

LIXO ELETRÔNICO: DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO DE RECICLAGEM E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO - MOTHERBOARD

O. L. F. Junior; R. A. Vargas; M. Andreoli; J. R. Martinelli; E. S. M. Seo;
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária.
olfjunior@usp.br

RESUMO

Com aprovação da regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Decreto nº 7.404, o segmento de eletroeletrônicos vêm sendo caracterizado por ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e reaproveitamento em seu ciclo ou destinação final ambientalmente adequada. Neste contexto, este artigo contribui no desenvolvimento do processo de reciclagem de placa de circuito impresso dos microcomputadores e em sua caracterização química. O procedimento experimental consistiu em moagem, classificação granulométrica, separação magnética, eletrostática e diferença de densidades; seguido de caracterização química dos materiais metálicos e não metálicos constituintes da motherboard. Verificou-se a presença dos elementos Ag, Al, Ba, Cl, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn, em teores acima dos limites permissíveis de toxicidade e encontram-se nas amostras de material decantado. No material sobrenadante identificou-se: Al, Ba, Br, Ca, Cu, Fe, Pb, Si, Sn, Ti e Zn; que pelas quantidades presentes são possíveis de serem reaproveitados na preparação de cerâmica vermelha.

Palavras chave: Placa de circuito impresso; motherboard; Resíduos, Eletrônicos; reciclagem; microcomputadores.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade e a escassez de matéria prima forçam a conscientização da sociedade a reavaliar questões referentes ao grande volume de resíduos gerados diariamente, a destinação correta para cada tipo de resíduo, contaminações causadas

pelos resíduos descartados, redução de custos; isto fez crescer a exigência de que as indústrias manufatureiras se comprometam com um desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável, submetendo-se a um maior rigor por parte dos órgãos de fiscalização no cumprimento das certificações ISO 9000 e ISO 14000. As primeiras ações a serem tomadas em consenso pelo Governo e pelas próprias indústrias são o controle e a minimização da geração dos resíduos.

Neste contexto, conforme Salinas ⁽¹⁾, as informações disponíveis sobre a contaminação e os problemas ambientais, produzidos pelo material utilizado na construção de computadores são poucas e bem como aquelas relativas a gestão dos resíduos gerados por este tipo de equipamento eletrônico, quando chega ao fim da vida útil.

Conforme o estudo dos analistas do *Wipro Product Strategy*, o grande volume de vendas de computadores, que se projeta no curto prazo para estes equipamentos e o prazo para estes tornarem-se obsoletos é em média de 3 anos ⁽²⁾.

Neste sentido, torna-se relevante o estudo dos impactos ambientais causados por placas de circuito impresso (*motherboard*), elemento este essencial na construção de um computador.

Este trabalho tem por objetivo contribuir no desenvolvimento do processo de reciclagem de placa de circuito impresso dos microcomputadores e em sua caracterização química. Os testes realizados em laboratório foram efetuados com o objetivo de encontrar uma forma de separá-los e quantificá-los, caracterizando-os como metálicos e não metálicos, visando uma aplicação destes elementos, para serem utilizados como insumo na produção de cerâmica vermelha.

MATERIAIS E MÉTODOS

As placas de circuito impresso, *motherboard*, material utilizado neste estudo, são provenientes da empresa de reciclagem OXIL Manufatura Reversa e da empresa de reciclagem SANLIEN. Tais empresas fornecedoras operam com diferentes tipos de placas de circuito impresso de diversos fabricantes: AT, ATX, RTX, LPX e ITX. Ambas as empresas adotam a nomenclatura “placas de circuito impresso descaracterizadas”, o

que significa a remoção de alguns de seus componentes eletrônicos, cujas dimensões são da ordem de 1 a 2 cm (Figura 1).



Figura 1 – Placas de circuito impresso descaracterizadas.

Moagem e classificação

A moagem do material foi realizada utilizando um moinho de martelo da marca Tigre, modelo A-3.

A classificação granulométrica do material moído foi realizada por meio do método de peneiramento. O conjunto de peneiras com malha (*Mesh Tyler*), é constituído de um fundo e peneiras com classificação 150, 60, 42, 35, 28, 20, 12, 9, 1/4 polegada, respectivamente acopladas a um equipamento (ro-tap), máquina vibratória da marca Produtest, com reostato ajustado para 9 e termostato ajustado em 30 minutos, para eficácia do processo de peneiramento.

Separação de materiais metálicos e não metálicos

Após a classificação, os materiais metálicos e não metálicos foram separados utilizando mesa vibratória, separador magnético e eletrostático e por meio de método de separação por densidade. As faixas granulométricas foram submetidas a uma mesa vibratória, operando a uma velocidade de 300 rpm, com inclinação lateral de deslocamento de cerca de 5 graus. Os separadores magnéticos e eletrostáticos utilizados foram: separador magnético modelo RE-ROLL 5-4-1 e separador eletrostático

modelo ES-06/1L de alta potência, ambos os equipamentos da marca INBRAS. Por método de separação por densidade utilizou-se o reagente clorofórmio.

Determinação da composição química.

Os elementos que constituem os materiais foram determinados por espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (Shimadzu Modelo 720), utilizando os parâmetros fundamentais do equipamento para uma avaliação quantitativa. As amostras foram confinadas em um porta-amostras de plástico seladas por um filme de polipropileno de 5 µm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra o material classificado por peneiramento, após a etapa de moagem. Observa-se a presença de materiais metálicos como de não metálicos em diferentes faixas granulométricas. Avaliou-se que este material é de fácil desagregação, permitindo a obtenção em diferentes faixas granulométricas, conseqüentemente possibilitando a reciclagem dos mesmos.

Nos ensaios de separação de metálicos e não metálicos, não foi possível efetuar a separação por meio de mesa vibratória nas granulometrias 9 *Mesh Tyler* - Abertura de malha 2,106 mm e 12 *Mesh Tyler* - Abertura de malha 1,40 mm, por apresentarem densidades muito baixas.

A granulometria 20 *Mesh Tyler* - Abertura de malha 0,84 mm, foi submetida ao ensaio da mesa vibratória, não apresentando resultado satisfatório, por ser um material pesado. A sua alta densidade não favoreceu o seu arraste pela água, apresentando grande aderência das partículas na mesa e impedindo que o material escoasse pelas canaletas (rifles da mesa). Este fenômeno se deve às características dos materiais em apresentar formatos de fibras e lamelar, ou seja, esta característica achatada em forma de laminas impedia o deslizamento e o escoamento do material, portanto permanecendo retidas nas canaletas (Figura 3).

As demais granulometrias como fundo/prato, 150, 60, 42, 35, 28 e ¼ de polegada, não foram submetidas ao teste da mesa vibratória, devido às características deste material:- o ideal para este tipo de equipamento é granular.

A mesa vibratória tem ao seu redor recipientes coletores, que auxiliam na classificação, onde o material que escoar pela mesa fica retido em um dos três tipos, classificando assim o tipo de material como: pesado, médio e leve.

Estes materiais retidos nos coletores foram caracterizados por análise de fluorescência de raios X. Os resultados de caracterizações químicas são demonstrados na Tabela_1.

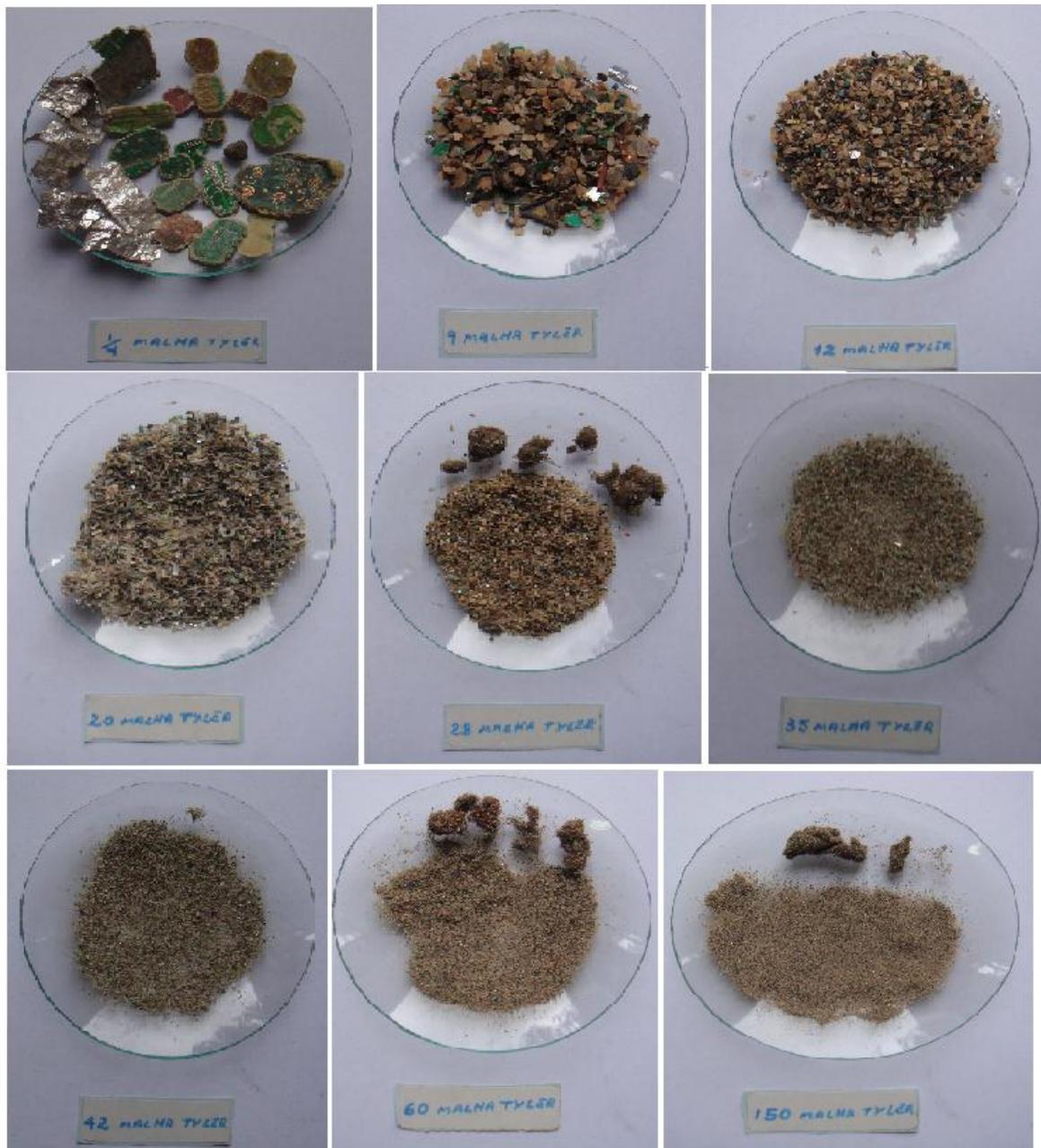


Figura 2 - Classificação granulométrica do material moído.



Figura 3 - Material em formato lamelar nos rifles da mesa vibratória.

Tabela 1 - Composição química do material retido nos coletores da mesa vibratória

ELEMENTO QUÍMICO	TEOR (PPM)
Br	18
Ca	1281
Pb	64
Cu	367
Fe	1575
Ni	22
Zn	494

Embora o uso do equipamento mesa vibratória não seja efetivo em relação a este tipo de material para as diferentes granulometrias, fez-se uma primeira avaliação da composição química dos elementos constituintes na *motherboard*. Verificou-se a presença de cálcio, chumbo, cobre, ferro e zinco em maiores quantidades.

Na separação de materiais metálicos e não metálicos por processos magnético e eletrostático, observou-se que a faixa granulométrica que melhor adequou-se às condições dos equipamentos foi a granulometria de 9 *Mesh Tyler*. As demais faixas granulométricas não apresentaram resultados favoráveis às condições dos equipamentos de separação devido às granulometrias muito finas, conseqüentemente, ocorreram muito perdas de materiais, ficando em suspensão ao ambiente.

O material com a faixa granulométrica de 9 *Mesh Tyler* foi submetido a diferentes condições de campo magnético (testes 1 a 5), conforme apresentadas na Tabela 2. Os materiais que não foram retidos magneticamente foram submetidos ao separador eletrostático a uma velocidade de 130 rpm, com eficiência de 95% de retenção. A quantidade separada por separador eletrostático (teste 6) é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Material de granulometria 9 Mesh Tyler submetido aos separadores magnético e eletrostático.

TESTE	CAMPO MAGNETICO	POTÊNCIA (GAUSS)	VELOCIDADE (RPM)	QUANTIDADE (GRAMAS)
1	BAIXO	1.000	-	3,0890
2	MEDIO	8.000	-	1,9115
3	ALTO	21.000	100	1,8444
4	ALTO	21.000	80	1,5572
5	ALTO	21.000	60	0,3899
6	NULO	-	130	39,1000

Os materiais retidos no separador magnético foram caracterizados por fluorescência de raios X, cujos resultados estão apresentados na Figura 4.

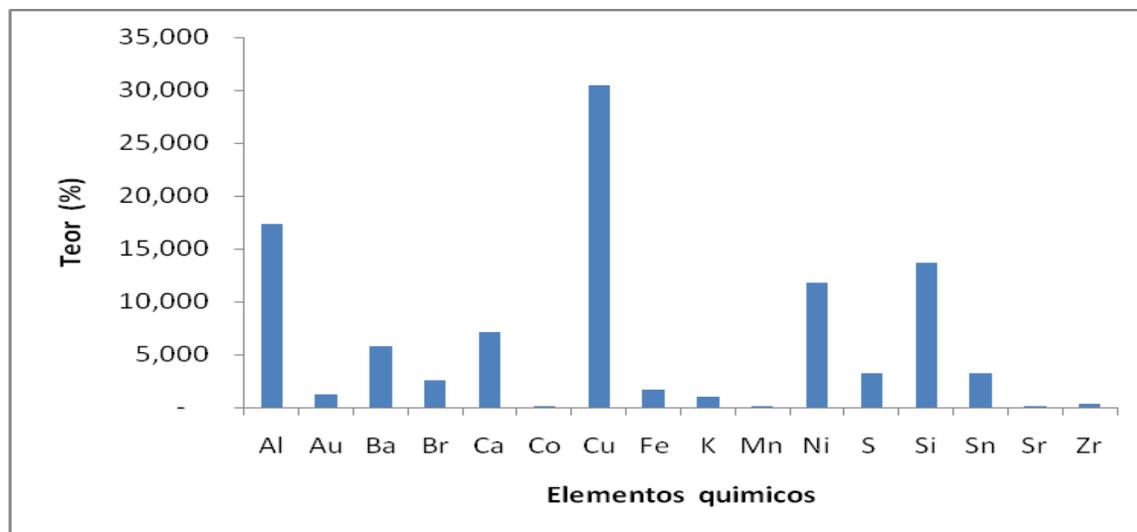


Figura 4 – Composição química das amostras com a granulometria 9 *Mesh Tyler*.

Para as demais faixas granulométricas, de 12 *Mesh Tyler* a fundo (retido no prato) foram submetidas à separação por diferença de densidades. Para tal utilizou-se o clorofórmio, cuja densidade é de 1,48 g/cm³ superior a de álcool e água. Os resultados da Tabela 3 mostram os materiais mais densos, os metálicos- precipitados, e materiais sobrenadantes (não metálicos).

Tabela 3 – Resultados encontrados após a separação por densidade para faixas granulométricas 12 *Mesh Tyler* ao fundo.

Faixa MESH/TYLER	Medida inicial (gramas)	Sobrenadante (gramas)	Decantado (gramas)	Perdas (gramas)
12	5,000	1,210	3,733	0,057
20	5,000	0,157	4,829	0,014
28	5,185	1,489	3,608	0,088
35	5,195	0,420	4,763	0,012
42	5,090	0,883	4,197	0,010
60	5,180	0,933	3,919	0,328
150	4,995	0,507	3,814	0,674
Fundo (prato)	5,010	0,309	4,602	0,099

Os resultados da composição química dos materiais decantado e sobrenadante das faixas granulométricas entre 60 Mesh e fundo, obtidos por fluorescência de raios X, estão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7.

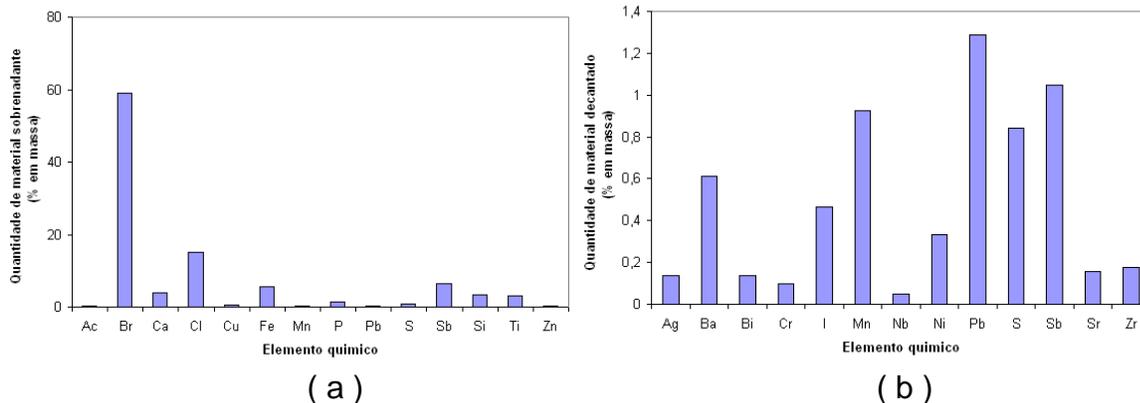


Figura 5 – Composição química dos materiais separados por diferença de densidades. (a) material sobrenadante e (b) material decantado para (60 Mesh).

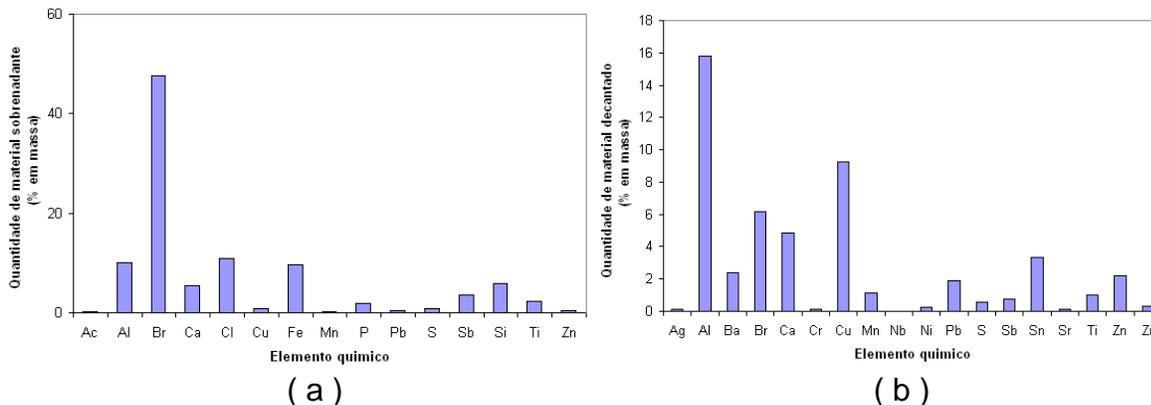


Figura 6 – Composição química dos materiais separados por diferença de densidades. (a) material sobrenadante e (b) material decantado para (150 Mesh).

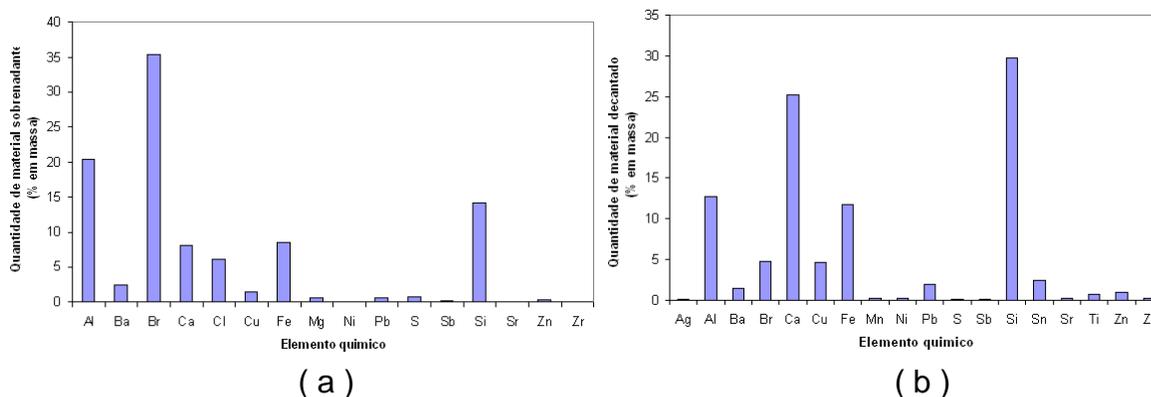


Figura 7 – Composição química dos materiais separados por diferença de densidades. (a) material sobrenadante e (b) material decantado para (Fundo).

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

O moinho de martelo é suficiente para desagregar o material das placas *motherboard* em diferentes faixas granulométricas;

O uso da mesa vibratória não apresentou resultado satisfatório, este equipamento não se aplica a este tipo de material, pois se o formato do resíduo fosse granular seria adequado, entretanto, o formato do resíduo *motherboard* é lamelar, o que dificulta o escoamento pelos rifles da mesa.

O processo de separação de materiais metálicos e não metálicos das placas de *motherboard* não é tão simples, a granulometria 9 *Mesh Tyler*, utilizada nos

separadores magnético e eletrostático, não se mostrou efetiva para esta granulometria, devido a aglomeração do material metálico e não metálico. Quanto às demais faixas granulométricas, não puderam ser utilizadas no teste, devido a volatilização dos materiais e a dificuldade na separação.

O clorofórmio utilizado no processo de separação por diferença de densidades permite a separação de metálicos e não metálicos, mas a eficiência não é total. Neste caso sugere-se o uso do bromofórmio, o qual poderá apresentar uma separação mais efetiva dos materiais.

Os elementos como Ag, Al, Ba, Cl, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn estão presentes no material decantado e os teores determinados ultrapassam os limites permissíveis de toxicidade com base nos dados divulgados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) ⁽³⁾ e da norma NBR 10004:2004 ⁽⁴⁾.

Dentre as amostras de material sobrenadante identificou-se que quanto maior a faixa granulométrica, maior será o teor de elementos metálicos, incluindo principalmente a presença de Cr e Pb. Os materiais tanto mais finos, evidenciam a maior quantidade de materiais não metálicos. Neste último grupo de materiais não metálicos com granulometria especificada como fundo, observa-se a presença de Al, Ba, Br, Ca, Cu, Fe, Pb (menor quantidade), Si (maior quantidade), Sn, Ti e Zn, que pelas quantidades presentes são possíveis de serem reaproveitados na preparação de cerâmica vermelha.

AGRADECIMENTOS

A Inbras, por permitir a utilização dos equipamentos para serem efetuados parte dos testes.

A Oxil, por ceder parte do material, utilizado nos testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Salinas, A.C. ; **Material informático y contaminación medioambiental**, 2008, p.3.

(2) TRÊS anos é o ciclo de vida ideal para um PC. Disponível em: <http://www.forumpcs.com.br> Acesso em: 09 de abril de 2011.

(3) PORTARIA Nº 518/GM Em 25 de março de 2004. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br> Acesso em: 09 de abril de 2011.

(4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004, p.67.

E-WASTE: DEVELOPMENT OF RECYCLING PROCESS AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF CIRCUIT PRINTED - MOTHERBOARD

ABSTRACT

The electro-electronic industry has been regulated by the National Politic of Solid Residues Act (PNRS) and Bill no. 7.404, concerning the actions, procedures, and method to collect, recycle and promotion of environmentally acceptable final destination of residues. The present work contributes to develop recycling process of printed circuit used in microcomputers and in its chemical characterization. The experimental procedure consisted of grinding, classification, magnetic and electrostatic separation, and separation based on density difference, followed by chemical characterization of the metallic and non metallic materials in the motherboard. It was determined that the amounts of Ag, Al, Ba, Cl, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, and Zn in the residue are above the toxicity allowable levels, and they are in the samples of the decanted material. Among the samples of the floating material, Al, Ba, Br, Ca, Cu, Fe, Pb (in less quantity), Si (in more quantity), and Sn, Ti and Zn were detected. Those materials can be useful in the preparation of red ceramics.

Key-words: Printed circuit; Motherboard; Residues, Electronic; recycling; microcomputers.