

CARACTERIZAÇÃO DE REATORES "AIR-LIFT" E SUA UTILIZAÇÃO EM BIOMETALURGIA

LUIZ CARLOS URENHA (1)

DALTON PRESOTTO (2)

R E S U M O

Os reatores "air-lift" exploram o conceito de diferença de pressão hidrostática provocada pela injeção de ar em uma câmara subdividida em duas partes, preenchidas por um líquido. A principal propriedade desses reatores é promover uma mistura eficiente entre as fases do sistema circulante, sem utilizar partes móveis. No presente trabalho, um reator "air-lift" com capacidade para 5 litros de polpa foi construído e sua capacidade de homogeneizar uma polpa de minério de cobre foi testada. Em seguida o reator foi utilizado num estudo comparativo entre uma lixiviação bacteriana e uma lixiviação ácida de minério de cobre da Mina Caraíba.

A B S T R A C T

"Air-lift" reactors exploit the concept of hydrostatic pressure differences caused by gas injected into a double concentric tube chamber, filled with a liquid medium. The main characteristic of these reactors is enable an efficient mixing of the circulating medium phases without using propellers. In this work, a five liter pulp "air-lift" reactor has been built and its capacity of perfectly mixing a copper ore pulp has been tested. After this, the reactor was used in a comparative test between a bacterial leaching and an acid leaching of a copper ore from Caraiba Mine (BA).

1) ENGENHEIRO QUÍMICO - IPT

2) ESTAGIÁRIO DE ENGENHARIA QUÍMICA - IPT

1 - INTRODUÇÃO

Os reatores "air-lift" exploram o conceito de diferença de pressão hidrostática provocada pela injeção de ar em uma câmara subdividida em duas partes, preenchidas por um líquido. A principal propriedade de desses equipamentos, que os tem tornado cada vez mais atrativos, notadamente no processamento de sistemas trifásicos (sólido-líquido-gás) é a possibilidade de produzir uma mistura eficiente entre as fases do sistema reagente, sem empregar partes móveis (1).

Em tratamento de minério, alguns tipos de reatores "air-lift", conhecidos como tanques Pachuca, são empregados desde a primeira metade de este século (2).

A caracterização de reatores "air-lift" envolve o conhecimento de tres tipos de parâmetros: fundamentais (densidade, viscosidade e difusividade do sistema reagente); hidrodinâmicos (regime de escoamento, velocidade de circulação de polpa, perda de carga, energia injetada, holdup de gás, propriedades das bolhas de gás e eficiência de mistura); de transporte (troca sólido-líquido, troca gás-líquido e transmissão de calor). (3, 4, 5, 6, 7).

No trabalho aqui apresentado, construiu-se e caracterizou-se, com relação à homogeneidade do meio circulante, um reator "air-lift" com volume útil de 5 litros. Em seguida, realizaram-se quatro experimentos de lixiviação ácida e bacteriana empregando-se minério de cobre oriundo da Mina Caraiba (Jaguarari, BA).

2 - DESCRIÇÃO DO REATOR

O reator consiste em dois tubos concêntricos, de acrílico, unidos na parte inferior por uma base projetada para evitar o acúmulo de material sólido. No centro da base foi colocado um injetor de ar. O reator contém tres amostradores laterais (A,B,C) (FIG. 01).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Características do minério

O minério foi coletado durante visita realizada por técnicos do IPT à Mina Caraíba. Sua composição foi analisada e apresentou os resultados abaixo (8):

- 1. minerais principais - hiperstênio, plagioclásio (An30-70), diopsídio, biotita castanha;
- 2. minerais subordinados - quartzo, hornblenda, apatita, carbonato, sericita, talco, argilo-minerais, epídoto, clorita, serpentina e zircão;
- 3. teor de cobre - 2,3% em CuO

Para ser utilizado no reator, o minério foi moído em moinho de bolas até 99% < 100 mesh.

3.2 - Inóculo de bactérias

Nos ensaios onde se utilizaram bactérias, foi produzido um inóculo (10% do volume do reator) a partir do meio 9k (9), onde se cultivou T. ferrooxidans. A contagem de colônias em placas estimou a presença de 1×10^6 bactérias por ml de inóculo.

3.3 - Análises químicas e controle das variáveis do sistema.

As análises de Cu^{2+} e Fe total em solução foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (baixas concentrações), eletrodeposição e titulometria (altas concentrações). A amostra retirada do reator era centrifugada a 2000 rpm por 10 minutos. Uma alíquota do sobrenadante era acidulada com HCl concentrado e enviada para análise.

O consumo de ácido foi determinado por pesagens periódicas em balança semi-analítica, do frasco que alimentava uma solução de ácido sulfúrico em água destilada ao reator.

O pH no interior do reator foi controlado por um equipamento New Brunswick Scientific Co, com eletrodos separados para medição e

referência. O potencial de óxido-redução (Eh) e o pH das amostras coletadas do reator foram medidos com potenciômetro Digimed IAPH-2, com eletrodos e padrões de calibração apropriados (10).

A temperatura foi mantida na faixa entre 30 e 35°C por meio de um aquecedor interno ao reator, que empregava uma resistência elétrica de 20w.

A pressão e vazão do ar alimentado ao reator foram medidas por um manômetro e um rotâmetro colocados na sua entrada de ar.

3.4 - Testes de homogeneidade do reator

A homogeneidade do reator, na pressão, vazão de ar e densidade de polpa utilizadas, foi estudada.

Preparava-se o reator e adicionava-se 5 kg de água destilada em seu interior. Várias alíquotas de minérios com 250 g cada eram preparadas. O procedimento para testar a homogeneidade era o seguinte: acrescentava-se ao reator uma alíquota de minério e aguardava-se a homogeneização da polpa; em um recipiente previamente tarado, recolhia-se uma amostra, através dos amostradores laterais; o recipiente com a amostra era pesado em balança analítica e seco totalmente em estufa a 110°C por 20 horas; após esse período, o recipiente era resfriado em dessecador e novamente pesado em balança analítica; a densidade de polpa da amostra era calculada como a relação entre a massa de minério e a massa de líquido. As figuras 2 e 3 apresentam os resultados de dois experimentos realizados nos amostradores do topo (A) e inferior (C).

3.5 - Descrição dos ensaios de lixiviação

Foram realizados quatro ensaios de lixiviação, nas seguintes condições:

- Comuns

vazão de ar. - 85 l/hora
 pressão de ar - 0,1 atm
 temperatura - entre 30 e 35°C
 volume total ocupado - 5 l
 massa de minério - 600 g

- Específicas

Ensaio 1 - pH = 3,0; com a presença de bactérias e sais do meio 9k;
 Ensaio 2 - pH = 3,0; sem bactérias;
 Ensaio 3 - pH = 2,5; com a presença de bactérias e sais do meio 9k;
 Ensaio 4 - pH = 2,5; sem bactérias;

Após cada amostra retirada, o volume era corrigido até ao ini
cial com água destilada. Os resultados analíticos obtidos eram recal-
culados levando-se em conta estas alterações de volume.

4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios 1 e 2 são apresentados nas tabelas I e II. Os resultados dos ensaios 3 e 4 são apresentados apenas resumi
damente, juntamente com o resumo dos dois primeiros, na tabela III.

As curvas comparativas da solubilização do cobre em função do tempo por via bacteriana e via ácida (ensaios 1 e 2) são apresentadas na figura 4.

A figura 5 apresenta a variação do consumo de ácido em função do tempo para as vias bacteriana e ácida.

A variação da concentração de ferro total em solução (Fe 2+ e Fe 3+) é apresentada na figura 6.

As figuras 7 e 8 apresentam a variação do pH e Eh em função de tempo para os ensaios 1 e 2.

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O emprego de bactérias para acelerar processos hidrometalúrgicos é uma técnica em desenvolvimento. Seu emprego em laboratório é muito amplo, tendo sido estudado o ataque a diversos sulfetos e outros produtos como minérios de urânio e rocha fosfática. Em geral, cita-se a possibilidade de tratamento de minérios de teor baixo, não econômicos pelas vias convencionais.

O desenvolvimento dos reatores "air-lift", por sua vez, traz a possibilidade de simplificar os tratamentos de polpas de minérios, visto a inexistência de partes móveis e outras vantagens citadas na introdução deste trabalho.

A junção destas duas técnicas abre a perspectiva de tratamento bacteriano de concentrados de minérios, oferecendo uma alternativa tecnológica nova.

O minério tratado neste trabalho não é um concentrado, mas os resultados apontam para esta direção.

A tabela III mostra, entre os ensaios 1 e 4, uma solubilização tres vezes maior com um consumo de ácido 50% menor, num período de 140 horas, quando se empregam bactérias.

A figura 4 apresenta a variação da solubilização de cobre em função do tempo. A ação bacteriana é nitidamente positiva.

A análise simultânea das figuras 5 e 7 mostra que a partir de 60 horas de ensaio, o ataque aos sulfetos e a geração de ácidos é muito intensa, gerando um excedente de potencial lixiviante que se expressa no abaixamento do pH em relação ao valor controlado (pH = 3,0).

A presença de ferro em solução é um dos aspectos que deverá de mandar ainda um longo estudo. Sua presença na lixívia é desejável, devido ao seu papel no metabolismo energético das bactérias (11). Po

TABELA I - ENSAIO 01
LIXIVIACAO BACTERIANA EM REATOR AIR-LIFT
pH = 3.0
Inocula^o com T. thiooxidans e T. ferrooxidans

TEMPO PROCESSADO (h)	CONSUMO ACIDO PURO (kg/t)	VELOCIDADE CONSUMO ACIDO (kg/t/h)	pH	Eh (mV)	COBRE SOLUBILIZADO (g/l)	COBRE SOLUBILIZADO (% do max.)	VARIACAO Fe TOTAL SOLUCAO (g/l)
0.0	0.00	0.00	8.25	351	0.00	0.0	0.00
0.3	0.90	3.58	NA	NA	0.00	0.0	0.00
0.5	2.95	5.89	NA	NA	0.00	0.0	0.00
0.8	4.87	6.49	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.0	5.88	5.88	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.3	7.14	5.72	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.5	8.56	5.71	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.8	9.63	5.50	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.0	10.68	5.34	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.3	11.07	4.92	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.5	11.24	4.49	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.8	11.58	4.21	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.0	11.66	3.89	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.3	12.00	3.69	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.5	12.21	3.49	NA	NA	0.00	0.0	0.00
4.0	13.15	2.77	3.25	447	0.00	0.1	0.16
5.0	13.15	2.63	2.60	632	0.16	7.3	0.94
8.0	13.15	1.64	3.11	499	0.27	12.3	0.96
26.5	17.81	0.67	2.93	512	0.33	14.9	0.95
48.0	20.73	0.43	2.84	567	0.48	21.5	1.13
54.0	20.73	0.38	2.85	608	0.56	25.3	0.99
80.5	20.73	0.26	2.47	777	0.70	31.6	0.37
97.0	20.73	0.21	2.44	782	0.77	35.0	0.31
118.0	20.73	0.18	2.43	789	0.87	39.5	0.21
143.0	20.73	0.14	2.47	791	0.99	45.0	0.15
151.0	20.73	0.14	2.46	781	0.99	45.0	0.13
168.5	20.73	0.12	2.58	790	1.08	49.1	0.09
191.5	20.73	0.11	2.67	780	1.13	51.2	0.07
197.0	20.73	0.10	2.67	774	1.16	52.3	0.07
218.0	20.73	0.10	2.78	772	1.20	54.5	0.05
241.5	20.73	0.09	2.77	771	1.23	55.6	0.05
288.0	20.73	0.07	2.83	780	1.34	60.5	0.05
312.5	20.73	0.07	2.78	771	1.39	62.7	0.05

TABELA II - ENSAIO 02
LIXIVIAÇÃO ACIDA EM REATOR AIR-LIFT
pH = 3.0
Sem microrganismos

TEMPO PROCESSADO (h)	CONSUMO ACIDO CONCENTRADO (kg/t min.)	VELOCIDADE CONSUMO ACIDO (kg/t/h)	pH	Eh (mV)	COBRE SOLUBILIZADO (g/l)	COBRE SOLUBILIZADO (% do max.)	VARIAÇÃO Fe TOTAL SOLUÇÃO (g/l)
0.0	0.00	0.00	9.19	361	0.00	0.0	0.00
0.3	0.71	2.02	NA	NA	0.00	0.0	0.00
0.5	2.08	4.16	NA	NA	0.00	0.0	0.00
0.8	2.75	3.67	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.0	4.18	4.18	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.3	5.26	4.21	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.5	6.75	4.50	NA	NA	0.00	0.0	0.00
1.8	8.29	4.74	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.0	9.85	4.93	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.3	11.47	5.10	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.5	13.01	5.20	NA	NA	0.00	0.0	0.00
2.8	14.42	5.24	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.0	15.25	5.08	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.3	15.25	4.69	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.5	15.41	4.40	NA	NA	0.00	0.0	0.00
3.8	15.65	4.17	NA	NA	0.00	0.0	0.00
4.3	15.94	3.75	NA	NA	0.00	0.0	0.00
5.0	16.42	3.28	NA	NA	0.00	0.0	0.00
5.5	16.55	3.01	NA	NA	0.00	0.0	0.00
6.0	17.26	2.88	3.18	464	0.05	2.1	0.29
23.0	22.27	0.97	3.00	506	0.14	6.2	0.37
47.5	25.05	0.53	2.90	505	0.23	10.2	0.40
98.0	26.98	0.28	2.88	530	0.29	13.3	0.41
117.5	27.72	0.24	2.98	542	0.34	15.5	0.36
141.0	27.91	0.20	2.89	559	0.47	21.5	0.26
166.0	28.06	0.17	2.95	562	0.50	22.8	0.20

TABELA III - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

ENSAIO	PRESENCIA DE BACTERIAS	pH	EM TORNO DE 140 HORAS			AO FINAL DO ENSAIO		
			DURACAO (h)	COBRE SOLUBILIZADO (%)	CONSUMO DE ACIDO (kg/t min.)	DURACAO TOTAL (h)	COBRE SOLUBILIZADO (%)	CONSUMO DE ACIDO (kg/t min.)
4	NAO	2.5	137.5	15.6	40.05	137.5	15.6	40.05
2	NAO	3.0	141.0	21.5	27.91	166.0	22.8	28.06
3	SIH	2.5	146.0	37.2	32.77	265.5	48.0	32.77
1	SIH	3.0	143.0	45.0	20.73	312.5	62.7	20.73

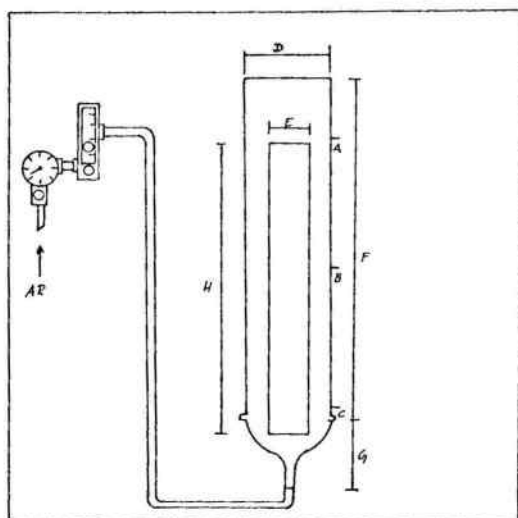


Figura 1 - A,B,C, - amostradores laterais

D = 9,5 cm

E = 3,5 cm

F = 100,0 cm

G = 10,0 cm

H = 60,0 cm

TESTE DE HOMOGENEIDADE - TOPO DO REATOR

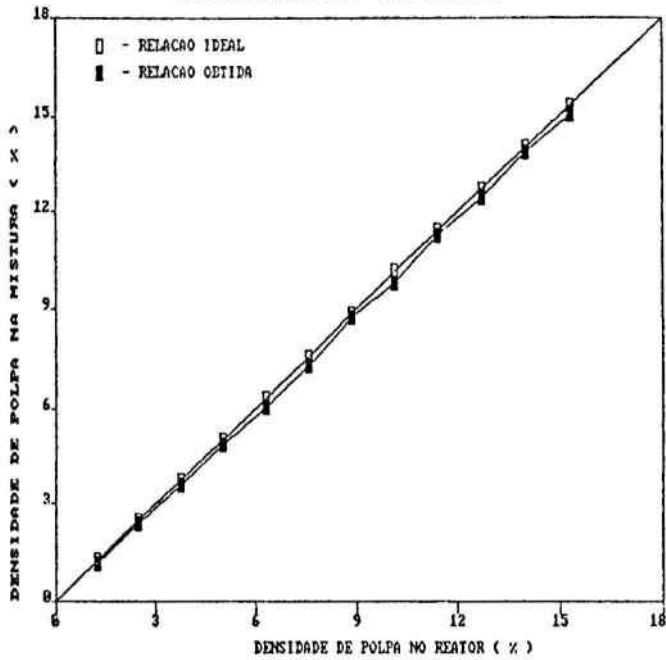


Figura 2

TESTE DE HOMOGENEIDADE - FUNDO DO REATOR

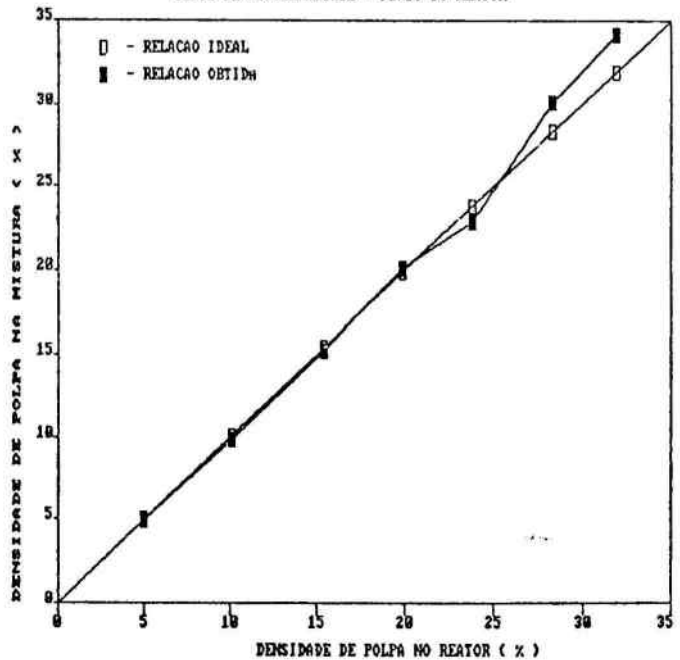


Figura 3

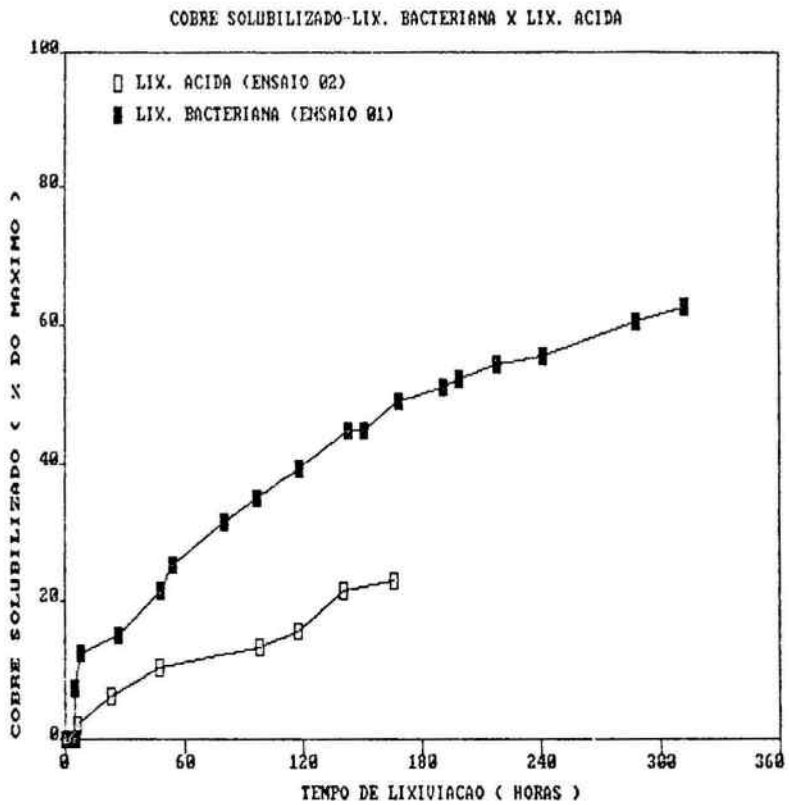


Figura 4

CONSUMO DE ACIDO - LIX. BACTERIANA X LIX. ACIDA

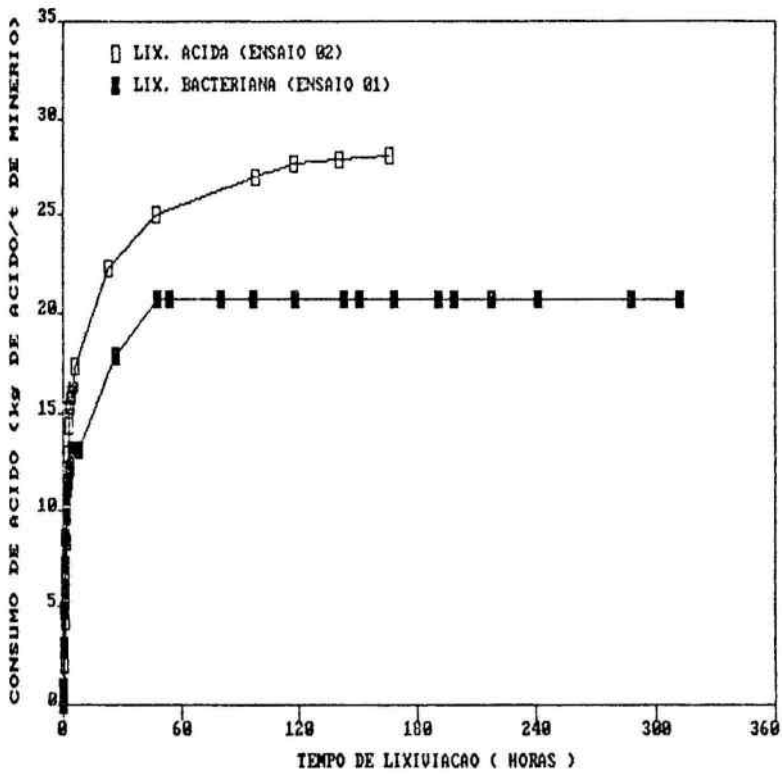


Figura 5

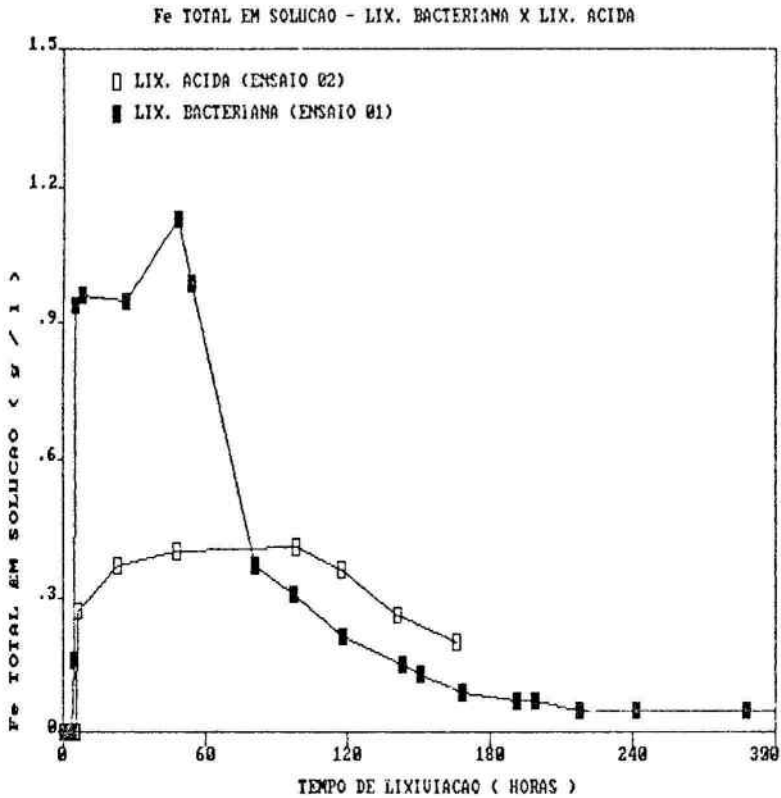


Figura 6

VARIACAO DO pH - LIX. BACTERIANA X LIX. ACIDA

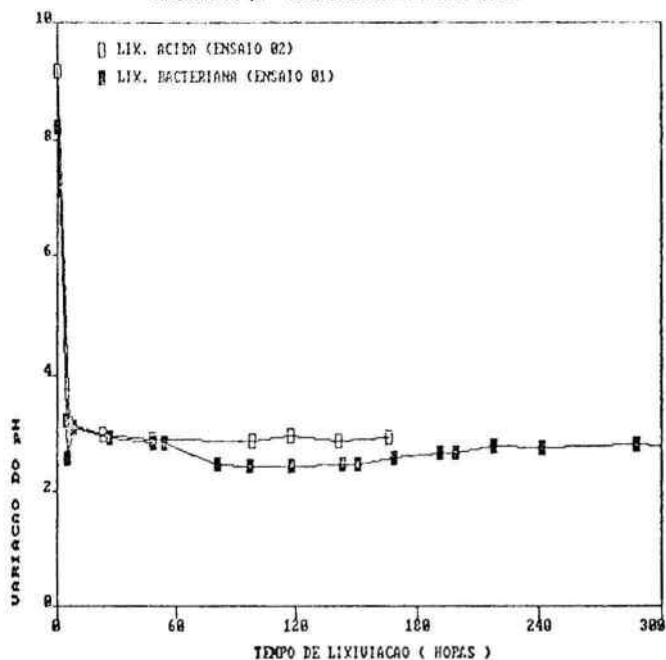


Figura 7

VARIACAO DO Eh - LIX. BACTERIANA X LIX. ACIDA

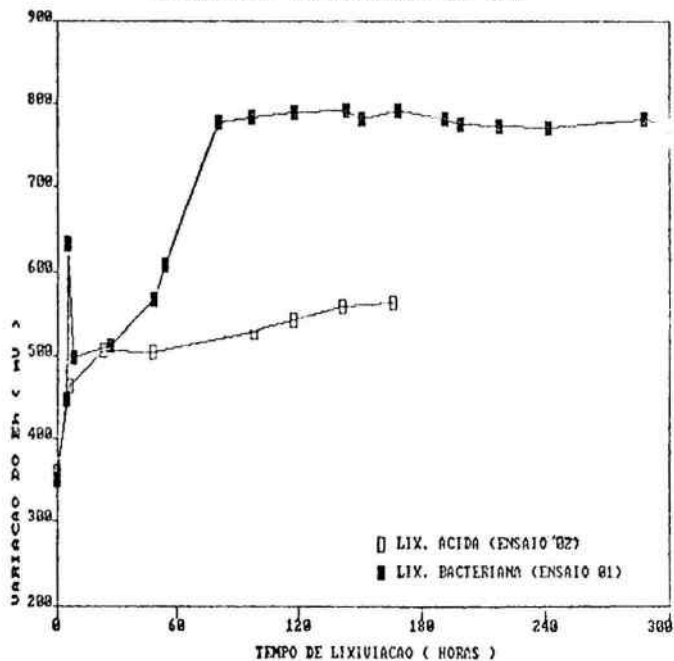


Figura 8

sem, sua presença na lixívia final poderá interferir negativamente na extração do cobre por eletro deposição ou extração por solvente. A figura 6 mostra que, nas condições dos ensaios, o ferro em solução tende a precipitar, alcançando concentrações baixas (0,05 g/l). A análise simultânea da figura 6 com a figura 4 mostra que a solubilização de cobre continua crescente quando a concentração de íons de ferro se aproxima destes valores baixos.

A figura 4, por sua vez, ao mostrar uma solubilização de cobre continuamente crescente, apesar do tempo longo, sugere um reator operando em sistema contínuo, com recuperação, na descarga, dos sulfetos ainda não atacados e retorno destes à alimentação.

6 - CONCLUSÕES

As informações apresentadas neste trabalho permitem concluir que a solubilização de cobre por via ácida é triplicada quando se emprega simultaneamente a bactéria Thiobacillus ferrooxidans.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MERCHUK, J.C.; SIEGEL, M.H. Air Lift Reactor In Chemical and Biological Technology. J. Chem. Tech. Biotechnol. 1988, 41, 105 - 120.
2. LAMONT, A.G.W. Air Agitation and Pachuca Tanks. The Canadian Journal of Chemical Engineering, August, 1958, 153-160.
3. DECKWER, Wolf-Dieter. Bubble Column Reactors. In: REHM, H.-J.; REED, G.; Biotechnology. Weinheim, VCH, 1985, cap. 20, v.2, 445 - 464.
4. BLENKE, HEINZ. Biochemical Loop Reactors. In: REHM, H.-J.; REED, G.; Biotechnology. Weinheim, VCH, 1985, cap.21, V.2, 465 - 517.

5. SCHUGERL, K. Nonmechanically Agitated Bioreactor Systems. In: Moo-Young, M. Comprehensive Biotechnology. Oxford, Pergamon Press, 1985, cap. 5, v.2, p. 99-118.
6. MERCHUK, J.C. Hydrodynamics and Hold-Up in Air-Lift Reactors. In: Cheremisinoff, N.P. Encyclopedia of Fluid Mechanics. Houston, Gulf Publishing Company, 1986, cap. 49, v.3, p. 1485 - 1511.
7. CHISTI, Y.; MOO-YOUNG, M. Prediction of Liquid Circulation Velocity in Air-Lift Reactors With Biological Media. J. Chem. Tech. Biotechnol., 1988, 42, 211 - 219.
8. IPT, Relatório Técnico Final nº 27.111. DQEQ/AB. Levantamento de oportunidades em lixiviação bacteriana. 1989, 162 páginas.
9. IPT, Relatório Técnico Final nº 27.086. DQEQ/AB. Lixiviação bacteriana de minérios: coleta, isolamento e seleção de microrganismos. 1988, 117 páginas.
10. TEIXEIRA, LUIZ ALBERTO. Utilização de diagramas de Pourbaix e medição de Eh e pH em hidrometalurgia. Parte I, Fundamentos. Parte II, Aplicações. Apostila de curso. 28 páginas.
11. INGLEDEW, W.J. Ferrous Iron Oxidation By Thiobacillus ferroxidans. Biotechnology and Bio engineering Symposium nº 16. p. 23 - 33.