

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DUAS METODOLOGIAS
DE LIXIVIAÇÃO BACTERIANA DE MINÉRIOS DE COBRE

Marques, Marivalda e Silva (1)

RESUMO

Este trabalho compara testes de lixiviação bacteriana, realizados por duas metodologias diferentes. A primeira, comumente usada, consiste basicamente na adição inicial de ácido sulfúrico para ajuste de pH entre 2,3 - 3,0, uma das condições que favorece o aumento da atividade bacteriana. A segunda, uma metodologia alternativa que consiste na lixiviação do minério em presença de sulfato férrico produzido bacterianamente. O minério de cobre utilizado foi procedente do depósito de Surubim-Ba, com teor de cobre de 1.59%. Os testes foram realizados em colunas de PVC, preenchidos com 49Kg de minério na granulometria 100% a baixo de 2". Após 563 dias de operação a coluna 1 com a rota de ajuste de pH, teve um consumo de H_2SO_4 de 3.6Kg/Kg de cobre extraído e uma extração de 14%. A coluna 2, com a rota de sulfato férrico, apresentou um consumo de H_2SO_4 de 1.6Kg/Kg de cobre extraído e uma extração de 23% de cobre.

ABSTRACT

This paper compares two bacterial leaching tests made by two different methodologies. The first, that is commonly used, consists basically in the initial addition of sulfuric acid to adjust pH between 2,3 - 3,0, condition that favours bacterial activity enhancement. The second, an alternative methodology that consists in the ore leaching in presence of ferric sulfate produced bacterially. The copper ore used comes from Surubim-Ba deposit, with a copper grade of 1.59%. The tests were performed in PVC columns, filled with 49Kg of ore crushed to 2". After 563 days of operation, column 1, with pH adjustment route, had a H_2SO_4 consumption of 3.6Kg/Kg of copper, and 14% extraction. Column 2, with ferric sulfate route had a H_2SO_4 consumption of 1.6Kg/Kg copper and an extraction of 23% copper

1) Engenheira de Minas, Química, Pesquisadora do CEPED-Centro de Pesquisas e Desenvolvimento.

INTRODUÇÃO

A lixiviação bacteriana é um processo resultante da atividade de certas bactérias do gênero Thiobacillus, que em função de seus processos vitais oxidam o Fe e S contidos nos minérios sulfetados, produzindo ions Fe^{3+} , H_2SO_4 e sulfatos de metais.

As principais bactérias envolvidas no processo são Thiobacillus ferrooxidans e Thiobacillus thiooxidans. Essas duas bactérias apresentam-se como bastonetes gram negativos de 0,5 a 0,8 μm de largura por 0,9 a 1,5 μm de comprimento, possuindo um flagelo polar que lhe confere propriedade de movimento⁽¹³⁾. Utilizam somente substratos inorgânicos para crescimento⁽¹⁴⁾, sendo o CO_2 a fonte de carbono requerida⁽⁸⁾. Toda energia necessária a seu metabolismo deriva da oxidação do ferro e enxôfre contidos nos minérios sulfetados. As duas espécies são aeróbicas estritas, a faixa de temperatura de crescimento varia de 5°C a 40°C sendo 28°C a temperatura ótima. O pH ótimo está situado numa faixa de 2 a 3 porém, ocorre crescimento na faixa de 1,2 a 4,5 (10,12).

Fatores de natureza econômica, tecnológica e ambiental, devido ao esgotamento das grandes reservas de alto teor, aos custos ascendentes de energia, as preocupações com o meio ambiente e controle da poluição, e ao melhor aproveitamento dos recursos minerais, bens não renováveis, motivaram pesquisadores em busca de soluções.

A lixiviação bacteriana apresenta-se como uma alternativa viável para recuperação de metais contidos em sulfetos.

Países como Canadá, Estados Unidos, México, Rússia, Bulgária, Chile, Perú, entre outros já aplicam essa tecnologia em escala industrial para recuperar cobre, e alguns deles como Bulgária, também urânio.

Os principais campos de aplicação da lixiviação bacteriana são os minérios sulfetados contidos em pequenos depósitos, rejeitos de mineração e minas exauridas. Comumente essas fontes possuem uma quantidade de metal que não justifica economicamente a aplicação dos métodos convencionais para a recuperação desse metal.

A amostra do minério utilizada no estudo foi proveniente da jazida de cobre de Surubim, um pequeno depósito localizado no sertão da Bahia, próximo à cidade Juazeiro e acerca de 500 Km à noroeste de Salvador.

As reservas estão estimadas em 6.500.000 toneladas com teor médio de cobre de 0,86%.

No estudo realizado pelo CEPED - "Parecer Técnico sobre a exploração da jazida de Surubim (Fevereiro de 1986)", concluiu-se a inviabilidade do aproveitamento desses depósitos pelos métodos convencionais frente ao preço do cobre da época, custos de transporte, custo de lavra e de processamento.

A lixiviação bacteriana apresentou-se como a alternativa mais promissora para aproveitamento desse depósito face as vantagens que apresenta sobre os métodos convencionais, apesar de demandar um maior tempo para obter-se uma extração substancial do metal, tais como:

- . baixo custo de investimento inicial em infra-estrutura;
- . reduz custo de transporte pois a extração ocorre na própria mina;
- . recupera cobre contido em minérios de baixo teor ou diluído;
- . baixo consumo de insumos;
- . não requer mão de obra especializada na operação.

O estudo desenvolvido no CEPED, no primeiro estágio, teve como objetivo avaliar a potencialidade do minério frente a técnica biometalúrgica.

Comprovada a potencialidade da aplicação da técnica, foi desenvolvido este trabalho que objetivou comparar duas rotas de

lixiviação bacteriana para identificar aquela que apresenta maior extração e menor consumo de reagente.

Até então, os trabalhos de lixiviação bacteriana realizados com minério de Surubim se limitaram apenas a lixiviação propriamente dita, não envolvendo estudos in vitro.

2 - PARTE EXPERIMENTAL

O minério em estudo foi devidamente preparado e submetido à caracterização química e mineralógica. Em seguida, foram realizados testes de lixiviação bacteriana em coluna micropiloto, seguindo duas rotas tecnológicas. A primeira, comumente usada, que consiste basicamente na adição inicial de H_2SO_4 para ajuste do pH entre 2.3 e 3, uma das condições que favorece o aumento da atividade bacteriana. A segunda, que consiste basicamente de uma lixiviação do minério utilizando uma solução ácida de sulfato férrico obtida bacterianamente.

2.1 - Amostra

O minério de cobre em estudo foi procedente da mina de Surubim, no município de Jaguarari-Ba.

2.2 - Caracterização da Amostra

2.2.1 - Análise Química

As determinações de cobre, magnésio, molibdênio, ouro, prata e cálcio, foram feitas por absorção atômica, ferro total e alumínio por volumetria, enxôfre e sílica por gravimetria.

Determinação	%
Cu total	1,59
Cu solúvel *	0,32
Fe ₂ O ₃ total	25,39

S	1,27
Al ₂ O ₃	11,32
SiO ₂	34,34
MgO	8,58
Mo	100 ppm
Au	0,19 ppm
Ag	9 ppm
CaO	4,84
outros	12,33

* Cobre solúvel em H₂SO₄ 20% a frio em repouso durante 1 noite.

2.2.2 - Caracterização Mineralógica

Foram executadas análises cristalinas e mineralógicas.

A análise cristalina foi realizada por difração de raio-X indicando a presença dos seguintes minerais:

- Grupo das micas: predominantemente flogopita e biotita.
- Grupo dos espinélios: predominantemente magnetita(Fe₂O₄) (fração magnética).
- Calcopirita: CuFeS₂
- Talco: M₃Si₄O₁₀(OH)₂
- Argilas minerais do grupo 14A^o, provavelmente cloritas.

A composição mineralógica foi determinada no microscópio petrográfico através de luz refletida em seções polidas apresentando os seguintes resultados:

- Magnetita : 15%
- Calcopirita : 5%
- Minerais do grupo da mica : 60%
- Outros silicatos : 20%

Covelita e ilmenita foram encontradas, como pequenas inclusões nos silicatos.

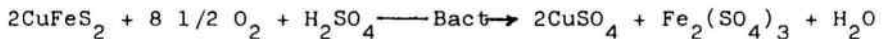
2.3 - Metodologia

Foram montadas duas colunas de PVC com 25cm de diâmetro e 2,0m de altura. As colunas foram preenchidas com 49Kg de minério, 100% abaixo de 2". A coluna 1 foi irrigada com uma solução de H_2SO_4 a pH 2,3, contendo 1% de inóculo, reciclada constantemente a uma taxa de aproximadamente $15L/h.m^2$. A coluna 2 foi irrigada com uma solução de $Fe_2(SO_4)_3$ produzido bacterianamente a uma concentração de Fe^{3+} de 2,8 g/l e pH = 1,5, também reciclada constantemente a uma taxa de percolação de $15L/h m^2$.

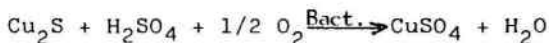
Durante a operação das colunas foram realizados ajustes de pH por adição de H_2SO_4 , medidas de Eh, retiradas de amostras para determinação da concentração de cobre em solução, e na solução da coluna 2 também foram realizadas determinações das concentrações de ferro total e ferro ferroso. O volume das soluções de ambas as colunas foi mantido constante por adição de água para compensar as perdas por evaporação e retiradas de amostras para análises químicas. As soluções percoladas foram previamente enriquecidas com O_2 fornecido por ar comprimido. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 1 em anexo.

3 - REAÇÕES

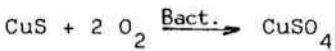
a) CALCOPIRITA



b) CALCOSITA



c) COVELITA

**4 - DISCUSSÃO**

O minério em estudo é consumidor de ácido. Em todos os testes realizados com minério a-2" por período de 563 dias foi necessário adicionar H_2SO_4 para manter o pH na faixa que favorece o aumento da atividade bacteriana. Na coluna 1 com a rota de ajuste de pH, o consumo de H_2SO_4 foi de 3,6Kg/Kg de cobre extraído e na coluna 2, pela rota de sulfato férrico produzido bacterianamente, o consumo de ácido caiu para 1,6Kg/Kg de cobre extraído. O H_2SO_4 adicionado à solução da coluna 2 não tem nenhum efeito significantena taxa de dissolução do cobre contido no minério⁽²⁾. O minério de Surubim contém 1,59% de cobre total, dos quais 0,32% é solúvel em H_2SO_4 20% a frio e 1.2% está na forma insolúvel como sulfeto. O cobre solúvel corresponde a 20% do cobre total. As extrações obtidas nas colunas 1 e 2 após 563 dias de operação foram de 14% e 23% respectivamente, conforme apresentado na tabela 1.

Considerando o cobre solúvel contido no minério observa-se que na coluna 1 a extração não corresponde a lixiviação de todo o cobre solúvel. Na coluna 2 observa-se que a extração é superior a quantidade do cobre solúvel do minério.

Acredita-se que o menor consumo de ácido e maior extração de cobre no caso da coluna 2 em presença de sulfato férrico produzido bacterianamente, é devido ao fato de que o sulfato férrico é um agente lixiviante mais seletivo que o ácido sulfúrico, atacando preferencialmente os sulfetos. O teor de óxidos e carbonatos no minério é relativamente alto, e o maior consumo de ácido na

coluna 1 é, principalmente, devido a solubilização desses óxidos e carbonatos.

Observando-se, ainda, a tabela 1, nota-se que aos 58 dias de operação a extração de cobre na coluna 1 foi de 5% e na coluna 2 de 14%. Acredita-se que a maior extração é devida, principalmente, a ação da lixiviação química do sulfato férrico, eficaz agente oxidante.

A partir dos 58 dias até 563 dias de operação, observa-se na tabela 1 que no teste da coluna 2 o ferro praticamente desapareceu da solução provavelmente porque a quantidade de H_2SO_4 livre, era insuficiente para prevenir a hidrólise⁽⁷⁾ e, conseqüentemente, favoreceu a precipitação do ferro. Sendo assim, em ambos os casos o aumento da extração de 9% foi devida, principalmente à atividade bacteriana.

Em testes de viabilidade para averiguar a presença de bactérias nas soluções de ambas as colunas foi comprovada a atividade das bactérias. Uma alíquota de cada uma das soluções das colunas foi transferida para o meio 9K (11) e após 8 dias, pela mudança de coloração do meio e observação microscópica, foi comprovada a presença das bactérias.

5 - CONCLUSÕES

Comparando as duas rotas, os resultados obtidos indicam que no mesmo período, a melhor extração e o menor consumo de ácido foi obtido com o teste da coluna 2 realizado em presença de sulfato produzido bacterianamente. Isto significa menor custo operacional, visto que o consumo de ácido cai praticamente a metade, além de apresentar uma maior extração de cobre no mesmo período.

Os testes realizados indicam que o minério de Surubim é passível da lixiviação bacteriana.

6 - AGRADECIMENTOS

O autor agradece à FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, a SGM - Superintendência de Geologia e Recursos Minerais da Secretaria de Minas e Energia do Governo do Estado da Bahia e a COMCITEC - Comissão Interinstitucional de Ciência e Tecnologia da Secretaria de Planejamento de Ciência e Tecnologia do Governo do Estado da Bahia e ao próprio CEPED pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

7 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - ANDRADE, T.R. de et França, F.P. de "Lixiviação bacteriana de cobre de baixo teor em escala de bancada". Série Tecnológica Mineral nº 33, MME. - DNPM, 1984.
- 2 - BEMAN, R.J. et Banner, B.R. The "Dissolution of Copper Concentrates" Minerals Sci. Engng, vol 5, nº 1.
- 3 - BRUYNESTEYN et. alii. "Biological-acid leach process". United States Patente nº 4.571,387, date of patente Feb.18, 1986.
- 4 - GALE, N.L. e BECK J.V. 1967."Evidence for the Calvin cycle and Hexose monophosphate pathway in Thiobacillus ferrooxidans". Jour. of Bacterol., 94: 1057-1057.
- 5 - GARCIA Jr., O. "Princípios Básicos da Lixiviação Bacteriana de Metais". Curso teórico prático. Local: CEPED - 09 a 03.87.
- 6 - KARAVAIKO, G.I. "Microbiological Processes for the leaching of metals from ores". State of the Art. Review. Edited by Prof. 4.E., Torma. Centre of Internacional Projects, GKNT, Moscow - URSS, 1985.
- 7 - LETOWSKI, F; KOLODZIEJ, B. CZERNECKI, M, JEDRCZAK, A. and Adamski, Z. "A New Hydrometallurgical Method for the Processing

- of Copper Concentrates Using Ferric Sulphate" Hydrometallurgy, 4 (1979) 169 - 184.
- 8 - MATIN, A. 1978."Organic nutrition of chemolithotropic bacteria." Ann. Rev. Microbiol., 32: 433-468.
- 9 - MURR, L.E. "Theory and practice of Copper Sulphide Leaching in Dumps and in-situ" Minerals Sci. Engng, Vol. 12, nº 03, July, 1980 pp. 121-123.
- 10- PIVOVAROVA, T.A. e GOLOVACHEVA, R.S. 1985."Microorganisms important for hidrometallurgy: cytology, physiology and biochemistry". Em: G.I. Karavaiko e S.N. Groudev (eds)., Biogeochemistry of metals, proceedings of International Seminar on Modern Aspects of Microbiological Hydrometallurgy (Sophia e Moscow). Centre of International Projects GKNT, Moscow, p. 27-55.
- 11- SILVERMAN, M.P.; e D.G. LUNDGEN. "Studies on the Chemoautotrophic iron bacterium Ferrobacillus ferrooxidans". Journal of Bacteriology, Vol. 77, nº 5 May 1959.
- 12- TUOVINEN, O.H. e KELLY, D.P. 1972."Biology of Thiobacillus ferrooxidans in relation to the microbiological leaching of sulphide ores." Z. Allg. Mikrobiologie, 12: 311-346.
- 13- VISHNIAC, W.C. 1974." Thiobacillus". Em: R.E. Buchanan e N.E. Gibbons (eds), Bergey's manual of determinative bacteriology, 8ª edição. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, USA, p.456-461.

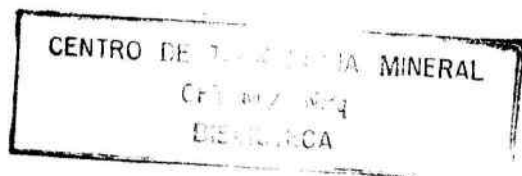


TABELA 1

COLUNA 1					COLUNA 2						
Duração (dias)	pH	Consumo H ₂ SO ₄ (ml)	Cu (g/l)	Extração (%)	pH	Consumo H ₂ SO ₄ (ml)	Fe ²⁺ (g/l)	Fe total (g/l)	Fe ³⁺ (g/l)	Cu (g/l)	Extração %
0	1,5	40,0	0	0	1,5	50,0	0	2,23	2,23	0	0
7	2,7	-	0,64	2	2,5	2,0	3,18	7,0	3,82	2,26	7
17	2,3	1,0	0,76	2	-	-	-	-	-	-	-
22	2,8	-	1,02	3	-	-	-	-	-	-	-
28	3,5	31,0	1,14	4	-	-	-	-	-	-	-
57	2,6	-	1,40	5	-	-	-	-	-	4,35	14
58	1,7	20,0	1,51	5	2,3	20,0	0,01	0,98	0,97	4,84	16
60	1,7	30,0	1,88	6	1,7	15,0	0	0	0	4,44	14
62	2,3	-	,194	6	1,9	2,5	0	0	0	4,50	14
64	2,0	-	1,96	6	2,1	5,0	0	0	0	4,34	14
73	2,8	5,0	2,04	7	2,8	15,0	0	0	0	4,40	14
76	2,5	-	2,13	7	2,5	-	0	0	0	4,60	15
80	2,5	-	2,35	8	2,5	5,0	0	0	0	4,56	15
87	2,8	10,0	2,42	8	2,4	-	0	0	0	5,34	17
92	2,8	3,0	2,50	8	2,5	-	0	0	0	4,92	16
99	3,1	4,0	2,50	8	3,0	31,6	0	0	0	5,20	17
111	2,6	-	2,72	9	2,6	-	0	0	0	5,28	17
136	3,0	5,0	2,47	8	2,2	-	-	-	-	5,65	18
154	2,9	3,0	2,87	9	2,7	10,0	-	-	-	6,20	20
230	2,0	13,0	2,75	9	-	-	-	-	-	-	-
266	2,1	16,0	3,18	10	2,2	-	-	-	-	6,85	22
444	2,5	32,4	3,98	13	2,1	-	-	-	-	7,16	23
563	2,7	-	4,37	14	2,6	-	-	-	-	7,28	23