

ENSAIOS MECÂNICOS

Engenharia e Ciência dos Materiais I

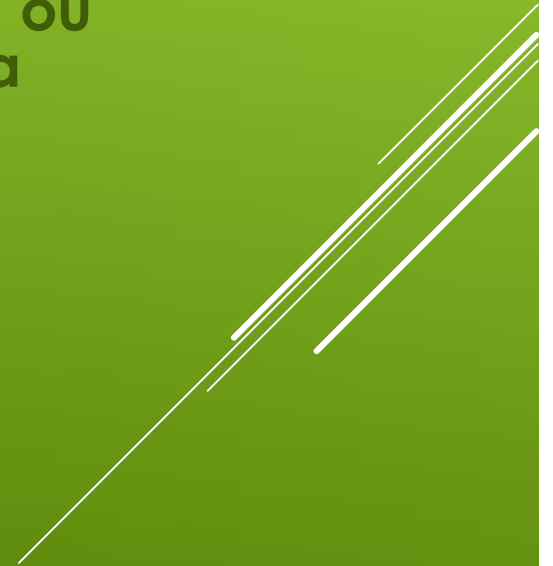
Profa.Dra.Lauralice Canale

Normas Técnicas para Ensaios

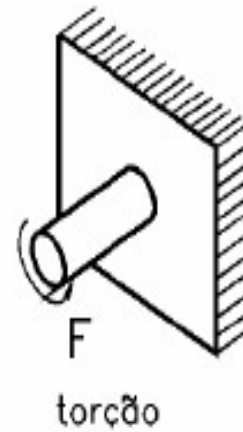
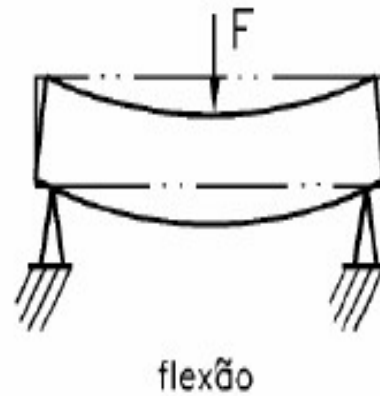
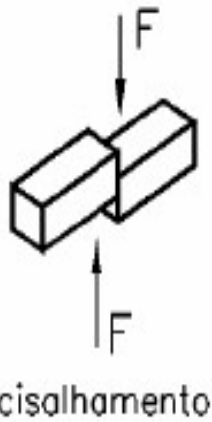
- As normas são utilizadas para se descrever o método correto para se efetuar um determinado ensaio mecânico.
- As normas mais utilizadas pelos laboratórios de ensaios mecânicos pertencem as seguintes associações:
 - ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)
 - ASTM (American Society for Testing and Materials)
 - DIN (Deutsches Institut für Normung)
 - BSI (British Standards Institution)
 - ASME (American Society of Mechanical Engineers)
 - ISSO (International Organization for Standardization)
 - JIS (Japanese Industrial Standards)
 - SAE (Society of Automotive Engineers)

ENSAIOS MECÂNICOS


- ▶ Servem para se conhecer as características dos materiais de modo a poder projetar componentes de tal maneira que, quando em serviço as deformações não sejam excessivas e não causem fratura.
- ▶ O comportamento mecânico de um materiais reflete a relação entre a sua resposta ou deformação a uma carga ou força aplicada



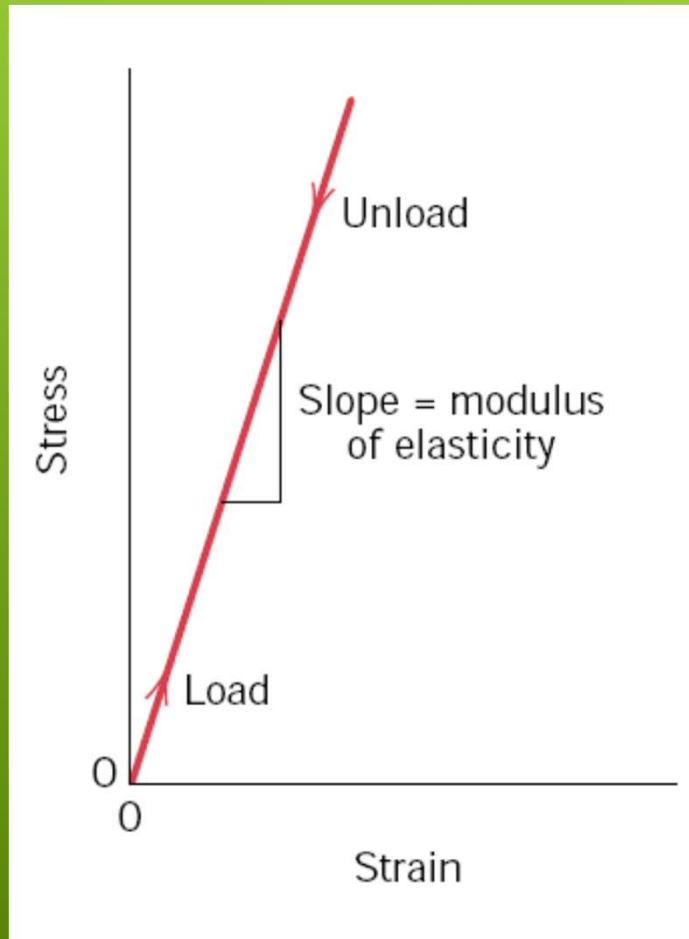
Tipos de Esforços que Afetam os Materiais



DEFORMAÇÃO ELÁSTICA

- Deformação não é permanente, o que significa que quando a carga é liberada, a peça retorna à sua forma original
 - Processo no qual tensão e deformação são proporcionais
 - A deformação elástica é resultado de um pequeno alongamento ou contração da célula cristalina na direção da tensão (tração ou compressão) aplicada.
 - Gráfico da tensão x deformação resulta em uma relação linear. A inclinação deste segmento corresponde ao **módulo de elasticidade E**
- 

MÓDULO DE ELASTICIDADE



$$\sigma = E\varepsilon$$

E = módulo de elasticidade

σ = tensão

ε = deformação

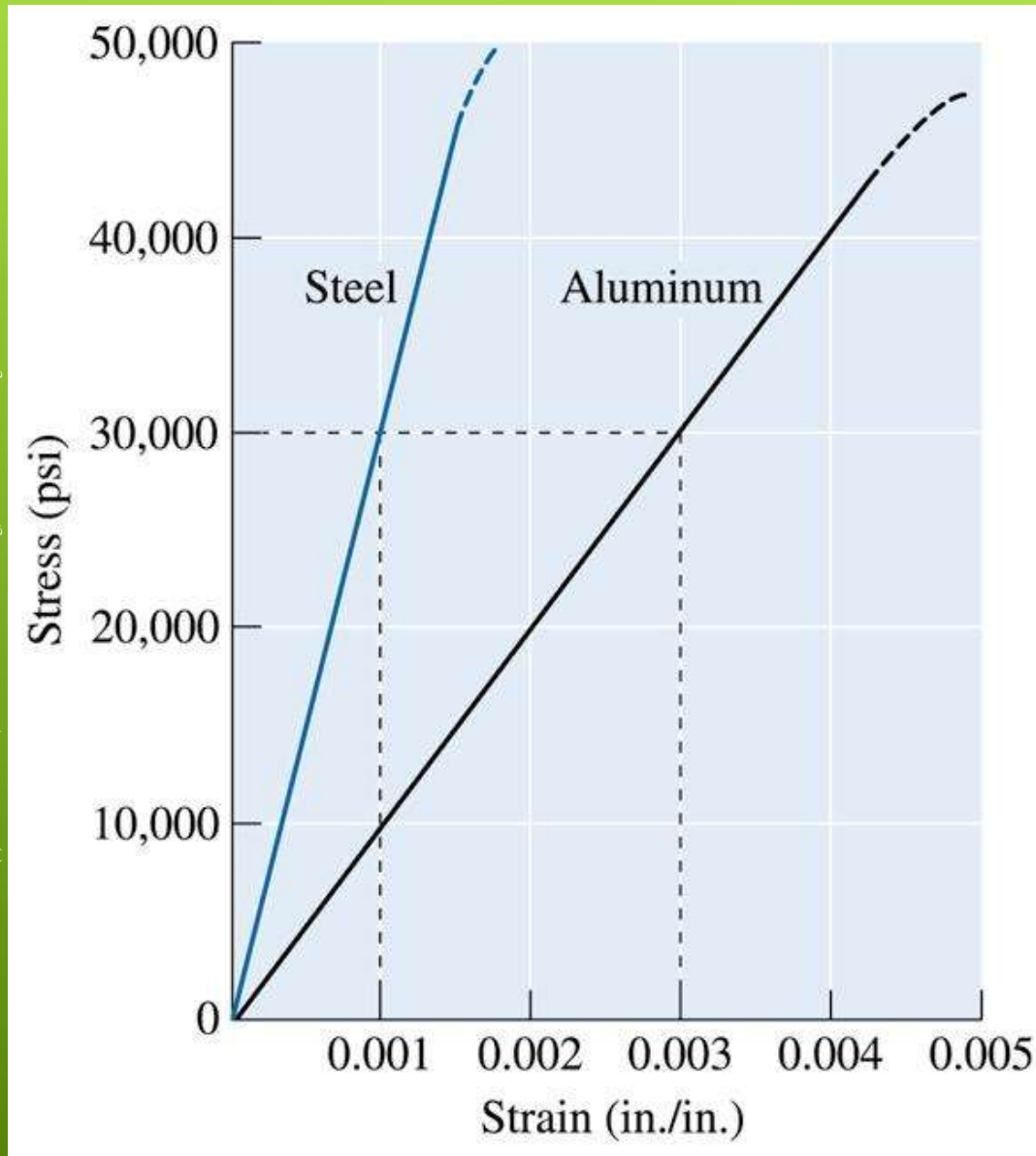


Figure 6.14 Comparison of the elastic behavior of steel and aluminum. For a given stress, aluminum deforms elastically three times as much as does steel



MÓDULO DE ELASTICIDADE

- Quanto maior o módulo,

mais rígido será o material ou menor será a deformação elástica

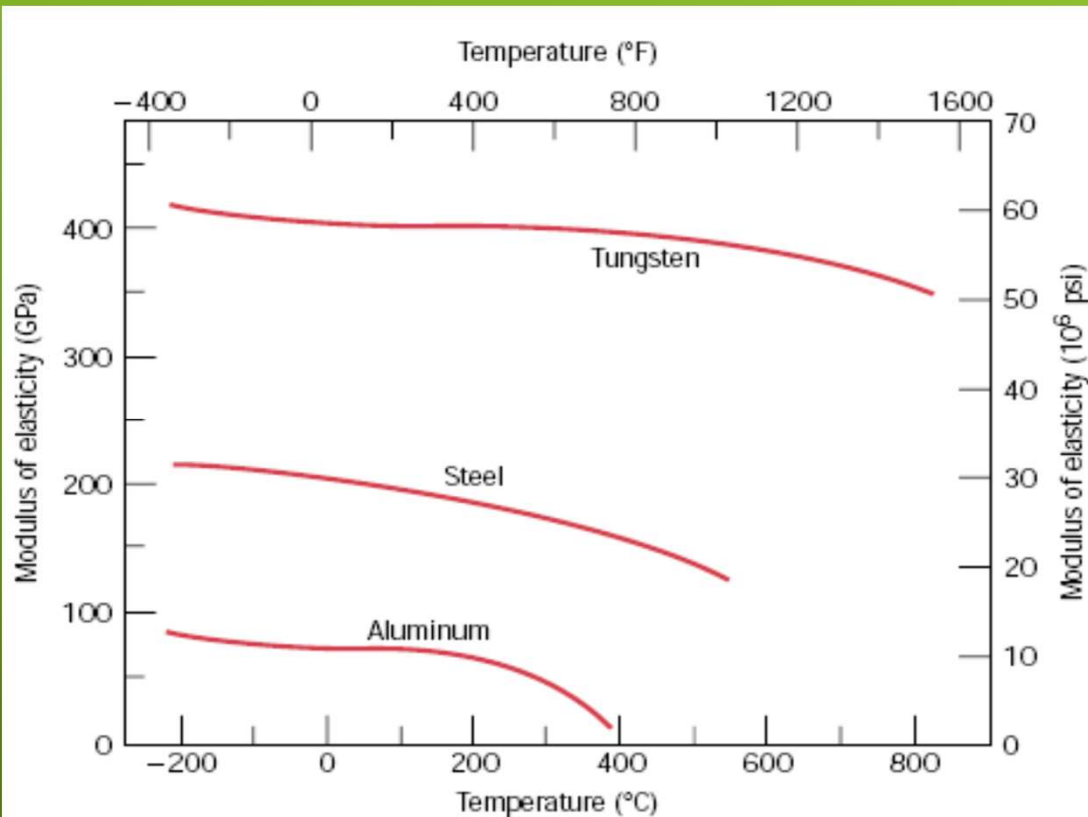
O módulo do aço é cerca de 3 vezes maior que o correspondente para as ligas de alumínio, ou seja, quanto maior o módulo de elasticidade, menor a deformação elástica resultante.

Módulo de elasticidade: rigidez ou uma resistência do material à deformação elástica



MÓDULO DE ELASTICIDADE

- O módulo de elasticidade é dependente da temperatura, com o aumento da temperatura, o módulo de elasticidade tende a diminuir




Valores típicos dos módulos de elasticidade a diferentes temperaturas.

	Módulo de Elasticidade, GPa.				
Material	20°C	205°C	427°C	538°C	649°C
Aço carbono	210	190	158	137	127
Ligas de Ti	116	98	75	71	
Ligas de Al	74	67	55		

DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

- Para a maioria dos materiais metálicos, o regime elástico persiste apenas até deformações de aproximadamente 0,005.

À medida que o material é deformado além, desse ponto, a tensão não é mais proporcional à deformação (lei de Hooke) e ocorre uma deformação permanente não recuperável, a deformação plástica.



DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

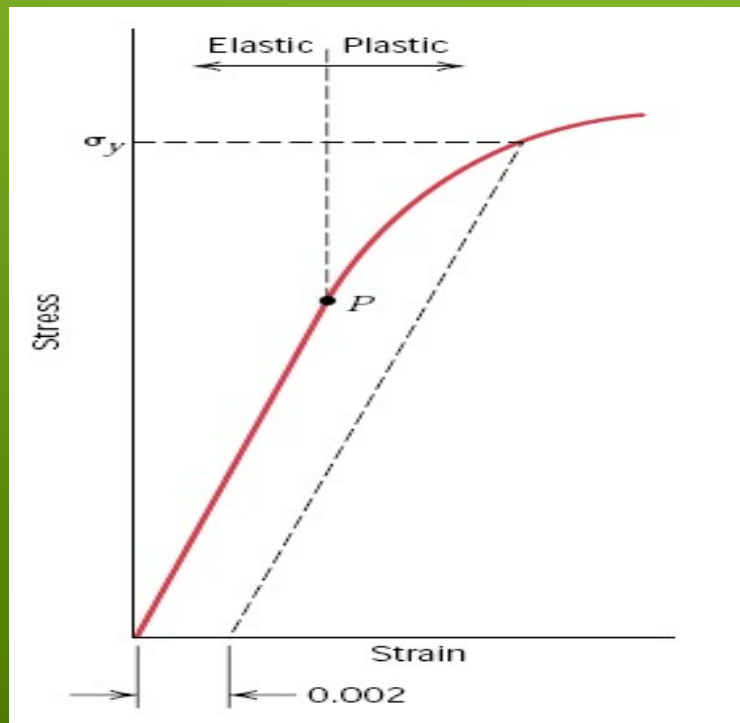
A deformação plástica corresponde à quebra de ligações com os átomos vizinhos originais e em seguida formação de novas ligações

A deformação ocorre mediante um processo de escorregamento, que envolve o movimento de discordâncias



LIMITE DE PROPORCIONALIDADE E TENSÃO LIMITE DE ESCOAMENTO

- O limite de proporcionalidade pode ser determinado como o ponto onde ocorre o afastamento da linearidade na curva tensão – deformação (ponto P)



LIMITE DE PROPORCIONALIDADE E TENSÃO LIMITE DE ESCOAMENTO

A posição deste ponto pode não ser determinada com

precisão.

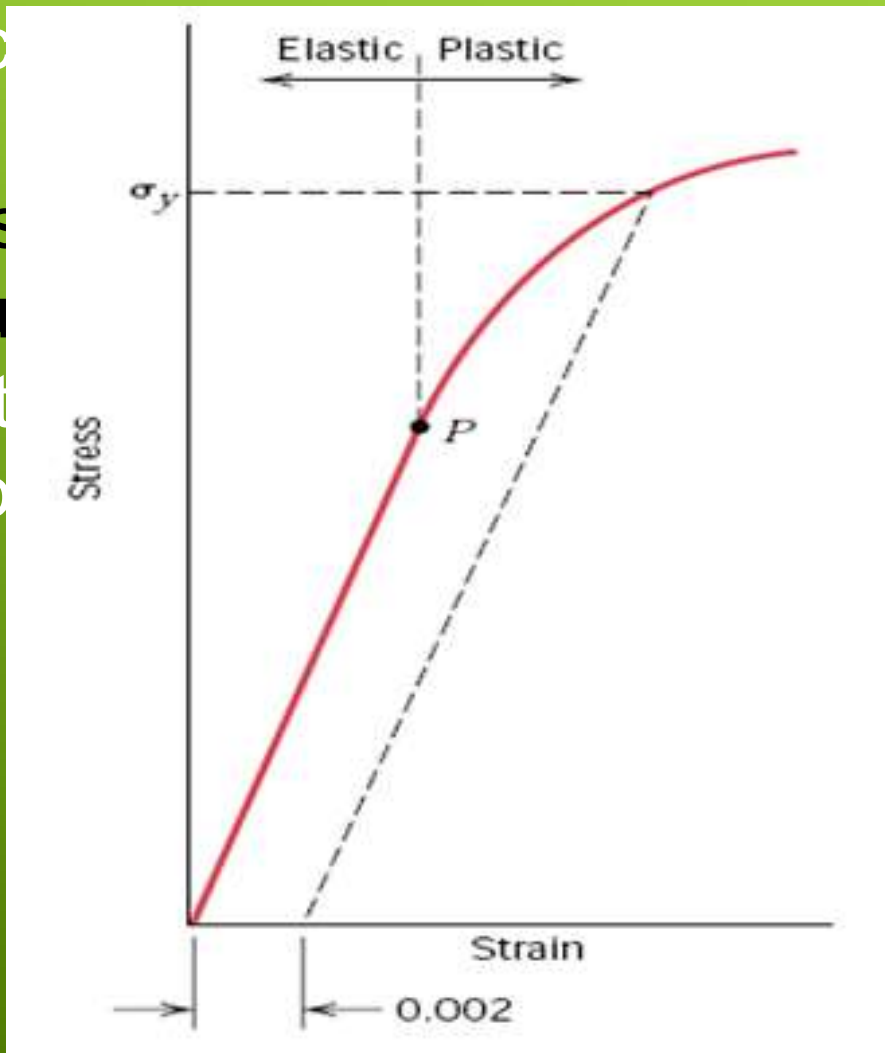
Por

consistência

de uso

A intensidade

de deformação



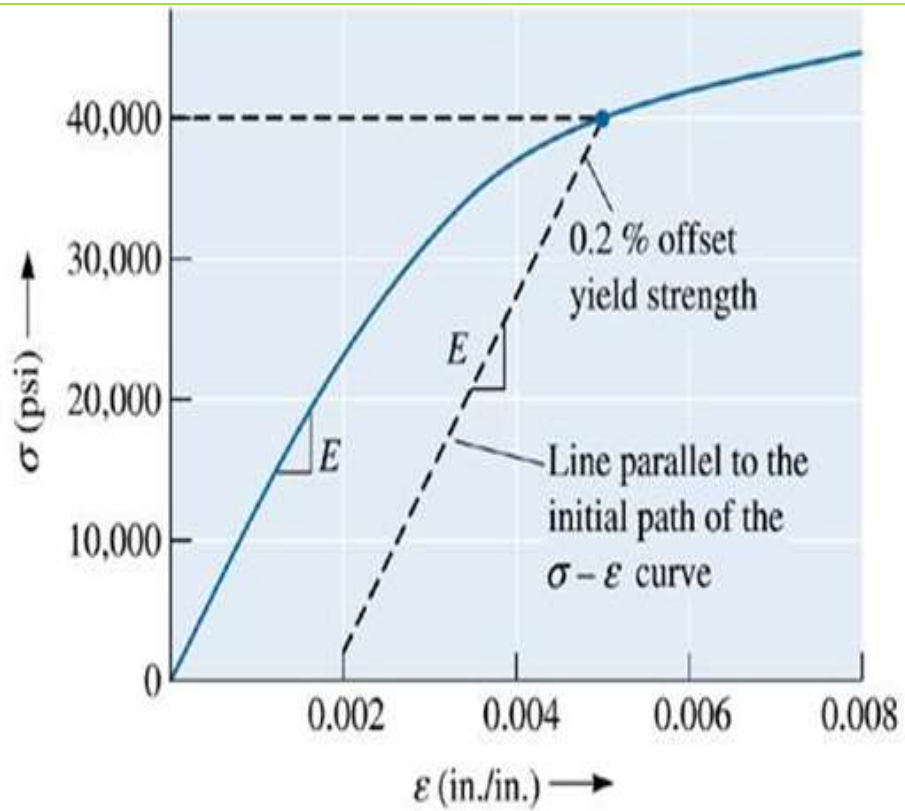
uma convenção: é

a região elástica a partir

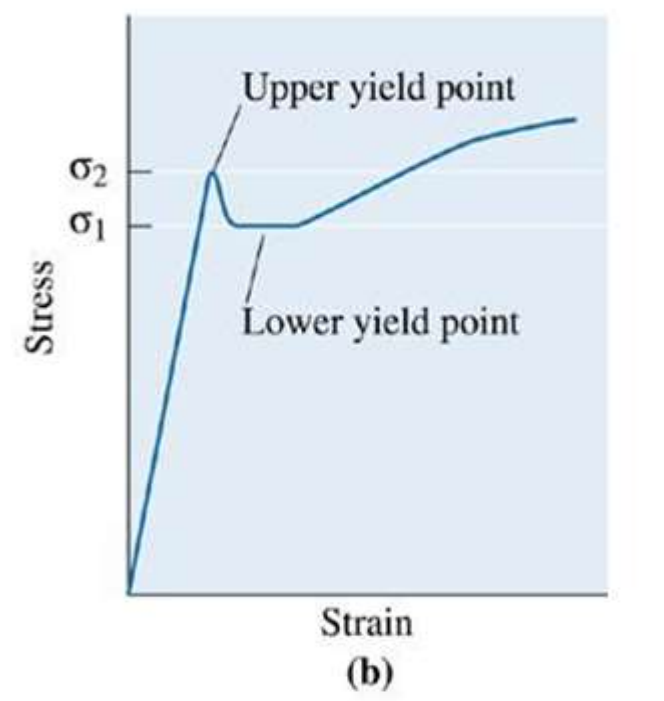
0.002.

na curva tensão –

de escoamento (σ_y)




(a)

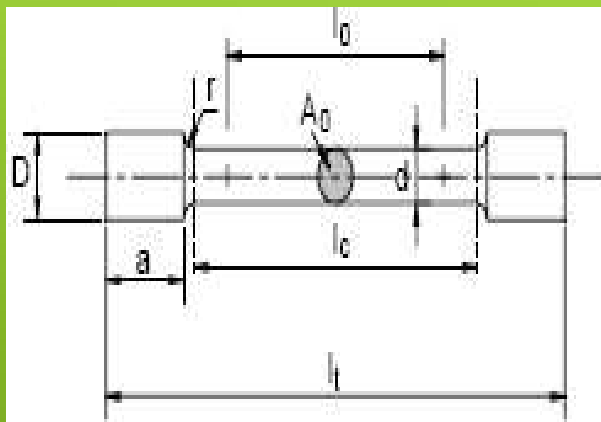


(b)

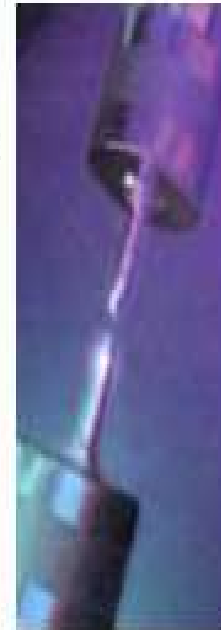
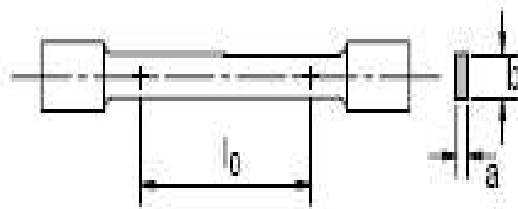
ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL

- ▶ O ensaio de tração consiste na aplicação de carga uniaxial crescente até a ruptura. Mede-se a variação do comprimento como função da carga e fornece dados quantitativos das características mecânicas dos materiais
 - ▶ Os corpos de prova geralmente possuem seção transversal circular ou retangular com proporções geométricas normalizadas
- 

ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL



l_0 - comprimento de referência
 l_c - comprimento da zona calibrada
 l_t - comprimento total



Ensaio de Tração

$$1\text{kgf} = 0,454\text{ lb} = 9,807\text{N}$$

Tensão de escoamento

$$1\text{kgf/mm}^2 = 1422\text{ psi} = 9,807\text{ Mpa} = 9,807\text{ N/mm}^2$$

Tensão máxima ou limite de resistência à tração

Tensão de ruptura

Alongamento

Estricção

Módulo de elasticidade

TABLE 6-2 ■ *Units and conversion factors*

1 pound (lb) = 4.448 Newtons (N)

1 psi = pounds per square inch

1 MPa = MegaPascal = MegaNewtons per square meter (MN/m^2)
= Newtons per square millimeter (N/mm^2) = 1,000,000 Pa

1 GPa = 1000 MPa = GigaPascal

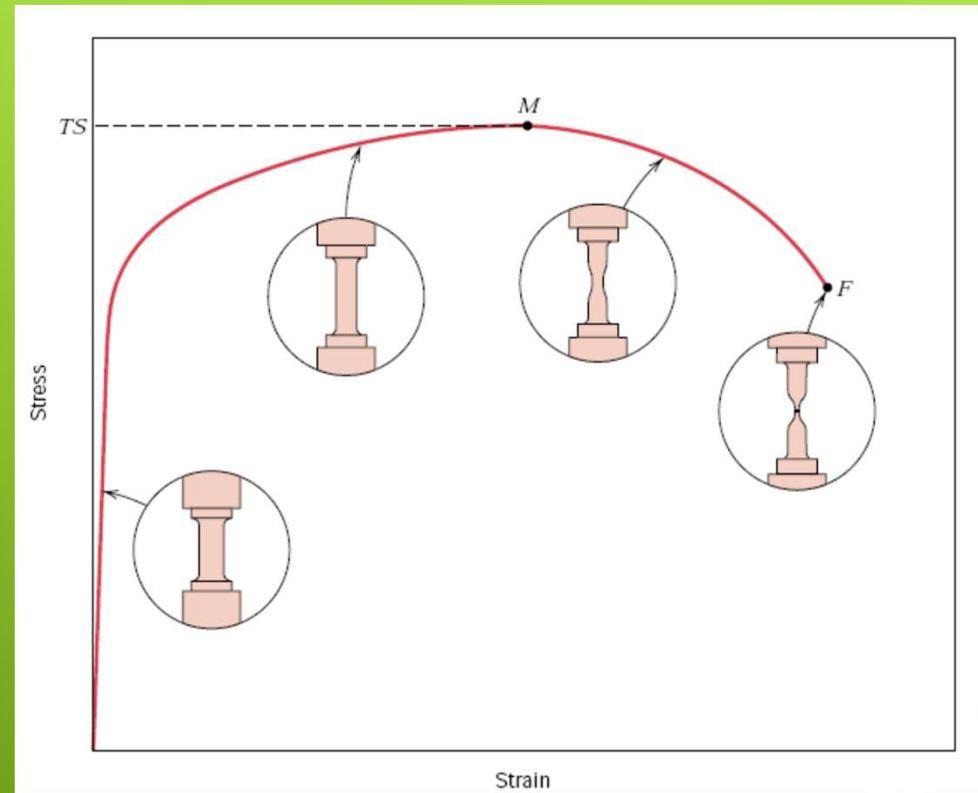
1 ksi = 1000 psi = 6.895 MPa

1 psi = 0.006895 MPa

1 MPa = 0.145 ksi = 145 psi

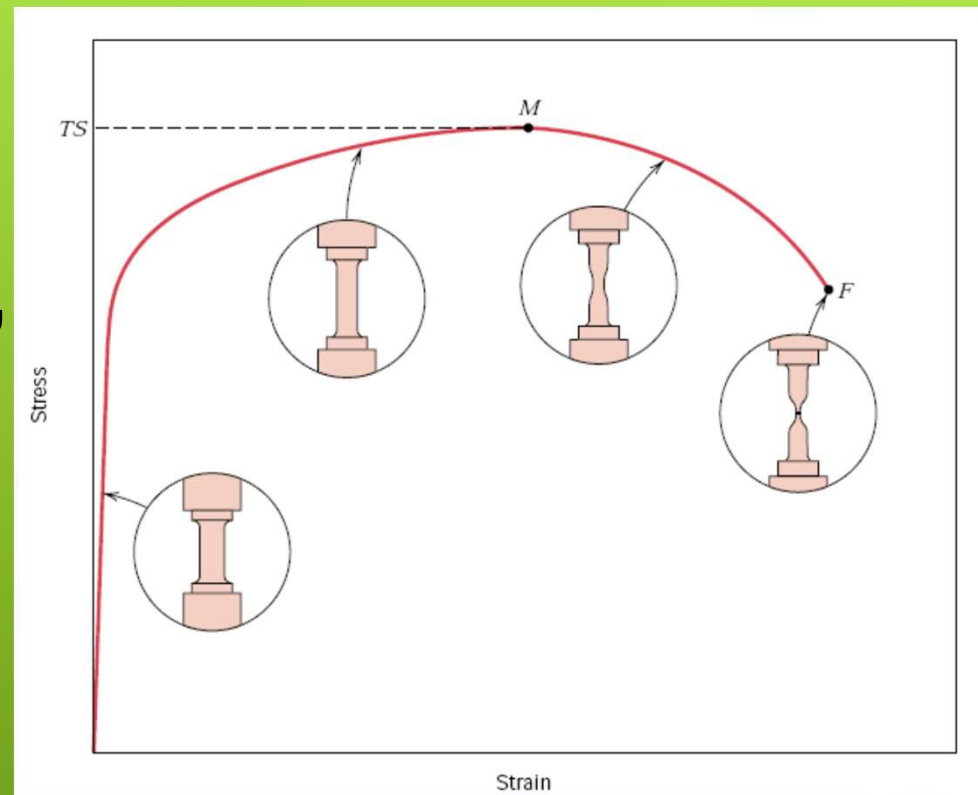
LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

- Após o escoamento, a tensão necessária para continuar a deformação plástica aumenta até um valor máximo (ponto M) e então diminui até a fratura do material.



LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

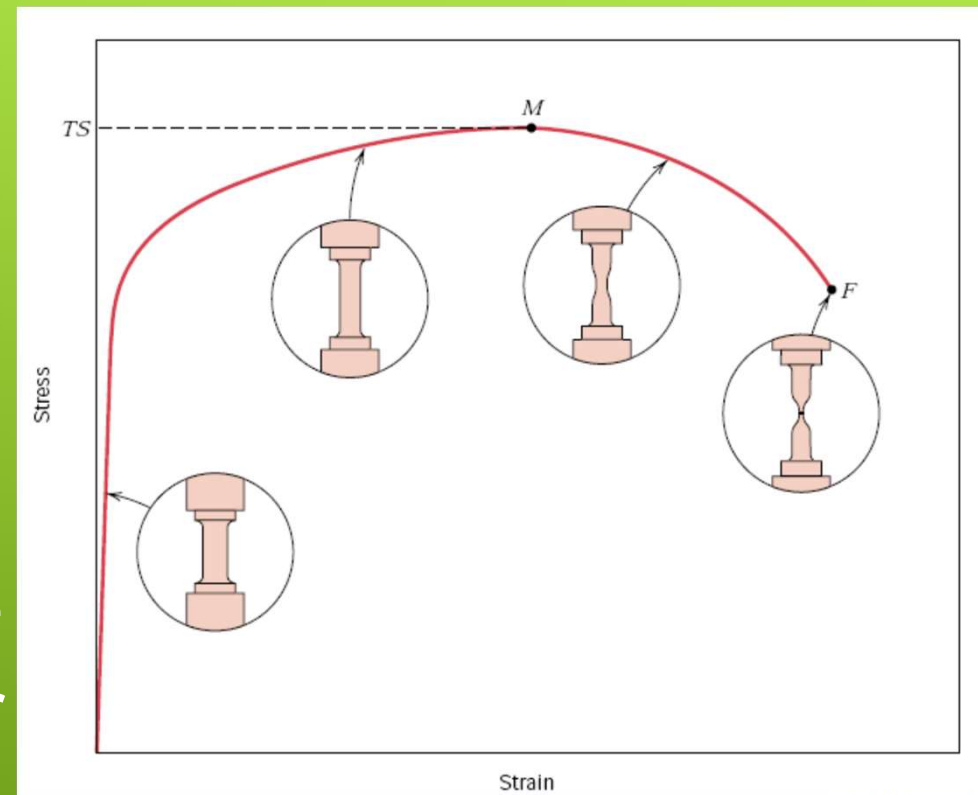
Para um material de alta capacidade de deformação plástica, o diâmetro do cp decresce rapidamente ao ultrapassar o ponto M e assim a carga necessária para continuar a deformação, diminui até a ruptura final




LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

O limite de resistência à tração é a tensão no ponto máximo da curva tensão-deformação.

É a máxima tensão que pode ser sustentada por uma estrutura que se encontra sob tração

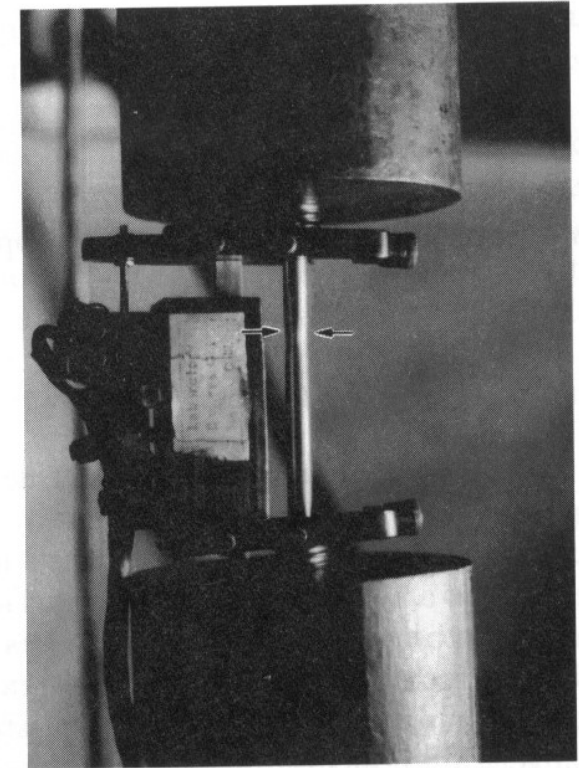


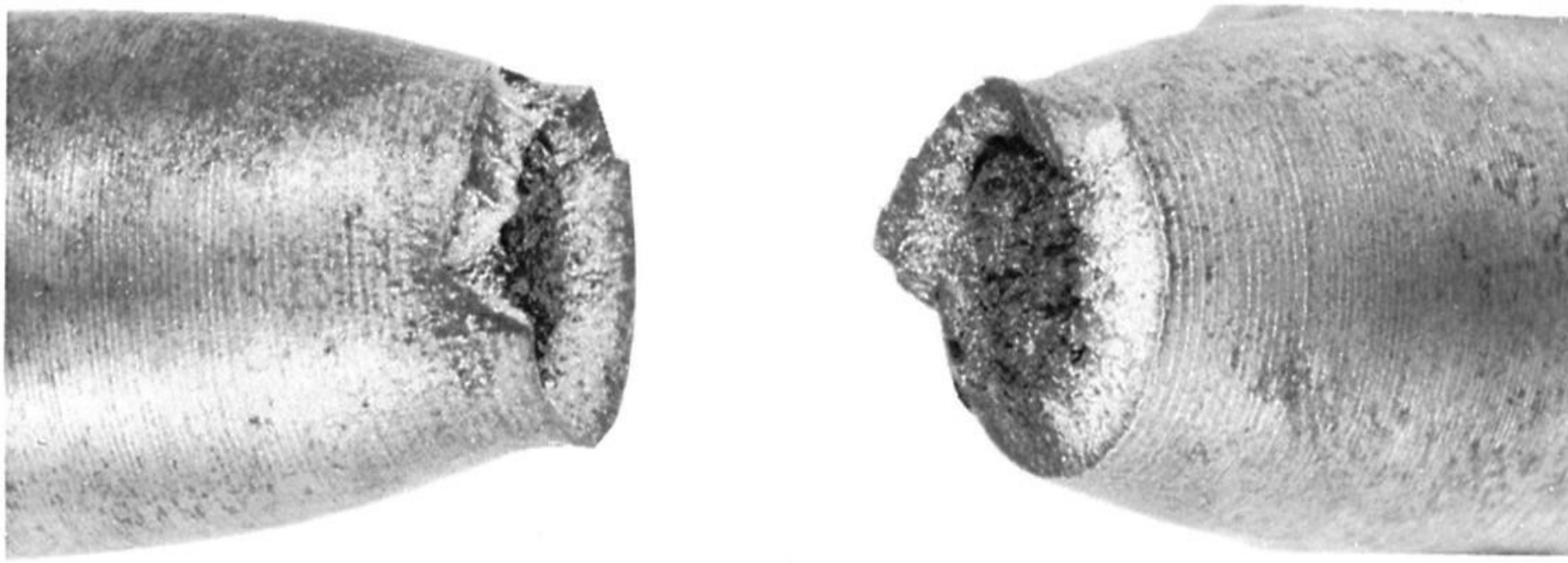
ENCRUAMENTO

- A partir da região de escoamento, o material entra no campo de deformações permanentes, onde ocorre endurecimento por trabalho a frio (**encruamento**)
 - Resulta em função da interação entre discordâncias e das suas interações com obstáculos como solutos e contornos de grãos.
 - É preciso uma energia
 - cada vez maior para que
 - ocorra essa movimentação
- 

EMPESCOÇOAMENTO ESTRICÇÃO

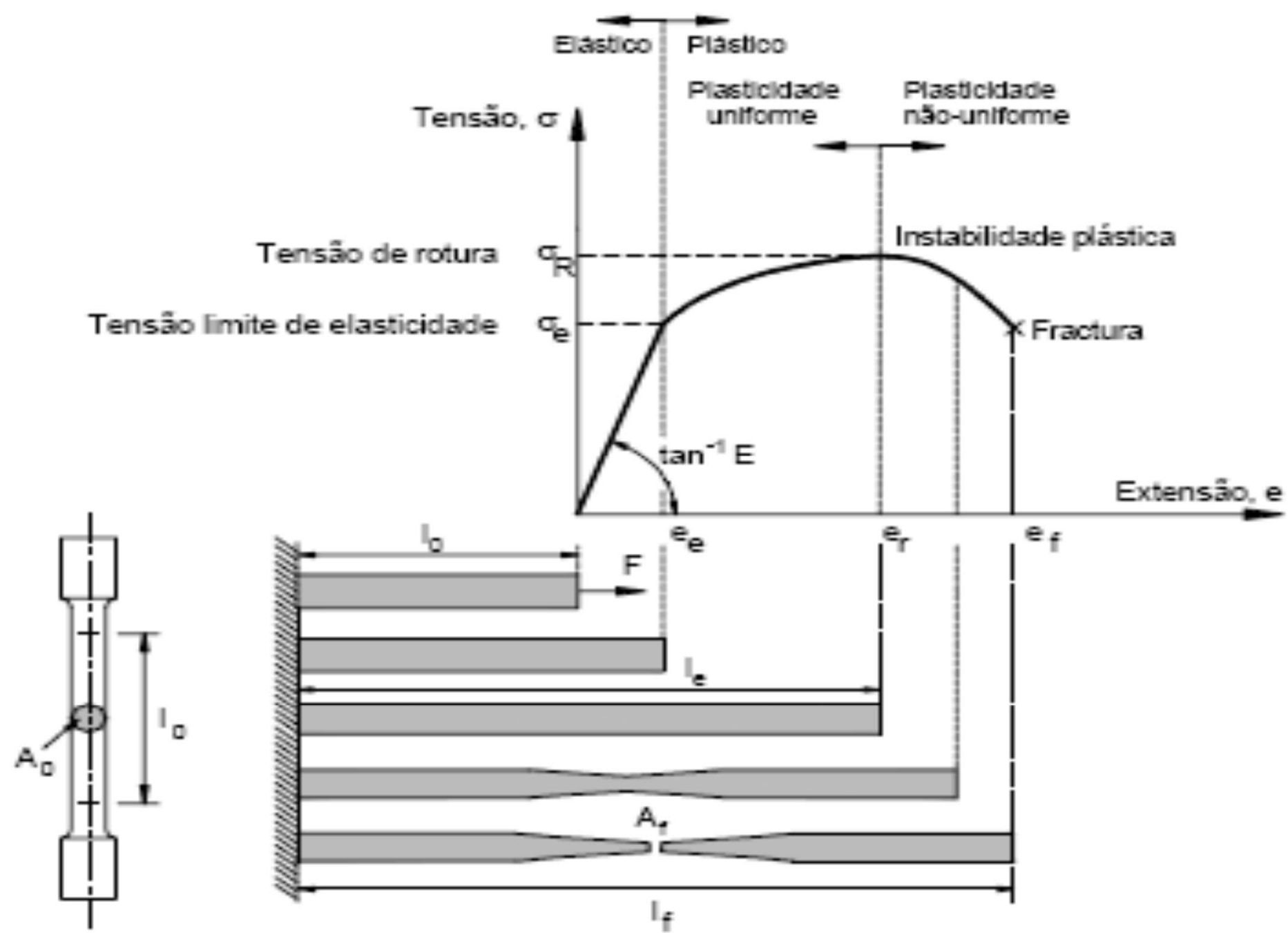
- Região localizada em uma seção reduzida em que grande parte da deformação se concentra
- Ocorre quando o aumento da dureza por encruamento é menor que a tensão aplicada e o material sofre uma grande deformação





(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Figure 6.12 Localized deformation of a ductile material during a tensile test produces a necked region. The micrograph shows necked region in a fractured sample



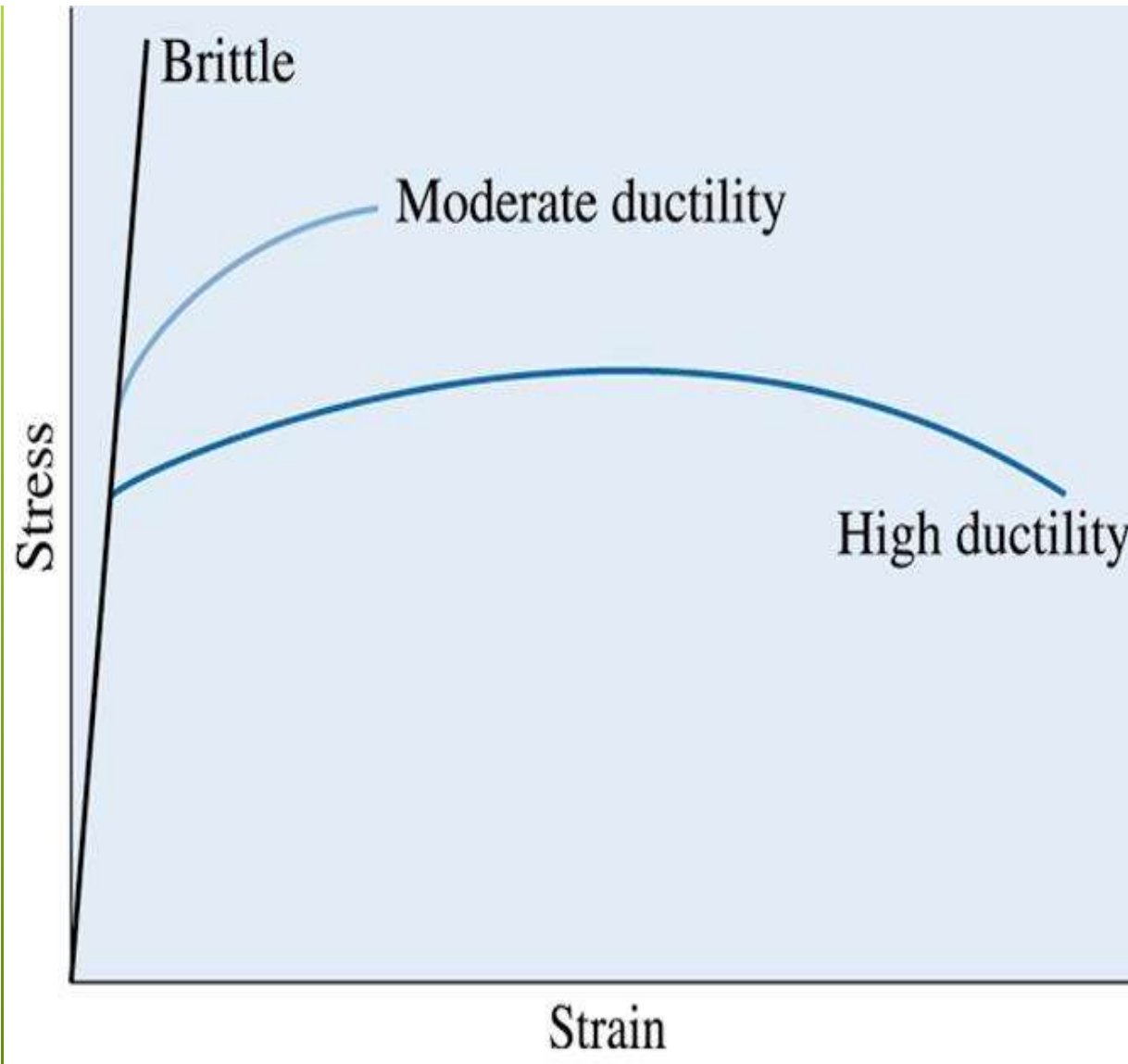


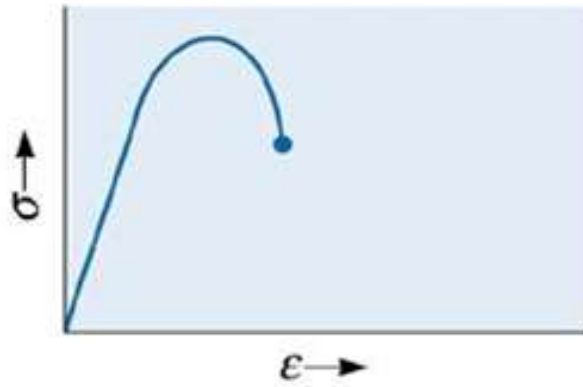
Figure 6.18 The stress-strain behavior of brittle materials compared with that of more ductile materials

PROPRIEDADES MECÂNICAS DA METAIS E LIGAS

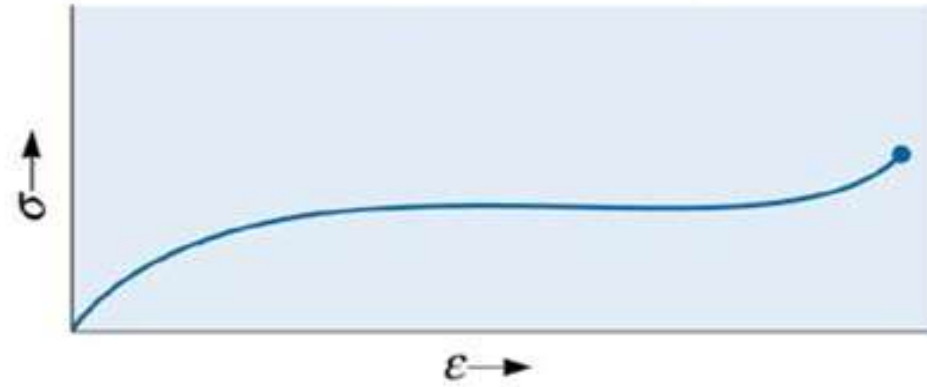
<i>Material</i>	<i>Yield Strength</i>		<i>Tensile Strength</i>		<i>Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)]^a</i>
	<i>MPa</i>	<i>ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>ksi</i>	
	Metal Alloys^b				
Molybdenum	565	82	655	95	35
Titanium	450	65	520	75	25
Steel (1020)	180	26	380	55	25
Nickel	138	20	480	70	40
Iron	130	19	262	38	45
Brass (70 Cu-30 Zn)	75	11	300	44	68
Copper	69	10	200	29	45
Aluminum	35	5	90	13	40



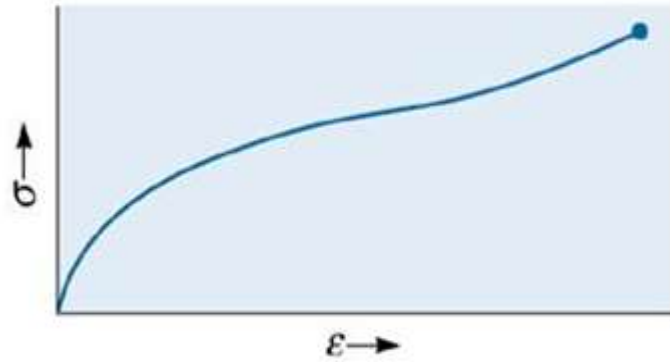
(a) Metal



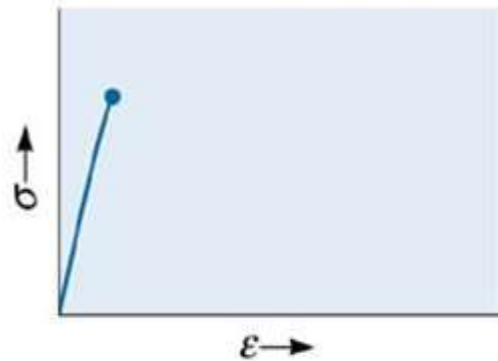
(b) Thermoplastic material above T_g



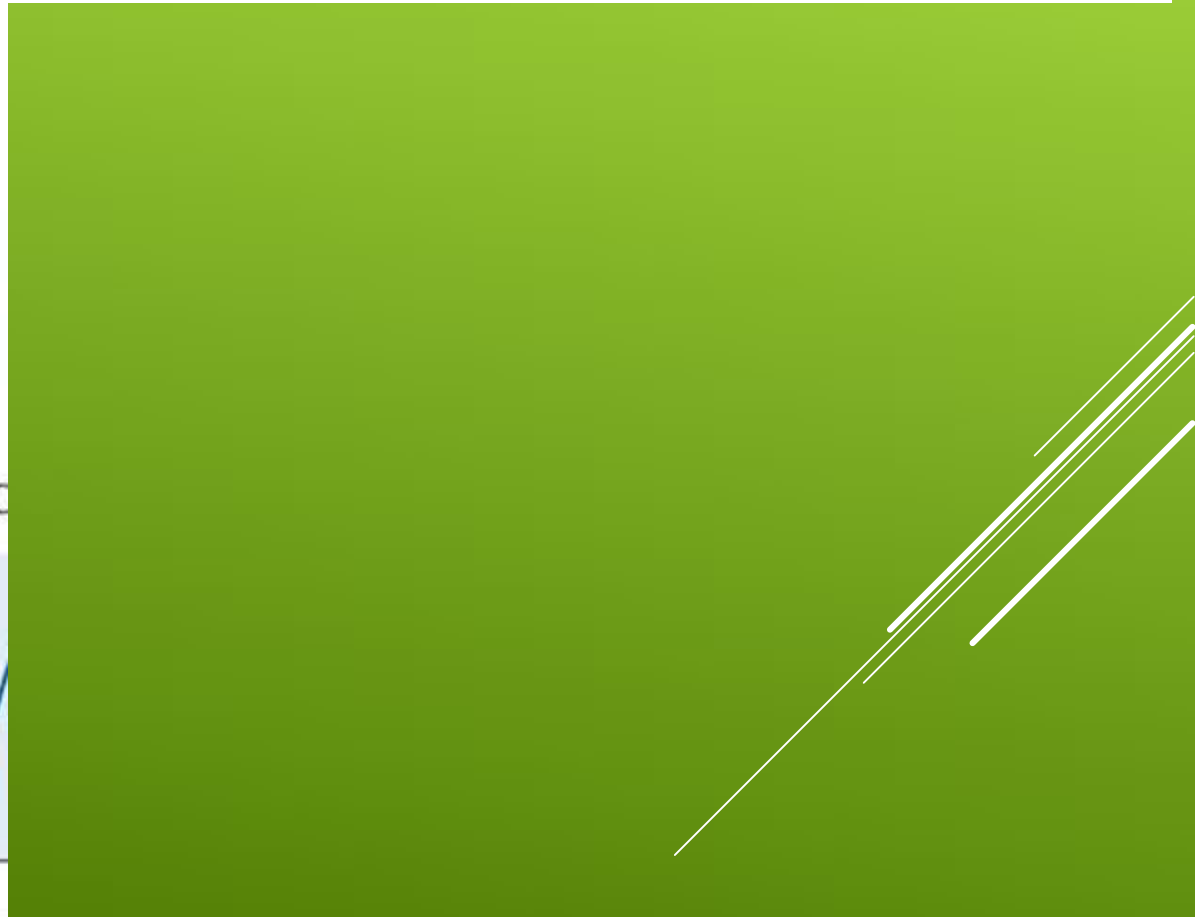
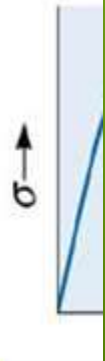
(c) Elastomer



(d) Ceramics, glasses, and concrete



(d) C

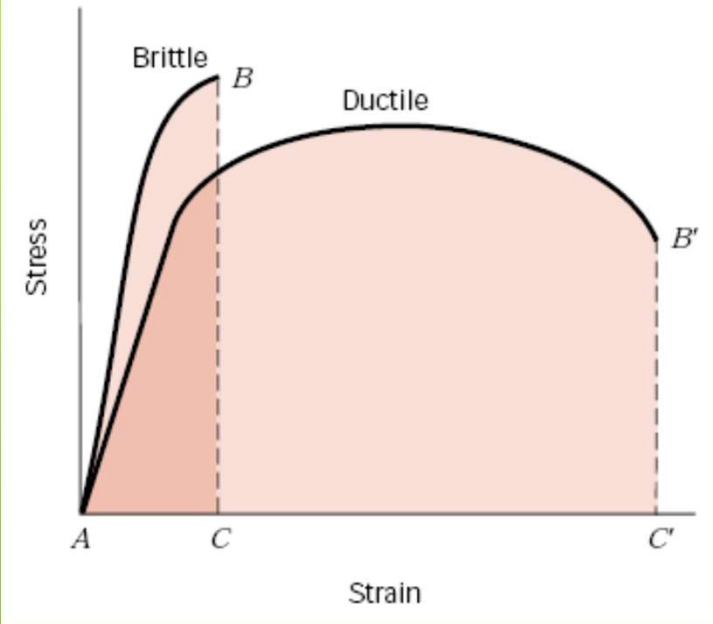


TENACIDADE

- Representa uma medida da habilidade de um material em absorver energia até a fratura

Pode ser determinada a partir da curva tensão – deformação. Ela é a área sob a curva

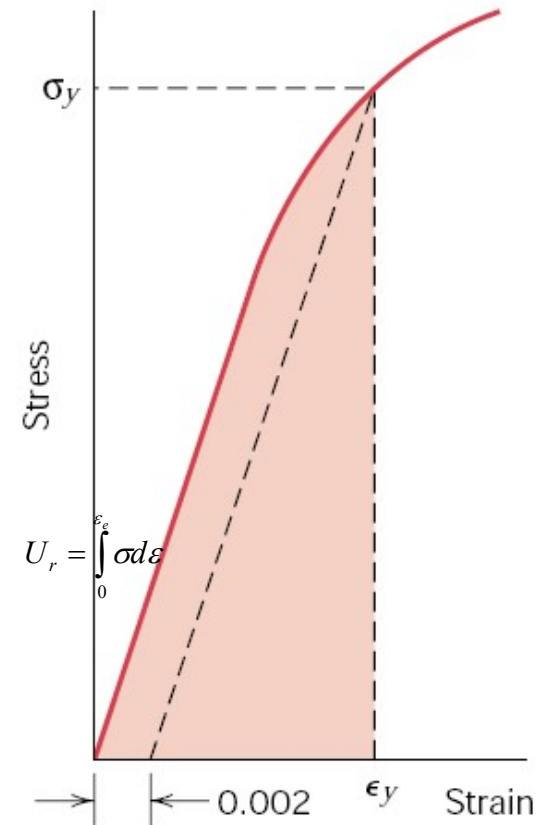
Para que um material seja tenaz, deve apresentar resistência e ductilidade. Materiais dúcteis são mais tenazes que os frágeis



RESILIÊNCIA

Capacidade de um material absorver energia quando ele é deformado elasticamente e depois, com o descarregamento ter essa energia recuperada.

O módulo de resiliência é dado pela área da curva tensão-deformação



ENSAIO DE TRAÇÃO: CURVA TENSÃO –DEFORMAÇÃO CONVENCIONAL

- ▶ Tensão Convencional, nominal ou de Engenharia

$$\sigma_C = \frac{P}{A_0}$$

σ_C =tensão

P=carga aplicada

S_0 =seção transversal original



ENSAIO DE TRAÇÃO: CURVA TENSÃO – DEFORMAÇÃO CONVENCIONAL

- Deformação Convencional, nominal ou de Engenharia

$$\varepsilon_C = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

ε_C = deformação (adimensional)

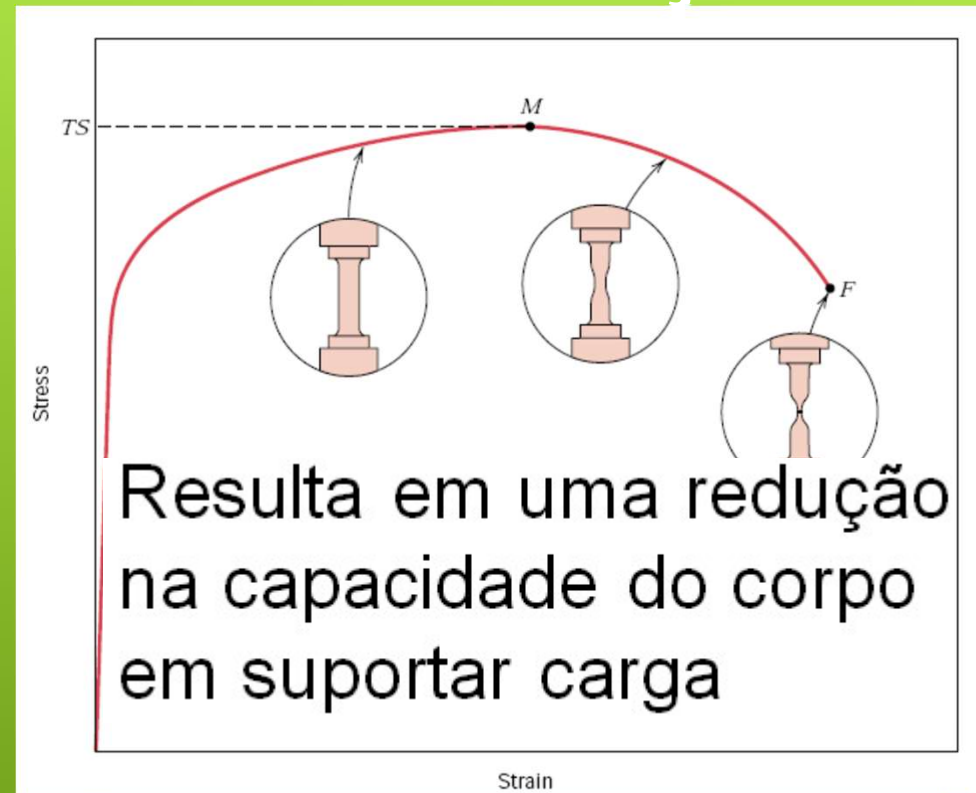
l_0 = comprimento inicial de referência

l = comprimento de referência

para cada carga

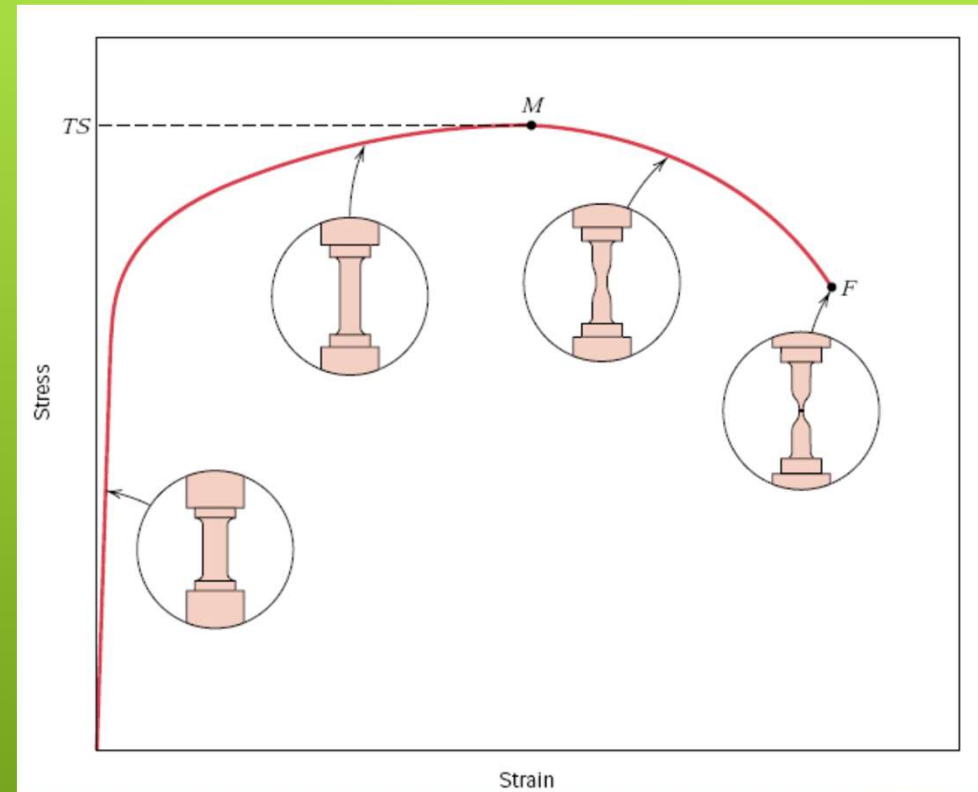
TENSÃO VERDADEIRA E DEFORMAÇÃO VERDADEIRA

- Na curva tensão-deformação convencional após o ponto máximo (ponto M), o material aumenta em resistência devido ao encruamento, mas a área da seção reta está diminuindo devido ao empescoçamento.



TENSÃO VERDADEIRA E DEFORMAÇÃO VERDADEIRA

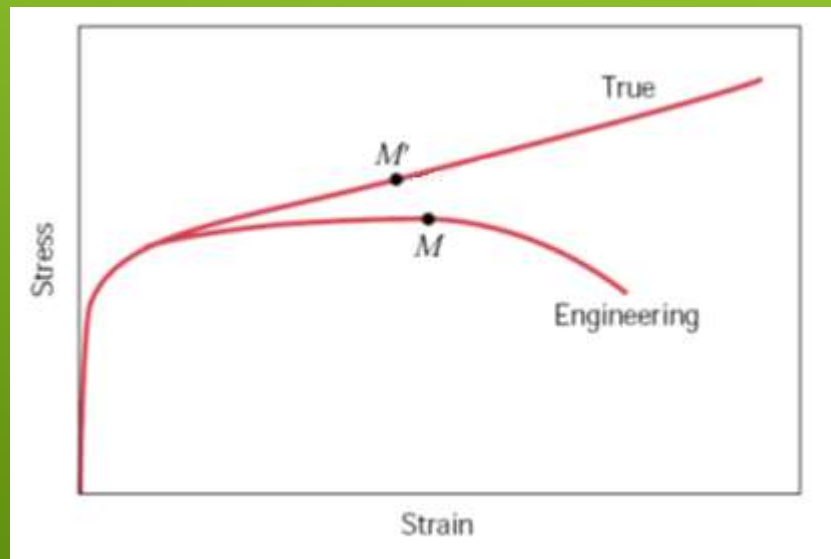
- A tensão calculada nessa carga é baseada na área da seção original e não leva em conta o pescoço



TENSÃO VERDADEIRA E DEFORMAÇÃO VERDADEIRA

- A Tensão Verdadeira é definida como sendo a carga P sobre a área instantânea, ou seja, área do pescoço após o limite de resistência à tração

$$\sigma_V = \frac{P}{A_i}$$



$$\epsilon_V = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

RELAÇÕES ENTRE TENSÕES E DEFORMAÇÕES REAIS E CONVENCIONAIS

► Deformação

$$\varepsilon_C = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

$$\frac{l}{l_0} = 1 + \varepsilon_C$$

$$\varepsilon_r = \ln \frac{l}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon_C)$$

► Tensão

$$\ln \frac{S_0}{S} = \ln \frac{l}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon_C)$$

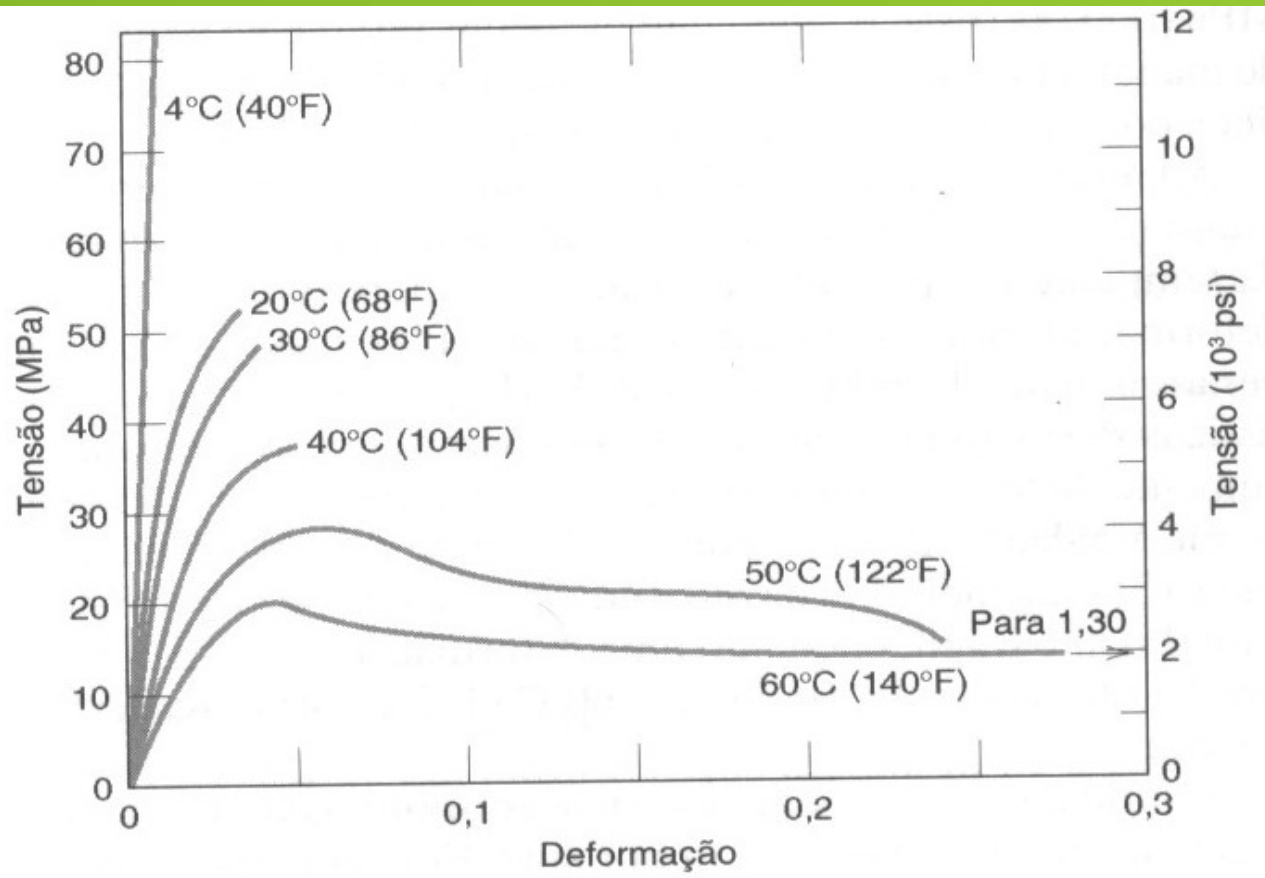
$$S = \frac{S_0}{1 + \varepsilon_C}$$

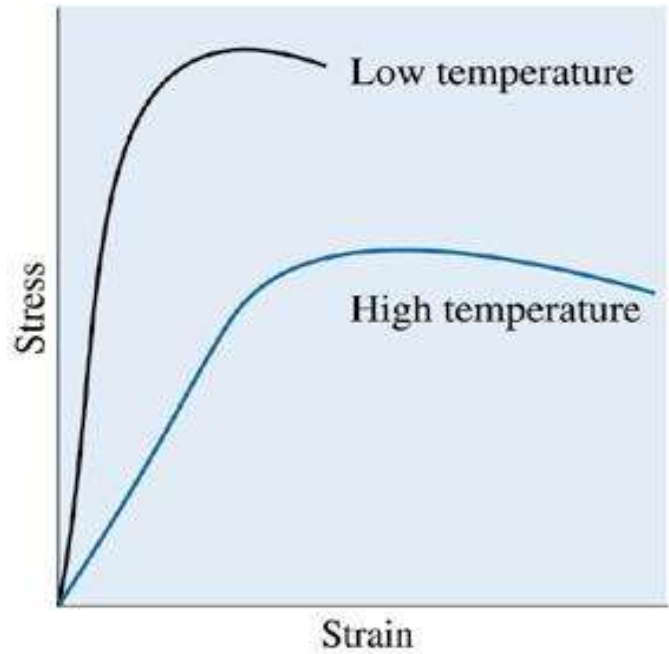
$$\sigma_r = \frac{P}{S} = \frac{P}{S_0} (1 + \varepsilon_C)$$

$$\sigma_r = \sigma_C (1 + \varepsilon_C)$$

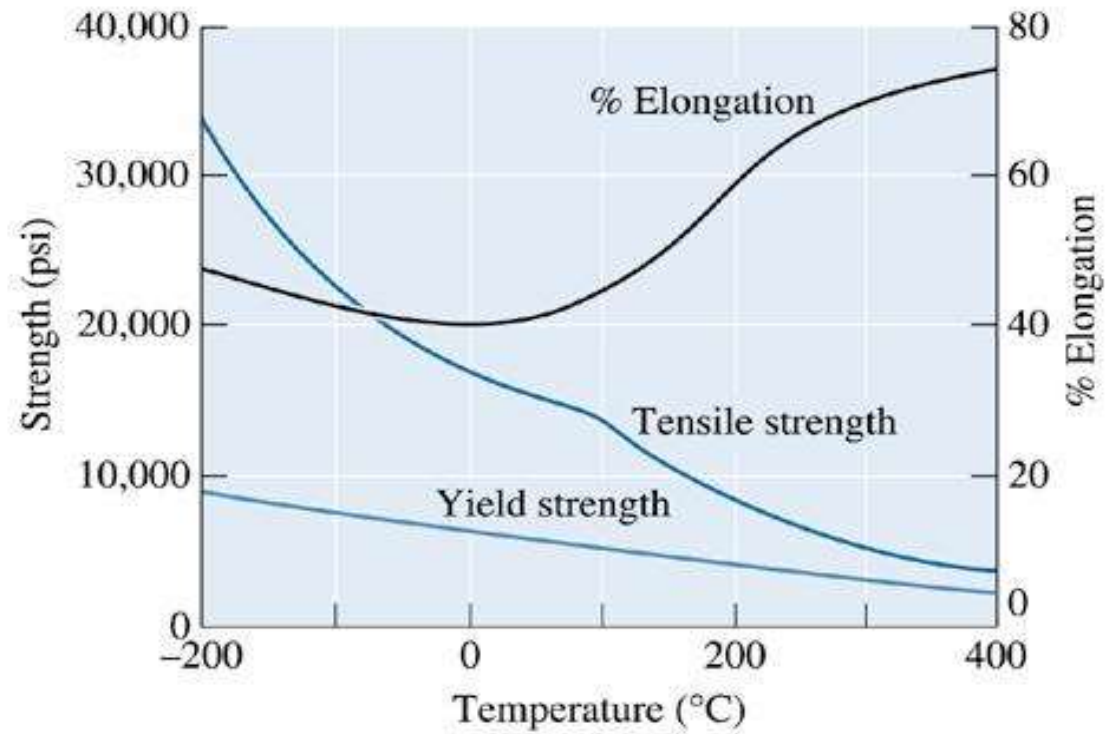
EFEITO DA TEMPERATURA

- A temperatura pode ter grande influência nas propriedades mecânicas levantadas pelo ensaio de tração





(a)



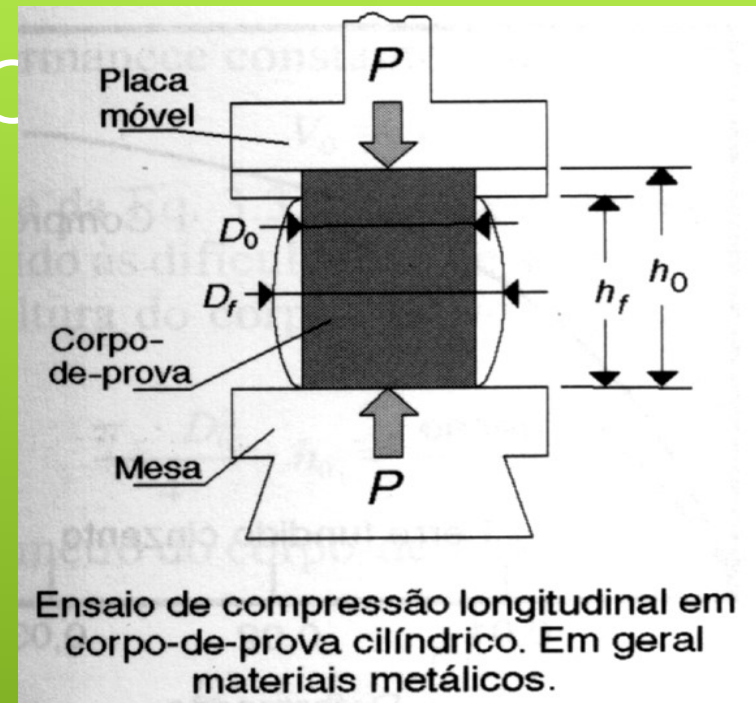
(b)

Figure 6.16 The effect of temperature (a) on the stress-strain curve and (b) on the tensile properties of an aluminum alloy

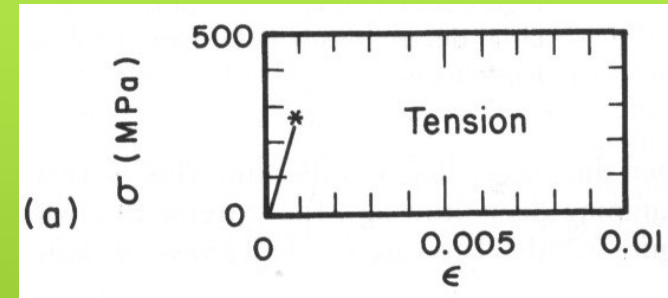
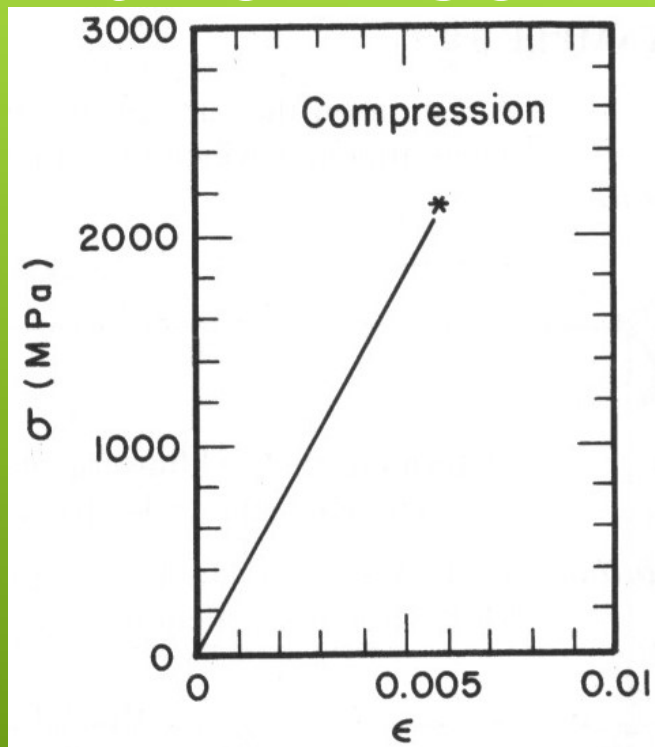
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[®] is a trademark used herein under license.

ENSAIO DE COMPRESSÃO

- O ensaio de compressão é a aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo de prova
- A deformação linear obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo versus a carga de compressão consiste no resultado do teste
- As propriedades mecânicas obtidas são as mesmas do ensaio de tração



ENSAIO DE COMPRESSÃO



Em função de trincas submicroscópicas os materiais frágeis são geralmente fracos em condições de tração, já que as tensões de tração tendem a propagar essas trincas

Materiais frágeis como as cerâmicas apresentam porém alta resistência à compressão

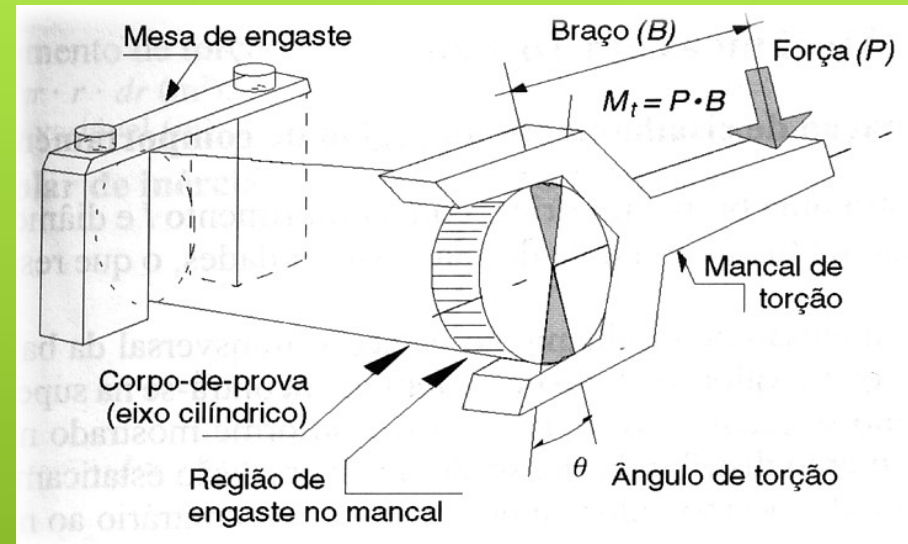
ENSAIO DE COMPRESSÃO



- Resultado do ensaio de compressão aplicado em um cilindro de cobre

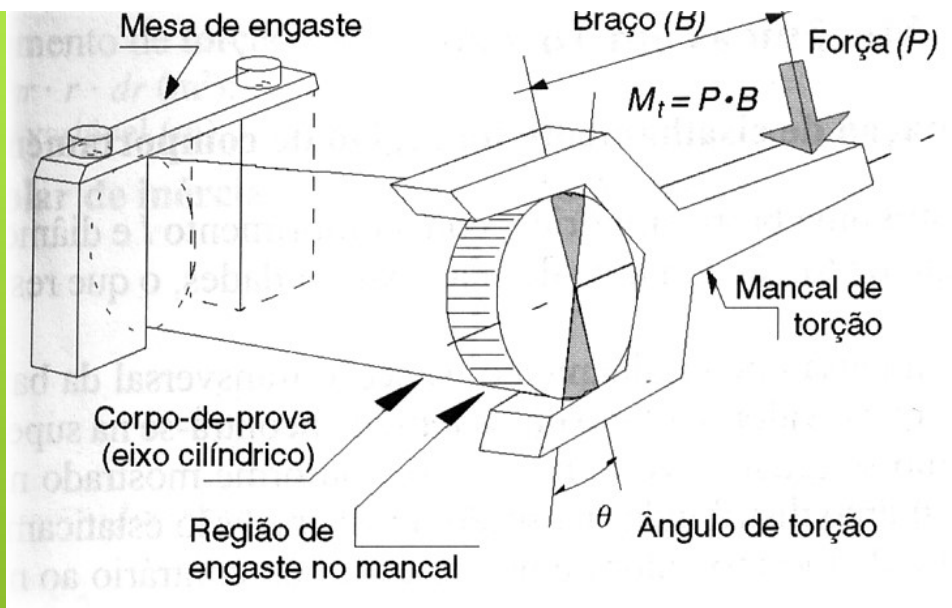
ENSAIO DE TORÇÃO

- O Ensaio de torção consiste na aplicação de carga rotativa em um corpo de prova geralmente de geometria cilíndrica



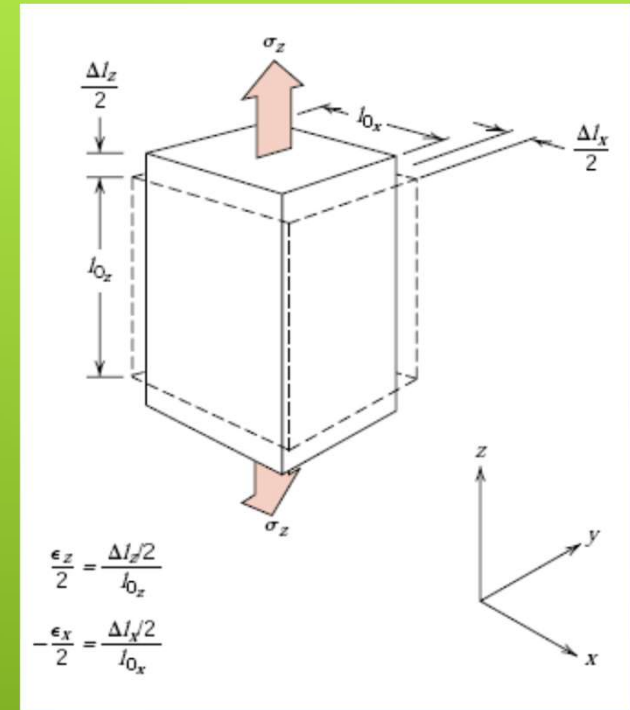
ENSAIO DE TORÇÃO

- Mede-se o ângulo de torção como função do momento torsor aplicado
- Muito utilizado na indústria de componentes mecânicos como motores de arranque, turbinas aeronáuticas, rotores de máquinas pesadas,...



COEFICIENTE DE POISSON

- É o coeficiente que mede a rigidez do material na direção perpendicular à direção da carga de tração uniaxial aplicada. No ensaio de tração é o quociente entre a deformação lateral (ϵ_x) e a deformação na direção da tensão (ϵ_z) para materiais isotrópicos



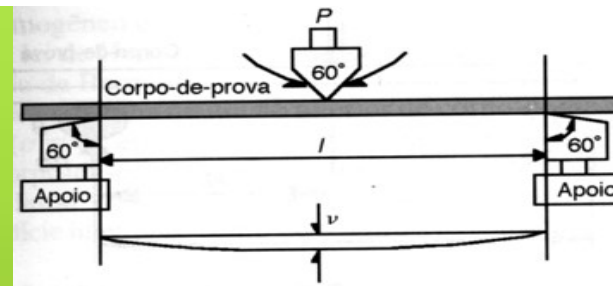
$$\nu = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z}$$

<i>Material</i>	<i>Modulus of Elasticity</i>		<i>Shear Modulus</i>		<i>Poisson's Ratio</i>
	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	
Metal Alloys					
Tungsten	407	59	160	23.2	0.28
Steel	207	30	83	12.0	0.30
Nickel	207	30	76	11.0	0.31
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Copper	110	16	46	6.7	0.34
Brass	97	14	37	5.4	0.34
Aluminum	69	10	25	3.6	0.33
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.35

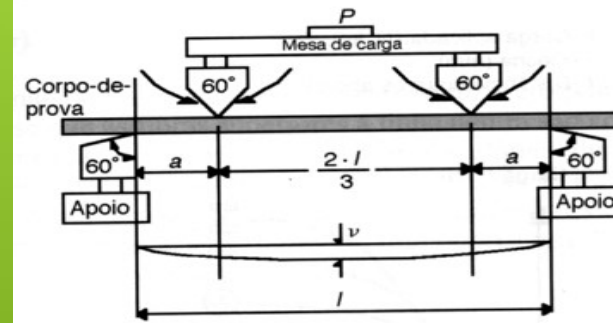
VALORES DE MÓDULOS DE ELASTICIDADE E COEFICIENTE DE POISSON

ENSAIO DE FLEXÃO

- O Ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra
- Mede-se o valor da carga versus a deformação máxima
- Existem dois tipos principais de Ensaio: Ensaio de flexão em três pontos e Ensaio de flexão em quatro pontos



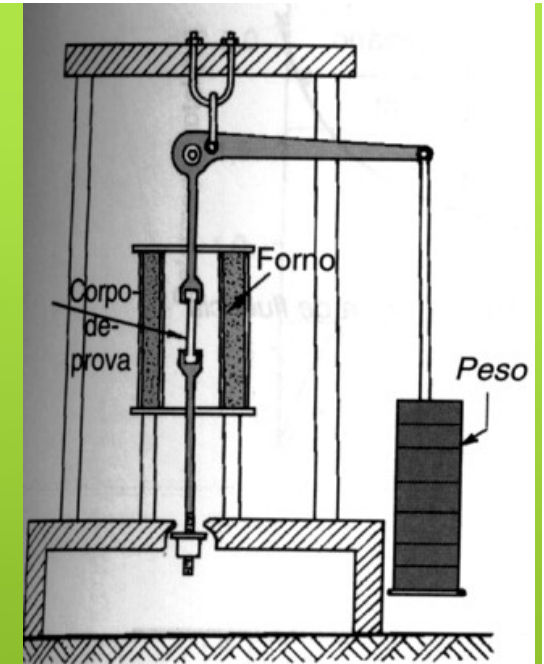
(A) Ensaio de flexão em três pontos



(B) Ensaio de flexão em quatro pontos

ENSAIO DE FLUÊNCIA

- ▶ O ensaio de fluência consiste na aplicação de uma carga constante em um material durante um período de tempo, em temperaturas elevadas
- ▶ Essas condições são favoráveis às mudanças de comportamento dos materiais devido à difusão dos átomos, movimento de discordâncias, escorregamento e recristalização



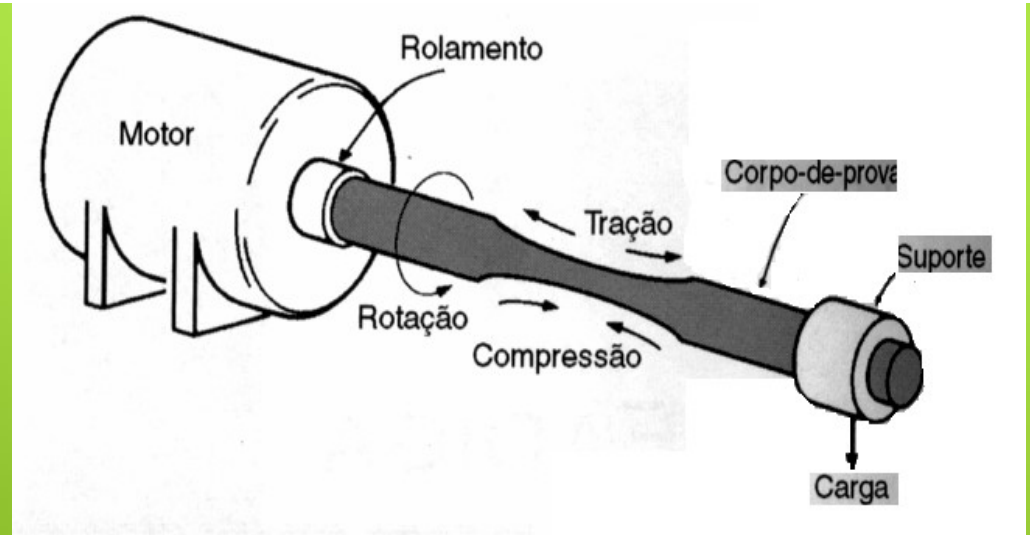
ENSAIO DE FLUÊNCIA

- ▶ No ensaio de fluência são medidas as deformações que ocorrem no corpo de prova em função do tempo
- ▶ Entre os materiais ensaiados em fluência pode-se citar os empregados em instalações de refinarias petroquímicas, usinas nucleares, indústria aeroespacial, turbinas, ...



ENSAIO DE FADIGA

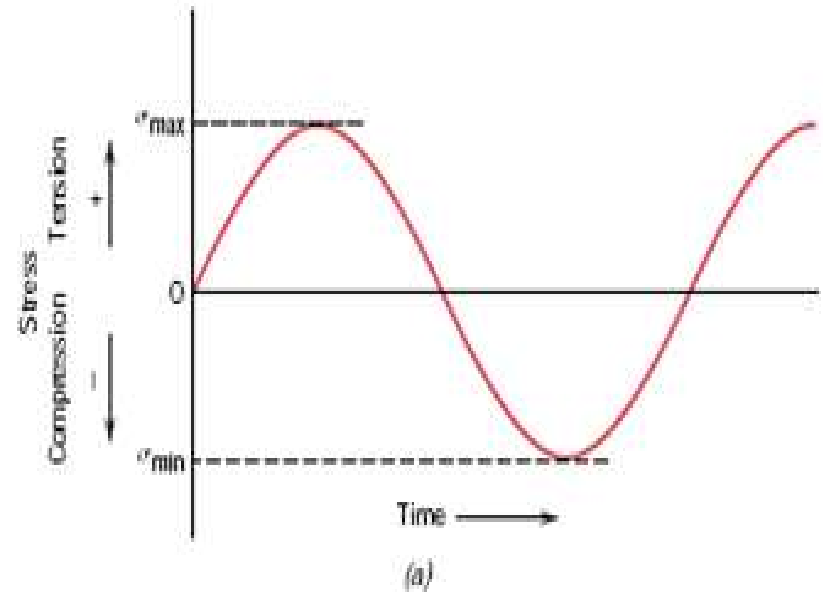
- ▶ Os materiais metálicos, quando submetidos a esforços cíclicos rompem-se a tensões inferiores àquelas determinadas nos ensaios de tração e compressão. A ruptura que ocorre é denominada ruptura por fadiga
- ▶ O ensaio de fadiga consiste na aplicação de carga cíclica em corpo de prova padronizado



TENSÕES CÍCLICAS

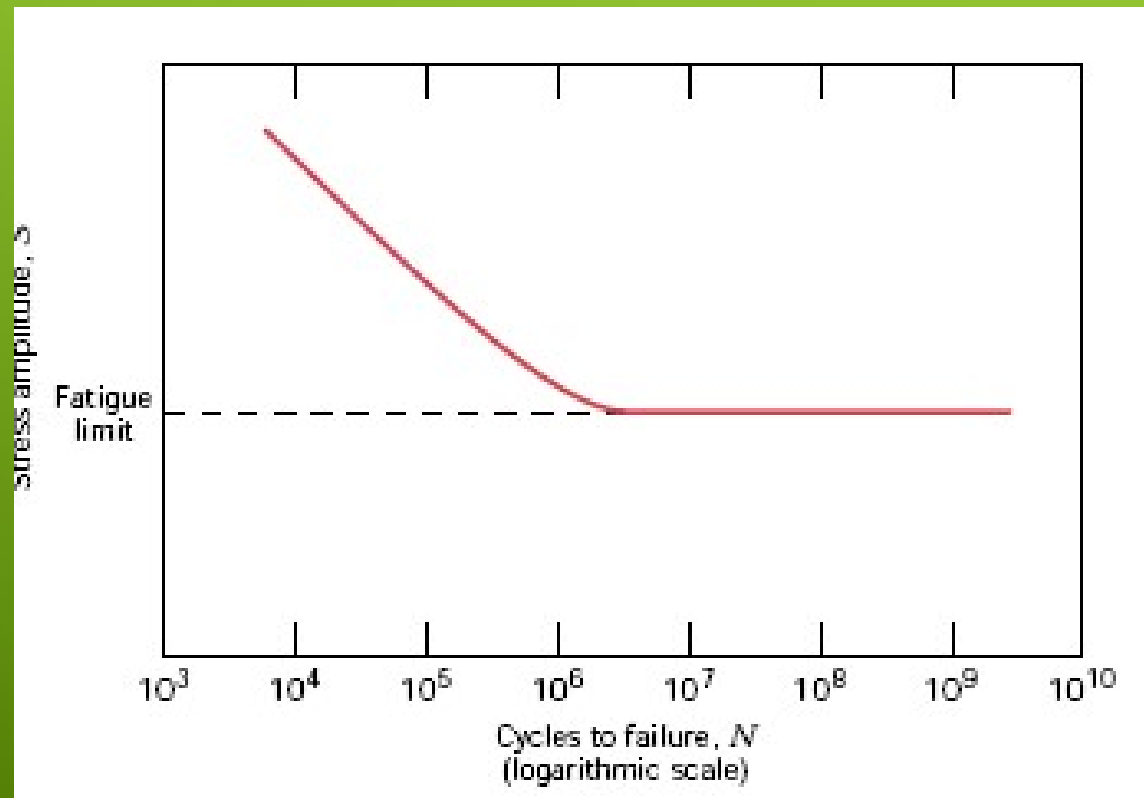
Em geral são possíveis três modalidades diferentes de tensão oscilante-tempo

- ▶ Ciclo de tensões alternadas: dependência regular e senoidal em relação ao tempo, alternando entre uma tensão máxima de tração e uma tensão mínima de compressão de igual magnitude

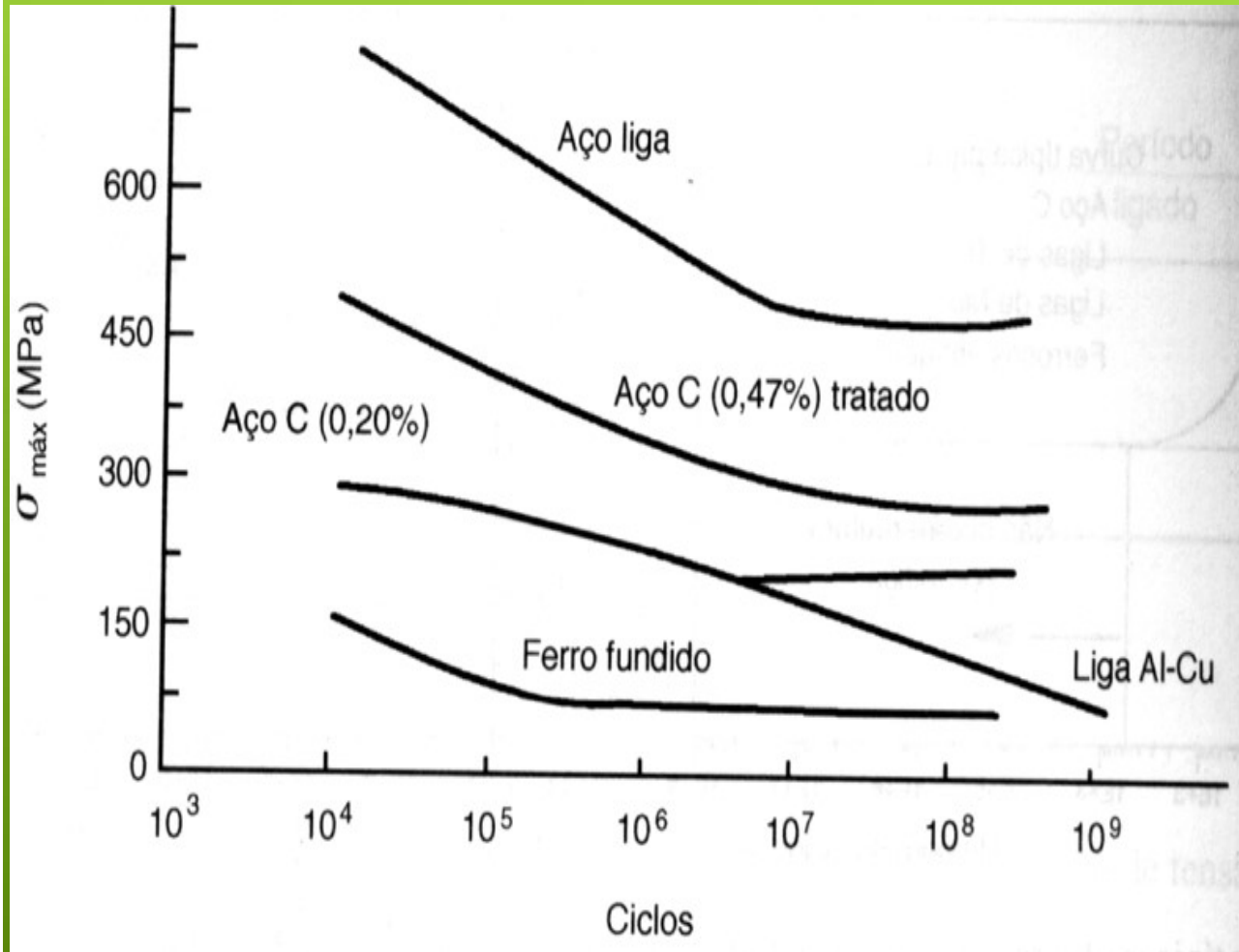


CURVA Σ -N OU CURVA DE WÖHLER

- ▶ Em geral, a curva σ -N de materiais ferrosos apresenta um limite de resistência à fadiga. Para valores abaixo desse limite o corpo de prova nunca irá sofrer ruptura por fadiga

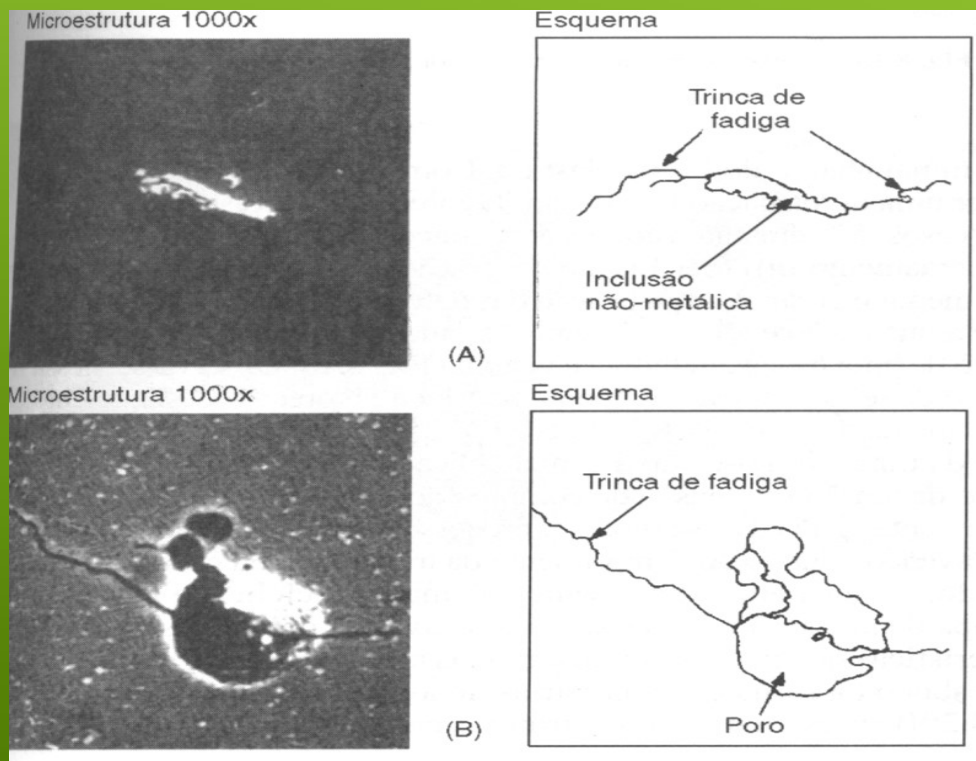


CURVA Σ -N OU CURVA DE WÖHLER

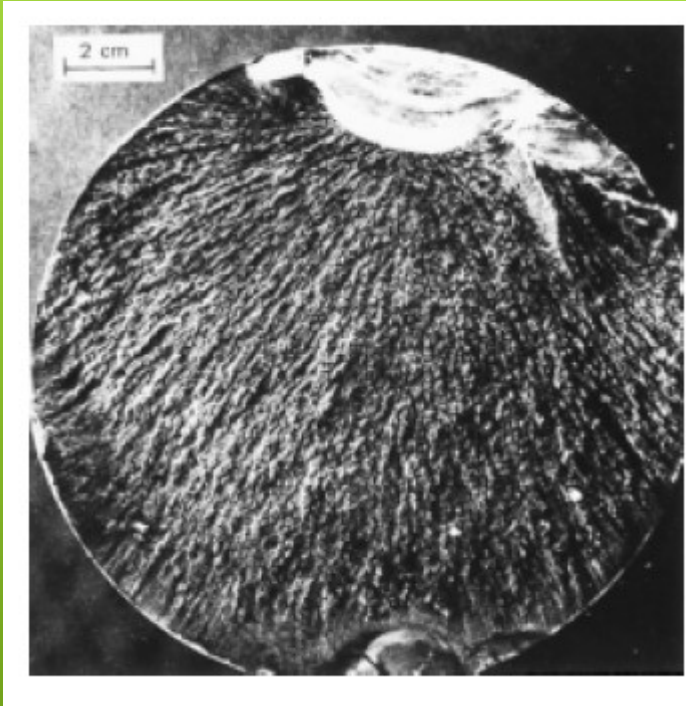


NUCLEAÇÃO DA TRINCA

- ▶ A ruptura do material por fadiga ocorre devido à formação e propagação de trincas
- ▶ As trincas se iniciam principalmente em defeitos de superfície, entalhes, inclusões, contornos de grãos, defeitos de solidificação, pontos de corrosão e pontos que sofrem deformação localizada



FALHAS CATASTRÓFICAS



- ▶ Uma trinca se formou na aresta superior, a região lisa próxima a parte superior corresponde a área em que a trinca se propagou lentamente

Deu!!!!

