

# Tiosulfato como Reagente Alternativo para Lixiviação de Ouro

Maria Célia Zikan

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UERJ

Themis Carageorgos

Orientadora, Engenharia Química, Ph.D.

## RESUMO

O método tradicional de recuperação de ouro de seus minérios é a cianetação. Embora a cianetação seja um processo bem estabelecido, pode apresentar algumas desvantagens, como a cinética lenta, o alto consumo de reagentes e a alta toxicidade. No presente trabalho são apresentados alguns aspectos fundamentais da dissolução do ouro em uma solução amoniacal de tiosulfato, como rota alternativa à cianetação.

## 1. INTRODUÇÃO

O método tradicional de recuperação de ouro de seus minérios é a cianetação. Neste processo o minério, em granulometria adequada, é colocado em contato com uma solução aquosa diluída de cianeto, geralmente na forma de NaCN, que dissolve o ouro. O ouro é usualmente recuperado da solução de cianeto por adsorção em carvão ativo.

Embora a cianetação seja um processo bem estabelecido, pode apresentar algumas desvantagens, como a cinética lenta, o alto consumo de reagentes e a alta toxicidade, que pode trazer problemas ambientais, além de não ser eficiente na recuperação de ouro de minérios refratários sem um pré-tratamento. Essa situação levou à pesquisa de lixiviantes alternativos ao cianeto, como a tiouréia, os halogênios, o tiosulfato e o tiocianato. Embora o desempenho desses agentes lixiviantes já tenha sido investigado em diversos minérios (1, 2, 4, 6), há poucos estudos fundamentais sobre a complexa química envolvida.

No presente trabalho é apresentada uma contribuição ao entendimento de aspectos fundamentais da dissolução do ouro com uma solução amoniacal de tiosulfato. Assim, foi estudada a influência das concentrações de tiosulfato de sódio, hidróxido de amônia e sulfato de cobre na dissolução do ouro, bem como os prováveis mecanismos envolvidos nessa dissolução. Os resultados mostraram que a melhor taxa de dissolução do ouro ( $1,3 \times 10^{-9}$  mol.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) foi obtida com uma solução 0,4M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,7M NH<sub>4</sub>OH e 0,018M CuSO<sub>4</sub>, em 2 horas de reação. Foi realizado ainda um planejamento estatístico, em dois níveis, pelo método fatorial, que demonstrou a importância das variáveis representadas pelas concentrações de tiosulfato e de amônia.

## 2. OBJETIVO

Estudar alguns parâmetros importantes na dissolução do ouro no sistema amoniacal de tiosulfato, como concentração de amônia, tiosulfato e cobre, utilizando a técnica de disco rotativo.

## 3. METODOLOGIA

O método consiste em verificar a dissolução do ouro usando um disco rotativo. Para isto, foi utilizado um equipamento contendo um disco de ouro puro, com diâmetro de 12,0 mm (área  $11,3 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>), acoplado a um bastão de resina, de modo que somente uma superfície do metal ficasse exposta à solução lixivante. A velocidade de rotação do disco foi ajustada por meio de um motor de precisão da *Printed Motors Bordon Hants*. Utilizou-se uma pasta de diamante para polir o disco, sendo este lavado em seguida, com água destilada em abundância. Os testes foram realizados num reator com capacidade para 150 mL, com uma solução inicial de agente lixivante de 100 mL. A solução foi preparada imediatamente antes de cada teste, sendo composta de cristais de tiosulfato de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O) e de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) adicionados a uma solução de hidróxido de amônia (NH<sub>4</sub>OH). Amostras da lixívia foram retiradas a cada meia hora, totalizando quatro amostras ao fim de duas horas de teste, e a quantidade de ouro dissolvido foi medida por absorção atômica. O cobre também foi monitorado devido à sua importância no sistema. Todos os reagentes usados são de grau analítico.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de cobre (II) é reconhecida como de grande importância para a dissolução de ouro e prata nas soluções de tiosulfato (3, 9). A Figura 1 apresenta a sua influência na dissolução de ouro com o tempo.

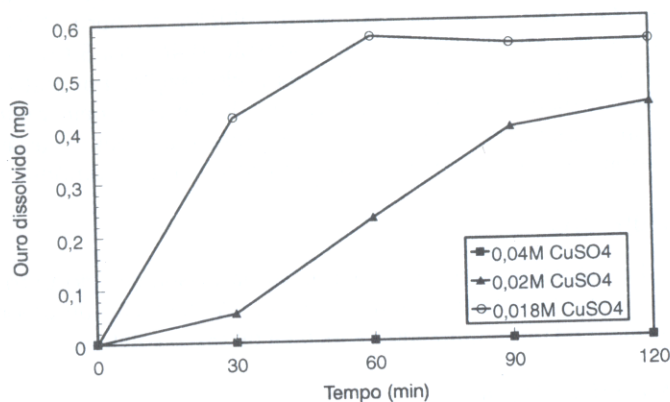


Figura 1- Efeito da concentração do sulfato de cobre na dissolução de ouro numa solução 0,4M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,5M NH<sub>4</sub>OH a 25°C e velocidade de rotação do disco igual a 600 rpm

Observa-se que a dissolução do ouro parece aumentar com o decréscimo da concentração de cobre. Para uma concentração de 0,018M que corresponde à concentração estequiométrica para a reação [1], obteve-se a mais alta dissolução de ouro (0,57mg). O decréscimo na dissolução de ouro com o aumento da concentração de cobre (II) já foi mencionado anteriormente (5, 9) e, provavelmente, deve-se ao fato da menor disponibilidade de íons tiosulfato, causada pela complexação com o cobre, de acordo com a reação [2]. Assim sendo, há menos íons tiosulfato para complexar o ouro.

As reações do provável mecanismo de dissolução do ouro (1, 6) são:



A amônia é adicionada ao processo com o objetivo de manter os íons tiosulfato estáveis em solução (9). A amônia é possivelmente um agente lixiviante para o ouro, embora, por outro lado, possa formar complexos estáveis também com o cobre. O efeito da concentração de NH<sub>4</sub>OH na dissolução de ouro é mostrado nas Figuras 2 e 3 para concentrações de tiosulfato 0,4M e 0,1M respectivamente.

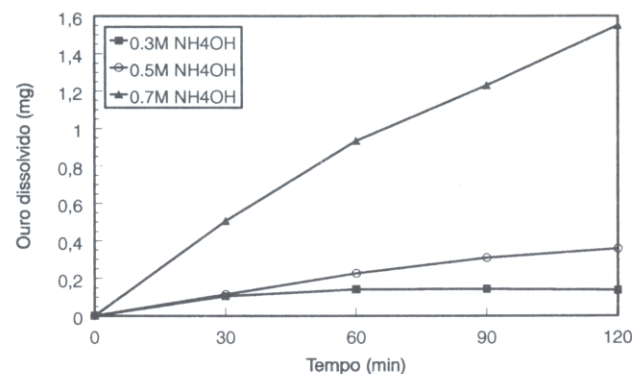


Figura 2 - Efeito da concentração de hidróxido de amônia na dissolução de ouro numa solução 0,4M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,018M CuSO<sub>4</sub> a 25°C e velocidade de rotação do disco igual a 600 rpm

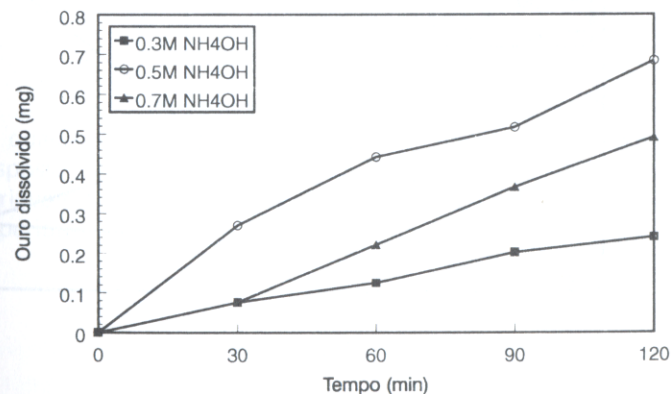


Figura 3- Efeito da concentração de hidróxido de amônia na dissolução de ouro numa solução 0,1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,018M CuSO<sub>4</sub> a 25°C e velocidade de rotação do disco igual a 600 rpm

Pela Figura 2 observou-se que, para uma concentração 0,4M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  e 0,018M  $\text{CuSO}_4$ , o aumento da concentração de  $\text{NH}_4\text{OH}$  favoreceu a lixiviação, obtendo-se 1,55 mg de ouro com 0,7M  $\text{NH}_4\text{OH}$ . É interessante notar que para as mesmas condições experimentais da Figura 2, porém com uma concentração de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  mais baixa (0,1M), o melhor resultado, i.e., a mais alta dissolução de ouro (0,68mg), foi alcançado na concentração intermediária de amônia. Esses resultados estão mostrados na Figura 3. Nessa situação, o efeito observado devido a reação [3] (um aumento na concentração de  $\text{NH}_4\text{OH}$  deslocaria o equilíbrio para a esquerda), é provavelmente mais pronunciado quando a concentração de tiosulfato é menor. As dissoluções de ouro mais altas, alcançadas com 0,7M  $\text{NH}_4\text{OH}$ , podem ser também uma indicação da formação de um complexo amônia-ouro.

Observou-se ainda a influência da amônia (nas concentrações 0,3M; 0,5M; 0,7M) na ausência de tiosulfato, em uma solução com 0,018M  $\text{CuSO}_4$ . Nessas condições, não houve lixiviação.

A Figura 4 mostra a interação entre as concentrações de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  e  $\text{NH}_4\text{OH}$  e sua influência na taxa de dissolução do ouro.

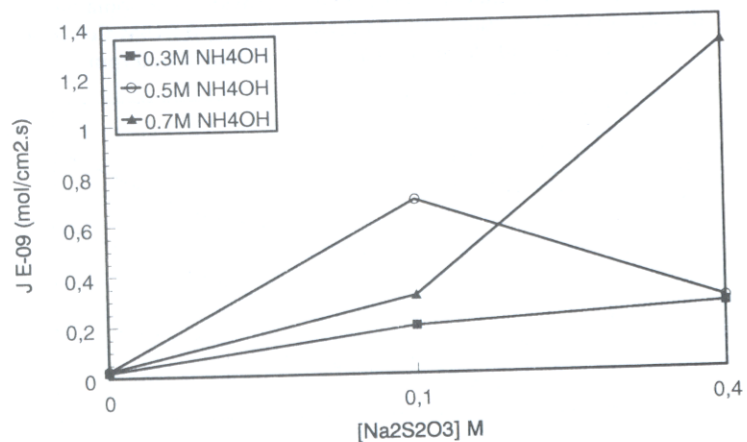


Figura 4 - Efeito da interação entre as concentrações de  $\text{NH}_4\text{OH}$  e  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  na taxa de dissolução de ouro numa solução 0,018M  $\text{CuSO}_4$  a 25°C e velocidade de rotação do disco igual a 600 rpm

As taxas máximas de extração se dão a 0,1M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ; 0,5M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $0,69 \times 10^{-9} \text{ mol.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e 0,4M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ; 0,7M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $1,3 \times 10^{-9} \text{ mol.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Esse comportamento enfatiza a complexidade dos mecanismos envolvidos na dissolução de ouro em solução amoniacal de tiosulfato.

Descobrir a influência de uma ou mais variáveis envolvidas num dado processo tecnológico, sobre uma variável dada, é um dos grandes problemas enfrentados pelo pesquisador no campo dos experimentos tecnológicos. Assim, aplicou-se o método de planejamento estatístico ao estudo realizado sobre a dissolução do ouro pelo sistema amoniacal de tiosulfato, cujos resultados mais importantes são apresentados nos quadros a seguir:

Tabela 1 - Análise da interação das variáveis A (conc.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) e B (conc.  $\text{NH}_4\text{OH}$ )

variáveis		B (conc. $\text{NH}_4\text{OH}$ )	
A (conc. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )	níveis	0,5M	0,7M
	0,1M	0,36 E-9	0,32 E-9
	0,4M	0,30 E-9	1,34 E-9

O quadro mostra que, para se ter um maior valor da variável resposta (taxa de dissolução do ouro), devem-se conservar as variáveis A (conc.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) e B (conc.  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) nos seus níveis superiores.

Tabela 2 - Análise da interação das variáveis A (conc. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e C (conc. CuSO<sub>4</sub>)

variáveis	C (conc. CuSO <sub>4</sub> )		
A (conc. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	níveis	0,018M	0,020M
	0,1M	0,50 E-9	0,18 E-9
	0,4M	1,07 E-9	0,57 E-9

Neste caso, para se ter um maior valor da taxa de dissolução de ouro, deve-se manter a variável A no seu nível superior (0,4M) e a variável C no seu nível inferior (0,018M).

Tabela 3 - Análise da interação das variáveis B (conc. NH<sub>4</sub>OH) e C (conc. CuSO<sub>4</sub>)

variáveis	C (conc. CuSO <sub>4</sub> )		
B (conc. NH <sub>4</sub> OH)	níveis	0,018M	0,020M
	0,5M	0,49 E-9	0,17 E-9
	0,7M	1,08 E-9	0,58 E-9

Também neste caso, deve-se manter a variável B no seu nível superior (0,7M) e a variável C no seu nível inferior (0,018M).

O efeito da temperatura na taxa de dissolução do ouro se torna insignificante, comparado ao efeito que os íons cobre e a amônia exercem sobre o processo da dissolução. Embora altas temperaturas possam facilitar a dissolução do ouro, por outro lado podem causar a decomposição do Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (7, 8).

## 5. CONCLUSÕES

O sistema tiosulfato para dissolução do ouro é complexo, mas merece atenção por dissolver o ouro num meio não-poluente.

As concentrações de amônia e tiosulfato influenciam marcadamente a dissolução do ouro, conforme mostra a análise fatorial.

A concentração de amônia deve ser a do equilíbrio (reação [3]), pois um excesso de íons OH<sup>-</sup> deslocaria a reação para o sentido oposto ao da dissolução do ouro.

O cobre é o catalisador da reação de dissolução do ouro, mas sua concentração deve ser controlada, pois, se for muito alta, haverá um decréscimo na concentração de tiosulfato pela formação do complexo cobre-tiosulfato, o que levaria a uma diminuição na taxa de dissolução do ouro.

A taxa de dissolução de ouro aumenta com o aumento das concentrações de tiosulfato e amônia, atingindo um máximo de  $1,3 \times 10^{-9}$  mol.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> nas condições 0,4M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,7M NH<sub>4</sub>OH e 0,018M CuSO<sub>4</sub>. Segundo Trindade (10), a maior taxa alcançada foi de  $2,11 \times 10^{-9}$  mol.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> quando foram usados 0,4M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,5M NH<sub>4</sub>OH e 0,04M CuSO<sub>4</sub>. Na cianetação convencional, em solução aerada, é obtida uma taxa de dissolução por volta de  $2,8 \times 10^{-9}$  mol.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Ao CETEM, pelo apoio material, e ao PIBIC/CNPq, pelo suporte financeiro.

## BIBLIOGRAFIA

1. ARAÚJO, R.V.V. et al. *Contribuição ao estudo da dissolução de ouro pelo tiosulfato: um estudo com disco rotativo*. São Paulo: ABM, 1994 (Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais - EXPOMET 94).
2. AWADALLA, F.T., RITCEY, G.M. Recovery of gold from thiourea, Thiocyanate or thiosulfate solutions by reduction-precipitation with a stabilized form of sodium borohydride,

- Separation Science and Tecnology*, v.26, pp.1207-1228, 1991.
3. FLEET, D.S. et al. Chemical study of thiosulfate leaching of silver sulphide. *Trans. Instn. Min. Metall. Sect.C: Mineral Process. Extr. Metall.*, v.92, c.216-c223, 1983.
  4. KERLEY, JR.B.J. Recovery of precious metals from difficult ores,.U.S. Pat.4,269,622, 1981.
  5. LANGHANS JR.J.W. et al. Copper-catalyzed thiosulfate leaching of low grade gold ores. *Hydrometallurgy*, v.29, p.191-203, 1992.
  6. LI, J. et al. The ammoniacal thiosulfate system for precious metal recovery. Proceedings of the XIX International Mineral Processing Congress, Precious Metals Processing and Mineral Waste and the Environment, 4. published by SMM, Colorado: SME, 1995, p.37-42.
  7. SPARROW, G.J., WOODCOCK, J.T. Cyanide and other lixiviant leaching systems for gold with some practical applications, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, v.14, pp.193-247, 1995.
  8. TAO, J. et al. A kinetic study of gold leaching with thiosulfate, hydrometallurgy, fundamentals, technology and innovations, In: IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HYDROMETALLURGY, Salt Lake City, Utah: AIME, August 1-5, 1993.
  9. TOZAWA, K. et al. *Dissolution of gold in ammoniacal thiosulfate solution*. The Metallurgical Society of AIME Annual General Meeting, TMS Paper Selection A81-25, Feb.1981.
  10. TRINDADE, R.B.E. Catalysed cyanidation of gold. Tese (doutorado). Imperial College, Royal School of Mines, University of London, Sept.1992.

## PROGRAMA: Minerais Industriais

