



## Reciclagem mecânica de monitores de computadores de tubos de raios catódicos.

**Adjanara P. Gabriel<sup>(1)</sup>; Guilherme L. Feron<sup>(1)</sup>;**  
**Ruth M. C. Santana<sup>(1)</sup>; Hugo M. Veit<sup>(1)</sup>**

<sup>1</sup> Escola de Engenharia - Departamento de Materiais - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M – UFRGS, Porto Alegre – RS – Brasil (dijapg@hotmail.com)

### Resumo

Os monitores do tipo CRT (tubos de raios catódicos), também conhecidos como cinescópios, são compostos por materiais poliméricos, metálicos e cerâmicos, entre os quais encontram-se materiais com valor econômico e por outro lado, alguns materiais tóxicos. A substituição muito rápida da tecnologia CRT pelas novas tecnologias LCD, LED e Plasma tem gerado uma quantidade muito grande de resíduos aliado a um passivo muito grande pela utilização desta tecnologia ao longo do tempo em televisores e monitores. Visando caracterizar a parte polimérica desses monitores foram coletados monitores de diferentes marcas, ano, tamanho e cor, danificados ou obsoletos. Inicialmente foram realizados ensaios a fim de identificar o tipo de polímero utilizado na produção das carcaças. Na sequencia as carcaças foram recicladas mecanicamente e os corpos de provas foram avaliados fisicamente e mecanicamente. Foi possível verificar que com o passar do tempo, o monitor tipo CRT não teve uma evolução na sua estrutura, pois comparando resultados de ensaios em modelos de monitores com mais de 5 anos de diferença, notamos que o tipo de material é o mesmo. Também foi possível verificar, preliminarmente, que os corpos de prova com polímero reciclado possuem um comportamento mecânico semelhante ao polímero virgem.

Palavras-chave: Monitores CRT, caracterização, reciclagem mecânica, polímeros.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

### Abstract

*The CRT monitors (cathode ray tube), also known as kinescope are composed of polymeric, metallic and ceramic material, among which, there are materials with economic value and dangerous materials. The premature replacement of the CRT by new technology, LCD, LED and Plasma, has generated a large amount of waste combined with a very large liability due to use of this technology over time. Monitors from different brands, year, size and color, damaged or obsolete were collected in order to characterize the polymeric part of these monitors. Initially, tests were conducted to identify the type of polymer used in the production of the frame monitors. After, the frames were mechanically recycled, and the samples were evaluated physically and mechanically. It was observed that over time, the monitor type CRT had not an evolution in its structure, because comparing results of tests on recent models of monitors with older monitors (more than 5 years of production), was observed that the type of material is the same. It was also observed, preliminarily, that the samples with recycled polymer have mechanically behavior similar to the virgin polymer.*

Key words: *CRT monitors, characterization, mechanical recycling, polymers.*

Theme Area: *Solid Waste.*



## 1 Introdução

Segundo Kirner, o monitor é um dispositivo de saída do computador, cuja função é transmitir informação ao utilizador através da imagem, estimulando assim a visão. Os monitores são classificados de acordo com a tecnologia de amostragem de vídeo utilizada na formação da imagem. Atualmente, essas tecnologias são três: CRT, LCD e plasma.

CRT é um acrônimo para a expressão inglesa *cathode ray tube*, que em português significa "tubo de raios catódicos", também conhecido como Cinescópio. Na Figura 1 pode ser observado dois exemplos de monitores CRT. É um monitor cuja tela é repetidamente atingida por um feixe de elétrons, que atuam no material fosforescente que a reveste, assim formando as imagens. Foi inventado por Karl Ferdinand Braun no ano de 1897, sua tela era a mesma para monitores de PC, Televisores (cinescópios de deflexão eletromagnética) e Osciloscópios (cinescópios de deflexão eletrostática). (KIRNER, 2004).

Figura 1: Monitores tipo CRT. (a) modelo atual. (b) modelo antigo



(a)

(b)

Fonte: Google Imagens.

Segundo Macauley (2002), devido a uma rápida melhoria da tecnologia na fabricação de produtos eletrônicos, o computador pessoal pode ser considerado como um produto eletrônico com curto ciclo de vida útil pois a tecnologia tem evoluído rapidamente. Isto resulta em uma grande quantidade de resíduo eletrônico. Fatores críticos na situação dos resíduos eletro-eletrônicos são a rápida obsolescência tecnológica; a redução planejada por parte dos fabricantes do tempo de vida útil dos produtos; os altos custos para a manutenção e conserto de equipamentos usados, além dos estímulos ao consumo insustentável, muito presentes em nossa sociedade que através de campanhas de marketing, associam a posse de bens à qualidade de vida e a sua substituição constante à modernidade, (RODRIGUES, 2007). Em um monitor são encontrados diversos materiais perigosos como por exemplo revestimentos de fósforo nos tubos de raios catódicos (CRT), alto teor de chumbo no vidro, capacitores contendo mercúrio e polímeros contendo retardadores de chama, normalmente a base de bromo. Esses materiais podem seriamente poluir o meio ambiente se não forem corretamente descartados. Além dos materiais perigosos, também podem ser encontrados alguns materiais valiosos como o cobre, ouro e prata presentes nas placas de circuito (MACAULEY, 2002).

A queima dos polímeros presentes neste tipo de resíduo pode gerar furanos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). A composição química do resíduo eletrônico muda com o desenvolvimento de novas tecnologias e com a pressão de organizações ambientalistas nas empresas de eletrônicos para encontrarem alternativas aos materiais prejudiciais ao meio ambiente (BRETT, 2009).



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Para Ching-Hwa (2004), um computador pessoal consiste de três unidades principais: máquina principal (CPU), monitor e teclado. Com base em um estudo na desmontagem de um monitor, pode ser visto que os mesmos consistem em diversos tipos de materiais. Após a desmontagem, os itens simples obtidos, (ou seja, peças metálicas, reservatório de plástico, etc) podem ser vendidos diretamente para um reciclador de material secundário. No entanto, alguns ítems complexos que são desmontados devem ser tratados antes que possam ser reciclados ou definitivamente eliminados.

O resíduo eletrônico descartado é composto basicamente por aparelhos eletrônicos, dos quais computadores e telefones celulares estão em abundância. Isso ocorre infelizmente por causa de sua vida útil ser muito curta. Em 2006, a produção mundial de resíduos eletrônicos foi estimada entre 20 a 50 milhões de toneladas por ano. A produção atual mundial de resíduo eletrônico é estimada entre 20 à 25 milhões de toneladas por ano, considerando que a Europa e Estados Unidos são os que mais produzem. A China, Europa Oriental e América Latina vão se tornar também grandes produtores de resíduos eletrônicos nos próximos dez anos (BRETT, 2009).

Brett, (2009) calculou que computadores, telefones celulares e aparelhos de televisão contribuiram com 5,5 milhões de toneladas para o resíduo eletrônico em operação em 2010, subindo para 9,8 milhões de toneladas em 2015. Segundo ele, o resíduo eletrônico pode constituir cerca de 8% em volume dos resíduos urbanos.

A participação dos EUA na quantidade de computadores em uso está em declínio em uma taxa quase constante, conforme podemos ver no quadro 1. Em 1980, os EUA respondiam por quase 70% de todos os computadores em uso e manteve mais da metade dos computadores em uso até 1989. Em 2000, a participação dos EUA caiu para 33% de todos os computadores em uso, com uma queda ainda maior, abaixo de 21%, projetado para 2010 (COMPUTER INDUSTRY ALMANAC, 2012).

Quadro 1: Percentual do crescimento dos computadores nos EUA e no mundo.

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
EUA								
Computadores em uso (Milhões)	3,1	22,2	51,3	90,2	184	239	294-305	345-355
5 anos de Crescimento (%)	60,2	48,6	18,3	11,9	15,3	5,3	4,2-5,0	2,5-3,8
Mundo								
Computadores em uso (Milhões)	4,8	36,0	105	238	553	945	1.430-1.480	2.020-2.070
5 anos de Crescimento (%)	64,4	49,6	23,9	17,8	18,3	11,3	8,7-9,4	6,4-7,6

Fonte: Computer Industry Almanac Inc., 2012.

O quadro 2 mostra os 15 países com mais computadores em uso até o final do ano de 2010. Os EUA têm uma vantagem grande, com mais de duas vezes o número de computadores em uso na China. O Japão ficou em segundo lugar neste ranking até 2006, quando foi para o terceiro lugar (COMPUTER INDUSTRY ALMANAC).

Quadro 2: Os 15 países que mais usam computadores (2010).

Computador em uso	Unidades (Milhões)	Porcentagens (%)
1. EUA	298,4	20,44
2. China	138,7	9,50
3. Japão	97,81	6,70
4. Alemanha	70,85	4,85



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

5. Reino Unido	54,01	3,70
6. França	51,89	3,55
7. Rússia	48,78	3,34
8. Índia	48,57	3,33
9. Itália	43,46	2,98
10. Brasil	42,80	2,93
11. Coreia do Sul	40,51	2,78
12. Canadá	31,03	2,13
13. México	25,23	1,73
14. Espanha	21,40	1,47
15. Austrália	19,36	1,33
Os 15 países	1.023	70,8
Total de todo mundo	1.460	100

Fonte: Computer Industry Almanac Inc.

A partir de todos estes dados pode-se prever a grande quantidade de resíduos gerados a cada ano com o descarte de equipamentos eletro-eletrônicos. Na Figura 2 é possível notar a quantidade de monitores acumulados para desmanche em um local na cidade de Porto Alegre.

Figura 2. Monitores descartados.



Fonte: Google Imagens.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar a reciclagem mecânica das carcaças poliméricas presentes em monitores de computador do tipo CRT a fim de verificar as propriedades mecânicas do polímero reciclado. Estas carcaças são fabricadas, em sua grande maioria, em ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e/ou HIPS (Poliestireno de Alto Impacto).



### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

## 2 Materiais e Métodos

Inicialmente foram coletados diversos monitores danificados ou obsoletos de diferentes marcas e ano de fabricação. Após essa coleta, esses monitores foram separados por marca e ano de fabricação e em seguida, pesados e desmontados manualmente para realizar a segregação dos componentes. Os monitores foram separados basicamente em três partes: tubo de raios catódicos, placas de circuito impresso e a carcaça polimérica.

A maioria das carcaças poliméricas possuía, gravado na sua estrutura, o símbolo indicando o tipo de polímero (ABS) da qual eram fabricadas. Porém, algumas carcaças não possuíam este símbolo. Desta forma, inicialmente foram realizados alguns ensaios de caracterização por Infravermelho (FTIR) para comprovar que todas as carcaças são fabricadas com o mesmo tipo de polímero.

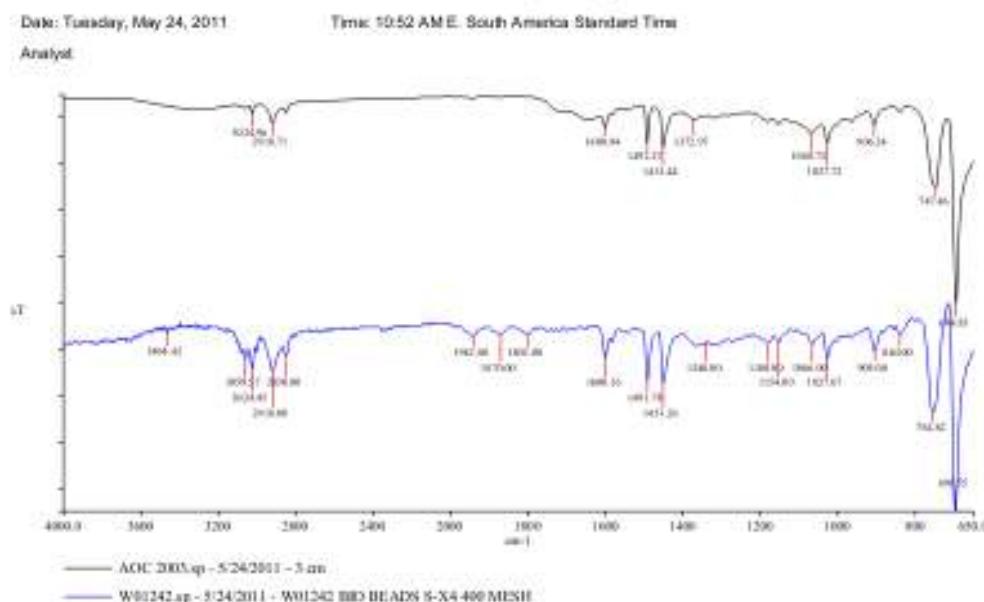
Após, as carcaças poliméricas foram moídas separadamente de acordo com marca e ano de fabricação, em um moinho de facas da marca Rone modelo SRB 2305, obtendo um polímero particulado. Na seqüência foi realizada a injeção de corpos de prova necessários para os ensaios de caracterização mecânica. A injeção foi realizada em uma injetora marca Battenfeld Plus 350.

Para a caracterização mecânica, foram considerados os ensaios de impacto. Os ensaios de impacto foram realizados de acordo com a norma ASTM D256-06 em um equipamento marca Ceast, modelo Impactor II. Foi realizado também teste para determinação da densidade do polímero pelo método de Picnometria, segundo a norma ISO 1183-1.

## 3 Resultados

Nas Figuras 3 e 4 são mostrados os espectros de FTIR das amostras analisadas comparadas com os padrões (curva em azul), onde se percebe picos em ambos os espectros. Estes espectros comprovam que as carcaças são produzidas basicamente com ABS e/ou HIPS. Desta forma, também foi possível comprovar que os materiais são semelhantes, não importando a marca.

Figura 3: Análise de FTIR em um monitor AOC (2003).

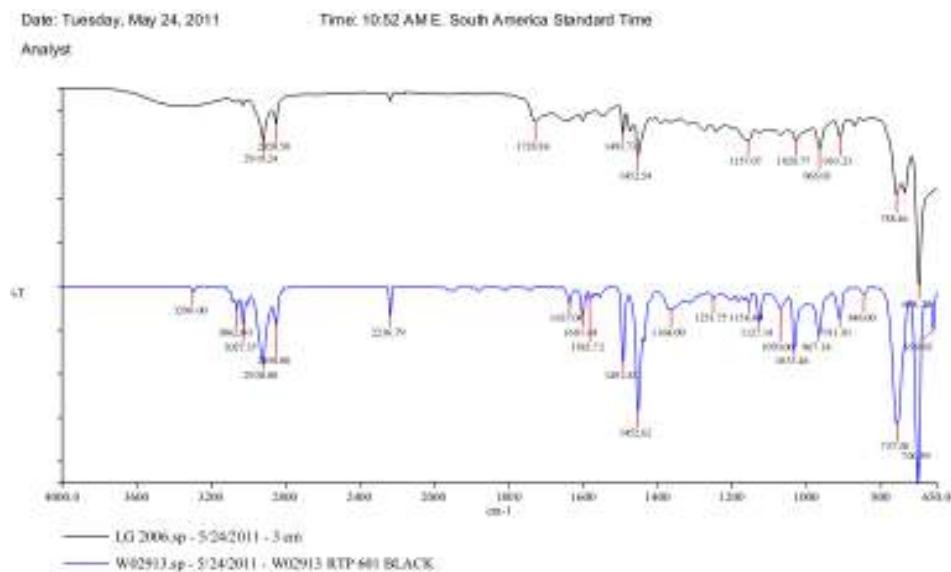




### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Figura 4: Análise de FTIR em um monitor LG (2006).



Abaixo, no quadro 3, estão apresentados os monitores coletados referentes à marca e ano de fabricação. Cada amostra foi cominuída e depois injetados corpos de prova para ensaios de impacto, tração e flexão.

Quadro 3 – Monitores coletados divididos por marca e seus respectivos anos de fabricação.

Amostra	Marca	Ano
1	AOC	1998
2	PHILIPS	2004
3	LG	1998 a 2003
4	LG	2005-2006
5	IBM	1996
6	SAMSUNG	2001-2002
7	BRAVIEW	-
8	MARKVISION	1995
9	FLATRON	2006

Com os corpos de prova injetados, o primeiro ensaio realizado foi o de Impacto. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos, onde é possível verificar que existem diferentes valores nos resultados, provavelmente devido às diferentes marcas possuírem composições de carcaças específicas com relação a cargas e aditivos. Observa-se que as amostras das marcas AOC, Braview e Flatron foram as que apresentaram menor resistência ao impacto, sendo que a última, a mais nova entre as três, indicando uma fraca resistência. Por outro lado as que

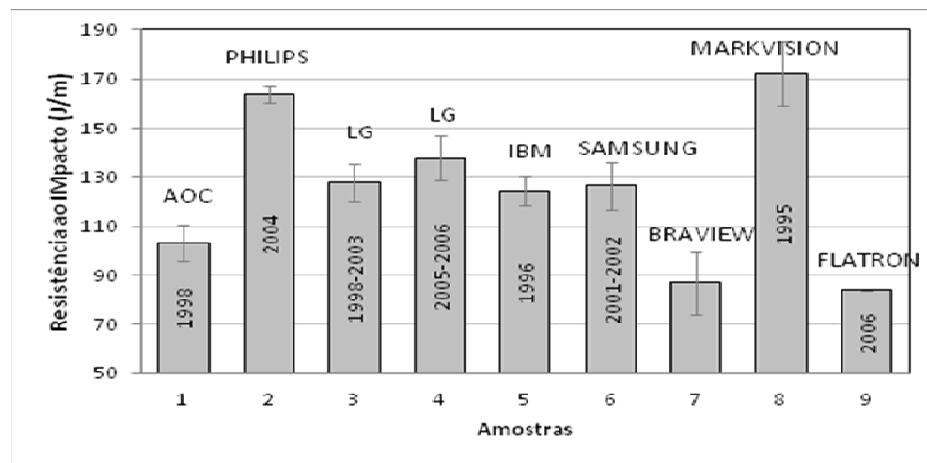


### 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

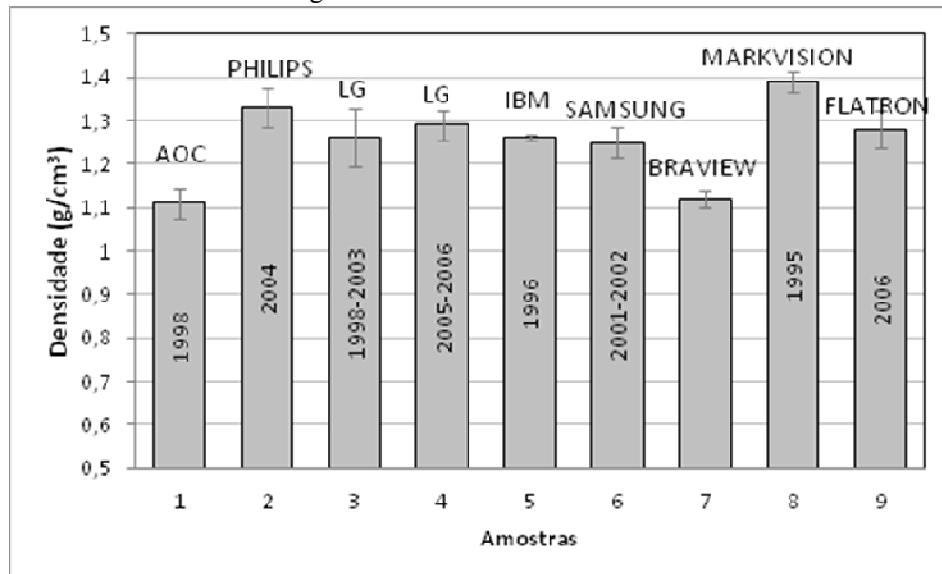
apresentaram melhores resultados foram às marcas Philips e Markvision, sendo esta última, 9 anos mais antiga do que a primeira.

Figura 5 – Resultados obtidos no ensaio de impacto – método Izod.



Na Figura 6 estão apresentados os resultados dos ensaios de densidade. Observa-se que a marca Markvision apresentou uma maior densidade e as marcas AOC e Braview obteram menor resultados. Em relação a marca específica Flatron, no ensaio de resistência ao impacto, o resultado encontrado foi baixo em relação as outras amostras. Ja no ensaio de densidade, o resultado foi melhor, o que se dá devido a carga colocada para formulação do material.

Figura 6: Resultados de densidade



## 4 Conclusões

A partir da realização dos ensaios de Infravermelho, foi possível analisar as estruturas presentes no material. Os picos presentes nos espectros de FTIR levaram a conclusão que os



## 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

materiais presentes são ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) e HIPS (poliestireno de alto impacto).

O ensaio de impacto indicou que existem diferentes resultados obtidos com valores variáveis. Essa variação dos valores ocorre devido as diferentes marcas possuírem composições de carcaças específicas com relação a cargas e aditivos.

A sequência deste trabalho envolve a realização de uma avaliação completa das propriedades mecânicas das amostras pelos ensaios de tração e flexão.

### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

### Referências

BRETT H. R., **E-waste: An assessment of global production and environmental impacts**, Science of the Total Environment, 408 (2009) 183 – 191.

CHING-HWA L., CHANG-TANG C., KUO-SHUH F., TIEN-CHIN C., **An overview of recycling and treatment of scrap computers**, Journal of Hazardous Materials B114 (2004) 93–100.

Computer INDUSTRY ALMANAC, disponível em [www.c-i-a.com](http://www.c-i-a.com). Acessado em 10/01/2012.

KIRNER NP, TROYER GL, JONES RA, GRAY EW JR: **Radioactivity in cathode ray tubes**. *Health Phys*; 2004.

MACAULEY, M., PALMER K., SHIH J. S., **Dealing with electronic waste: modeling the costs and environmental benefits of computer monitor disposal**, Journal of Environmental Management, 68 (2003) 13–22.

RODRIGUES, Ângela Cássia. Impactos sócio ambientais dos resíduos de equipamentos eletro e eletrônicos: estudo da cadeia pós consumo no Brasil. Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), Santa Bárbara do Oeste, SP, 2007.