

# **ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS RÍGIDAS A PRODUTOS COM AÇÃO TENSOATIVA EM RELAÇÃO À OCORRÊNCIA DE *STRESS CRACKING* AMBIENTAL**

RAFAEL C. GONCALVES<sup>1</sup>; GUILHERME DE C. QUEIROZ<sup>2</sup>; ANA P. C. REIS<sup>3</sup>

Nº 0701016

## **RESUMO**

A utilização do reciclado pós-consumo nos frascos para óleo lubrificante de polietileno de alta densidade (PEAD) está sendo cada vez mais utilizado pelos fabricantes. A embalagem deve apresentar resistência ao *Stress Cracking* Ambiental (SCA), de fundamental importância devido à natureza química do produto e aos esforços mecânicos da cadeia de transporte e distribuição. Com a adição de material reciclado pós-consumo, o entendimento do comportamento da embalagem com relação ao SCA tem ainda maior importância. O SCA é a falha acelerada do material polimérico, ocorre de forma frágil, devido à ação combinada do ambiente de exposição e de tensões, levando à formação de microfissuras e rachaduras no material, com possível perda do produto. A utilização de reciclado de PEAD pós-consumo na composição dessas embalagens tem sido feita com adição de diferentes percentuais de reciclado na resina virgem. Neste projeto, investigou-se a influência da adição do material pós-consumo em relação à resistência ao *Stress Cracking* Ambiental (SCA) nos frascos de PEAD. Os resultados mostraram que a resina utilizada nas embalagens testadas não apresentava boa SCA. Nas amostras contendo material reciclado, o tempo para ocorrência da falha foi maior que na amostra produzida com 100% de resina virgem. O aumento de temperatura de exposição e a variação do nível de enchimento da embalagem influenciaram na SCA dos frascos.

## **ABSTRACT**

The addition of polymeric material post consumer in the composition of high-density polyethylene (HDPE) bottles for lubricating oil was becoming a common practice among manufactures of this kind of packaging. Key features that this type of packages must have include environmental stress cracking resistance (ESCR) due to the surface-active nature of the product. ESC is an accelerated failure of polymeric material, which occurs in a brittle manner as a consequence of the combined action of exposure environment and stresses that lead to build-up of micro-crazes in the material and possible loss of product. This project investigates how the

<sup>1</sup> Bolsista CNPq: Graduação em Engenharia Ambiental, PUCCAMP, Campinas-SP, ✉ rafael\_rcm389@hotmail.com

<sup>2</sup> Orientador: Pesquisador, CETEA/ITAL, Campinas-SP ✉ guilherme@ital.sp.gov.br

<sup>3</sup> Co-orientador: Pesquisador, CETEA/ITAL, Campinas-SP ✉ anapaula@ital.sp.gov.br

addition of recycled material may influence environmental stress cracking resistance (ESCR) of a type of HDPE container. Besides, it was observed how the package filling level and the temperature which it was exposed have influence on ESC occurrence velocity. Results show that the containers tested did not have good ESCR. In the containers including recycled material the time was longer than the time to failure of samples produced with 100% virgin resin. The increment in the temperature of exposition and the variation of package filling level had influence on the ESCR bottles results in each studied condition.

## INTRODUÇÃO

Com o crescimento mundial do mercado de produtos lubrificantes, há também uma preocupação em relação à embalagem para acondicionamento de óleos lubrificantes. Os automotivos são constituídos de bases lubrificantes, que podem ser minerais, originadas do petróleo, ou sintéticas, produzidas em Usinas de Química Fina e por aditivos de alto desempenho, sendo que todos eles possuem características tensoativas com menor ou maior intensidade (NOÇÕES, 2006).

Para os óleos lubrificantes, a embalagem deve apresentar resistência ao *Stress Cracking Ambiental* (SCA), de fundamental importância devido à natureza química do produto e aos esforços mecânicos da cadeia de transporte e distribuição. Com a adição de material reciclado pós-consumo, o entendimento do comportamento da embalagem com relação ao SCA tem ainda maior importância ainda mais quando se considera que esses produtos possuem vida-de-prateleira indeterminada em condições de estocagem apropriadas (QUEIROZ & OLIVEIRA, 2006).

O SCA é definido como uma falha acelerada do material polimérico, ocorrendo de forma frágil, como consequência da ação combinada do ambiente de exposição e de tensões levando à formação de microfissuras e rachaduras no material, com possível perda do produto. Em materiais plásticos, o SCA está mais associado à exposição a líquidos, principalmente orgânicos e produtos químicos de baixo peso molecular (CENTRE, 1999).

A utilização de reciclado de PEAD pós-consumo na composição dessas embalagens tem sido feita com adição de diferentes percentuais de reciclado na resina virgem. Sua aplicação vem

alinhada com as preocupações ambientais relativas à destinação final de embalagens plásticas que devem ser reavaliadas de forma a assegurar a integridade física dos frascos/bombonas, impedindo a perda/vazamento do produto ao longo de sua cadeia de distribuição (QUEIROZ & OLIVEIRA, 2006; GARCIA, 2001).

Este projeto teve como objetivo investigar como a composição de uma resina de PEAD, sem e com percentuais de material reciclado pós-consumo (20 e 35%), influencia a resistência ao SCA dessas embalagens. Além disso também foi avaliada como diferentes temperaturas de exposição e de nível de enchimento dos frascos alteram a velocidade da ocorrência do SCA.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizadas três diferentes composições de material para fabricação de frascos plásticos de 1 litro para óleo lubrificante, na cor preta, com secção transversal circular e peso médio de  $55 \pm 2$ g. Na Tabela 1, estão descritas as composições dos frascos plásticos utilizados.

TABELA 1. Composição dos frascos plásticos.		
Amostra	Composição	
1	100 % de resina virgem <sup>(*)</sup>	0% de material reciclado <sup>(**)</sup>
2	80 % de resina virgem <sup>(*)</sup>	20% de material reciclado <sup>(**)</sup>
3	65 % de resina virgem <sup>(*)</sup>	35% de material reciclado <sup>(**)</sup>

(\*) - resina virgem possui cerca de 40% de reaproveitamento interno (aparas de processo)

(\*\*) – material reciclado pós-consumo

A avaliação da resistência ao SCA dos frascos plásticos foi realizada segundo a norma ASTM D 2561-95. Os frascos foram cheios até um terço (1/3) de sua capacidade nominal com o produto-teste nonilfenol polietoxilado diluído 10% em água, que possui características tensoativas, e algumas gotas de corante. O enchimento parcial é considerado mais agressivo para o produto-teste, sendo utilizado para acelerar o ensaio. Após o enchimento, os frascos foram termosselados e tampados. O torque de fechamento utilizado foi de 20 lbf.pol.

Os frascos fechados foram condicionados em estufa a  $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  e a  $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por 15 dias, para se avaliar a agressividade do produto-teste em condições diferentes de temperatura. Em

cada temperatura foram testados 15 frascos por amostra. O critério de falha escolhido foi o microfissuramento da embalagem, evidenciado pelo vazamento do produto-teste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos na avaliação dos frascos estocados a  $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por 15 dias, com 1/3 de enchimento. Pôde-se observar que todas as unidades (15 frascos) de cada uma das 3 amostras falharam antes de 15 dias, sendo que a falha sempre ocorreu no fundo dos frascos, na região da curvatura do fundo, próximo à linha de junção do molde.

<b>TABELA 2.</b> Resultados da avaliação da Amostra 1 - 100% de resina virgem, Amostra 2 - 80% de resina virgem e 20% de material reciclado pós-consumo e Amostra 3 - 65% de resina virgem e 35% de material reciclado pós-consumo – 1/3 de enchimento ( $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 15 dias).			
Tempo para ocorrência da falha (h)	Número de falhas	Número de falhas acumuladas	Percentual de falhas
Amostra 1			
16	12	12	80
43	1	13	86,7
73	1	14	93,3
116	1	15	100
Amostra 2			
24	7	7	46,7
29	6	13	86,7
50	2	15	100
Amostra 3			
23	1	1	6,7
43	9	10	66,7
67	2	12	80
73	3	15	100

Na Tabela 3, são apresentados os resultados obtidos na avaliação dos frascos estocados a  $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por 15 dias, com 1/3 de enchimento. Pôde-se observar que para as amostras condicionadas a  $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , não ocorreu falha em 100% das unidades dentro do período de teste (15 dias), porém as falhas também apresentaram as mesmas características que ocorreram na mesma região do ensaio a  $60^{\circ}\text{C}$ .

<b>TABELA 3.</b> Resultados da avaliação da Amostra 1 - 100% de resina virgem, Amostra 2 - 80% de resina virgem e 20% de material reciclado pós-consumo, e Amostra 3 - 65% de resina virgem e 35% de material reciclado pós-consumo – 1/3 de enchimento (40°C ± 3°C por 15 dias).			
Tempo para ocorrência da falha (h)	Número de falhas	Número de falhas acumuladas	Percentual de falhas
Amostra 1			
72	3	3	20
96	6	9	60
115	1	10	66,7
143	2	12	80
215	1	13	86,7
Amostra 2			
96	4	4	26,7
215	1	5	33,3
263	1	6	40
Amostra 3			
239	1	1	6,7
263	1	2	13,3

Na Tabela 4, são apresentados os resultados obtidos na avaliação dos frascos estocados a 60°C ± 3°C, por 15 dias, com enchimento de 1 litro. Todas as unidades (15 frascos) das Amostras 1 e 2 falharam antes de 15 dias, sendo que a falha sempre ocorreu no fundo dos frascos, na região da curvatura do fundo, próximo à linha de junção do molde. Apenas na Amostra 3 não ocorreu falha de 100% dos frascos no período de estocagem.

<b>TABELA 4.</b> Resultados da avaliação da Amostra 1 - 100% de resina virgem, Amostra 2 - 80% de resina virgem e 20% de material reciclado pós-consumo, e Amostra 3 - 65% de resina virgem e 35% de material reciclado pós-consumo - enchimento de 1 litro – (60°C ± 3°C por 15 dias).			
Tempo para ocorrência da falha (h)	Número de falhas	Número de falhas acumuladas	Percentual de falhas
Amostra 1			
24	1	1	6,7
48	3	4	26,7
72	4	8	53,3
168	5	13	86,7
336	1	14	93,3
360	1	15	100
Amostra 2			
30	1	1	6,7
56	2	3	20
146	8	11	73,3
246	1	12	80
314	2	14	93,3
345	1	15	100
Amostra 3			
48	1	1	6,7
72	3	4	26,7
96	2	6	40
168	1	7	46,7
336	3	10	66,7

Os resultados obtidos na exposição a  $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  mostraram que nenhuma das três amostras apresentou boa resistência ao SCA.

O SCA apresentou-se maior quando se aumentou o percentual de material reciclado e se passou a utilizar 1 litro de produto-teste ao invés de 1/3 do nível de enchimento. A influência do espaço-livre da embalagem, com conseqüente aumento do espaço para volatilização do produto mostrou ser fator de forte influência no tempo de ocorrência do SCA da embalagem, tempo este que foi aumentado em 3,5 vezes, no mínimo, para as amostras ensaiadas.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D 2561-95 (2005)**: *Standard test method for environmental stress-cracking resistance of blow-molded polyethylene containers*. Philadelphia, 2005.

CENTRE FOR MATERIALS MEASUREMENT AND TECHNOLOGY. **Test methods for environment stress cracking of polymeric materials**. Teddington/Middlesex: NPL, 1999. 1p. (NPL Technical Review n. 3).

GARCIA, E.E.C. Reflexões sobre a relação embalagem & meio ambiente. **Informativo CETEA**, Campinas, v. 13, n. 2, abr./jun.2001.

NOÇÕES básicas de lubrificação. Disponível em: <<http://www.filtrobom.co.br/lubrificantes.html>>. Acesso em: 09 de maio de 2006.

QUEIROZ, G. C.; OLIVEIRA, Léa M. Óleos e graxas lubrificantes. In: OLIVEIRA, Léa M. (Ed.). **Requisitos de proteção de produtos em embalagens plásticas rígidas**. Campinas: CETEA/ITAL, 2006. Cap. 17, p. 285- 291.