

Definição de ambiente padrão para condicionamento e realização de ensaios e sua influência nas propriedades de materiais plásticos

Fábio Teixeira

Pesquisador Analítico-Tecnológico - Cetea

As propriedades mecânicas e de barreira dos materiais plásticos são influenciadas pelas condições ambientais em que se encontram. Tendo em vista o uso desses materiais em embalagens e a variação das condições ambientais em todas as etapas de sua utilização: confecção da embalagem, processo de acondicionamento do produto, estocagem, distribuição e utilização pelo consumidor, é necessário prever seu desempenho dentro de uma margem de variação de temperatura e umidade relativa as quais serão submetidas.

Ao se desenvolver uma embalagem plástica para acondicionamento de sorvete, por exemplo, deve-se levar em consideração seu desempenho a baixas temperaturas, uma vez que seu armazenamento será realizado a baixas temperaturas (-10 °C a -20 °C), e o material será solicitado mecanicamente pela compressão resultante do empilhamento das embalagens. No caso de outros produtos congelados, como carnes, é preciso que a embalagem mantenha uma boa barreira ao oxigênio e ao vapor d'água para preservar as características do produto dentro dos padrões aceitáveis para seu consumo.

Dentro desse contexto, o condicionamento de embalagens e/ou corpos de prova se torna imprescindível para a determinação de propriedades de materiais plásticos. O condicionamento se refere à estocagem do material em ambiente com determinadas condições de temperatura e umidade relativa, durante um intervalo de tempo. A finalidade desse procedimento é colocar o material em estado de equilíbrio e, de acordo com a norma ASTM D618 (2013), possibilita a comparação entre materiais ou laboratórios, a partir da obtenção de resultados reprodutíveis (independentemente da condição prévia do material), ou a avaliação do comportamento do material quando exposto a diferentes condições ambientais.

Quando se faz necessária a comparação de materiais em condições específicas, a norma ASTM D618 (2013) estabelece exemplos de temperaturas e suas tolerâncias, como demonstra a Tabela 1. Em relação à umidade relativa, quando a tolerância de temperatura for igual a ± 2 °C, a tolerância de umidade relativa deve ser de $\pm 10\%$ e quando a tolerância de temperatura for igual a ± 1 °C, deve ser de $\pm 5\%$. Essas tolerâncias devem ser adotadas apenas quando não houver outras especificadas.

TABELA 1. Temperaturas de teste e tolerâncias (adaptado de ASTM D618 (2013)).

Temperatura de teste (°C)	Tolerância (°C)
-70 a 180	±2
200 a 300	±3
325	±4
350	±5
400	±6
450	±8
500	±10
600	±12

Para simular condições ambientais, em função do tipo de produto acondicionado e/ou tipo de estocagem pretendida, a norma ASTM D4332 (2014) apresenta sugestões de condições de temperatura e umidade relativa, que são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. Condições ambientais (adaptado de ASTM D4332 (2014)).

Condição ambiental	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
Criogênico	-55 ± 3	-
Frio extremo	-30 ± 2	-
Congelamento	-18 ± 2	-
Refrigeração	5 ± 2	85 ± 5
Temperado de alta umidade	20 ± 2	90 ± 5
Tropical	40 ± 2	90 ± 5
Desértico	60 ± 2	15 ± 5

Contudo, de acordo com a norma ASTM E171/E171M (2015), apenas a temperatura e umidade relativa não são suficientes para definir uma condição de estocagem, sendo necessária a definição de outras condições como a exposição à luz, o tempo e a pressão atmosférica.

Esses parâmetros adicionais observados na ASTM E171/E171M (2015) são relevantes, porém, em análises rotineiras que têm como objetivo caracterizar uma embalagem ou ainda avaliar seu desempenho para conferência de uma especificação técnica, por exemplo, é importante que as propriedades sejam determinadas seguindo um mesmo padrão, principalmente se o material analisado possuir características higroscópicas.

Para a determinação de diversas propriedades de materiais plásticos, as normas recomendam condições que devem ser adotadas no condicionamento e no ambiente de realização do ensaio. Em linhas gerais, as normas da ASTM estabelecem que sejam seguidas as condições de 23 °C ± 2 °C e (50 ± 10)% de umidade relativa, quando for referenciada a norma ASTM D618, ou 23 °C ± 2 °C e (50 ± 5)% de umidade relativa, quando for referenciada a norma ASTM E171/E171M. O tempo mínimo de condicionamento varia de no mínimo 24 horas ou de no mínimo 40 horas.

Já a norma ISO 291 (2008) recomenda a utilização de duas condições: (1) 23 °C / 50% de umidade relativa (pode ser utilizada a não ser que outra condição seja especificada) ou (2) 27 °C / 65% de umidade relativa (pode ser utilizada para países tropicais, desde que todas as partes interessadas estejam de acordo). As tolerâncias para essas condições podem ser classificadas em duas classes, como mostra a Tabela 3.

TABELA 3. Condições ambientais (adaptado de ISO 291 (2008)).

Classe	Desvio permitido de temperatura (°C)	Desvio permitido na umidade relativa (%)	
		23/50	27/65
1	± 1	± 5	± 5
2	± 2	± 10	± 10

Nota: O tipo de classe indica a criticidade das tolerâncias. De forma geral, as tolerâncias são definidas em pares, por exemplo, tolerâncias classe 1 para temperatura e umidade relativa ou tolerâncias classe 2 para temperatura e umidade relativa.

Exemplos de variações de propriedades de materiais e de embalagens plásticas quando determinadas em diferentes condições de condicionamento e de realização dos testes são apresentados a seguir.

Segundo Sarantópoulos (2003), a temperatura é um dos fatores que influenciam na permeabilidade de polímeros, uma vez que o coeficiente de permeabilidade de sistemas polímero/permeante apresenta dependência da temperatura e é expressa pelo modelo de Arrhenius:

$$P = P_0 \exp(-EP/RT)$$

Onde:

P_0 = constante de proporcionalidade (fator pré-exponencial) independente da temperatura

E_0 = energia de ativação para a permeação

R = constante dos gases

T = temperatura absoluta (K)

Essa equação deve ser aplicada para intervalos de temperatura, uma vez que, quando o polímero passa por uma transição térmica, como a T_g , por exemplo, verifica-se uma descontinuidade na tendência, havendo uma nova relação entre a permeabilidade e a temperatura. Essa equação, ainda, pode ser utilizada para estimativas de permeabilidade de materiais em diferentes condições de temperatura, desde que em intervalos onde não haja transições térmicas (SARANTÓPOULOS, 2003).

Robertson (2013) apresenta exemplos de variação no coeficiente de permeabilidade ao oxigênio e na taxa de permeabilidade ao vapor d'água de diferentes materiais plásticos em função das condições ambientais, como mostram as Tabelas 4 e 5, respectivamente.

TABELA 4. Efeito do vapor d'água no coeficiente de permeabilidade ao oxigênio a 20 °C (reproduzido de Robertson (2013)).

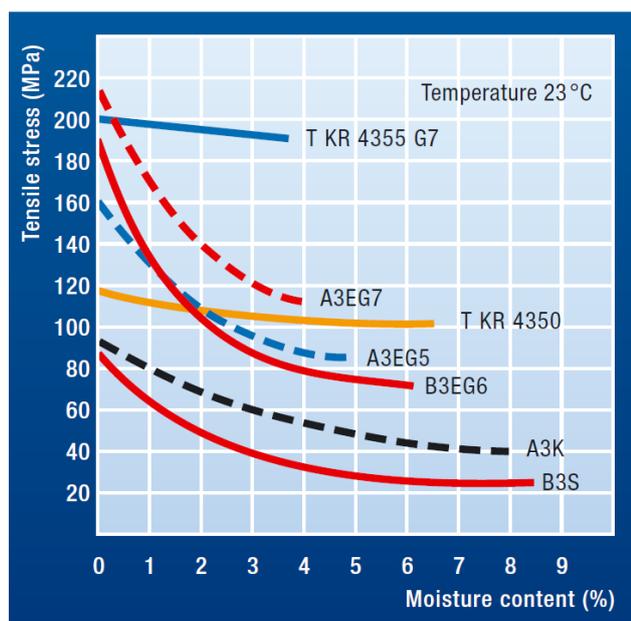
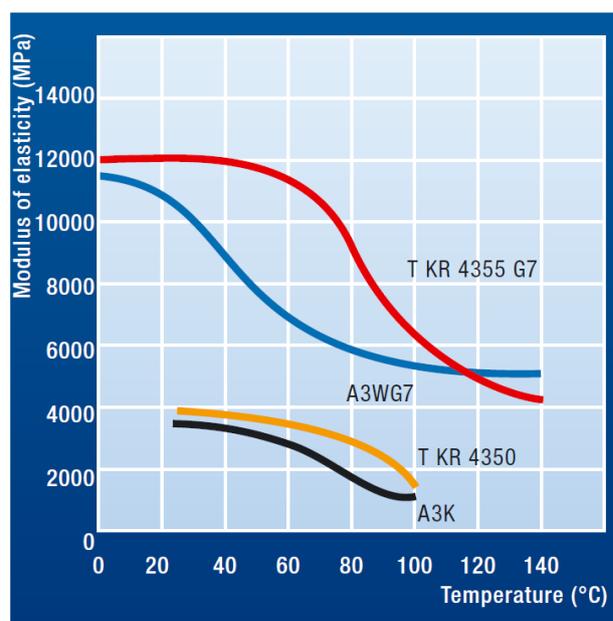
Polímero	Coeficiente de permeabilidade ao oxigênio	
	0% UR	100% UR
EVOH	0,00005	0,006
PA 6	0,0076	0,043
PA MXD6	0,0009	0,004
PET	0,023	0,023
LDPE	2,38	2,38

Materiais com características higroscópicas, como o EVOH e as poliamidas, que possuem cadeia altamente polar pela presença de grupos hidroxilas, sofrem uma significativa perda de barreira a gases com o aumento da umidade relativa. Isso deve-se ao fato da umidade agir como um plastificante da matriz polimérica, aumentando os espaçamentos entre as cadeias e, assim, favorecendo a permeação do gás pela estrutura.

TABELA 5. Taxa de permeabilidade ao vapor d'água de alguns polímeros (reproduzido parcialmente de Robertson (2013)).

Polímero (Filme com 25 µm)	TPVA (g água . m ⁻² . dia ⁻¹)	
	38 °C / 90% UR	25 °C / 75% UR
PEBD	12,5	4,00
PEAD	3,70	1,45
PP	8,20	3,30
OPP	5,00	1,35
PVC rígido	32,00	12,00
PVC plastificado	85,00	32,70
PET	20,00	7,00
PET metalizado	1,00	0,40
PA 6	280	80 – 110
OPA 6	130	28
PA 6,6	90	15 – 30
EVOH (32% de etileno)	80,0	32,0

As Figuras 1 e 2, extraídas de BASF (s.d.), apresentam a influência da umidade na resistência máxima à tração e da temperatura no módulo de elasticidade de resinas de poliamida, quando determinadas de acordo com a norma ISO 527-1 (2012). Pode-se observar que com o aumento da umidade das resinas de poliamida (que podem decorrer da exposição desses materiais a ambientes com maior umidade relativa ou do contato com alimentos úmidos) ou ainda, com o aumento da temperatura, há tendência, em maior ou menor grau, em função de suas características específicas, de diminuição da resistência máxima à tração e do módulo de elasticidade. No caso do aumento da umidade (Figura 1), isso deve-se, principalmente, pelo efeito de plastificação das cadeias pelas moléculas de água (mesmo efeito citado anteriormente neste artigo). Já no exemplo apresentado na Figura 2, a diminuição do módulo de elasticidade – propriedade mecânica relacionada à rigidez – ocorre pelo aumento da movimentação das cadeias, resultante do aumento da temperatura. Segundo Robertson (2013), a temperatura de transição vítrea (T_g) das poliamidas, a qual o polímero passa a apresentar um comportamento menos rígido e torna-se mais maleável, encontra-se numa faixa de 40 °C a 60 °C.

**FIGURA 1.** Tensão de ruptura x Umidade de resinas de poliamida determinada de acordo com a norma ISO 527-1 (2012) (BASF, s.d.).**FIGURA 2.** Módulo de elasticidade x Temperatura de resinas de poliamida determinada de acordo com a norma ISO 527-1 (2012) (BASF, s.d.).

Os dados apresentados demonstram a relevância das condições ambientais nas propriedades de materiais plásticos. O Cetea oferece uma ampla gama de ensaios físico-mecânicos e de avaliação de propriedades de barreira que podem ser realizados em diferentes condições ambientais para aplicação em estudos de vida de prateleira ou de desempenho mecânico.

Referências

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3985-17**: standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor. West Conshohocken: ASTM, 2017. 7 p

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D4332-14**: standard practice for conditioning containers, packages, or packaging components for testing. West Conshohocken: ASTM, 2014. 3 p.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D618-13**: standard practice for conditioning plastics for testing. West Conshohocken: ASTM, 2013. 4 p.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D638-14**: standard test method for tensile properties of plastic. West Conshohocken: ASTM, 2014. 17 p.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E171/E171M-11 (2015)**: standard practice for conditioning and testing flexible barrier packaging. West Conshohocken: ASTM, 2015. 2 p.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM F1927-14**: standard test method for determination of oxygen gas transmission rate, permeability and permeance at controlled relative humidity through barrier materials using a coulometric detector. West Conshohocken: ASTM, 2014. 6 p.

BASF. **Ultramid®/Capron®**: polyamide (PA). Germany: Basf, [s.d.]. 68 p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 291-1:2008**: plastics — determination of tensile properties - part 1: general principles. Switzerland: ISO, 2008. 23 p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 527-1:2012**: plastics — standard atmospheres for conditioning and testing. Switzerland: ISO, 2012. 8 p.

ROBERTSON, G. L. **Food packaging**: principles and practice. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. 703 p.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Permeação em embalagens poliméricas. In: PERES, L. **IQ 704 Sorção e difusão em polímeros**. Campinas: DTP/FEQ/UNICAMP, 2003.