

RECUPERAÇÃO DE SULFETOS DE NÍQUEL DE UM REJEITO POR MEIO DE FLOTAÇÃO EM COLUNA

Vinicius Dimetre Fernandes Salomão

Aluno de Graduação de Engenharia Metalúrgica, 9º período, UFRJ
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2011 a agosto de 2012
vdimetre@cetem.gov.br

Sílvia Cristina Alves França

Orientadora, Eng^a. Química, D.Sc.
sfranca@cetem.gov.br

Hudson Jean Bianquini Couto

Coorientador, Eng. Químico, D.Sc.
hcouto@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a flotação em coluna é uma das técnicas mais utilizadas para a concentração de minérios em função de sua eficiência na obtenção dos concentrados. O que torna esta técnica mais eficaz que as outras é a sua versatilidade. Outras técnicas baseiam-se apenas nas diferenças das propriedades físicas entre os minerais.

A flotação é um processo físico-químico que possui a vantagem de manipular as características superficiais dos minerais, tornando possível a separação destes ainda que possuam densidade e granulometria bastante semelhantes.

Neste contexto, é possível aplicar esta técnica para uma vasta gama de minerais, já que cada um possui uma característica superficial específica.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a eficiência da flotação em coluna na recuperação de sulfetos de níquel contidos em um rejeito de baixo teor do metal. A viabilidade desse processo permitirá a utilização de materiais já processados, permitindo o aumento da vida útil da usina de beneficiamento e os impactos ambientais causados pelo descarte desses rejeitos.

3. METODOLOGIA

3.1 Análise Granulométrica

A análise de distribuição granulométrica da amostra foi realizada por peneiramento a úmido utilizando uma série de peneiras *Tyler*, com aberturas variando de 20 a 600 μm .

3.2 Moagem

A moagem foi realizada num moinho de 12" x 15" (diâmetro x comprimento), utilizando barras como corpo moedor. A utilização de barras visou à geração da menor quantidade possível de finos para não prejudicar o processo de flotação. As condições utilizadas na moagem foram: 10 kg de minério por moagem, polpa com 60% de sólidos, rotação de 60 rpm e tempo de moagem variando de 15 a 40 minutos para construção da curva de moagem.

3.3 Deslamagem

O produto da moagem foi submetido a uma deslamagem para remoção das partículas muito finas (-20 μm) que prejudicam a flotação. As deslamagens foram realizadas com hidrociclones da AKW de 1,5" e 2" de diâmetro da parte cilíndrica, com diferentes geometrias de *apex*.

3.4 Análise Química

As amostras foram quarteadas para retirada de alíquotas de 20 g, as quais foram enviadas para análise química para determinação de teores dos seguintes elementos: Ni, Cu, Co, Fe, Mg, Mn, S, Ca e Si. Em alguns casos foram analisados apenas os elementos de interesse: Ni, Fe, Mg e S.

3.5 Ensaios de flotação em coluna

Os ensaios de flotação foram realizados na unidade piloto de flotação em coluna do CETEM de 2” de diâmetro e 6 m de altura (volume total de aproximadamente 13 L) com sistema de dispersão do ar via dispersor poroso. Os experimentos na coluna de flotação foram realizados com condições operacionais recomendadas na literatura (AQUINO *et al.*, 2004; FINCH e DOBBY, 1990) e pelo fabricante das colunas (Canadian Process Technologies Inc., 2007), de acordo com as condições de alimentação apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições empregadas nos ensaios de flotação do rejeito de Ni

Ensaio	% sol.	W_s (kg/h)	Depressor	Ativador	Coletor	Espumante
E1	23,4	11,7	CMC (200 g/t)	CuSO ₄ (50 g/t)	AXK (100 g/t)	Flotanol (50 g/t)
E2	22	10,0	CMC (200 g/t)	CuSO ₄ (50 g/t)	AXK (100 g/t)	AERO 76E (50 g/t)
E3	19	8,4	CMC (200 g/t)	CuSO ₄ (50 g/t)	3418A (100 g/t)	MIBIC (30 g/t)
E4	22	A* - 10,0 B* - 15,6	CMC (200 g/t)	CuSO ₄ (50 g/t)	AXK/Mercapto (50/50 g/t)	MIBIC (50 g/t)
E5	25	11,6	CMC (500 g/t)	CuSO ₄ (50 g/t)	AXK/Mercapto (50/50 g/t)	MIBIC (50 g/t)

* A e B referem-se a duas condições diferentes da vazão de alimentação

As condições operacionais utilizadas são apresentadas a seguir:

- Tempo de residência médio: 10 a 15 min;
- Vazão da alimentação de 630 a 1000 mL/min;
- Vazão da água de lavagem: 245 mL/min;
- Vazão de rejeito variável, ajustada pelo controlador PID de nível (cerca de 750 mL/min);
- Bias: 0,10 cm/s;
- Vazão de ar: 1830 mL/min (velocidade superficial do ar de 1,5 cm/s);
- Altura da camada de espuma: 30 a 40 cm.

Sistema de reagentes:

- Coletores: Amil xantato de potássio (AXK) da Flomin[®]; Mercaptobenzotiazol da Nord Chemie[®] e o coletor comercial AERO 3418A da Cytec[®];
- Depressor: Carboximetil celulose (CMC);
- Ativador: Sulfato de cobre (CuSO₄);
- Espumantes: metil isobutil carbinol (MIBC) e AERO 76E da Cytec;
- Regulador de pH: solução de H₂SO₄ (20% p/v)

3.6 Avaliação da eficiência da flotação em coluna

Os parâmetros adotados para a avaliação de eficiência foram, recuperação metalúrgica de níquel no concentrado (RM), Equação 1, e os teores de níquel em massa (%Ni), Equação 2.

$$RM(\%) = \left(\frac{\%Ni_{conc} \cdot m_{conc}}{\%Ni_{alim} \cdot m_{alim}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

$$R_{mássica}(\%) = \frac{m_{conc}}{m_{alim}} \cdot 100 \quad (2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra de rejeito é constituída essencialmente por silicatos e óxidos de ferro e magnésio, possuindo cerca de 0,32% de níquel, proveniente, principalmente, dos minerais pentlandita e pirrotita. Na Tabela 2 são apresentados os resultados de análise química.

Tabela 2 – Análise química do rejeito (principais elementos)

Teores (% mássica)							
Ni	Cu	Co	Fe	MgO	S	Ca	SiO ₂
0,32	0,02	0,01	21,7	11,1	5,5	4,7	32,8

É importante observar que o teor de magnésio elevado é devido à presença do talco, que é um mineral deletério no processo metalúrgico subsequente, que utilizará o concentrado de níquel para a produção do matte. Dessa forma, o beneficiamento deverá focar o aumento no teor de Ni e redução de MgO (<7%).

A amostra do rejeito apresentou granulometria com $P_{90} = 250 \mu\text{m}$, havendo necessidade de moagem para liberação dos sulfetos de interesse. A partir das curvas de moagem definiu-se o tempo de cominuição em 40 min, para obtenção de uma amostra com $P_{90} = 105 \mu\text{m}$, com base em resultados de análise de liberação mineralógica. Os resultados dos ensaios de flotação estão exibidos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados de teor e recuperação metalúrgica de níquel na flotação

Ensaio	Alim. % Ni	Rejeito		Concentrado		$R_{mássica}$	RM (%)
		m (g)	% Ni	m (g)	% Ni		
1	0,27	140,7	0,10	62,0	0,65	30,2	71,2
2	0,27	129,6	0,08	63,6	0,64	33,8	80,6
3	0,28	88,9	0,07	51,2	0,65	36,4	81,2
4-A	0,26	130,5	0,14	35,3	0,87	21,1	66,9
4-B	0,26	209,9	0,18	30,9	0,83	12,9	40,7
5	0,24	182,2	0,09	35,5	1,39	16,5	79,1

De uma forma geral, pode-se observar que para os primeiros ensaios (1, 2 e 3) os teores de Ni nos concentrados foram relativamente baixos, em torno de 0,65%, mas com recuperações metalúrgicas na etapa de flotação na faixa de 71–81%. Para o ensaio 4, os teores de Ni obtidos no concentrado foram mais elevados, entre 0,83–0,87%, sendo alcançados valores de recuperações metalúrgicas de 67% para o ensaio 4-A (vazão mássica de 10 kg/h de minério).

Na sequência do ensaio, quando se aumentou a vazão de alimentação da coluna para 15,6 kg/h (ensaio 4-B), houve um pequeno decréscimo nos teores de Ni, mas as recuperações na flotação tiveram quedas significativas, provavelmente, em função da diminuição do tempo de residência das partículas na coluna de flotação, diminuindo a probabilidade de contato bolha-partícula.

Como se trata ainda de uma primeira etapa (*Rougher*) de flotação, esses resultados podem ser considerados promissores, dependendo dos teores de Ni a serem alcançados numa segunda etapa (*cleaner*) de flotação.

Os teores de MgO obtidos no concentrado para os ensaios 1 a 4 ainda foram altos, entre 16–22% (o limite recomendado para o processo é de 7%), provavelmente em função do talco ainda presente em grande quantidade na alimentação da coluna, conforme caracterização mineralógica realizada para o material estudado. Como o talco é um mineral naturalmente hidrofóbico, ele flota junto com os minerais de níquel.

Os melhores resultados foram obtidos no ensaio 5 em que foi obtido um teor médio de Ni de 1,4% com recuperação metalúrgica de 79,1%. Os teores de MgO obtidos para este ensaio ficaram entre 8–13%, menores do que nos demais ensaios. Acredita-se que as condições operacionais utilizadas neste ensaio levaram a uma melhora nos resultados, principalmente no teor de Ni. Nesse caso utilizou-se:

- i) uma dosagem mais elevada de CMC (500 g/t), o que possivelmente promoveu a maior eficiência na depressão dos silicatos, principalmente do talco.
- ii) a deslamagem foi mais eficiente, pois a amostra foi recirculada no hidrociclone por três vezes;
- iii) uma porcentagem de sólidos mais elevada, de 25%, melhorando a adsorção dos reagentes no condicionamento;

5. CONCLUSÕES

A flotação em coluna se mostrou efetiva na concentração de sulfetos de níquel, a partir de um rejeito, mostrando ser um processo promissor na recuperação de finos minerais. Os melhores resultados foram obtidos no ensaio 5 em que foi possível aumentar o teor de Ni no concentrado em quase 6 vezes com relação ao teor alimentado (0,24% de Ni).

Para ensaios futuros, planeja-se realizar ensaios de flotação preliminar do talco e, em seguida realizar etapas de flotação *rougher* e *cleaner* visando a obtenção de concentrados com teores mais elevados de Ni e mais adequados de MgO.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente ao CNPq pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica – BIC, aos meus orientadores Silvia França e Hudson Couto e aos profissionais do CETEM.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, J. A., OLIVEIRA, M. L. M., FERNANDES, M. D., Flotação em coluna. In: **Tratamento de Minérios** (LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M., Editores), CETEM/MCT, 4a Edição, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

BALTAR, C.A.M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. 1.ed., Recife, BRASIL: Departamento de Engenharia de Minas/UFPE, 2008. 201p.

CHAVES, A.P.; FILHO, L.S.L.F.; BRAGA, P.F.A. Flotação. In: LUZ, A.B; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. (Eds). **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2010, p.465-512.

FINCH, J. A., DOBBY G. S., Column Flotation, **Pergamon Press**, 1ª edição, 1990.

NUNES, D. G., FRANCA, S. C. A., COUTO, H. J. B., Aplicação da flotação em coluna na recuperação de finos da indústria mineral In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CETEM, 2010, Rio de Janeiro. **Anais do XVII Jornada de Iniciação Científica do CETEM**.