

## USO DE PARTÍCULAS DE VIDRO PROVENIENTES DA RECUPERAÇÃO DOS COMPONENTES DE TELAS DE LCD COMO CARGA PARA POLIAMIDA-6

N. Massaro, D. Morais, S. M. Toffoli, T. S. Valera  
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
Escola Politécnica – Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Mello Moraes, 2463, Cidade Universitária  
05508-900 São Paulo, SP, Brasil  
ticiane.valera@poli.usp.br

### RESUMO

*Vidro proveniente de telas de monitores de LCD para computadores foi recuperado, moído e utilizado como carga em matriz polimérica de Poliamida-6 (PA-6). Os compósitos contêm 10% em massa de partículas de vidro. Duas granulometrias foram testadas: partículas de vidro menores que 106  $\mu\text{m}$  (peneira ABNT#150) e menores do que 53  $\mu\text{m}$  (ABNT#270). As cargas foram avaliadas por perda ao fogo e os compósitos por ensaios de resistência à tração e ao impacto Izod sem entalhe. A morfologia foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados do ensaio de resistência à tração da PA-6 pura e dos compósitos indicam aumento no valor do módulo de elasticidade para o compósito processado com partículas de vidro menores que 53  $\mu\text{m}$ , quando comparado ao da PA-6. As propriedades de resistência à tração, resistência ao impacto e alongamento da PA-6 sofreram redução com a adição de carga, sendo que o compósito contendo partículas menores do que 53  $\mu\text{m}$  foi o que apresentou a menor perda em propriedades (cerca de 6% em resistência tração e 48% em resistência ao impacto). A morfologia das superfícies de fratura de corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à tração mostrou baixa adesão partícula/matriz. As partículas de vidro estão bem distribuídas ao longo da fase matriz, principalmente no compósito com partícula de vidro mais fina.*

Palavras-chave: vidro particulado, LCD, compósito

## INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico tem promovido o descarte de equipamentos eletrônicos. Equipamentos que contêm telas de LCD (*Liquid Crystal Display*), tão atraentes aos consumidores, estão em constante aperfeiçoamento e as novas tecnologias e designs impressos aos mesmos, implicam na substituição dos equipamentos mais antigos por novos, fato que vem aumentando seu descarte <sup>(1)</sup>. Os aparelhos são substituídos ainda no período de vida útil, de 3 a 5 anos para notebooks e de 8 a 10 para monitores de televisão e computadores, por modelos mais novos e atrativos. Em 2012, as vendas de produtos que contêm LCD ultrapassaram o faturamento de 80 bilhões de dólares <sup>(2-3-4)</sup>.

Uma das formas mais comuns de descarte destes equipamentos é o aterro sanitário, seguida da incineração <sup>(1-2-5)</sup>. Esta prática, além de contribuir para a saturação dos aterros contamina o ambiente, pois os eletroeletrônicos em geral apresentam em sua composição elementos nocivos à saúde e ao meio ambiente, tais como metais contaminantes (chumbo, arsênio, cádmio e mercúrio) e retardantes de chama bromados <sup>(6-7)</sup>. Além da contaminação, há perda de materiais que podem ser recuperados e reaproveitados, como o vidro, o cobre, o ouro, a prata, entre outros <sup>(8)</sup>.

O vidro presente no painel de LCD apresenta-se sob a forma de duas placas delgadas que protegem o cristal líquido, formando uma estrutura sanduíche. Filme de ITO (*Indium tin oxide*) faz o contato entre o cristal líquido e as folhas de vidro. Filmes poliméricos multicamada, polarizadores de luz, são aderidos à superfície externa (superfície que não está em contato com o cristal líquido) das duas placas de vidro. Esses filmes são constituídos principalmente por triacetato de celulose e poli(vinil álcool) <sup>(2, 3, 9, 10)</sup>.

O presente trabalho tem como objetivo recuperar o vidro presente nas telas de LCD empregando-o como partícula de reforço para matriz de poliamida-6 (PA-6) e avaliar o desempenho mecânico dos compósitos obtidos.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### Cominuição das telas de LCD

Vinte monitores de LCD para computador, de 22 polegadas, provenientes de descarte de um único fabricante, foram desmontados e as telas de LCD foram removidas. O sanduíche formado por placas de vidro, filme de LCD e filmes polarizadores foi quebrado manualmente e moído em moinho de facas. A Figura 1 apresenta a fotografia do moinho de facas utilizado para triturar as telas. As partículas de vidro, após o processo de moagem, foram submetidas ao peneiramento, utilizando-se peneiras padronizadas. O material obtido foi classificado por tamanho, utilizando uma seqüência de peneiras (peneiras padrão ABNT): malhas 150 (tamanho de partícula inferior a 106  $\mu\text{m}$ ) e 270 (tamanho de partícula inferior a 53  $\mu\text{m}$ ).



Figura 1-Moinho de facas

### Obtenção dos compósitos

Para a confecção dos compósitos foi utilizado a Poliamida – 6 MAZMID B260 Natural fornecida pela Mazzaferro Tecnopolímeros Ltda e 10 % em massa do vidro particulado, nas duas granulometrias propostas. As amostras foram denominadas de: PA-6/ vidro 150 (com partículas de vidro menores do que 106  $\mu\text{m}$ ) e PA-6/ vidro 270 (com partículas de vidro menores do que 53  $\mu\text{m}$ ).

As misturas foram obtidas em extrusora de dupla rosca Haake, modelo Rheomex PTW16, acoplada ao Reômetro de Torque - Polylab 900. O perfil de

temperatura ao longo da extrusora variou de 240 a 250°C, com velocidade de rotação da rosca de 100 rpm.

As amostras para testes mecânicos de resistência à tração e ao impacto foram moldadas por injeção, utilizando-se a máquina injetora Demag Ergotech, que possui diâmetro de rosca de 25 mm e L/D 20.

#### Avaliação das cargas por perda ao fogo

A análise de perda ao fogo foi realizada em triplicata, para as duas granulometrias estudadas. As amostras foram colocadas em forno por 24 horas a 700°C.

#### Caracterização dos compósitos

Os compósitos foram avaliados, quanto ao desempenho mecânico, por ensaios de resistência à tração, baseado na norma ASTM D638, e por resistência ao Impacto Izod sem entalhe, segundo a norma ASTM D256.

Os ensaios de resistência à tração foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Instron, Modelo 3369. Foram obtidas a resistência à tração (ponto de tensão máxima, que para todas as amostras estudadas refere-se ao ponto de escoamento) e a deformação na tensão máxima, além do módulo de elasticidade das amostras. Para se determinar o módulo de elasticidade utilizou-se a velocidade de ensaio de 1 mm/min e para se determinar as demais propriedades de tração foi empregada a velocidade de 5 mm/min.

O ensaio de impacto foi realizado em máquina de impacto da marca Tinius Olsen, Modelo Impact 892, com martelo de 7 Joules, para os compósitos, e martelo de 25 Joules para a PA-6.

As superfícies de fratura das amostras testadas no ensaio de resistência à tração foram analisadas morfológicamente em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Phillips, modelo XL-30, do Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Perda ao fogo

A Tabela 1 apresenta resultados médios do ensaio de perda ao fogo do vidro submetido aos processos de moagem e separação por tamanho. Esses resultados mostram que a quantidade de material perdido durante a queima é de, em média, 10% em massa e que não existe diferença entre os dois tipos de vidro moído. A perda de massa está relacionada à decomposição de material orgânico, representado, principalmente, por filmes poliméricos polarizadores aderidos à placa. Esses filmes são constituídos principalmente por triacetato de celulose e poli (vinil álcool) <sup>(2,3,9,10)</sup>.

Tabela 1 – Perda ao fogo das partículas de vidro.

Amostras	Perda ao Fogo (%)
Partículas de vidro menores que 106 µm (Peneira ABNT #150)	10,1
Partículas de vidro menores que 53 µm (Peneira ABNT #250)	9,7

### Propriedades mecânicas

Os resultados do ensaio de resistência à tração para as amostras PA-6/vidro 150, PA-6/vidro 270 e PA-6 pura são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados do ensaio de resistência à tração para os compósitos PA-6/vidro 150 e PA-6/ vidro 270, e para PA-6 pura.

Amostras	Módulo de Elasticidade (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Deformação no ponto de escoamento (mm/mm)
PA-6/vidro150	2153 ± 27	52 ± 1	0,17 ± 0,01
PA-6/vidro 270	2261 ± 61	56 ± 1	0,18 ± 0,01
PA-6	2179 ± 15	59 ± 1	1,80 ± 0,38

A Figura 2 apresenta os módulos de elasticidade obtidos para os compósitos PA-6/ vidro de LCD e para a PA-6.

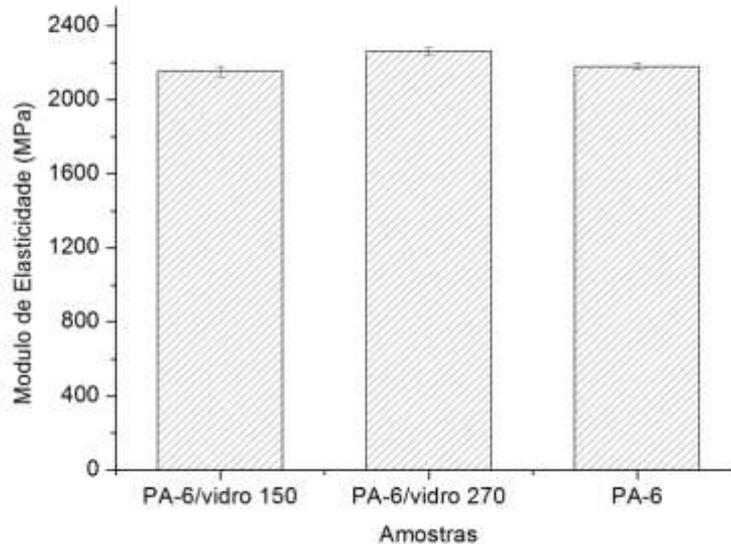


Figura 2- Módulo de Elasticidade para amostras PA-6/vidro 150, PA-6/ vidro 270 e PA-6

Pode-se observar que há um discreto aumento no módulo de elasticidade do compósito PA-6/vidro 270 em relação à PA-6. O compósito PA-6/vidro 150 não apresentou variação em módulo, quando comparado à PA-6. Em relação à resistência à tração, o compósito PA-6/vidro 270 foi o que apresentou menor redução quando comparado à PA-6, cerca de 6%. Porém ambos apresentaram redução significativa em alongamento, em relação à PA-6 pura.

A Tabela 3 e a Figura 3 apresentam os resultados de resistência ao impacto Izod sem entalhe para os compósitos PA-6/vidro 150 e PA-6/ vidro 270 e para a PA-6 pura.

Tabela 3- Resultados do ensaio de resistência ao impacto das amostras PA-6/vidro 150, PA-6/ vidro 270 e PA-6.

Amostras	Resistência ao impacto Izod sem entalhe (J/m)
PA-6/ vidro de LCD 150	129 ± 50
PA-6/ vidro de LCD 270	380 ± 38
PA-6*	725 ± 39

PA-6\*- As amostras não foram fraturadas.

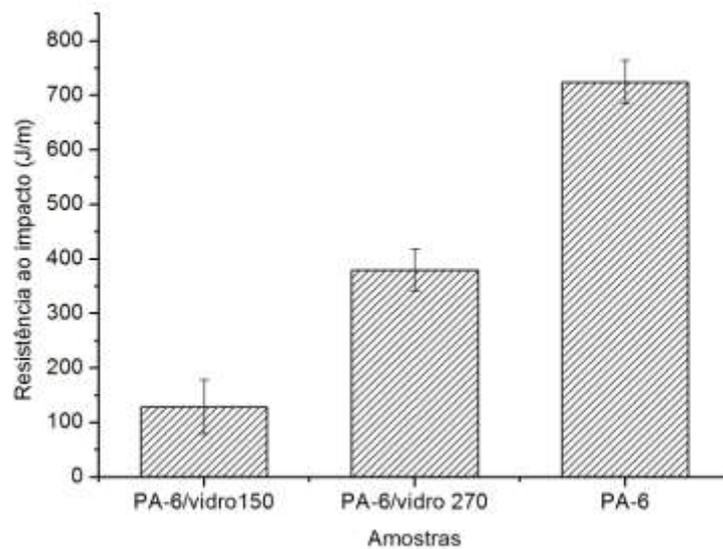


Figura 3- Resistência ao impacto para as amostras PA-6/vidro 150, PA-6/ vidro 270 e PA-6.

Os resultados mostram uma queda na resistência ao impacto dos compósitos em relação à PA-6 pura. Estes resultados são esperados, devido à significativa perda em alongamento observada nos compósitos. Apenas o módulo de elasticidade foi ligeiramente aumentado com a adição de partículas de vidro. Os resultados mecânicos indicam que as partículas de vidro estão atuando como carga de enchimento e não como carga de reforço para a PA-6.

#### Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 4 apresenta as superfícies de fratura dos corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à tração dos compósitos PA-6/ vidro 150 e PA-6/ vidro 270.

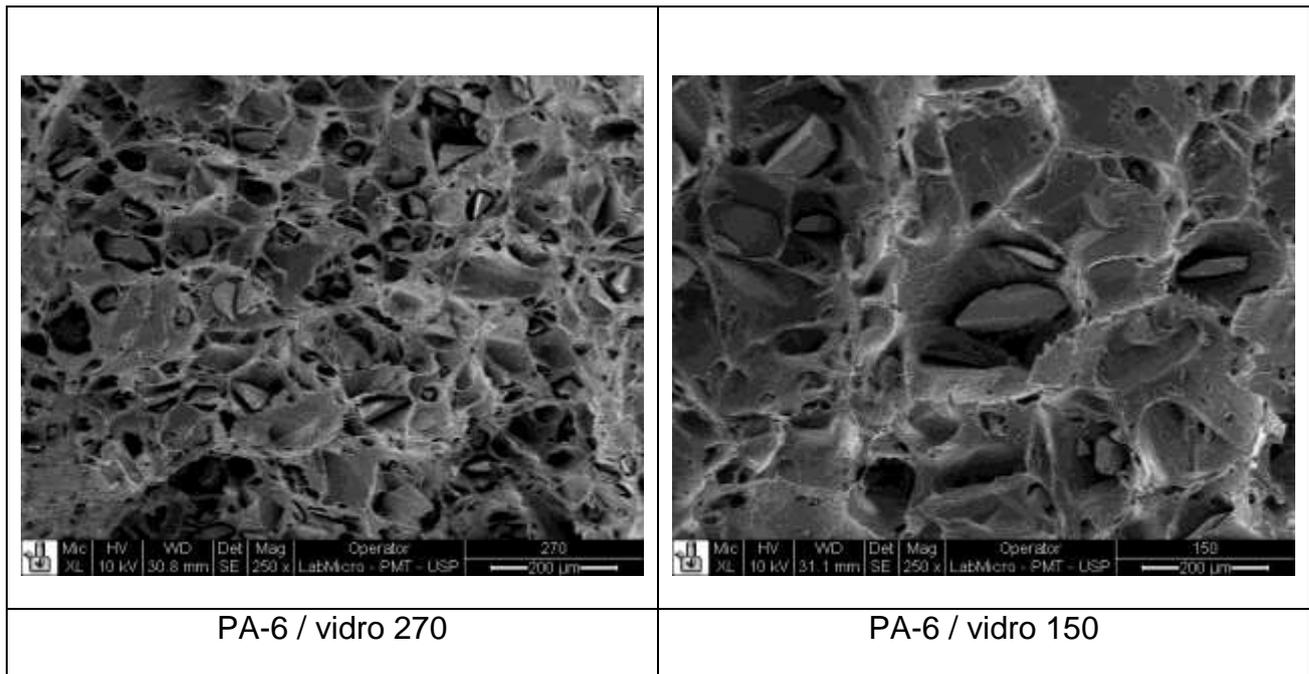


Figura 4- Micrografia por MEV da fratura dos compósitos PA-6/vidro 150, PA-6/ vidro 270 com ampliação de 250x.

A análise das micrografias mostra a dispersão das partículas de vidro nos compósitos, evidenciando a presença de partículas mais finas, e bem dispersas, na amostra PA-6/vidro 270, em comparação à amostra PA-6/vidro 150. Pode-se observar que não há uma boa adesão entre a matriz e a carga. As micrografias mostram que grande parte das partículas de vidro foi destacada da fase matriz durante o ensaio de resistência à tração.

Durante o teste mecânico há destacamento entre as fases na interface (ver vazios presentes na interface partícula/matriz, na Figura 4), que impedem a transferência de tensão da fase matriz para a fase dispersa. A morfologia da superfície de fratura explica a perda em alongamento observado nos compósitos, uma vez que a fase dispersa atua como um defeito, na fase matriz, dificultando o alongamento da mesma. A fraca adesão entre as fases também explica a perda em resistência ao impacto dos compósitos, quando comparados à fase matriz pura.

## CONCLUSÕES

Vidro proveniente da desmontagem de monitores de LCD foi moído e separado por tamanhos. Vidro particulado com duas granulometrias, uma com partículas

menores do que 106  $\mu\text{m}$  e outra com partículas menores do que 53  $\mu\text{m}$  foi adicionado, separadamente, a Poliamida-6, na concentração de 10% em massa. Essas partículas contêm cerca de 10% em massa de material orgânico, constituído por filmes poliméricos polarizados. O compósito obtido não apresentou modificações expressivas nas propriedades de módulo de elasticidade e resistência à tração, em relação à PA-6 pura. Observa-se, no entanto, perda expressiva em alongamento e em resistência ao impacto Izod sem entalhe. O compósito que apresenta a menor perda em propriedades em relação à PA-6 é o que contém partículas de vidro menores do que 53  $\mu\text{m}$ . Micrografias da superfície de fratura de amostras submetidas ao teste de resistência à tração mostram que as partículas de vidro estão bem dispersas na fase matriz, sendo a dispersão mais uniforme para o compósito com partículas mais finas, em que há baixa adesão entre as fases.

Os resultados obtidos para os compósitos aqui estudados são superiores aos obtidos por compósitos formados por PA-6 e partículas inorgânicas, tais como o talco <sup>(11)</sup>. Compósitos PA-6/talco, com 10% em massa de carga, apresentam aumento nos valores de módulo de elasticidade e perda significativa em resistência à tração e ao impacto. A variação no valor de módulo de elasticidade dos compósitos aqui apresentados não foi muito significativa, porém, os mesmos não apresentaram perda em resistência à tração e os valores de resistência ao impacto são superiores aos obtidos com talco <sup>(11)</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro. À Mazzaferro pela doação da Poliamida-6 e à AOC pela doação dos monitores de LCD.

## REFERÊNCIAS

(1) Ryan, A.; O' Donoghue, L.; Lewis, H. Characterising components of liquid crystal displays to facilitate disassembly. *Journal of Cleaner Production* 19 (2011) 1066-1071.

(2) Li, J.; Gao, S.; Duan, H.; Liu, L. Recovery of valuable materials from waste liquid crystal display panel. *Waste Management* 29 (2009) 2033–2039.

- (3) Wang, X.; Lu, X.; Zhang S. Pyrolytic and kinetic characteristics of waste glass substrate from liquid crystal display panels. In press. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (2012).
- (4) Lu, R.; Ma, E.; Xu, Z. Application of pyrolysis process to remove and recover liquid crystal and films from waste liquid crystal display glass. *Journal of Hazardous Materials* 243 (2012) 311– 318.
- (5) Lin, K. L. Use of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass in the production of ceramic tiles. *Journal of Hazardous Materials* 148 (2007) 91–97.
- (6) Mueller, J. R.; Boehm, M. W.; Drummond, C. Direction of CRT waste glass processing: Electronics recycling industry communication. *Waste Management* 32 (2012) 1560–1565
- (7) Gerbase, A. E.; Oliveira, C. R. Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química. *Quim. Nova*, Vol. 35, No. 7, 1486-1492, 2012.
- (8) Oliveira, C. R. Alternativas tecnológicas para o tratamento e reciclagem do lixo de informática. 2010, 65p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Químico Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS/RS, Porto Alegre.
- (9) TAVARES, V. Caracterização e processamento de telas de cristal líquido visando a reciclagem. 2006, 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP-USP/SP, São Paulo.
- (10) Ma, J.; Ye, X.; Jin, B. Structure and application of polarizer film for thin-film-transistor liquid crystal displays. *Displays* 32 (2011) 49–57.
- (11) Factori, I. M. Processamento e propriedades de compósitos de poliamida 6.6 reforçada com partículas de vidro reciclado. 2009, 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP-USP/SP, São Paulo.

## USE OF GLASS PARTICLES FROM RECOVERED LCD SCREEN COMPONENTS AS FILLERS FOR POLYAMIDE-6

### ABSTRACT

*Glass from computers' LCD monitor screens were recovered, ground and used as a filler for Polyamide-6. The composites contained 10 wt.% of glass particles. Two particle sizes were tested: glass particles smaller than 106  $\mu\text{m}$  (ABNT#150 sieve) and smaller than 53  $\mu\text{m}$  (ABNT#270 sieve). The filler was evaluated by loss on ignition and the composites by tensile strength and Izod impact strength. The morphology was characterized by scanning electron microscopy (SEM). The value of Young's modulus of composites processed with glass particles smaller than 53  $\mu\text{m}$  was higher than the one for PA-6. The properties of impact strength, tensile strength, and elongation of PA-6 were reduced with the addition of filler, and the composite containing glass particles smaller than 53  $\mu\text{m}$  showed the lowest reduction in mechanical properties (about 6% in the tensile strength and about 48% in impact strength). The micrographs of fracture surfaces of tensile strength specimens showed weak adhesion particle/matrix and uniform distribution of the particles in the matrix, especially in the composite with finest particle sizes.*

Key-words: glass particles, LCD, composite