

## **BASES TEÓRICAS E PREMISSAS DO PROJETO DE UMA USINA PILOTO PARA EXTRAÇÃO DE OURO POR ESPUMA DE POLIURETANA.**

*Luiz Roberto Trovati e Laércio Caetano*

Departamento de Física e Química  
Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira  
Avenida Brasil, 56 – 15385.000 Ilha Solteira – SP.  
trovati@fqm.feis.unesp.br

### **RESUMO**

Na metalurgia extrativa do ouro, um dos principais problemas dos processos CIP ou RIP tem sido o tempo gasto para a efetiva adsorção do ouro pelo adsorvente. Ainda do ponto de vista operacional, sem prejuízo na eficiência da recuperação do ouro, a redução do tempo de residência da polpa no circuito contactor pode permitir uma elevação da capacidade produtiva. Essa possibilidade pode ser vislumbrada com a utilização de espumas de poliuretana nos circuitos de extração de ouro. A partir das recentes evidências encontradas na literatura a respeito da possibilidade do emprego de espumas de poliuretana para a extração de ouro, foram estabelecidos alguns princípios e formuladas as bases teóricas para o planejamento e desenvolvimento de uma planta piloto. Estudos experimentais em laboratório permitiram o conhecimento dos mecanismos predominantes de extração de ouro pelas espumas do tipo poliéter e poliéster em meio cloreto e cianeto. A extração de ouro pela espuma em meio cloreto é regida pela troca iônica e em meio cianeto pela quelatação do cátion. Em que pese os estudos em laboratório terem sido efetuados em processo de batelada e coluna, os parâmetros levantados, principalmente aqueles relativos ao tempo de extração de ouro pela espuma, ao tempo para eluição do ouro retido na espuma, ao pH, à temperatura e à eficiência do processo de extração (%E), serviram de base para formular o projeto de desenvolvimento de um protótipo de planta piloto.

O protótipo é constituído por um circuito de células de extração e outro de células de eluição. Uma esteira de espuma opera continuamente em contracorrente com a finalidade de promover o transporte da polpa de uma célula para a outra no circuito de extração. Para dimensionar o conjunto de células de extração e de eluição, da planta piloto, foram utilizados parâmetros determinados experimentalmente em laboratório. Como, em geral, os parâmetros foram obtidos em condição estática, algumas hipóteses foram adotadas para conferir a necessária dinâmica ao processo. Esse trabalho

apresenta as principais premissas adotadas no projeto construtivo e o princípio de funcionamento do protótipo da planta piloto.

### **INTRODUÇÃO**

Nas instalações convencionais para recuperação de metais preciosos que utilizam a adsorção de ouro pelo processo de carvão na polpa ou resina na polpa, os vários tanques de adsorção são dispostos seqüencialmente às vezes em desnível em relação ao próximo, formando uma espécie de cascata. Enquanto a polpa vai sendo transferida de um tanque para o outro pelo efeito da gravidade ou bombeamento, um sistema de peneiras transfere o carvão ou a resina contracorrente do fluxo da polpa. Normalmente, o carvão ou a resina é levado às peneiras de transferência por bombeamento ou air-lift.

Em condições operacionais esses circuitos apresentam diversos problemas de controle e manutenção. O carvão sofre os efeitos da abrasão e o uso das resinas tem encontrado dificuldades por causa das diferenças de densidade na polpa. Entretanto, o principal problema do processo CIP ou RIP tem sido o tempo gasto para a efetiva adsorção do ouro pelo adsorvente.

Ainda do ponto de vista operacional, sem prejuízo na eficiência da recuperação do ouro, a redução do tempo de residência da polpa no circuito contactor pode permitir uma elevação da capacidade produtiva do empreendimento. Essa possibilidade pode ser vislumbrada utilizando-se espumas de poliuretana para a extração do ouro.

## PRINCÍPIOS E BASE TEÓRICA

A partir das recentes evidências encontradas na literatura a respeito da possibilidade do emprego de espumas de poliuretana para a extração de ouro, (Braun, 1983; Sukiman, 1974; Braun e Farag, 1973 e Bowen, 1970) foram estabelecidos alguns princípios e formulada as bases teóricas para o planejamento e desenvolvimento de um protótipo de planta piloto.

Os princípios e as bases teóricas formuladas consideraram as seguintes premissas:

- i - a extração de ouro pela espuma de poliuretana é governada pelo mecanismo de absorção, portanto a eficiência depende de um efetivo contato entre a espuma e os íons em solução.
- ii - o circuito extrator deve apresentar, além da capacidade de extração, a característica de transportar polpa para garantir a primeira premissa.
- iii - o efeito da concentração de equilíbrio entre a espuma carregada e a solução deverá ser minimizado através de movimento da espuma contracorrente da solução ou da polpa.
- iv - o processo de extração e eluição deve ser contínuo para permitir a aplicação da premissa anterior.

Logo, os tempos de extração e eluição precisam ser otimizados e, portanto o processo carece ser sequencial e simultâneo.

Considerando ainda que uma planta piloto de extração é um equipamento de ensaios e testes, que deve refletir ao máximo sua capacidade de uso em condições operacionais, foi necessário levantar uma série de dados e parâmetros para o projeto.

## DADOS E PARÂMETROS DE PROJETO

A execução de estudos visando a determinação e otimização de parâmetros através dos vários testes de extração e eluição com espumas foi induzida e

desenvolvida em cooperação com o Instituto de Química de São Carlos/USP e resultou no trabalho de (Oliveira, 1993). Esse estudo realizado em laboratório permitiu o conhecimento dos mecanismos predominantes de extração de ouro pelas espumas do tipo poliéster e poliéster em meio cloreto e cianeto. A extração de ouro pela espuma em meio cloreto é regida pela troca iônica e em meio cianeto pela quelação do cátion.

## DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

A planta piloto é constituída por um circuito de três células de extração e outro de três células de eluição. O circuito de eluição fica sobreposto ao circuito de extração. A instalação, ilustrada na figura 1, compreende um sistema de tanques que é percorrido por uma esteira de espuma de poliuretana do tipo poliéster.

A primeira célula de extração recebe a alimentação de polpa que é transportada, para a célula seguinte, pelo esmagamento da esteira de espuma que caminha contracorrente ao sentido da polpa. No circuito de eluição a espuma é lavada na primeira célula, passando à célula de eluição propriamente dita, que contém o eluente apropriado (orgânico ou inorgânico), para a solubilização do ouro absorvido pela espuma. Na terceira célula é removido o eluente absorvido pela espuma, regenerando-a para iniciar, novamente, o processo de extração.

Paralelamente à célula de eluição é previsto, um circuito eletrolítico para a recuperação do ouro da solução eluente. O circuito eletrolítico e a célula eluente podem operar em circuito fechado.

É importante enfatizar que o sistema de esteira de espuma operando continuamente no processo de extração e eluição de ouro e adicionalmente promovendo o transporte da polpa de uma célula para a outra satisfaz o requisito do efeito de concentração de equilíbrio.

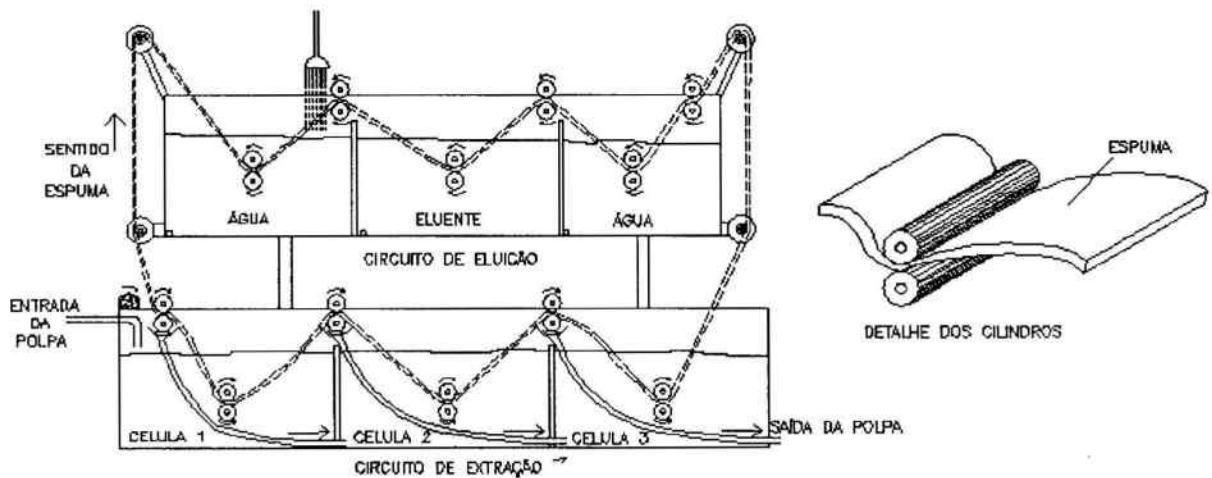


Figura 1 - Perfil do projeto da planta piloto. Na parte superior as células do circuito de eluição e na parte inferior, as células do circuito de extração, percorridas pela esteira de espuma de poliuretano, entre os cilindros.

### DIMENSIONAMENTO DAS CÉLULAS DE EXTRAÇÃO E ELUIÇÃO

Para dimensionar o conjunto de células de extração e de eluição, da planta piloto, foram utilizados parâmetros determinados experimentalmente em laboratório. Como, em geral os parâmetros foram obtidos em condição estática, algumas hipóteses foram adotadas para conferir a necessária dinâmica ao processo.

#### Análise com dados estáticos.

Considerando os dados experimentais de (Oliveira, 1993), realizado sob condição estática, em cela de extração, no qual foi usado 0,2g de espuma funcionalizada do tipo poliéter comercial,  $\rho=0,1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , em 20 ml de solução complexante com  $5,08 \times 10^{-5}\text{M}$  (10ppm) de ouro, pode-se inferir, para as mesmas condições operacionais,

que para uma célula do circuito de extração que comporta um volume de aproximadamente 40 litros de solução complexante seria necessário 400g de espuma para manter uma eficiência de extração similar ao experimento. Em síntese, está se admitindo um requisito da massa de espuma de 10g por litro de solução complexante. Em termos volumétricos, 400g de massa de espuma representam  $4 \times 10^3 \text{ cm}^3$ , ou seja um segmento da esteira de espuma com dimensão de 40cm de comprimento x 20cm de largura x 5cm de espessura

atuando numa célula. Este é o volume de espuma necessário ao processo de extração em cada célula.

Assim, para o circuito de extração composto por três células em série faz-se necessário um volume mínimo  $12 \times 10^3 \text{ cm}^3$  de espuma, isto é, um segmento de esteira com dimensão de 120cm de comprimento x 20cm de largura x 5cm de espessura, cujo equivalente em massa, para uma espuma de densidade ( $\rho_{\text{esp}}=0,1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), seria de 1,2kg de espuma comercial.

#### Análise com dados dinâmicos.

A partir de estudo preliminar em coluna recheada com cilindros de espuma de poliéter comercial com massa de 1,0g aproximadamente, (Oliveira, 1993) avaliou: o efeito da vazão na eficiência de extração de ouro de uma solução de  $\text{AuCl}_4$  com concentração de  $5,08 \times 10^{-5}\text{M}$  (10ppm) de ouro a temperatura de  $25^\circ\text{C}$ ; o efeito da vazão na eluição do ouro retido na espuma; e o efeito do número de colunas e de passagens da solução na eficiência de extração do ouro. Os resultados do referido estudo estão apresentados nas figuras 2 e 3 respectivamente.

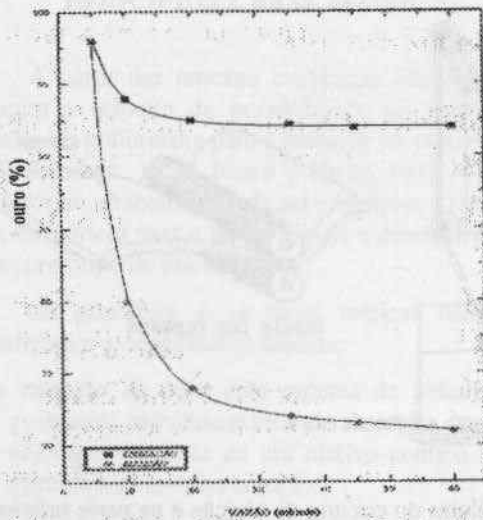


Figura 2 – Efeito da vazão na eficiência de extração e recuperação de ouro (Oliveira, 1993).

Se admitida a similaridade e a linearidade de extração entre a coluna e a esteira, é possível

estimar por extrapolação, qual será o volume de espuma da esteira atuando em cada célula capaz de simular o mesmo efeito do processo da dinâmica de extração em coluna. Para essa análise consideramos os dados experimentais obtidos por (Oliveira, 1993), que conforme a figura 4, mostram que a taxa de extração de ouro cresce rapidamente atingindo a saturação após 20 minutos. Dessa forma, podemos admitir como 20 minutos o tempo mínimo de residência da solução em cada célula de extração, pois esse é o valor do tempo tangente a curva de saturação da espuma.

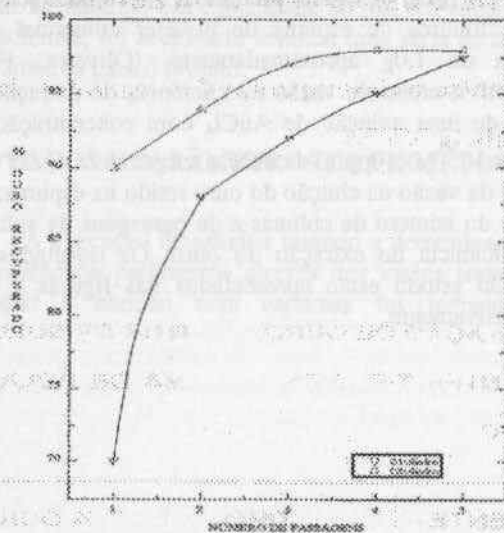


Figura 3 – Efeito do n de passagens da solução na eficiência de extração de ouro (Oliveira 1993).

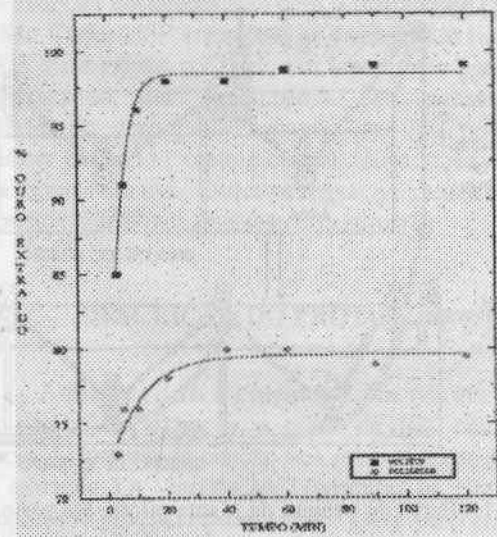


Figura 4– Efeito do tempo de contato entre a solução e a espuma na extração de ouro, para dois tipos de espuma (Oliveira, 1993).

Visto que cada célula da planta piloto comporta 40 litros de solução, temos para aquele tempo de residência uma vazão de  $2,0 \text{ l.min}^{-1}$  ou  $120 \text{ l.h}^{-1}$ , entre células, com 97% de eficiência de extração.

Para um coeficiente de distribuição, na condição de equilíbrio, de  $2850 \text{ l.kg}^{-1}$ , obtém-se aproximadamente 400g de espuma ou um volume de  $4 \times 10^3 \text{ cm}^3$  para cada célula, gerando uma vazão de transporte da solução de  $120 \text{ l.h}^{-1}$  de uma célula para outra.

#### Cálculo da velocidade da esteira de espuma.

Definido o tempo de residência de 20 min para a solução em cada célula e uma taxa de transporte da solução através de esteira de espuma de  $2,0 \text{ l.min}^{-1}$  entre duas células contíguas, encontrou-se para a velocidade da esteira uma velocidade de  $40 \text{ cm.min}^{-1}$ , para uma capacidade de retenção de solução pela espuma de  $0,5 \text{ ml.cm}^{-3}$ .

#### Tempo de contato solução-espuma.

A partir dos parâmetros determinados nos itens anteriores, calculou-se a velocidade da esteira de espuma no circuito e observando que a trajetória descrita pela esteira no circuito se aproxima de uma senóide, onde o percurso imerso da espuma em cada célula tem 80cm de comprimento, pode-se obter o tempo de contato entre a solução e a espuma. Esse tempo de contato, para uma fatia infinitesimal da esteira medida deste o instante de

mergulho na solução até o momento de compressão pelos cilindros, para a transferência à célula subsequente, é de aproximadamente 2 minutos. Portanto, para o circuito com três células de extração contíguas, temos no mínimo 6 minutos de tempo de contato entre a solução e a esteira de espuma.

Tendo em vista que o tempo de saturação de espuma ocorre após 20 minutos do contato solução-espuma, pode-se inferir que, para as mesmas condições experimentais, a planta piloto deverá ser composta com um circuito de extração de até dez células contíguas em série, para manter a eficiência de extração.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo do protótipo, conforme anteriormente descrito, contendo três células de extração e três células de eluição ambas de 40 litros cada, foi construído com chapas de aço. Esse modelo ainda não foi testado pelo fato de não se dispor no local de condições adequadas para simular o processo operacional de uma mina de ouro.

Consideramos importante realizar a avaliação do protótipo em condições reais, ou seja num canteiro de planta comercial de extração de ouro, de modo que os testes possam refletir a performance operacional e prover comparações sobre a eficiência de extração naquela situação. De fato, parcerias ou comissionamentos estão sendo aguardadas para testar o protótipo.

### REFERÊNCIAS

- Bowen, H.J.M. Adsorption by polyurethane foams, new method of separation; Journal of Chemical Society A, 1082, 1970.
- Braun, T. e Farag, A.B. The recovery of gold from thiourea solutions with a open-cell polyurethane foams. Analytical Chemistry Acta, v.66, p. 419, 1973.
- Braun, T. Trends in using resilient polyurethane forms as sorbents in analytical chemistry. Z. Analytical Chemistry, 134, p. 652, 1983.
- Oliveira, E.J. Processo de partição para separação e concentração de ouro em minérios usando espumas de poliuretanas. Dissertação de

Mestrado - Instituto de Física e Química de São Carlos/USP, 171 p., 1993.

- Sukiman, S. The extraction of gold from aqueous solution with treated and untreated polyurethane foam. Radiochemical Radioanalytical Letter, v. 18, p. 129, 1974.