

Prática nº 3 – Ensaio de Tração em Polímeros: Curva tensão-deformação.

Objetivos: Produzir corpos de prova por injeção, empregando condições diversas e avaliar as propriedades mecânicas de polímeros termoplásticos por meio de ensaios de tração. Obter as principais propriedades mecânicas de materiais poliméricos a partir das curvas tensão-deformação obtidas em ensaios de tração e determinar a influência das condições do ensaio e de processamento sobre as propriedades mediadas.

Introdução: As propriedades mecânicas dos polímeros são dependentes da mobilidade molecular que é influenciada pela natureza química das macromoléculas, pela massa molar, pela presença de ramificações e de ligações cruzadas, do grau de cristalinidade, presença de plastificantes, cargas, aditivos, orientação molecular e outros aspectos relacionados à história térmica da amostra e condições de processamento. Um aspecto fundamental que deve ser levado em conta na determinação das condições e na análise dos resultados dos ensaios mecânicos dos polímeros é o seu comportamento viscoelástico que pode ser muito marcante em determinados materiais. Essa prática tem como objetivo demonstrar como o processamento e a forma de conduzir um ensaio mecânico em um polímero termoplástico podem afetar os resultados do ensaio e características fundamentais como módulo de elasticidade, tensão máxima de ruptura e alongamento na ruptura. Também se pretende que o aluno se familiarize com normas técnicas para a realização de ensaios mecânicos de polímeros.

Moldagem por injeção

A moldagem por injeção é uma das técnicas mais versáteis empregadas no processamento de polímeros termoplásticos que se destaca por sua praticidade e elevada produtividade e eficiência para a produção de peças com formas complexas. Devido ao alto custo das máquinas, moldes e equipamento auxiliar, a alta produtividade é fundamental para tornar esse método viável.

Um equipamento de injeção possui dois componentes principais, a injetora (Figura 1) e o molde de injeção. O ciclo de injeção envolve uma etapa com o molde fechado para receber o material fundido, a sua estabilização por resfriamento e então é abertura do molde e liberação da peça injetada. A figura 1 apresenta esquematicamente um equipamento de injeção e a Figura 2 corpos de prova injetados onde é possível observar os “galhos” de injeção que são na realidade formados pelos dutos por onde o material fundido percorreu até preencher molde.

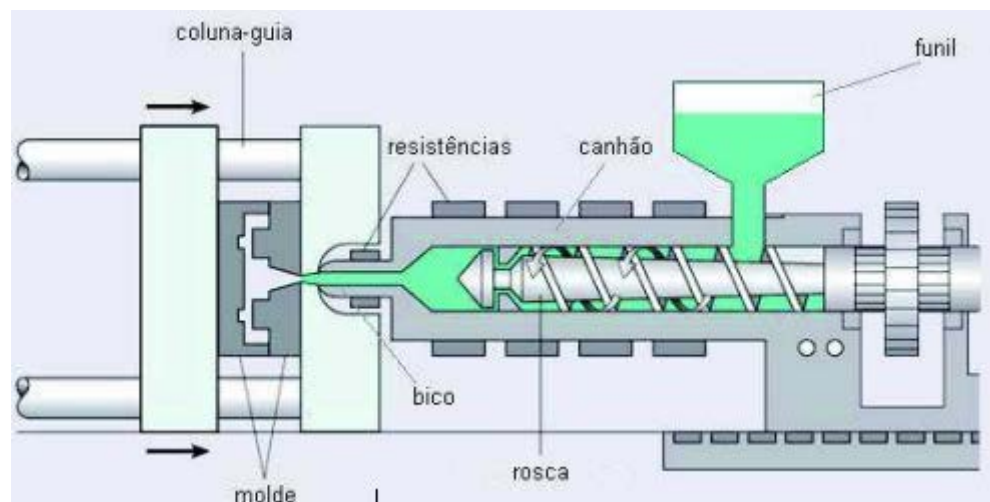


Figura 1. Esquema ilustrativo de uma injetora

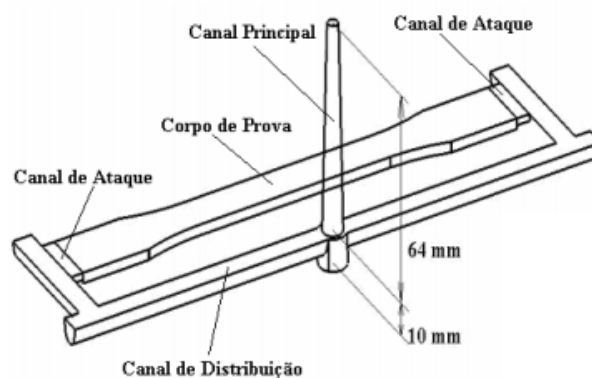
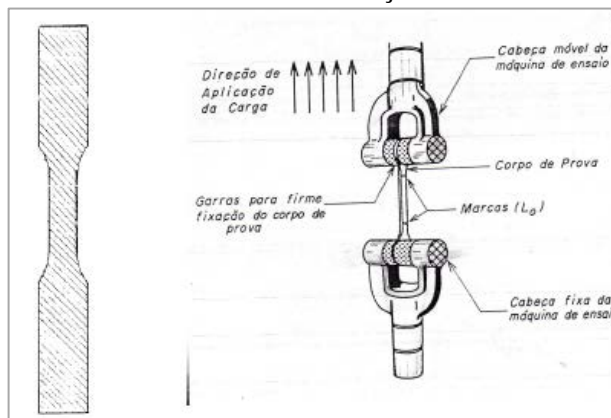


Figura 2. Corpo de prova no padrão borboleta ou gravata e galhos dos canais de injeção

Os parâmetros fundamentais do processo de injeção são a temperatura, tempo e pressão de injeção, temperatura do molde, pressão de fechamento do molde e tempo de estabilização para abertura do molde.

O Ensaio de Tração

O Ensaio de tração é o ensaio mais utilizado na caracterização mecânica dos polímeros. O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente à amostra, ao mesmo tempo em que são medidas as variações na sua dimensão. As especificações quanto à forma e dimensões dos corpos de prova, velocidade de tração, condições de condicionamento são estabelecidas em diversas normas como ASTM D638-10, ISO 527. A norma ASTM é bem genérica. Existem outras normas ASTM para filmes, fibras, compósitos e outros tipos de corpos de prova. Por outro lado, a norma ISO 527 se subdivide em cinco partes para diferentes tipos de materiais, sendo: “*Part 1: General principles; Part 2 - Test conditions for moulding and extrusion plastics; Part 3 - Test conditions for films and sheets; Part 4 - Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites; Part 5 - Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites.*”



A partir das medidas de cargas e os respectivos alongamentos, constrói-se a curva tensão-deformação como apresentado na Figura 1.



Figura 3. Curvas típicas para elastômeros, materiais flexíveis (plásticos) e rígidos (frágeis).

Os materiais poliméricos apresentam comportamento visco-elástico, fato que torna o seu comportamento mecânico complexo. As propriedades em tensão são influenciadas pela forma como são preparados os corpos de prova, velocidade de tração empregada e pelas condições ambientais nas quais os corpos de prova foram condicionados e ensaiados.

Para efeito de comparação de resultados de diferentes amostras, deve-se assegurar que os materiais foram preparados exatamente da mesma forma.

O equipamento de ensaio para o teste de tração é composto basicamente dos seguintes componentes:

Máquina de tração. Realiza um movimento com velocidade controlada com respeito a um membro fixo onde será preso o corpo de prova. O corpo de prova é preso por meio de garras na parte móvel e no membro fixo da máquina de tração.

Célula de carga e indicadores de deslocamento e da carga resultante. A célula de carga é em geral posicionada entre o braço móvel que realiza a tração e a garra onde está preso o corpo de prova.

A deformação é obtida pela determinação da distância entre dois pontos fixos no corpo de prova em função do tempo. Esses pontos devem ser localizados na área útil do corpo de prova (no caso dos corpos de prova em forma de borboleta, corresponde a região mais estreita). Essa medida é feita por meio do extensômetro, sendo que os tipos mais comuns de extensômetro são o mecânico e o óptico.

Corpo de prova para ensaios de tração

Podem ser utilizados corpos de prova na forma de placa plana, na forma de tubos ou bastão e na sua forma mais comum de gravata borboleta. Os corpos de prova são padronizados e designados segundo códigos específicos. A Figura 4 apresenta uma representação típica de um corpo de prova em forma de borboleta.

Os corpos de prova podem ser injetados na forma desejada ou então podem ser cortados de placas planas empregando facas com formato do corpo de prova.

O número de corpos de prova a ser testado para materiais isotrópicos é de pelo menos cinco. Para matérias não isotrópicos devem ser ensaiados ao menos dez corpos de prova de cada amostra. Devem ser descartados os resultados dos ensaios onde ocorrer fratura em algum defeito ou para o qual os valores obtidos forem muito diferentes dos valores obtidos na maioria dos ensaios realizados para cada amostra.

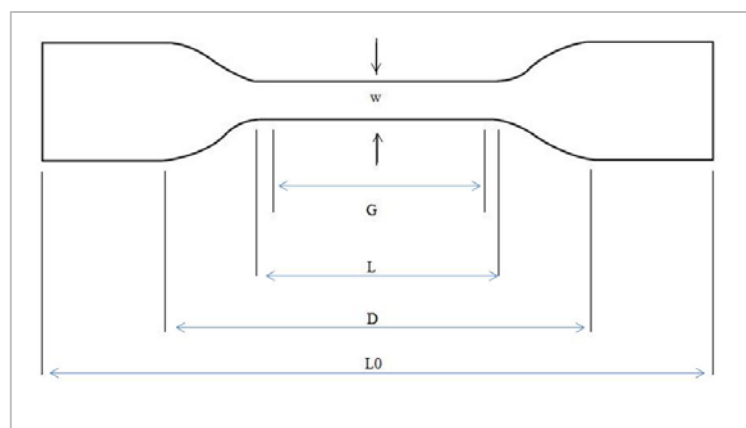


Figura 4. Corpo de prova em forma de borboleta e suas principais medidas.

Velocidade de ensaio

A velocidade de ensaios deve ser fixada de acordo com o especificado em norma para o material a ser ensaiado. A norma ASTM D638 estabelece que de modo geral a velocidade do ensaio deve ser tal que a ruptura do corpo de prova ocorra entre o intervalo de tempo de 0,5 e 5 minutos.

Realização do ensaio mecânico de tração

Realizar a medição dos corpos de prova individualmente medindo a espessura e a largura da área útil (compreendida dentro de G indicado na Figura 4) com exatidão de 0,025 mm. Caso os corpos de prova tenham sido injetados e tenha sido determinado previamente que a variação de um corpo de prova para outro é menor do que 1% um único corpo de prova pode ser medido e a sua medida usada para o conjunto.

Posicione o corpo de prova no equipamento de ensaio e prenda por meio das garras de modo que esse fique alinhado no sentido da tração.

Posicione o extensômetro em especial quando pretende determinar o módulo de elasticidade do material.

Ajuste a velocidade do ensaio e inicie a tração, registrando os dados.

Dados que podem ser obtidos a partir do ensaio de tração:

Limite de resistência. Calcule o limite de resistência dividindo a carga máxima observada em Newtons (N) pela seção de área média transversal calculada no segmento G em m^2 . Expresse o resultado em Pascals (Pa).

De acordo com nota A2.2 da norma ASTM D 638 – 10 “*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*” o alongamento pode ser definido como o aumento no comprimento entre duas marcas padrão no corpo de prova (“*gage marks*”) pelo carregamento de tensão. O “*gage marks*” depende do tipo de corpo de prova utilizado e está definido por norma. O alongamento ou extensão é expresso em unidades de comprimento, usualmente milímetros.

A deformação é a razão entre o alongamento pelo comprimento entre duas marcas padrão no corpo de prova, isto é, a mudança no comprimento por unidade do comprimento original. Pode ser expresso como uma razão adimensional, ou como porcentagem.

Deformação na Ruptura (em porcentagem). A deformação na ruptura é obtida tomando como referência a deformação no exato instante da fratura do corpo de prova.

Módulo de Elasticidade (E). O módulo de elasticidade ou módulo de Young é estimado pela inclinação da porção inicial linear da curva de tensão-deformação (razão entre a tensão e a deformação). Os dados devem ser computados tomando como referência a área da seção transversal original.

Módulo secante. O módulo secante é determinado tomando-se uma determinada deformação (p. ex. 1%) como referência e dividindo o valor da tensão correspondente pela deformação correspondente. É sempre preferível determinar o módulo elástico e usar o módulo secante apenas quando isso for de fato necessário.

Limite de escoamento. O limite de escoamento é a tensão observada no primeiro ponto da curva de tensão-deformação onde um aumento na deformação não provoca variação na tensão.

Limite de proporcionalidade. Ponto a partir do qual ocorre desvio da linearidade. Até esse ponto o material apresenta comportamento elástico e, portanto típico de uma mola de Hooke. Esse ponto é mostrado na Fig. 6.

Curvas de Tensão-deformação. Em geral as curvas de tensão-deformação típicas apresentem uma região inicial não linear indicada por 1-3 na Figura 5 e que não representem em absoluto uma propriedade do material, mas sim um artefato devido a acomodação do material na garra ou ao alinhamento no sentido da tração. Nesse caso deve-se tomar a linha 2-4 tendo como ponto zero o ponto 2. Essa correção deve ser feita para então proceder aos cálculos corretos.

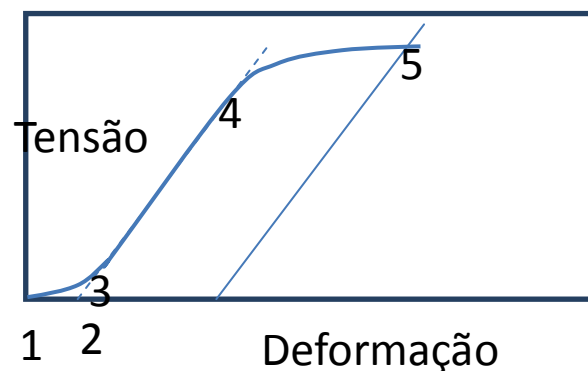


Figura 5. Curva com inflexão inicial devido a acomodação e alinhamento do corpo de prova (artefato), que deve ser desconsiderado. Em 2 temos o ponto zero de deformação corrigido.

A seguir curvas de tensão-deformação com os principais pontos característicos.

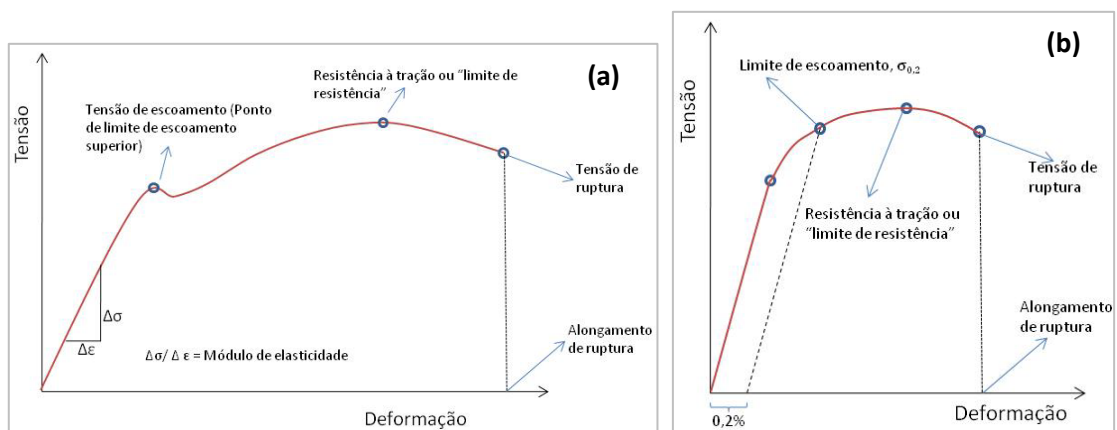


Figura 6. Curvas de tensão-deformação (a) com ponto de escoamento nítido e (b) com indicação de linha arbitrária em 0,2%.

A Norma ASTM D608-10

Os ensaios de tensão-deformação de polímeros termoplásticos são os mais utilizados para a caracterização mecânica desse tipo de material. Como o comportamento mecânico dos polímeros difere da maioria dos materiais que apresentam comportamento linear elástico para a resposta de tensão-deformação, esses ensaios são normatizados por normas como DIN 55457 e ASTM D638 ou a sua equivalente ISO 527.

A **ASTM D638** é uma das normas mais importantes e pode ser aplicada tanto para materiais não reforçados como reforçados, com espessura desde 1 até 14 mm, empregando corpos de prova padronizados na forma de borboleta (ou gravata). As condições ambientais de temperatura, umidade e de velocidade de ensaio devem ser controladas. O número de amostragem recomendado é de 10, podendo ser 5 para materiais anisotrópicos. A velocidade de aplicação da carga ou velocidade de ensaio, é dada pelo deslocamento da garra móvel em mm/min. e é estimada de acordo com o tipo de material, variando entre 5-500 (mm/min.). A taxa de deformação é escolhida em função da rigidez do material, sendo utilizada uma taxa baixa para materiais frágeis (rígidos) e uma taxa elevada para materiais dúcteis (não rígidos). Um critério geral para determinar a taxa a ser utilizada, é selecionar a menor velocidade capaz de produzir a ruptura do corpo de prova entre 0,5 e 5 min. Previamente ao ensaio, as amostras devem ser condicionadas em ambiente com umidade e temperatura controlado. Maiores detalhes sobre o condicionamento são obtidos na ASTM D618.

Referências Bibliográficas:

- **ASTM D638 – 14:** *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.*
- ASKLAND, D.R. - *The Science and Engineering of Materials - Solution manual*, Chapman & Hall, 1996. 400p.
- CALLISTER JR, W.D. - *Ciência e engenharia e materiais: uma introdução*. 5 ed.; LTC, Rio de Janeiro, 2000. 259p.
- **ISO 527-1:2019.** *Plastics — Determination of tensile properties — Part 1: General principles/* Também no catálogo da ABNT.
- **ISO 527-2:2012:** *Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics/* Também disponível na ABNT.
- SHACKELFORD, J.F. - *Ciência dos Materiais*, Editora Pearson Prentice Hall.

Roteiro da Prática:

1. Obtenção dos corpos de prova segundo a norma ASTM D618 (modelagem por injeção).

- Serão moldados corpos de prova de 2 polímeros distintos, tais como o poliestireno e polietileno de baixa densidade, que apresentam diferentes comportamentos mecânicos à temperatura ambiente, sendo o poliestireno um polímero amorfo com temperatura de transição vítrea de 110 °C e o polietileno um polímero semi-cristalino com temperatura de transição vítrea de - 60 a -120 °C e temperatura de fusão de 110 - 115 °C.

2. Ensaio de Tração

(a) Medir as dimensões da seção transversal do corpo de prova

(b) Após preparado o equipamento e posicionado a amostra, medir a distância entre as garras e a distância útil (G)

(c) Programar o ensaio dos dois polímeros com velocidade de 50mm/min.

(d) Determinar o módulo de elasticidade, o limite de escoamento, o limite de resistência, a tensão e alongamento na ruptura.

(e) Repetir o ensaio para o polietileno com o mesmo condicionamento e dimensões, porém variar a velocidade de ensaio para 500mm/min. Determinar o módulo de elasticidade, o limite de escoamento, o limite de resistência, a tensão e alongamento na ruptura

(f) Comparar as duas curvas geradas e discutir a influência da velocidade no limite de resistência à tração e deformação máxima dos corpos de prova.

Anotações: _____.

_____.

_____.

_____.

_____.

_____.

_____.

_____.

_____.