

PROPRIEDADES MECÂNICAS



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

Deformação elástica

- Quando uma peça metálica é submetida a uma força de tracção uniaxial, ocorre a deformação do material. Se ao retirar a força, o material metálico voltar às dimensões iniciais, diz-se que o material sofreu uma *deformação elástica*.
- A quantidade de deformação elástica que um material metálico pode sofrer é pequena, já que nesse tipo de deformação os átomos se afastam das posições originais, sem, no entanto, ocuparem novas posições. Assim, quando se retira a força aplicada, a um metal deformado elasticamente, os átomos voltam às posições originais e o material retoma a forma inicial.

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

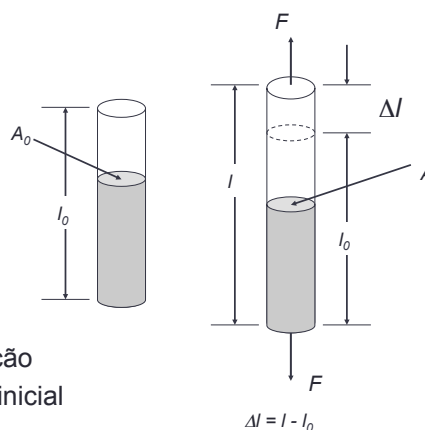
Deformação plástica

- Se o material metálico for deformado de tal modo que não consegue recuperar completamente as dimensões originais, diz-se que sofreu uma *deformação plástica*.
- Durante a deformação plástica, os átomos do material metálico são deslocados *permanentemente* das posições originais e passam a ocupar novas posições.
- A capacidade que alguns metais apresentam de sofrerem grandes deformações plásticas sem que ocorra fractura (**DUCTILIDADE**) é uma das mais importantes propriedades de engenharia de metais.
 - *Ex. a grande deformabilidade plástica dos aços permite que certas partes de um automóvel, como guarda-lamas, capotas e portas, possam ser obtidas por estampagem mecânica, sem que ocorra fractura do material*

Tensão nominal

- Consideremos um varão cilíndrico de comprimento l_0 e área da secção recta A_0 submetido a uma força de tracção uniaxial F conforme mostra a figura.
- A tensão nominal σ na barra é igual ao quociente da força de tracção uniaxial F aplicada à barra pela área inicial da secção recta A_0 da barra.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$



Tensão real

- A tensão real σ_r na barra é igual ao quociente da força de tracção uniaxial F aplicada à barra pela área da secção recta A_i da barra no instante em estudo:

$$\sigma_r = \frac{F}{A_i}$$

Extensão nominal

- Quando se aplica uma força de tracção uniaxial a um varão, o varão alonga-se segundo a direcção de aplicação da força. Este deslocamento é designado por *deformação*.
- Por definição, a extensão real (ε_r) que é provocada pela acção da força de tracção uniaxial aplicada à amostra metálica, é dada pelo quociente entre a variação de comprimento da amostra (Δl) segundo a direcção de aplicação da força e o comprimento inicial da amostra (l_0):

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

- Na prática industrial, é usual exprimir a extensão nominal em percentagem (*extensão percentual* ou *alongamento percentual*).

Extensão real

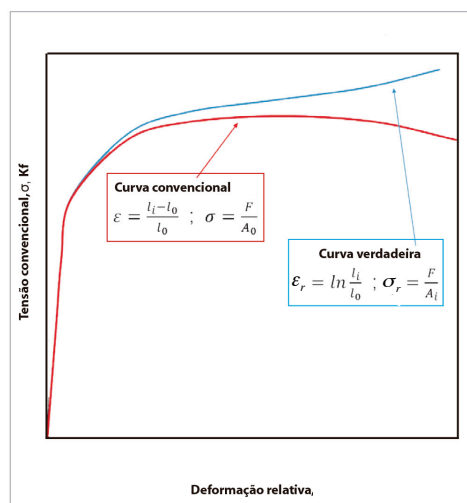
- Por definição, a extensão real (ε_r) que é provocada pela acção da força de tracção uniaxial aplicada à amostra metálica, é dada por:

$$\varepsilon_r = \int \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l_i}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A_i}\right)$$

em que l_i e A_i são respetivamente o comprimento e a área da secção recta no instante em estudo.

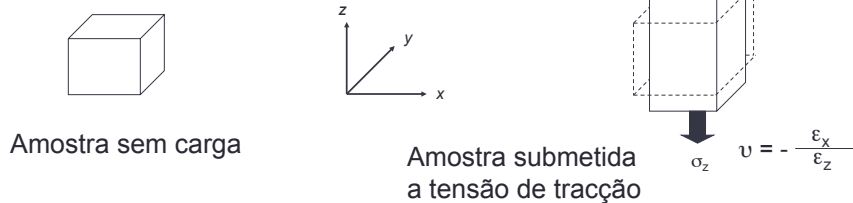
Tensão e extensão *reais versus* nominais

- A diferença entre a tensão real e a nominal é significativa a partir do ponto em que há estricção (formação do “pescoço” no provete no ensaio de tração).
- A partir desse ponto, a deformação é tão significativa que os dados do ensaio não são úteis do ponto de vista prático.



Coeficiente de Poisson

- A deformação elástica longitudinal de um material metálico é acompanhada de uma variação das dimensões transversais. Conforme se indica na figura, a tensão de tracção σ_z provoca uma extensão axial $+\epsilon_z$ e contracções laterais $-\epsilon_x$ e $-\epsilon_y$.



Coeficiente de Poisson

- A razão:

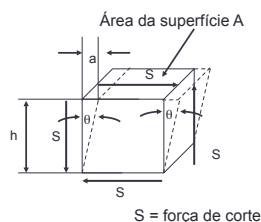
$$\nu = -\frac{\epsilon(\text{lateral})}{\epsilon(\text{longitudinal})} = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

designa-se por **Coeficiente de Poisson**.

- No caso de materiais ideais, $\nu=0,5$. Nos materiais reais, o coeficiente de Poisson varia normalmente entre 0,25 e 0,4, com um valor médio de 0,3.
 - No caso de materiais isotrópicos (com os mesmos valores de propriedades medidas em todas as direcções) ϵ_x e ϵ_y são iguais.

Tensão de Corte e Distorção

- Um método importante pelo qual um material metálico pode ser deformado é sob a acção de uma **tensão de corte** ou **tensão tangencial**.
- A figura representa a acção de um par de tensões de corte (as tensões de corte actuam aos pares) sobre uma amostra cúbica, em que uma força de corte **S** actua sobre uma área **A**.



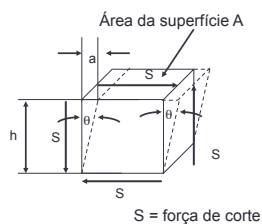
Tensão de corte

- A tensão de corte τ está relacionada com a força de corte S por:

$$\tau = \frac{S}{A}$$

em que :

- τ - tensão de corte (unidades: $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$)
- S - força de corte
- A - área sobre a qual a força de corte actua

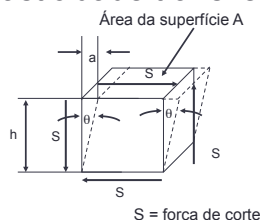


Distorção ou deformação por corte γ

- É definida pela razão entre o deslocamento tangencial **a** e a distância **h** sobre a qual o corte actua, ou seja:

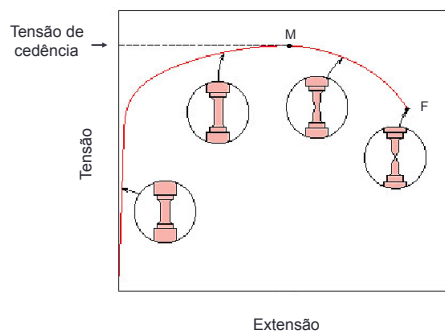
$$\gamma = \frac{a}{h} = \operatorname{tg} \theta$$

- No caso da distorção elástica pura, a relação entre a distorção e a tensão é: $\tau = G\gamma$ em que **G** é o módulo de distorção ou de elasticidade transversal.



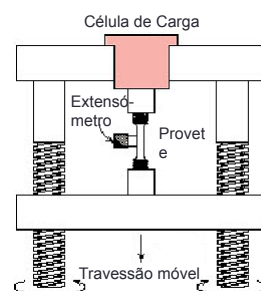
Ensaio de tracção

- É utilizado para avaliar a **resistência mecânica** de metais e ligas.
- Neste ensaio, tracciona-se um provete do material até à fractura, num intervalo de tempo relativamente curto e com uma velocidade constante.



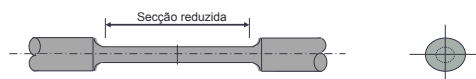
Esquema de funcionamento da máquina de tracção

- A força (carga) aplicada ao provete é registada enquanto que a deformação correspondente pode ser obtida a partir do sinal de um extensómetro (mede a deformação sofrida pelo provete, durante o ensaio, e está montado sobre o mesmo, com pequenas molas de aperto) e igualmente registada.



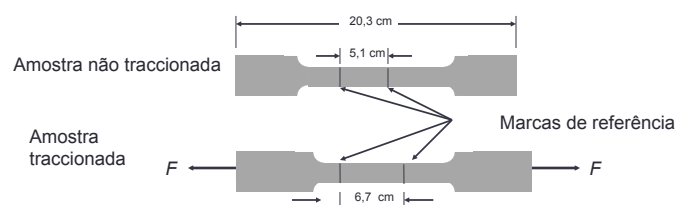
Tipo de provetes utilizados num ensaio de tracção

- No caso de materiais metálicos espessos, tais como chapas grossas, usam-se geralmente provetes redondos com 12,7 mm de diâmetro.

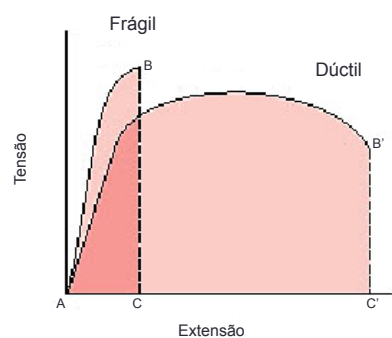


Tipo de provetes utilizados num ensaio de tracção

- No caso de materiais metálicos pouco espessos, tais como chapas finas, usam-se provetes planos.

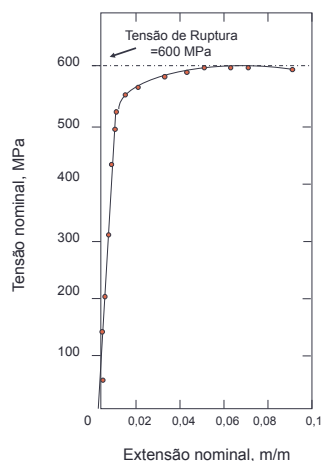


Material frágil e material dúctil



Tensão nominal em função da extensão nominal

- Os valores da força obtidos a partir do ensaio de tracção, podem ser convertidos em valores da **tensão nominal**, o que permite construir um gráfico da **tensão nominal** em função da **extensão nominal**.
 - Material: liga de alumínio de alta resistência mecânica.



Propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tracção

- Módulo de elasticidade
- Tensão de cedência a 0,2%
- Tensão de ruptura, tensão máxima ou resistência à tracção
- Alongamento percentual até à fractura
- Percentagem de redução de área de fractura

Módulo de elasticidade

- Na primeira parte do ensaio de tracção, o material metálico, deforma-se elasticamente, isto é, se for descarregado, o provete volta ao seu comprimento inicial.
- No caso dos materiais metálicos, a deformação elástica máxima é geralmente inferior a 0,5%.
- Na região elástica do diagrama de tensão nominal-extensão nominal dos metais e ligas verifica-se em geral, uma relação linear entre a tensão (σ) e a extensão (ϵ), a qual é descrita pela **lei de Hooke**:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

em que **E** é o **módulo de Young**.

Módulo de elasticidade

- O módulo de elasticidade está relacionado com a força de ligação entre os átomos do metal ou liga.
- Os materiais metálicos com **módulos elásticos elevados** são relativamente **rígidos e não flectem facilmente**.
- Os aços, p.ex., têm módulos de elasticidade elevados, da ordem de 207 GPa enquanto que as ligas de alumínio têm módulos de elasticidade mais baixos, de cerca de 69 a 76 GPa.
- Na região elástica do diagrama de tensão-extensão, o módulo não varia quando a tensão aumenta.

Valores normais das constantes elásticas de materiais isotropos ($T^a \text{ amb}$)

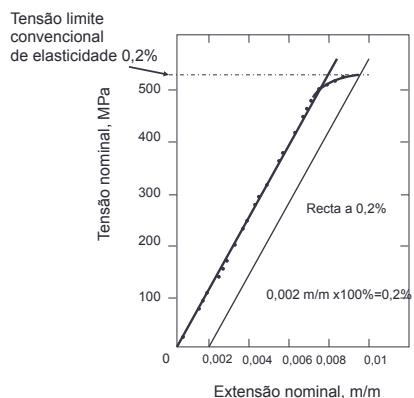
| Material | Módulo de Elasticidade (GPa) | Módulo de distorção (GPa) | Coefficiente de Poisson |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Ligas de Alumínio | 72,4 | 27,5 | 0,31 |
| Cobre | 110 | 41,4 | 0,33 |
| Aço (carbono e de baixa liga) | 200 | 75,8 | 0,33 |
| Aço inoxidável (18-8) | 193 | 65,6 | 0,28 |
| Titânio | 117 | 44,8 | 0,31 |
| Tungsténio | 400 | 157 | 0,27 |

Tensão de cedência

- Em engenharia e projecto de estruturas, a **tensão de cedência** é uma propriedade muito importante já que representa a tensão a partir da qual a deformação do metal ou liga passa a ser significativa.
- Dado que na curva de tensão-extensão não existe um ponto muito bem definido ao qual corresponda o fim da deformação elástica e o início da deformação plástica, escolhe-se para tensão de cedência, a tensão para a qual já ocorreu uma certa deformação plástica (0,2%).

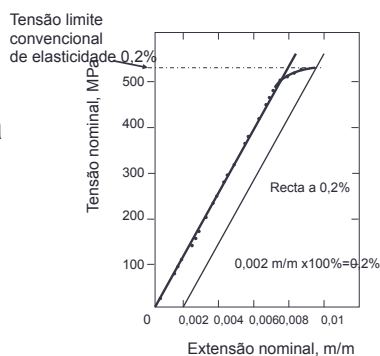
Tensão de cedência

- A tensão de cedência a 0,2%, também designada tensão de prova ou tensão limite convencional de elasticidade a 0,2%, é determinada a partir do diagrama tensão nominal- extensão nominal.



Tensão de cedência: como a determinar?

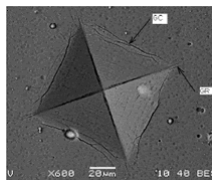
- Traça-se uma recta paralela à região elástica (linear) do gráfico de tensão-extensão passando pelo ponto correspondente à extensão 0,002 m/m.
- A partir do ponto onde esta recta intersecta a curva de tensão-extensão, traça-se uma recta horizontal, em direcção ao eixo das tensões.
- A tensão limite convencional de elasticidade a 0,2% é a tensão à qual a recta horizontal intersecta o eixo das tensões



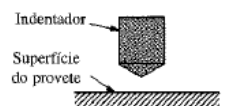
Tensão de ruptura

- É a **tensão máxima** da curva de tensão nominal-extensão nominal
- Se ocorrer no provete um decréscimo localizado da área da secção recta (designado por *estricção*), o posterior aumento da extensão, provoca uma diminuição da tensão nominal até que ocorre a fractura, já que a tensão nominal é determinada em relação à área inicial da secção recta do provete.
- Quanto mais dúctil for o metal, maior será a estricção que precede a fractura e, por isso, maior será o decréscimo da tensão para além da tensão máxima

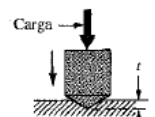
Dureza



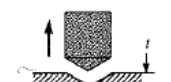
- A **dureza** é uma medida da resistência de um material metálico à deformação permanente (plástica).
- A **dureza** de um material metálico é medida forçando um indentador a penetrar na superfície da amostra.



(1) Indentador acima da superfície do provete



(2) O indentador penetra na superfície do provete por acção da carga aplicada



(3) O indentador é retirado da superfície do provete deixando nela uma indentação

Dureza

- A dureza é medida com um durómetro
- Tipos de indentador:
 - esfera,
 - pirâmide ou
 - cone
- O indentador é feito de um material muito mais duro do que o material a ser ensaiado.
- Frequentemente são feitos de:
 - aço temperado,
 - carboneto de tungsténio
 - ou
 - diamante



Dureza

Ensaios de dureza

| Ensaio | Indentador | Forma da indentação | | Carga | Fórmula do número de dureza |
|-------------------|---|---------------------|---------------|---|---|
| | | Vista lateral | Vista de topo | | |
| Brinell | Esfera de aço ou carboneto de tungsténio, com 10 mm de diâmetro | | | P | $NDB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ |
| Vickers | Pirâmide de diamante | | | P | $NDV = \frac{1,72 P}{d_t^2}$ |
| Microdureza Knoop | Pirâmide de diamante | | | P | $NDK = \frac{14,2 P}{t^2}$ |
| Rockwell | | | | | |
| A) C) D) | Cone de diamante | | | 60 kg R_A 150 kg R_C 100 kg R_D | 100-500t |
| B) F) G) | Esfera de aço com 1,6 mm de diâmetro | | | 100 kg R_B 60 kg R_F 150 kg R_G | 130-500t |
| E) | Esfera de aço, com 3,2 mm de diâmetro | | | 100 kg R_E | |

Fonte: H. W. Hayden, W. G. Moffatt e J. Wulff, "The Structure and Properties of Materials", vol.III, Wiley, 1965, p.12.