

# EXTRAÇÃO DE OURO DE SUCATA ELETRÔNICA POR TIOSSULFATO GERADO BIOLÓGICAMENTE A PARTIR DE ENXOFRE ELEMENTAR

**Ana Luisa A. Marques dos Santos**

Aluna de Graduação da Engenharia Ambiental, 6º período, UFF.  
Período PIBIC/CETEM : Agosto de 2015 a Julho de 2016, [alasantos@cetem.gov.br](mailto:alasantos@cetem.gov.br)

**Luis Gonzaga Santos Sobral**

Engenheiro Químico, PhD.

[lsobral@cetem.gov.br](mailto:lsobral@cetem.gov.br)

**Débora Monteiro de Oliveira**

Bióloga, M.Sc.

[dmonteiro@cetem.gov.br](mailto:dmonteiro@cetem.gov.br)

## Resumo

Nos últimos anos, o uso de tiosulfato tem sido considerado a alternativa mais atraente ao cianeto na lixiviação de ouro, com muitas pesquisas sendo realizadas em todo o mundo. Isto se baseia, principalmente, na sua baixa toxicidade e à sua utilização potencial em minérios com elevados teores de carbono, sujeitos ao efeito "preg-robbing" e que não podem ser facilmente tratados por cianetação convencional. O processo de lixiviação com tiosulfato na extração de ouro e prata vem sendo revisto em termos do mecanismo de lixiviação, da termodinâmica, e da estabilidade do tiosulfato e opções de recuperação de ouro. Esse trabalho tem por objetivo extrair o ouro presente em sucatas eletrônicas pelo tiosulfato gerado biologicamente a partir de enxofre elementar.

**Palavras chave:** Ouro, tiosulfato, processo biológico.

## GOLD EXTRACTION OUT OF ELECTRONIC SCRAPS BY THIOSULPHATE GENERATED BIOLOGICALLY FROM ELEMENTAL SULPHUR

### Abstract

In recent years, thiosulphate has been considered the most attractive alternative to cyanide for leaching gold, with many investigations taking place around the world. This is primarily based on its low toxicity and its potential use on 'preg-robbing' carbonaceous ores that cannot be readily treated by conventional cyanidation. The thiosulphate leaching process for gold and silver extraction has been reviewed in terms of the leaching mechanism, thermodynamics, thiosulphate stability and gold recovery options. This work aims at extracting gold present in electronic scraps by thiosulphate biologically generated out of elemental sulphur.

**Keywords:** Gold, thiosulphate, biological process.

## 1. INTRODUÇÃO

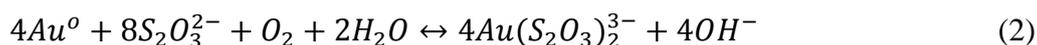
Diversos processos podem ser utilizados na extração de ouro a partir de minérios. No processo mais utilizado industrialmente é realizado o beneficiamento do minério de ouro visando elevar o teor do metal para que, em uma etapa posterior, o concentrado gerado seja submetido ao processo de cianetação. Após essa etapa, processos de recuperação são utilizados na obtenção do ouro metálico com elevada pureza.

Considerando os efeitos danosos ao meio ambiente e os riscos inerentes ao transporte e manuseio de cianeto, diversos estudos vêm sendo realizados visando o desenvolvimento de rotas tecnológicas alternativas à cianetação como, por exemplo, a lixiviação com tiosulfato.

Nos processos biológicos de oxidação de compostos reduzidos de enxofre, o tiosulfato é produzido, como um intermediário de reação. De acordo com Madigan *et. al.*, (2004) ocorre a geração de tiosulfato durante a bio-oxidação do enxofre elementar por bactérias dos gêneros *Thiobacillus* e *Acidithiobacillus*, conforme a Equação 1, a seguir.



Se o ouro estiver presente no sistema, no qual ocorre a reação expressa pela Equação 1, para formar um complexo estável com o tiosulfato, é possível que o tiosulfato possa reagir com o ouro antes de ser oxidado a sulfato fazendo, dessa forma, com que o ouro, em seu estado elementar ( $Au^0$ ), seja solubilizado (HISKEY, 1988). Para que a reação de solubilização do ouro aconteça é necessário, ainda, a presença de oxigênio que é o agente oxidante. O tiosulfato atua como agente complexante da reação para formar um complexo aniônico com íons Au(I), como pode ser observado na Equação 2;



Não foram encontrados estudos de lixiviação de ouro utilizando tiosulfato produzido biologicamente. Contudo, durante a revisão da literatura, foi encontrado um estudo que mostrou que tiosulfato é acumulado, transitoriamente, em culturas de *T. thioparus* cultivados em pH neutro. (van den ENDE & van GEMERDEN, 1993).

## 2. OBJETIVO

Avaliar o processo de lixiviação de ouro contido em sucata eletrônica a partir da utilização de tiosulfato produzido biologicamente.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Sucata Eletrônica

A sucata utilizada foi extraída de placas de circuito impresso. A parte metálica da sucata foi retirada manualmente e posteriormente cominuída em um moinho de anéis para os testes de lixiviação. Também foi feita uma análise do material extraído, através do método de espectrofotometria de emissão ótica com plasma, para a quantificação dos elementos contidos no material.

### 3.2. Micro-organismo, meio de cultura e preparo do inóculo.

Foi utilizada uma linhagem de *Thiobacillus thioparus*, isolada do sedimento de um dos lagos do CETEM. A manutenção do cultivo foi realizada através de propagações mensais em meio S6 [ $Na_2HPO_4$ : 1,2 g.L<sup>-1</sup>;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ : 0,205 g.L<sup>-1</sup>;  $(NH_4)_2SO_4$ : 0,1 g.L<sup>-1</sup>;  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ : 0,04 g.L<sup>-1</sup> e  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ : 0,02 g.L<sup>-1</sup>] (HUTCHINSON, 1965) com

pH 6,6 e autoclavado a 120°C durante 20 minutos. Para o preparo do meio sólido utilizou-se o meio de cultura S6 acrescido de 12 g.L<sup>-1</sup> de agarose.

O inóculo foi preparado em frasco *Erlenmeyer* de 250 mL contendo 100 mL de meio de cultivo S6 e 2% da linhagem isolada. Para evitar a decomposição do tiosulfato, o cultivo foi mantido ao abrigo da luz (envolvido por folha de alumínio). Os frascos foram incubados sob temperatura de 30°C e agitação orbital de 150 rpm.

### 3.3. Experimentos de Lixiviação

Os ensaios de lixiviação foram realizados em 6 frascos *Erlenmeyer* de 500ml, todos com 200ml de meio S0 (Meio de cultivo S6 isento de tiosulfato) e 10 g de sucata finamente cominuída. Foram feitas duas duplicatas adicionando-se 2g de enxofre elementar em cada uma. Uma delas contendo 2,0mL do inóculo de *Thiobacillus Thioparus* e a outra sem inóculo (controle positivo). Na terceira duplicata foi adicionado 40mg de tiosulfato de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O) ao invés do enxofre elementar, sem inocular (controle negativo). O meio de cultivo utilizado foi autoclavado a 120°C durante 20 minutos e o S<sup>0</sup> foi esterilizado por tindalização.

Os frascos foram incubados sob a temperatura de 30°C com agitação orbital de 150rpm e protegidos da luz. Três vezes por semana, era medido o pH e Eh e recolhidas as amostras para análise. O volume retirado da amostra era repostado com o meio S0 e a água evaporada com água destilada. O teste foi conduzido assepticamente e durou aproximadamente um mês. A Tabela 1 mostra a composição dos ensaios de lixiviação nas condições experimentais supramencionadas.

**Tabela 1.** Composição dos ensaios de lixiviação.

	<b>mL S0</b>	<b>g de S<sup>0</sup></b>	<b>g. de sucata</b>	<b>Inóculo</b>
Ensaio 1	200	2,0	10	2,0 mL CETEM-S
Ensaio 2	200	2,0	10	Sem inóculo
Ensaio 3	200	2,0	10	Sem inóculo, 40 mg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O
Ensaio 4	200	2,0	10	2,0 mL CETEM-S
Ensaio 5	200	2,0	10	Sem inóculo
Ensaio 6	200	2,0	10	Sem inóculo, 40 mg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos da Figura 1 mostram que no início do processo de lixiviação o pH da solução se encontra em 6,6, que é o pH do meio S6. No decorrer desse processo ocorre flutuações desse parâmetro devido às reações de geração de tiosulfato e dissolução de ouro, reações 1 e 2, que geram os íons H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup>, respectivamente. Com relação aos valores do potencial redox, ocorre uma elevação de parâmetro nos testes de lixiviação com a adição de tiosulfato, versão química desse processo, e nos de geração biológica *in situ* a partir do enxofre elementar. Essa tendência se deve ao fato que em ambas as

reações, que regem os processos oxidativos, ou seja as oxidações do enxofre elementar e do ouro metálico, geram as espécies iônicas  $S_2O_3^{2-}$  e  $Au(S_2O_3)_2^{3-}$  que são consideradas como contribuindo para a elevação do valor desse potencial, segundo a equação de Nernst.

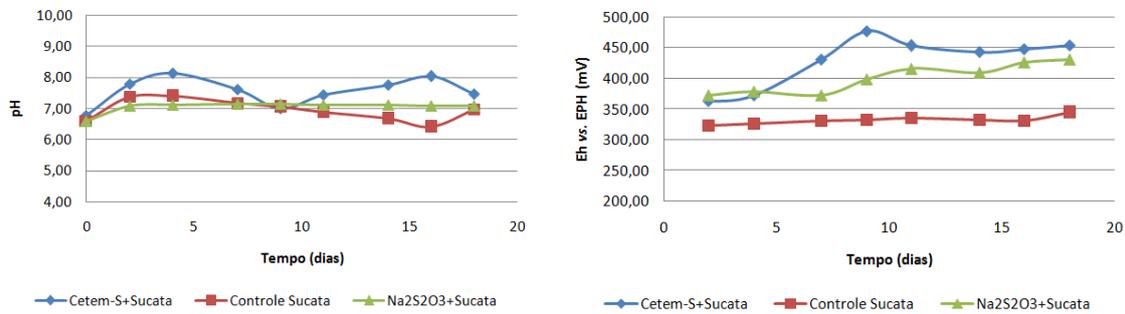


Figura 1. Variação de pH e de potencial redox nos ensaios de lixiviação.

A Figura 2, a seguir, mostra a evolução do processo extrativo do ouro contido na sucata. No início desse processo, a extração do ouro se intensifica, principalmente quando da utilização do tiosulfato no teste puramente químico, ou seja, a pronta disponibilidade de agente lixiviante. Entretanto, no teste com geração *in situ* do tiosulfato o processo extrativo se intensifica com a geração biológica de tiosulfato, que depende da ação dos micro-organismos sobre o enxofre elementar. Como pode ser observado, em ambos os testes, o processo extrativo se desacelera devido a não reposição química de tiosulfato e do enxofre elementar até o dia da retirada da última alíquota das respectivas lixívias, fato que deverá ocorrer com a continuidade desse estudo. Além disso, outros dados que corroboram tais conclusões vêm dos valores das curvas de concentração de sulfato com o tempo de lixiviação que se mostram crescentes devido ao processo continuado de oxidação do tiosulfato.

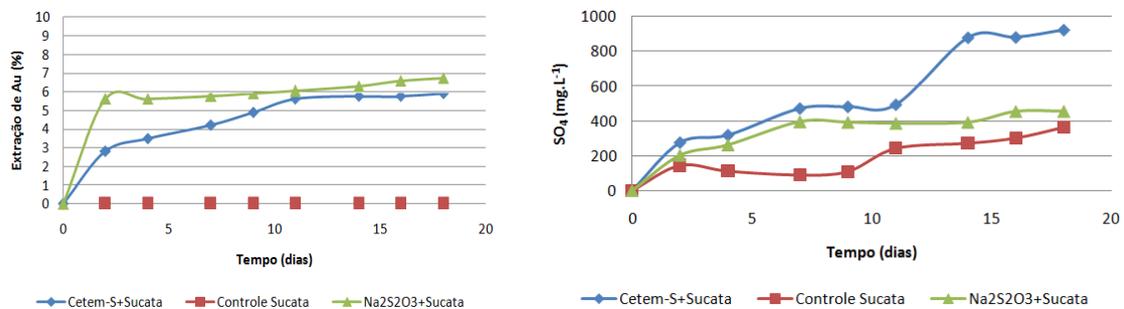


Figura 2. Extração de ouro e variação na concentração de sulfato nos experimentos de lixiviação.

## 5. CONCLUSÕES

Com os dados experimentais disponíveis até o momento, podemos afirmar que:

- ✓ A extração de ouro a partir da sucata eletrônica vem ocorrendo de maneira satisfatória mediada pela geração biológica de íons tiosulfato como consequência da oxidação de enxofre elementar, com formação do respectivo complexo solúvel ( $Au(S_2O_3)_2^{3-}$ ) de onde o ouro é, posteriormente, eletrorrecuperado;
- ✓ Com a otimização das condições de geração de íons tiosulfato, a partir, principalmente, de enxofre elementar, e a manutenção da estabilidade desses íons no processo extrativo, será possível, futuramente, substituir o processo de cianetação, que tantos danos causa

ao meio ambiente, além dos aspectos inerentes à periculosidade do manuseio do cianeto de sódio.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC/CNPq pela bolsa concedida; ao CETEM pela e infraestrutura; aos meus orientadores Luis Sobral e Débora Monteiro pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho e à COAM pela realização das análises químicas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HISKEY, J.B. & ATLURY, V. P. Dissolution chemistry of gold and silver in different lixiviantes, **Min. Proc. & Extr. Met. Review**, 4, 95-134, 1988.

MADIGAN, M., T., MARTINKO, J., M., PARKER, J. **Microbiologia de Brock**, São Paulo: Prentice Hall, 2004.

van den Ende, F.P., van Gernerden, H., Sulfide oxidation under oxygen limitation by a *thiobacillus thioparus* isolated from a marine microbial mat, **FEMS Microb. Ecol.** 13:69-77, 1993.

LI. J. *et al.*, The ammoniacal thiosulfate system for precious metal recovery, XIX International Mineral Processing Congress, v.4, p.37, San Francisco, Oct. (1995).