



CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

Alexandre Lehmkuhl Siebert

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC
Grupo de Análises e Projeto Mecânico – GRANTE
alesiebert@yahoo.com.br

Resumo: *Ao simular numericamente um componente que experimenta grandes deformações é preciso determinar propriedades de material que não podem ser obtidas do teste de tração convencional, já que o fenômeno de estricção não é tomado em conta. A realização do ensaio aliado a um sistema que possibilita o registro da variação instantânea da seção transversal do corpo de prova para cada carga aplicada, permite que sejam determinados os valores reais de tensão e deformação e conseqüentemente que se obtenha a curva tensão-deformação real. Este estudo se foca na elaboração de um método experimental e de tratamentos de dados que possibilita o levantamento da curva tensão-deformação real em materiais poliméricos, aliando o teste de tração convencional com a captação e tratamento de imagens. Através de alguns ensaios realizados, seguindo a metodologia desenvolvida, foi possível o levantamento de três curvas para o material proposto. Os ensaios permitiram também, a determinação dos parâmetros a serem melhorados no procedimento experimental.*

Palavras-chave: Tensão-Deformação Real, Polímeros, Ensaio de Tração.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas dos polímeros tem sido objeto de muito interesse desde o começo da revolução industrial e apesar de muitos procedimentos inerentes a caracterização desses materiais já terem sido explorados, existe ainda a necessidade de desenvolver métodos que agreguem controle maior sob as condições de ensaio.

2. COMPORTAMENTO DOS POLÍMEROS

O comportamento dos polímeros é significativamente alterado por variações de temperatura e taxas de deformação envolvidas, portanto, são classificados como materiais VISCOELÁSTICOS. Geralmente, á temperaturas mais baixas ou taxas de deformação mais altas, ocorre um enrijecimento e o material tende a se comportar de maneira elástica. Na situação reversa, o mesmo amolece e tende a se comportar de forma viscosa, Figura 1.

Quanto a sua microestrutura podemos basicamente divida-la em duas partes:

- Parte amorfa
- Parte cristalina

A parte amorfa pode ser descrita como uma região onde não existe ordenamento significativo entre as cadeias moleculares, enquanto na região cristalina as cadeias formam porções de múltiplas camadas organizadas como mostrado na Figura 2. O aumento da cristalinidade do polímero o torna mais rígido e geralmente mais opaco.

A compreensão dos mecanismos de deformação dos polímeros é importante para que possamos ser capazes de administrar as características mecânicas destes materiais.

Na região de comportamento elástico, tensões trativas alongam as moléculas da cadeia sem alterar o ordenamento microestrutural. O mecanismo de deformação plástica é bem descrito pelas interações que existem entre as regiões lamelares e as regiões amorfas intermediárias. Este processo ocorre em vários estágios, mostrados esquematicamente no diagrama da Figura.3. Como se pode observar, no estágio final , uma deformação por tração apreciável produz uma estrutura altamente orientada.



Figura 1: Diferentes comportamentos Tensão-Deformação que um material polimérico pode apresentar pela variação da temperatura ou taxa de deformação.

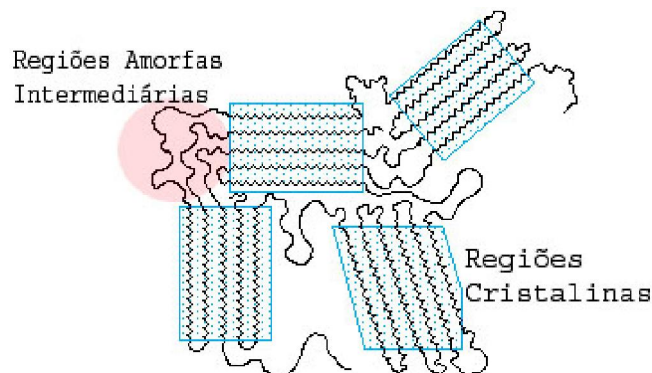


Figura 2: Representação da microestrutura de um material polimérico semicristalino.

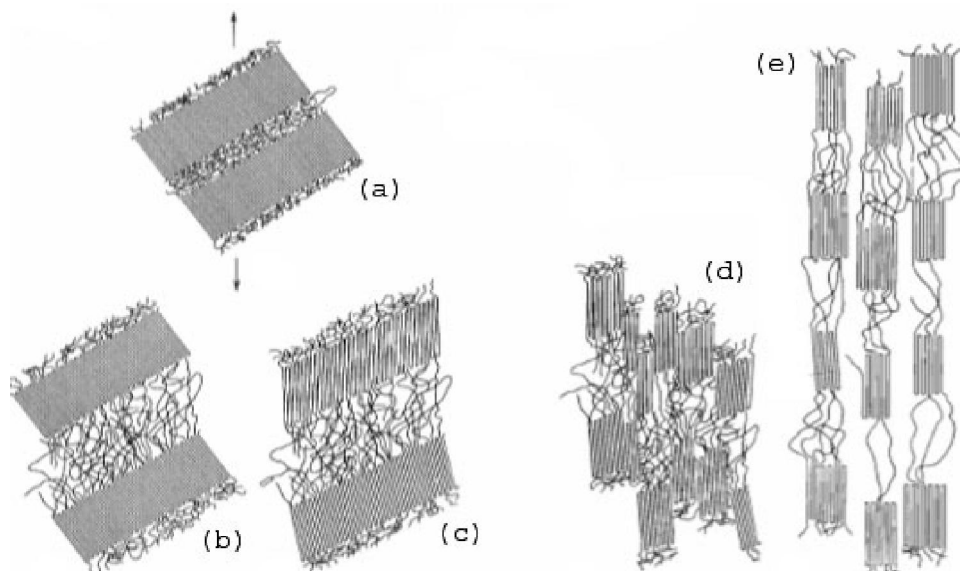


Figura 3: Estágios na deformação de um polímero semicristalino. (De Jerold M. Shultz, Polymer Materials Science, pp.500-501.)

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O polipropileno foi empregado nos ensaios de tração realizados. Corpos de prova foram moldados por injeção com espessura de 3.5mm e 10mm de largura.

Sete pontos de tinta foram confeccionados na superfície frontal do corpo de prova (Figura 4). Com o auxílio de uma câmera fotográfica, foi possível acompanhar os diferentes estágios de deformação na amostra e posteriormente mensurar o distanciamento relativo entre os pontos para cada tomada de imagem. Um pequeno entalhe foi incluído na zona de marcação reduzindo assim localmente a área de secção transversal. A inserção do entalhe permitiu localizar a estricção, que ocorria de modo aleatório em ensaios anteriores, possibilitando um posicionamento adequado da câmera.

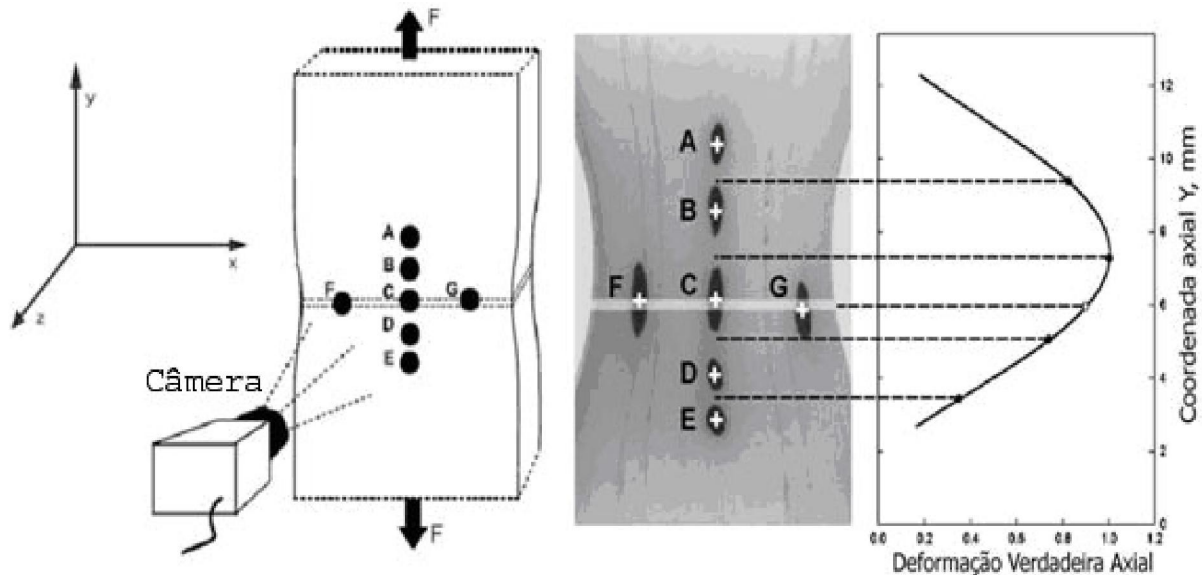


Figura 4. Corpo de prova marcado na região central.

Para avaliar a deformação real no material, um pequeno elemento de volume foi delimitado aproximadamente na região de secção mínima do corpo de prova (região cinza Figura. 4.), onde se supõe que a deformação será constante. Para este elemento, a deformação ao longo do eixo de tração é estimada através de uma interpolação não-linear entre os quatro valores encontrados para os pares de pontos.

$$\varepsilon_y(AB) = \ln(AB_i / AB_0)$$

$$\varepsilon_y(BC) = \ln(BC_i / BC_0)$$

$$\varepsilon_y(CD) = \ln(CD_i / CD_0)$$

$$\varepsilon_y(DE) = \ln(DE_i / DE_0)$$

Onde ε_y corresponde a deformação logarítmica na direção y , entre os pares de pontos A e B, B e C, C e D, D e E. Os subscritos “i” e “0” especificam valores das distâncias relativas entre os centróides dos vários pares de pontos no início do ensaio e no instante da tomada de imagem, respectivamente.

Devido ao fato da microestrutura se encontrar altamente orientada desde o início da deformação plástica, pode-se tomar ε_x e ε_z iguais, assumindo que o tensor de deformações é transversalmente isotrópico. Esta simplificação é frequentemente adotada em materiais que apresentam orientações de fibras em um eixo e permite para nosso caso a determinação da área de secção transversal no instante de aquisição das imagens de acordo com as expressões abaixo:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_z = \ln(FG_i / FG_0)$$
$$A = A_0 \exp(\varepsilon_x + \varepsilon_z)$$

Onde FG_0 e FG_i são as distâncias inicial e instantânea (ao longo de y) dos centros de área de cada ponto, logo e A representa a área instantânea da secção transversal.

De posse do valor da área de secção transversal e dos valores de força fornecidos pela máquina de tração se obtêm a tensão verdadeira através de:

$$\sigma_y = \left(\frac{F}{A_0} \right) \exp(-\varepsilon_x - \varepsilon_z)$$

Onde σ_y corresponde a tensão verdadeira na direção y atuante no elemento volumétrico e F a força aplicada pelas garras da máquina de tração.

RESULTADOS

Foram realizados três ensaios empregando velocidade de afastamento entre as garras da máquina de tração de 5 mm/mim. Ao longo do ensaio cada aquisição de imagem não excedeu um intervalo maior que 10 segundos. A evolução da deformação pode ser acompanhada na Figura. 5a que são fotografias reais do corpo de prova marcado em diferentes estágios de deformação.

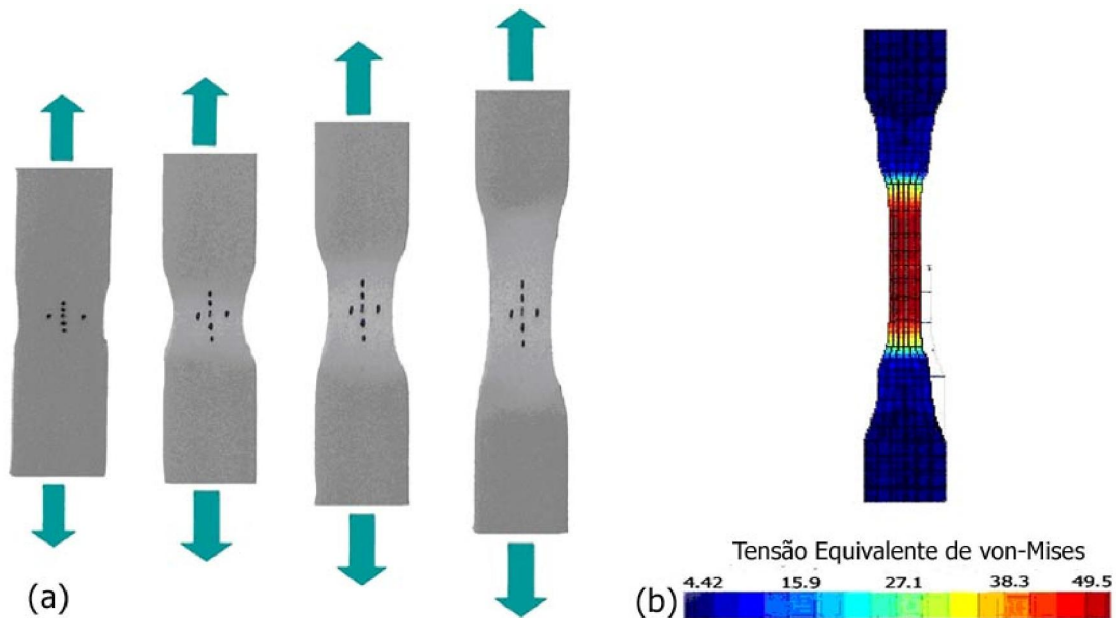


Figura. 5. (a) Imagens retiradas em diferentes níveis de deformação em um dos ensaios descritos neste documento: (b) valores da tensão de von-Mises obtidos na simulação numérica de um corpo de prova sendo submetido ao ensaio de tração.

Um dos objetivos de esta curva experimental é a identificação de parâmetros de material a serem utilizados em simulações numéricas de componentes mecânicos construídos com este tipo de material, a Figura. 5b. ilustra o resultado em que um modelo de um corpo de prova polimérico foi simulado numericamente sob condições do ensaio de tração.

Os dados extraídos dos três ensaios realizados permitiram a elaboração da curva tensão-deformação real exibida da Figura 6. Os resultados se mostraram satisfatórios analisando as fontes de incerteza na medição. Em todos os ensaios o material iniciou o processo de deformação plástica entre 53 e 57 MPa. Pode-se afirmar que houve um enrijecimento significativo do material após o escoamento, já ruptura ocorreu acima dos 70 Mpa.

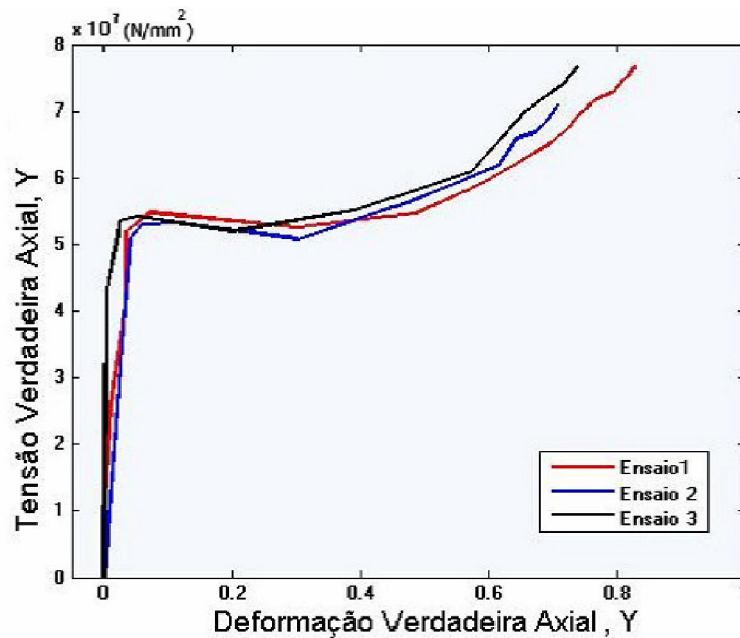


Figura 6: Gráfico tensão-deformação real para o polipropileno

A Figura 7 contém a curva tensão-deformação de engenharia obtida também para o polipropileno a uma velocidade de deslocamento das garras da máquina de tração de 10mm/mim, pode-se notar a grande diferença entre queda de tensão após o início do escoamento plástico. Baseados no resultado somente desta curva, não poderia ser afirmado se o material é enrijecido ou se sofre amolecimento após o escoamento.

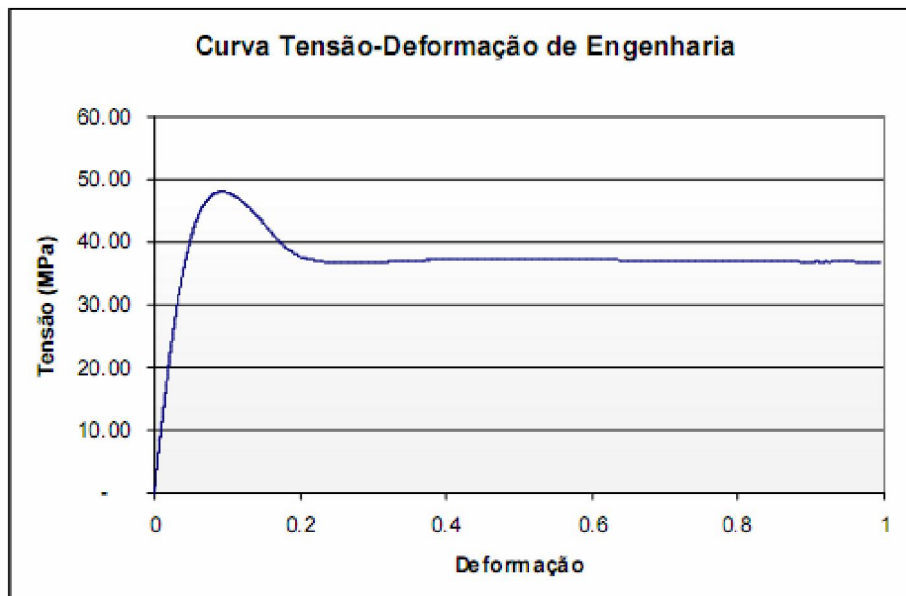


Figura 7: Gráfico tensão-deformação de engenharia para o polipropileno

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram gerar um conjunto de observações, listadas a seguir:

- Deformações na região de regime elástico não chegam a atingir 0,08, logo, este procedimento não foi adequado para mensurar de maneira acurada os pontos para esta parte da curva. Uma das alternativas é a utilização de câmeras fotográficas com resolução superior a empregada nos ensaios ou um sistema que permita a ampliação local da região de interesse.

- Como se trata de um material viscoelástico a realização do ensaio a uma taxa de deformação constante também é desejada, e o controle contínuo na velocidade de afastamento entre as garras da máquina de ensaios deveria ser monitorada constantemente. Tal monitoramento seria possível através de um sistema automático e em tempo real de tratamento de imagens identificando para cada instante a taxa de deformação envolvida e atuando assim na máquina de ensaios.
- Ainda assim, a realização dos ensaios foi de grande valia na identificação dos pontos deficientes do processo, que será aperfeiçoado através de equipamentos e técnicas mais avançadas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Eduardo Alberto Fancello pelo conhecimento transmitido, ao mestrando Diego Amadeu auxiliou muito neste projeto, à Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina – Feesc, e ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

7. REFERÊNCIAS

- C.G'Sell *, J.M. Hiber, A. Dahoun - Experimental Characterization of deformation damage in solid polymers under tension, and its interrelation with necking. International Journal of Solids and Structure, Structure.39(2002) pp.3857-3872”
- CALLISTER, William D. Materials science and engineering: an introduction. 5th. ed. New York: J.Wiley, 1999, c2000.
- HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 5. ed Rio de Janeiro: LTC, c2000.
- BORESI, Arthur P.; SCHMIDT, Richard J.; SIDEBOTTOM, Omar M. Advanced mechanics of materials. New York: J. Wiley, 1993.
- POPOV, E. P. Introduction to mechanics of solids. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1968.

EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF THE STRESS-STRAIN CURVE FOR POLYMERS MATERIALS

Alexandre Lehmkuhl Siebert

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC
Grupo de Análises e Projeto Mecânico – GRANTE
alesiebert@yahoo.com.br

Abstract: *When a mechanical component that is exposed to a great strain is numerically simulated, it is necessary to determine material properties that cannot be gotten from the conventional tensile test, since the necking phenomenon is not taken into account. The execution of the conventional tensile test, combined with a system that makes the register of the instantaneous cross area variation possible, allows to find the real values of stress and strain. This study aim the elaboration of an experimental method and data handlings that makes possible to build the real stress-strain curve for polymers materials, uniting the conventional tensile test with the capture and treatment of images. Through some executed tests, following the methodology in this paper, the building of three curves for the analysed material was possible. The tests also allowed, the determination of the parameters to be improved in the experimental procedure.*

Keywords: *Stress-Strain Curve, Polymers, Tensile Tests.*