

EMPREGO DE PROCESSAMENTO MECÂNICO PARA RECICLAGEM DE SUCATAS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Hugo Marcelo Veit

Av. Osvaldo Aranha 99 / 706 - Centro
CEP: 90035-190 Porto Alegre/RS Brasil
Tel: (51) 3316.3349
E-mail: hugomarcelo@zipmail.com.br

Carolina de Castro Pereira

Andréa Moura Bernardes

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Escola de Engenharia

Departamento de Materiais

Resumo:

A geração cada vez maior de resíduos industriais exige, atualmente, uma atenção especial, na busca da reciclagem ou redução deste resíduo. Placas de circuito impresso é um desses materiais: há uma quantidade significativa de metais em sua composição, metais esses possíveis de serem reaproveitados. Assim, além de recuperar material valioso, também se reduz os danos ambientais causados pelo tratamento dado as placas após o seu descarte. Neste trabalho, avaliou-se a possibilidade de se separar os metais dos demais componentes das placas (polímeros, cerâmicas, etc), através de processamento mecânico, evitando assim a queima do material e a conseqüente geração de dioxinas e furanos. A análise química do material demonstrou que há uma alta concentração de metais nas placas, o que incentiva a reciclagem. Os metais encontrados em maior concentração foram cobre, estanho, chumbo e alumínio. Estudou-se a separação dos metais por diferença de densidade em meios densos

Palavras-chave: Resíduos industriais, reciclagem, placas de circuito impresso, meio-ambiente.

Introdução

O rápido desenvolvimento da indústria eletrônica e a crescente oferta em equipamentos elétricos e eletrônicos, aliados ao aumento do consumo de bens pela população, gera um número cada vez maior de equipamentos defeituosos e obsoletos, os quais precisam ser dispostos. Atualmente a sucata de equipamentos elétricos/eletrônicos é disposta junto com o lixo doméstico. Assim, no mundo inteiro equipamentos menores e obsoletos são depositados em aterros ou incinerados sem tratamento prévio.

Equipamentos utilizados na indústria de processamento de dados ou de entretenimento podem conter mais de 30% de placas de circuito impresso. Estas placas são formadas por unidades isoladas e integradas e sua sucata contém cobre, chumbo, zinco, estanho, bem como os metais preciosos ouro, prata e platina. As sucatas representam, então, uma matéria prima interessante e valiosa. Além de metais e ligas metálicas, as placas de circuito impresso contém vários compostos orgânicos e inorgânicos. Como linha geral pode-se dizer que estas placas estão formadas por 49% de materiais cerâmicos, vidros e óxidos, 19% de plásticos, 4% de bromo e 28% de metais. A composição real depende da origem do circuito impresso, assim como do tipo e idade do equipamento. A concentração média de cobre, por exemplo, é 29.800 ppm em computadores antigos, 37.000 ppm em novos e 44.900 ppm em equipamentos de vídeo. Outro exemplo é dado com a concentração de ouro: 1.050 ppm em computadores antigos, 750 ppm em novos e 870 ppm em equipamentos de vídeo.

Dos materiais presentes na composição das placas, os metais são a parte mais valiosa e justificam sua reciclagem, tornando-a economicamente viável.

Posição do Problema

As bases de um processo, orientado para a aceitação ambiental, são:

- Medidas Primárias: Diminuir ou evitar a geração de resíduos;
- Medidas Secundárias: Reutilizar os resíduos;
- Medidas Terciárias: Dispor de maneira compatível ao meio ambiente, ou seja, resíduos que não podem ser reutilizados devem estar de tal forma inertes, que possam ser depositados sem impacto às zonas adjacentes.

Estas medidas estão citadas na Lei dos Resíduos Sólidos do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. No Estado, a gestão dos Resíduos Sólidos, independente de sua categoria (urbanos,

industriais, de serviços de saúde, de atividades rurais, etc.) é contemplada pela lei n° 9921, de 27 de Julho de 1993, regulamentada pelo Decreto n° 38356, de 01 de Abril de 1998, sendo esta definida como ² "responsabilidade de toda a sociedade", e tendo como objetivo prioritário a não geração de resíduos, devendo o sistema de gerenciamento priorizar a minimização, a reutilização, a reciclagem, e o tratamento, antes do encaminhamento à disposição final adequada.

Desta forma, permanecem duas alternativas para o futuro da indústria:

- A instalação de processos que reduzam e reutilizem em circuito fechado os resíduos gerados;
- A produção de um resíduo que possa ser facilmente vendido para reciclagem.

Dentro da indústria de equipamentos eletrônicos, isso significa que , no futuro, as partes deverão ser de tal forma montadas, que processos automáticos de desmontagem e reaproveitamento de materiais possam ser aplicados, quando da inutilização do aparelho. Este estágio de desenvolvimento entretanto ainda não foi alcançado. Desta forma, a reciclagem dos metais presentes nas placas de circuito impresso deve ser estudada, evitando-se assim a geração e consequente disposição de toneladas de resíduos perigosos presentes em placas de circuito impresso como o cádmio, chumbo e mercúrio.

A reciclagem de materiais metálicos é importante pois representa um ganho econômico, próprio do metal, sendo este significativo em metais como alumínio, chumbo, cobre e, particularmente, nos metais nobres: ouro, prata e platina.

3. Métodos de Processamento de Sucatas de Circuito Impresso

Um tratamento destes rejeitos, compatível ao meio ambiente, é um processo complexo, considerando-se a composição heterogênea dos equipamentos obsoletos. Tecnologias utilizadas para a reciclagem de sucatas eletrônicas incluem processos mecânicos, químicos e térmicos.

Figura 1: Esquema representando possibilidades de processamento de sucatas de placas de circuito impresso.

Hoffmann afirma que os processos hidrometalúrgicos de processamento de sucatas de circuito impresso representam diversas etapas de processo e são utilizados apenas para a fração contendo metais. Os substratos não metálicos geram resíduos que devem ser, então, tratados termicamente ou dispostos.

Já os processos pirometalúrgicos, estudados anteriormente nos artigos de Bernardes e Felix, geram uma liga metálica, óxidos metálicos na forma de pó e retirados do sistema de filtração do ar, bem como uma escória inerte. O problema associado a processos pirometalúrgicos é a geração de dioxinas, formadas pela incineração dos materiais orgânicos.

Desta forma, um pré-tratamento da sucata por meios mecânicos pode ser interessante. Assim poder-se-á obter uma separação prévia dos metais e só então encaminhá-los a processos hidrometalúrgicos ou a produção secundária de cobre, tornando o reprocessamento destes metais uma tecnologia limpa.

3. Processamento Mecânico

O processamento mecânico de sucatas é visto, em geral, como um pré-tratamento para o real reaproveitamento dos materiais, e associa diferentes estágios de separação de compostos e componentes da sucata”. Assim, fazem parte deste processo a cominuição, classificação e separação (por diferença de densidade, peso, granulometria, propriedades magnéticas, etc...) dos diferentes componentes do rejeito.

A etapa inicial do processamento consta de diferentes etapas de cominuição. Após cada etapa a fração resultante já está, em geral, enriquecida em certos materiais, os quais podem ser separados do fluxo principal. Em placas de circuito impresso existem compósitos finamente estruturados de plásticos e metais, os quais podem ser separados apenas por cominuição fina. Decisivo para o lay-out do quebrantamento preliminar são as dimensões e condições das partes da placa. Ferro pode ser retirado por separação magnética, metais não ferrosos são removidos por diferenças de densidade, peso e propriedades magnéticas ("eddy-current"). E após a última etapa de concentração alcançada por cominuição, concentrados e resíduos podem ser limpos por classificação hidráulica e separação por densidade ”.

4. Objetivo do Trabalho

Pretende-se caracterizar as placas de circuito impresso e estudar as possibilidades de separação de materiais destas sucatas por meio de diferentes estágios de cominuição e granulometria.

Além disso pretende-se separar os metais dos diferentes materiais do substrato (plásticos, cerâmicos, etc.) por meio de diferença de densidade, obtendo-se assim frações ricas em metais e frações ricas em materiais não-metálicos.

5. Procedimento Experimental

Inicialmente, as placas de circuito impresso contendo todos os componentes foram coletadas de computadores obsoletos e então foram retirados manualmente alguns componentes que continham contaminantes (capacitores, baterias, etc.) e após foram moídas. Diferentes frações foram separadas por diferença de granulometria, analisadas quimicamente e, finalmente, iniciou-se a separação por diferença de densidade. Após esta última separação, uma segunda análise química era realizada, a fim de confirmar a separação entre metais e outros materiais.

6.1-Moagem e Separação Granulométrica

As placas foram moídas em um moinho de facas até atingir uma granulometria inferior a 1mm. Após usou-se um sistema de peneiras para classificar de acordo com a granulometria. Obteve-se então três frações diferentes: menor do que 0,25mm, entre 0,25 e 0,50mm e entre 0,50 e 1,0mm.

Essas frações foram analisadas quimicamente para determinar a possível concentração de algum material em uma das frações.

6.2- Separação por Diferença de Densidade

Sabendo que metais tem uma densidade maior que os demais componentes das placas de circuito impresso, podemos fazer a separação através dessa propriedade física, utilizando-se os processos empregados no tratamento de minérios. Para efetuarmos essa separação, usamos um líquido orgânico de densidade intermediária entre os metais que compunham a placa e os demais materiais e que não reagisse com a

amostra. O líquido escolhido foi o Tetrabromoetano (TBE) ($C_2H_2Br_4$), de densidade $2,964 \text{ g/cm}^3$, pois foi o que acarretava menor custo e era o de mais fácil aquisição. A utilização de meios densos para fazer a separação por densidade é um método empregado em laboratório. Na prática usa-se outros métodos, como classificação hidráulica, separação magnética, suspensões Fe/Si, etc.

Para fazer a separação, foi usado um funil de separação construído com as dimensões necessárias para se obter eficiência no processo.

Fazendo essa separação com as três frações obtidas anteriormente por separação granulométrica obtivemos frações pesadas (ricas em metais) e frações leves (ricas em polímeros e cerâmicos). Todas essas frações foram analisadas quimicamente para comprovar a eficiência da separação por densidade e também verificar se houve concentração de algum metal numa das frações.

3. RESULTADOS

7.1 - Moagem e Separação Granulométrica

A análise química das frações obtidas por moagem e separação granulométrica esta apresentada na tabela 1.

	Cu	Zn	Fe	Mg	Ni	Al	Pb	Ag	Sn
F1	6,28	0,05	0,13	0,05	0,05	3,01	0,35	0,03	2,51
F2	23,53	0,08	0,13	0,05	0,20	1,55	0,95	0,03	2,50
F3	24,34	0,23	0,18	0,05	0,20	1,56	1,35	0,03	2,51

Pode-se observar que os metais, em especial o cobre, se concentram na fração de maior granulometria (F3). Isso se deve provavelmente a maior facilidade em moer polímeros e cerâmicos do que metais. O resultado para o cobre pode ser melhor visualizado no gráfico 1.

Gráfico 1 – Quantidade de cobre em cada fração após a separação granulométrica.

No gráfico 2 podemos avaliar melhor a concentração de metais e não metais em cada fração separada por granulometria.

Considerou-se como fração metálica no gráfico 2 a percentagem que foi digerida por água-régia em 10 minutos. O material que não foi dissolvido foi considerado como não metálico.

Gráfico 2 – Percentual de metal e não-metal após separação granulométrica.

7.2 - Separação por Densidade

A análise química das frações obtidas por separação por densidade estão apresentadas na tabela 2.

	Cu	Zn	Fe	Mg	Ni	Al	Pb	Ag	Sn
F1 Pesada	64,97	0,26	0,13	0,05	0,34	0,52	1,61	0,08	2,6
F2 Pesada	54,99	0,20	0,30	0,05	0,47	0,50	1,40	0,07	5,00
F3 Pesada	44,96	0,17	0,77	0,05	0,37	0,50	1,42	0,02	15,00
F1 Leve	0,24	0,02	0,07	0,05	0,05	0,48	0,12	0,02	2,39

F2 Leve	0,42	0,02	0,07	0,05	0,05	1,04	0,12	0,02	2,48
F3 Leve	3,25	0,02	0,07	0,05	0,05	0,50	0,12	0,02	2,50

Através desses resultados podemos ver que realmente os metais se concentram nas frações pesadas (afundam). Isso ocorre também para o cobre, mas ao contrário da separação por granulometria, o cobre se concentra na fração mais fina (F1). Provavelmente por essa fração ter uma granulometria mais fina os efeitos de arraste de outros materiais é bem menor.

Os resultados para o cobre podem ser melhor visualizados na gráfico 3.

Gráfico 3 – Quantidade de cobre em cada fração após separação por densidade.

A

concentração de metal e não metal nas frações pesadas após a separação por densidade foi obtida do mesmo modo como para a separação granulométrica e esta demonstrado no gráfico 4 abaixo.

Gráfico 4 – Percentual de metal e não-metal após a separação por densidade.

3. **CONCLUSÃO:**

O objetivo foi plenamente alcançado, já que conseguimos desenvolver um método eficaz tanto técnica quanto economicamente para reciclar metais de placas de circuito impresso.

Usando processamento mecânico e separação por diferença de densidade, é possível separar os metais dos demais materiais das placas e componentes, sendo esse um importante passo para uma reciclagem total desse resíduo perigoso e bastante complexo.

Podemos ver que apenas com a separação granulométrica conseguimos concentrar cerca de 30% de metais, isso se mostra mais evidente na fração de maior

granulometria, provavelmente pela maior dificuldade em se moer metais do que polímeros e cerâmicos.

Com a separação por densidade conseguimos concentrar aproximadamente 75% dos metais. Ao contrário da separação granulométrica, a separação por densidade se mostrou mais eficiente na fração de menor granulometria, provavelmente devido ao menor arraste de outros materiais quando os metais afundam.

Na parte metálica, o cobre desponta como de maior interesse, não só pelo seu valor econômico, mas também pela sua concentração, em torno de 55%.

O próximo passo é estudar a técnica de eletrorefino para aplicá-la na separação do metais entre si, em especial o cobre e encaminha-lo para a produção secundária.

4. **BIBLIOGRAFIA:**

. Hoffmann, J.E.: Recovery of Precious Metals from Electronic Scrap. JOM (1992) 6, p. 43-48.

. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Decreto No 38.356. 01 de Abril de 1998. Diário Oficial da União, 02.04.1998.

. Bernardes, A.; Bohlinger, I.; Milbrandt, H.; Rodriguez, D.; Wuth, W.: Recycling of Printed Circuit Boards by Melting with Oxidising/Reducing Top Blowing Process. TMS Annual Meeting, 9 a 13 de fevereiro de 1997, Orlando, Flórida, EUA.

. Felix, N.; Riet, C.: Recycling of Electronic Scrap. Proceedings: Precious Metals Conference. 1994, Vancouver, Canada, p. 159-169.

. Sandvik, K.L.; Villeneuve, J.; Durance, M.V.; Vedrine, H.: Development of a Mineral Processing Modelling Programm as a Tool for Optimal Decisions in Waste Treatment. REWAS 1999. V.1. TMS. p. 55-64

6 Larrauri, E.; Miguel, R.; Suarez, M.J.: Recovery, Recycling and Reuse of Packing Materials from Post Consumer Wastes. REWAS 1999. V.1. TMS. p. 75-84.

. Noakes, M.J.: Using Mineral Processing Technologies for the Treatment of Hazardous Substances. REWAS 1999. V.1. TMS. p. 27-36.

. Tenório, J.A.S.; Oliveira, D.C.; Chaves, A.P.: Carbon-Zinc Batteries Treatment by Ore Processing Methods. REWAS 1999. V.2. TMS. p. 1153-1160.

. Zhang, S.; Forssberg, E.: Mechanical Separation-Oriented Characterization of Electronic Scrap. Resources, Conservation and Recycling 21 (1997), p. 247-269.

. Peirce, J.J.; Weiner, R.F.; Vesilind, P.A.: Environmental Pollution and Control. 4. ed. Butterworth-Heinemann. 1998.

. Zhang, S.; Forssberg, E.: Intelligent Liberation and Classification of Electronic Scrap. Powder Technology 105 (1999), p. 295-301.

. Saito, I.: Recovery of Valuable Metals from Printed Wiring Board Wastes. Trans. Mat. Res. Soc. Jpn., Volume 18A, 1994, Elsevier, p. 207-210

. Tenório, J.A.S.; Menetti, R. P.; Chaves, A.P.: Production of Non Ferrous Metallic Concentrates from Electronic Scrap. EPD Congress. TMS, 1997. p. 505-509.

. Hayes, P.C.; Process Principles in Minerals and Materials Production. Hayes Publishing CO., 1993. Australia.