

Avaliação do Efeito do Transporte no Desempenho de Embalagem Tipo *Stand-up Pouch* para Produtos Líquidos

Leda Coltro, Sílvia T. Dantas, Maurício A. Jaime, Débora S. Venâncio
Centro de Tecnologia de Embalagem - CETEA/ITAL

Resumo: Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de estimar o efeito do transporte rodoviário no desempenho de embalagem do tipo *stand-up pouch* tendo folha de alumínio (8 μ m) na estrutura, para o acondicionamento de produtos líquidos. O *stand-up pouch* foi submetido ao ensaio de simulação de transporte seguindo os padrões adotados na norma ASTM D4728-95, durante 4 horas. A intensidade da vibração randômica e o tempo de ensaio representam uma distância percorrida de aproximadamente 2000km. Como ocorreu falha na estrutura de algumas unidades de embalagem devido a solicitação de vibração, foram feitas avaliações empregando-se microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura dos *stand-up pouches* antes e após a simulação de transporte a fim de elucidar a causa dos danos. As prováveis causas da falha observada na estrutura podem estar associadas aos seguintes fatores: a) características da laminação da estrutura (tipo de material, força de adesão das camadas, etc.); b) flexibilidade e características de elasticidade da folha de alumínio; c) efeito crítico da solicitação mecânica da embalagem pelo uso da mesma com um produto líquido.

Palavras-chave: *Embalagem, stand-up pouch, embalagens flexíveis, laminados, microscopia.*

Evaluation of Transport Effect on the Performance of Stand-Up Pouch Packages for Liquid Products

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effect of the transport on the performance of stand-up pouch packaging having aluminum foil in the structure, employed for packing liquid products. The stand-up pouch was submitted to transport simulation tests following the standards adopted in the ASTM D4728-95, during 4 hours. The intensity of the random vibration and the test time represent a traveled distance of approximately 2000km. Evaluations of the stand-up pouches were performed before and after the transport simulation employing optical microscopy and scanning electron microscopy, in order to elucidate the cause of possible damages in the structure of the packaging by the vibration request. The probable causes of the observed ruptures in the structure can be associated to the following factors: a) characteristics of the structure lamination; b) flexibility and elasticity characteristics of the aluminum foil; c) critical effect of the mechanical request of packaging due to its usage for a liquid product.

Keywords: *Packaging, stand-up pouch, flexible packaging, multi-layer plastics, microscopy.*

Introdução

Com o surgimento da conscientização ecológica em meados dos anos 80, as embalagens foram o foco principal das discussões, chegando-se ao ponto de ser proposto que as embalagens ou pelo menos certos

tipos de embalagem fossem eliminadas^[1]. No entanto, as embalagens são responsáveis pelo prolongamento da vida útil dos produtos alimentícios e, assim, possibilitam que sejam comercializados em regiões distantes de seus locais de produção, além de minimizar as suas perdas.

Autor para correspondência: Leda Coltro, CETEA/ITAL, Av. Brasil 2880, Caixa Postal 139, CEP: 13073-001, Campinas, SP. E-mail: ledacoltr@ital.org.br

Assim, ao invés de banir as embalagens o mais indicado seria tentar minimizar o seu impacto ambiental. Com este enfoque, surgiu o conceito de gerenciamento integrado do resíduo sólido, que tem os seguintes objetivos: 1) Redução na fonte: minimização dos recursos naturais utilizados na confecção das embalagens buscando, assim, reduzir os resíduos sólidos para disposição final; 2) Reutilização: emprego de embalagens retornáveis/reutilizáveis, de modo que não haja geração de resíduo sólido; 3) Reciclagem: reciclagem mecânica, química ou energética da embalagem, gerando novos produtos; 4) Incineração: feita de modo controlado e, preferencialmente com recuperação de energia, aproveitando-se o poder calorífico intrínseco ao material da embalagem; e 5) Aterro sanitário: descarte final das embalagens que não foram aproveitadas nos itens anteriores^[2].

A redução na fonte tem sido o item mais trabalhado até o momento, principalmente porque a redução de massa das embalagens também está associada a uma redução de custos, que tem impulsionado sobremaneira este procedimento^[3].

O *stand-up pouch* (Figura 1) é um exemplo de embalagem que atende este requisito de redução na fonte, uma vez que se emprega de 70 a 90% menos material (em massa) quando se compara o mesmo produto acondicionado em embalagem rígida *versus* embalagem flexível^[2]. Por este motivo, a aplicação mais comum e mais esperada para as embalagens flexíveis é a substituição das embalagens rígidas, segundo pesquisa realizada pela Associação Americana de Embalagens Flexíveis (FPA)^[4].

Segundo a pesquisa da FPA, 67% dos entrevistados indicaram que a substituição deverá ocorrer em



Figura 1. Exemplos de embalagem tipo *stand-up pouch*. Fonte: Vólpak.

embalagens de alimentos e 80% apontaram a redução de custos como o grande motivador da mudança. Foi também identificado que 42% dos produtos lançados no mercado americano utilizam embalagens flexíveis^[4].

Diferentes materiais e estruturas podem ser usados neste tipo de embalagem. O requisito para a sua escolha são: rigidez, resistência mecânica, propriedades de barreira e selabilidade, exigidos pelo produto a ser acondicionado. A camada externa deve proporcionar boa qualidade de impressão (brilho e transparência) e características de barreira. Os filmes que podem ser usados externamente são: poli(tereftalato de etileno) - PET, PET revestido com copolímero de cloreto de vinila e cloreto de vinilideno - PVDC ou metalizado, poliamida orientada - OPA e polipropileno biorientado - BOPP. Já a camada interna deve acrescentar rigidez à embalagem, para que ela permaneça em pé e atuar também como camada selante. Geralmente a camada interna é composta de polietileno de baixa densidade linear - PEBDL, mas há a possibilidade de usar polietileno de baixa densidade - PEBD, copolímero de etileno e acetato de vinila - EVA, metaloceno ou polipropileno - PP. Outras resinas podem ser incorporadas à estrutura para aumentar a barreira a gases como poliamida - PA, copolímero de etileno e álcool vinílico - EVOH e folha de alumínio. O alumínio também proporciona rigidez, barreira ao vapor d'água e barreira à luz à embalagem^[5].

As principais vantagens do uso do *stand-up pouch* são: a capacidade de ficar em pé na prateleira; a característica de permanecer plano antes do acondicionamento do produto – que traz economia no transporte e no espaço utilizado para armazenagem; e o fato de usar menos plástico do que uma embalagem rígida, gastando, comparativamente, menos energia para ser produzida, além de gerar menor quantidade de lixo para descarte^[5]. Isso representa um diferencial em relação a outras embalagens, do ponto de vista de preservação do meio ambiente.

Segundo MURRAY, o uso de embalagem flexível em substituição a uma embalagem rígida de mesmo volume (p.e. garrafa de PET de 500mL por *stand-up pouch* de 500mL) proporciona economia nos seguintes itens: uso de depósitos menores, uso de menor quantidade de máquinas, menor número de empregados no manuseio e economia de 25% na etapa de transporte e distribuição. Ou seja, o *stand-up*

pouch custa menos na etapa de estocagem do que uma garrafa de PET de tamanho equivalente^[6].

Pelos motivos apresentados anteriormente, o emprego de *stand-up pouches* para o acondicionamento dos mais variados tipos de produtos (secos, particulados, líquidos, viscosos, refrigerados, congelados e esterilizados) tem crescido bastante, tanto no mercado internacional como nacional^[4,6-8]. Nos EUA, as vendas cresceram 3,9% de 1998 para 1999 e a perspectiva de crescimento para 2000 era de 4,8%^[4]. Este aumento no uso de embalagens flexíveis é atribuído como a tendência mais notável no mercado de embalagens depois daquela registrada com a introdução do PET^[8].

Um dos principais atributos que tem impulsionado o uso deste tipo de embalagem é o custo, que em muitos casos é de até cinco vezes inferior àquele de uma embalagem rígida. Isto decorre do fato de que o processo de produção do *stand-up pouch* se baseia em bobinas já impressas. Uma única máquina é responsável pela formação, enchimento e fechamento da embalagem, sem a necessidade de colocação de rótulos ou tampas. Além disso, as embalagens apresentam fácil abertura, podem ser fechadas novamente após sua abertura quando têm zíper como acessório e permitem a visualização do produto como apelo mercadológico quando sua estrutura contém visor transparente^[8-11].

Por outro lado, o *stand-up pouch* está sujeito a problemas intrínsecos aos materiais flexíveis, necessitando de um dimensionamento adequado de sua estrutura e da embalagem secundária, de modo a assegurar um desempenho adequado. Além disso, o *stand-up pouch* apresenta dificuldades para a reciclagem uma vez que sua estrutura é composta por diversos materiais o que normalmente inviabiliza sua reciclagem devido a incompatibilidade dos mesmos.

Desta forma, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de estimar o desempenho da embalagem *stand-up pouch* em condições de transporte e distribuição, enfocando o aparecimento de prováveis falhas na estrutura que podem estar associadas aos seguintes fatores:

- Problemas de laminação da estrutura;
- Flexibilidade e características de elasticidade da folha de alumínio;
- Efeito crítico da solitação mecânica da embalagem em decorrência da mesma ser usada para o acondicionamento de um produto líquido.

Experimental

Materiais

Neste estudo foi avaliado um tipo de *stand-up pouch* produzido comercialmente, utilizado para o acondicionamento de um tipo de produto líquido com densidade de 0,91g/cm³, com capacidade de 150mL, confeccionado com um laminado com a seguinte estrutura: (face externa) PET 12μm / impressão / folha de alumínio 8μm / PET 12μm / PEBDL 50μm. As principais cores utilizadas na impressão do laminado eram: perolado, preto e dourado.

Métodos

Simulação de transporte

O ensaio de vibração foi realizado em uma mesa de vibração marca MTS, modelo 495.10, com 1,5 x 1,5m e 5t de força dinâmica, sendo a mesa controlada pelo equipamento *Random Vibration Controller*, marca Schlumberger, modelo 1209. O ensaio foi executado utilizando-se o espectro sugerido para caminhões na norma ASTM D4728-95 – “Standard test method for random vibration testing of shipping containers”^[12], mostrado na Figura 2, utilizando uma vibração randômica de 0,52g²/Hz, que corresponde à raiz quadrada da integral da curva em toda a faixa de frequência, durante 240 minutos.

O ensaio de vibração foi realizado com 36 unidades de *stand-up pouches* cheias (com o produto) e acondicionadas em uma caixa de papelão ondulado, dispostos em seis fileiras de 6 unidades, com uma divisória em papelão ondulado a cada 2 fileiras. Esta caixa foi colocada sobre uma carga suporte de apro-

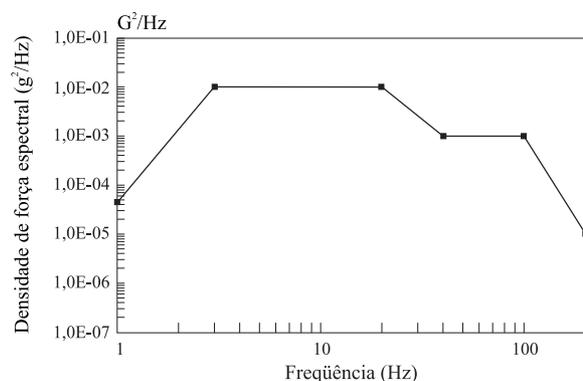


Figura 2. Espectro de vibração randômica para caminhões segundo a norma ASTM D4728-95^[12].

ximadamente 2m de altura, que seria uma situação de transporte mais crítica. O tempo de ensaio corresponde a uma distância percorrida de aproximadamente 2000km^[12].

Resistência à delaminação

A resistência à delaminação foi determinada com base na norma ASTM D 1876-95 (1996) “Standard test method for peel resistance of adhesives”^[13]. Corpos-de-prova com 25,4mm de largura, 200mm de comprimento e 82µm de espessura foram tracionados a uma velocidade de 50mm/min, em uma máquina universal de ensaios mecânicos marca INSTRON, modelo 5500 R, operando com célula de carga de 10N. A distância entre as garras de fixação do corpo-de-prova foi de 50mm. O ensaio foi conduzido em ambiente a 23°C e 65% de umidade relativa.

Os corpos-de-prova foram obtidos na direção transversal do laminado. Foram avaliadas as laminações do alumínio em relação ao PET externo (Al/PET externo) e ao PET interno (Al/PET interno/PE).

Avaliação visual por microscopia óptica

Amostras de *stand-up pouch* sem simulação de transporte e submetidas ao ensaio de vibração foram analisadas visualmente quanto à ocorrência de furos na folha de alumínio (contra uma fonte de luz) e quanto à presença de delaminação. Nos casos onde foram observadas fraturas na folha de alumínio, que consistiu basicamente na região do vinco localizado no fundo do *stand-up pouch*, as amostras foram observadas em microscópio óptico e eletrônico de varredura a fim de explorar os defeitos com maiores detalhes.

A avaliação visual das amostras foi feita empregando-se estereomicroscópio marca Olympus modelo SZS 1145 TR com câmera fotográfica acoplada marca Olympus modelo C35DA-2, com aumentos variáveis de 18 a 110 vezes. Foram realizadas observações com luz incidente e luz transmitida da região do vinco no fundo dos *stand-up pouches* antes e após a realização do ensaio de simulação de transporte.

Avaliação por microscopia eletrônica de varredura

Empregou-se microscópio eletrônico de varredura (MEV) marca Zeiss, modelo DSM 940 A, acoplado a um espectrômetro de análise dispersiva de raios-X (EDX) Oxford, modelo Link Isis. As análises foram realizadas após recobrimento dos cor-

pos-de-prova com uma camada de carbono, realizado em equipamento Balzers, modelo SCD 050. Foram realizados cortes com bisturi cirúrgico na região do vinco da base do *stand-up pouch*, de maneira a observar as áreas transversais da embalagem, tanto em unidades sem simulação de transporte (como recebidas) quanto nas embalagens submetidas a esse ensaio.

O mapeamento do Al foi conduzido mediante varredura lenta, utilizando-se as seguintes condições instrumentais: distância de trabalho (WD) de 25mm; inclinação da amostra de 0°; aumento de 200 e 500 vezes; voltagem de aceleração de 20kV e tamanho de abertura de 1000µm.

Resultados e Discussão

Após a simulação de transporte, não foi observada nenhuma ruptura do *stand-up pouch* com vazamento do produto. No entanto, houve incidência de danos na estrutura do laminado, mais especificamente ruptura da folha de alumínio. As rupturas podem ser observadas visualmente, posicionando-se a região de interesse contra uma fonte de luz.

Uma vez que a folha de alumínio é protegida pela laminação, avaliou-se a resistência à delaminação da estrutura. Como pode ser observado na Tabela 1, os resultados mostram claramente a influência da cor da impressão na resistência da laminação externa (Al/PET externo). Ou seja, a região do laminado que corresponde à impressão de tom perolado apresentou uma resistência à delaminação da ordem de 0,5N/25,4mm, ao passo que as regiões de impressão escura e de impressão dourada apresentaram resistência à delaminação da ordem de 3N/25,4mm. A laminação interna ((Al/PET interno/PE), por sua vez, apresentou maior aderência, com valor médio de 5N/25,4mm.

Tabela 1. Resistência à delaminação do laminado avaliado, na direção transversal (N/25,4mm).

Laminação PET/Al	Média	Desvio padrão
Externa	0,5 (região de impressão perolada)	0,2
Externa	3 (região de impressão preta e dourada)	0,9
Interna	5	0,2

Esta variação nos resultados provavelmente é decorrente da influência do pigmento na ancoragem da tinta no PET e/ou adesivo/tinta, que afeta a interação do adesivo utilizado na laminação da camada externa^[14]. Ou seja, nas regiões de maior resistência, a delaminação ocorreu entre a impressão e a folha de alumínio, ficando a impressão aderida ao PET. Já na região de menor resistência, a delaminação ocorreu entre a impressão perolada e o PET, resultando na impressão perolada aderida à folha de alumínio e os caracteres em impressão preta aderidos ao PET.

Por sua vez, a laminação interna, que não tem influência de impressão, apresentou resistência à delaminação bem superior.

De qualquer modo, o resultado obtido para a laminação externa é baixo para estruturas contendo folha de alumínio. Provavelmente, esta laminação é fraca para a confecção de embalagens do tipo *stand-up pouch*, sendo normalmente empregadas estruturas com resistência à delaminação da ordem de 5N/25,4mm, que foi o valor determinado para a laminação interna da estrutura. Este tipo de embalagem necessita de uma maior resistência do laminado devido à expectativa de muito manuseio, além do fato do produto acondicionado ser líquido, solicitando mais da embalagem mecanicamente.

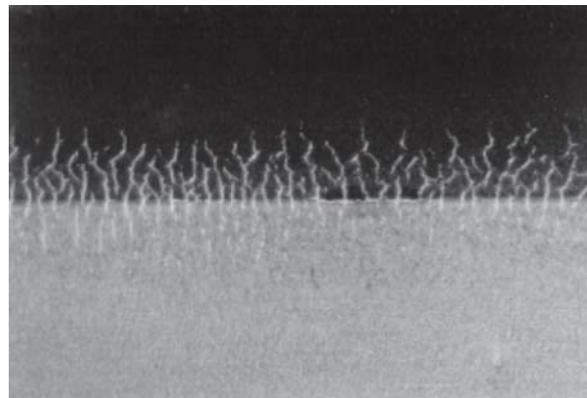
Assim, a fim de verificar com maiores detalhes as rupturas observadas na folha de alumínio, as embalagens foram avaliadas por microscopia e os resultados são apresentados nos próximos itens.

Avaliação por microscopia óptica com luz refletida e luz transmitida

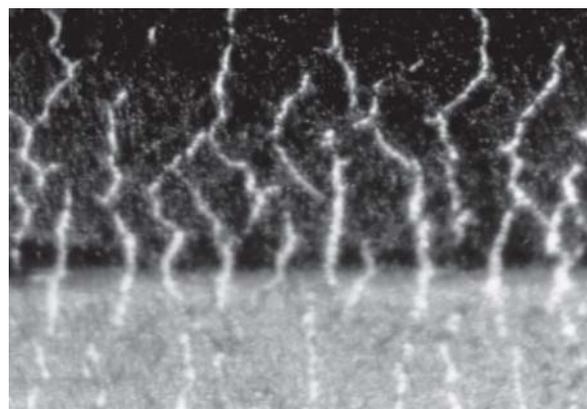
A região do vinco no fundo do *stand-up pouch*, antes da simulação de transporte, não apresentou defeitos visíveis na camada intermediária de folha de alumínio, mas somente a marca de dobradura do vinco.

Por outro lado, a região do vinco no fundo das embalagens após o ensaio de simulação de transporte demonstra o claro aparecimento de estrias e, portanto, formação de descontinuidades na folha de alumínio conforme ilustrado nas Figuras 3a e 3b.

Conforme mostram estes resultados, ainda que não tenha ocorrido vazamento do produto após a simulação de transporte, a estrutura do laminado ficou bastante prejudicada, uma vez que provocou o surgimento de inúmeras rupturas pequenas na folha de alumínio. Por este motivo, o *stand-up pouch* pode



(a)



(b)

Figura 3. Fotomicrografias da região do vinco no fundo do *stand-up pouch*, após simulação de transporte. Luz transmitida. Ampliação do estereoscópio: (a) 18 vezes e (b) 110 vezes.

ter seu desempenho comprometido na etapa de distribuição do produto.

Durante a movimentação da carga no transporte, o líquido traciona sucessivamente as paredes da embalagem, que precisam ter flexibilidade suficiente para absorver estes movimentos. Assim, possivelmente estas rupturas foram geradas em decorrência da solicitação mecânica do produto líquido à embalagem.

Uma provável explicação para o fato observado no sistema em estudo é que as camadas de PET alongaram além da capacidade da folha de alumínio, resultando num esforço excessivo sobre a folha de alumínio. Uma vez que a capacidade de alongamento da folha de alumínio é muito inferior ao alongamento do plástico, houve a ruptura da folha em diversos pontos.

Esse efeito mostra que, embora o filme de PET teoricamente devesse conferir resistência mecânica ao laminado protegendo a folha de alumínio, a proteção oferecida não foi suficiente, ou porque a solicitação mecânica simulada foi muito crítica ou porque a

resistência das laminações não suportou o efeito da vibração.

Provavelmente seria necessário usar uma folha de alumínio com propriedades mecânicas diferentes daquela que foi usada no laminado em estudo, de modo que lhe conferisse um maior alongamento.

Avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise de raios-X por dispersão de energia (EDX)

A Figura 4 apresenta uma fotomicrografia do corte transversal da região do vinco no fundo do *stand-up pouch*, antes da simulação de transporte, obtida a partir de uma ampliação de 200 vezes. Como pode ser observado, as diferentes camadas que compõem o laminado são contínuas. A continuidade da folha

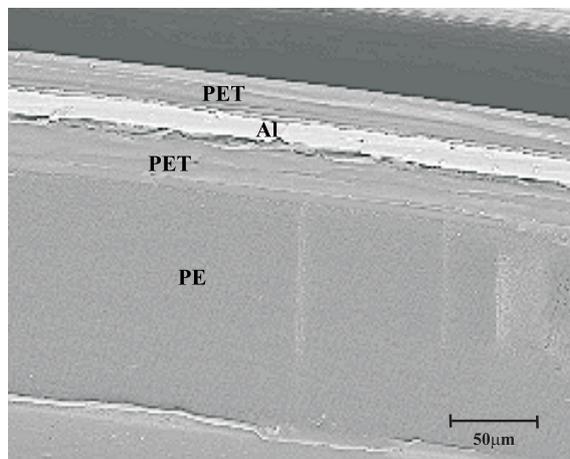


Figura 4. Fotomicrografia obtida em MEV da seção transversal da região do vinco na base do *stand-up pouch*, antes da simulação de transporte.

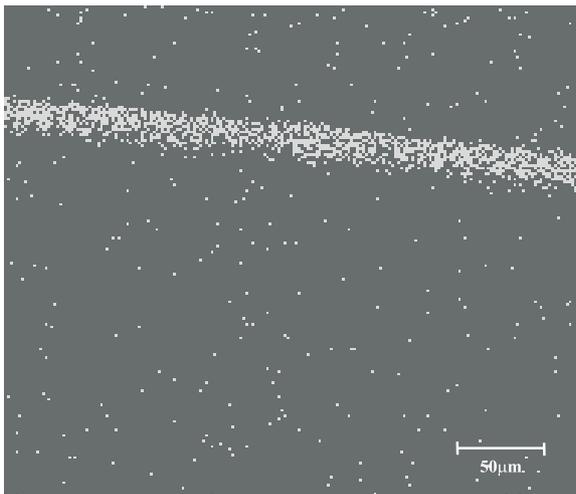


Figura 5. Fotomicrografia ilustrando o mapeamento do elemento alumínio da região do vinco na base do *stand-up pouch*, antes da simulação de transporte.

de alumínio é confirmada pela Figura 5, que apresenta análise de mapeamento do alumínio (Al), onde pode ser observado que a folha de alumínio, revelada pela linha mais clara, é coesa e não tem interrupções.

A Figura 6 apresenta fotomicrografia do corte transversal do laminado do *stand-up pouch*, após simulação de transporte, obtida a partir de ampliação de 200 vezes, onde pode ser observada a descontinuidade de uma das diversas camadas que compõem o laminado. A análise de mapeamento do alumínio (Al), comprova a existência de interrupções na camada de alumínio (Figura 7).

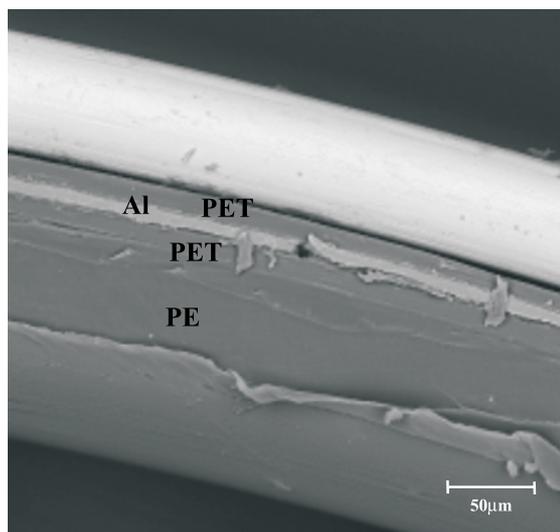


Figura 6. Fotomicrografia obtida em MEV da seção transversal da região do vinco no fundo do *stand-up pouch*, após simulação de transporte.

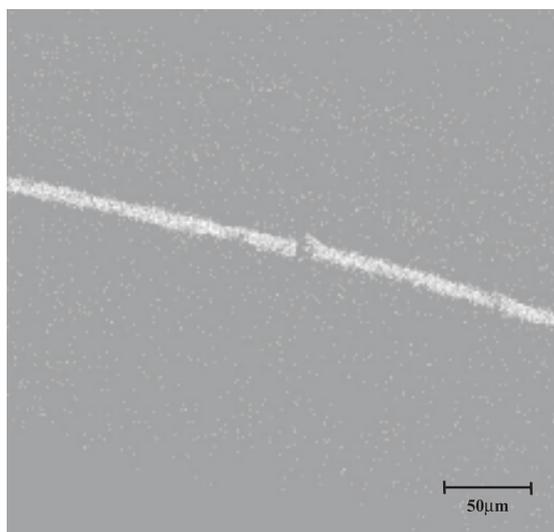


Figura 7. Fotomicrografia ilustrando o mapeamento do elemento alumínio da região do vinco em seção transversal do fundo do *stand-up pouch*, após simulação de transporte.

As rupturas observadas no laminado na região do vinco no fundo do *stand-up pouch*, em decorrência da simulação de transporte, correspondem a falhas na folha de alumínio, enquanto as camadas compostas por material plástico permaneceram íntegras.

Portanto, fica evidenciado que o transporte tem um efeito bastante destrutivo sobre a folha de alumínio presente no laminado, o qual perde suas propriedades de barreira como decorrência das rupturas formadas.

Conclusões

O efeito da simulação de transporte sobre o *stand-up pouch* foi severo para a estrutura, uma vez que provocou inúmeras rupturas da camada de alumínio do laminado, com consequências sobre as propriedades de barreira e estanqueidade da embalagem.

As prováveis causas dos danos provocados na embalagem estudada são:

- laminação fraca para a confecção de embalagens do tipo *stand-up pouch*;
- alongamento das camadas de PET além da capacidade da folha de alumínio, resultando num esforço excessivo sobre a folha de alumínio.

Assim, a fim de solucionar os problemas detectados neste estudo, sugere-se o aumento da resistência da laminação e/ou a alteração das propriedades de alongamento da folha de alumínio.

Esta estrutura necessita de uma maior resistência do laminado devido à expectativa de muito manuseio, tanto no momento da confecção da embalagem, quanto no momento da distribuição e consumo, além do fato do produto acondicionado ser líquido.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida a Maurício A. Jaime através do programa RHAÉ.

Referências Bibliográficas

1. Pflaum, W.C. – “*Packaging, economic development and the environment: the global case for more and better packaging*”, in: Anais do 8th IAPRI World Conference on Packaging, v. 1, p. 103, São Paulo - SP (1993).
2. Coltro, L. - Pack Tecn. Emb. Logíst. Des., **3** (29), p.16 (2000).
3. Coltro, L. – Engar. Mod., **7** (45), p. 18 (1996).
4. Orloski, A. - Pack Tecn. Emb. Logíst. Des., **4** (40), p. 28 (2000).
5. Canavesi, E. & Alves, R.M.V. - Pack Tecn. Emb. Logíst. Des., **3** (31), p.16 (2000).
6. Murray, R.C. – “*Advanced flexible container systems gain global markets*”, in: Anais do BEV-PACK South America’99, 6p., São Paulo - SP (1999).
7. Butschili, J. - Pack Tecn. Emb. Logíst. Des., **4** (41), p. 22 (2001).
8. Palhares, W. – EmbalagemMarca, **1** (4), p. 12 (1999).
9. Kamio, G. – EmbalagemMarca, **2** (15), p. 14 (2000).
10. Zippered pouches... – Pack. Dig., **36** (8), 34 (1999).
11. Standup poucher... - Pack. Dig., **36** (3), 32 (1999).
12. American Society for Testing and Materials – ASTM. *Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers. ASTM D4728-95*. Philadelphia: ASTM, (2000). 6p.
13. *Standard test method for peel resistance of adhesives*. ASTM D1876-95. Philadelphia: ASTM, (1996). 3p.
14. Mittal, K.L. – Seminário Ciência e Tecnologia de Adesão em Polímeros. ABPol: São Paulo – SP (1996). 60p.

Recebido: 30/07/01
Aprovado: 23/04/02