



INFLUÊNCIA DO TIPO DE AGENTE TENSOATIVO NO TENSOFISSURAMENTO EM FRASCOS SOPRADOS DE PEAD

Lucas M. Hallmann^{1,2*}, Edson L. Francisquetti² e Ruth M. C. Santana¹

1 - Departamento de Materiais, Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS.

2 - Departamento de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Farroupilha, RS.

Avenida São Vicente, 785, Bairro Cinquentenário, Farroupilha, CEP 95174-274, RS.
lucas.hallmann@farroupilha.ifrs.edu.br

RESUMO

O Brasil trabalha com produtos agrícolas, minerais e industrializados, a manufatura de produtos é um negócio lucrativo. A indústria de embalagens é um segmento importante, pois os produtos manufaturados precisam ser acondicionados de maneira segura para o manuseio adequado, transporte e recebimento, buscando facilitar sua distribuição. Os polietilenos são muito utilizados para a produção de embalagens para indústria de domissanitários, devido as suas propriedades físicas e químicas. Contudo, são encontrados problemas de fissuras e quebras em embalagens com líquidos armazenados. Assim, o presente estudo tem por objetivo avaliar comparativamente o tensofissuramento (stress cracking) de frascos de polietileno de alta densidade (PEAD), polímero recomendado para acondicionamento de produtos químicos domésticos. Foram utilizados como tensoativos o Igepal e o Monoetilenoglicol, seguindo a norma ASTM D1693, em amostras de frascos soprados de 5 litros. Com base nos resultados obtidos, mesmo que a intensidade pontual do dano das amostras afetadas pelo Igepal seja superior, conforme o tempo do experimento transcorreu, a deterioração causada pelo Monoetilenoglicol é mais agressiva pois afeta um número maior de amostras.

Palavras-chave: *Stress Cracking, Polietileno, embalagens, termoplásticos*

INTRODUÇÃO

Com a transformação tecnológica decorrente do pós-revolução industrial, intensas mudanças globalizadas incentivaram, quase de maneira mandatória, alterações econômicas que afetaram as pessoas e sociedades no geral. Essas alterações culminaram, para o Brasil, em um mercado que trabalha com produtos agrícolas, minerais e industrializados, tornando a manufatura e transformação em negócios lucrativos. Isso pode ser observado através do desempenho das importações e exportações do setor que alcançaram valores de, respectivamente, US\$ 8,96 bi e US\$ 12,13 bi no final do primeiro semestre em 2022. Esses valores correspondem a um crescimento de 38,4% e 48,6% em relação ao período anterior⁽¹⁾.

Para escoar essa produção para o mercado, a logística de transporte e entrega dos produtos exigem, inicialmente, acondicionamento adequado. Isso se dá através de embalagens, que tem por objetivo conter e proteger seu conteúdo, preservando suas características. A escolha

do material das embalagens depende dos requisitos das características do conteúdo ⁽²⁾. Fatores externos também devem ser considerados como ambiente, energia, demanda de matérias primas entre outros. Um material largamente utilizado pela indústria na fabricação de embalagens é o polietileno de alta densidade (PEAD). Essa opção ocorre devido a sua resistência, soldagem a quente e sua barreira a água e vapor d'água. Ele tem propriedades mecânicas moderadas e excelente resistência química ^(1, 2-3).

Esse material se torna uma escolha viável para o acondicionamento de domissanitários, substâncias químicas utilizadas para limpeza, desinfecção e sanitização em ambiente doméstico, manipulados por consumidores comuns ⁽⁴⁾. Ainda assim, as embalagens estão sujeitas ao fenômeno do tensofissuramento (*Environment Stress-Cracking*), uma ruptura da superfície para o interior de um polímero, ocasionada devido a pequenas tensões resultantes de tração mecânica em períodos curtos ⁽⁵⁾, podendo serem resultantes do processamento e de esforços mecânicos externos. Esse fenômeno se trata de uma combinação entre um agente químico agressivo e aplicação de tensão, apesar de ser uma ocorrência de natureza puramente física ⁽⁶⁾. É considerada uma falha do tipo frágil ⁽⁷⁾, sendo que essa degradação resulta de uma fadiga derivada da tensão aplicada em um ponto, causando um desentrelaçamento dentro da estrutura do polímero que evolui até a romper ^(5, 6, 8).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o tensofissuramento em frascos soprados de PEAD, utilizando como agentes tensoativos o Igepal e Monoetilenoglicol, utilizando o método de tiras dobradas baseado na norma ASTM D1693 ⁽⁵⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova foram retirados de frascos soprados de PEAD de 5 litros (figura 1), obtidos na indústria local, diretamente do final do processo da linha de fabricação. Sendo assim, eles não foram expostos a nenhum dos fluídos previamente. Têm dimensões de 38x13mm, espessura entre 1,84 e 1,97mm, entalhe 0,3 e 0,4 mm, seguindo a padronização de condição de teste B (ASMT D1693). A temperatura do banho para imersão das amostras é de 50°C. O método utilizado foi o de tiras dobradas ^(1,7).

Os fluídos tensoativos comparados são o Igepal CO-630 ^(1,7) (*Nonilfenol etoxilado*) e o *Monoetilenoglicol*. A solução utilizada foi de 10% em volume.

O tempo de duração do experimento avançou até a estabilização dos resultados, ou seja, quando o experimento não demonstrou alterações em um tempo mínimo determinado. A determinação desse tempo mínimo considerou o período de observação consoante ao aparecimento dos primeiros resultados.

Essas amostras foram classificadas em três categorias distintas, segundo sua morfologia. Essas categorias são: amostra lisa, amostra curvada e amostra soldada. São retiradas, respectivamente, da região lisa do frasco, da região curvada e da região da linha de solda (linha de fechamento do molde). A classificação do dano da falha segue as definições da norma NBR 9575, por serem adequadas, uma vez que devem ser perceptíveis a olho nu ⁽⁵⁾. Sendo assim, as classificações são definidas como: microfissura (espessura inferior a 0,05mm), fissura (espessura inferior ou igual a 0,5mm) ou trinca (espessura superior a 0,5 e inferior a 1mm) ⁽⁸⁾. O sentido do dano foi classificado como transversal ou longitudinal em relação ao entalhe ou então como íntegro. No caso de ocorrência transversal e longitudinal simultânea, essa classificação foi denominada como cruz.

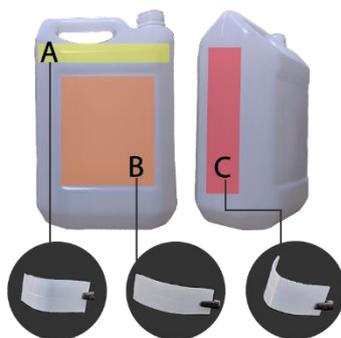


Figura 1: Exemplos de corpos de prova e suas respectivas regiões. Sendo elas: curvada (A), lisa (B) e soldada (C).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Será abordada, inicialmente, a apresentação da análise dos resultados de maneira generalizada. Os primeiros resultados que podemos perceber é a porcentagem total de danos em cada fluido. No caso do Igepal, são 66% dos corpos de prova danificados contra 88% do Monoetilenoglicol. O Igepal apresenta danos das classificações de microfissuras, fissuras e trincas. O Monoetilenoglicol apresenta apenas fissuras e microfissuras.

Quanto a área de concentração desses danos, elas seguem de maneira divergente entre os três tipos de corpo de prova. No Igepal, a predominância do dano ocorre na região soldada em 33%, na curvada em 22% e na lisa em 11%. Microfissuras são o tipo mais recorrente, seguido por fissuras e finalmente trincas, ocorrendo em apenas um sentido em cada caso. A trincas ocorrem na região lisa e soldada. No *Monoetilenoglicol*, a maior concentração de danos ocorre na região curvada em 33%, na soldada em 33% e na lisa com 22%. Microfissuras também são o tipo mais recorrente, seguido pelas fissuras. Elas ocorrem em um sentido (transversal ou longitudinal) e em dois (cruz). Microfissuras e fissuras em cruz se concentram na região soldada. Na Figura 2, é mostrado o comportamento de dano, através dos somatórios por seção da garrafa, nas duas soluções de tensoativos.

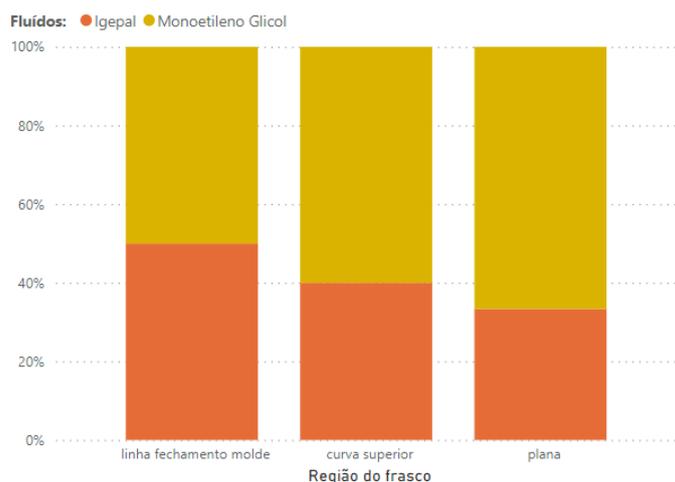


Figura 2: Comportamento geral do dano por região, indiferente do tipo de fratura.

O tempo total do experimento durou um período de 19 dias, com acompanhamento diário ininterrupto. Desses 19 dias, as primeiras 48 horas foram o período de aparecimento dos resultados e as últimas 48 horas foram a confirmação de estabilização dos resultados. Ambos fluidos apresentaram danos nas primeiras 48 horas, porém o Igepal apresenta danos nas três

classificações possível enquanto o *Monoetilenoglicol* apresenta apenas nas categorias de microfissura e fissura. O período mais longo para o aparecimento de danos foi no Igepal e levou 17 dias, sendo esse uma fissura. A trinca ocorreu na amostra retirada da região lisa do frasco. Para melhor visualização dos tipos de dano, são apresentados na Figura 3, alguns dos corpos de prova após os testes com os fluídos. Um resumo pode ser acompanhado na Tabela 1.

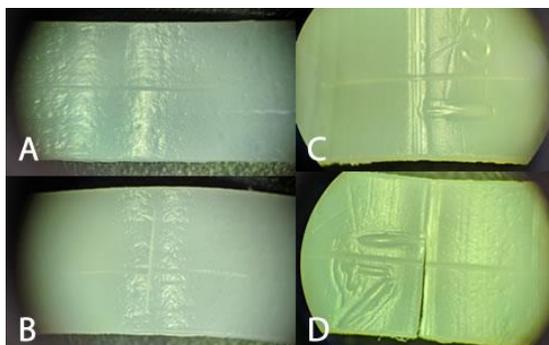


Figura 3: Os danos apresentados nos corpos de prova. Amostra normal (A), microfissura (B), fissura (C) e trinca (D).

Tabela 1: Resumo das predominâncias nos resultados

Fluídos	Amostra	Dano	Sentido	Tempo médio aparecimento danos (dias)
Igepal CO-630	Soldada (linha fechamento do molde)	Microfissura	Transversal	7,0
<i>Monoetilenoglicol</i>	Soldada/Curvada	Microfissura	Longitudinal/cruz	5,6

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos experimentalmente permitem inferir, inicialmente, que a velocidade de propagação do dano, sua evolução, ocorre de maneiras distintas, independente do fluido ou região da amostra. Isso é perceptível quando observamos que os resultados obtidos incorrem em categorias de dano distinta simultaneamente.

Em relação ao comportamento de cada fluido, o *Monoetilenoglicol*, devido ao seu dano extensivo, por consequência, generaliza o dano no frasco, tornando a ação desse líquido mais agressiva. Já o Igepal, em contrapartida, tem sua ação mais focada, apesar de mais danosa. Independente do dano do Igepal, levando em conta a estrutura do frasco, o *Monoetilenoglicol* se torna o mais severo por atacar, e enfraquecer, várias partes da estrutura do frasco.

Considerando a logística de transporte e armazenagem de um frasco de domissanitários, algo que enfraqueça vários pontos de uma superfície cumulativamente fará ela colapsar, mais rapidamente com a passagem do tempo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria do Comércio Exterior. Balança Comercial Preliminar Parcial do Mês. 2022.
- TWEDE, Diana; GODDARD, Ron. Materiais: materiais para embalagens. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. Tradução de: Sebastião V. Canevarolo Jr.

3. MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. *Introdução a Polímeros*. 2. ed. Rio de Janeiro: Blucher, 1999.
4. FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (Rio de Janeiro). Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde. NT/SAN - Núcleo Técnico de Saneantes. 2022.
5. ASTM INTERNATIONAL. *ASTM D1693: Standard Test Method for Environmental Stress-Cracking of Ethylene Plastics*. 15 ed. West Conshohocken: Astm, 2020.
6. RABELLO, Marcelo Silveira. *Estrutura e propriedades de polímeros*. Campina Grande: Digital, 2021.
7. MAINKA, Camila Pilatti. *Influência dos parâmetros moleculares nas propriedades do polietileno de alta densidade*. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Lapol, Ufrgs, Porto Alegre.
8. FRANGIPANI, Márcio José Oliveira. *Estudo do tensofissuramento em geomembranas de polietileno de alta densidade utilizadas em aterros de resíduos*. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Lapol, Ufrgs, Porto Alegre.
9. ABNT. NBR 9575: Impermeabilização – seleção e projeto. Rio de Janeiro. 2003

INFLUENCE OF THE TYPE OF SURFACTANT AGENT ON ENVIRONMENT STRESS CRACKING IN BLOWN HDPE BOTTLES

ABSTRACT

Brazil works with agricultural, mineral and industrialized products, manufacturing products is a lucrative business. The packaging industry is an important segment, because the manufactured products need to be packaged in a safe way for proper handling, transportation and receipt, seeking to facilitate their distribution. Polyethylene is widely used for the production of packaging for the household cleaning products industry, due to its physical and chemical properties. However, problems of cracking and breaking are found in packages with stored liquids. Thus, the present study aims to comparatively evaluate the stress cracking of high-density polyethylene (HDPE) bottles, a polymer recommended for packaging household chemicals. Igepal and Monoethylene glycol were used as surfactants, following the ASTM D1693 standard, in samples of 5-liter blown bottles. Based on the results obtained, even though the punctual intensity of the damage of the samples affected by Igepal is higher, as the experiment time elapsed, the deterioration caused by Monoethylene glycol is more aggressive because it affects a larger number of samples.

Keywords: *Stress Cracking, Polyethylene, packaging, thermoplastics*