

## FLOTAÇÃO EXTENSORA DE FINOS DE MINÉRIOS DE COBRE E MOLIBDÊNIO

Fabiano Capponi, Elves Matiolo e Jorge Rubio\*

Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental - Departamento de Engenharia de Minas - PPGEM  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 75 - Sala 126, Bairro  
Agronomia CEP- 91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil - Fone: 55 51 3316 9479 Fax: 55-51-3316 9477

\*jrubio@ufrgs.br: <http://www.lapes.ufrgs.br/ltm>

### RESUMO

O trabalho apresenta resultados comparativos, em escala de laboratório, de recuperação de partículas minerais finas ("F" 38 a 13  $\mu\text{m}$ ) e ultrafinas ("UF" < 13  $\mu\text{m}$ ), de sulfetos de cobre e molibdênio utilizando a técnica de flotação extensora ("extender flotation") com diferentes tipos de óleos minerais e vegetais. No processo de flotação extensora, óleos não polares são utilizados na forma de emulsão (para aumentar sua difusão em solução aquosa) em concentrações da ordem de 20-100  $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  juntamente (ou após adsorção) com os coletores tradicionais. Neste processo ocorre uma "interação" entre as gotas de óleo emulsificado (da ordem de 3-6  $\mu\text{m}$  - estabilização física) e partículas já hidrofóbicas por forças hidrofóbicas e inclui etapas de colisão, adesão, formação de lentes oleosas e espalhamento superficial ("extensão" do óleo ou da lente) sobre a superfície das partículas. Ainda, as mesmas podem, sob turbulência, se agregar aumentando de tamanho e melhorando o problema de flotação incipiente. Foi avaliado o efeito do tipo e concentração de diferentes óleos minerais e vegetais e os resultados, expressos em termos de recuperações de Cu e Mo, flotação verdadeira (via unidade bolha-partícula) e cinéticas, foram comparados com o ensaio "Standard" de bancada. Os melhores resultados foram obtidos usando óleos combustíveis e principalmente com o óleo Diesel emulsificado (> 60  $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ), portadores de grupos naftênicos com afinidade maior com superfícies recobertas com xantatos. As recuperações de Cu variaram entre 85-90 % (84 % no Standard), 14-17 % Cu Teor (15 % Cu no Standard) e 3,5-4,5  $\text{min}^{-1}$  para a constante cinética (modelo de Klímpel) comparada com 3  $\text{min}^{-1}$  no Standard. Os resultados são discutidos em termos dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos envolvidos na geração de emulsões, captura e agregação das partículas e, em particular, do potencial destas técnicas no tratamento de finos de minérios, um problema antigo na área de tecnologia mineral.

**Palavras-chave:** Flotação de minérios, finos, ultrafinos, sulfetos de cobre e molibdênio.

**Área Temática:** Flotação.

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas de sulfetos metálicos têm sido historicamente desenhadas para a recuperação de partículas de tamanho médio, de alta cinética de flotação, e não estão otimizadas para a recuperação de partículas finamente divididas. A baixa recuperação por flotação de partículas minerais finas ("F" 38-13  $\mu\text{m}$ ) e ultrafinas ("UF" < 13  $\mu\text{m}$ ) continua sendo um dos principais desafios da área de processamento mineral (Trahar, 1981, Rubio et al, 2003, Rubio et al 2004, Matiolo et al, 2004). Os principais problemas que se observam na flotação dessas frações são: baixa probabilidade de colisão e adesão entre partículas e bolhas, dificuldade para superar a barreira energética entre elas; arraste mecânico ("entrainment" e "entrapment"), recobrimento por ultrafinos de ganga "slime coating", elevada adsorção de reagentes, rigidez excessiva da espuma e baixa seletividade na adsorção de reagentes. Todos esse fatores contribuem para uma diminuição na cinética de flotação, uma menor recuperação e maior consumo de reagentes. As partículas grossas por sua vez apresentam o problema contrário devido a sua elevada massa e baixo grau de liberação (baixa hidrofobicidade). As alternativas para o aumento da recuperação das partículas F-UF são diversas e apresentam um grau diferenciado de eficiência. As existentes são baseadas em novos conceitos de diminuição da geração em planta de FUF, otimização da captura de partículas por bolhas e do aumento das partículas problema. As técnicas com maior potencial são as que empregam condicionamento em alta intensidade seguida de flotação transportadora ou auto-transportadora (Rubio e Hoberg, 1993); tratamento fracionado por tamanhos; flotação com maior "hold up" de ar e flotação "extensora" otimizada (com óleos emulsificados).

A flotação com a adição de óleos é muito utilizada na área de beneficiamento de carvão (Duong et al, 2000; Laskowski, 1992) e ilustra muito bem o benefício do efeito hidrofóbico pretendido. Os carvões, em geral, correspondem a partículas com um certo grau de hidrofobicidade natural e por isso, muitas dessas flutam facilmente sem coletor e somente com espumantes. Devido a fenômenos de oxidação parcial, esta hidrofobicidade diminui drasticamente e é por isso que se utiliza óleo na flotação. Em relação a flotação "extensora", existem diferenças entre a realizada com óleos não emulsificados e os coletores tradicionais adicionados no mesmo instante (convencional), e a realizada com a adição de óleo emulsificado após a adição dos coletores. Como os óleos (querosene, óleo Diesel, entre outros) são insolúveis em água, sua dispersão neste meio é função do ponto e forma de adição e da agitação. A alimentação na forma de emulsão apresenta vantagens porque a difusão das "gotas" do óleo até a superfície das partículas é mais rápida e uniforme.

Os antecedentes desta técnica (investigação) e suas aplicações são encontrados no beneficiamento de carvões, na flotação de sulfetos metálicos, principalmente a molibdenita, e na flotação direta de minérios fosfáticos (El-Shall et al, 2000). A Tabela I apresenta um histórico do uso de óleos na flotação de sulfetos de cobre e molibdênio.

Tabela I. Uso de óleos na flotação de sulfetos de cobre e molibdênio – Histórico

Local/Mineral	Observações	Referências
Rússia Mineral de calcopirita	Aumento, na planta, de 5 % (85 % para 90 %) de Cu usando 100 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ de Diesel em emulsão (Rougher)	Dmitreva et al, 1970
Rússia Mineral finamente dividido, Cu/Mo. Concentrador Balkash	Flotação de grossos com 50 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ Diesel (aumentos de 3 % Cu e 4 % Mo). Flotação dos finos com querosene (100 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) + oleato de K (0.8-1.5 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ). Aumentos de 5 % Cu e 3 % Mo)	Gorodetskii et al, 1973
USA-Planta Amax de Molibdenita	Processo de flotação com emulsão. O "vapor oil" é emulsificado com um tensoativo, Syntex, baseado em extratos de coco. A mistura aumenta a recuperação deste sulfeto na etapa de separação do cobre.	Hoover e Malhotra, 1976
USA, Planta Amax de Molibdenita	A de Mo recuperação aumentou com a adição de diesel, 70 % e "bases-stock" de refinarias. As concentrações podem chegar a 200 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ .	Smit e Bhasin, 1985
Inglaterra Calcopirita (laboratório)	Agglomeração seletiva e alta recuperação de finos (86 %) com 10 $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$ calcopirita.	House e Veal, 1989
Austrália, 1 % Cu (Bornita), 10 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ Au Girilambone Copper Co.	500-1000 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ de óleo combustível (caminhões), adicionado, como tal, na moagem aumenta o teor de Cu e Au (para igual recuperação).	Bos e Quast, 2000

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do tipo e da concentração de diferentes tipos de óleos minerais e vegetais, emulsificados ou não, adicionados juntamente com os coletores convencionais sobre a recuperação metalúrgica de um minério sulfetado de Cu e Mo. Os resultados são discutidos em termos dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos envolvidos na geração de emulsões, do tipo e da concentração de

óleo, captura e agregação das partículas e, em particular, do potencial dessas técnicas no tratamento de finos de minérios.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiais

**Minério:** Foi utilizada uma amostra de minério sulfetado de cobre e molibdênio da Mina de Chuquicamata, da empresa Codelco do Chile, contendo 33% da massa e em torno de 37% do Cu contido nas frações F-UF (< 38  $\mu\text{m}$ ). A Figura 1 mostra a distribuição granulométrica e de Cu (0,05% de Mo) na amostra utilizada nos estudos de flotação.

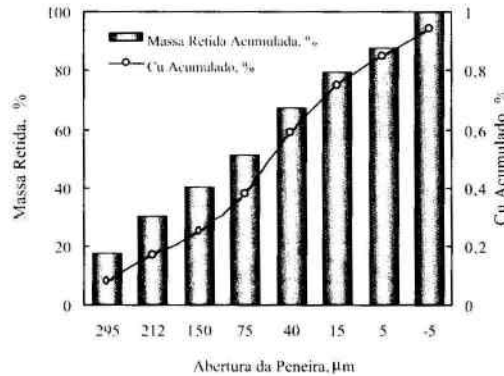


Figura 1. Distribuição de massa e de cobre na amostra.

**Reagentes:** Foi utilizado SF 113 (Isopropil xantato de sódio) e SF 506 como coletores dos minerais portadores de Cu e Mo, e uma mistura de DF 250 (propileno glicol), MIBC (metil isobutil carbinol) e óleo de pinho como espumante. O pH foi regulado com leite de cal. O óleo Diesel utilizado nos ensaios “extensora” é o óleo comercializado nos postos de combustíveis de Porto Alegre, com densidade de  $0,831 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 38,82 graus API e viscosidade de 4,5 cp (mPa·s). O querosene utilizado foi da marca “Ipiranga” comercializado em embalagens de 1 litro com densidade de  $0,794 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 46,80 graus API e viscosidade de 1,8 mPa·s. Também foi testado óleo lubrificante para motor 25W40 da “Esso” e óleo vegetal de milho.

### 2.2. Métodos

**Ensaio Standard (STD):** Os ensaios foram realizados em uma máquina de flotação Denver de laboratório e em uma célula de flotação quadrada em acrílico com capacidade de 3 litros, dotada de um raspador automático de espuma. A polpa contendo 38% de sólidos em peso e com pH em 10,5 regulado com leite de cal e monitorado com um medidor de pH marca “Analion<sup>TM</sup>” modelo PM 608, foi condicionada com os coletores SF 113 ( $25 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) e SF 506 ( $8 \text{ t}^{-1}$ ) e com a mistura de espumantes ( $25 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) durante 1 minuto para difusão dos reagentes à 1000 rpm na própria célula de flotação. Após o tempo de condicionamento, o ar foi injetado na célula a uma vazão de  $6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  controlado por um rotâmetro. Os ensaios tiveram duração de 9 minutos e foram coletados os concentrados nos minutos 1, 3, 5, 7 e 9 de flotação mantendo-se o volume da polpa dentro da célula constante com injeção de água. As amostras (concentrados e rejeito) foram filtradas em um filtro a vácuo de laboratório marca Denver, secas em estufa por 24 horas a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , desagregadas, homogêneas, pesadas e a análise de cobre e molibdênio foi feita através de absorção atômica.

**Ensaio de flotação extensora (EXT):** Para os estudos de flotação extensora com óleos não emulsificados foi colocado o volume de óleo na concentração desejada diretamente na célula de flotação após a adição dos coletores e mistura de espumantes, e feito o condicionamento da polpa por mais um minuto. Para os estudos de

flotação com adição de óleos emulsificados, foram preparadas soluções óleo/água na concentração de  $6000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  que foram adicionadas na célula de flotação logo após a adição dos reagentes convencionais (coletores e mistura de espumantes) e feito o condicionamento da polpa por mais um minuto. Para garantir uma emulsão homogênea, essas foram preparadas com um "Turrax" marca INGENIERBURÜRO CAT, modelo CAT NR6413 (agitador de alta rotação) a rotação de 25000 rpm durante 10 minutos. A Figura 2 mostra o desenho esquemático do sistema montado para os estudos de flotação extensora.

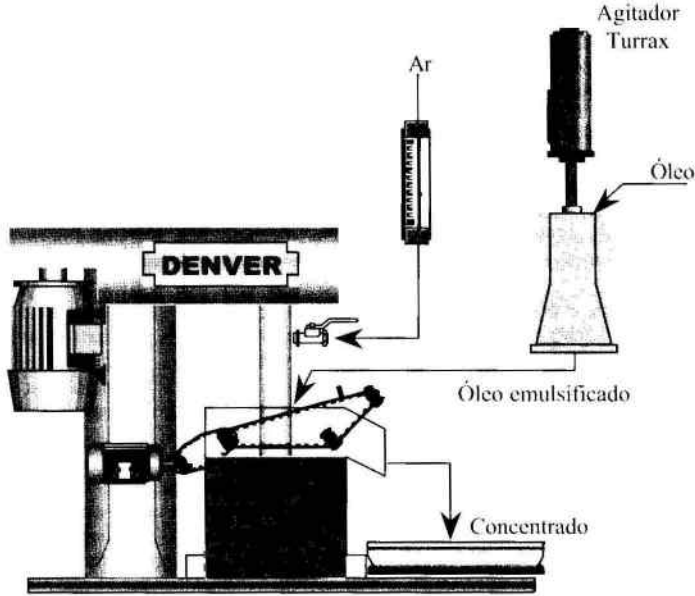


Figura 2. Desenho esquemático do sistema montado para os estudos de flotação extensora

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Estudos de flotação com adição de óleo Diesel (OD), querosene (QS) e óleo lubrificante (OL) emulsificados

A recuperação metalúrgica de Cu e Mo nos estudos com adição de OD e QS emulsificados são mostradas nas figuras 3 e 4 respectivamente.

Nos estudos com adição de OD são observados (Figura 4) incrementos nas recuperações metalúrgicas de Cu e Mo para concentrações de OD acima de  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , sendo que na concentração de  $90 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  foram obtidos os melhores resultados, com 89% de recuperação de Cu e 78% de Mo (85% e 72% respectivamente para o STD). Para os estudos com adição de QS (Figura 5), não são observados os mesmo ganhos metalúrgicos em termos de recuperação como visto nos estudos com adição de OD. O aumento máximo na recuperação metalúrgica de Cu, por exemplo, foi de 1,5% para uma concentração de  $90 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  de OD e de 2% para o Mo para todas as concentrações testadas.

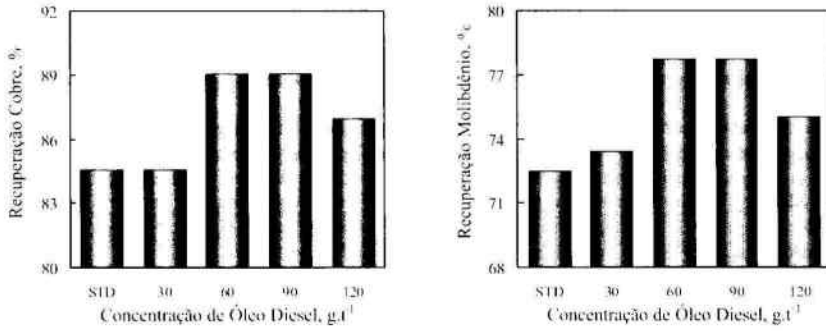


Figura 3. Recuperação metalúrgica de Cu e Mo nos estudos de flotação extensora com óleo Diesel emulsificado.

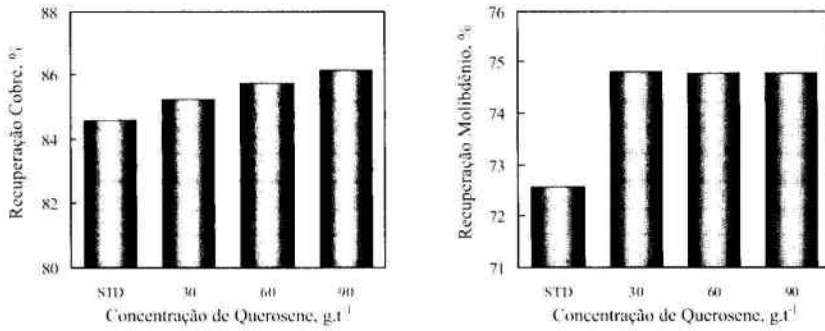


Figura 4. Recuperação metalúrgica de Cu e Mo nos estudos de flotação extensora usando querosene emulsificado.

Na Figura 5 são mostrados os valores de recuperação metalúrgica de Cu e as constantes cinéticas nos estudos de flotação extensora usando óleo lubrificante.

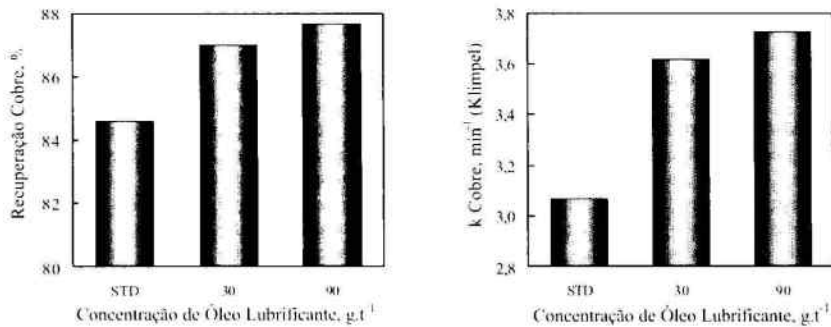


Figura 5. Flotação extensora de sulfetos de cobre com OL emulsificado: Valores das recuperações metalúrgicas e constantes cinéticas em função da concentração do óleo.

Na flotação extensora, usando OL emulsificado, a recuperação metalúrgica de cobre e constante cinética de flotação aumentaram significativamente nas duas concentrações testadas (30 e 90 g·t<sup>-1</sup>). A recuperação metalúrgica de Cu teve um incremento de 3% e a constante cinética variou entre 2 min<sup>-1</sup> e 3,7 min<sup>-1</sup>, sem variação significativa nos valores de recuperação real.

A Tabela II mostra aumentos na recuperação metalúrgica global de Cu e Mo por flotação extensora e também aumentos da recuperação real ou "true flotation", que é a flotação que ocorre após adesão bolha/partícula (Warren, 1985). A mesma Tabela mostra incrementos importantes das constantes cinéticas de flotação (modelo Klimpel) nos estudos de flotação extensora com adição de OD. No caso dos sulfetos de cobre, a recuperação real aumentou de 63 % no ensaio STD para valores próximos de 68 %, e as constantes cinética variando de 3 min<sup>-1</sup> para 4 min<sup>-1</sup> nos melhores resultados (90 g·t<sup>-1</sup> de OD).

No caso da flotação extensora de molibdenita, a recuperação real variou entre 44 % (STD) para valores de 63-67%, e as constantes cinéticas (k, min<sup>-1</sup>) variaram entre 2,2 min<sup>-1</sup> e 2,6 min<sup>-1</sup> para os estudos utilizando OD.

Tabela II. Flotação extensora de sulfetos de cobre e molibdênio. Resultados de recuperação metalúrgica, recuperação real (true flotation) e constante cinética (modelo Klimpel) na flotação comparativa entre o ensaio STD e com óleo Diesel (OD) e querosene (QS) emulsificados

Ensaio	[óleo] g·t <sup>-1</sup>	Cobre			Molibdênio		
		Rec, %	R <sub>real</sub>	k, min <sup>-1</sup>	Rec, %	R <sub>real</sub> , %	k, min <sup>-1</sup>
STD	-	85	63	3,0	73	44	2,2
EXT-OD	30	85	64	3,4	73	64	2,3
EXT-OD	60	87	64	4,0	76	66	2,2
EXT-OD	90	89	68	3,4	78	68	2,3
EXT-OD	120	87	66	3,4	75	66	2,6
EXT-QS	30	85	66	3,4	75	57	2,7
EXT-QS	60	86	67	4,0	75	51	2,8
EXT-QS	90	86	68	3,4	75	55	2,9

Nos estudos com adição de QS também são verificados incrementos tanto na recuperação real quanto na cinética de flotação. No caso dos sulfetos de cobre a recuperação real variou entre 63%, no ensaio STD, para 68% na concentração de 90 g·t<sup>-1</sup> de QS, e a constante cinética variou entre 3 min<sup>-1</sup> até 4 min<sup>-1</sup>. No caso da Molibdenita, o aumento da recuperação real foi elevada e da ordem de 13 % (44% no STD para 57%, na flotação extensora), e as constantes específicas de flotação (k) variando entre 2,2 e 2,9 min<sup>-1</sup>.

A flotação extensora com os óleos emulsificados Diesel, querosene e lubrificante aumentou a hidrofobicidade e agregação das partículas portadoras de cobre e molibdênio, otimizando a adesão das partículas com as bolhas e entre as próprias partículas (homoagregação). Este tipo de flotação restabelece a hidrofobicidade superficial das partículas que diminui drasticamente devido a fenômenos de oxidação parcial e aumenta o tamanho das partículas problema via interação hidrofóbica.

A estabilidade e o tamanho de gotas formadas na etapa de emulsificação afetam consideravelmente os resultados metalúrgicos da flotação. O aumento da dispersão do óleo na água (geração de micro gotas), aumenta o número de colisões entre as partículas minerais e as gotas facilitando a interação entre estas, resultando em incremento na recuperação metalúrgica. Também, são alcançadas seletividades maiores (teores) com a diminuição do tamanho de gotas, visto que estas são menos passíveis ao arraste de partículas de ganga com as partículas hidrofóbicas quando comparadas com gotas de maior tamanho. Emulsões óleo/água são mais estáveis na presença de surfactantes dada a alta densidade de carga superficial conferida às gotas de óleo devido à adsorção da substância emulsificante na superfície das mesmas.

Em relação aos micro-fenômenos que estão agindo, é importante destacar que a característica mais marcante no uso de óleos é a não existência de adsorção e sim uma "interação" entre gotas e partículas (Laskowski, 1992). Os melhores resultados obtidos com os óleos combustíveis e o óleo Diesel são explicados pela forte energia de interação entre os grupos naftênicos, presentes nesses óleos, e os sítios hidrofóbicos dos sulfetos.

### 3.2. Estudos de flotação com adição de óleo vegetal de milho (OV) e óleo Diesel não emulsificado (ODn)

A Tabela III mostra os resultados de recuperação metalúrgica, flotação real e constante cinética para o Cu para os estudos de flotação com adição de óleo vegetal de milho (OV) e óleo Diesel não emulsificado (ODn).

Tabela III. Flotação extensora de sulfetos de cobre com óleos vegetal de milho (OV-emulsificado) e óleo Diesel não-emulsificado (ODn). Resultados de recuperação metalúrgica, flotação real (true flotation) e constante cinética (modelo Klimpel).

Ensaio	[óleo] g·f <sup>-1</sup>	Cobre		
		Rec, %	R <sub>real</sub> , %	k, min <sup>-1</sup>
STD	-	85	63	3, 0
EXT-OV	90	68	*	0,5
EXT ODn	90	83	65	2,6

Os pontos experimentais para esse estudo não se adaptaram ao método e não foi determinada a recuperação real

A adição de ODn e OV foi prejudicial à flotação dos sulfetos de cobre diminuindo tanto as recuperações metalúrgicas como as constantes cinéticas específicas. A adição de OV diminuiu a recuperação metalúrgica de Cu em 17% e a constante cinética foi reduzida para 0,5 min<sup>-1</sup> (3 min<sup>-1</sup> no STD). Os principais problemas observados na flotação com a adição de ODn e o OV foram a redução da altura (abatimento) e o aumento da viscosidade da camada de espuma dificultando a raspagem da célula de flotação.

**Mecanismos envolvidos:** Em relação a flotação extensora, existem diferenças entre a flotação com óleos não emulsificados e coletores adicionados no mesmo instante (flotação extensora convencional), com a realizada com a adição de óleos emulsificados com dosagem feita após a adição dos coletores convencionais. No caso da flotação extensora convencional, depois que o coletor é “dissolvido” com sua parte apolar no óleo (não emulsificado), este interage com a superfície da partícula mineral, aumentando o ângulo de contato.

Na flotação extensora não convencional, o óleo é adicionado após a adição dos coletores convencionais na forma de emulsão com gotas de óleo com  $d_{50}$  de aproximadamente 3-6  $\mu\text{m}$ . Esta flotação tem por objetivo aumentar tanto a hidrofobicidade como também realizar a agregação das partículas minerais. Dessa forma, é melhorada a adesão das partículas com as bolhas e se consegue o aumento de tamanho das partículas problema (homo-agregação). Em relação aos micro-fenômenos que estão agindo, é importante destacar a “interação” entre gotas e partículas (Laskowski, 1992).

Como as gotas são hidrofóbicas (portanto insolúveis em água), a interação ocorre por forças hidrofóbicas com as partículas que já possuem coletor e inclui etapas de colisão e adesão. Imediatamente após ocorrer a adesão, o óleo (a gota) se “espalha” sobre a superfície da partícula aumentando consideravelmente a hidrofobicidade. Este fenômeno de espalhamento é o que lhe dá o nome de extensora à técnica e tem o sentido de extensão de uma película superficial.

Os principais fatores que se considera na flotação “extensora” são os seguintes:

- O tipo (composição química), concentração e forma de adição do óleo ou misturas destes;
- A interação entre o coletor e o óleo;
- O efeito do óleo nas características estruturais da espuma;
- A agregação por forças hidrofóbicas entre as partículas recobertas com óleo (Rubio et al, 2003). Esse mecanismo de interação entre óleo e coletor também apresenta vantagens na flotação de grossos (Projeto-LTM-Codelco-IM2, 2002). Dependendo da concentração de óleo utilizada, o agregado bolha-partícula pode apresentar densidade muito menor (dado a baixa densidade do óleo quando comparada com a do sólido), facilitando o carregamento das partículas pelas bolhas (Rubio et al, 2003).



## 4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho mostram que a flotação de sulfetos de cobre e molibdênio com a adição de óleo Diesel, querosene ou óleo lubrificante emulsificados após a adição dos coletores tradicionais, aumenta a recuperação metalúrgica de Cu e Mo, a flotação real e a constante cinética de flotação. Os resultados são explicados em termos do aumento da hidrofobicidade e agregação das partículas FUF por forças de efeito hidrofóbico. A interação das gotículas de óleo com as partículas de sulfeto que já possuem coletor é caracterizada pela existência de etapas sucessivas de colisão, adesão, formação de lentes, espalhamento das lentes de óleo e agregação entre as partículas.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Codelco-Chile e a todas as instituições que fomentam o apoio à P&D no Brasil. Em especial, às Universidades públicas, gratuitas, de qualidade e com consciência social.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bos, J. L., Quast, K. B., Effects of oils and Lubricants on the flotation of Copper Sulphide Minerals. Minerals Engineering, v. 13, p. 1623, 2000.
- Dmtrieva, G. M., Solnyshkin, V. I., Shmidt, O. V., The influence of certain nonpolar reagentes on the flotation of chalcopyrite, in Flotation Agents and Effects, ed. Solnyshkin, G. M., Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, pp. 25-32, 1970.
- Duong, C., Choung, J., Xu, Z., Szymanski, J. A novel process for recovering clean coal and water from coal tailings. Minerals Engineering, v.13, n.2, pp. 173-181, 2000.
- El-Shall, H., Abdel-Khalek, N.A., Svoronos, S., Collector-frother interaction in column flotation of Florida phosphate. International Journal of Mineral Processing, 58, pp 187-199, 2000.
- Gorodetskii, M.L., Aschenko, N.N., Plaksa, N.Y., Mekler, L.I., Gol'man, A. M., Increase in flotation recovery of porphyry copper ores at the Balkhash concentrator. Tenth International Mineral Processing Congress, pp 689-705, 1973.
- House, C. I., Veal, C. J., Selective recovery of chalcopyrite by spherical agglomeration, Minerals Engineering, 2, 171-184, 1989.
- Hoover, R. M. Y Malhotra, D., Emulsion Flotation of Molybdenite. Flotation A M. Gaudin Memorial. Volume, v. 1, p. 485-505, 1976.
- Laskowski, J.S. Oil assisted fine particle processing. En: Fuerstenau D.W. (advisory editor). Developments in Mineral Processing, v.12: Laskowski, J.S. e Ralston, J. (Eds.) Colloid Chemistry in Mineral Processing. Elsevier, pp. 361-394, 1992.
- Matiolo, E., Capponi, F., Rubio, J. Técnicas para recuperar minério de cobre. Brasil Mineral No. 229, pp 144-150, 2004.
- Proyecto Flotación de finos y ultrafinos-CODELCO-CHUQUICAMATA-IM2. Flotación de finos y ultrafinos: Programa de técnicas de laboratorio. Informe Final, 2002.
- Rubio, J., Hoberg, H. The process of separation of fine mineral particles by flotation with hydrophobic polymeric carrier. International Journal of Mineral Processing, vol 37, pp 109-122, 1993.
- Rubio, J. Capponi, F., Matiolo, E., Nunes, D. Guerrero, C.P., Berkowitz, G., Advances in flotation of mineral fines. In: Proceedings XXII International Mineral Processing Congress, Cape-Town, África do Sul, pp 1014-1002, 2003.
- Rubio, J., Capponi, F., Matiolo, E., Rosa, J. Avanços na flotação de finos de minérios sulfetados de cobre e molibdênio. Em: Anais XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Florianópolis, Brasil, Vol. 2, pp 69-77, 2004.
- Smit, F. J., Bhasin, A. K. Relationship of petroleum hydrocarbon characteristics and molybdenite flotation. International Journal of Mineral Processing, Amsterdam, v. 15, p. 19-40, 1985.
- Trahar, W.J. A rational interpretation of role of particle size in flotation. International Journal of Mineral Processing, vol 2, pp 289-327, 1981.
- Warren, L.J., Determination of the contributions of true flotation and entrainment in batch flotation tests. International Journal of Mineral Processing, 14, pp 33-44, 1985.