

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO DA APATITA EM COLUNA

F. J. M. Wellenkamp, A.P. Martins, M. S. Oliveira, G. M. Queiroz, C. H. Ataíde e M. A. S. Barrozo

Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593,
38400-902 Uberlândia - MG - Brazil (34) 3239 4249 - masbarrozo

RESUMO

No trabalho foi estudado a flotação da apatita de um minério fosfatado oriundo das reservas do Complexo de Barreiro de Araxá, analisando o efeito da concentração do coletor e da posição do reciclo da carga circulante numa coluna de bancada operada em modo descontínuo. Os resultados obtidos mostraram recuperações da ordem de 50% e teores de P_2O_5 de até 34,7% nos produtos de flotação. A adição do coletor em quantidade de 80 g/t e a posição do reciclo de 69 cm proporcionaram as separações mais seletivas. Nestas condições foi possível obter concentrações de P_2O_5 em níveis considerados desejáveis na indústria.

INTRODUÇÃO

A flotação em espumas é um processo de separação de partículas sólidas que explora diferenças nas características de superfície entre as várias espécies presentes. O método trata misturas heterogêneas de partículas suspensas em fase aquosa em contato com bolhas de gás, em geral, ar.

O processo se baseia no fato de que as partículas hidrofóbicas podem formar conjuntos com as bolhas de gás. Se uma partícula consegue capturar um número suficiente de bolhas, a densidade do conjunto partícula - bolha torna-se menor que a do fluido e o conjunto se desloca para a superfície, onde fica retido e é separada numa espuma, enquanto que as partículas das demais espécies minerais mantêm inalterada a sua rota [Chaves, 1998].

A importância do processo de flotação se deve ao fato de que a superfície das espécies minerais pode ser tornada seletivamente hidrofóbica ou hidrofílica, se adequadamente acondicionada com reagentes, com função de: coletor, depressor e modulador de pH.

Atualmente, a aplicação da flotação é praticamente extensiva a todos os minerais, dependendo apenas do

desenvolvimento de reagentes adequadas para cada tipo de minério [Guimarães, 1995].

Até a década de 1980, a flotação industrial era realizada quase que exclusivamente em tanques equipados com impelidores mecânicos. Entretanto, essas células de flotação apresentam certas desvantagens que limitam a sua seletividade. Com o objetivo de contornar esses problemas surgiram as colunas de flotação que têm as seguintes características: geometria delgada, fluxo contracorrente, introdução do ar através de injetores, água de lavagem no topo da coluna e ausência de um sistema de agitação.

No Brasil, no caso do beneficiamento de minério fosfatado, o primeiro circuito industrial utilizando colunas de flotação foi o da antiga Fosfértil em Patos de Minas - MG, que entraram em operação em 1989. Sendo que as primeiras unidades de grande porte foram as colunas de flotação de finos da antiga Arafértil (atual Serrana) em Araxá - MG.

Com o objetivo de estudar o processo de flotação, foi desenvolvida uma coluna em material acrílico para facilitar a observação visual, com 1,48 m de altura e 4,0 cm de diâmetro interno. O equipamento dispõe de distribuidor de ar, constituído de bronze sinterizado, adição de água de lavagem no topo e reciclo de polpa, além de medidores para as vazões de ar e água de lavagem.

O objetivo deste trabalho é estudar o processo de flotação em coluna a nível de laboratório, utilizando-se um minério fosfatado oriundo das reservas do Complexo de Barreiro de Araxá. No trabalho é analisado o efeito da concentração do coletor e da posição do reciclo da carga circulante nas quantidades e concentrações de fósforo [P_2O_5] recuperadas nos produtos.

Os efeitos desses fatores, de forma isolada, bem como de suas interações serão estudados através da análise estatística, identificando-se melhores condições operacionais.

METODOLOGIA

O material utilizado foi o minério de apatita fornecido pela Serrana Fertilizantes S. A., Araxá - MG identificado como *Under 3* (alimentação nova grossa). O minério apresenta a seguinte composição química, determinada através de análise de fluorescência de raios X: 22,96 % de P_2O_5 ; 29,22 % de CaO; 16,22% de Fe_2O_3 ; 11,84% de SiO_2 ; 0,98% de MgO e 1,42% de $BaSO_4$.

Empregando-se procedimentos de homogeneização e quarteamento para a divisão do minério, foi assegurada a representatividade das alíquotas da alimentação.

Foram utilizados os seguintes reagentes para o condicionamento do minério alimentado em quantidade de 340 g em cada teste:

Coletor: Óleo de arroz saponificado em solução aquosa a 2,5%.

Depressor: Fubá de milho gelatinizado em solução aquosa a 3%.

Modulador de pH: Hidróxido de sódio a 10%.

O acondicionamento do minério, visando à coleta da apatita e à depressão das demais espécies minerais, ocorreu sob agitação intensa com impelidor mecânico. O acondicionamento consistiu em quatro etapas com tempo de 5 minutos:

1. suspensão do minério em polpa com percentagem de 60% de sólidos, ajustando-se o pH em 11,5;
2. acondicionamento do depressor num tempo de 5 minutos, mantendo o pH em 11,5;
3. acondicionamento do coletor num tempo de 5 minutos, mantendo o pH em 11,5;
4. diluição da polpa a 15% de sólidos, ajustando-se o pH em 11,5.

Equipamento

Foi utilizado o equipamento apresentado na Figura 1, que dispõe de calha para a coleta da espuma e lavador de espuma fixados no topo da coluna, bem como um aerador e válvula de descarga na parte inferior.

A operação descontínua do presente estudo funciona com carga circulante para assegurar a passagem de todas as partículas pela zona de coleta. A carga circulante é movimentada com bomba peristáltica e removida no fundo da coluna para ser refluxada ao

equipamento nas alturas de 56, 69 e 105 cm em relação à base.

As medidas da velocidade de alimentação do ar e da água de lavagem foram feitas com rotâmetros, enquanto a vazão da carga circulante foi determinada mediante testes de calibração da bomba peristáltica.

Condições Operacionais

Os ensaios objetivaram a análise da influência da concentração do coletor nos níveis 60, 80 e 100 g/t, bem como da posição do reciclo nas alturas de 56, 69 e 105 cm. Para tal, as demais condições operacionais foram mantidos nos valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições Operacionais.

Condição	Unidade	Valor
Alimentação	g	340
Água alimentada	L	2,15
Concentração do depressor	g/t	300
Vazão do ar	L/h	80
Vazão do chuveiro	L/min	0,6
Vazão do reciclo	L/min	0,465

Transferiu-se a polpa ao equipamento com os dispositivos periféricos ligados, com exceção da água de lavagem, que foi ligada no início do transbordo da espuma. A retirada do rejeito foi efetuada de forma completa pela válvula de descarga, no momento em que a interface polpa - espuma atingiu o topo da coluna.

Após a realização dos ensaios foram realizadas as análises químicas dos produtos para a determinação dos teores de P_2O_5 . Foi utilizado o método analítico por via úmida, constituído pela solubilização das amostras com água régia, filtragem dos resíduos insolúveis e precipitação do fósforo como molibdofosfato de quinolina ($(C_9H_7N)_3H_3PO_4 \cdot 12MoO_3$). O procedimento foi realizado em analogia à norma MB -1385 da ABNT, registrada no INMETRO como NBR 6311 "Fertilizantes - Determinação de fósforo solúvel em água - Método gravimétrico do molibdato de quinolina com reagente quimociac".

Utilizando-se os teores de P_2O_5 determinados e as massas parciais dos produtos de flotação, foram calculadas as recuperações de P_2O_5 relativas à alimentação.

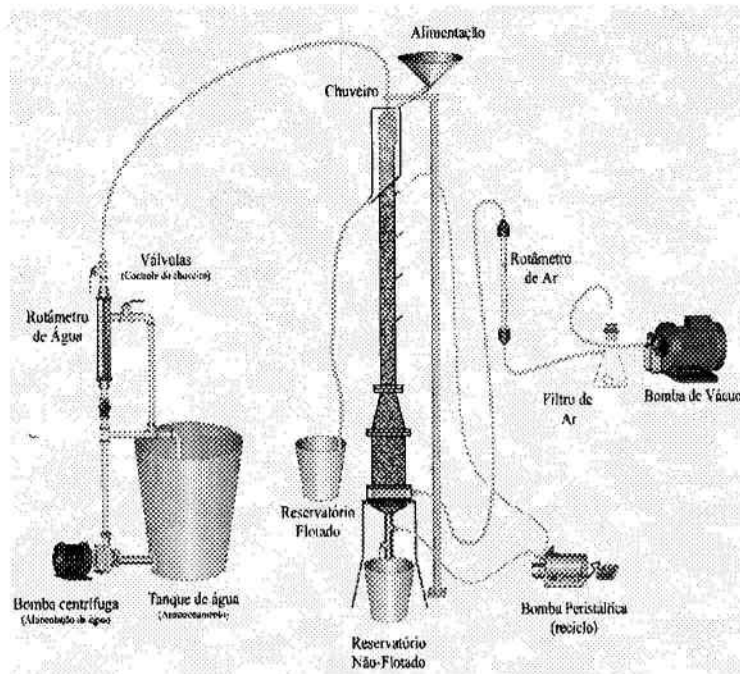


Figura 1 - Esquema da unidade experimental com a coluna de flotação.

Técnica de Tratamento de Dados

Foi utilizado um planejamento fatorial de experimentos (Box, et al., 1978) do tipo 3^k com K igual a 2 (concentração do coletor e posição do reciclo da carga circulante).

A análise estatística dos resultados foi realizada através de uma regressão múltipla, onde os parâmetros relacionados às variáveis isoladas, às interações e aos termos quadráticos foram estimados por mínimos quadrados, com as concentrações do coletor e da posição do reciclo adimensionalizadas, X_1 e X_2 , respectivamente conforme mostram as Equações (1) e (2).

As funções obtidas através do cálculo de regressão foram analisadas mediante a técnica de superfície de resposta (Myers, 1976).

$$X_1 = \frac{C_{\text{col}} - 80}{20} \quad (1)$$

$$X_2 = \frac{P_{\text{reciclo}} - 69}{36} \quad (2)$$

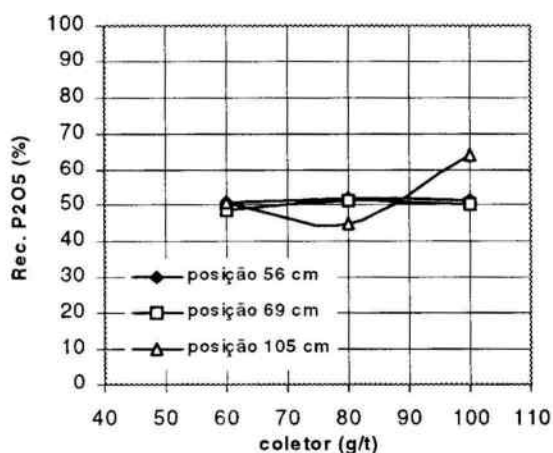
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados experimentais obtidos. Nessa Tabela são apresentados os níveis utilizados para as 2 variáveis estudadas (concentração de coletor e posição do reciclo) com os respectivos valores obtidos para o teor de P_2O_5 no flotado e a percentagem da recuperação.

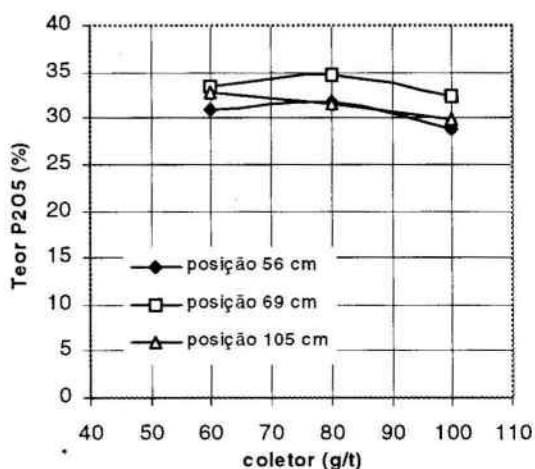
A Figura 2a) mostra a representação gráfica da recuperação de P_2O_5 no flotado em função das variáveis estudadas, enquanto a Figura 2b) se refere ao teor.

Tabela 2 - Resultados experimentais obtidos.

Ensaio (No.)	C_{col} (g/t)	P_{reciclo} (cm)	Teor de P_2O_5 (%)	Recuperação de P_2O_5 (%)
1	60	105	32,76	50,62
2	80	105	31,56	45,04
3	100	105	29,86	63,92
4	60	69	33,34	48,62
5	80	69	34,70	51,17
6	100	69	32,39	50,50
7	60	56	30,88	50,87
8	80	56	31,84	51,96
9	100	56	28,69	51,30



(a)



(b)

Figura 2 - a) Recuperação de P_2O_5 no flotado em função da concentração do coletor e da posição do reciclo; b) Teor de P_2O_5 no flotado.

A análise estatística permitiu ajustar uma equação empírica (3) que representa a variação do teor de P_2O_5 em função da concentração de coletor e da posição do reciclo. A tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros estimados, com os respectivos desvios padrão e os níveis de significância. A função apresenta um coeficiente de correlação R^2 de 0,9141.

$$\text{Teor } [\%] = a + b X_1 + c X_2 + d X_1 X_1 + e X_2 X_2 \quad (3)$$

A Figura 3 apresenta a superfície de resposta em função de X_1 e X_2 , ou seja, da concentração do coletor e da posição do reciclo adimensionalizadas.

Observa-se o máximo dessa superfície no ponto referente à concentração do coletor de 73 g/t e posição do reciclo de 81 cm.

Tabela 3 – Resultados da regressão.

Parâmetro	Valor	Desvio Padrão	Nível de Significância
a	34,40	0,56	4,24E-07
b	-1,01	0,31	0,0306
c	5,56	1,18	0,0091
d	-1,38	0,53	0,0605
e	-7,65	1,53	0,0074

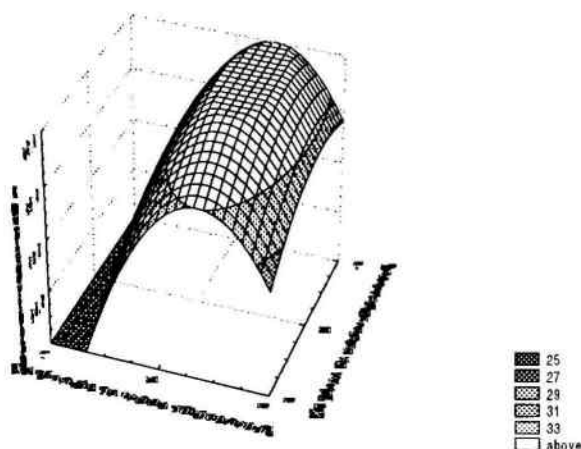


Figura 3 - Superfície de resposta do teor de P_2O_5 no flotado em função da concentração do coletor e da posição do reciclo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observa-se nos resultados de flotação que, para as condições experimentais utilizadas, as variáveis estudadas não afetaram significativamente a recuperação de P_2O_5 . Para os níveis analisados, esta recuperação foi de aproximadamente 50%. Entretanto, para maiores quantidades de coletor (80 e 100 g/t), na posição do reciclo de 105 cm, verifica-se um comportamento diferente.

A análise estatística mostrou que os efeitos das duas variáveis isoladas, concentração do coletor e posição do reciclo, bem como dos termos quadráticos foram significativos, indicando maior efeito da posição do reciclo em relação à concentração do coletor no teor de P_2O_5 do flotado.

Os teores de P_2O_5 em torno de 33% e recuperações acima de 60% são considerados

satisfatórios na flotação industrial do minério estudado. Comparado com esta exigência identifica-se o ensaio n.º 5 como o melhor resultado obtido no estudo [teor de P_2O_5 (34,7 %) e recuperação de 51,2%]. Essa condição se mostra favorável para o estudo de outras variáveis, uma vez que os resultados obtidos confirmam conclusões obtidas em trabalhos apresentados recentemente (Martins et al., 2000).

Martins, A. P.; Wellenkamp, F. J.; Barrozo, M. A. S. et al. "Um Estudo sobre a Flotação da Apatita em Coluna"; XXVIII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP), Teresópolis - RJ (2000).

CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisados os efeitos da concentração do coletor e da posição do reciclo da carga circulante na flotação em coluna de bancada de um minério de apatita. Foram identificadas melhores condições de concentração com adição do coletor em quantidade de 80 g/t e posição de 69 cm do reciclo da carga circulante onde foi possível obter concentrações de P_2O_5 em níveis considerados desejáveis na indústria.

AGRADECIMENTOS

A autora M. S. Oliveira agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica e o autor F. J. M. Wellenkamp à FAPEMIG pela bolsa de Pesquisador Visitante (proc. no. 00004/00).

REFERÊNCIAS

- Chaves, A. P.; Leal Filho, L.S.: Flotação, em livro Tratamento de Minérios, Cap. IX, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro (1998).
- Box, M. J., Huntel, W. G. e Huntel, J. S.: Statistics for experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building". John Wiley and Sons, New York, (1978).
- Guimarães, R. C.: "Separação de Barita em Minério Fosfático Através de Flotação em Coluna", Dissertação, EE-UFGM, Belo Horizonte (1995).
- Luz, A. B.; Costa, L.; Possa M.; Almeida, S.: "Tratamento de Minérios". Maio Gráfica Editora e Com. Ltda. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq (1998).
- Myers, R. H.: "Response Surface Methodology", Virginia, EUA (1976).
- Peres, A. E. C.: "Máquinas de Flotação, Curso de Tratamento de Minérios", EE - UFGM, Belo Horizonte (1988).