

RELATÓRIO DE ENSAIO LCP05-000172

Empresa: Tetra Pak Ltda.
Endereço: Rodovia Campinas/Capivari Km 23,5.
Monte Mor – SP. **CEP:** 13190-000.
Telefone: (19) 3879-8108. **Fax:** (19) 3879-8352.
A/C: Mário Henrique de Cerqueira.
Data de recebimento das amostras: 03/01/2005.
Data de início do projeto: 05/01/2005.
Data da emissão do relatório: 29/07/2005.
OS: 17971.

**AValiação DAS PROPRIEDADES MECâNICAS DE MATERIAL
RECICLADO****Objetivo**

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do tempo de exposição no intemperismo acelerado (Weather-Ometer) no comportamento mecânico de um material reciclado. O comportamento mecânico da amostra foi avaliado através dos ensaios de tração e flexão antes (0 horas de envelhecimento) e após 2000 horas e 5000 horas de exposição no intemperismo acelerado.

Procedimento de Análise

A amostra foi identificada conforme tabela 1.

Tabela 1 - Identificação da amostra.

Identificação cliente*	Identificação CCDM
Placa Moldada com Material Reciclado de Embalagens Tetra Pak	LCP050005

*identificação fornecida pelo cliente.



Envelhecimento em Weather-Ometer

O envelhecimento artificial da amostra foi realizado em equipamento Atlas Weather-Ometer, modelo 65 XW-WR1, operando com lâmpada de xenônio. As condições do envelhecimento foram as seguintes:

- Fonte de radiação: lâmpada de xenônio de 6500W, com filtros interno e externo de borossilicato.
- Controle: irradiância de $0,35\text{W/m}^2$ a 340 nm.
- Ciclo de envelhecimento acelerado: 120 minutos, sendo que 102 minutos de insolação e 18 minutos de insolação e simulação de chuva.
- Norma do ensaio: ASTM G-155 – ciclo 1.
- Tempo parcial de envelhecimento: 2000 horas (o ensaio será realizado até completar 5000 horas de exposição em Weather-Ometer).
- Temperatura de Painel Negro: 63°C .

Os estudos realizados no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos indicam que a correlação estimada entre envelhecimento acelerado e envelhecimento natural, em equipamentos operando segundo estas condições, é de 8,76 vezes. Isto significa que 1000 horas no envelhecimento acelerado correspondem a aproximadamente 1 ano no envelhecimento natural. O envelhecimento da amostra em Weather-Ometer foi realizado entre os dias 05 de janeiro e 11 de julho de 2005.

Comportamento Mecânico em Tração

Neste tipo de ensaio mecânico os corpos de prova com formatos pré-determinados são tracionados uniaxialmente. A travessa superior da máquina move-se a uma velocidade constante, enquanto que a travessa inferior



permanece fixa. O corpo de prova é preso nestas duas travessas por meio de garras. Uma célula de carga registra a resistência imposta pelo corpo de prova ao movimento constante da travessa superior. A resistência a tração é determinada pelo máximo carregamento suportado pelo corpo de prova dividido por sua área inicial. Estes resultados são expressos em MPa (Mega Pascal).

O alongamento é medido pela deformação do corpo de prova até o ponto de interesse (ponto de escoamento, de ruptura, etc.) dividida pela distância entre duas marcas posicionadas antes do ensaio.

Os ensaios foram realizados em uma máquina modelo DL10000 da Emic. Foram utilizados entre 5 e 7 corpos de prova em cada tempo de exposição, célula de carga de 500 Kgf e velocidade do ensaio de 5,0 mm/min. Os ensaios de tração a 0 horas e 2000 horas de envelhecimento foram realizados em 01 de maio de 2005. Os ensaios de tração para 5000 horas de envelhecimento artificial foram realizados em 15 de julho de 2005.

Comportamento em Flexão

Ensaio de flexão são usados para investigar o comportamento mecânico em flexão de materiais poliméricos. Pode-se obter informações sobre a tensão em flexão, módulo em flexão e outras propriedades de interesse. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 790-00 – Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

O ensaio foi realizado em corpos de prova sob carregamento em três pontos, sendo que o carregamento máximo ocorre exatamente na metade da distância entre os dois apoios fixos ("span"). A distância entre os dois apoios fixos ("span") foi de 65,0 mm e a velocidade do ensaio, constante e igual a 0,010 mm/mm/min.

A tensão em flexão expressa em megapascal (MPa), foi calculada de acordo com a equação 1.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$

onde

F é a força aplicada (em Newton);

L é a distância entre os apoios fixos, (em mm);

b é a largura dos corpos de prova (em mm) e

h é a espessura dos corpos de prova (em mm).

Para o cálculo do módulo em flexão inicialmente deve-se determinar as deformações individuais s_1 e s_2 . Os valores de s_1 e s_2 são calculados de acordo com a equação 2.

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i=1,2) \quad (2)$$

sendo s_i a deflexão individual;

ε_{fi} os valores individuais da deformação;

L é a distância entre apoios e

h é a espessura do corpo de prova.

Desta forma o módulo em flexão pode ser determinado de acordo com a equação 3:

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (3)$$

onde σ_{f1} e σ_{f2} são as tensões medidas nos pontos de deflexão s_1 e s_2 respectivamente.



Foram utilizados entre 5 e 7 corpos de prova por tempo de exposição. Os ensaios de flexão para 0 horas e 2000 horas de envelhecimento no intemperismo acelerado foram realizados em 01 de maio de 2005. Os ensaios de flexão para 5000 horas de envelhecimento no intemperismo acelerado foram realizados em 15 de julho de 2005.

Resultados

Comportamento Mecânico em Tração

As curvas de tensão em função da deformação da amostra LCP050005, antes do envelhecimento e após 2000 e 5000 horas de envelhecimento no intemperismo acelerado, podem ser vistas no anexo I. As tabelas 2 a 4 apresentam as propriedades em tração avaliadas antes do envelhecimento e após 2000 e 5000 horas de envelhecimento em weather-ometer, respectivamente.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas em tração da amostra LCP050005 – antes do envelhecimento^a.

Corpo de Prova	Resistência à Tração na Ruptura (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
1	7,63	5,66
2	8,67	5,03
3	8,67	4,38
4	9,91	5,37
5	6,89	4,04
6	7,73	4,14
Média	8,25±1,06	4,77±0,68

^a Velocidade do ensaio: 5,0 mm/min.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas em tração da amostra LCP050005 – após 2000 horas de envelhecimento em weather-ometer^a.

Corpo de Prova	Resistência à Tração na Ruptura (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
1	6,79	2,91
2	4,95	3,15
3	6,86	3,84
4	7,89	3,98
5	10,02	4,79
6	9,48	4,84
Média	7,67±1,88	3,92±0,80

^a Velocidade do ensaio: 5,0 mm/min.

Tabela 4 – Propriedades mecânicas em tração da amostra LCP050005 – após 5000 horas de envelhecimento em weather-ometer^a.

Corpo de Prova	Resistência à Tração na Ruptura (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
1	6,86	2,37
2	8,42	2,53
3	8,74	2,66
4	6,99	2,35
5	6,72	2,08
6	4,65	2,09
7	5,78	1,92
Média	6,88±1,42	2,29±0,27

^a Velocidade do ensaio: 5,0 mm/min.

Comportamento Mecânico em Flexão

As curvas de tensão em função da deformação podem ser vistas no anexo II. Não houve quebra dos corpos de prova ou mesmo falha na superfície oposta a aplicação da carga. Isto é importante ressaltar, pois no ensaio de flexão, a superfície que está recebendo a carga fica sob esforços de compressão e a superfície oposta a aplicação da carga fica sob esforço de tração. E é exatamente nestas duas superfícies que se observam respectivamente o máximo esforço de compressão e o máximo esforço de tração. Ao longo da espessura do corpo de prova, a intensidade destes dois tipos de esforços diminui progressivamente, até atingir o ponto médio onde não há qualquer tipo de esforço. Portanto, falha na superfície oposta a aplicação da carga é suficiente para determinar o fim do ensaio.



As tabelas 5 a 7 apresentam os valores do Módulo em Flexão, Tensão a 5% e a Resistência a Flexão da amostra LCP050005 antes do envelhecimento e após 2000 e 5000 horas de exposição em Weather-Ometer, respectivamente.

Tabela 5 – Propriedades Mecânicas em Flexão da amostra LCP050005 – antes do envelhecimento.

Corpo de Prova	Módulo em Flexão (MPa)	Tensão a 5% (MPa)	Resistência a Flexão (MPa)
1	915,33	14,26	14,40
2	911,276	14,11	14,12
3	925,83	15,09	15,21
4	754,29	13,63	13,85
5	1030,42	15,40	15,51
Média	907,4±98,73	14,50±0,73	14,62±0,71

A

Tabela 6 – Propriedades Mecânicas em Flexão da amostra LCP050005 – após 2000 horas de envelhecimento em weather-ometer.

Corpo de Prova	Módulo em Flexão (MPa)	Tensão a 5% (MPa)	Resistência a Flexão (MPa)
1	923,81	13,97	14,07
2	1012,68	16,79	16,87
3	966,24	9,14	9,91
4	834,32	7,99	10,00
5	800,85	10,97	11,24
6	777,34	11,41	11,42
7	834,86	6,815	8,33
Média	878,6±89,33	11,01±3,48	11,69±2,89



Tabela 7 – Propriedades Mecânicas em Flexão da amostra LCP050005 – após 5000 horas de envelhecimento em weather-ometer.

Corpo de Prova	Módulo em Flexão (MPa)	Tensão a 5% (MPa)	Resistência a Flexão (MPa)
1	949,94	11,68	12,11
2	1306,31	3,88	11,55
3	700,97	4,48	7,29
4	1105,70	10,85	11,23
5	888,95	11,31	12,53
6	1192,35	7,55	12,71
7	817,38	6,92	9,03
Média	994,5±215,8	8,10±3,25	10,92±2,02

Conclusão

A tabela 8 compara as propriedades mecânicas avaliadas neste trabalho, antes e após envelhecimento no intemperismo acelerado.

Tabela 8 – Comparação das propriedades mecânicas da amostra LCP050005 antes e após 2000 e 5000 horas de exposição no intemperismo acelerado (Weather-Ometer).

LCP050005				
Propriedade	Unidade	0 horas	Após 2000 h	Após 5000 h
Resistência a Tração na Ruptura (a 23 °C)	MPa	8,25	7,67	6,88
Alongamento na Ruptura (a 23 °C)	%	4,77	3,92	2,29
Módulo em Flexão (a 23 °C)	MPa	907,4	878,6	994,5
Tensão a 5% (a 23 °C)	MPa	14,50	11,01	8,10
Resistência a Flexão (a 23 °C)	MPa	14,62	11,69	10,92

Comparando-se os valores das propriedades mecânicas medidas a 5000 horas em Weather-Ometer com os valores das propriedades medidas a 0 horas (não envelhecida) tem-se:

- a) uma queda na resistência a tração na ruptura superior a 16%.
- b) uma queda de 52% no alongamento na ruptura.
- c) um aumento no módulo em flexão da ordem de 10%. Entretanto observa-se que a o desvio padrão desta propriedade mecânica a 5000 horas é pelo menos duas vezes maior que o desvio determinado a 0 horas.
- d) uma queda da ordem de 44% na tensão a 5%.
- e) uma queda em torno de 26% na resistência a flexão.

Este documento somente poderá ser reproduzido por inteiro.
Os resultados referem-se à(s) amostra(s) analisada(s)

Página 11 de 12

São Carlos, 29 de Julho de 2005.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Marcelo A. Chinelatto', is written over the typed name and title.

Marcelo A. Chinelatto
Supervisor de Laboratório – LCP
CREA 5061740482

A amostragem relativa a este certificado é de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.