

# Caracterização de Sucatas Eletrônicas Provenientes de Baterias Recarregáveis de Íons de Lítio, Telefones Celulares e Monitores de Tubos de Raios Catódicos

## RESUMO

O avanço da tecnologia e o surgimento de novos equipamentos eletrônicos fazem com que a cada ano haja um aumento considerável no descarte destes equipamentos. Este descarte quando realizado de forma incorreta, em aterros ou lixões, provoca a contaminação do solo e das águas, pois os WEEE's são constituídos de vários componentes com alta toxicidade, como metais pesados, solventes orgânicos e compostos geradores de dioxinas e furanos. Visando obter um melhor conhecimento sobre a composição destes equipamentos foi realizada a caracterização de baterias de íons de lítio, telefones celulares e CRT's. Polímeros, metais e vidros foram os principais componentes encontrados nos equipamentos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: REE ; reciclagem de baterias e materiais eletrônicos; gestão ambiental.

## ABSTRACT

The advancement of technology and the emergence of new electronics has caused a considerable increase in the disposal of such equipment. The improperly discard in landfills or dumps cause contamination of soil and water. The WEEE's (waste electrical and electronic equipment) consist of several compounds with high toxicity, such as heavy metals, organic solvents and compounds that generate dioxins and furans. In order to obtain a better understanding of the composition of this equipment a characterization of lithium-ion batteries, cell phones and CRT (cathode ray tube) was carried out. Polymers, metals and glass were the main components found in equipment studied.

KEYWORDS: REE; batteries and electronic materials recycling; environmental management.

## Angela Cristina Kasper

Mestranda em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM - UFRGS  
E-mail: angelakasper@globo.com

## Rodrigo Calçada da Costa

Mestrando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM - UFRGS

## Pablo Araújo de Andrade

Mestrando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM - UFRGS

## Hugo Marcelo Veit

Professor Adjunto-Engenharia de Matérias-UFRGS

## Andréa Moura Bernardes

Professora Adjunta-Engenharia de Materiais-UFRGS

## Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LACOR - Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais  
Av. Bento Gonçalves, 9500-Setor 4-Prédio 74-  
Campus do Vale-Porto Alegre/RS-CEP:91501-970-Fone:(51) 3308-9425

## INTRODUÇÃO

Segundo dados da UNEP (United Nations Environment Programme) a cada ano, são gerados de 20 - 50 milhões de toneladas de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE - waste electrical and electronic equipment) em todo o mundo. Somente no Brasil, são descartadas cerca de 500 mil toneladas de sucata eletrônica por ano (UNEP, 2005).

As sucatas eletrônicas são formadas por aparelhos eletrônicos como baterias recarregáveis ou não, celulares, placas de circuito impresso (placa mãe, de rede, de modem e de vídeo) presentes em computadores, além de monitores, impressoras, aparelhos de áudio e vídeo portáteis, etc., que chegaram ao final da sua vida útil por falhas no funcionamento ou por obsolescência tecnológica.

No início dos anos 80, um novo segmento no mercado de pilhas e baterias passou a ser estudado: o de baterias portáteis recarregáveis. A partir de então, ano após ano, surge no mercado um novo produto com melhor desempenho e menor custo. Foi assim quando começaram a ser desenvolvidas as baterias de NiCd, seguindo para as baterias de NiMH para, por fim, chegar ao desenvolvimento das baterias de íons de lítio e lítio-polímero.

A partir dos anos 90, as baterias de NiCd e de NiMH foram perdendo espaço no mercado para as baterias de íons de lítio em função de suas características. As baterias de íons de lítio apresentam maior densidade energética, baixíssima taxa de autodescarga, ausência do efeito memória, maior segurança no manuseio e toxicidade reduzida. Além disso, apresentam longos ciclos de vida e são extremamente leves, permitindo que sejam projetadas para terem massa e tamanhos reduzidos (BUSNARDO et al., 2007).

Hoje elas são utilizadas em diversos equipamentos eletrônicos tais como telefones celulares, laptops, marca-passos, mp3 players, brinquedos eletrônicos, câmeras digitais e filmadoras, dominando o segmento das baterias portáteis recarregáveis, com vendas superiores a US\$ 9,66 bilhões anuais. Ademais, além das aplicações anteriores, projeta-se sua

utilização em larga escala em veículos elétricos, menos agressivos ao meio-ambiente, podendo elevar o comércio de baterias ao patamar de US\$ 23 bilhões por ano em 2020 (YASU, 2009).

Outro mercado em franca expansão é o mercado de aparelhos de telefones celulares. Segundo dados da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) no Brasil existem atualmente mais de 154 de milhões aparelhos celulares em uso, no mundo este número estaria em 4 bilhões de aparelhos (ANATEL, 2009).

Estima-se que o tempo médio para troca de um aparelho celular seja de menos de dois anos, o que significa dizer que dos celulares fabricados anualmente, entre 10 e 20% entram em inatividade a cada ano, ou seja, seriam cerca de 3 mil toneladas de celulares obsoletos a caminho dos lixões e aterros sanitários (MAWAKDIYE, 2007).

Do ponto de vista toxicológico e ambiental os telefones celulares contêm um grande número de substâncias perigosas que podem poluir o ar quando queimados e o solo e a água quando lixiviados e/ou dispostos em aterros. Estas substâncias tóxicas incluem arsênio, chumbo, cádmio, cobre, níquel, entre outras presentes nas placas de circuito impresso (MOST, 2003) e (IPIM, 2003). Tanto o plástico das carcaças, quanto das PCI's são susceptíveis de conter compostos orgânicos de bromo, utilizados como retardadores de chama, além de outros componentes que podem representar ameaça devido a formação de dioxinas e furanos gerados durante a queima sem controle de gases (WU et al, 2008).

Da mesma forma, a evolução dos computadores, a integralização de pessoas em rede diminuindo o espaço físico, a constituição de sistemas inteligentes, telecomunicações por satélite, dentre outras especializações na área de tecnologia da informação, proporcionam maior flexibilidade na atuação pessoal e profissional dos indivíduos. A informática oferece subsídio as demais áreas na aquisição de conhecimento, proporcionando cada vez mais agilidade na execução de tarefas necessárias à vivência do homem. A utilização inconsciente da tecnologia pode gerar várias consequências, sendo uma delas, a poluição eletrônica que, com seus

componentes químicos causa poluição no meio ambiente e danos à saúde (MARTINS, 2008).

Das partes que constituem um computador, a que menos atrai interesse para a reciclagem é o monitor devido a sua grande quantidade de componentes, entre eles substâncias consideradas perigosas como por exemplo o chumbo e o bário (RIBEIRO, 2008). A substituição de monitores CRT por monitores LCD têm provocado um rápido aumento na quantidade de peças descartadas. Segundo estudos da ONU, a geração de lixo eletrônico deve alcançar patamares de até 500 % superiores aos patamares de 2007 em países como a Índia e a China até 2020.

Além da quantidade de resíduos gerados outros fatores que devem ser levados em conta e que tornam a reciclagem uma solução viável e eficaz são a possibilidade de inibir a contaminação do meio ambiente com substâncias perigosas contidas nas sucatas (metais pesados) e a possibilidade de recuperação de metais de interesse econômico como cobre, estanho, prata e ouro (PETRANIKOVA, 2009).

Este trabalho teve por finalidade caracterizar as sucatas eletrônicas provenientes de baterias de íons de lítio, aparelhos de telefones celulares e monitores de tubos de raios catódicos a fim de verificar os materiais presentes nestes resíduos, obtendo assim um maior conhecimento dos WEEE's (waste electrical and electronic equipment).

## EXPERIMENTAL

### Caracterização dos eletrodos das baterias de íons de lítio

Para caracterizar os componentes presentes nas baterias de íons de lítio, as baterias esgotadas de íons de lítio selecionadas foram abertas manualmente e tiveram seus componentes separados, classificados e devidamente pesados. A abertura e a separação dos componentes foram realizadas conforme técnicas já descritas (DORELLA & MANSUR, 2005; MANTUANO et al., 2006).

Para a caracterização dos materiais do cátodo e do ânodo, foram realizadas

análises qualitativas através da difração de raios-X (PHILIPS), num intervalo de  $5^\circ < 2\theta < 100^\circ$ , a fim de identificar seus constituintes.

#### Caracterização da fração polimérica dos aparelhos de telefones celulares

Os aparelhos de telefones celulares utilizados neste trabalho foram coletados em lojas de assistência técnica e, previamente,

separados por marcas e modelos. Depois foram desmontados manualmente e separados em unidades básicas, para posterior caracterização e estudo a fim de verificar a melhor maneira de serem recuperadas. Inicialmente foi realizada a caracterização das unidades que continham materiais poliméricos (carcaças externas e placas de circuito impresso).

No trabalho com as carcaças

poliméricas o primeiro passo foi separar os aparelhos que traziam de fábrica a identificação do tipo de material (Figura 1), conforme os símbolos padronizados (NBR 13230), dos que não possuíam identificação alguma. Nos casos em que o tipo de polímero não vinha especificado, depois de trituradas as amostras foram separadas por diferença de densidade utilizando etanol e cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>).

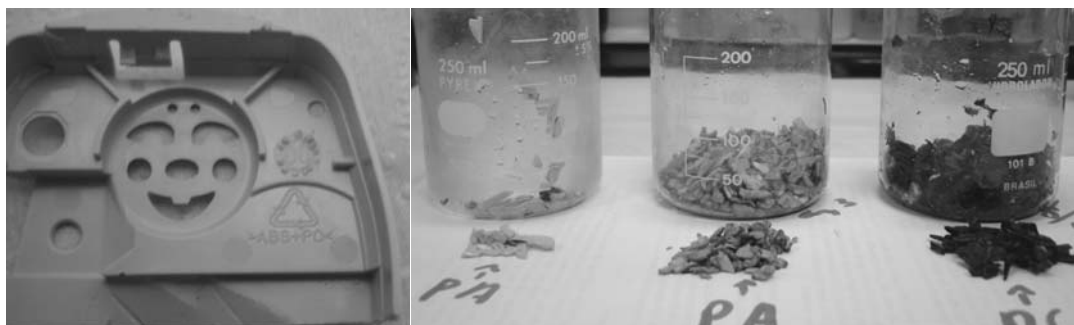


Figura 1 - Métodos de Identificação e separação das carcaças

Foram utilizados ainda para caracterizar as carcaças dos aparelhos de telefone celulares os ensaios de DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial), utilizando o equipamento TA Instruments modelo DSC P20, e o ensaio de TGA (análise termogravimétrica), utilizando o equipamento TA Instruments modelo TGA 2050.

A identificação da fração polimérica das Placas de Circuito Impresso foi realizada por espectroscopia no infravermelho (FTIR), utilizando o espectrômetro marca Perkin Elmer modelo Spectrom 1000.

#### Caracterização de Monitores de Tubos de Raios Catódicos (CRT)

Para a caracterização dos monitores, os mesmos foram desmontados manualmente e tiveram seus componentes separados e pesados individualmente. O grande foco inicial deste trabalho está na caracterização do tubo de raios (CRT) para posterior análise de viabilidade de rotas para sua reciclagem em circuito aberto (aproveitamento dos materiais de outra forma que não seja monitor novamente).

Para caracterização do CRT foi utilizada espectrometria de Fluorescência de Raios X, equipamento Axios Advanced da

marca PANalytical.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Baterias recarregáveis de íons de lítio

#### Caracterização através da abertura manual

Após a abertura das baterias (4 modelos diferentes), os componentes foram separados e classificados como: carcaça externa, blindagem metálica, conectores, polímeros, eletrodo positivo (pó e folha de alumínio), eletrodo negativo (pó e folha de cobre) e eletrólito, como pode se visto na figura 2.



Figura 2 - Componentes externos e internos que constituem as baterias de íons de lítio

Foi considerado carcaça externa a proteção plástica (modelo 4) e os adesivos (modelos 1, 2 e 3) que protegem a blindagem metálica e as extremidades plásticas das baterias. As fitas adesivas presentes no interior das baterias, coladas nos eletrodos, foram chamadas de polímeros. Como conectores, foram consideradas as PCI's, recobertas pelas extremidades plásticas das baterias, e os filetes metálicos transportadores de carga, que ligam o interior das baterias às PCI's.

Durante a serragem e separação dos componentes internos, foi possível observar a volatilização de parte do eletrólito. Após removida a blindagem metálica, o cátodo foi submetido a uma raspagem para a separação do pó (material ativo) do seu coletor de carga (folha de alumínio). Da mesma forma, o ânodo teve seu pó separado do seu coletor

de carga (folha de cobre).

Feita a separação de todos os componentes, eles foram colocados em estufa a 80°C durante 24 horas para a eliminação dos componentes voláteis que constituem o eletrólito. Em seguida, fez-se a pesagem de todos os componentes como mostra a Tabela 2.

Os resultados obtidos na Tabela 1 mostram que a massa dos eletrodos varia de 52% m/m para o modelo 4 até 61% m/m das baterias esgotadas de íons de lítio para o modelo 3. Para todas as baterias é possível separar facilmente cada um dos constituintes que formam os eletrodos. A carcaça externa é encontrada apenas em um dos modelos de baterias estudado (Modelo 4) e representa 10,8% m/m da bateria, ratificando BUSNARDO et al. (2007). Os outros modelos de baterias (1, 2 e 3) estudados apresentam

apenas um adesivo e extremidades poliméricas como revestimento externo, que representam, em média, 5% m/m. A substituição das carcaças externas por adesivos confere proteção semelhante à blindagem metálica contra corrosão e reduz custos, uma vez que o consumo de material para sua produção torna-se menor. Além disso, essa substituição reduz o volume da bateria, o que permite que novos designs de celulares, menores e mais leves, sejam desenvolvidos. O valor encontrado para a carcaça plástica do modelo 4 é menor que o valor citado em outros trabalhos. Em compensação, a carcaça metálica apresenta valores maiores que os apresentados em estudos anteriores (BUSNARDO et al., 2007; DEWULF et al., 2009), variando de 15 - 18% m/m das baterias.

Tabela 1 - Componentes presentes nas baterias de íons de lítio

Modelo	%(m/m)			
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4
Case Externo	5,28	4,23	4,84	10,84
Case Metálico	16,40	15,93	18,78	15,33
Conectores	3,09	7,29	2,98	4,55
Polímeros	0,58	0,66	0,66	1,19
Separador	2,73	2,88	3,83	3,26
Anodo	Mat. Ativo	17,41	15,05	20,41
	Cu	6,57	8,24	8,25
Cátodo	Mat. Ativo	32,61	29,31	28,84
	Al	3,79	3,64	3,64
Perdas	11,54	12,77	7,78	12,04

A fração mássica correspondente ao material ativo das baterias (ânodo, cátodo e eletrólito) varia de 65% a 72%. As folhas de cobre e alumínio, que possuem alto grau de pureza e são facilmente separadas dos outros componentes por processos mecânicos, representam, em média, 7,3% m/m e 3,6% m/m das baterias, respectivamente. O material ativo do cátodo, que contém lítio e cobalto, representa, em média, 30% da massa total da bateria e o pó do ânodo, 18%. Os separadores, por sua vez, compõem 3,2% m/m em média. Os valores encontrados para a

massa ativa do ânodo, composta por carbono, massa ativa do cátodo, folhas de cobre e de alumínio e blindagem metálica também estão dentro da faixa de valores relatados (BUSNARDO et al., 2007; SHIN et al., 2005; SHIN et al., 2005; LEE & RHEE, 2003; XU et al., 2008; DEWULF et al., 2009, PAULINO et al., 2008). No processo de separação dos componentes, foi observada uma perda de 12%, em média, com exceção do modelo 3, que apresentou perda de 7% m/m. A grande perda ocasionada nesse processo se deve, principalmente à volatilização do eletrólito, composto por

solventes orgânicos, gases resultantes das reações internas e aditivos (estabilizadores e retardantes de chama), como é explicado por VAN SHALKWIJK & SCROSATI, 2002.

#### Caracterização dos eletrodos por análises qualitativas

Os resultados para as análises de XRD são mostrados nas Figuras 3 e Figura 4. Conforme a Figura 3, todas as baterias são compostas pelo mesmo material ativo. Apesar de haver várias opções para a fabricação dos cátodos dessas baterias

(LiNiO<sub>2</sub>, LiNi<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>2</sub>, LiFePO<sub>4</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) todas elas apresentaram como material ativo o LiCoO<sub>2</sub>.

Já no difratograma do ânodo, mostrado na Figura 4, percebe-se a predominância de carbono em sua composição, ratificando estudos anteriores (DORELLA & MANSUR, 2005; LEE & RHEE, 2002 - 2003; XU et al., 2008; DEWULF et al., 2009). Outros picos, no entanto, também foram encontrados. Dentre eles, pode-se citar um pico de LiCoO<sub>2</sub>, resultado da contaminação do ânodo pelo material ativo do eletrodo positivo. Essa contaminação está

presente em todos os modelos estudados, mas fica mais evidente na bateria 3 cujo pico é mais saliente. Os picos referentes ao LiF são resultado das reações que envolvem o sal de lítio no interior das baterias (KAWAMURA et al., 2006; ZHANG, 2006). Esse sal sofre, primeiramente, redução nos primeiros ciclos de carga e descarga de uma bateria. Posteriormente, os produtos dessa redução reagem com os solventes orgânicos e com água para a formação de LiF.

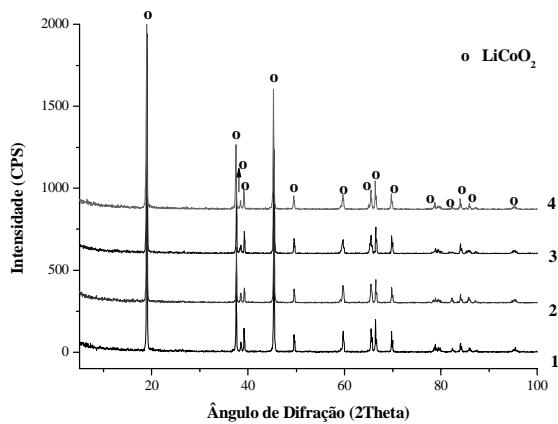


Figura 3 - Difratograma dos eletrodos positivos das baterias de íons de lítio

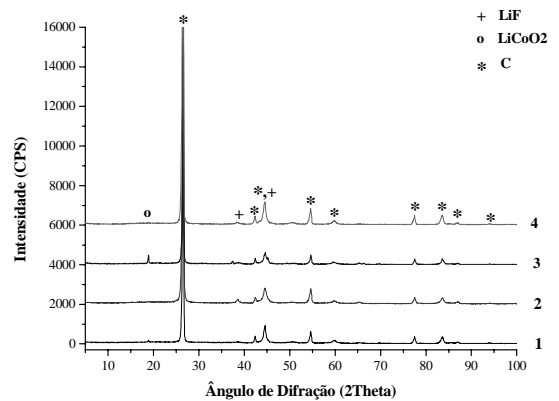


Figura 4 - Difratograma dos eletrodos negativos das baterias de íons de lítio

#### Aparelhos de Telefones Celulares

Depois da desmontagem as unidades básicas foram pesadas para que se pudesse calcular os percentuais de cada unidade. Como unidades básicas foram consideradas a carcaça polimérica, a Placa de Circuito Impresso e outros acessórios (parafusos, antenas, etc).

#### Caracterização das Carcaças Poliméricas

Através da inspeção visual das carcaças poliméricas foi possível verificar que a grande maioria das mesmas eram constituídas por um mistura de PC + ABS (Policarbonato + Acrilonitrila Butadieno Estireno), que são materiais facilmente recicláveis. Enquanto que algumas não possuíam símbolo de identificação do material e que foram identificadas e separadas por diferença de densidade, eram constituídas por PA (Poliamida) ou PA+ fibra de vidro.

Conforme observado no ensaio de DSC (Figura 5) a T<sub>g</sub> (temperatura de transição

vítrea) da Blenda de >PC+ABS< ficou em torno de 135°C, portanto, uma temperatura intermediária entre a T<sub>g</sub> do PC (Policarbonato) que é de 149°C, e a do ABS

(Acrilonitrila Butadieno Estireno) que é de 100°C. A observação de uma única T<sub>g</sub> demonstra alto grau de homogeneidade da mistura.

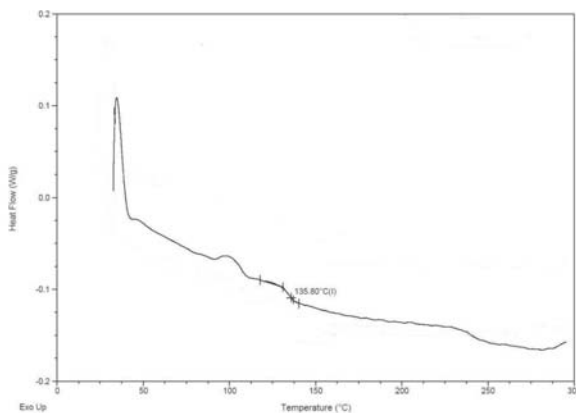


Figura 5 - Curva de DSC

Analisando a curva obtida no ensaio de TGA (Figura 6) foi possível observar que na temperatura de 250°C começa a degradação do polímero e que na temperatura de 435°C ocorre uma perda elevada de massa. Pode-se observar ainda um residual de aproximadamente 7%, que deve estar relacionado à adição de carga mineral ao polímero.

A partir dos ensaios de DSC e TGA foi possível obter a faixa de temperatura na qual é possível a extrusão e/ou injeção das carcaças poliméricas (PC/ABS), permitindo a reciclagem destes

materiais, uma vez que a temperatura de processamento do PC puro é de 250-300°C, enquanto que o ABS puro fica entre 167-260°C.

Desta forma, o reprocessamento deve ocorrer em um intervalo de temperatura em que o Policarbonato pode ser processado, sem que haja degradação do ABS. Assim, foi determinado que a temperatura de processamento do material deve ficar em torno de 200-230°C.

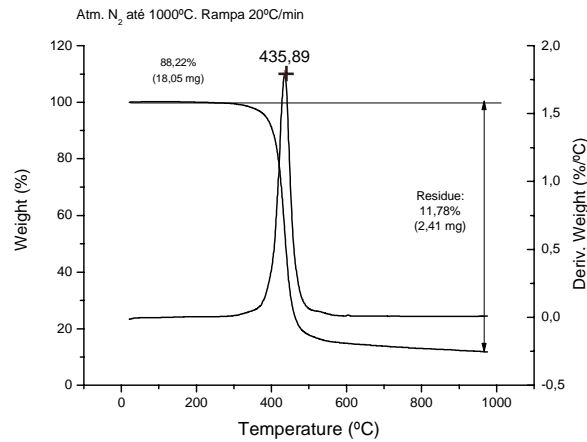


Figura 6 - Curvas de TGA

#### Caracterização da Fração Polimérica das PCI's

A caracterização do material polimérico presente nas Placas de Circuito Impresso foi realizada através de ensaios de espectroscopia de infravermelho.

Pelos resultados destes ensaios foi possível verificar, através da observação dos picos característicos em 870, 950 e 1250 cm<sup>-1</sup>

(Figura 7) que a base das PCI's é constituída por Epóxi. Já os componentes que envolvem os circuitos eletrônicos são de Poliéster, conforme evidenciado pela observação dos picos característicos em 1101, 1245 e 1715 cm<sup>-1</sup> (Figura 8).

Como as resinas Epóxi e Poliéster são materiais termofixos e, portanto não podem ser recicladas, a alternativa seria utilizar este material como carga na reciclagem das carcaças.

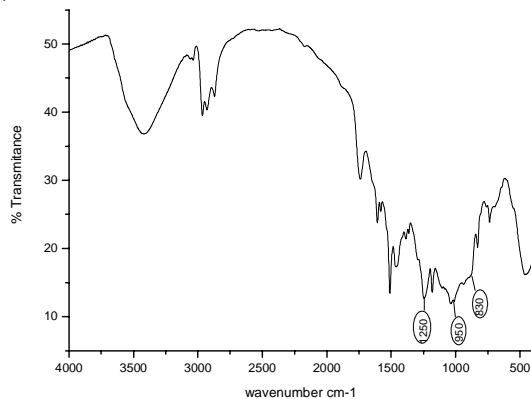


Figura 7: Espectro de infravermelho da base das PCI's

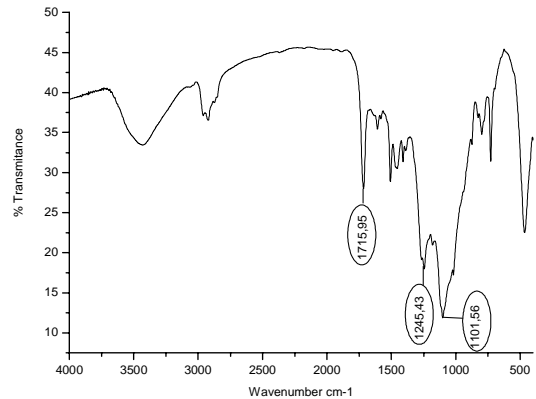


Figura 8 - Espectro de infravermelho dos componentes das PCI's

## Monitores de Tubos de Raios Catódicos (CRT)

Após a desmontagem manual, os

componentes foram separados e classificados da seguinte forma: Carcaça externa polimérica, placas de circuito impresso, tubo de raios catódicos e fios/componentes

menores (Figura 9). A tabela 2 mostra a massa do monitor completo e de cada um dos principais componentes do mesmo.

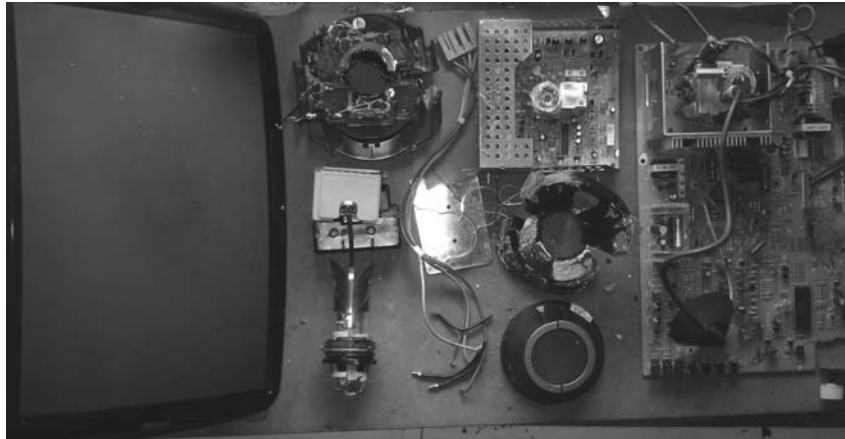


Figura 9 - Componentes encontrados nos monitores CRT

Tabela 2 - Massa dos principais componentes de um monitor

Componente	Massa (Kg)	%
<b>Monitor completo</b>	12,00	100,00
<b>Carcaça externa polimérica</b>	2,40	20,00
<b>Placas de circuito impresso</b>	0,95	8,00
<b>Tubo de raios catódicos</b>	7,10	59,00
<b>Fios/componentes menores</b>	1,55	13,00

## Tubos de Raios Catódicos

Como pôde ser visto na tabela acima, praticamente sessenta por cento da massa de um monitor de computador está no tubo de raios catódicos, deste noventa por cento do seu peso é constituído por vidro, logo o vidro do CRT terá um destaque especial nesta etapa.

As principais propriedades exigidas para vidros de CRT são absorção de raios-X, resistividade elétrica e uma expansão térmica adequada para as peças de vidro, metal e vedação. Alta transmissão de luz também é importante para o vidro do painel para exibir imagens claras. Além disso, é essencial que a transmissão luminosa não seja deteriorada

pelos feixes de elétrons ou raios-X. Diferentes tipos de vidros para cada parte tubo de raios catódicos são usadas de acordo com suas especificações técnicas (ANDREOLA, 2006):

1. Tela do painel (a parte da frente): Óxido de Bário muito homogêneo e óxido de estrôncio estão presentes neste vidro cujo peso é cerca de dois terço de todo CRT;

2. Funil (a parte escondida dentro do aparelho de TV): um vidro de chumbo, cujo peso é de cerca de um terço de todo o CRT;

3. Pescoço: um vidro com um teor de chumbo muito alto envolvendo o canhão de elétrons;

4. Fritas (junção entre o painel e o funil): um vidro de chumbo de baixa

temperatura de fusão.

Segundo MENAD (1998), cada monitor de CRT e TV contém entre 0,6 Kg e 1,0 kg de chumbo, sob a forma de óxido de chumbo. Ele é usado como blindagem de radiação e para estabilizar o vidro.

Muitos outros metais estão presentes nos pigmentos usados na camada de material fluorescente interna à tela do tubo. A parte interna da tela, o funil e o pescoço contém  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{PbO}$  como principais compostos, e  $\text{SrO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  e como menores (MENAD, 1998). Outros compostos como  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  e  $\text{TiO}_2$  estão presentes em quantidades traço como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 - Composição química de um CRT por espectrometria de fluorescência de raios X.

Óxido	Amostra		
	Painel (wt%)	Funil (wt%)	Pescoço (wt%)
<b>SiO<sub>2</sub></b>	66,50	59,30	56,20
<b>PbO</b>	0,03	19,60	22,10
<b>K<sub>2</sub>O</b>	6,65	6,98	6,69
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	7,38	5,78	5,55
<b>CaO</b>	1,57	3,40	3,28
<b>BaO</b>	6,25	nd	0,17
<b>SrO</b>	6,79	0,06	0,08
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,79	1,77	1,79
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,38	0,83	1,39
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	1,49	0,03	0,02
<b>Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0,01	0,01	0,02
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,42	0,03	0,15

## CONCLUSÕES

De acordo com a classificação e pesagem dos diversos componentes das baterias de íons de lítio, os eletrodos e o eletrólito, que representam a massa ativa das baterias, somam mais de 50% da sua massa total. Esse material, com exceção do eletrólito, pode ser facilmente recuperado e encaminhado para a reciclagem, assim como alguns componentes externos (carcaça polimérica e blindagem metálica). O separador, que serve como suporte para o eletrólito, pode ser reciclado juntamente com a carcaça plástica, aumentando a quantidade de material passível de reciclagem para, aproximadamente, 80% da massa total das baterias.

Da caracterização dos eletrodos, foi possível observar que os eletrodos das baterias são compostos por lítio e cobalto (cátodo) e carbono (ânodo). O lítio e cobalto, principais componentes das baterias de íons de lítio, estão presentes na forma de um óxido (LiCoO<sub>2</sub>) e constituem cerca de 30% do peso total das baterias de íons de lítio. As análises do eletrodo negativo mostraram que ele é constituído basicamente por carbono. O cobre e o alumínio, juntos, somam cerca de 10% em relação à massa total das baterias.

A partir das análises realizadas nas carcaças dos telefones celulares foi possível verificar que todas eram compostas por polímeros termoplásticos, sendo a maioria composta por blendas de PC/ABS, ou, seja passíveis de serem recicladas. Já a fração polimérica das placas de circuito impresso (PCIs) é composta Poliéster, passível de reciclagem, e por Epóxi, polímero termofixo não reciclável, que poderiam ser utilizados como cargas na reciclagem dos polímeros das carcaças dos celulares.

Monitores de computador e televisores que contenham tubos de raios catódicos são realmente equipamentos que, devido principalmente a presença de chumbo, têm a sua reciclagem dificultada. Porém com tecnologias de ponta e com leis que incentivem a reciclagem destes aparelhos é possível ser realizada a reciclagem em circuito aberto dos tubos de raios catódicos, sendo possível o reaproveitamento dos vidros para fabricação desde fibras de vidro, fabricação de cristais, até a utilização como vitrificante para fabricação de cerâmicos entre outras aplicações. As partes poliméricas e metálicas dos monitores são mais facilmente reaproveitadas, já sendo conhecidas as tecnologias necessárias para este

reaproveitamento.

A criação de um método eficaz de reciclagem de tubos de raios catódicos torna-se fundamental para contribuição com o meio-ambiente, evitando que metais prejudiciais, como chumbo, cádmio e estrôncio venham a ser dispostos na natureza prejudicando o solo onde os mesmos venham a ser depositados, rios, e lençóis freáticos.

A partir da caracterização das baterias de íons de lítio, telefones celulares e de monitores (CRT) pôde-se perceber que a maior parte dos componentes presentes nestes equipamentos correspondem a polímeros, vidro e a metais. A reutilização desses materiais, além de gerar economia para as indústrias através da redução dos custos de produção a partir de materiais recicláveis, preserva o meio ambiente, impedindo que essa classe de resíduos seja enviada para aterros sanitários e provoque contaminação do solo e da água.

## Agradecimentos

*Os autores gostariam de agradecer a  
CAPES CNPq FAPERGS*



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 13230: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.

ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal>. Acesso em: Abril de 2009.

ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, T. **CRT glass state of the art. A case study: Recycling in ceramic glazes**, Journal of the European Ceramic Society 27 ano 2007. p 1623-1629.

BUSNARDO, N. G.; PAULINO, J. F.; AFONSO, J. C. Recuperação de Cobalto e de Lítio de baterias íon-lítio usadas. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v.30, n.4, 995-1000, 2007.

DEWULF, J.; VAN DER VORST, G.; DENTURCK, K.; VAN LANGENHOVE, H.; GHYOOT, W.; TYTGAT, J.; VANDEPUTTE, K. Recycling rechargeable lithium ion batteries: Critical analysis of natural resource savings, **Resources, Conservation and Recycling**, v.54, n.4, 229-234, 2010.

DORELLA, G.; MANSUR, M.B. J. A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues. **Journal of Power Sources**, Belo Horizonte, v.170, n.1, 210-215, 2007.

ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK - Engineering Plastics Handbook: ASM Publication, 1983, Vol 2.

GUO, J.; GUO, J.; CAO, B.; TANG, Y.; XU, Z. Manufacturing process of reproduction plate by nonmetallic materials reclaimed from pulverized printed circuit boards. **Journal of Hazardous Materials**. 163. 1019 - 1025. 2009.

IPIM, Environmentally sound management: used mobile phones. International Precious

Metals Institute, **IPMI**, July 14, 2003.

KAWAMURA, T.; OKADA, S.; YAMAKI, J.; Decomposition reaction of LiPF<sub>6</sub>-based electrolytes for lithium ion cells. **Journal of Power Sources**, Kasuga, v.156, n.2, 547-554, 2006.

LEE, K. L.; RHEE, K. I. Preparation of LiCoO<sub>2</sub> from spent lithium-ion batteries. **Journal of Power Sources**, Daejeon, v.109, n.1, 17-21, 2002.

LEE, K.L.; RHEE, K. I. J. Reductive leaching of cathodic active materials from lithium ion battery wastes. **Hydrometallurgy**, Daejeon, v.68, n.1-3, 5-10, 2003.

MANTUANO, D.P.; DORELLA, G.; ELIAS, R.C.A.; MANSUR, M.B. Analysis of a hydrometallurgical route to recover base metals from spent rechargeable batteries by liquid-liquid extraction with Cyanex 272. **Journal of Power Sources**, Belo Horizonte, v.159, n.2, 510-518, 2006.

MARTINS, Juliana, **A Sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica**, Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, Vol VI, Nº3, ano 2008. P 157-170.

MAWAKDIYE, Alberto (2007) Meio Ambiente - Poluição eletrônica. **Revista da Indústria**, 129 (7), p. 50-53, jun. 2007.

MENAD, N. **Cathode ray tube recycling**, Resources, Conservation and Recycling 26 ano 1999. p 143-154.

MOST, E., Calling all cell phones: Collection, reuse and recycling programs in de US, **Inform inc.**, 2003.

PAULINO, J. F.; BUSNARDO, N. G.; AFONSO, J. C. Recovery of valuable elements from spent Li-batteries. **Journal of Hazardous Materials**, Rio de Janeiro, v.150, n.3, 843-849, 2008.

PETRANIKOVA, M.; ORAC, D.; MISKUFOVA, A.; HAVLIK, T.. Hydrometallurgical Treatment of

Printed Circuit Boards from used Computers after Pyrolytic Treatment. **Anais: European metallurgical Conference**, 2009.

RIBEIRO, A. Matheus. **Perigo do Lixo Tecnológico**, Jornal diário da Manhã, 19 maio 2008.

SHIN, S.M.; KIM, N.H.; SOHN, J.S.; YANG, D.H.; YOUNG, H.K. Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes. **Hydrometallurgy**, Taejeon, v.79, n.3-4, 172-181, 2005.

UNEP, **Citação de referências e documentos eletrônicos**. E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use, Environment Alert Bulletin, <http://www.grid.unep.ch/product/publication/EABs.php>, 2005

WU, B. Y.; CHAN, Y. C.; MIDDENDORF, A.; GU, X.; ZHONG, H.W. Assesment of toxicity potential of metallic elements in discarded electronics: A case study of mobile phones in China. **Journal of Environmental Science**. 1403 -1408. 2008.

XU, J.; THOMAS, H. R.; FRANCIS, R. W.; LUM, K. R.; WANG, J.; LIANG, B. A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. **Journal of Power Sources**, v.177, n.2, 512 - 527, 2008. YASU, M.; Businessweek. Sanyo Wins First Lithium-Ion Car Battery Customers. Disponível em [http://www.businessweek.com/globalbiz/content/dec2009/gb2009122\\_165889.htm](http://www.businessweek.com/globalbiz/content/dec2009/gb2009122_165889.htm). Acesso em 09 fev. 2010.

ZHANG, S. S., A review on electrolyte additives for lithium-ion batteries. **Journal of Power Sources**, v.162, n.2, 1379-1394, 2006.