

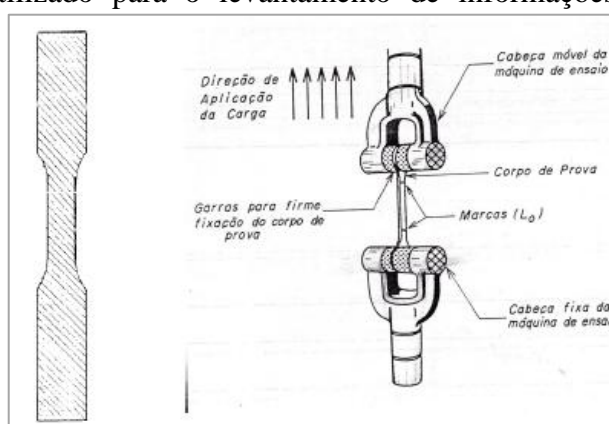
## Prática nº 3 – Ensaios Mecânicos em Materiais Poliméricos

**Objetivos:** Realizar ensaio de tração em polímeros empregando um equipamento universal para ensaios mecânicos (EMIC) e a partir da curva de tensão deformação gerada determinar os valores característicos dos materiais como módulo de elasticidade, limite de resistência e alongamento na ruptura.

**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 em particular. É imprescindível que o polímero apresente um desempenho mecânico satisfatório durante a vida útil projetada para uma determinada aplicação. Alguns materiais poliméricos apresentam grande resistência mecânica, comparáveis à resistência de alguns aços, sendo utilizados quando se necessita de alta resistência aliada a um baixo peso.

### O Ensaio de Tração

O Ensaio de tração é amplamente utilizado para o levantamento de informações fundamentais sobre a resistência e comportamento mecânico dos polímeros, em especial flexíveis e semi-rígidos. 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 determinadas em geral por normas técnicas como, por exemplo, a ASTM D638-10.

A partir das medidas de cargas e os respectivos alongamentos, constrói-se a curva tensão-deformação como apresentado na Figura 1, onde materiais com diferentes comportamentos são apresentados.

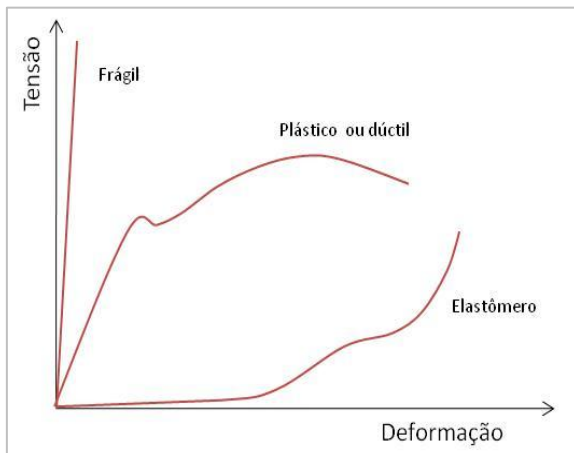


Figura 1. Curvas típicas para elastômeros, materiais flexíveis (plásticos) e rígidos (frágeis).

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

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. A essa parte móvel é presa uma das garras que irá prender o corpo de prova.

**Membro fixo.** Ao membro fixo da máquina de prova é presa a segunda garra que prenderá o corpo de prova pela sua outra extremidade.

**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.

Extensômetro. O extensômetro se destina a determinar a distância entre dois pontos determinados no corpo de prova na área útil deste (G na Figura 2).

### **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 2 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 for muito diferente da maioria dos ensaios.

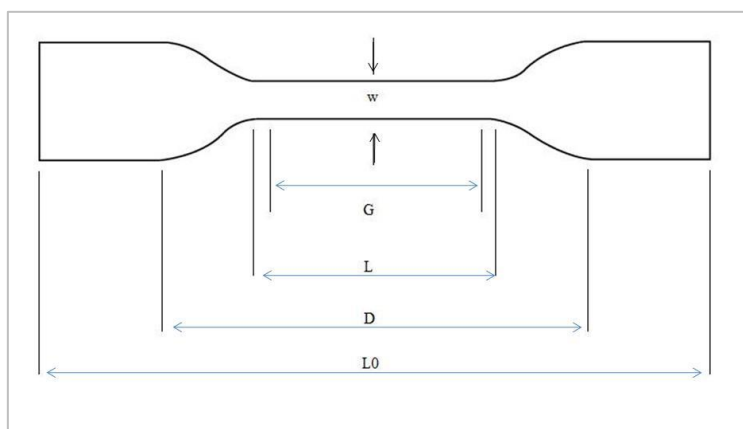


Figura 2. Corpo de prova em forma de borboleta e suas principais medidas.

### **Velocidade de ensaio**

A velocidade de ensaios deve ser fixada de acordo com o especificado em norma para o material a ser ensaiado ou de modo que a ruptura do corpo de prova ocorra entre 0,5 e 5 minutos de teste.

### **Condicionamento.**

Os corpos de prova devem ser condicionados em ambiente com temperatura e umidade controlada por pelo menos 48 horas antes do ensaio.

### ***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) 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 pela seção de área média transversal calculada no segmento G em m<sup>2</sup>. Expresse o resultado em pascals.

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 corpos 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 é expresso em unidades de comprimento, usualmente milímetros. O alongamento é também conhecido como extensão.

A deformação é a razão entre o alongamento pelo comprimento entre duas marcas padrão no corpo de prova (gage marks), isto é, a mudança no comprimento por unidade do comprimento original (gage marks). Pode ser expresso como uma razão adimensional, ou mais comumente em porcentagem, bastante multiplicar o valor por 100.

**Deformação na Ruptura (em porcentagem).** A deformação na ruptura é calculada pela diferença entre o comprimento do corpo de prova no momento da fratura e o

comprimento original  $G$ , dividido pelo comprimento original. Para obter a deformação na ruptura em porcentagem multiplica o valor obtido por 100.

**Módulo de Elasticidade (E).** O módulo de elasticidade ou módulo de Young é estimado através da razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. Relaciona-se com a área da seção transversal do corpo de prova no início do ensaio. Os polímeros de alta cristalinidade, ou aqueles que apresentam estruturas rígidas aromáticas, ou ainda os polímeros reticulados, revelam módulos de elasticidade mais elevados. Os módulos dos polímeros em geral não excedem  $500 \text{ kgf/mm}^2$ , enquanto que, algumas fibras podem atingir  $1500 \text{ kgf/mm}^2$ . Para calcular o módulo de elasticidade estendendo a porção linear da curva e dividindo a diferença à tensão correspondente de cada segmento da seção linear pela deformação correspondente (inclinação). Computar os dados sempre em função da área da seção transversal original.

**Módulo secante.** O módulo secante é determinado tomando-se uma certa deformação 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 hookeano. Esse ponto é mostrado na Fig. 4.

**Curvas de Tensão-deformação.** Em geral as curvas de tensão-deformação típicas apresentam uma região inicial não linear indicada por 1-3 na Figura 3 e que não representam 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.

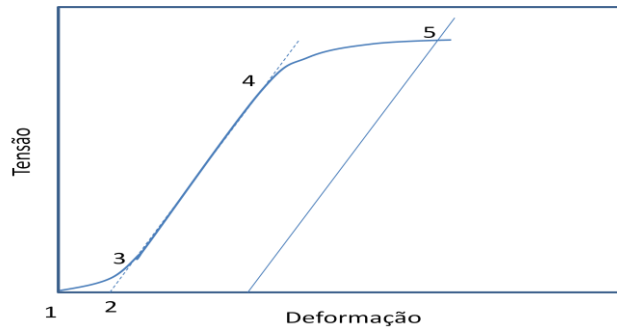


Figura 3. Curva com inflexão inicial devido a acomodação e alinhamento do corpo de prova (artefato), que deve ser desconsiderado. Em 2 temos o ponto zero de deformação corrigido.

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

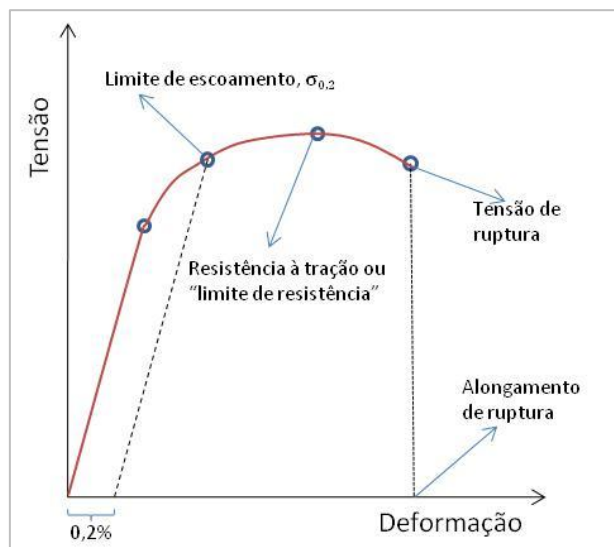
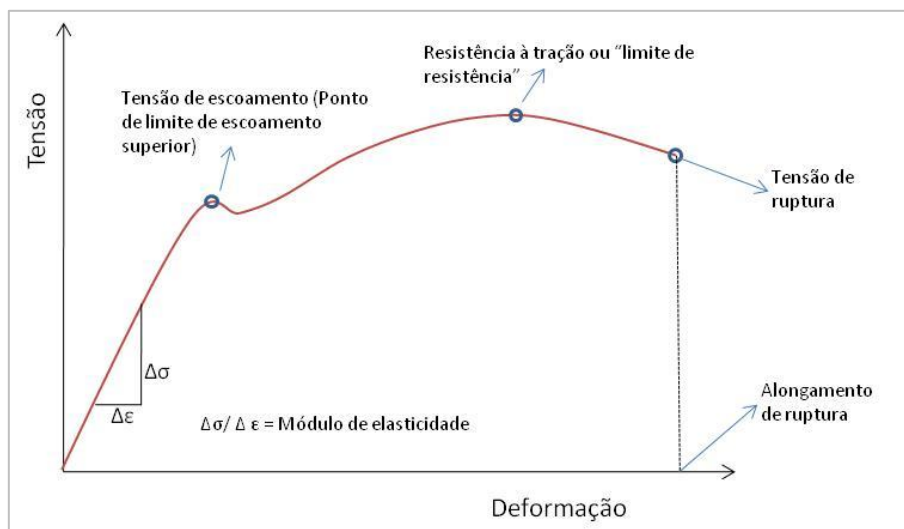


Figura 4. Curvas de tensão-deformação (a) com ponto de escoamento nítido e (b) com indicação de linha arbitrária em 0,2%.

## **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 527-1.

ASTM D638. 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  $\frac{1}{2}$  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:**

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.

SHACKELFORD, J.F. - Ciência dos Materiais, Editora Pearson Prentice Hall.

## **Roteiro da Prática:**

### *1. 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 ensaio com velocidade de 5mm/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 mesmo material, com o mesmo condicionamento e dimensões, porém variar a velocidade de ensaio para 500mm/min.
- (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.