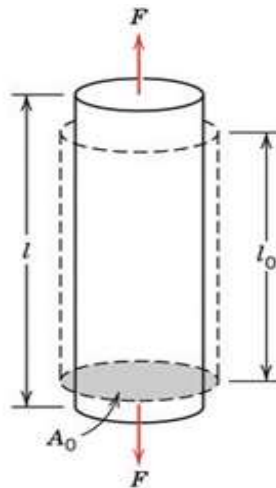
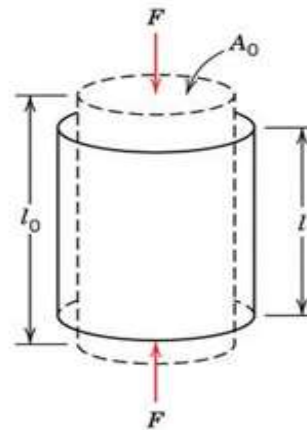


Diferentes tipos de forças aplicadas a um material:

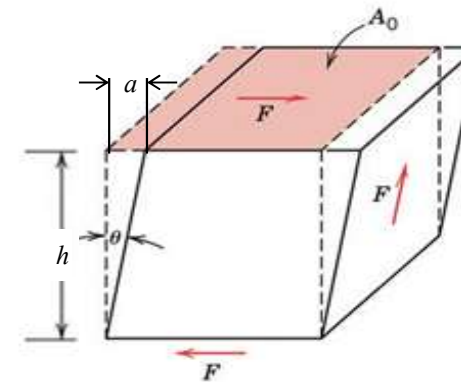
força de tração



força de compressão



força tangencial (ou corte)



Deformação:
$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$\gamma = \frac{a}{h} = \operatorname{tg} \theta$$

γ - deformação por corte

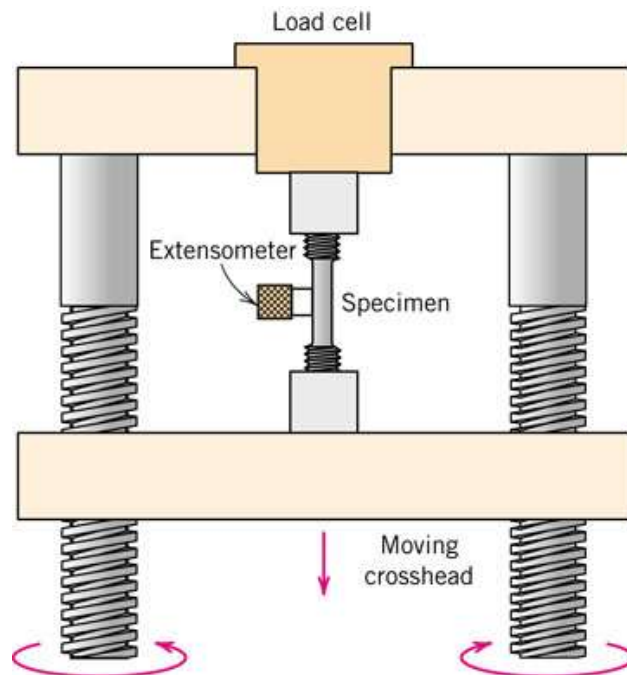
a - deslocamento tangencial

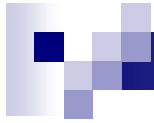
h - distância sobre a qual a força de corte atua



Propriedades mecânicas dos metais

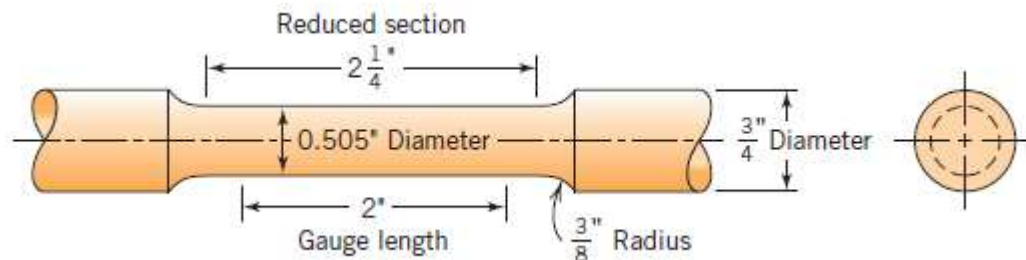
- O **ensaio de tração (ISO 527)** permite avaliar a resistência mecânica de materiais e determinar diversas propriedades mecânicas.
- O **ensaio** consiste em **tracionar** um provete de material até à **fratura**, num intervalo de tempo relativamente curto e a velocidade constante.





Propriedades mecânicas dos metais

A **força** (carga) aplicada ao provete bem como o **alongamento** sofrido por este são ambos registados num papel (ou computador).



provete usado num ensaio de tração
(ISO 527 – parte II)

Diferentes geometrias de provetes





- Os valores da **força** podem ser convertidos em valores de **tensão**, σ :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{unidades: pressão (Pa)})$$

F – força aplicada

A_0 – área da secção inicial (antes da aplicação de qualquer força)

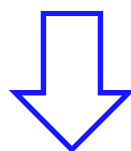
- A **deformação** (ou **extensão**), ε , é definida:

$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \quad (\text{unidades: adimensional ou \%})$$

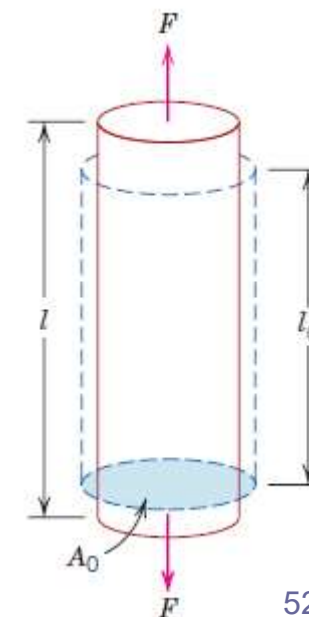
ℓ_0 - comprimento inicial, antes de qualquer carga ser aplicada

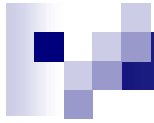
ℓ - comprimento final

$\Delta\ell$ - alongamento (ou variação no comprimento)



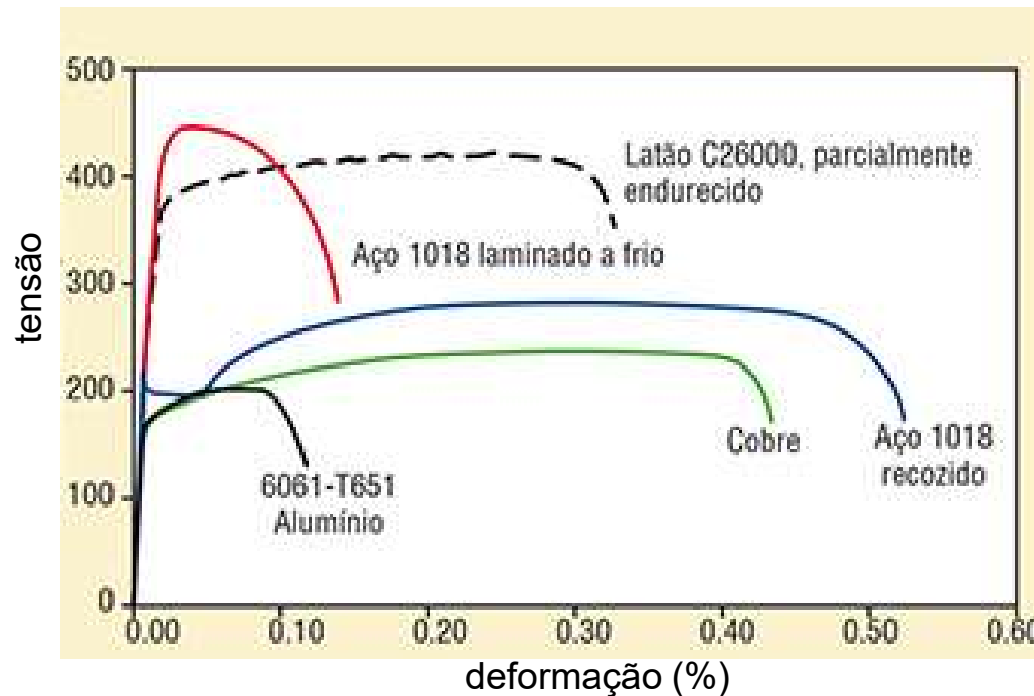
curva tensão-deformação



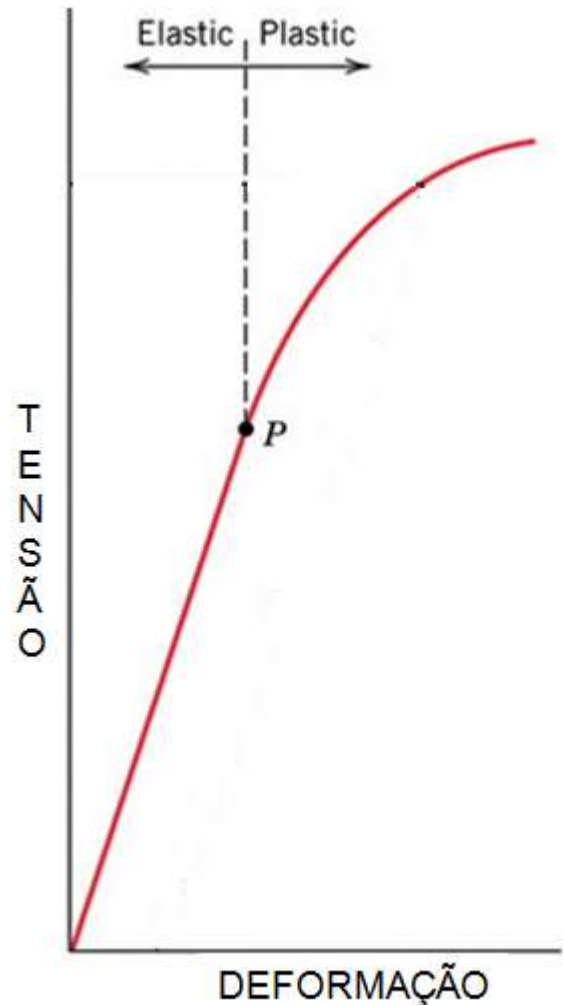


Propriedades mecânicas dos metais

Propriedades mecânicas obtidas a partir da curva **tensão-deformação**:



1. módulo de elasticidade ou módulo de Young;
2. tensão de cedência;
3. tensão máxima ou resistência à tração;
4. ductilidade;
5. resiliência;
6. tenacidade.



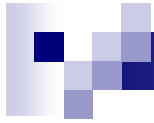
1. Módulo de elasticidade, E

Na primeira parte do **ensaio de tração**, o material deforma-se **elasticamente**, isto é, se a carga aplicada for removida, o material volta ao seu comprimento inicial.

Na **região elástica**:

$$\sigma = E \varepsilon \quad \text{LEI DE HOOKE}$$

E - módulo de elasticidade ou módulo de Young, corresponde à **rigidez do material**, ou seja, à resistência do material à deformação elástica.

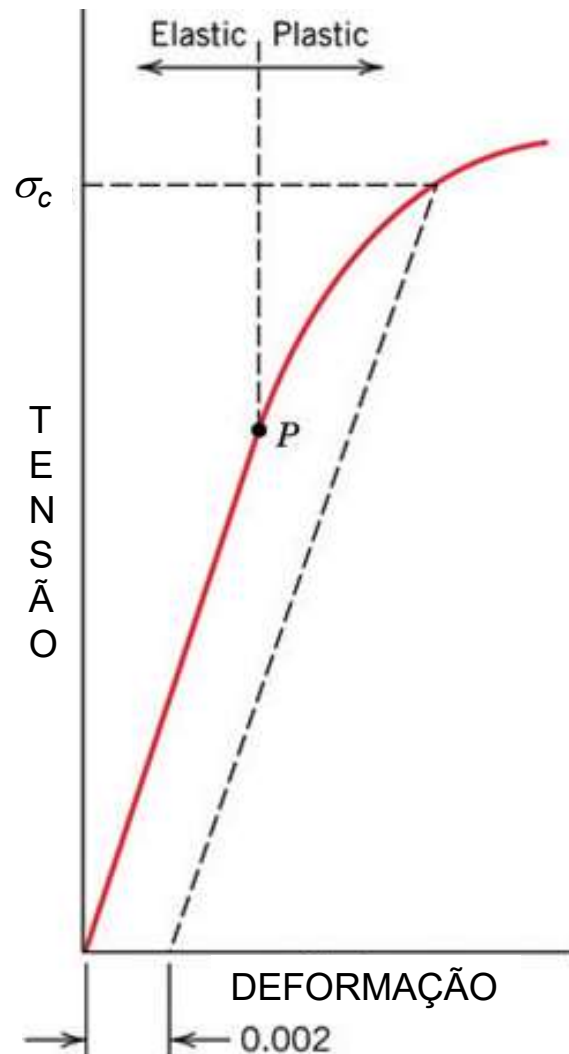
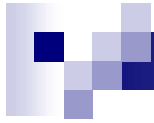


Módulo de elasticidade:

- Metais
(entre 45 GPa (magnésio) e 407 GPa (tungstênio))
- Cerâmicos
(entre 70 e 500 GPa)
- Polímeros
(entre 0,007 e 4 GPa)

✓ As diferenças nos valores para os **módulos de elasticidade** de **metais**, **cerâmicos** e **polímeros** são uma consequência direta dos diferentes tipos de **ligações atômicas** existentes nesses três tipos de materiais.

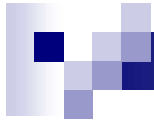
✓ O módulo de elasticidade tende a diminuir com o aumento da **temperatura**.



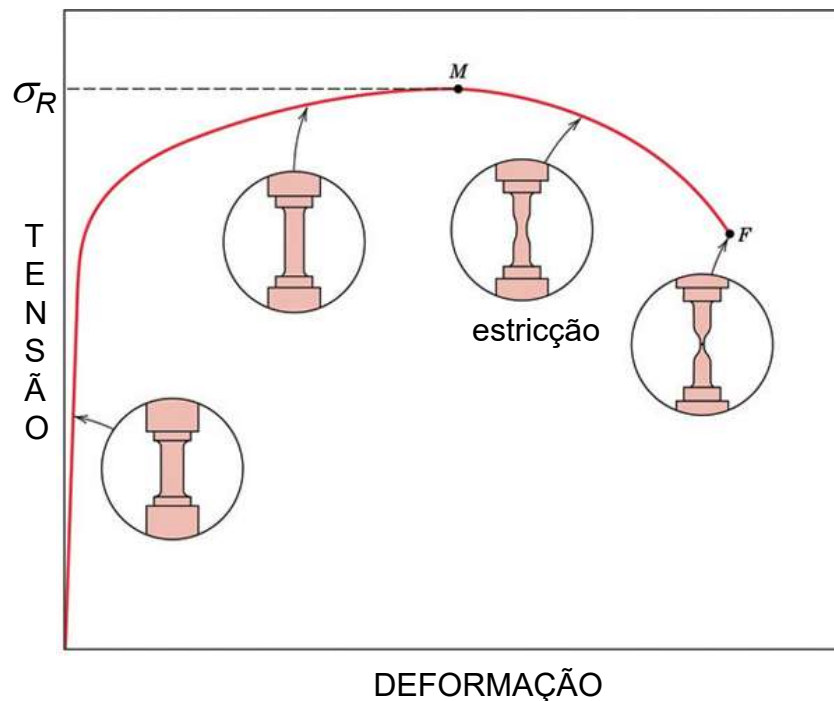
2. Tensão de cedência, σ_c

Tensão a partir da qual a **deformação plástica** passa a ser **significativa**; determina-se traçando uma linha paralela à região elástica correspondente a uma pré-deformação de, geralmente, 0,2% (ou 0,002).

Tensão limite de proporcionalidade ou limite de **escoamento** é o ponto de escoamento onde ocorre o afastamento inicial da linearidade (**ponto P**).



3. Tensão máxima ou resistência à tração, σ_R



Tensão no ponto máximo (**ponto M**) da curva tensão-deformação; corresponde à tensão máxima que pode ser suportada por um material que se encontra sob tração.

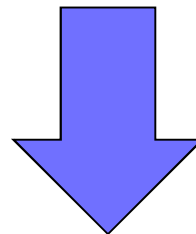
O **ponto F** corresponde ao momento da fratura.



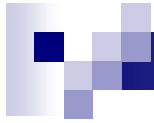
- 4. Ductilidade** (medida do grau de deformação plástica que foi suportado até ao momento da fratura)

$$\text{alongamento percentual até à fratura}(\%) = \frac{\text{comprimento final} - \text{comprimento inicial}}{\text{comprimento inicial}} \times 100$$

$$\text{percentagem de redução de área à fratura} = \frac{\text{área inicial} - \text{área final}}{\text{área inicial}} \times 100$$

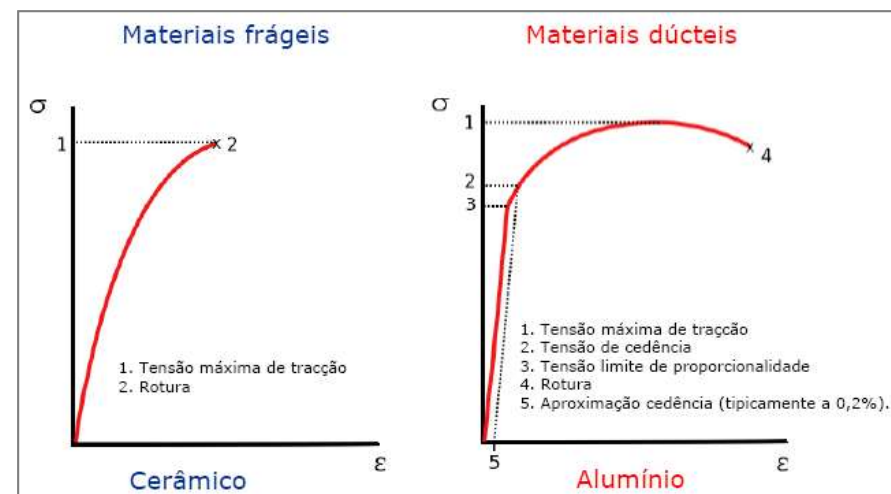
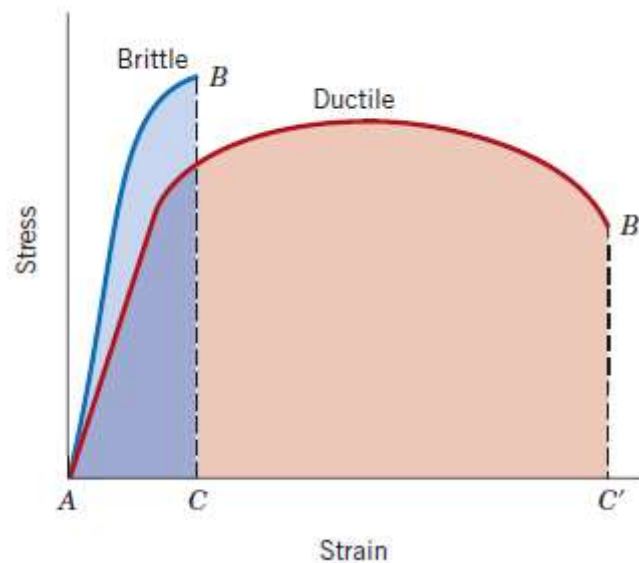


Indicadores de qualidade

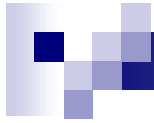


Propriedades mecânicas dos metais

Curvas tensão-deformação: material frágil vs material dúctil, ensaiados até à fratura.



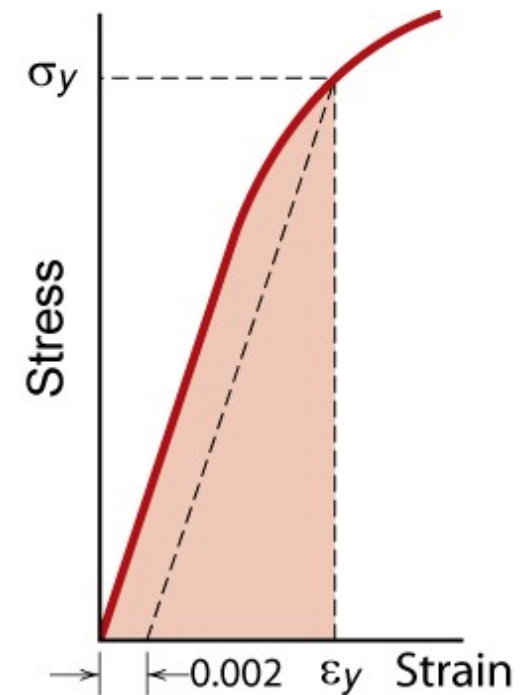
Um material que experimenta uma **pequena** ou **nenhuma deformação plástica**, até ao momento da fratura, é denominado de **frágil**.

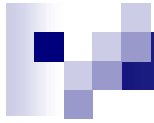


5. Resiliência (capacidade de um material absorver energia durante a deformação elástica e depois, com a remoção da carga, devolver essa energia).

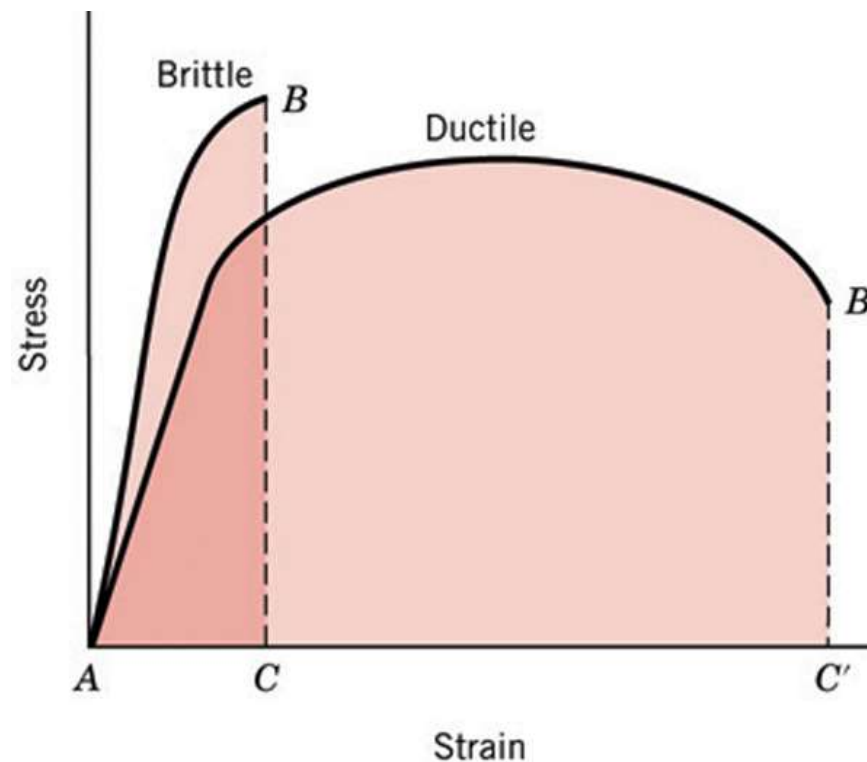
módulo de resiliência, U_r , representa a energia de deformação por unidade de volume exigida para tensionar um material desde um estado com ausência de carga até à sua tensão limite de proporcionalidade.

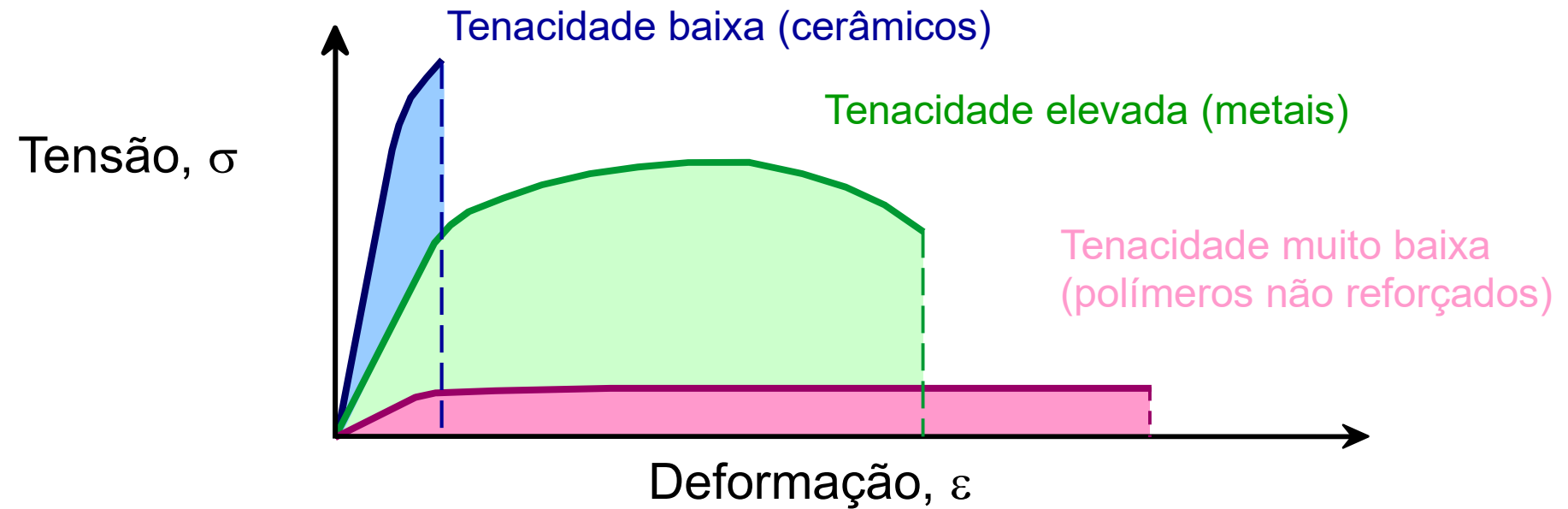
$$U_r \cong \frac{1}{2} \varepsilon_y \sigma_y \cong \frac{\sigma_y^2}{2 E} \quad (\text{J/m}^3, \text{Pa})$$

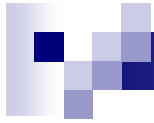




- 6. Tenacidade** (representa uma medida da habilidade de um material para absorver energia até à sua fratura; é representada pela área sob a curva tensão-deformação até ao ponto da fratura; unidades: J/m^3).

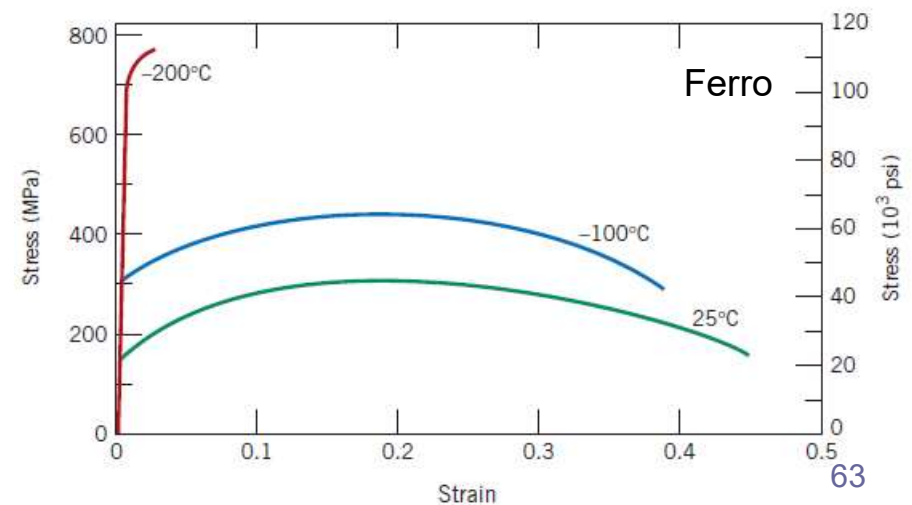
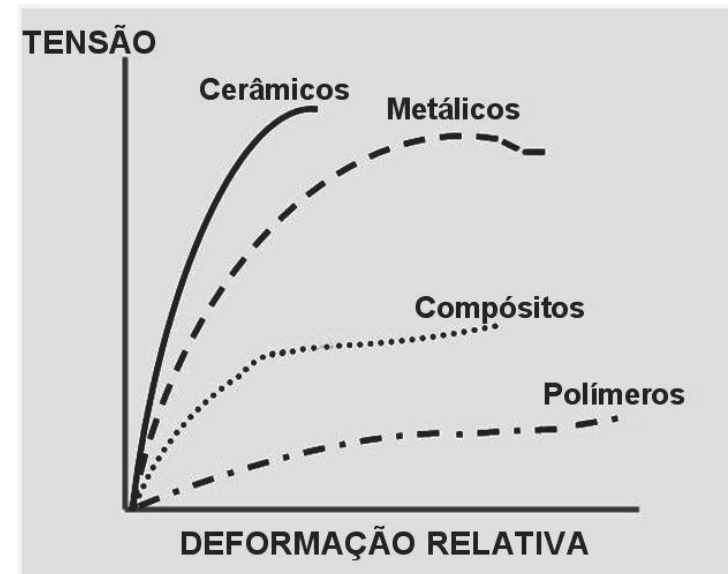
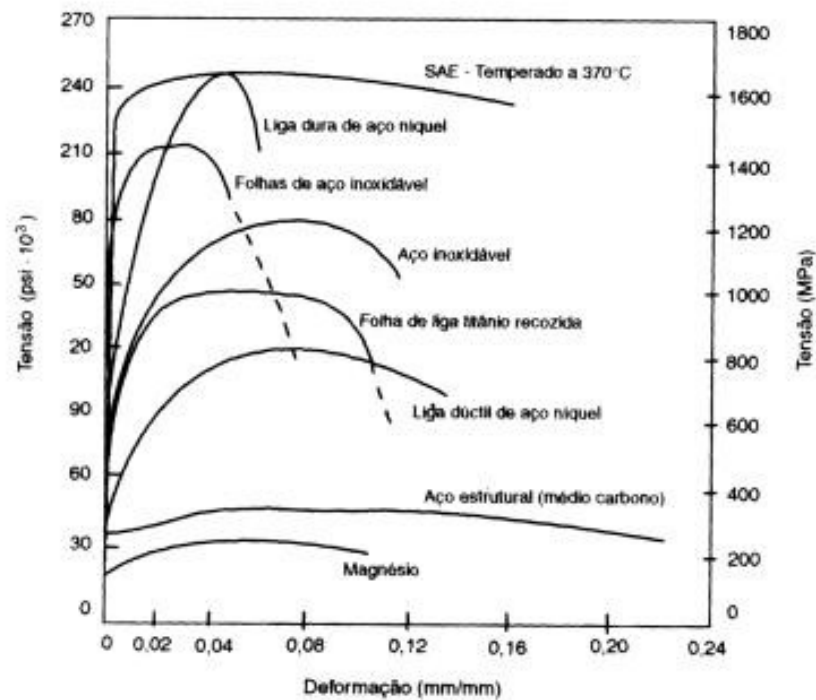


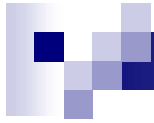




Propriedades mecânicas dos metais

Exemplos de curvas tensão-deformação



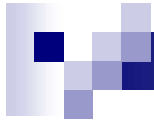


Propriedades mecânicas dos metais

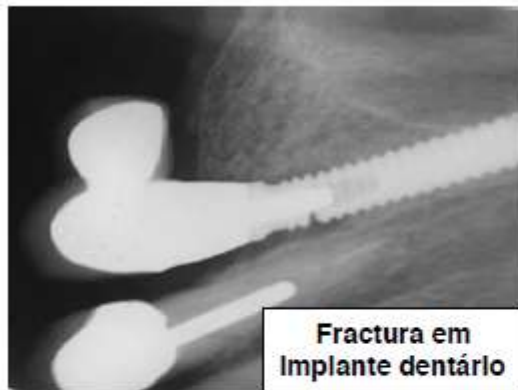
A tabela mostra dados retirados da curva tensão vs deformação para 5 metais submetidos a um ensaio de tração.

<i>Material</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Strain at Fracture</i>	<i>Fracture Strength (MPa)</i>	<i>Elastic Modulus (GPa)</i>
A	310	340	0.23	265	210
B	100	120	0.40	105	150
C	415	550	0.15	500	310
D	700	850	0.14	720	210
E	Fractures before yielding			650	350

- a) Qual o material que experimenta uma maior percentagem de redução de área? Porquê? B
- b) Qual o material com maior resistência mecânica? Porquê? D
- c) Qual o material que apresenta maior rigidez? Porquê? E



Porque falham os metais?



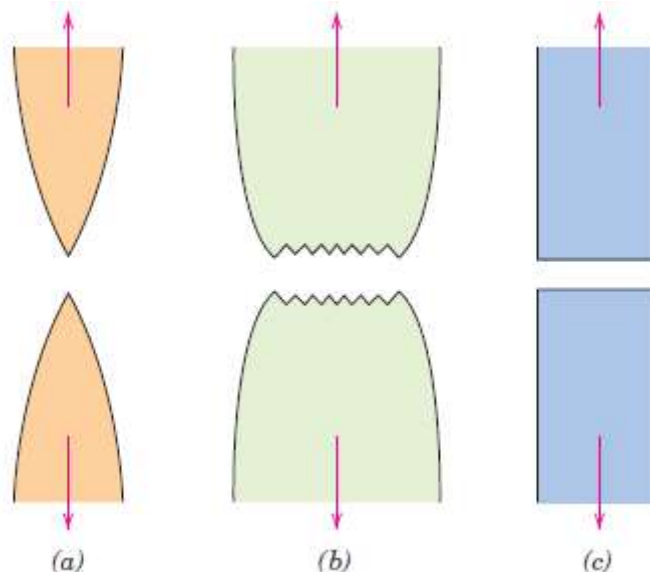
- **Deformação plástica;**
- **Desgaste** (perda de material por ação mecânica);
- **Fratura;**
- **Corrosão** (ataque químico).



Fratura é a separação de um sólido, sob tensão, em duas ou mais partes.

Fratura dúctil ocorre após uma grande deformação plástica (elevada energia absorvida) e é caracterizada pela propagação lenta de fissuras.

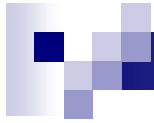
Fratura frágil ocorre geralmente em planos cristalográficos (planos de clivagem) e a propagação das fissuras é rápida; baixa energia absorvida.



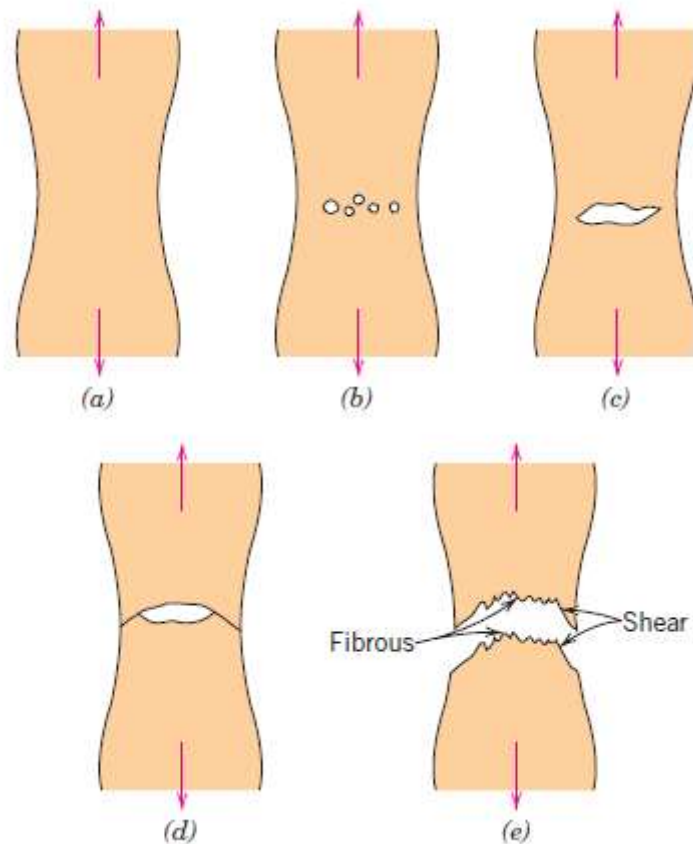
(a) - fratura altamente dúctil

(b) - fratura moderadamente dúctil

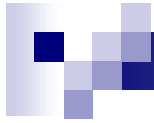
(c) - fratura frágil



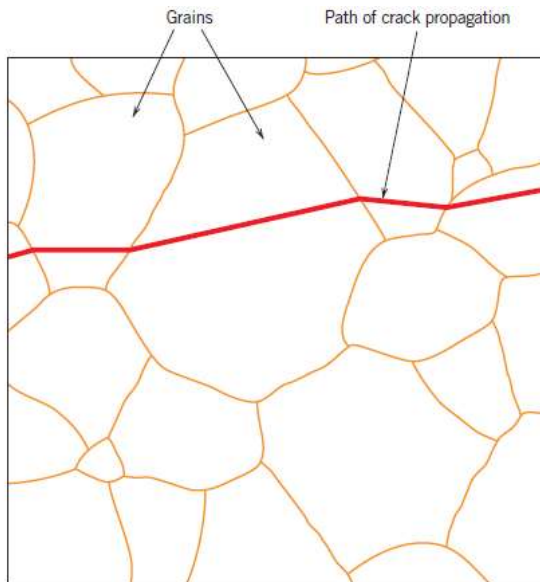
Fratura dúctil: mecanismo de propagação



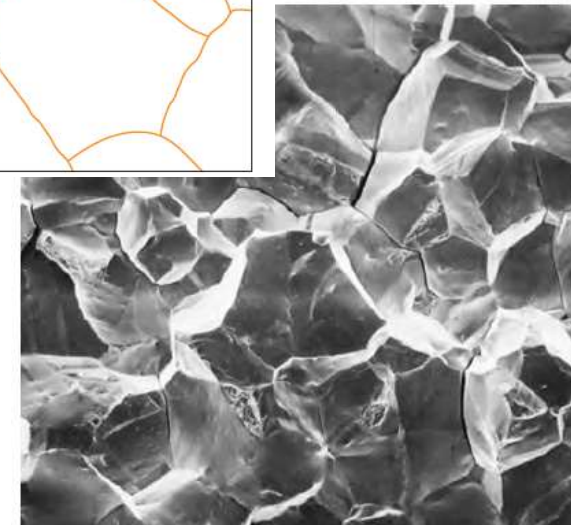
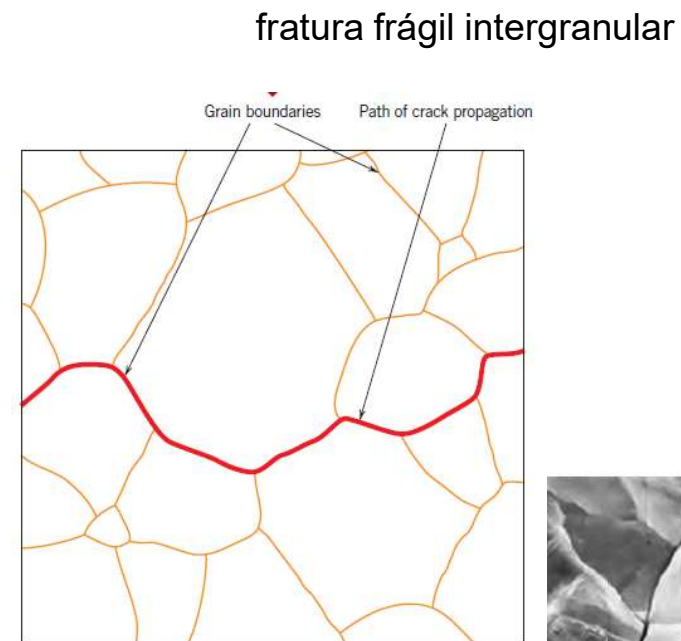
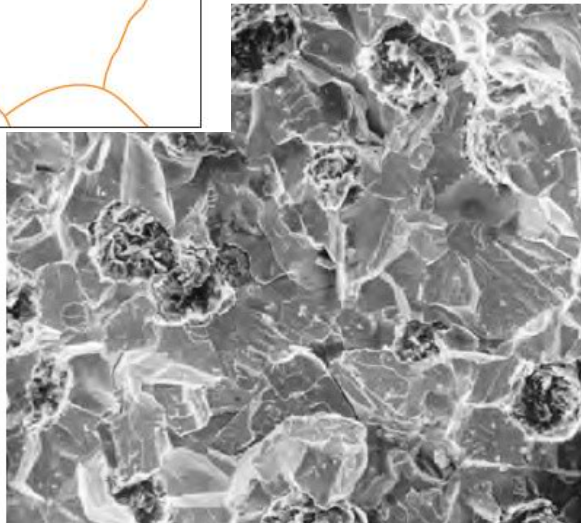
- (a) (b) - forma-se uma **estricção** no provete e surgem **cavidades** no interior da zona estriccionada;
- (c) - as cavidades coalescem formando uma **fissura** a qual se propaga em direção à superfície do provete, segundo a direção perpendicular à tensão aplicada;
- (d) (e) - quando se aproxima da superfície, a fissura passa a propagar-se segundo uma direção de 45° com o eixo de tração, resultando uma **fratura** do tipo **taça-e-cone**.

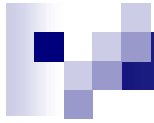


Fratura frágil: mecanismo de propagação



fratura frágil
transgranular





Propriedades mecânicas dos metais

Fratura dúctil do tipo taça-e-cone num provete de alumínio



Fratura frágil num provete de aço



Corrosão em fendas

(interior de fendas nas quais o fluido se encontra estagnado)

Corrosão uniforme

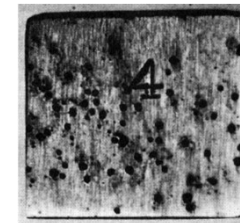
(reação de oxidação-redução em toda a superfície do metal)

Corrosão com erosão

(movimento do fluido relativamente à superfície do metal)

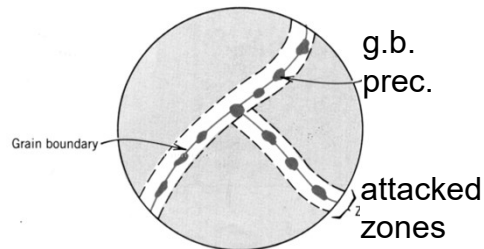
Pitting (picada)

(propagação de pequenos furos ou picadas)



Corrosão intergranular

(corrosão através das fronteiras de grão)



Formas
de
corrosão

Corrosão galvânica

(metais semelhantes; o mais anódico sofre corrosão)

Cavitação

(formação e rebentamento de bolhas de ar)