



RECUPERAÇÃO DE METAIS EM PLACAS NUAS DE CIRCUITO IMPRESSO¹

Astrid Damasco²
Daniel Rodrigues³
Waldir Antonio Bizzo⁴
Elaine Oliveira Bulhões⁵
Renata Andrade⁶

Resumo

O objetivo deste trabalho foi a recuperação dos metais das placas de circuito impresso nuas, com 1,6 mm de espessura, descartadas do processo de montagem. Para a obtenção dos metais, as placas passaram por dois processos de cominuição, o moinho de facas e o moinho de anéis, seguidos pela separação por peneiras e separação em meio denso. Os metais presentes nas placas foram identificados por Espectrometria de Emissão Óptica com Acoplamento de Plasma Induzido (ICP-AES). Os resultados mostraram que após as duas etapas de moagem e separação por peneiras obteve-se 5,7% de pó com partículas maiores que 177µm, enriquecidas de cobre. O restante das partículas concentrado de não metais. Com a separação em meio denso foi possível recuperar 1,6% de metais das partículas menores que 3,0mm e 2,5% de metais do pó menor que 177µm. As análises químicas revelaram que as placas nuas possuem 5,8% de metal. Foi possível concluir que as partículas moídas em moinho de anel apresentaram maior recuperação dos metais após separação por peneira e meio denso.

Palavras-chave: Cominuição; Separação por densidade; Placa de circuito impresso nua.

RECOVERY OF METALS IN PRINTED CIRCUIT BOARDS NUDE

Abstract

The objective of this work was the recovery of metals from nude printed circuit boards, with 1.6 mm thick, discarded from the assembly process. To obtain the metals from the plates it was used two comminution steps: the knife mill and the ring mill, followed by separation by sieves and dense medium separation. The metals present in the plates were identified by Optical Emission Spectrometry with Induced Coupled Plasma (ICP-AES). The results showed that after the two stages of grinding and separation it was obtained 5.7% of particles larger than 177µm, enriched in copper. The rest of the particles contain small quantities of metals. Using the separation in dense medium it was possible to recover 1.6% of metal particles smaller than 3.0 mm and 2.5% of metal powder less than 177µm. Chemical analysis revealed that the plates have 5.8% metal. It was concluded that the particles ground in ring mill showed greater recovery of metals after separation by sieve and dense medium.

Key words: Comminution; Separation by density; Printed circuit board nude.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Dra. Eng. Mecânica (CEFETMG – Nepomuceno)

³ Dr. Eng. Metalurgia e Materiais (IPT)

⁴ Dr. Eng. Mecânica (UNICAMP)

⁵ Bacharel em Química (IPT)

⁶ Aluna Doutorado Eng. Mecânica (UNICAMP)

1 INTRODUÇÃO

O Programa Ambiental da ONU estima que o mundo gera, a cada ano, 20 a 50 milhões de toneladas de resíduos provenientes de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), este montante está aumentando três vezes mais rápido do que outras formas de resíduos urbanos.^(1,2)

As placas de circuito impresso (PCI) são componentes dos equipamentos eletrônicos, e o tratamento destas sucatas é um desafio devido à diversidade e complexidade em termos das composições dos materiais, componentes, processos de fabricação e presença de substâncias tóxicas. A disposição dessas sucatas em aterros sanitários pode contaminar o lençol freático, causando danos à saúde humana.

Tentando minimizar os problemas ambientais, a ABNT⁽³⁾ e o IPC⁽⁴⁾ definiram, em normas, o teor máximo de 6 substâncias nocivas à saúde humana, comumente presente nas PCIs, a saber: chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibrometo de bifenil e polibrometo de difenil éter.

As PCIs montadas são compostas por aproximadamente 30% de metais, geralmente contendo 20% de cobre, 8% de ferro, 4% de estanho, 2% de níquel, 2% de chumbo, 1% de zinco, 0,2% de prata, 0,1% de ouro e 0,005% de paládio. Esta concentração de metais é 10 vezes maior do que nos minérios que os contém. As sucatas de PCIs podem ser consideradas como uma fonte minério urbano⁽¹⁾, de interessante para reciclagem dos metais, os quais podem ser reutilizados em um novo ciclo de produção.

Além da parte metálica, as PCIs contém 70% de não metais, como resinas termofixas e material de reforço cerâmico, os quais podem ser reutilizados como cargas em materiais compósitos, na fabricação de baldes, mangueiras, etc.

Os plásticos termofixos das placas apresentam dificuldade na sua recuperação. Métodos de separação, incineração, pirólise, degradação térmica, poder de combustão, têm sido investigados para que se encontre melhor destino para esses tipos de materiais.⁽⁵⁾

A recuperação dos metais das PCIs por meio de diferentes tecnologias incluindo processos mecânicos, químicos, térmicos e metalúrgicos, vem gerando interesse na sua recuperação por diferentes segmentos industriais e científicos.

Segundo Zhang,⁽⁶⁾ o processamento mecânico de sucatas é visto como um pré-tratamento para a obtenção dos metais, do qual fazem parte: a cominuição, a classificação e separação.

Hoffmann⁽⁷⁾ utilizou processos hidrometalúrgicos para a retirada de metais de sucatas de placas de circuito impresso, os quais apresentam diversas etapas.

Já os processos pirometalúrgicos, estudados por Bernardes,⁽⁸⁾ geram uma liga metálica e óxidos metálicos na forma de pó.

Trabalhos de Meretti e Tenório⁽⁹⁾ sugerem a retirada de metais preciosos das sucatas eletrônicas, por meio de titulometria.

Veit⁽¹⁰⁾ investigou os processamentos de moagem, separação granulométrica, separação magnética e separação eletrostática para obter uma fração concentrada em metais (principalmente de Cu, Pb e Sn) e uma outra fração contendo polímeros e cerâmicos. Na segunda etapa deste trabalho, a fração concentrada em metais foi dissolvida com ácidos e enviada para uma eletro-obtenção, a fim de se recuperar os metais separadamente. Por eletro-obtenção foram obtidos cátodos com teores de cobre acima de 96%.

Tendo como subsídio as tecnologias mencionadas e os trabalhos de Andrade⁽¹¹⁾, o objetivo desta pesquisa foi recuperar os metais presentes nas placas nuas de circuito impresso, com 1,6 mm de espessura, empregando os processos de cominuição, separação por peneiras, separação em meio denso, bem como análises químicas por Espectrometria de Emissão Óptica com Acoplamento de Plasma Induzido (ICP-AES).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As placas de circuito impresso, utilizadas neste trabalho, apresentaram a mesma origem do laminado e todas são nuas (sem os componentes eletrônicos). As características das placas utilizadas neste trabalho estão na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1: Características das placas de circuito impresso

Dimensões das placas	78,3 X 59,0 X 1,6 mm
Material da placa: "Composite"	fibras cerâmicas, resina epóxi, resina fenólica, folha de cobre, sem revestimento superficial.
Camadas: folhas de cobre	1
Superfície contato elétrico	Cobre

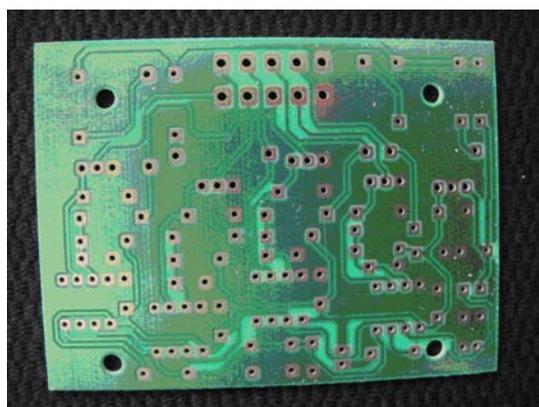


Figura 1: Placa nua de circuito impresso (sem os componentes eletrônicos).

Inicialmente, 4,0 kg de placas de circuito impresso nuas (PCI nua) foram submetidas a um processo de cominuição, utilizando-se um moinho de facas, fabricado pela Tria do Brasil, modelo Série 30 XT-BM, com capacidade de 150-220 kg/h, número de lâminas/contra-lâminas 3/2 e grelha de 3,0 mm.

Uma segunda etapa de moagem foi realizada em 100 g de amostra, utilizando-se moinho de anéis, fabricado pela Gyrál Grinder, modelo 5000. O móido foi classificado em peneira 80 mesh (177 µm).

Amostras obtidas no moinho de facas, com partículas inferiores a 3,0 mm, e amostras obtidas no moinho de anéis, com partículas inferiores a 177 µm, foram submetidas ao processo de separação em meio denso,⁽¹¹⁾ utilizando-se o líquido bromofórmio, com densidade de 2,89 g/cm³,⁽¹²⁾ seguido pelo processo de filtragem a vácuo, separando-se a fração leve (concentrada de não metais) que flutuou, da fração pesada (concentrada de metais) que decantou. Em seguida, as amostras foram secadas e posteriormente pesadas. Cuidados foram tomados durante a secagem das amostras, principalmente com o pó mais fino, para se evitar a retenção do bromofórmio, o que pode causar um aumento da massa da amostra.

O processo de separação por densidade foi realizado dentro de uma capela de exaustão para se evitar a inalação do solvente. Os pesos iniciais das amostras foram de 20 g, e os ensaios foram realizados em amostras duplicadas.

Para identificar os metais presentes nas placas utilizadas neste trabalho, amostras compostas de partículas inferiores a 3,0 mm, foram submetidas à análise química por meio de Espectrometria de Emissão Óptica com Acoplamento de Plasma Induzido (ICP-AES), fabricante Varian, modelo Vista MPX. Para essas análises, as amostras foram peneiradas, sempre em duplicata, nas seguintes frações:

- partículas $\leq 1,19$ mm (14 mesh);
- partículas ≤ 600 μm (30 mesh);
- partículas > 250 μm (60 mesh) e
- partículas ≤ 250 μm (60 mesh).

Após a separação granulométrica, as amostras foram lixiviadas, separadamente, com mistura ácida, conforme procedimento descrito a seguir, semelhante à norma ABNT NBR 10005:⁽¹³⁾

1. Pesagem de 2,0 g de cada amostra, colocar em béquer de vidro borossilicato de 250ml;
2. Adição de 20 ml da solução ácida (3,0N HCL + 1,0N HNO₃);
3. Aquecimento da solução em chapa elétrica à temperatura de $\pm 200^\circ\text{C}$, por 60 minutos;
4. Resfriamento até a temperatura ambiente; e
5. Filtragem das amostras e recolhimento do filtrado em balão volumétrico de 100 ml.

Com a solução obtida no item 5 foram determinadas as concentrações dos metais por meio de Espectrometria de Emissão Óptica com Acoplamento de Plasma Induzido (ICP-AES).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As placas submetidas ao processo de cominuição, no moinho de facas, apresentaram 100% de partículas inferiores 3,0mm.

As 100 g das amostras, submetidas a uma segunda etapa de moagem no moinho de anéis, apresentaram 94,3g de pó com partículas inferiores a 177 μm , e 5,7 g de pó com acima de 177 μm , que ficaram retidos na peneira 80 mesh.

As partículas que passaram pela peneira são esbranquiçadas e ricas de polímeros e cerâmica, contendo poucas partículas de cobre (Figura 2 a). As partículas que ficaram retidas na peneira apresentaram coloração marrom, indicando maior concentração de cobre (Figura 2 b).

O fato de se ter obtido 94,3 g de pó com partículas inferiores a 177 μm , rico em não metais, mostrou que os polímeros e cerâmica das placas fragmentaram mais facilmente, por serem frágeis. A presença de cobre nas partículas superiores a 177 μm (5,7 g) dificultou sua cominuição por moagem em moinho de anel. Isto deve-se à ductilidade do cobre.

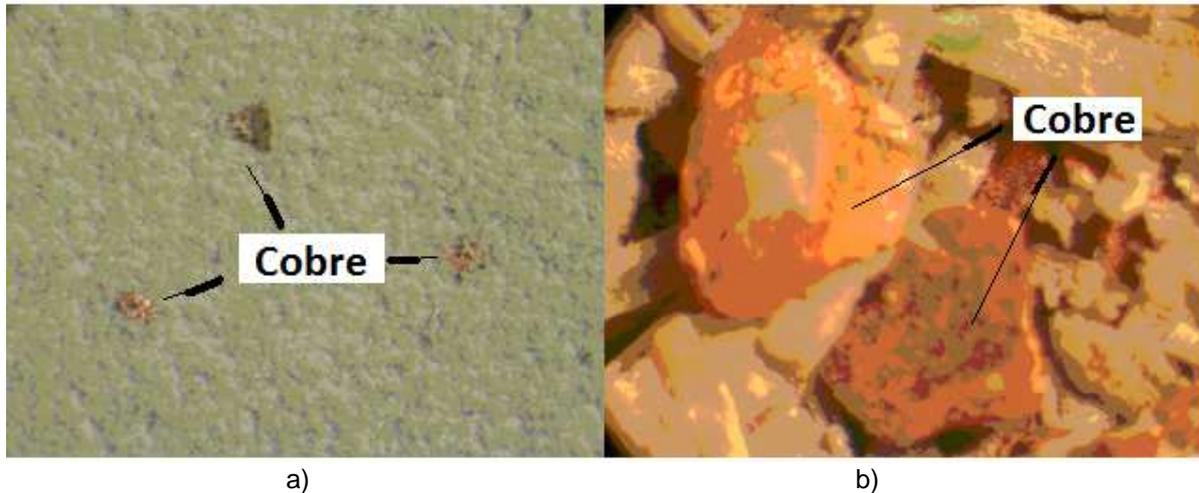


Figura 2: Pó das PCIs nuas, após moagem em moinho de faca e anéis, sendo: a) partículas $\leq 177 \mu\text{m}$, ricas de não metais e b) partículas $> 177 \mu\text{m}$, ricas de cobre. Lupa, 50x

Os processos de cominuição e separação por peneiras são etapas iniciais de todas as tecnologias até agora apresentadas na literatura para a recuperação dos metais presentes nas placas de circuito impresso.

Os resultados das medidas de separação por densidade, utilizando o líquido bromofórmio, densidade $2,89\text{g/cm}^3$, para se obter a fração pesada das placas, contendo metais, podem ser observadas na tabela 2 abaixo.

O processo de separação por densidade foi baseado na metodologia adotada por Andrade,⁽¹¹⁾ na qual recuperou a fração leve de PCIs montadas para investigar as características de combustão, o que difere da PCI utilizada neste trabalho.

Tabela 2: Fração pesada das PCI nuas, contendo metais, submetidas ao processo de separação por densidade

Amostras (peso inicial = 20 g)	Peso (g) Fração pesada	% relativa Fração pesada
PCI nua, após moinho de facas, com partículas $\leq 3,0\text{mm}$.	0,3396	1,6980
	0,3070	1,5350
PCI nua, após moinho de facas e anéis, pó $\leq 177\mu\text{m}$ (rico não metais)	0,5780	2,8900
	0,4829	2,4145

Os dados da Tabela 2 mostram que foi possível recuperar, em média, 1,6% de metal das partículas $\leq 3,0 \text{ mm}$ e 2,7% de metal das partículas $\leq 177 \mu\text{m}$, pelo processo de separação por densidade. Estes resultados indicam que a redução do tamanho das partículas das placas favoreceu a recuperação dos metais separados por densidade. Contudo, deve-se considerar que o pó submetido à separação por densidade continha pouco cobre, pois 5,7 g de partículas ricas em cobre foram anteriormente separados da amostra por peneiramento.

Além do exposto, no processo de separação por densidade, devem-se utilizar recipientes com áreas grandes e solvente suficiente para facilitar a decantação das partículas metálicas, evitando-se assim o aprisionamento do metal na fração leve (que flutua).

O processo de separação por densidade em meio denso, utilizando-se o bromofórmio, é comumente empregado em escala laboratorial para extração de metais dos seus minérios.⁽¹²⁾

Os resultados das análises das composições químicas das placas de circuito impresso nuas, obtidos por Espectrometria de Emissão Óptica com Acoplamento de Plasma Induzido (ICP-AES), podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Metais presentes nas placas de circuito impresso nuas, identificados por Espectrometria de Emissão Óptica com Acoplamento de Plasma Induzido (ICP-AES)

Metais	% dos metais				% Média
	≤1,19 mm	≤ 600µm	≤ 250 µm	> 250 µm	
Al leitura1	1,95686	2,87045	2,2543	2,58581	2,41685
Al leitura2	1,96294	2,57932	2,19155	2,48409	2,30448
Média Al					2,36067
Cu leitura1	4,16467	4,56124	3,50637	1,31527	3,38689
Cu leitura2	3,46735	4,35095	3,71496	1,3719	3,22629
Média Cu					3,30659
Fe leitura1	0,00648	0,01444	0,01522	0,13392	0,04251
Fe leitura2	0,0073	0,015	0,01752	0,0073	0,01178
Média Fe					0,02715
Ni leitura1	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Ni leitura2	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Média Ni					0,0005
Pb leitura1	0	0,00288	0,002	0	0,00122
Pb leitura2	0	0,0097	0,00642	0	0,00403
Média Pb					0,00262
Pd leitura1	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Pd leitura2	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Média Pd					0,0005
Sn leitura1	0,00167	0,00912	0,00401	0,00275	0,00439
Sn leitura2	0,00146	0,01857	0,01439	0,00362	0,00951
Média Sn					0,00695
Zn leitura1	0,0621	0,06662	0,0552	0,0244	0,05208
Zn leitura2	0,0524	0,0687	0,0583	0,0255	0,05123
Média Zn					0,05165
Soma das % dos metais					5,75663

Na Tabela 3, observam-se duas leituras para cada metal, considerando as quatro granulometrias apresentadas anteriormente. Apresentam-se os valores médios das porcentagens para cada metal. No final da tabela é apresentada a soma dos valores médios dos metais presentes nas placas nuas.

Os metais presentes nas placas nuas são basicamente 2,4% Al e 3,3% Cu, somado a valores de centésimos de Fe, Zn e milésimos de Ni, Pb, Pd, Sn .

A presença do alumínio foi um resultado inesperado, pois se esperava encontrar apenas cobre, proveniente de 1 folha do laminado, conforme apresentado na Tabela 1. O alumínio pode ser proveniente de fibras de reforço na placa, o que poderá ser comprovado por Microsonda Eletrônica, na continuidade deste trabalho. Com os dados dessas análises químicas foi possível observar que as PCIs nuas apresentaram apenas 5,8% de metais, sendo essa porcentagem o valor máximo de metais possível de ser recuperado das placas utilizadas neste trabalho.

Comparando a porcentagem de metal das placas nuas com os 30% de metais⁽¹⁾ presente nas placas montadas, evidencia-se que a maior porcentagem de metais provem das soldas, dos componentes eletrônicos e de seus terminais.



É importante ressaltar que os 2,5% de metais obtidos por separação em meio denso representam 43% do total dos metais presente nas placas nuas.

4 CONCLUSÕES

Com base na metodologia adota conclui-se que:

- a moagem não separa totalmente a parte metálica da não metálica e reduz mais eficientemente a fração não metálica, e isto deve-se à ductilidade do cobre presente;
- a moagem e classificação em peneira 80 mesh (177 µm) facilitou a separação da fração metálica das placas por peneiramento e em meio denso; e
- as placas de circuito impresso nuas apresentaram apenas 5,8% de metais.

Agradecimentos

Agradecemos a Exsto Tecnologia e Tria do Brasil, pelos serviços prestados.

REFERÊNCIA

- 1 Kui Huang, Jie Guo, Zhenming Xu, Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China. *Journal of Hazardous Materials*, 164, p. 399–408, 2009.
- 2 M. Burke, The gadget scrap heap, *ChemWorld UK* 4, p. 45–48, 2007.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas - CE 03 111 01 Normalização ambiental para produtos e sistemas elétricos e eletrônicos.
- 4 International Electrotechnical Commission – IEC 62321: Electrotechnical products – Determination of levels of six regulated substances (lead, mercury, cadmium, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers).
- 5 Damasco, A., Bizzo, A.W., Andrade, R., Alves, J.P.B. Sucatas de Placas de Circuito Impresso Como Combustível Sólido. *LatinDisplay 2008*, Campinas-SP, Brasil, p. 124-127, 2008.
- 6 Zhang, S., Forssberg, E. Intelligent liberation and classification of electronic scrap. *Powder Technology*, v 105, p. 295-301, 1999.
- 7 Hoffmann, J. E. Recovering precious metals from electronic scrap. *Journal of Minerals, Metals and Materials Society*, Jul. 1992.
- 8 Bernardes, A. et al, Recycling of printed circuit board by melting. In *TMS Annual Meeting*, p 363-373, USA, 1997.
- 9 Menetti, R.P.; Tenório, J. A. S. Reciclagem de metais preciosos a partir de sucatas eletrônicas. *Metalurgia e Materiais*, v 52, n. 475, p. 531-534, Set. 1996.
- 10 Veit, H.M. Reciclagem de Cobre de Sucatas de Placas de Circuito Impresso. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, 121 p. Rio Grande do Sul, 2005.
- 11 Andrade, R. Caracterização e Classificação de Placas de Circuito Impresso de Computadores como Resíduos Sólidos. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, 125 p. Campina, SP, 2005.
- 12 Campos, A. R., Luz, A.B., Carvalho, E.A. Separação em Meio Denso. *Tratamento de Minérios*. 4ª Edição - CETEM, Cap. 7, p. 271-301, Rio de Janeiro, 2004.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10005: