



## X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

*“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”*

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Universidade Severino Sombra  
Vassouras – RJ – Brasil

### ESTUDO DA RECUPERAÇÃO DE COBRE DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DE CELULARES

**MAZIERO<sup>1</sup>, E.V.; CALGARO<sup>2</sup>, C.O.; BERTUOL<sup>3</sup>, D.A.**

<sup>1</sup>Aluna do DEQ/UFSM    <sup>2</sup>Mestranda do DEQ/UFSM    <sup>3</sup>Professor da DEQ/UFSM  
Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Maria  
Endereço – UFSM, Avenida Roraima, 1000, Santa Maria, CEP. 97105900, RS  
email: dbertuol@gmail.com

**RESUMO** - Com o desenvolvimento tecnológico há uma crescente renovação e atualização de produtos eletrônicos, dentre eles os diversos modelos de celulares, o que vem a gerar um grande descarte dos mesmos quando estes ficam ultrapassados, a reciclagem desses materiais é uma alternativa de extrema importância neste âmbito, pois possibilita que estes retornem como matéria prima. Nos testes realizados foram utilizadas placas de circuito impresso de celulares obsoletos, estas foram cominuidas em moinho de martelos. Fez-se a análise granulométrica da amostra cominuida, pelos resultados obtidos optou-se por separar a amostra somente em duas granulometrias diferentes. Após, realizou-se o quarteamento das amostras cominuidas e a separação de frações de 5 gramas, em média, para os ensaios de lixiviação. Estes foram realizados utilizando água régia (3 HCl : 1 HNO<sub>3</sub>) e, em um outro ensaio, foi utilizado ácido sulfúrico com adição de peróxido de hidrogênio (10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como uma alternativa de menor custo e impacto ambiental. As amostras lixiviadas foram analisadas em espectrofotômetro de absorção atômica para se determinar as concentrações dos metais existentes, em principal, o cobre. Os resultados das análises da lixiviação foram satisfatórios confirmando seu alto potencial de extração dos metais.

**Palavras chave:** metais, lixiviação, eletrônico.

### INTRODUÇÃO

Atualmente há uma crescente popularização dos telefones celulares, juntamente com o desenvolvimento tecnológica, propicia a geração de uma grande quantidade de sucata e equipamentos obsoletos que são descartados todos os anos, causando prejuízos econômicos e poluição ambiental <sup>[1]</sup>. A presença de metais preciosos ou de metais com alto valor econômico, tal como cobre,

prata e ouro, entre outros, faz com que as placas de circuito impresso (PCI), componente que representa boa parcela do telefone celular, sejam uma matéria-prima interessante para a reciclagem <sup>[2]</sup>.

Segundo a Agência de proteção ambiental dos EUA (EPA) existem sete grandes benefícios, tais como a poupança de energia e redução de contaminações quando sucatas de ferro e aço são usadas em vez de materiais virgens. O uso de materiais

reciclados em lugar de materiais virgens tem como resultado significativa economia de energia [3]. O meio mais tradicional para a recuperação de metais preciosos a partir de sucatas eletrônicas ainda é pelo processo de pirometalurgia. No entanto, a implementação de processos pirometalúrgicos requer grandes investimentos, principalmente devido ao cuidado ambiental, o que significa que nos últimos anos, as atenções se voltaram para outros tipos de processos, como o processamento mecânico e hidrometalúrgico [4,5]. Processos como a cominuição, classificação e separação, são incluídos no processamento mecânico [8]. O tamanho da partícula, a forma e o grau de libertação tem um papel crucial nos processos mecânicos de reciclagem [3]. Estudos afirmam que para as partículas menores do que 2 mm, é possível obter um grau de quase completa libertação [3,6].

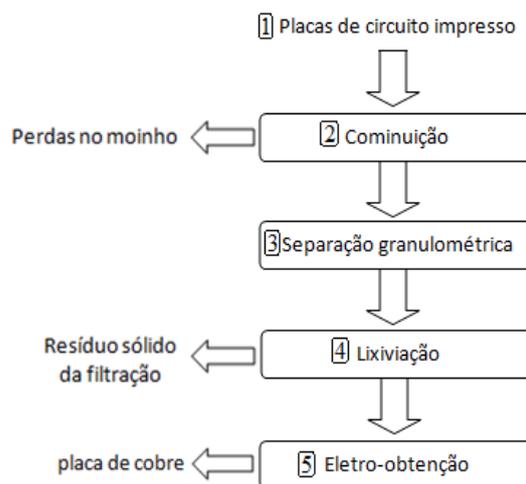
No entanto, estudos específicos com placas de circuito impresso de telefones celulares são muito raros, daí a necessidade de investigar as características e possibilidades de reciclagem deste tipo de resíduos. Em um projeto de uma usina de reciclagem em escala industrial vai ser fundamental conhecer os tipos de resíduos de placas de circuito impresso, e que podem ou não podem ser misturados de modo a aumentar a eficiência do processamento, especialmente relacionado com recuperação de metais nobres e metais com alto valor de mercado [1]. Os dados encontrados na literatura não são específicos sobre o percentual de cobre nas placas de circuitos impressos de celulares. Alguns autores e organizações citam porcentagens de cobre entre 10% e 15% do peso total do aparelho celular, o que significa uma porcentagem entre 25% e 45% em massa da placa de circuito impresso [4,7].

## OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo avaliar os processos mecânico e hidrometalúrgico, demonstrando a eficiência e facilidade desse tipo de processo na recuperação dos metais valiosos presentes nas placas de circuito impresso de celulares, principalmente o cobre.

## METODOLOGIA

O processo foi realizado como mostra a Figura 1, inicialmente foram adquiridas placas de circuito impressos de celulares obsoletos, pesou-se 1240 g destas placas (amostra bem heterogênea), estas foram cominuidas em moinho de martelos, utilizando primeiro uma malha de 15 mm e após uma malha de 5 mm. Foi realizada a análise granulométrica da amostra. A amostra obtida na cominuição foi quarteada e separada em duas frações, uma das frações foi separada por peneiramento nas granulometrias maior que 1 mm e menor que 1 mm, a outra fração (não peneirada) representa a mistura das duas granulometrias. Para os ensaios de lixiviação foram quarteadas varias amostras dos três diferentes tipos de granulometria (maior que 1 mm, menor que 1 mm e mistura) com massa em torno de 5g.



**Figura 1 – Fluxograma do processo.**

Foram realizadas lixiviações usando água régia e outros ensaios de lixiviação usando ácido sulfúrico com adição de peróxido de hidrogênio. As amostras para lixiviação usando água régia foram introduzidas em um sistema com refluxo constituído por balão de três bocas, um condensador acoplado e termômetro para controle da temperatura, o meio de lixiviação foi mantido sob agitação e a temperatura média de 60 °C durante 2 horas. A água régia é preparada misturando-se ácido clorídrico e ácido nítrico na proporção de 3HCl : 1HNO<sub>3</sub> e foi definida a proporção de 1sólido : 50líquido, ou seja, como foram utilizados em torno de 5g de amostra utilizou-se em torno de 250 mL de solução de água régia para cada amostra.

Os ensaios de lixiviação utilizando ácido sulfúrico com peróxido de hidrogênio  $H_2SO_4$  (2,7 M) +  $H_2O_2$  (35 %) foram feitos em béqueres sob agitação usando controle automático de temperatura, as condições usadas estão apresentadas na tabela 1. As lixiviações foram realizadas em duplicata, as amostras lixiviadas foram diluídas nas proporções necessárias para serem analisadas em um espectrofotômetro de absorção atômica a fim de se determinar a concentração de cobre nelas existente. Posteriormente, será realizada a eletro-obtenção do cobre.

**Tabela 1 – Condições usadas.**

Amostra	Volume de $H_2O_2$	Tempo	Temperatura	Sólido: Líquido*
A	5 mL	3 h	Ambiente (27 °C)	1:10
B	5 mL	3 h	90 °C	1:10
C	9 mL	3 h	90 °C	1:10
D	10 mL	3 h	90 °C	1:20
E	17 mL	3 h	90 °C	1:20
F	22 mL	3 h	90 °C	1:20
G	33 mL	3 h	90 °C	1:20
H	33 mL	5 h	90 °C	1:20

\* Proporção de sólido para o volume de  $H_2SO_4$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha de se realizar a cominuição em moinho de martelos foi devido ao tamanho e composição da amostra, a qual apresenta certa dureza em vista dos materiais que a compõe. Foram usadas duas malhas diferentes no processo de moagem, primeiramente a de 15 mm e após a de 5 mm, pois esta configuração apresentou menores perdas e mais facilidade para se obter o tamanho de partículas desejado. Quanto a porcentagem de perda de massa, esta foi de aproximadamente 5%, o que é viável em um processo industrial que usaria bateladas. Optou-se por separar a amostra em frações com granulometria maior que 1 mm e menor que 1 mm, pois pela literatura o tamanho das partículas influencia na eficiência do processo, também foi

observado na análise granulométrica realizada que a amostra de PCIs cominuídas é bem heterogênea, ou seja, não se concentra em nenhum tamanho específico.

A fim de se obter as porcentagens aproximadamente exatas de cobre existentes nas PCIs, fez-se uso da lixiviação com água régia, pois esta tem alto desempenho na extração de metais, as condições usadas foram assim determinadas por serem citadas como condições ótimas para o processo<sup>[1]</sup>. A partir dos resultados das análises no espectrofotômetro de absorção atômica foram calculados os valores da tabela 2. Como fica claro pelos valores obtidos, as porcentagens mássicas de cobre obtidas nas análises dos lixiviados de água régia estão de acordo com os resultados citados pela literatura, o que demonstra a alta eficiência da água régia em relação à porcentagem de extração metálica.

Os valores obtidos e calculados a partir dos resultados das análises no espectrofotômetro de absorção atômica para os ensaios de lixiviação com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio estão apresentados na tabela 3. As amostras usadas nesses ensaios são todas com diâmetro de partícula maior que 1 mm, devido a estas terem as maiores porcentagens de cobre conforme as análises com água régia. Observa-se que os valores obtidos não foram tão satisfatórios quanto os conseguidos com a água régia, e que os melhores resultados correspondem as amostras G e H e as suas respectivas condições de lixiviação.

**Tabela 2 – Resultados das análises.**

Amostra	Diâmetro das partículas	Massa de cobre por kg de PCI	Porcentagem mássica de cobre nas amostras
1	d < 1mm	361g/kg	36,1 %
2		366g/kg	36,6 %
3	d > 1mm	446g/kg	44,6 %
4		404g/kg	40,4 %
5	Mistura das partículas	348g/kg	34,8 %
6		342g/kg	34,2 %
Média		377,8g/kg	37,78 %

**Tabela 3 – Resultados das análises.**

Amostra	Massa de cobre por kg de PCI	Porcentagem mássica de cobre nas amostras
A	28,9 g/kg	2,89%
B	38,2 g/kg	3,82%
C	26,9 g/kg	2,69%
D	41,8 g/kg	4,18%
E	80,1 g/kg	8,01%
F	66,5 g/kg	6,65%
G	119,6 g/kg	11,96%
H	217,2 g/kg	21,72 %

### CONCLUSÃO

O uso de processamento mecânico é uma etapa importante no processo e o moinho utilizado no estudo apresentou bom desempenho. A etapa de lixiviação teve alta porcentagem de extração do metal desejado, obtendo-se porcentagens de recuperação do cobre bem expressivas. Logo, conclui-se que o processo proposto atingiu os objetivos esperados gerando bons resultados que permitem comprovar a viabilidade das técnicas usadas e a eficiência das mesmas no âmbito da recuperação do cobre que assim pode retornar como matéria prima industrial.

### REFERÊNCIAS

- [1]A. C. KASPER, G. B. T. BERSELLI, B. D. FREITAS, J. A. S. TENÓRIO, A. M. BERNARDES, H. M. VEIT. Printed wiring boards for mobile phones: Characterization and recycling of copper. *Waste Management*, 31(2011) 2536–2545.
- [2]PETRANIKOVA, M., ORAC, C., MISKUFOVA, A., HAVLIK, T. (2009).Hydrometallurgical treatment of printed wiring boards from used computers after pyrolytic treatment. In: *European Metallurgical Conference*. Innsbruck, Austria. July.

- [3]J. CUI, E. FORSSBERG, Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review, *J. Hazard. Mater.* 99 (3) (2003) 243–263.
- [4]CUI, J., ZHANG, L., 2008. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal of Hazardous Materials* 158, 228–256.
- [5]HUANG, K., GUO, J., XU, Z., 2009. Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China. *Journal of Hazardous Materials* 164, 399–408.
- [6]ZHANG, S., FORSSBERG, E., 1997. Mechanical separation - oriented characterization of electronic scrap. *Resources, Conservation and Recycling* 21, 247–269.
- [7]EPA (United States Environmental Protection Agency), (2004). The life cycle of a mobile phone, *Solid waste and emergency response*.
- [8]HAYES P.C., (1993). *Process Principles in Minerals and Materials Production*. Hayes Publishing CO. Brisbane, Austrália p. 29.