

BIO-EXTRAÇÃO DE METAIS A PARTIR DE SUCATAS ELETRO-ELETRÔNICAS

Priscila Martins da Rocha

Aluna de Graduação em Química, 8º período, FTESM
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2011 a julho de 2012
priscilarocha15@gmail.com

Fábio Henrique Silva dos Santos

Orientador, Químico, DSc..
fhsantos@cetem.gov.br

Débora Monteiro de Oliveira

Coorientadora, Bióloga, MSc..
dmonteiro@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescente avanço tecnológico, os equipamentos eletrônicos são, frequentemente, substituídos em um período cada vez mais curto de tempo ocasionando o aumento gradativo da geração de sucata eletrônica (SILVA *et al.*, 2007). O número total de elementos químicos encontrados nos resíduos eletrônicos pode alcançar um número significativo de 60 elementos diferentes, com distintas características físico-químicas, variando entre metais de base, metais preciosos, elementos de terras raras e elementos recalcitrantes, a exemplo de cádmio, chumbo, selênio etc. (KOEHN, 2012). Diante desse cenário é imperativo que atividades de pesquisa e desenvolvimento voltadas para a reciclagem desses bens metálicos sejam realizadas. Trata-se de recursos não renováveis que já foram extraídos do meio ambiente, que atualmente encontram-se disponíveis na superfície, na grande maioria dos casos de forma ainda mais concentrada quando comparado ao minério nativo. Finalmente, enfatiza-se que a presença desses elementos nas sucatas eletrônicas se dá em suas formas metálicas inferindo que pouco esforço é necessário para a recuperação desses elementos se compararmos às operações e processos unitários necessários para a extração dos mesmos a partir de recursos minerais. Ao considerar, em última instância, que para cada quilograma de metal reciclado com sucesso evita-se a necessidade de prospectar um quilograma de metal a partir do minério nativo, que, na verdade, significa prospectar dezenas de toneladas desse minério, considerando, nos dias atuais, os baixos teores de metais nas ocorrências minerais. Essa afirmação evidencia que o resíduo eletrônico existente no planeta deve ser considerado como uma mina urbana, a espera de ser processada.

2. OBJETIVO

Estudar a viabilidade da utilização do processo biotecnológico na extração de metais a partir de sucata eletrônica, especificamente, placas de circuito impresso.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Processos de extração de metais a partir de sucata eletrônica

3.1.1. Processo pirometalúrgico

A rota tecnológica comumente utilizada para extração de metais a partir de sucatas eletro-eletrônicas é o pirometalúrgico, a partir do qual se pode produzir metais puros, ligas ou compostos intermediários. Nesse processo, a sucata eletrônica, que contém elevado teor de cobre, é encaminhada para o forno revérbero (*blast furnace*), aonde grande parte das impurezas

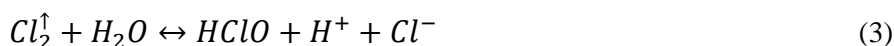
que são voláteis são oxidadas. Em seguida, é gerado um *bullion* de cobre, que contém quase todos os metais preciosos. Este *bullion* de cobre é encaminhado para um processo de eletrorrefino aonde é produzido o cobre eletrolítico e a lama anódica, que é tratada, posteriormente, para extração dos metais preciosos contidos.

3.1.2. Processo químico oxidativo

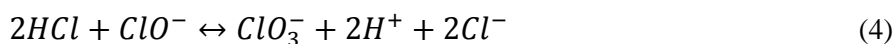
Nesse processo a sucata eletrônica, devidamente fragmentada, é suspensa, mecanicamente, em solução de ácido clorídrico, em concentração otimizada, com adição quer de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) quer de hipoclorito de sódio (NaClO), quando ocorre a geração, no seio da solução, de cloro gasoso (Cl₂), como mostra as Equações 1 e 2, a seguir:



A reação do cloro gasoso com o meio aquoso ácido gera ácido hipocloroso no seio da solução como mostra a Equação (3).



Com a continuidade do processo químico oxidativo ocorre uma reação de dismutação entre íons hipoclorito (ClO⁻) com formação de íons clorato (ClO₃⁻), como mostrado na reação 4, aumentando o poder oxidativo do meio reacional acarretando a dissolução mais intensa dos metais de base e, ainda, dos metais preciosos contidos (Au, Ag, Pt e Pd).



3.1.3. Processo eletrolítico

Na eletrolixiviação de sucata eletrônica, o material a ser tratado é suspenso, mecanicamente, em solução de cloreto de sódio, e os metais disponibilizados em solução são, posteriormente, eletrorrecuperados e o depósito catódico é, em seguida, eletrorrefinado, em outro sistema eletrolítico, onde se produz o cobre eletrolítico (999,9/1000) e uma lama anódica, resultado da dissolução anódica do cobre impuro, que contém, em sua maioria, os metais preciosos (Au, Ag, Pd e Pt). O que caracteriza este processo é a geração de agentes oxidantes fortes no sistema reacional, através da oxidação eletrolítica os íons cloretos *in situ* na solução.

3.1.3. Processo Biotecnológico

Esse processo é uma alternativa promissora, pois não requer elevado consumo energético e possui baixo custo de implementação e de operação, pois os micro-organismos são os responsáveis pela geração de agente oxidante no sistema reacional (Fe³⁺) a partir da oxidação de Fe²⁺ que pode ser adicionado no sistema tanto na forma solúvel (FeSO₄.7H₂O) ou insolúvel (FeS₂).

Brandl *et al.* (2001), Choi *et al.* (2004), Ilyas *et al.* (2007), Wang *et al.* (2009) e Yang *et al.* (2009) demonstraram, em estudos nos quais foram empregados micro-organismos acidófilos mesofílicos e termofílicos, que metais podem ser recuperados de placas de circuitos impressos através da lixiviação microbiana. O mecanismo de dissolução dos metais a contidos em sucata eletrônica é muito semelhante ao mecanismo de dissolução de sulfetos minerais, a exemplo da oxidação do cobre (Equação 5) na qual o Fe³⁺ produzido biologicamente oxida o cobre metálico a Cu²⁺. O papel do micro-organismo, nesse caso, é re-oxidar o Fe²⁺ produzido a Fe³⁺ estabelecendo, dessa forma, um ciclo de reação.



Os micro-organismos capazes de promover a oxidação de Fe^{2+} são acidófilos, quimiotróficos (obtem energia a partir da oxidação de compostos inorgânicos), autotróficos (executam a biossíntese de todos os constituintes celulares utilizando o dióxido de carbono (CO_2) como única fonte de carbono) e são classificados de acordo com a temperatura em que se desenvolvem, distinguindo-se em: mesófilos (até $\sim 40^\circ C$), termófilos moderados ($\sim 40 - \sim 55^\circ C$) e termófilos extremos ($\sim 55 - \sim 80^\circ C$) (SHIPPERS, 2007).

3. METODOLOGIA

Como etapa inicial de processamento, dois tipos de procedimentos laboratoriais estão sendo praticados, um deles trata da fragmentação da amostra da sucata eletrônica a ser submetida ao processo bio-extrativo, que consiste na utilização de um moinho facas, para a devida compartimentação grosseira desse material seguida de moagem, em moinho de anéis para que se obtenha uma amostra finamente dividida, que será utilizada no processo biológico. Uma amostra representativa da sucata em estudo foi digerida em água régia e a lixívia resultante submetida à análise dos constituintes metálicos por espectrometria de absorção atômica. Esse procedimento experimental teve por objetivo caracterizar a amostra de sucata em termos de teores dos metais majoritários componentes dessa amostra. O outro procedimento experimental em andamento consiste na adaptação de um consórcio constituído pelos micro-organismos termófilos moderados *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Acidithiobacillus caldus* e *Acidimicrobium ferrooxidans* ao substrato em estudo (sucata eletrônica). Essa adaptação, que se encontra em andamento no laboratório de bioidrometalurgia do CETEM, está sendo realizada através de sub-culturas sucessivas, onde, a cada nova propagação, aumenta-se a concentração de sólidos no cultivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise da amostra de sucata eletrônica, os teores dos metais componentes podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Teor dos metais majoritários presentes na amostra de sucata eletrônica em estudo.

Elemento	Teor (%)	Desvio Padrão
Ag	0,070	0,015
Au	0,090	0,015
Al	3,623	0,061
Cd	0,014	0,001
Cu	35,667	5,508
Fe	7,217	0,546
Ni	3,440	0,720
Pb	7,053	0,162
Sn	13,000	0,000

Como pode ser observado, o cobre é o elemento majoritário na amostra em estudo, seguido de ferro, níquel chumbo e estanho, sendo esses dois últimos provenientes de liga fusível utilizada na confecção dos circuitos eletrônicos.

Pretende-se com a continuidade do estudo utilizar os micro-organismos, em processo de adaptação, em testes sistemáticos de bio-extração que ocorrerão, inicialmente, em frascos agitados e, posteriormente, em sistema estático em escala expandida.

5. CONCLUSÕES

Estima-se com a continuidade desse estudo a geração biológica de espécies oxidantes no sistema reacional (Fe^{3+}), a partir da oxidação dos íons Fe^{2+} adicionado, inicialmente, à esse sistema que se encarregará de oxidar os valores metálicos contidos na sucata, a exceção dos metais preciosos que permanecem no resíduo desse processo e que serão extraídos, posteriormente, por cianetação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a prática da biolixiviação dos valores metálicos existentes nas sucatas eletrônicas é necessário realizar um desmanche mecânico dessas sucatas visando, não somente a liberação dos metais para a digestão eficaz dos mesmos como também a produção de partículas metálicas de tamanho reduzido visando aumentar a área superficial específica (m^{-1}) para que haja uma aceleração do processo bio-oxidativo. Entretanto, esse desmanche mecânico, como um todo, requer um gasto energético considerável, fato que impacta nos custos de processamento da sucata. No entanto, mais recentemente, a fragmentação eletro-dinâmica se encarrega de fragmentar a sucata eletrônica através de um pulso de voltagem, da ordem de 100 kV, por alguns segundos, separando os valores metálicos de outros materiais em considerando as distintas constantes dielétricas.

7. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela disponibilidade da infraestrutura laboratorial, à COAM pela realização das análises químicas, aos amigos do laboratório de biohidrometalurgia (CPMA/CETEM), ao Carlos Eduardo, Débora Monteiro e Luis Sobral pelo apoio e incentivo durante a iniciação à pesquisa científica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SCHIPPERS, A. Microorganisms involved in bioleaching and nucleic acid-based molecular methods for their identification and quantification. Em: DONATI, E. R.; SAND, W. **Microbial processing of metal sulfides**. La Plata: Springer, Cap. 1, p. 3-33, 2007;

SELMA KOEHN, Urban Mining: Recycling as a Key to Ensure Raw Material Supply, **Business Journal of the German Chamber of Commerce in China**, 2012;

SILVA, B. D.; MARTINS, D. L.; OLIVEIRA, F. C. Resíduos eletrônicos no Brasil. Santo André, 2007. Revisão em Abril de 2008 – Felipe Fonseca. Disponível em: <<http://www.lixoeletronico.org/>> Acesso em: 14/05/2012.