



Fundamentos e Aplicação da Flotação como Técnica de Separação de Misturas

Luciana Massi, Sandro Rogério de Sousa, Cecília Laluce e Miguel Jafelicci Junior

Flotação é uma técnica de separação que envolve conceitos de química de superfícies, mas que pode ser abordada de forma clara e simples por professores de Ensino Médio, fugindo das concepções errôneas sobre o processo presente na maioria dos materiais didáticos. Este artigo tem como objetivo servir de suporte aos professores interessados em ilustrar suas aulas de separações de misturas com uma técnica extremamente eficiente, que trabalha diversos conceitos de química e biologia, e tem ampla aplicação em processos industriais que permeiam o nosso cotidiano.

► separação de misturas, flotação, aplicação da flotação ◀

Recebido em 27/11/06, aceito em 19/9/07

A flotação é uma técnica de separação de misturas que consiste na introdução de bolhas de ar a uma suspensão de partículas. Com isso, verifica-se que as partículas aderem às bolhas, formando uma espuma que pode ser removida da solução e separando seus componentes de maneira efetiva. O importante nesse processo é que ele representa exatamente o inverso daquele que deveria ocorrer espontaneamente: a sedimentação das partículas. A ocorrência do fenômeno se deve à tensão superficial do meio de dispersão e ao ângulo de contato formado entre as bolhas e as partículas (DeSousa e cols., 2003).

A tensão superficial é a responsável pela formação das bolhas e pode ser entendida como uma espécie de película que envolve os líquidos, semelhante à existente na gema do ovo. Isso explica porque, quando viramos um copo molhado, algumas gotas permanecem presas à sua superfície ou porque uma torneira mal

fechada consegue segurar a gota de água até certo limite de tamanho antes que esta caia na pia. A justificativa para esse fenômeno está no fato de que as moléculas situadas no interior de um líquido são, em média, sujeitas à força de atração igual em todas as direções, ao passo que as moléculas situadas, por exemplo, na superfície de separação líquido-ar, estão submetidas à força de atração

não balanceada ou não equilibrada, o que resulta numa força preferencial em direção ao interior do líquido, indicada na Figura 1. O maior número possível de moléculas se deslocará da superfície para o interior do líquido e a superfície tenderá a contrair-se. Isso também explica porque gotículas de um líquido ou bolhas de gás tendem a adquirir uma forma esférica (Jafelicci Jr e Massi, 2007).

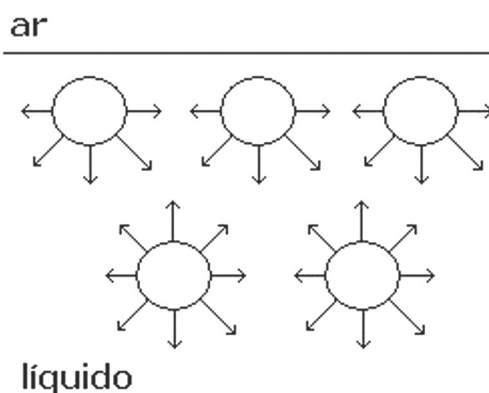


Figura 1: Diagrama esquemático comparando as forças de atração entre moléculas na superfície e no interior de um líquido.

A seção "Conceitos científicos em destaque" tem por objetivo abordar, de maneira crítica e/ou inovadora, conceitos científicos de interesse dos professores de Química.

Ao colocarmos um líquido em contato com uma superfície, temos que considerar duas possibilidades de interação: o líquido se espalha bem na superfície (como bebida alcoólica em copo de vidro) ou o líquido tende a se manter no formato de gota (como uma gota de chuva no pára-brisa engordurado de um carro).

Na realidade, o que observamos é reflexo da afinidade entre as superfícies: aquelas que se mantêm como gotas de maneira a diminuir o máximo possível o contato entre a água e a superfície são chamadas hidrofóbicas, enquanto aquelas em que observamos o espalhamento do líquido e têm afinidade à água são chamadas hidrofílicas. O ângulo formado entre as superfícies, indicado na Figura 2, conhecido como ângulo de contato (θ), pode ser usado como uma medida da hidrofobicidade/hidrofiliidade do sólido. Esse ângulo permite a quantificação dos vários graus de afinidade intermediários entre esses dois casos extremos.

No entanto, como esses parâmetros de superfície explicam que no processo de flotação algumas partículas aderem às bolhas de ar preferencialmente em relação a outras? A explicação está no fato de que a superfície dessas partículas é hidrofóbica, fazendo com que a tensão superficial da água expulse a partícula do líquido e promova a adesão da partícula na superfície da bolha de ar. O que não ocorre com os outros componentes hidrofílicos com ângulos de contato pequenos

presentes no sistema, que preferem permanecer no meio líquido em vez de aderir à superfície da bolha de ar (Venditti, 2004).

Para uma adesão satisfatória, são necessários ângulos de contato de pelo menos 50° a 75° , enquanto que, para uma boa adesão às bolhas, o ângulo de contato deve ser preferencialmente superior a 90° .

E como esse ângulo pode rapidamente ser modificado por fatores, tais como substâncias gordurosas na superfície e materiais tenso-ativos, torna-se possível também controlar as condições para a flotação, tendo em vista que nem sempre a partícula desejada é hidrofílica.

Além da natureza físico-química da superfície, o tamanho da partícula também é fator limitante do processo, pois para ser arrastada, a partícula deverá ter dimensões próximas das coloidais. Colóides são sistemas dispersos constituídos de partículas com pelo menos uma dimensão entre 1 a 1000nm ou 10 a $10000\mu\text{m}$, mas a base dessa classificação pelo tamanho da partícula admite a simetria esférica, o que nem sempre é o caso. Partículas que têm esse tamanho em uma dimensão (forma de disco) ou em duas dimensões (forma de agulha), mas que são muito maiores em outras dimensões, também se comportam como colóides. Essa flexibilidade permite que vários sistemas sejam classificados como coloidais e possibilita o emprego da flotação como técnica de separação de misturas em vários processos industriais.

A aplicação na separação de minerais é o emprego mais convencional da flotação, seguido de seu uso na recuperação de corantes em indústrias de papel, tratamento de água e esgoto.

Aplicação da flotação em processos industriais

Em 1886, Carrie Everson, estudando química e metalurgia com seu marido, por meio da experimentação, descobriu a possibilidade da ocorrência da flotação e registrou a patente do processo. No entanto, as patentes mais disputadas, que envolveram grandes somas de dinheiro (Laine, 1928), referem-se à aplicação do processo inicialmente na separação mineral e na extração do cobre a partir da calcopirita (CuFeS_2). Nesse processo, o mineral é pulverizado e combinado com óleo, água e detergentes. As partículas de sulfetos esmagadas e moídas são molhadas por óleo, mas não por água. Então o ar é borbulhado através da mistura; o sulfeto mineral recoberto de óleo adere à bolha de ar e flutua na superfície com a espuma formada; e o resíduo não desejado, pobre em cobre, chamado de ganga, deposita-se na parte inferior. A remoção da espuma é bastante simples e a separação das partículas bastante eficiente (Atkins e Jones, 2001).

A aplicação na separação de minerais é o emprego mais convencional da flotação, seguido de seu uso na recuperação de corantes em indústrias de papel, tratamento de água e esgoto. Pesquisas recentes ampliaram o uso da flotação em processos tais como despoluição de rios, separação de plástico e até mesmo separação de microrganismos.

A Figura 3 mostra o tanque de flotação por ar disperso de projetos de purificação de água. A flotação por ar disperso utilizado nos projetos de despoluição, como nos lagos dos parques do Ibirapuera e da Aclimação, no município de São Paulo, e nos córregos que abastecem esses lagos, engloba as etapas de separação do lixo trazido pelas chuvas; introdução de substâncias na água que reduzem a acidez e iniciam o processo de coagulação dos poluentes; injeção de oxigênio por baixo do tanque que arrasta as partículas sólidas para a superfície, onde uma draga coleta todo o lodo formado no processo e o encaminha para as estações de tratamento de esgoto (Sabesp, 2006).



Figura 2: Superfícies hidrofílicas (a) apresentam ângulo de contato menores que 90° , enquanto superfícies hidrofóbicas (b) apresentam ângulos maiores que 90° .



Figura 3: Tanque de flotação de uma estação de tratamento de água mostrando espuma esbranquiçada na parte superior do sistema de fases e água límpida na fase inferior após a flotação. A água purificada é coletada abaixo da espuma. (fonte- <http://www.enprotec-usa.com/html/airphotos.html>)

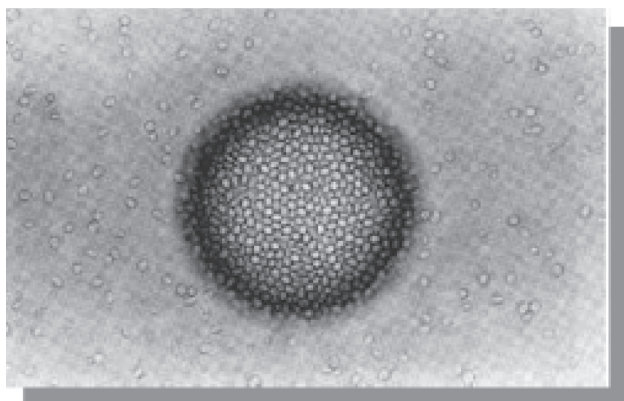


Figura 4: Células da levedura *Saccharomyces cerevisiae* aderidas à bolha de ar. (Cecília Laluze e cols. em Walker, G.M., Yeast: physiology and biotechnology, New York: John Wiley & Sons, 1998, p. 131)

O processo de reciclagem do plástico PET (polietileno tereftalato) também foi viabilizado graças ao processo de flotação. O maior problema na reciclagem desse polímero era não conseguir separá-lo do PVC para reutilizar o PET já que os dois são muito parecidos e, muitas vezes, ocorria a contaminação cruzada. Para tornar possível a flotação, foi necessário o uso de um agente surfactante que modifica a superfície do PET, fazendo com que ele apresente mais afinidade pela água do que o PVC. Dessa forma, os dois materiais são picados, lavados e colocados em solução aquosa com o surfactante. Em seguida, as bolhas geradas no sistema carregam o PET, deixando o PVC na solução (Agência USP de notícias, 2006; Maria e cols., 2003).

Recentemente observamos também

o emprego do processo de flotação na separação de microrganismos, uma vez que a célula, pelas suas dimensões, pode ser considerada um biocolóide. A foto da Figura 4 mostra as células na bolha de ar. Estudos recentes no Brasil (DeSousa, 2007) tentam viabilizar essa técnica para separação de leveduras no processo de produção de álcool. Como sabemos, esse processo envolve a adição de leveduras aos tanques de cevada ou caldo de cana e, atualmente, a separação das células de leveduras é feita nas indústrias utilizando-se centrífugas – por meio da aplicação de rotações muito rápidas, esses equipamentos depositam as partículas (células) no fundo do recipiente submetido à rotação. No entanto, a aplicação da flotação em destilarias faria com que a levedura produtora de álcool fosse seletivamente separada dos organismos

contaminantes (flotação seletiva), como atualmente é feito para o enriquecimento de minérios de baixos teores.

Abordagem da flotação em livros didáticos

Muitos livros didáticos, apostilas e sites educativos trazem a flotação como um exemplo de técnica de separação de misturas. No entanto, a abordagem desse tópico é limitada e, frequentemente, apresenta erros conceituais. Podemos identificar as confusões a partir dos exemplos de aplicação da técnica presentes nesses materiais.

Alguns materiais didáticos trazem a separação de areia em água como ilustração do processo de flotação. Nesse caso, observamos a confusão dessa técnica com a sedimentação, que apenas em alguns casos é uma etapa anterior à inserção de bolhas e ao arraste de partículas por flotação. Em outros textos, a flotação aparece ilustrada pela separação de serragem em água, como se o arraste espontâneo da serragem fosse igual ao observado na flotação. Até mesmo o transporte de madeira nos rios foi citado como exemplo de flotação. Nesses casos, a flotação surge como uma separação de substâncias de densidades diferentes, na qual a introdução de um líquido de densidade intermediária (a água) promove o arraste do material menos denso para cima (serragem) e do mais denso para baixo (areia), segundo o princípio de Arquimedes. Com base nas definições do processo apresentadas neste artigo, ressaltamos que só podemos classificar um processo de separação de misturas como uma aplicação da técnica de flotação quando observamos a inserção de bolhas de ar no meio líquido seguida da adesão de partículas à bolha, que leva ao arraste das partículas para a superfície do líquido e permite a separação das fases, sendo que essas partículas devem necessariamente ter dimensões coloidais para que seja possível que as bolhas de ar carreguem as partículas.

A flotação é uma técnica de separação de misturas amplamente empregada, mas pouco discutida na sala de aula. Acreditamos que sua abordagem no ensino de Química

possa ser expandida com a ampliação do conceito, admitindo a possibilidade da discussão de propriedades de química de superfícies com os alunos de Ensino Médio.

Agradecimentos

Aos professores Nito Angelo Debacher, da Universidade Federal de Santa Catarina, e Maria Elisabete Darbello Zaniquelli, da FFCL de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo, pelas valiosas considerações sobre o artigo.

Luciana Massi, licenciada em Química pelo Instituto de Química/UNESP-Araraquara, é mestranda em química analítica na área de Ensino de Química pelo Instituto de Química de São Carlos/Universidade de São Paulo. **Sandro Rogério de Sousa**, licenciado em Química pela UNESP, doutor em biotecnologia pela Universidade de São Paulo, é pós-doutorando do Instituto de Química/UNESP-Araraquara. **Cecilia Laluce**, licenciada e bacharel em Química, doutora em ciências pela UNESP, pós-doutora em genética clássica de leveduras pela Universidade do Colorado (USA), é docente do Instituto de Química da UNESP-Araraquara. **Miguel Jafelici Junior** (jafeli@iq.unesp.br), bacharel em Química pela UNESP, mestre em química de colóides e de superfícies pela Universidade de Bristol (Inglaterra), doutor em ciências (físico-química) pela USP, é docente do Instituto de Química da UNESP-Araraquara.

Referências

AGÊNCIA USP de Notícias. Redução de custo na separação de plástico favorece reciclagem. Disponível em <<http://www.valeverde.org.br/html/dicas2.php?id=19>>. (Acesso em 14/07/2006).

ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Trad. Ignez Caracelli. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DESOUZA, S.R. Flotação de microorganismos. Disponível em <<http://www.iq.unesp.br/flotacao/index.htm>>. (Acesso em 14/04/2007).

DESOUZA, S.R.; OLIVEIRA, K.F.; SOUZA, C.S.; KILIKIAN, B.V.; LALUCE, C. Yeast flotation viewed as the result of the interplay of supernatant composition and cell-wall hydrophobicity. *Colloid and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 29, p. 309-319, 2003.

JAFELICCI JUNIOR, M.; MASSI, L. Introdução à química de colóides e superfícies. Disponível em <<http://www.iq.unesp.br/flotacao/index.htm>>. (Acesso em 14/04/2007).

LAINE, E. Chemistry as applied to the oil flotation of cooper ores. *Journal of Chemical Education*, v. 5, n. 9, p. 1084, 1928.

MARIA, L.C.S.; LEITE, M.C.A.M.; AGUIAR, M.R.M.P.; DE OLIVEIRA, R.O.; ARCANJO, M.E.; DE CARVALHO, E.L. Coleta seletiva e separação de plásticos. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº 7, maio, 2003.

SABESP. Processo de flotação aplicado em cursos d'água. Disponível em <http://www.sabesp.com.br/a_sabesp/tecnologia/flotacao.htm>. (Acesso em 14/07/2006).

VENDITTI, R.A. A simple flotation deinking experiment for the recycling of paper. *Journal of Chemical Education*, v. 81, n. 5, p. 693, 2004.

Para saber mais

CURSO de Educação à Distância em Flotação de Microorganismos. Disponível em <<http://www.iq.unesp.br/flotacao/index.htm>>. (Acesso em 14/04/2007).

JAFELICCI JUNIOR, M.; VARANDA, L.C. O mundo dos colóides. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº 9, maio, 1999.

Abstract: *Fundamentals and applications of flotation as mixtures separation technique.* Flotation process is a separation technique that regards surface chemistry concepts and can be considered by high school teachers in a clear and simple way. Teachers can avoid didactic material misconceptions appearing on textbooks about flotation. This paper reports on the support to the teachers for illustrating their classes on mixtures separation through an efficient separation technique, working different concepts in chemistry and biology. Moreover, flotation process is largely applied in many industrial separation processes concerning our every day life.

Keywords: mixtures separation, flotation, surface chemistry

Nota

Metodologia de Ensino de Química via Telemática (MEQVT) é uma disciplina regular do programa de Licenciatura em Química da Faculdade de Educação da USP e é ministrada a distância para estudantes de universidade públicas de todo o Brasil. A maior parte das atividades é prática e utiliza o computador e a internet como mediadores do ensino de química.

Ao longo do curso, serão desenvolvidas atividades de ensino para a educação básica, estágio em escolas e pela internet, reflexões e discussões sobre o ensino de química e as TIC.

Ao cursar MEQVT, você usa o meio para através dele, falar sobre ele na organização do ensino. Para acompanhar o curso, além de participar de aulas a distância, você terá de criar e aplicar atividades de ensino, elaborar relatórios, relatar visitas, participar de fóruns interagir com professores e alunos.

O curso será oferecido no segundo semestre de 2008.

Para maiores informações acesse www.lapeq.fe.usp.br

Equipe MEQVT

Metodologia do Ensino de Química Via Telemática MEQVT

Disciplina a distância para o curso de Licenciatura em Química



www.lapeq.fe.usp.br