

Deformação e Propriedades Mecânicas do Material

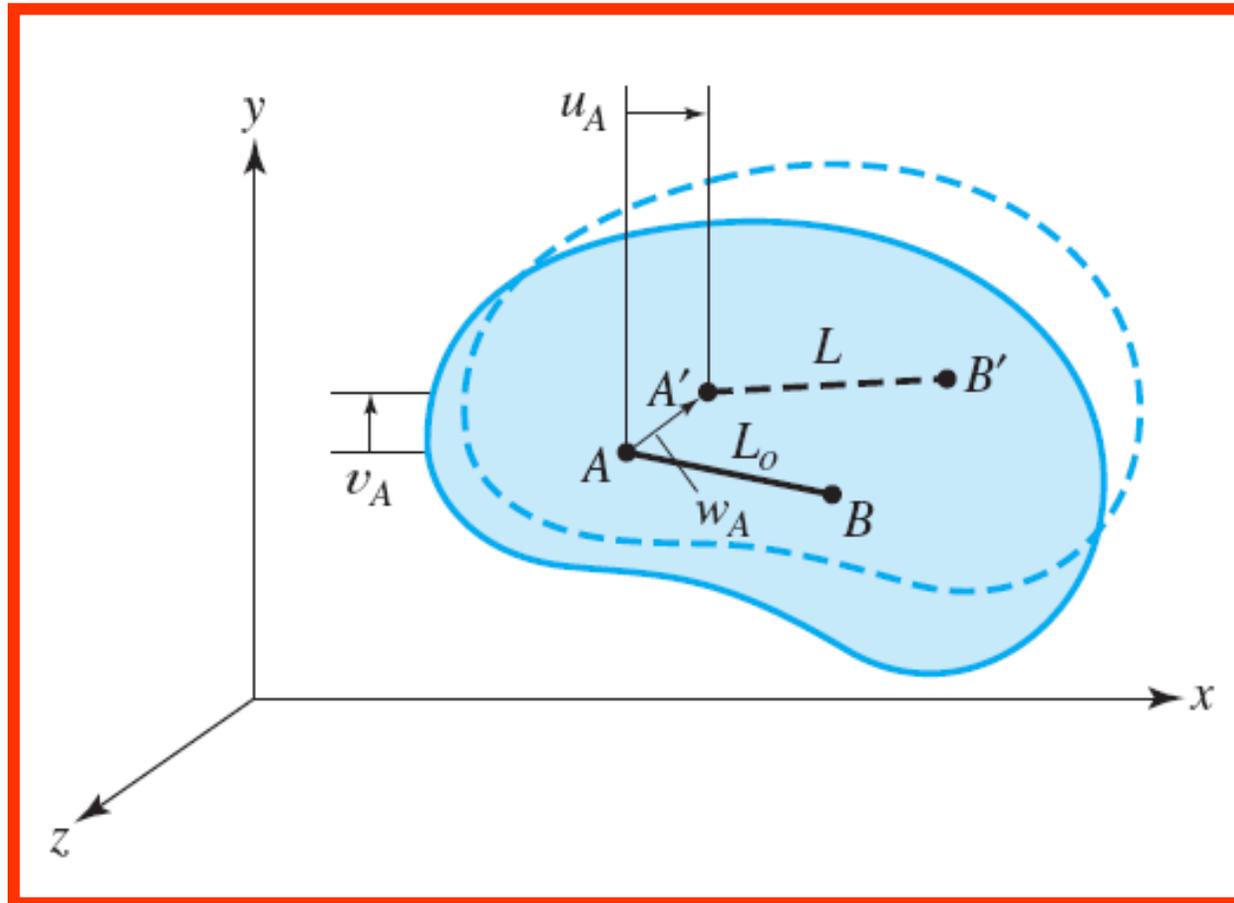
Capítulo 3

- Deformação (ε) e Distorção (γ)

– Mudança na posição relativa de dois pontos no corpo

- Deformação axial, ε (alongação (+) ou contração(-))
- Deformação na flexão, ε (pode ser zero, positiva ou negativa)
- Deformação na Torção, γ (pode positiva ou negativa)
- Combinação dos casos acima

Deslocamentos e deformações em um corpo



Deformação Específica Normal

Deformação Específica na direção axial é chamada Deformação Específica Normal

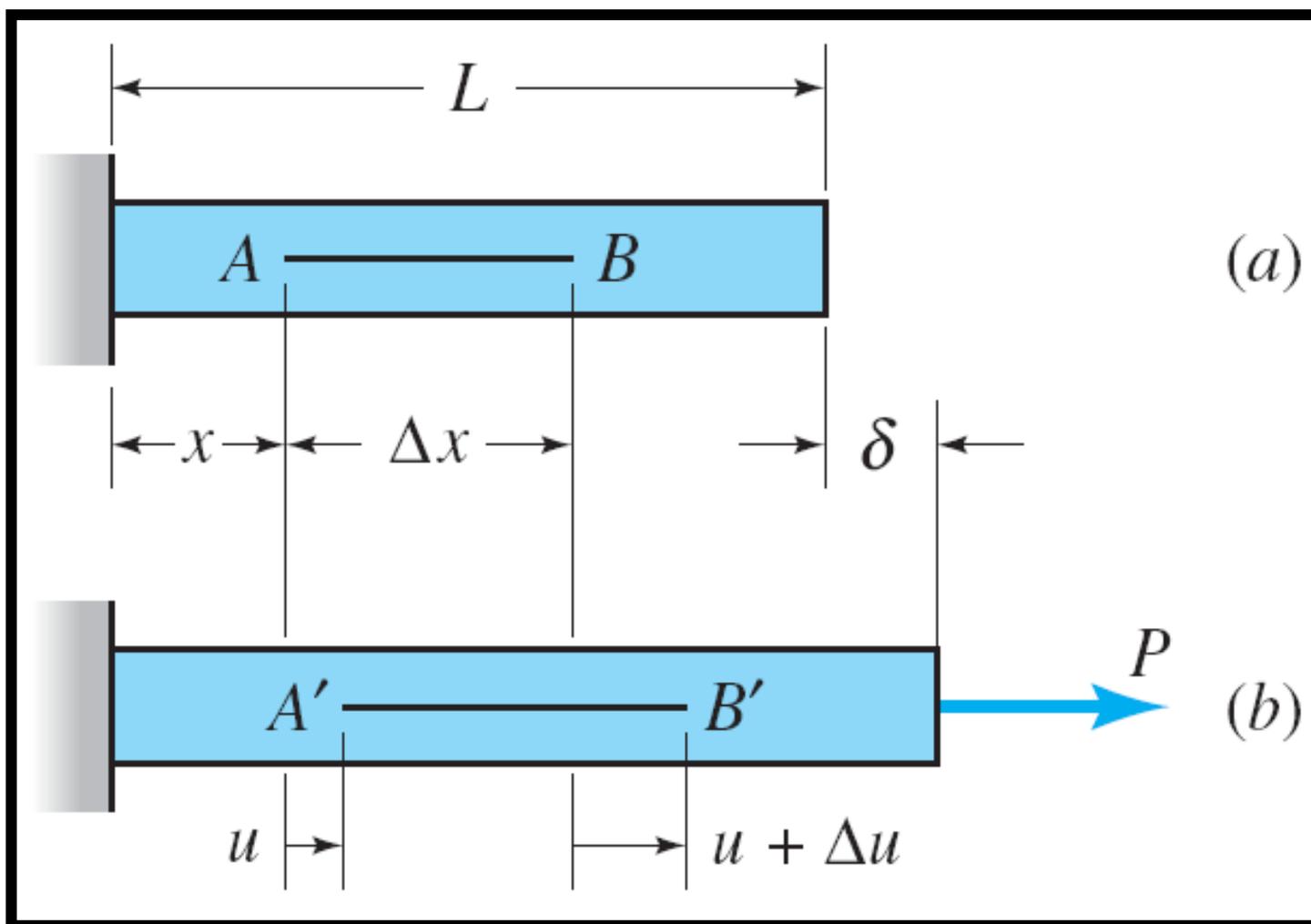
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Deformação Específica Normal é positiva quando existe alongamento, caso contrário é negativa

Deformação Percentual

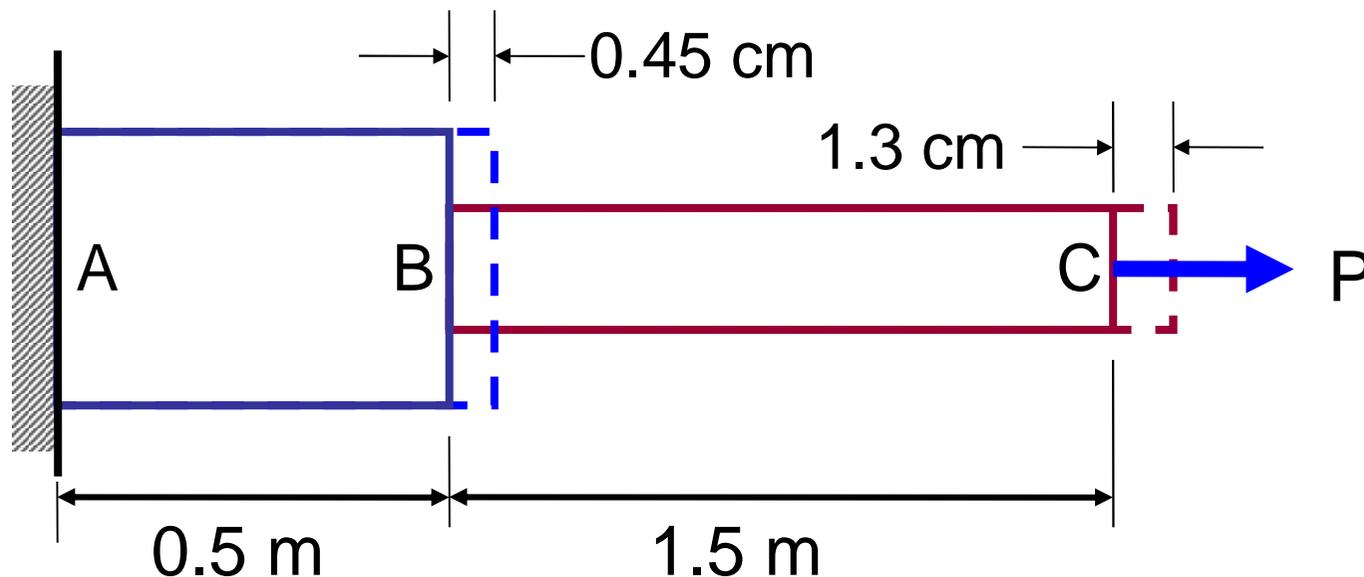
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad [\%]$$

Deformação de uma barra prismática: (a) barra original; (b) barra carregada



Exemplo 1

Uma barra escalonada circular como mostrada está sujeita a uma carga **P** que produz deformação axial em cada porção da barra como mostrado. Calcule a deformação nas porções **AB** e **BC** e a deformação total na barra.



Solução (Exemplo 1)

$$\varepsilon_{AB} = 0.0045 \text{ m} / 0.5 \text{ m} = 0.009$$

$$\varepsilon_{BC} = 0.013 \text{ m} / 1.5 \text{ m} = 0.0087$$

Usando o princípio da superposição:

$$\text{Deformação total, } \varepsilon_{AC} = \varepsilon_{AB} + \varepsilon_{BC}$$

$$= 0.009 + 0.0087$$

$$= 0.0177$$

Deformação no Cisalhamento (Distorção)

- **Deformação no Cisalhamento é positiva se o ângulo entre as linhas de referência decresce (Figura 3.3)**

$$\square \gamma_{nt} = 0.5\pi - \theta'$$

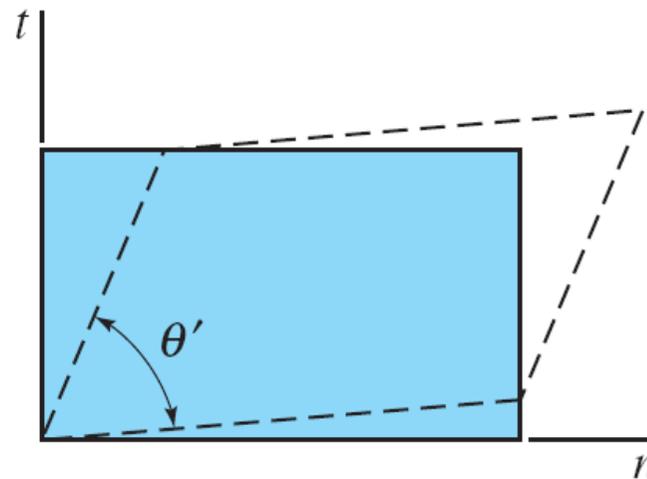


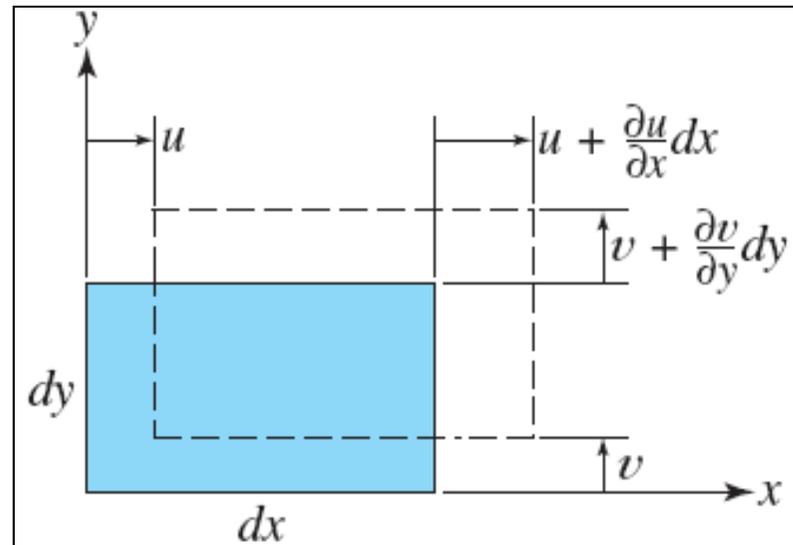
FIGURE 3.3 Distortion of a rectangular plate.

COMPONENTS OF STRAIN

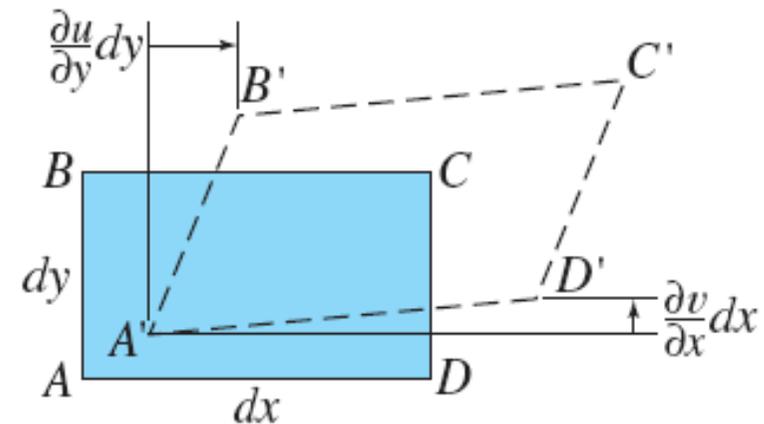
$$\varepsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$



(a)



(b)

FIGURE 3.7 Deformations of an element: (a) linear strain and (b) shear strain.

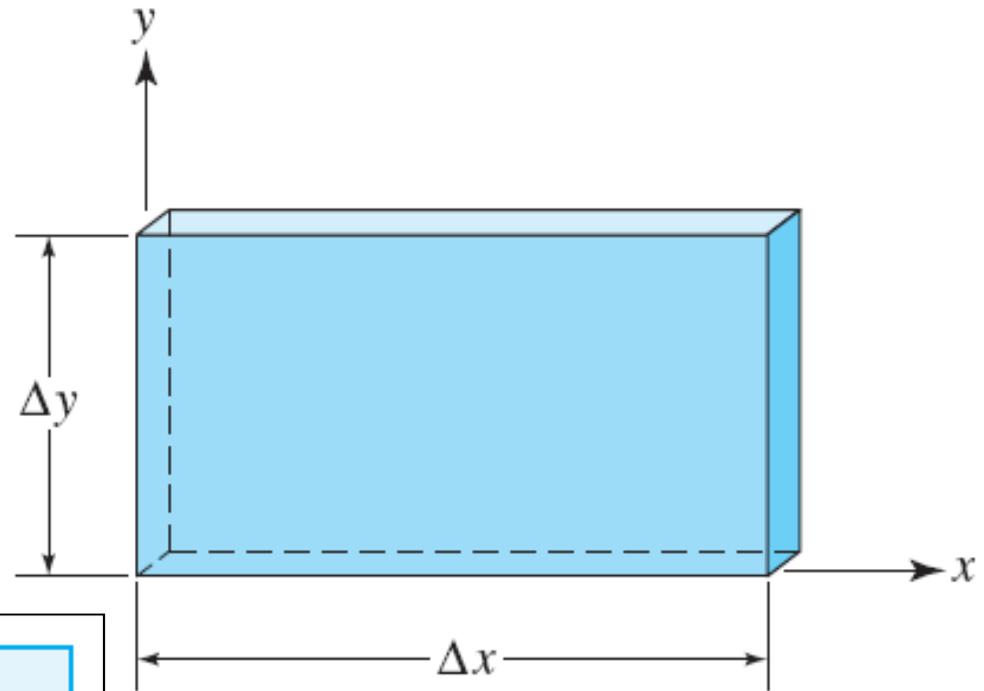


FIGURE 3.8 A rectangular plate of length Δx and width Δy .

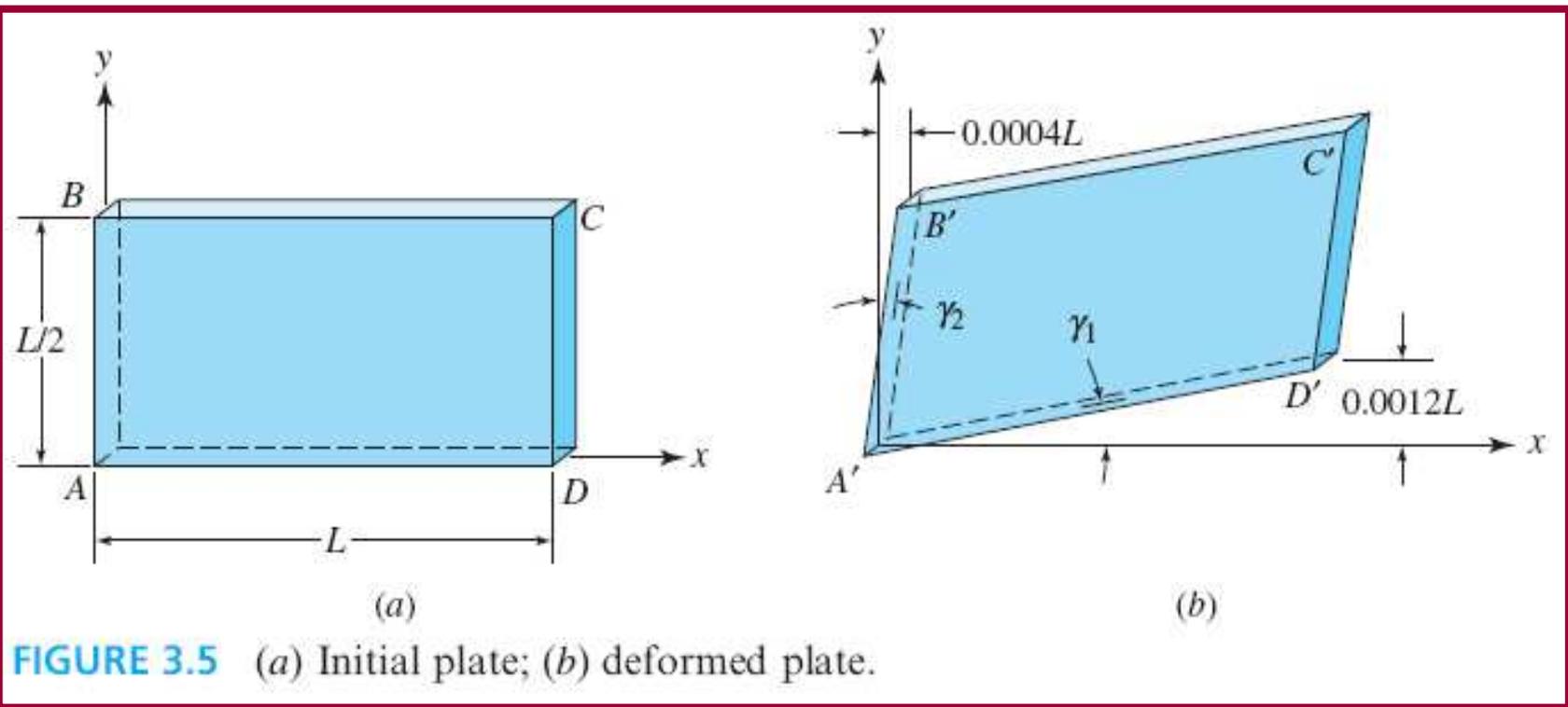
$$\varepsilon_x = \frac{\Delta u}{\Delta x} \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

Exemplo deformação de cisalhamento (distorção) - (Fig. 3.5)

Dado:

Uma placa retangular metálica de comprimento L e Largura $L/2$. Quando a placa está sujeita a tensões que atuam ao longo das faces laterais, ela distorce para a forma de um paralelograma como ilustrado na figura. Ache: a deformação de cisalhamento dos lados AB e AD.



Exemplo de deformação específica em uma placa

- Dado: Uma placa triangular fina ABC é uniformemente deformada resultando na forma ABC' , como mostrado pela linha pontilhada. (Figure 3.6)
- Ache:
 - (a) A deformação normal ao longo da linha de centro OC .
 - (b) A deformação normal ao longo da lateral AC .
 - (c) A distorção entre os cantos AC e BC .

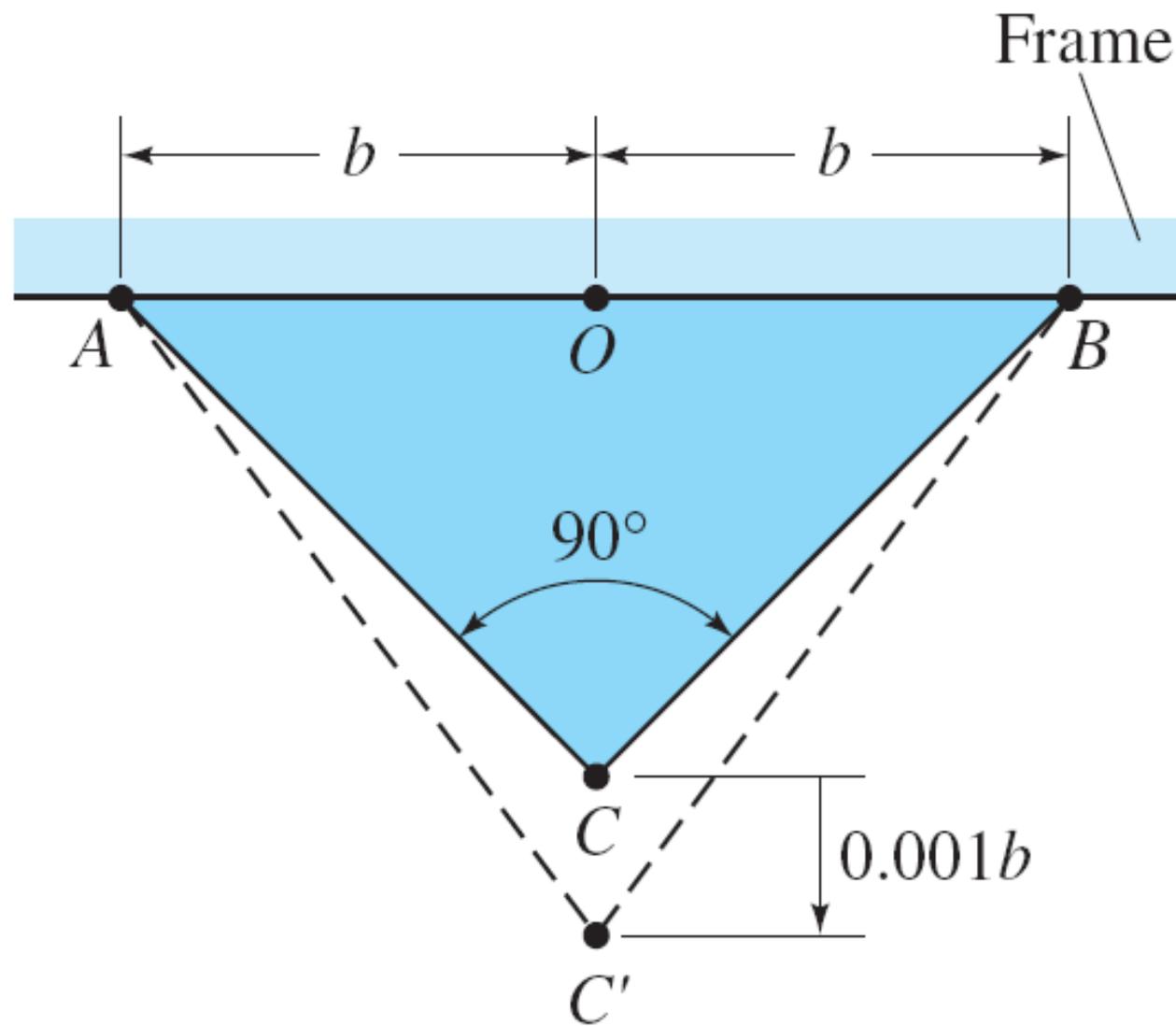


FIGURE 3.6 Deformation of a triangular plate.

Propriedades Mecânicas

Propriedades Mecânicas de um material na carregado em tração e compressão são determinadas por Normas Padronizadas, exemplo ASTM

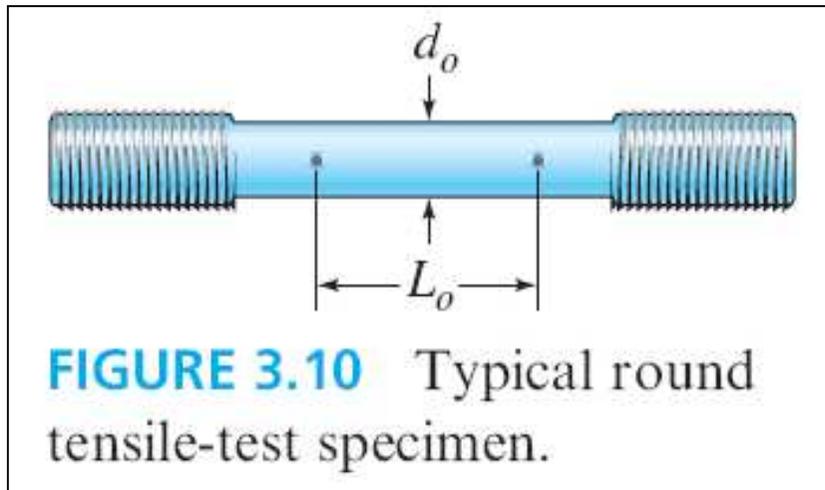
Material Ductil versus Frágil

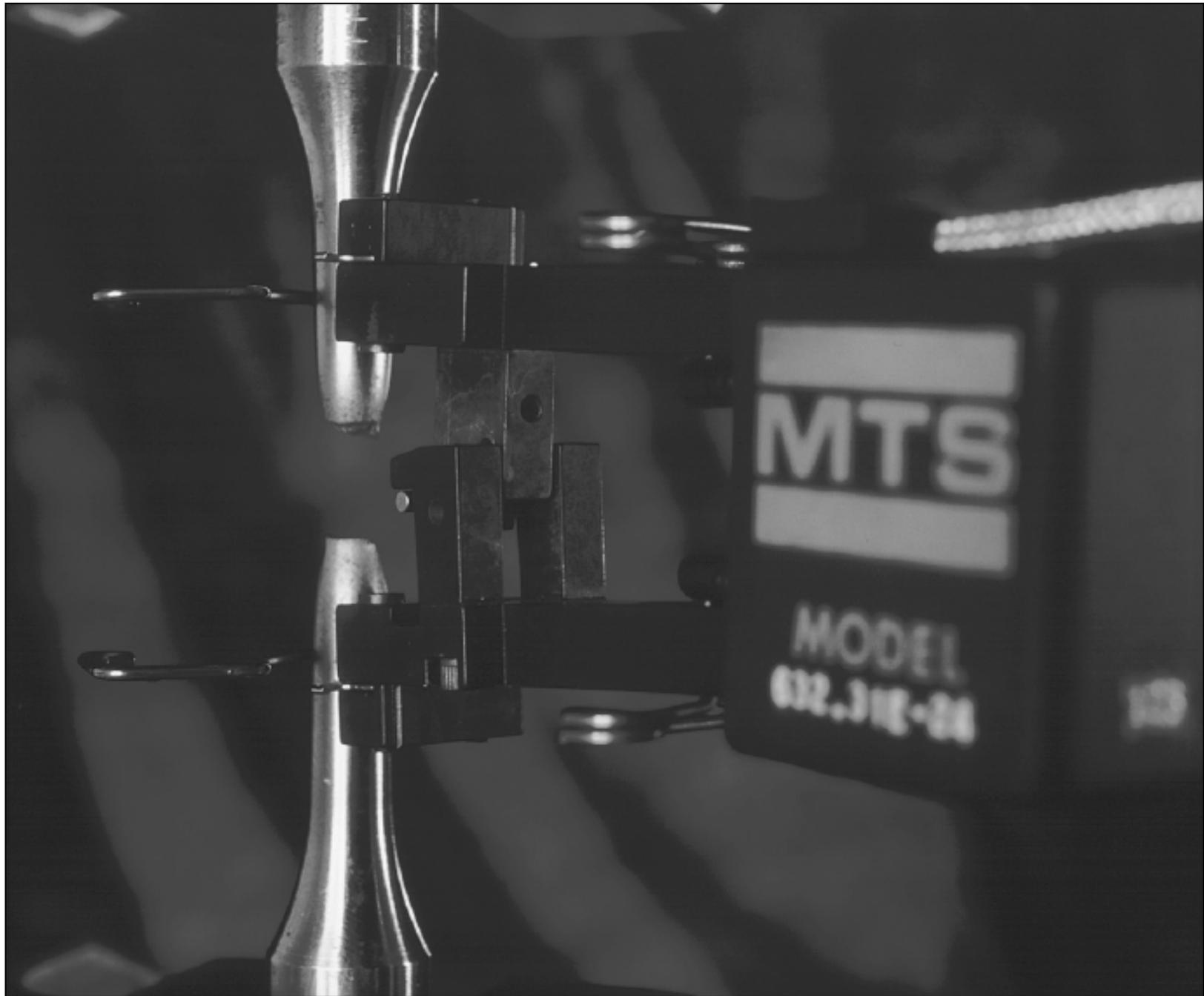
- ***Materiais Ducteis*** podem apresentar largas deformações anelásticas antes da fratura. Por exemplo, aço estrutural e muitas outras ligas metálicas, e nylon, são caracterizadas por sua habilidade de deformarem na temperatura ambiente.
- *Alongamento percentual é mais que 5.*

Material Ductíl versus Frágil

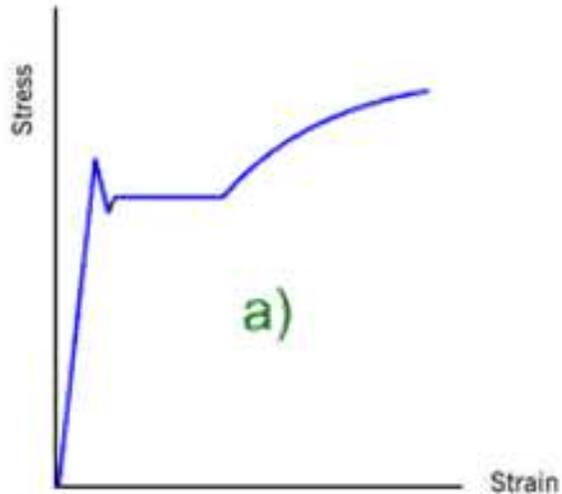
- ***Materiais Frágeis*** (por exemplo, ferro fundido ou concreto) exhibe pouca deformação antes da ruptura e, como resultado, falha subitamente sem qualquer aviso aparente.
- Alongamento Percentual é menor que 5.

Ensaio de Tração

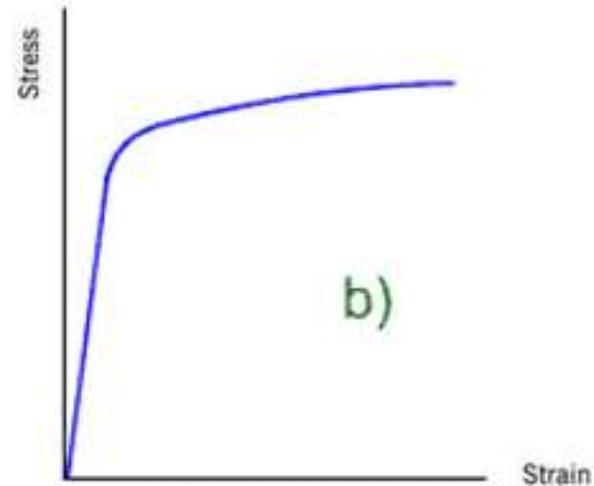




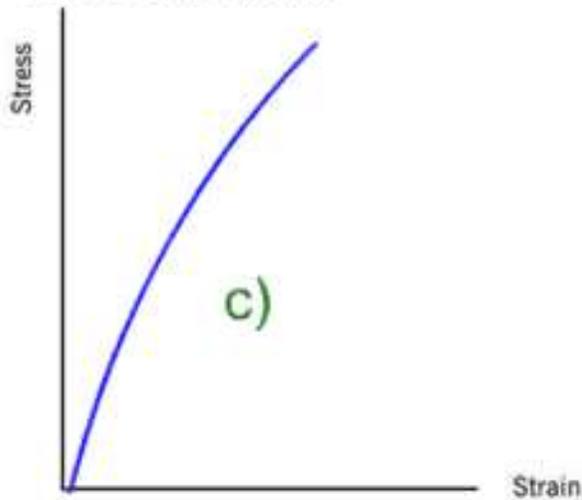
Comportamentos típicos das curvas tensão deformação



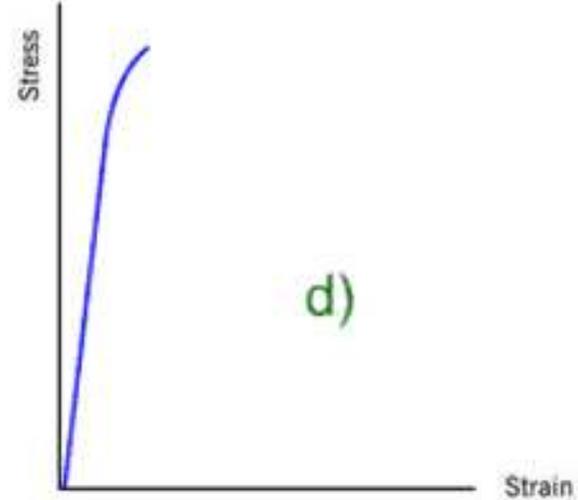
a)
Material dúctil com patamar de escoamento



b)
Material dúctil sem patamar de escoamento definido



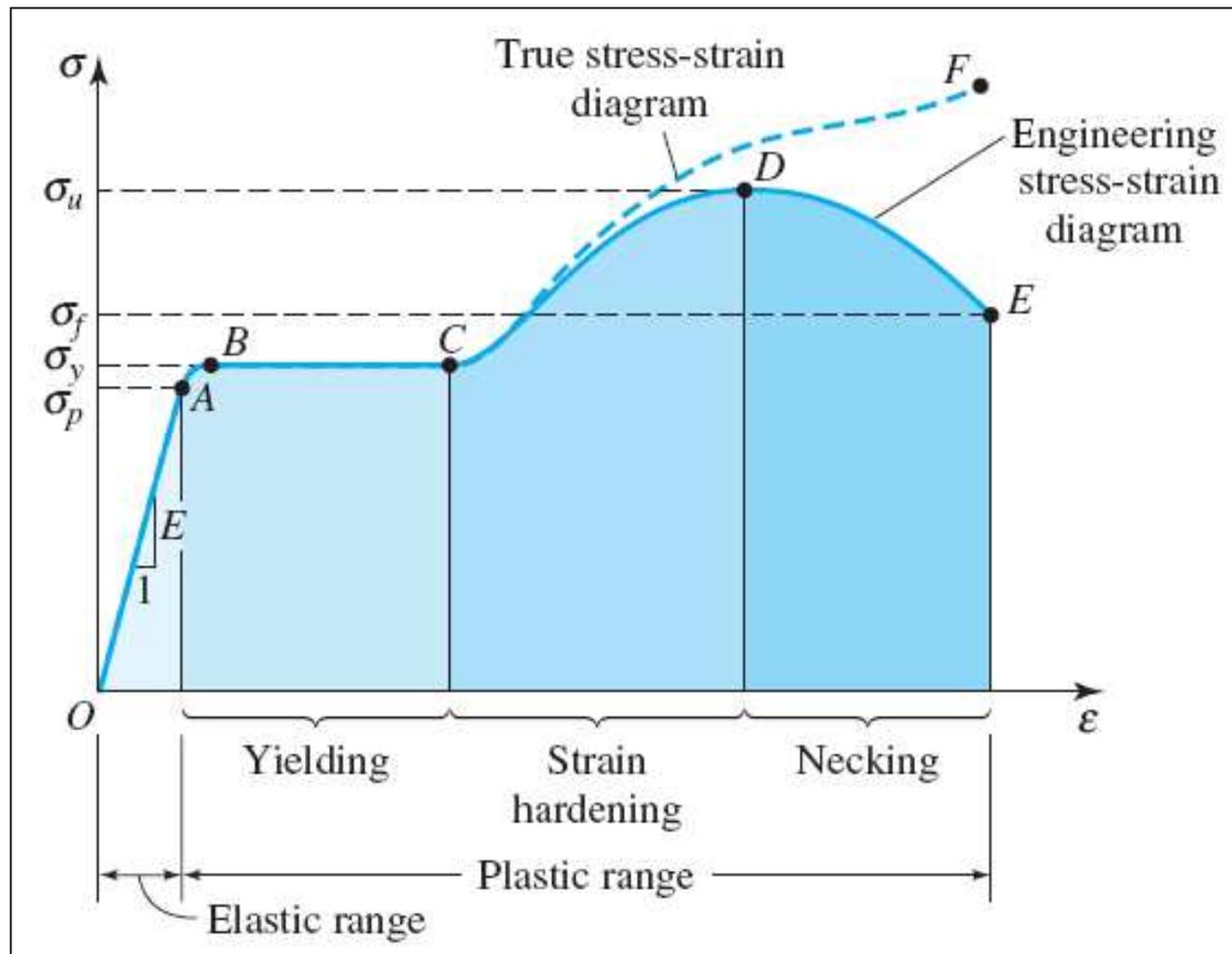
c)
Material não linear



d)
Material frágil

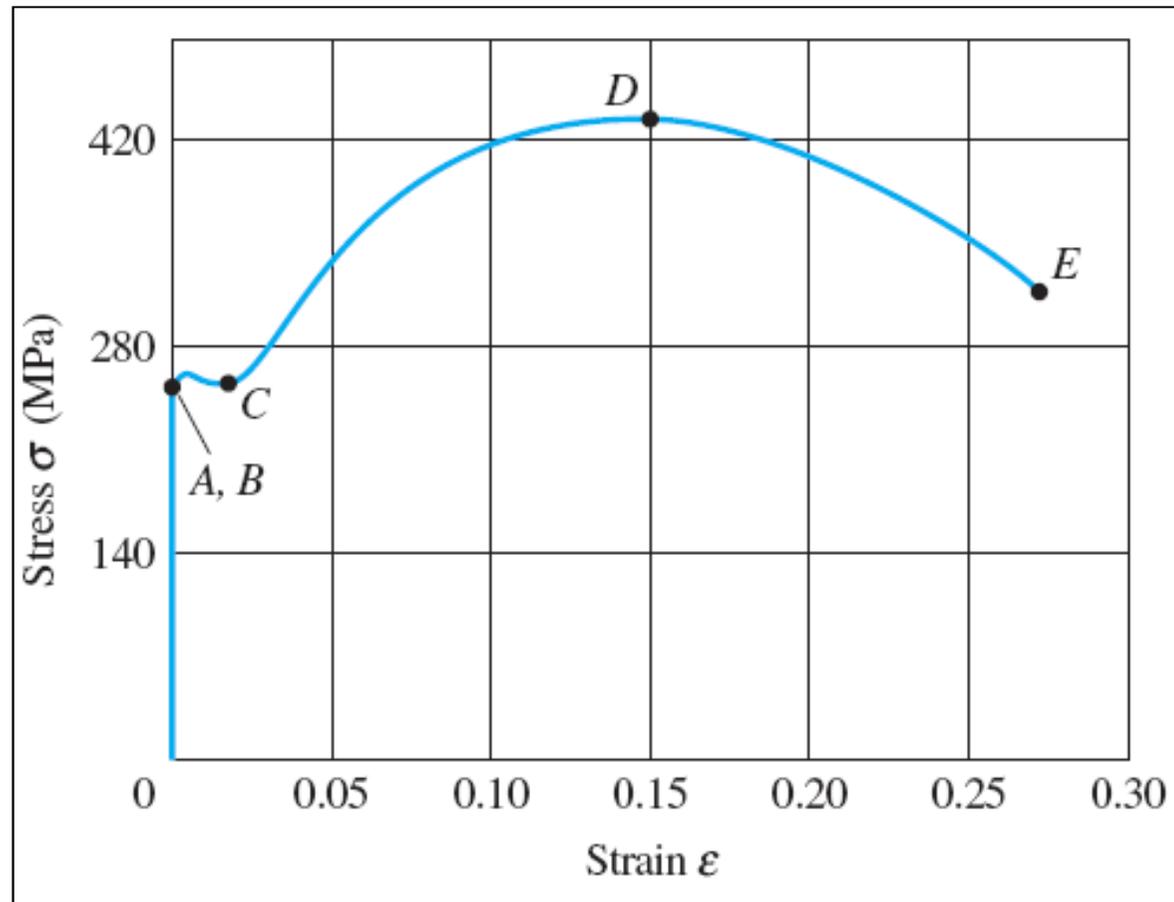
Diagrama tensão-deformação convencional

Material Ductil



Típico diagrama tensão-deformação

Aço estrutural



Mudanças Geométricas do CDP

Região da Fratura



Parâmetros de medida de ductilidade

$$\text{percent elongation} = \frac{L_f - L_o}{L_o} (100)$$

$$\text{percent reduction in area} = \frac{A_o - A_f}{A_o} (100)$$

Tensão de escoamento – Método Offset

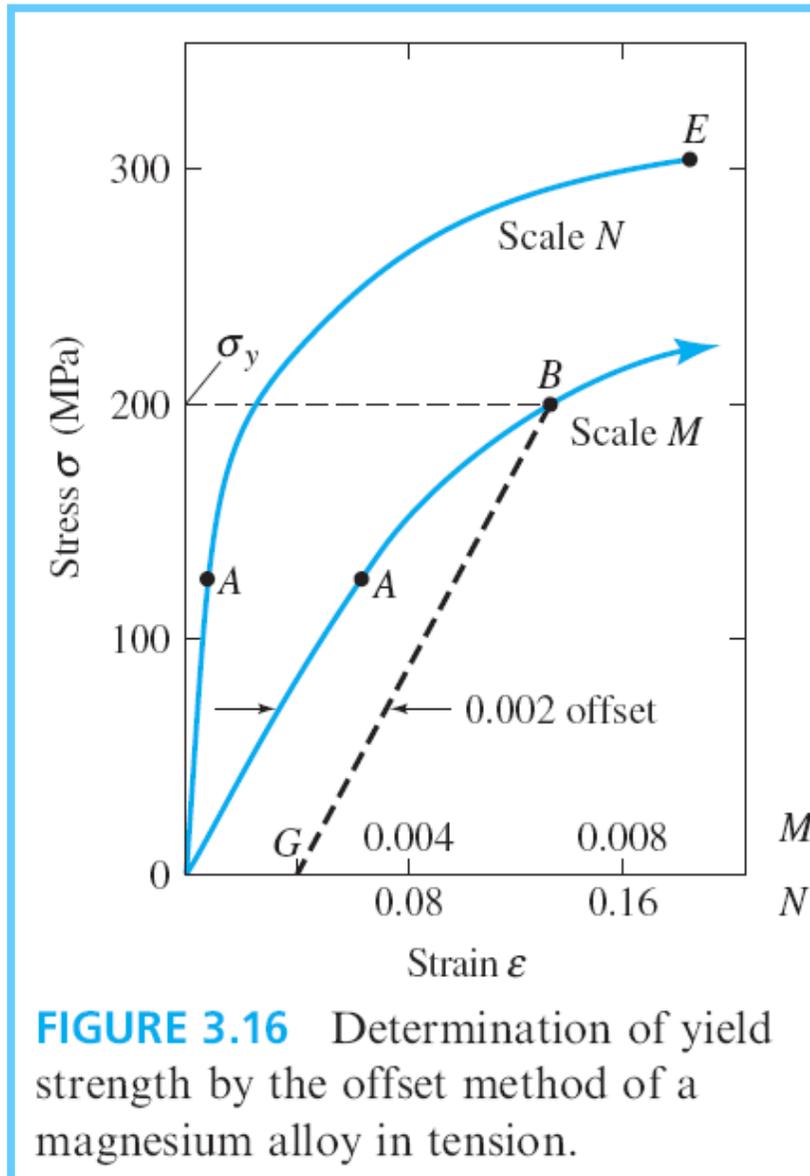
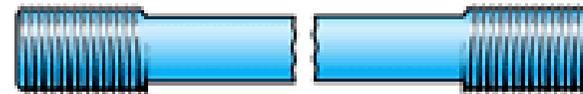
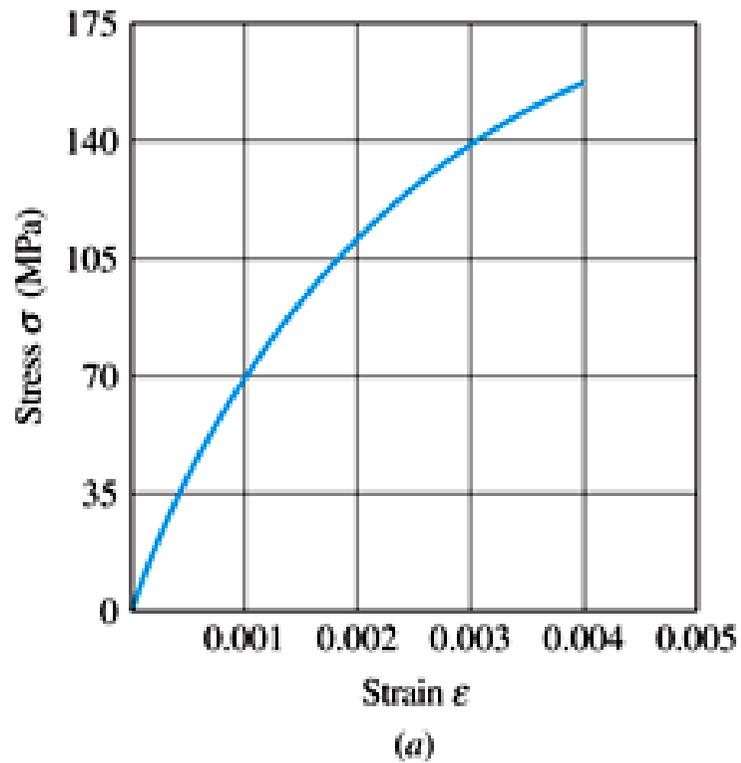


Diagrama tensão-deformação

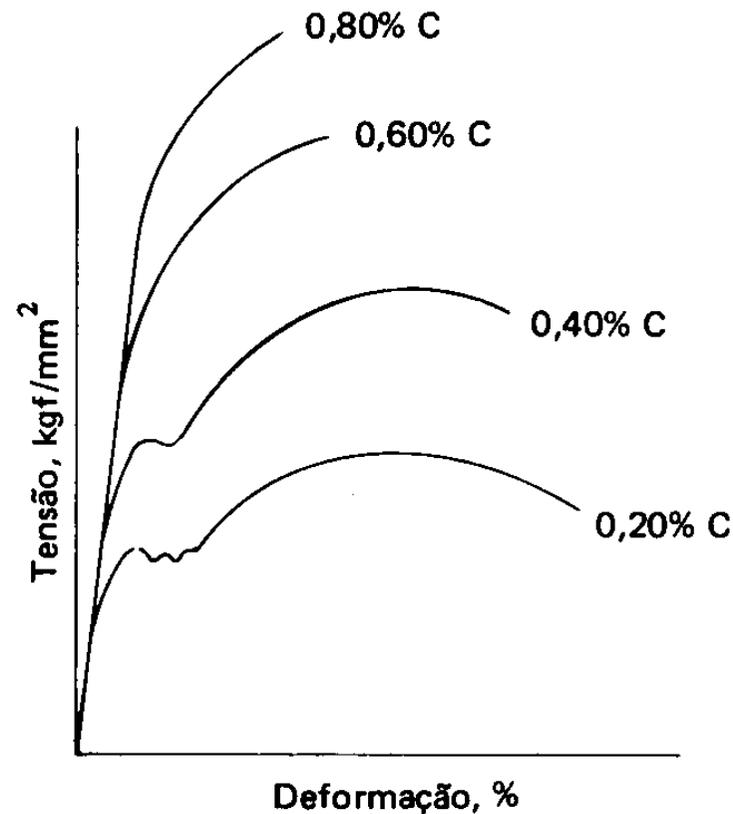
Material Frágil (Não exibe empescoçamento)



Efeito %C nas Propriedades de Tração

Diferentes limites de resistência para ligas de Fe-C(Aços)

- ✓ baixo % de carbono – dúctil e tenaz
- ✓ alto % de carbono – limite de escoamento convencional mais elevado que o de baixo C, assim ele é mais resiliente que o de baixo C
- ✓ E constante



MATERIAIS EM CISALHAMENTO

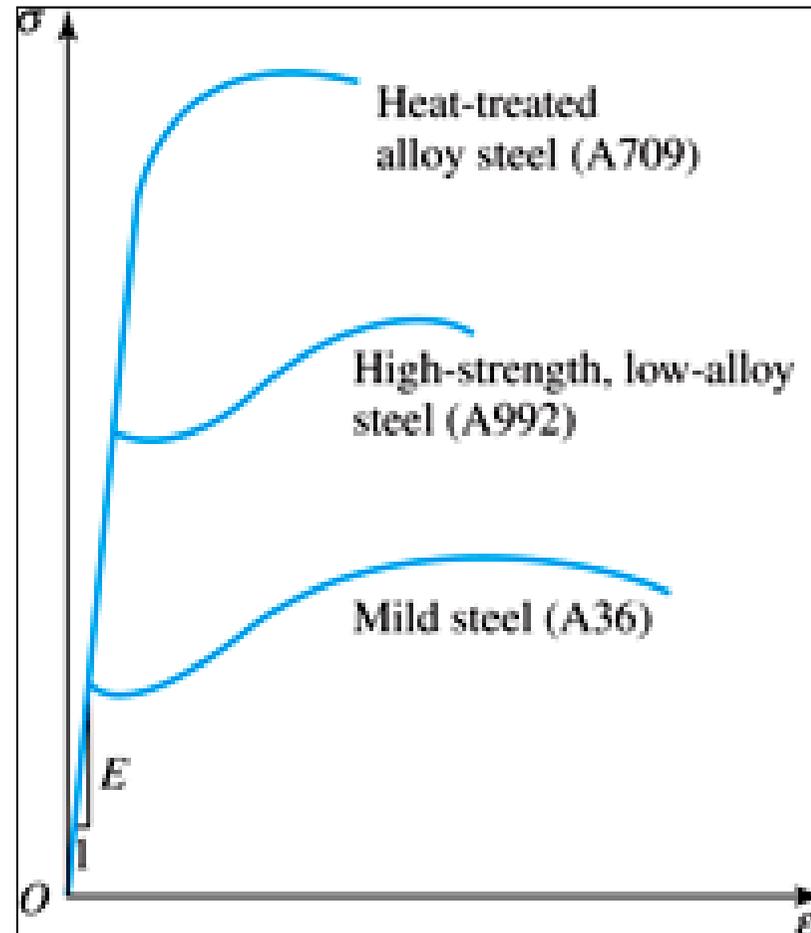
As propriedades do material podem também ser determinadas por um teste de cisalhamento direto ou teste de torção (a ser discutido posteriormente).

Diagramas tensão de cisalhamento-distorção podem ser obtidos dos resultados de Torque versus angulo de torção.

Lei de HOOKE

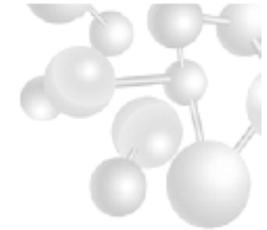
$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\tau = G\gamma$$



Relação entre G e E

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$



Módulo de Elasticidade – Aço vs. Alumínio

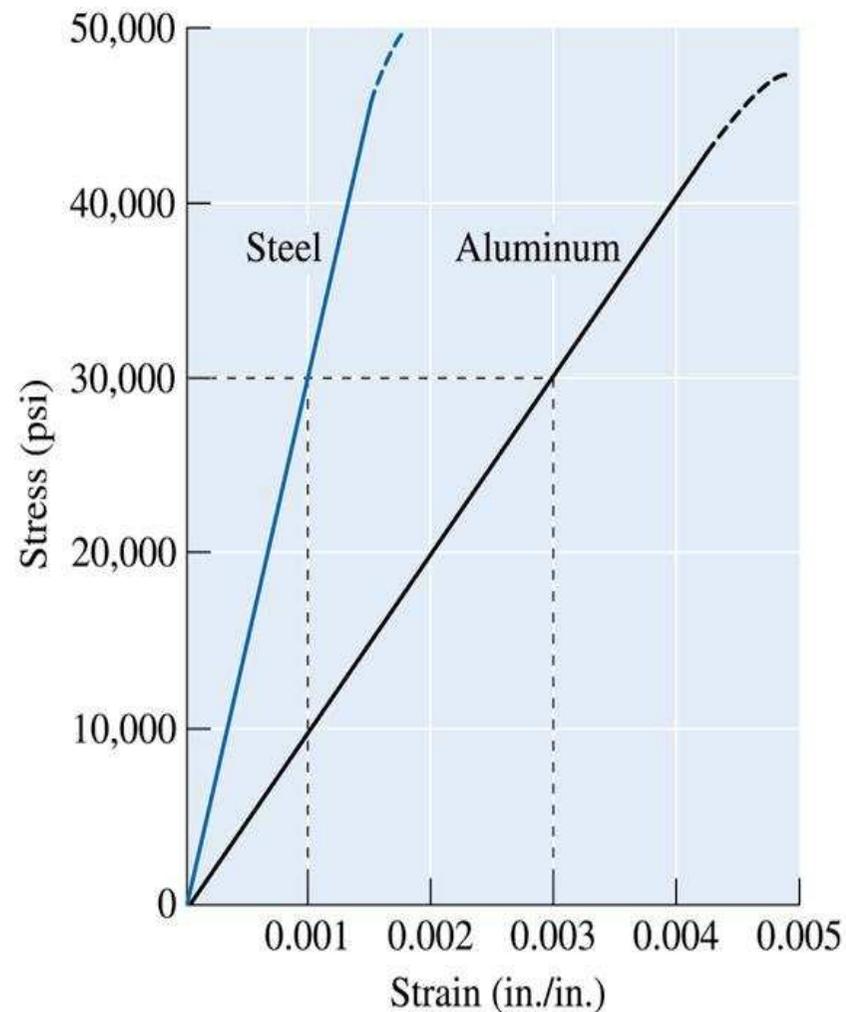
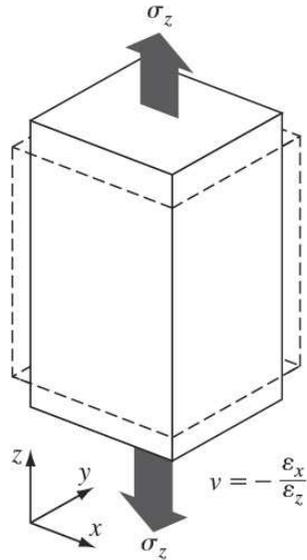


TABLE 2.5 Elastic and Shear Moduli and Poisson Ratios for Polycrystalline Metals^a

| <i>Metal</i> (20°C) | <i>E</i> (GPa) | <i>G</i> (GPa) | ν |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Aluminum | 70.3 | 26.1 | 0.345 |
| Cadmium | 49.9 | 19.2 | 0.300 |
| Chromium | 279.1 | 115.4 | 0.210 |
| Copper | 129.8 | 48.3 | 0.343 |
| Gold | 78.0 | 27.0 | 0.440 |
| Iron | 211.4 | 81.6 | 0.293 |
| Magnesium | 44.7 | 17.3 | 0.291 |
| Nickel | 199.5 | 76.0 | 0.312 |
| Niobium | 104.9 | 37.5 | 0.397 |
| Silver | 82.7 | 30.3 | 0.367 |
| Tantalum | 185.7 | 69.2 | 0.342 |
| Titanium | 115.7 | 43.8 | 0.321 |
| Tungsten | 411.0 | 160.6 | 0.280 |
| Vanadium | 127.6 | 46.7 | 0.365 |

^a Adapted with permission from R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Material*, New York: John Wiley, 1976, p. 8.

Coeficiente de POISSON



(b) Amostra cúbica submetida à tensão de tração

$$\nu = - \frac{\epsilon (\text{lateral})}{\epsilon (\text{longitudinal})} = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Valores típicos de ν para o aço situa-se entre 0.25 a 0.3, enquanto que, para o alumínio esse valor é da ordem de 0.33

Máximo valor de ν para material elastico linear é 0.5

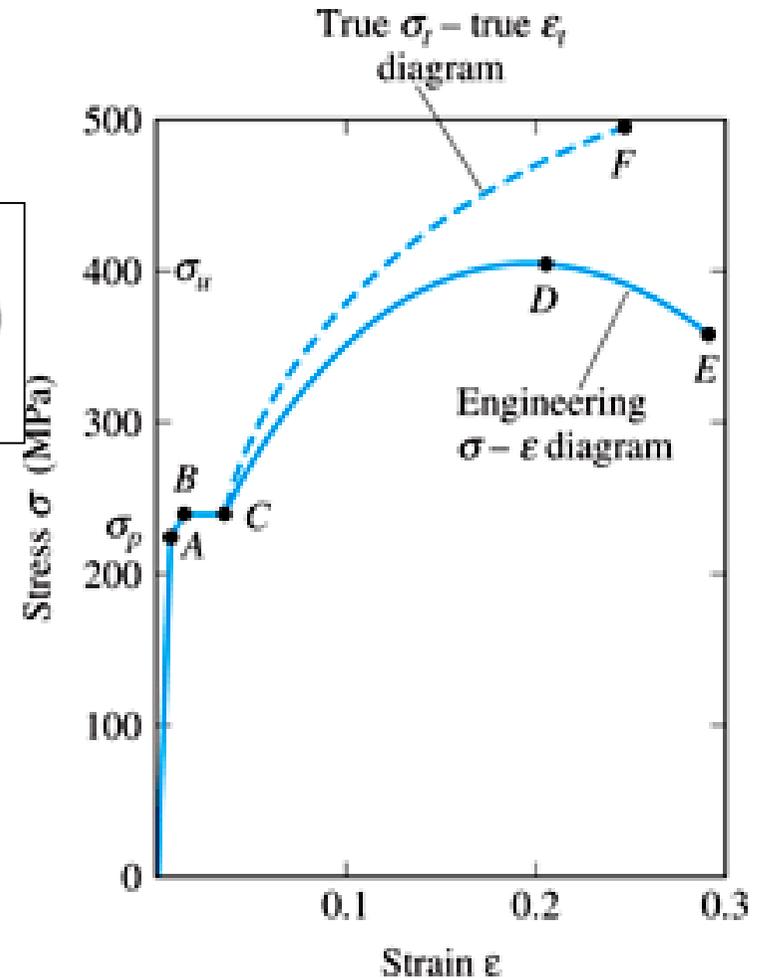
Tensão verdadeira e Deformação verdadeira

True strain

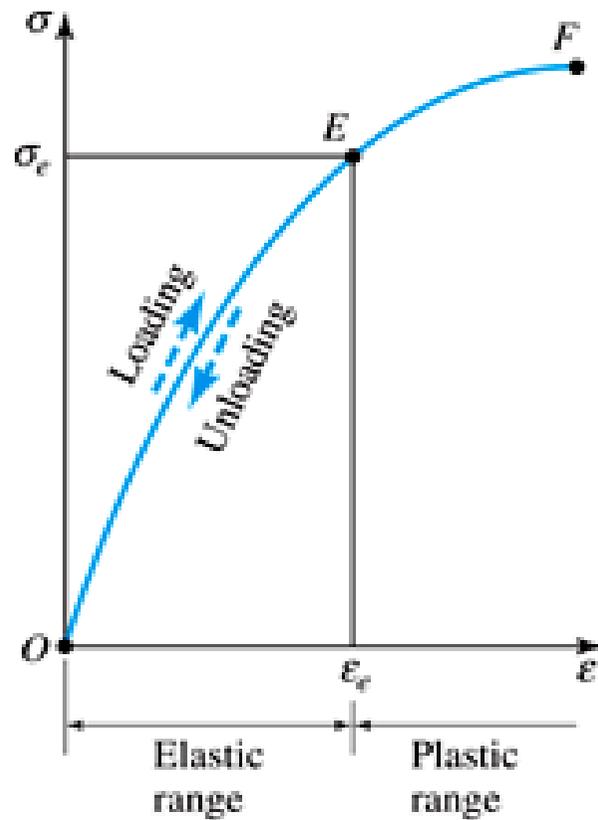
$$\varepsilon_t = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln(1 + \varepsilon)$$

True stress

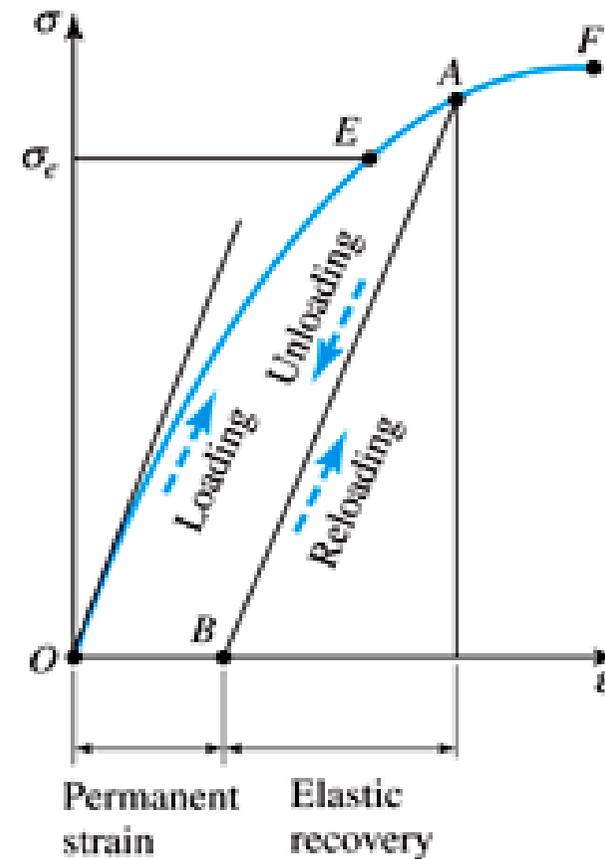
$$\sigma_t = \sigma(1 + \varepsilon)$$



Comportamento Elástico versus Plástico



(a)



(b)

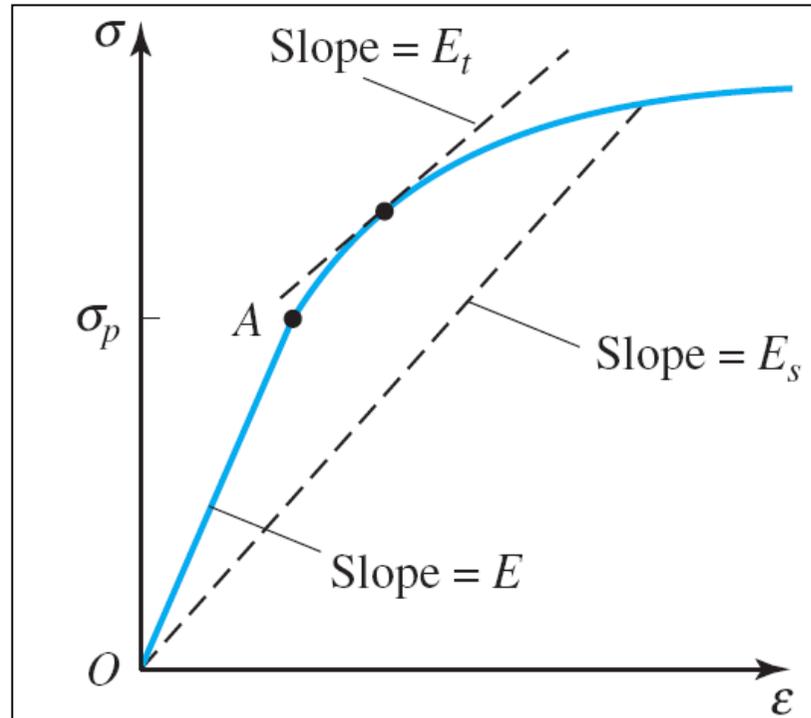
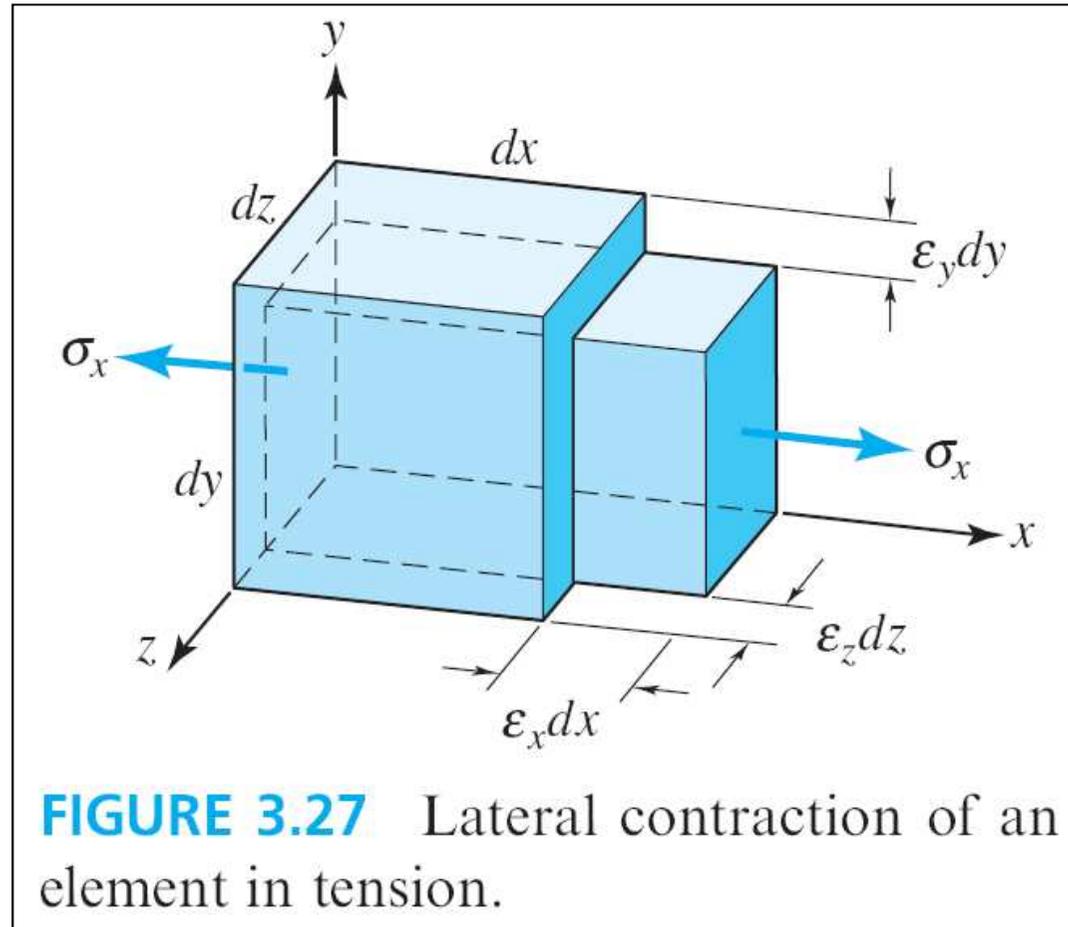


FIGURE 3.24 Various moduli of elasticity.

VOLUME CHANGE - dilatation



MUDANÇA DE VOLUME - dilatação

$$e = \frac{\Delta V}{V_0}$$

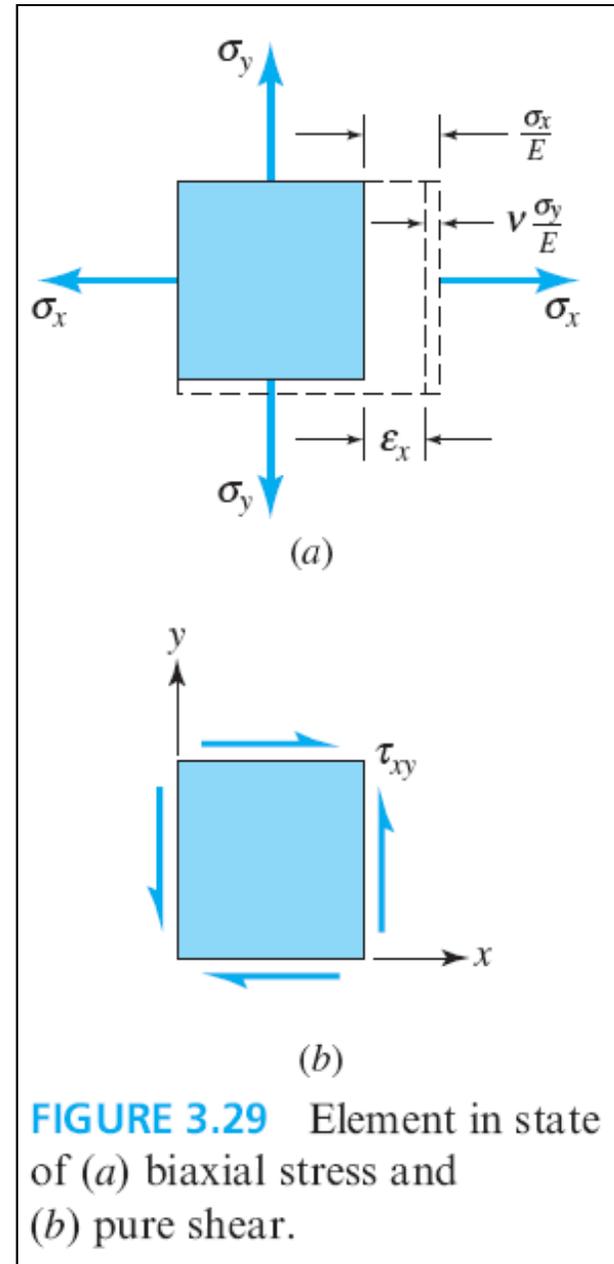
$$e = (1 - 2\nu)\varepsilon_x = \frac{1 - 2\nu}{E}\sigma_x$$

Generalized Hooke's law

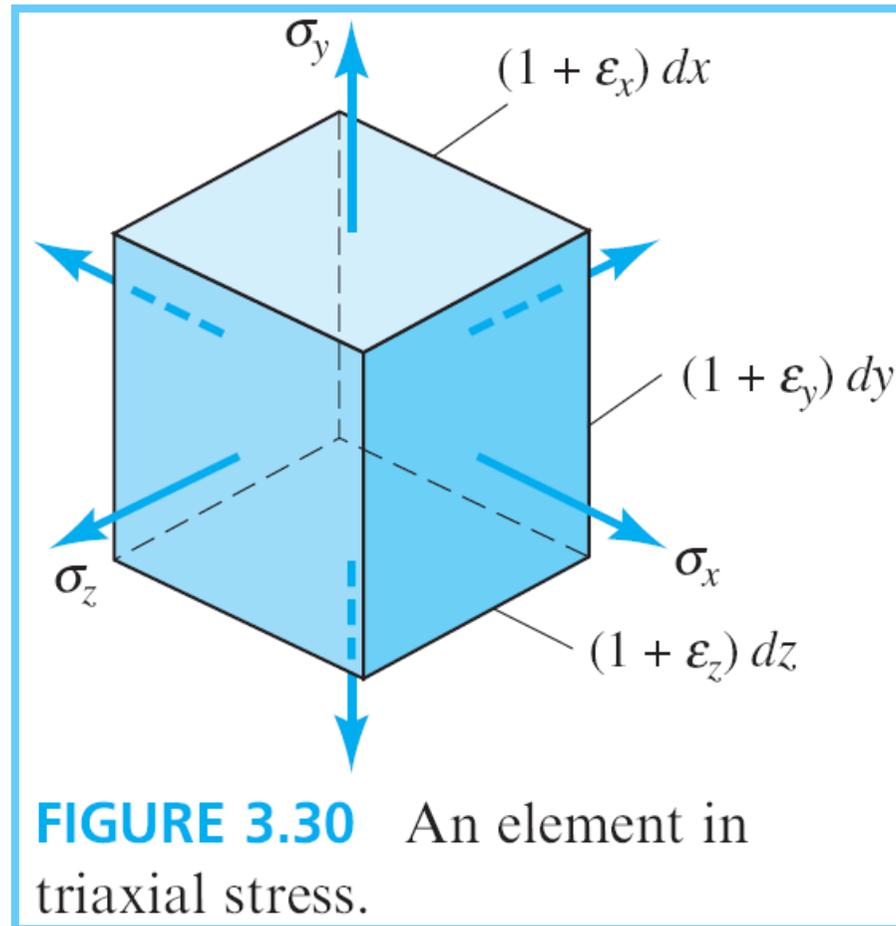
$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$



Mudança de Volume Específica



Mudança de Volume Específica

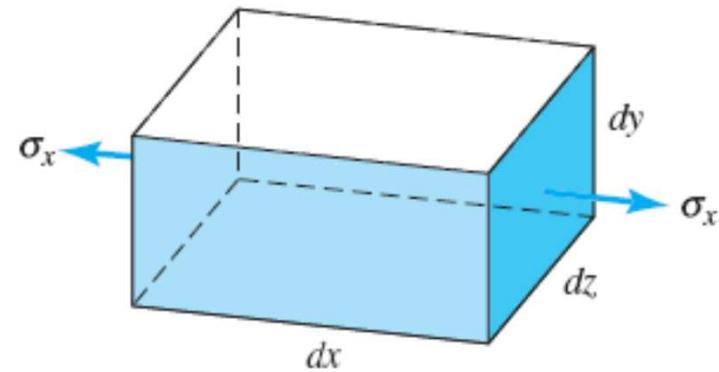
$$e = \frac{\Delta V}{V_o} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$e = \frac{1 - 2\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

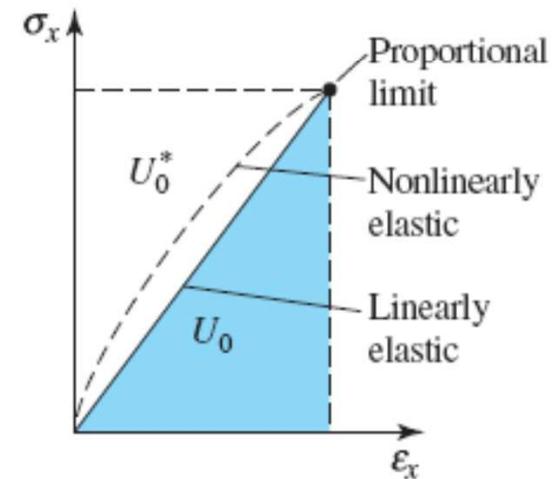
$$k = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

Energia de deformação - tração uniaxial

$$U_0 = \frac{E\varepsilon_x^2}{2} \quad U_0 = \frac{\sigma_x^2}{2E}$$

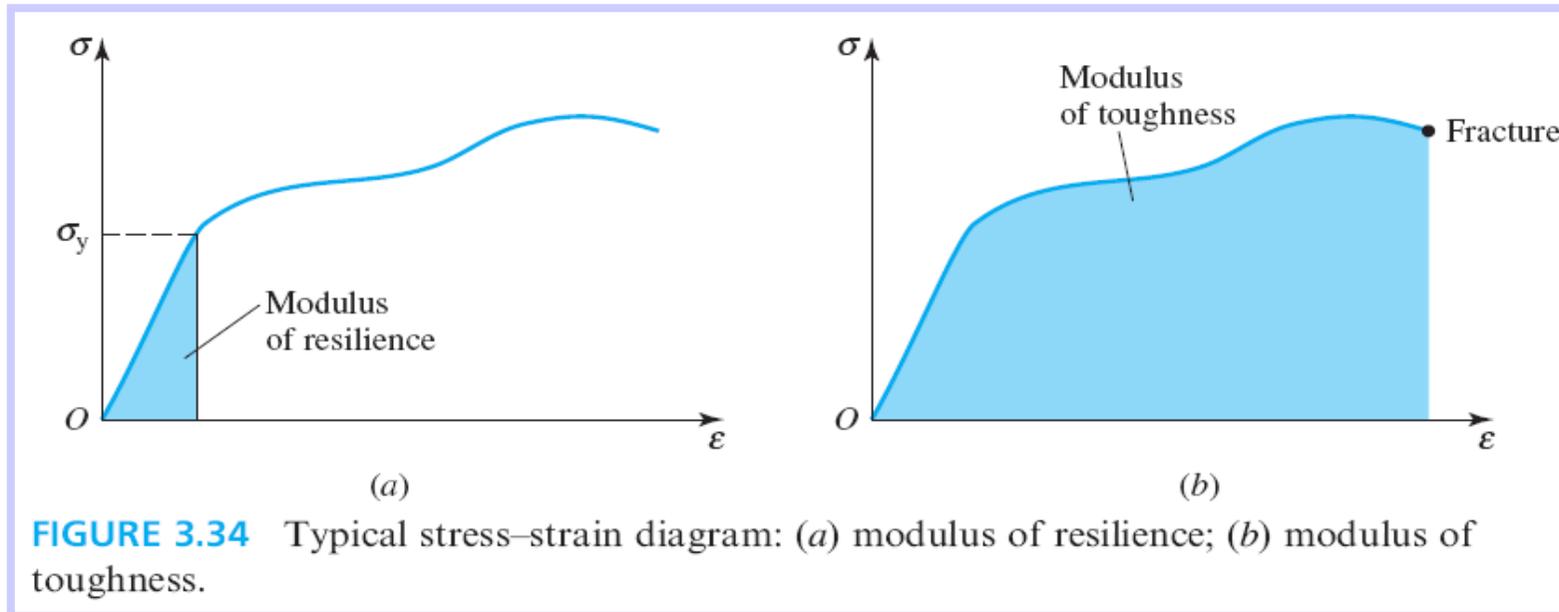


(a)



(b)

FIGURE 3.33 (a) An element in tension and (b) the stress-strain diagram.



$$U = \int \frac{\sigma_x^2}{2E} dV$$

Energia de deformação - tensão de cisalhamento

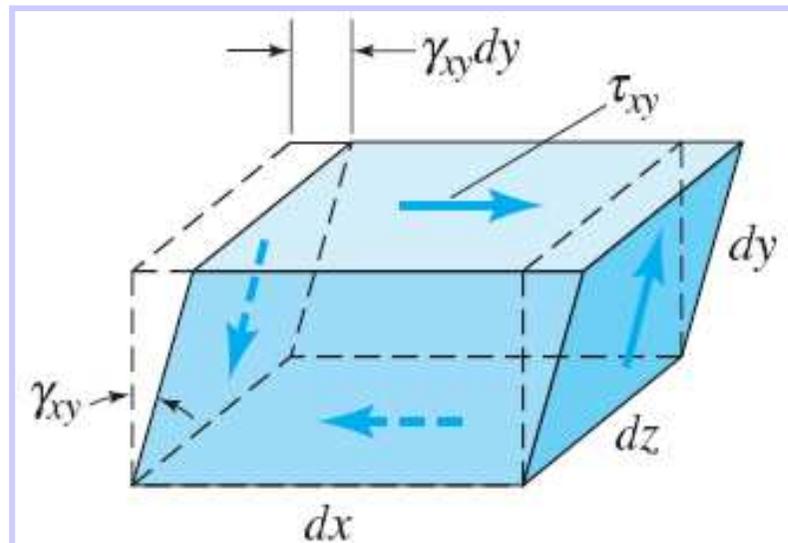


FIGURE 3.35 An element in pure shear stresses.

$$U = \int \frac{\tau_{xy}^2}{2G} dV$$

REFERÊNCIAS

- A.C. UGURAL. Mecânica dos Materiais. Rio de Janeiro LTC, 2009, 638p.
- J.M. GERE. Mecânica dos Materiais. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003, 698p.
- F.P. BEER, E.R. JOHNSTON, J.T. DeWOLF. Resistência dos Materiais. São Paulo: McGraw Hill. 4ª Ed., 2006, 758p.
- R.R. CRAIG, Jr. Mecânica dos Materiais. Rio de Janeiro LTC. 2ª Ed., 2003, 552p.
- R.C. HIBBELER. Resistência dos Materiais. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 5ª Ed., 2006, 670p.
- A.R. RAGAB, S.E. BAYOUMI. Engineering Solid Mechanics, Fundamentals and Applications. New York: CRC Press, 1999, 921p.
- T.A. PHILPOT, Mecânica dos Materiais: Um Sistema Integrado de Ensino. Rio de Janeiro LTC, segunda edição, 2013, 709p..
- A. HIGDON, E.H. OHLSEN, W.B. STILES, J.A. WEESE, W.F. RILEY. Mecânica dos Materiais. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 3ª Ed., 1981, 549p.