

# Análise da influência da proporção HCl:HNO<sub>3</sub>, da temperatura e do volume de ácidos na lixiviação de Cu e Pb presentes em placas de circuito impresso

Soares, A.C. ; Rosetti, M.V.M.<sup>1\*</sup>; Osório, V.M. ; Andrade, F.P.

1 Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil.

2 Departamento de Química e Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil.

3 Curso de Farmácia, Universidade Federal de São João del-Rei, Divinópolis, MG, Brasil.

\* e-mail: alexandre.csoares@hotmail.com

---

## Resumo

Com o rápido desenvolvimento da tecnologia, os aparelhos eletroeletrônicos têm sido constantemente substituídos, reduzindo sua vida útil e tornando-os obsoletos. O descarte desses aparelhos pode ser um problema, considerando que em sua composição existem diversos compostos tóxicos. Os metais presentes nestes equipamentos podem ser reciclados e recuperados, minimizando assim, o problema com descarte em aterros, e possibilitando a preservação dos recursos naturais frente a contaminação de espécies metálicas. Diante disso, nesse trabalho foram estudadas variáveis significativas para a determinação de cobre e chumbo presentes em placas de circuito impresso, presentes, principalmente, em microcomputadores. Com o objetivo de obter as melhores condições de trabalho, foi realizado um planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com ponto central, para avaliação das seguintes variáveis: concentração de HCl e HNO<sub>3</sub> (1:3) para lixiviação dos metais em solução, temperatura de extração dos metais e volume de ácido. De acordo com o planejamento fatorial realizado, foi possível observar que as variáveis estudadas foram significativas no processo de lixiviação dos metais.

## Abstract

With the rapid development of technology, electronic appliances are replaced constantly reducing its life and making them obsolete. The disposal of these devices can be a problem, considering that in its composition there are toxic compounds. The metals present in these devices can be recycled and recovered reducing the problem with disposal in landfills and preserve natural resources, often contaminated by heavy metals. In this work significant variables for the analysis of metals in printed circuit boards were used the motherboard type, which is one of the internal circuit board mainly present in microcomputers. copper and lead: the following metals were analyzed. The variables studied were: concentration of HCl and HNO<sub>3</sub> (1: 3) to leaching of metals in solution, metals extraction temperature and volume of acid. The variables studied were all significant in the process of metal leaching.

Keywords (Palavras chaves): placas de circuito impresso, cobre e chumbo, planejamento fatorial.

## 1. Introdução

O grande crescimento na fabricação e consumo de equipamentos eletroeletrônicos, bem como a diminuição da vida útil dos equipamentos (obsolescência programada) tem levado a um aumento na produção de lixo eletrônico [1].

Atualmente, o setor industrial que mais cresce no mundo é o de eletrônica, cujo lixo já chega a 40 milhões de toneladas por ano, com previsões de alcançar a 50 milhões de toneladas nos próximos anos [2]. Na América latina, o Brasil foi o país que mais gerou lixo eletrônico, produzindo cerca de 1,4 milhões de toneladas, o equivalente a 3,5% da produção mundial [3,4].

Alguns estudos têm demonstrado que o lixo eletroeletrônico cresce três a cinco vezes mais rápido que o lixo urbano [5]. O lixo eletrônico é composto de resíduo de equipamentos eletroeletrônicos, podendo ser qualquer componente. Equipamentos eletrônicos como computadores, televisores, aparelhos de DVD, celulares, calculadoras, além das peças de reposição desses, são descartados por deixarem de funcionar ou por se tornarem obsoletos devido ao inerente avanço tecnológico [6,7].

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) são grandes poluidores do meio ambiente por possuírem diversas substâncias e elementos químicos extremamente nocivos à saúde como o cobre, chumbo, cádmio, mercúrio entre outros [8].

Os equipamentos eletrônicos são normalmente compostos por uma carcaça metálica ou plástica, cabos elétricos e placas de circuito impresso. Muitos desses materiais têm elevado valor agregado, sendo que a maioria destes se encontra nas placas de circuito impresso (PCI), que possuem uma composição

extremamente heterogênea, com a presença de metais preciosos, como ouro e prata [9].

Alguns estudos [10] revelam que o teor de alguns metais nas PCI's é muito maior que o teor dos mesmos encontrados nos minérios. Antigamente as minas de cobre economicamente interessantes para exploração tinha cerca de 4% desse metal e, atualmente, tem somente 1%. Isto é, a cada tonelada de minério, há somente 10 kg de cobre. Já nas PCI's, a concentração de metais pode chegar a 30% em massa.

Os processos para reciclagem de uma PCI podem ser mecânicos (cominuição, classificação e separação), químicos (pirometalurgia, hidrometalurgia, eletrometalurgia e biometalurgia) ou térmicos [11]. De acordo com Petter e colaboradores [12], a digestão das PCI's com água-régia ( $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ ) apresentou resultados satisfatórios para Au, Cu, Sn e Ni.

As técnicas espectrométricas comumente empregadas na determinação destes e outros metais são: Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (F AAS), Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GF AAS), Espectrometria de Emissão óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) e Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS). Apesar das técnicas de emissão (ICP-OES e ICP-MS) serem multi-elementares, elas possuem um elevado custo de aquisição e manutenção. Já o GF AAS e a F AAS apresentam menor custo. O desenvolvimento de métodos para a determinação de diferentes metais em placas PCI's tipo *motherboard*, empregando F AAS, tem se apresentado bastante relevante.

Com o objetivo de obter as melhores condições de lixiviação das espécies metálicas presentes nas PCI's, bem como avaliar as possíveis

interações entre as variáveis, foi utilizado nesse trabalho planejamento fatorial.

## 2. Metodologia

### 2.1. Preparo e moagem das placas

Foram selecionadas 8 placas obsoletas de PCI's do tipo Motherboard marca (Asus A7A133). As placas passaram por um processo de limpeza com pano pouco úmido e os dissipadores de calor foram retirados. Em seguida, estas placas foram fragmentadas em partes menores que 2 cm e levadas para um moinho de faca, modelo SL32, Solab, a fim de obter partículas menores de 1 mm. O processo de moagem das placas fragmentadas foi realizado no Departamento de Engenharia Química da Unifei – Itajubá/MG.

### 2.2. Planejamento fatorial para estudo da lixiviação dos metais

Para obter as melhores condições de lixiviação dos metais foi realizado um planejamento fatorial  $2^3$ , com ponto central, onde foi estudado as seguintes variáveis: concentração de ácido PA (+) e PA/4 (-), temperatura 80 °C (+) e 40 °C (-) e volume adicionado de ácidos (1:3) para a extração dos metais 40 mL (+) e 20 mL (-). Os símbolos (-) e (+) significam os níveis mínimo e máximo, respectivamente, avaliados para cada variável. O ponto central foi analisado em triplicata com os seguintes valores das variáveis: Concentração do ácido (PA/2); Temperatura: 60 °C; Volume de ácidos (água régia): 30 mL.

Esses experimentos foram conduzidos em um sistema de refluxo, empregando 2,0 g de amostra moída, deixada por 01 (uma) hora em contato com o meio reacional para cada condição de extração do planejamento fatorial, sob agitação magnética a 200 rpm.

Após a extração, a solução foi diluída 2500 vezes (0,1 de solução para 250 mL) e levada para

análise por Absorção Atômica com Chama, no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Produção Vegetal da UFES/Alegre.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Planejamento fatorial para estudo da lixiviação dos metais

A Tabela 1 mostra os dados da matriz do planejamento fatorial  $2^3$  com ponto central, com o objetivo de obter as melhores condições de lixiviação, frente às variáveis concentração, temperatura de extração e volume de ácido. As análises foram realizadas com triplicata do ponto central

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial  $2^3$  com ponto central.

Ensaio	Variáveis			Respostas	
	Conc. Ácida.	Temperatura de extração (°C)	Volume de Ácidos (1:3) (mL)	Concentração de Cu (ng mL <sup>-1</sup> )	Concentração de Pb (ng mL <sup>-1</sup> )
1	(-) PA/4	(-) 40	(-) 20	12,30	0,284,4
2	(+) PA	(-) 40	(-) 20	18,19	1,146,4
3	(-) PA/4	(+) 80	(-) 20	14,48	0
4	(+) PA	(+) 80	(-) 20	11,37	0
5	(-) PA/4	(-) 40	(+) 40	4,63	0
6	(+) PA	(-) 40	(+) 40	12,22	0,396,4
7	(-) PA/4	(+) 80	(+) 40	7,90	0
8	(+) PA	(+) 80	(+) 40	8,01	0
PC1	(0) PA/2	(0) 60	(0) 30	11,32	0,313,4
PC2	(0) PA/2	(0) 60	(0) 30	11,93	0,194
PC3	(0) PA/2	(0) 60	(0) 30	11,06	0,279,2

Pode-se observar na Tabela 1 que os teores de Cu<sup>2+</sup> variaram de 4,63 a 18,19 ng mL<sup>-1</sup>, o que corresponde uma quantidade de 46,3 a 181,9 ng de cobre para cada grama de PCI submetido à lixiviação. Já os teores de Pb<sup>2+</sup> variaram de 0,19 a 1,15 ng mL<sup>-1</sup>, o que corresponde uma quantidade de 1,9 a 11,5 ng de chumbo para cada grama de PCI submetido à lixiviação.

O gráfico de Pareto foi construído para verificar quais das variáveis avaliadas foram significativas na lixiviação de Cu<sup>2+</sup> (Figura 1) e Pb<sup>2+</sup> (Figura 2), bem como a interação entre as mesmas, considerando um nível de confiança de 95%.

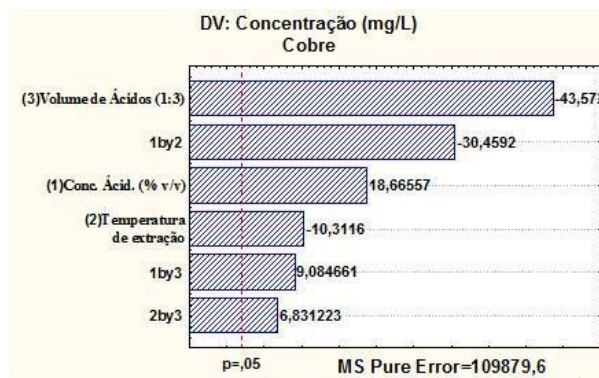


Figura 1: Gráfico de Pareto obtido a partir do planejamento fatorial  $2^3$  com ponto central, para otimização das variáveis (1) concentração de ácido, (2) temperatura de extração e (3) volume de ácido para lixiviação do cobre em placas de circuito impresso.

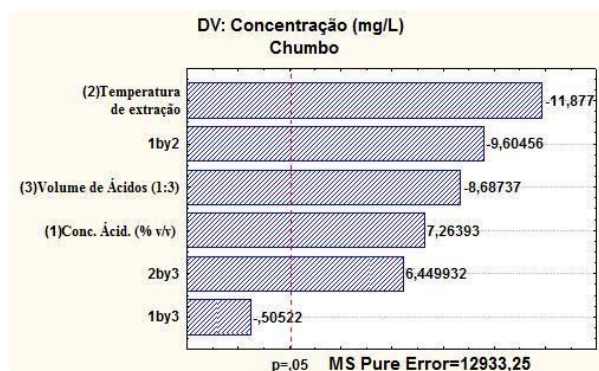


Figura 2: Gráfico de Pareto obtido a partir do planejamento fatorial  $2^3$  com ponto central, para otimização das variáveis (1) concentração de ácido, (2) temperatura de extração, (3) volume de ácido para lixiviação do chumbo em placas de circuito impresso.

Analisando as variáveis independentes para a otimização da lixiviação das espécies metálicas, observa-se que todas as variáveis: temperatura de extração (2), Concentração de ácidos (1) e volume de ácidos (3) foram significativas, ultrapassando a linha de 95% de confiança. Neste estudo para os dois metais analisados, a temperatura de extração (2) e o volume de ácidos (3) tem resposta mais significativas para menor valor, ou seja, temperatura de 40 °C e volume dos ácidos de 20 mL. A concentração do ácido para os dois experimentos foi significativo para valores mais altos, concentração PA.

No estudo das interações de duas variáveis para a lixiviação do cobre, a interação entre a concentração dos ácidos e a temperatura de extração (1 by 2) foi significativa ao nível mais baixo, indicando que se deve trabalhar em faixas mais próximas dos menores valores escolhidos no planejamento. O contrário ocorreu com as interações: temperatura de

extração e volume dos ácidos (2 by 3) e concentração dos ácidos com volume de ácidos (1 by 3). Estas interações apresentaram significância para níveis mais altos. Assim, as melhores condições são obtidas próxima dos valores mais altos avaliados no planejamento. Esta condição é extração a 80 °C, empregando 40 mL de mistura ácida PA. Essa condição foi aplicada também para o chumbo.

Não foram encontrados na literatura, trabalhos que utilizam a ferramenta do planejamento fatorial para o estudo das variáveis significativas no processo de lixiviação de metais em placas de circuito impresso. No trabalho de Petter, foi estudado diferentes lixivantes alternativos para extração de metais em placas de circuito impresso de celular, variando a temperatura de extração de 60 e 80 °C e o tempo de extração de 1 e 2 h. O autor concluiu que os valores das temperaturas foram muito próximos indicando que não haver a necessidade de maiores gastos de energia para a lixiviação dos elementos além disso não foi detectada uma grande variação nos resultados variando o tempo de ensaio de 1 hora e 2 horas.

#### 4. Conclusões:

Com o planejamento fatorial  $2^3$  com ponto central foi possível analisar as variáveis significativas de lixiviação dos metais nas placas de circuito impresso. Todas as variáveis estudadas foram significativas ao nível de 95% de confiança. A melhor condição estudada para a lixiviação dos metais foi: temperatura de extração a 80 °C, empregando 40 mL de mistura ácida PA. Este estudo poderá ser realizado para outros metais presentes em placas de circuito impresso.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a UFES pelo apoio financeiro.

#### 6. Referências

- [1] Serpe. A.; Artizzu, F.; Mercuri, M. L.; Pilia, L.; Deplano, P.; *Coord. Chem. Rev.* 2008, 252, 1200.
- [2] ONUBR – Nações Unidas o Brasil. Disponível em:

<https://nacoesunidas.org/onu-preve-que-mundo-tera-50-milhoes-de-toneladas-de-lixo-eletronico-em-2017/>  
(acesso 01/05/2016)

[3] Tele Síntese – portal de telecomunicações.  
Disponível em: <http://www.telesintese.com.br/brasil-e-o-maior-gerador-de-lixo-eletronico-da-america-latina/>  
(acesso 01/05/2016)

[4] Portal Globo. Disponível em:  
<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2015/12/brasil-produz-36-do-lixo-eletronico-da-americalatina-mostra-estudo.html> (acesso 01/05/16)

[5] Viktor, M.; *Revista Galileu*, n. 218, julho 2009, seção ambiente.

[6] Widmer, R., Krapf, H. O. e Kthetriwal. D. S., Schnellmann, M.; Boni, H. Global perspective on ewaste. *Environmental Impact assessment review*. v. 25, p. 436-458, 2005.

[7] Li, J., Shrivastava, P., Zong, G. e Zhang, H. C.. Printed circuit board recycling: a state of the art survey.

*IEEE Transaction on electronics packaging manufacturing*. v. 27, n. 1, p. 33-42, 2004.

[8] Mattos, 2008, “Os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente”. Rio de Janeiro, RJ. pp. 5-7.

[9] Veit, H. M., Pereira, C. D. e Bernardes, A. M. Using mechanical processing in recycling a printed wiring boards. *JOM*. v. 54, n. 6, p. 45-47. 2002.

[10] Kozłowski, J., Mazurek, T. e Czyzyk, H.. The recovering metals and alloys from the electronic scrap. *Metall*. v. 54, n. 11, p. 645-649, 2000.

[11] Gerbase, A. E.; Oliveira, C. R.; *Quim. Nova* 2012, 35, 1486.

[12] Petter, P. M. H., Bbrito, D. O., Veit, H. M., Bernardes, A. M., “Estudo de lixivantes alternativos para a extração de metais de Placas de Circuito Impresso”. VIII Simpósio Internacional da Qualidade Ambiental, ID 461; 1-10.