baseado em mediadores de campo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3º., 2005, Salvador. **Anais...** Bahia: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

LEITE, J.Y. P. **Flotação**. 2003. 40p. Apostilha - Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.