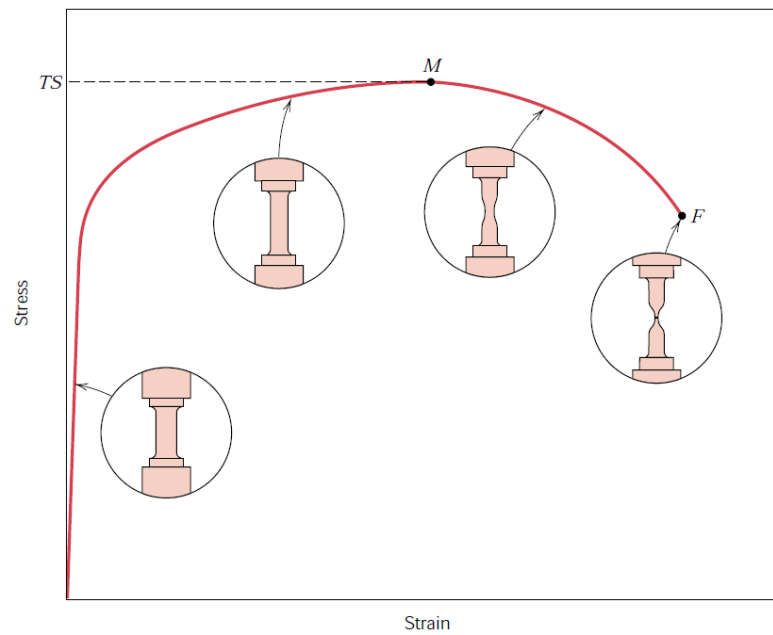
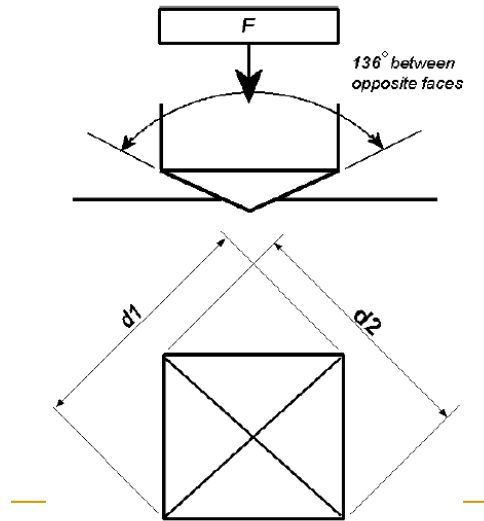
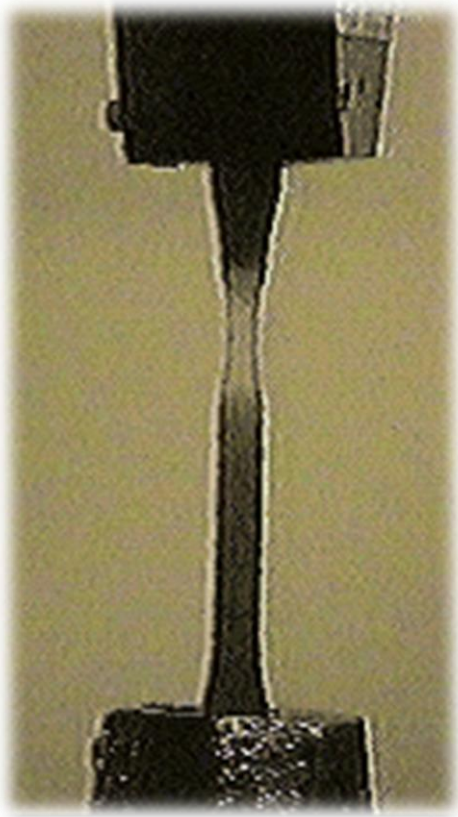
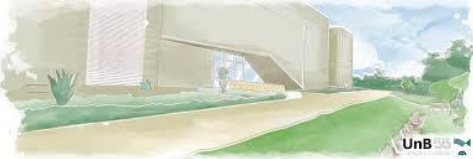




PROPRIEDADES MECÂNICAS

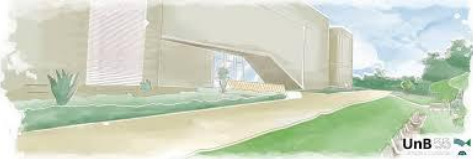
TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO





POR QUÊ ESTUDAR?

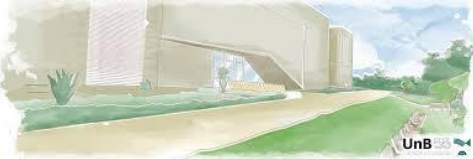
- A determinação e/ou conhecimento das propriedades mecânicas é muito importante na escolha do material para uma determinada **aplicação**, bem como para o **projeto** e **fabricação** do componente.
- As propriedades mecânicas definem o comportamento do material quando sujeitos à esforços mecânicos, pois estas estão relacionadas à **capacidade do material de resistir ou transmitir estes esforços aplicados sem romper e sem se deformar de forma incontrollável ou demasiada.**



Principais propriedades mecânicas

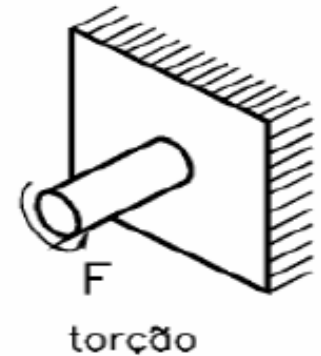
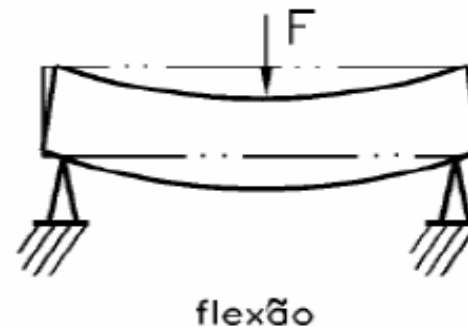
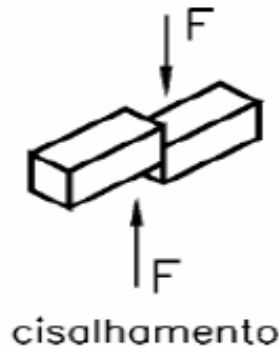
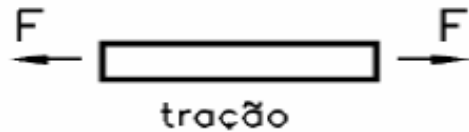
- Resistência à tração
- Elasticidade
- Ductilidade
- Fluência
- Fadiga
- Dureza
- Tenacidade

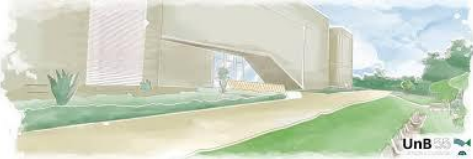
Cada uma dessas propriedades está associada à habilidade do material de resistir às forças mecânicas e/ou de transmiti-las



Tipos de tensões que uma estrutura esta sujeita:

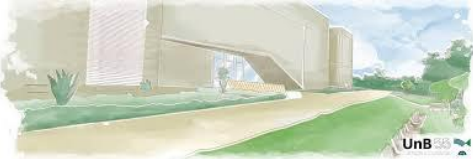
- Tração
- Compressão
- Cisalhamento
- Torção
- Flexão





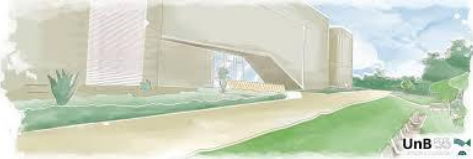
Como determinar as propriedades mecânicas?

- A determinação das propriedades mecânicas é feita através de ensaios mecânicos.
- Utiliza-se normalmente corpos de prova (amostra representativa do material) para o ensaio mecânico, já que por razões técnicas e econômicas não é praticável e/ou viável realizar o ensaio na própria peça, que seria o ideal.
- Geralmente utiliza-se normas técnicas (ASTM, ABNT e NBR) para o procedimento das medidas e confecção dos corpos de prova para garantir que os resultados sejam comparáveis.



Testes mais comuns para se determinar as propriedades mecânicas dos metais

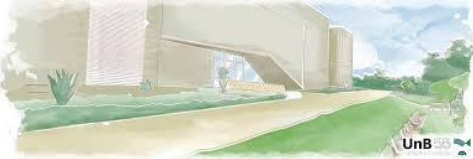
- Resistência à tração (+ comum, determina a elongação)
- Resistência à compressão
- Resistência à torção
- Resistência ao choque
- Resistência ao desgaste
- Resistência à fadiga
- Dureza
- Etc...



Classificação dos ensaios mecânicos

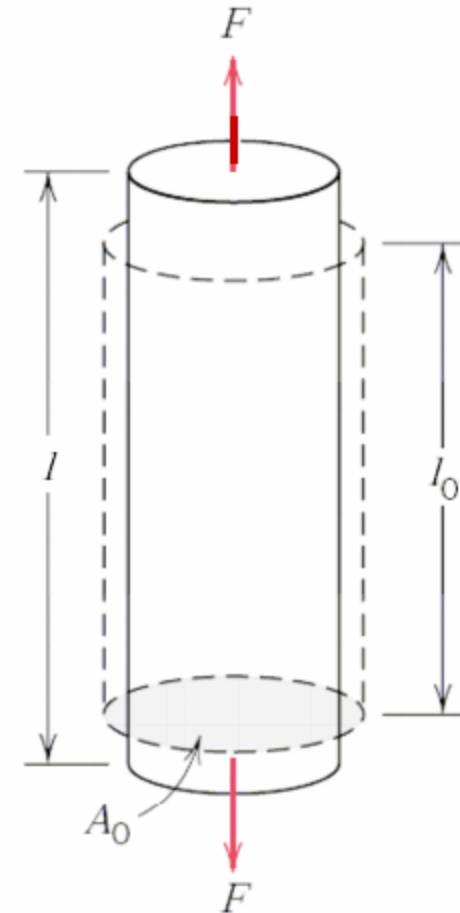
Classificação :

- ① Quanto à integridade
 - i) **Destrutivos**: provocam inutilização parcial ou total da peça;
Tração, Dureza, Fadiga, Fluência, Torção, Flexão, Impacto, Tenacidade a Fratura
 - ii) **Não- Destrutivos**: não comprometem a integridade da peça;
Raios-X, Raios- γ , Ultra-Som, Partículas Magnéticas, Líquidos Penetrantes, Microdureza, Tomografia
- ② Quanto à velocidade:
 - i) **Estáticos**: carga aplicada lenta (estados de equilíbrio)
Tração, Compressão, Flexão, Dureza e Torção
 - ii) **Dinâmicos**: carga aplicada rapidamente ou ciclicamente;
Fadiga e Impacto
 - iii) **Carga Constante**: carga aplicada durante um longo período;
Fluência



RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

- É medida submetendo-se o material à uma carga ou força de tração, paulatinamente crescente, que promove uma deformação progressiva de aumento de comprimento
- NBR-6152 para metais



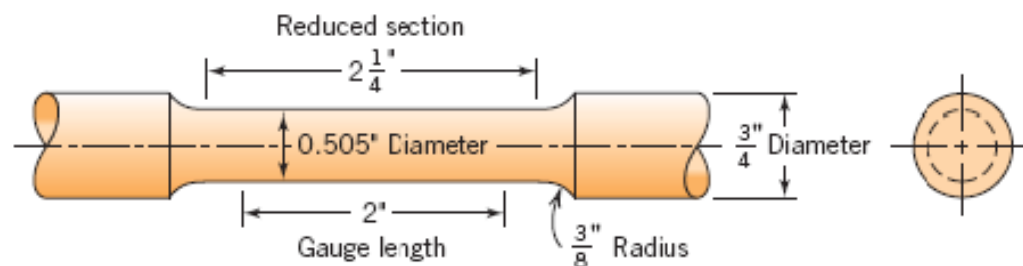
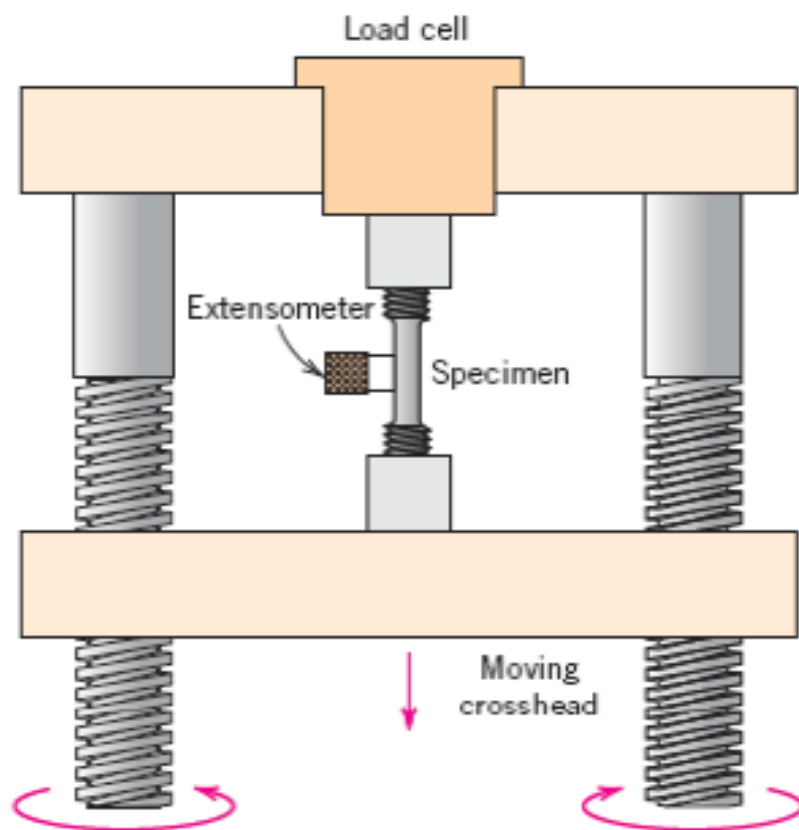
Esforço de tração

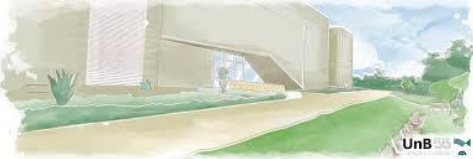


PROPRIEDADES MECÂNICAS

TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

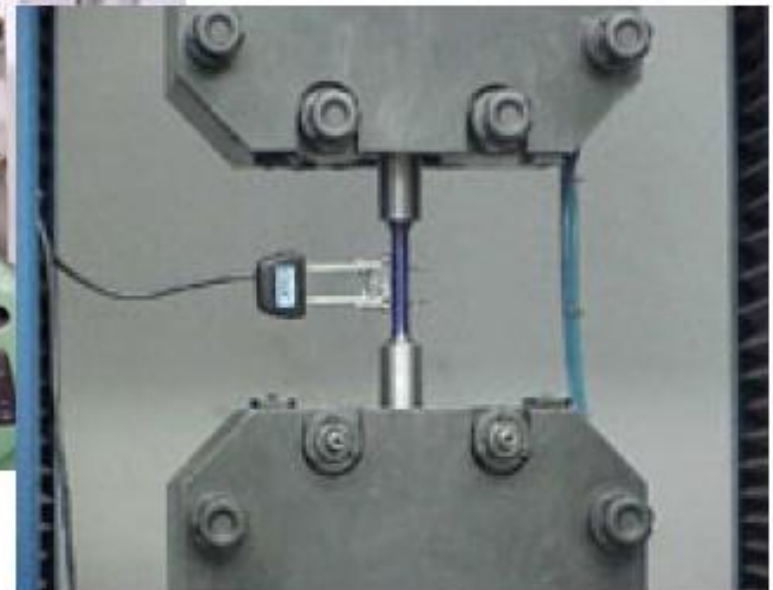
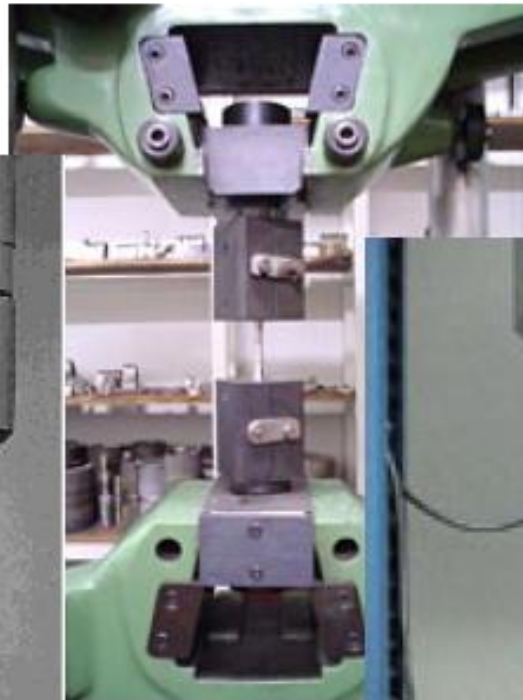
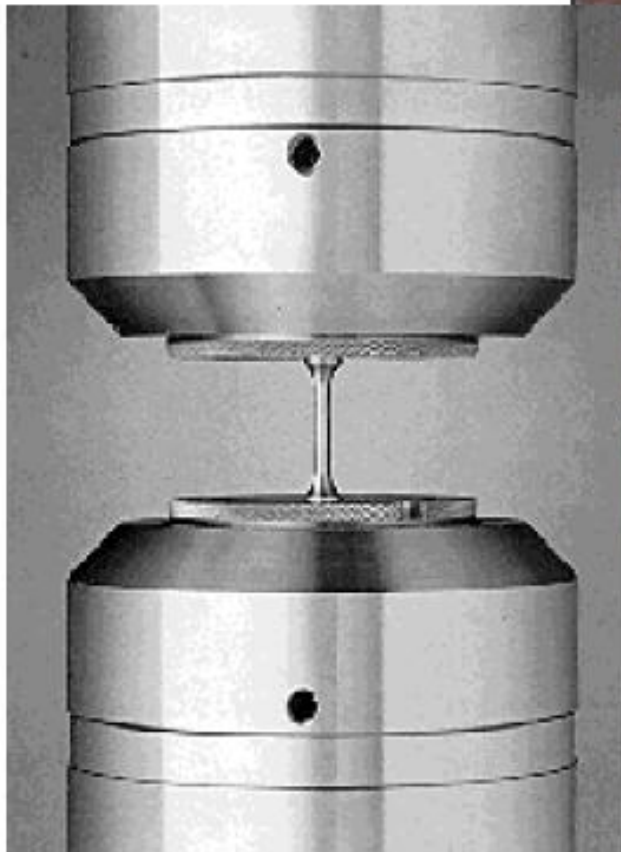
ESQUEMA DE MÁQUINA E CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

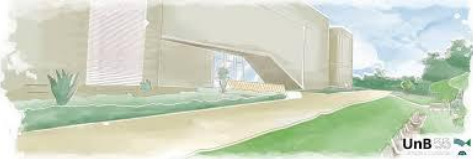




PROPRIEDADES MECÂNICAS

TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO





RESITÊNCIA À TRAÇÃO TENSÃO (σ) X Deformação (ϵ)

$$\sigma = F/A_o \Rightarrow \text{Kgf/cm}^2 \text{ ou Kgf/mm}^2 \text{ ou N/mm}^2$$

Força ou carga → Área inicial da seção reta transversal

Como efeito da aplicação de uma tensão tem-se a deformação (variação dimensional).

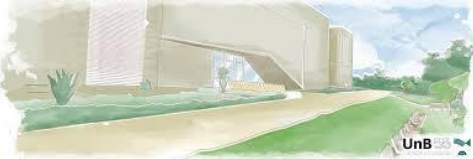
A deformação pode ser expressa:

- O número de milímetros de deformação por milímetros de comprimento
- O comprimento deformado como uma percentagem do comprimento original

$$\text{Deformação}(\epsilon) = l_f - l_o / l_o = \Delta l / l_o$$

l_o = comprimento inicial

l_f = comprimento final



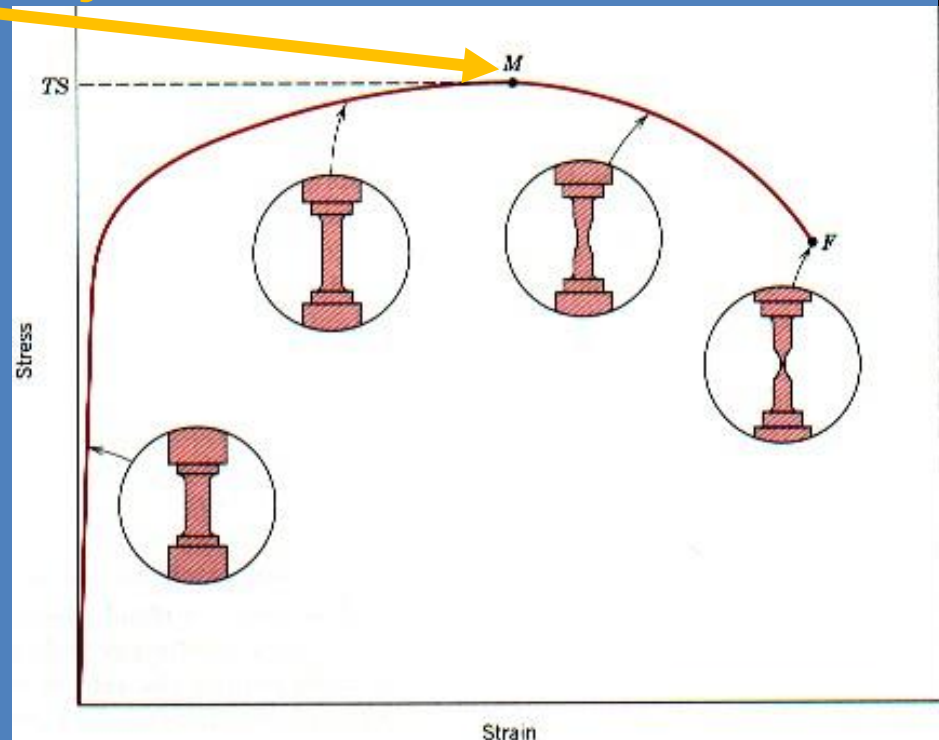
Comportamento dos metais quando submetidos à tração

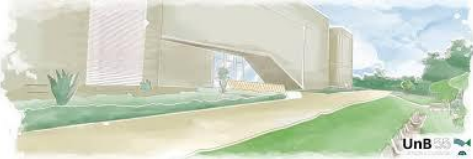
Limite de Resistência à Tração (LRT)

METAIS

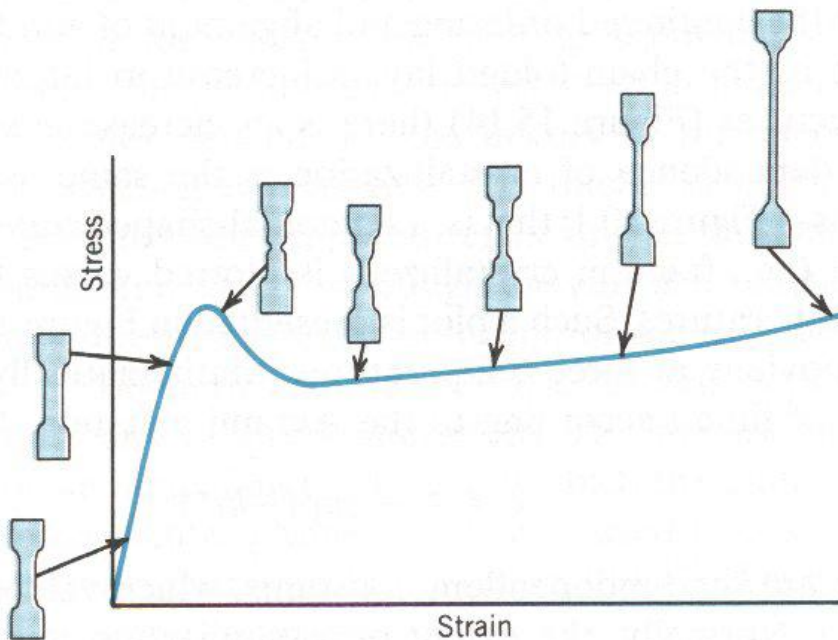
Dentro de certos limites,
a deformação é proporcional
à tensão (a lei de Hooke é
obedecida)

$$\text{Lei de Hooke: } \sigma = E \varepsilon$$

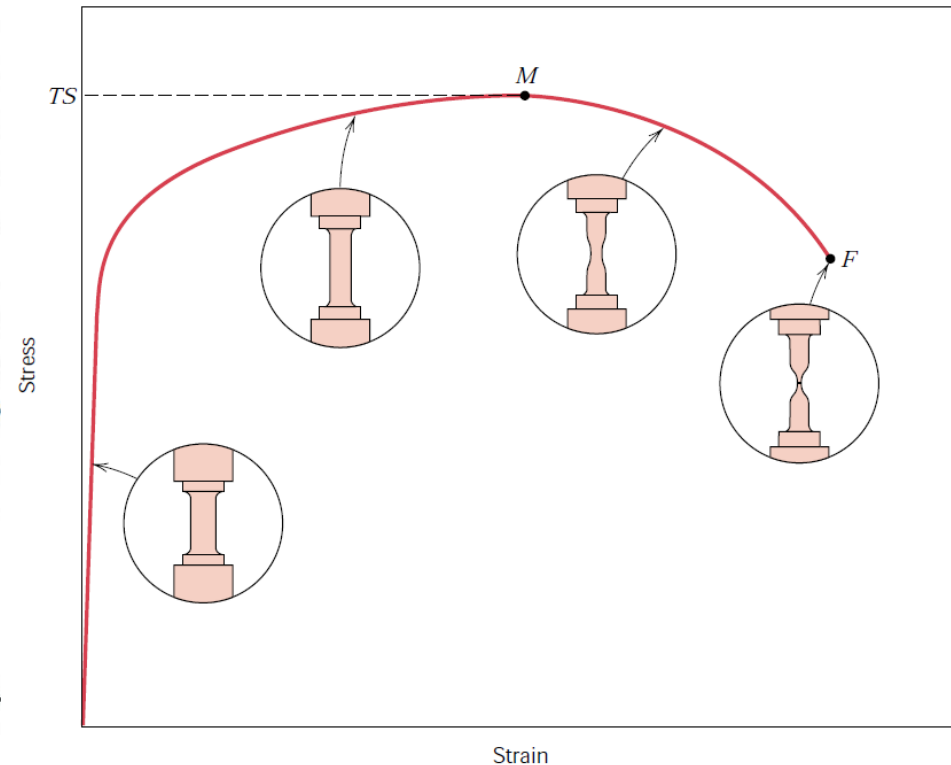




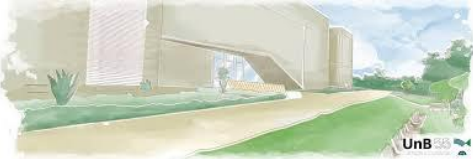
Comportamento dos materiais submetidos à tração



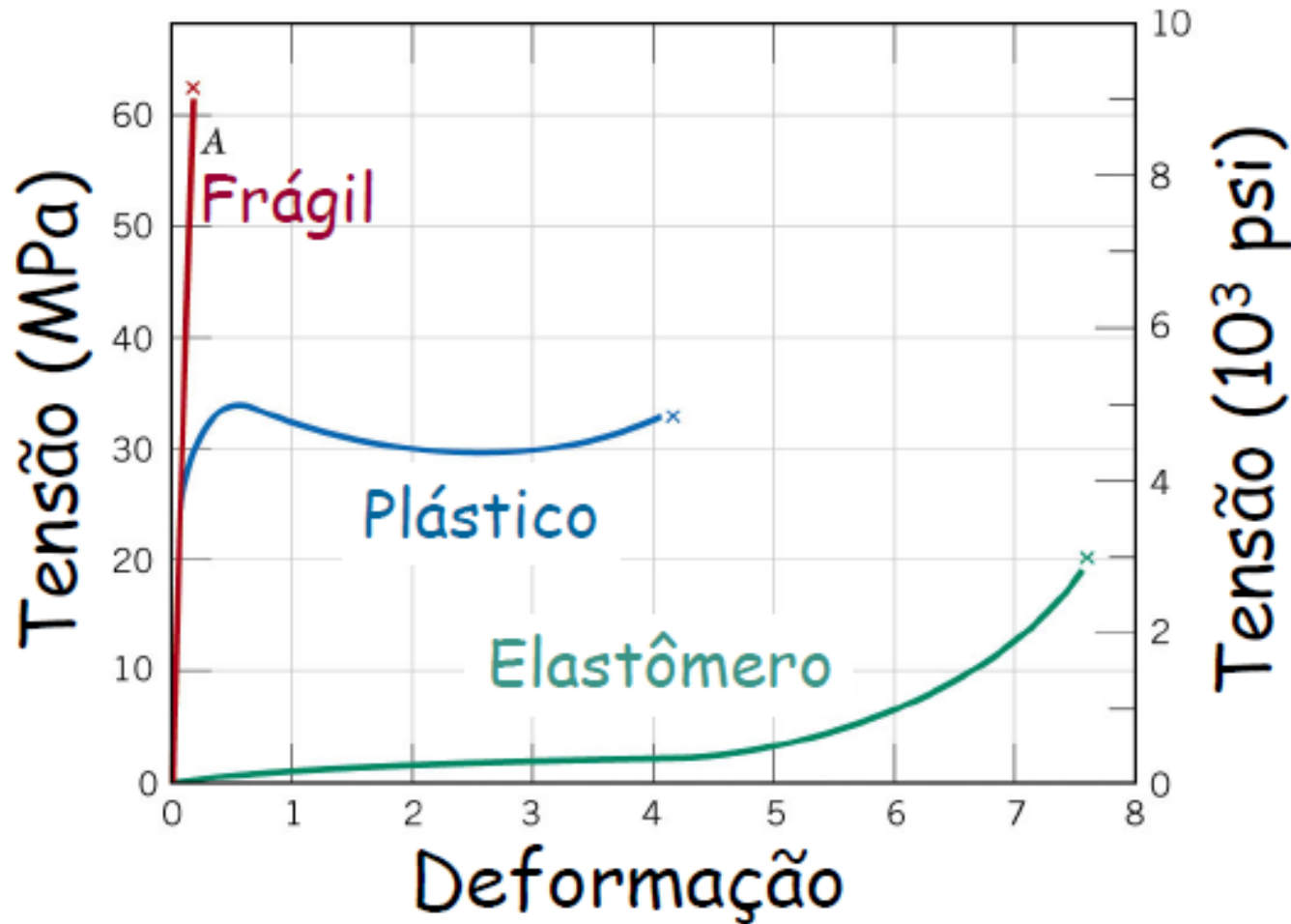
POLÍMEROS

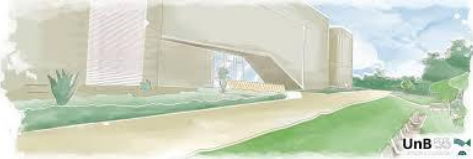


METAIS



Curva Tensão vs Deformação para as Cerâmicas e Polímeros





ENSAIO DE TRAÇÃO

A partir da curva de tensão deformação pode-se obter os seguintes dados (informações):

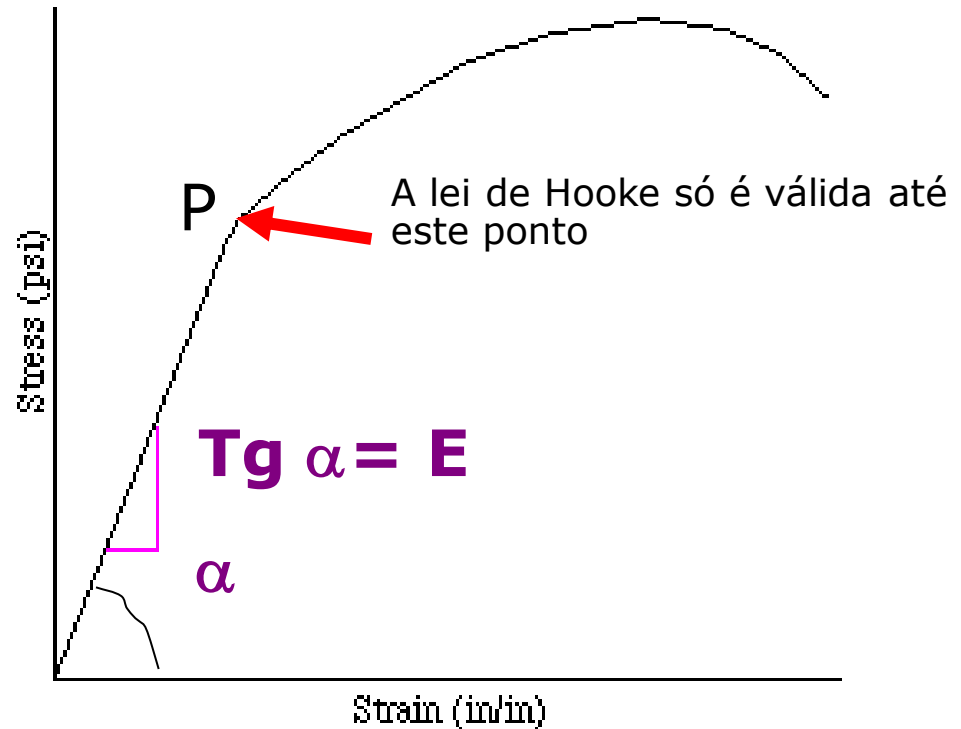
- Módulo de elasticidade em tração ou de Young
- Tensão e deformação no ponto de escoamento
- Tensão máxima
- Tensão e deformação na ruptura
- Ductibilidade
- Resiliência
- Tenacidade



Módulo de elasticidade ou Módulo de Young

$$E = \sigma / \varepsilon = \text{Kgf/mm}^2$$

- É o quociente entre a tensão aplicada e a deformação elástica resultante.
- Está relacionado com a rigidez do material ou à resist. à deformação elástica
- Está relacionado diretamente com as forças das ligações interatômicas



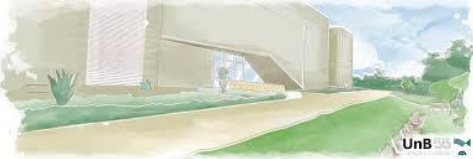
$$\text{Lei de Hooke: } \sigma = E \varepsilon$$



Módulo de Elasticidade para alguns metais

Quanto maior o módulo de elasticidade mais rígido é o material ou menor é a sua deformação elástica quando aplicada uma dada tensão

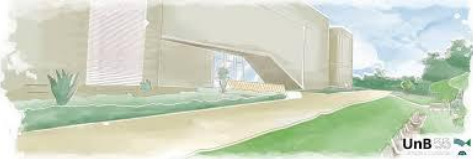
	MÓDULO DE ELASTICIDADE [E]	
	GPa	10 ⁶ Psi
Magnésio	45	6.5
Alumínio	69	10
Latão	97	14
Titânio	107	15.5
Cobre	110	16
Níquel	204	30
Aço	207	30
Tungstênio	407	59



Considerações gerais sobre módulo de elasticidade

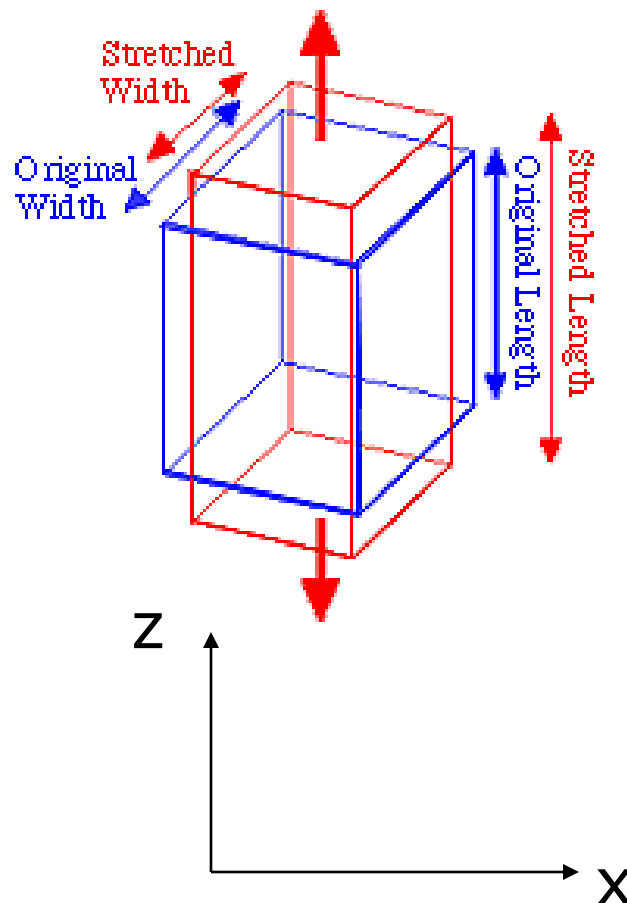
Como consequência do módulo de elasticidade estar diretamente relacionado com as forças interatômicas:

- Os materiais cerâmicos tem alto módulo de elasticidade, enquanto os materiais poliméricos tem baixo.
- Com o aumento da temperatura o módulo de elasticidade diminui;
- **Em material monocristalino o módulo de elasticidade depende da direção de aplicação da tensão nos eixos cristalográficos, pois a interação atômica varia com a direção.**



O COEFICIENTE DE POISSON PARA ELONGAÇÃO OU COMPRESSÃO

- Qualquer alongação ou compressão de uma estrutura cristalina em uma direção, causada por uma força uniaxial, produz um ajustamento nas dimensões perpendiculares à direção da força



ϵ_z Longitudinal Strain

ϵ_x Lateral Strain

Poisson Ratio

$$\nu = -\epsilon_x / \epsilon_z$$

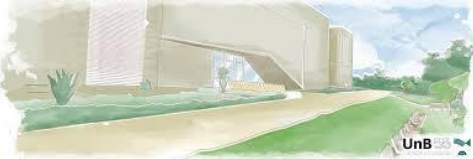
Values of ν :

No volume change = 0.5

Typical Polymer = 0.4

Typical Metal = 0.3

Typical Ceramic = 0.2

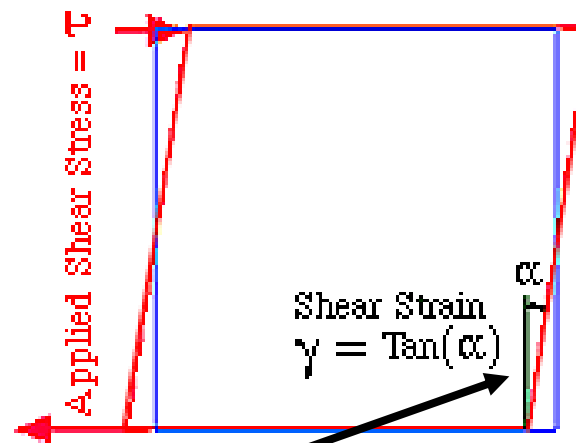


O COEFICIENTE DE POISSON PARA TENSÕES DE CISALHAMENTO

- Tensões de cisalhamento produzem deslocamento de um plano de átomos em relação ao plano adjacente
- A deformação elástica de cisalhamento é dada (γ):

$$\gamma = \tan \alpha$$

Módulo de Cisalhamento ou de rigidez



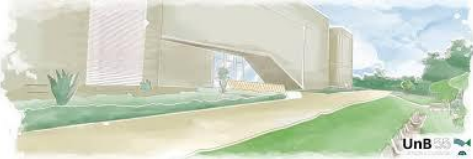
Shear Modulus

$$G = \tau / \gamma$$

Shear Modulus G is related to Elastic Modulus E through the Poisson Ratio ν

$$E = 2 G (1 + \nu)$$

Para metais $\nu \sim 0,3 \Rightarrow G \sim 0,4E$

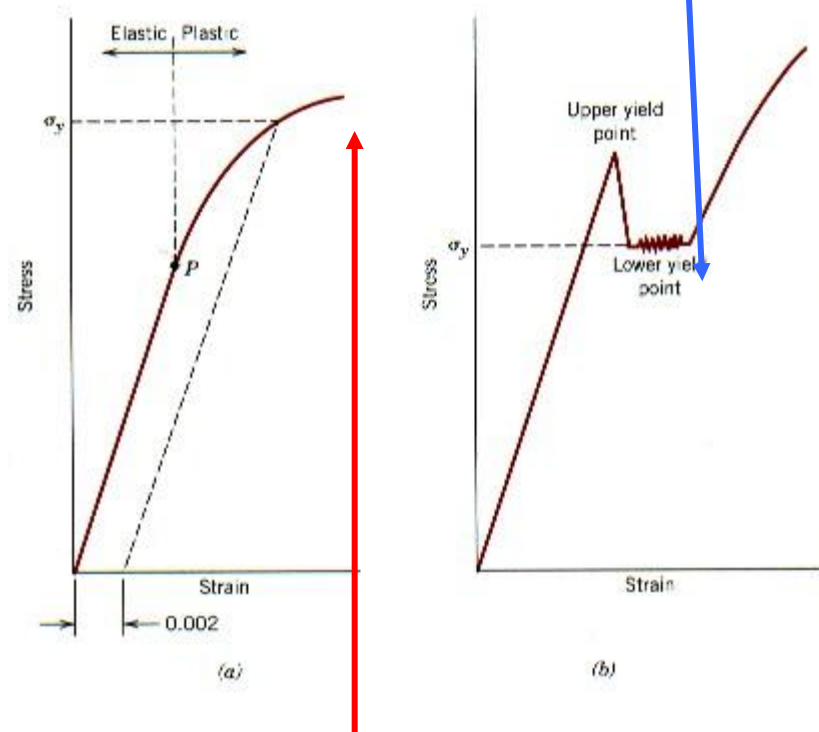


Outras informações que podem ser obtidas das curvas tensão x deformação

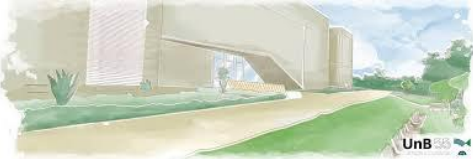
Tensão de escoamento

σ_y = tensão de escoamento
(corresponde a tensão máxima relacionada com o fenômeno de escoamento)

- De acordo com a curva "a", onde não observa-se nitidamente o fenômeno de escoamento
- Alguns aços e outros materiais exibem o comportamento da curva "b", ou seja, o limite de escoamento é bem definido (o material escoa e deforma-se plasticamente sem praticamente aumento da tensão). Neste caso, geralmente a tensão de escoamento corresponde à tensão máxima verificada durante a fase de escoamento



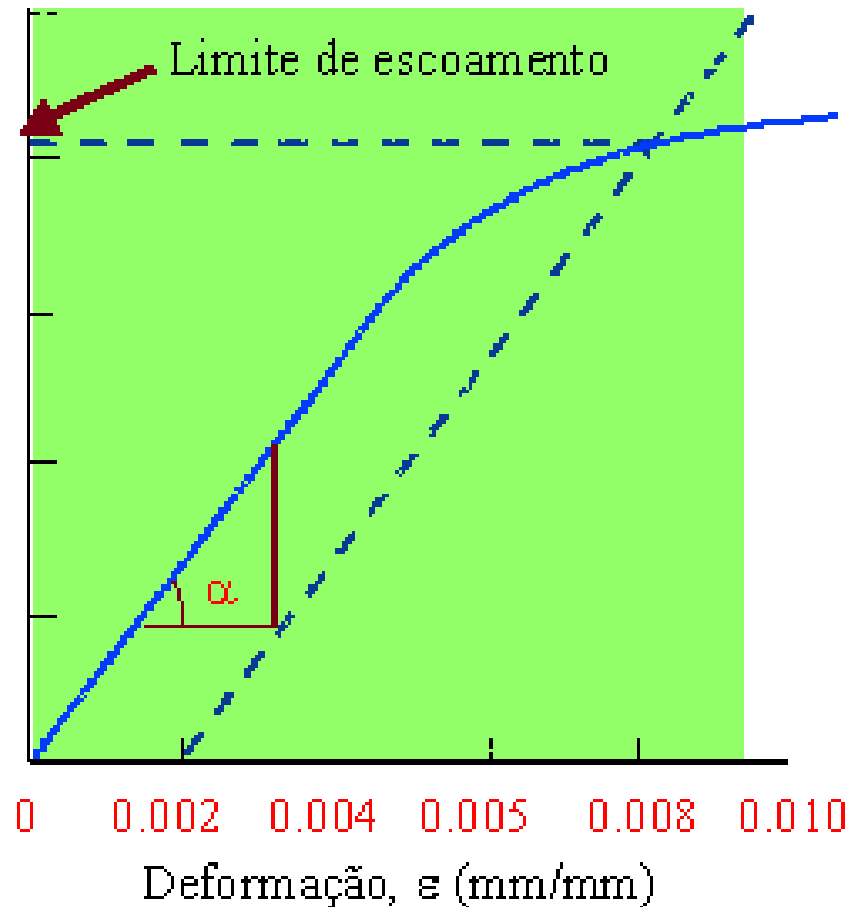
Não ocorre escoamento propriamente dito

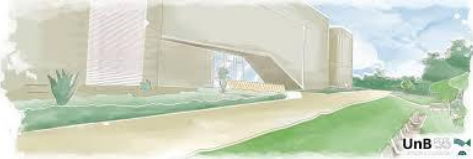


Limite de Escoamento

Quando não observa-se nitidamente o fenômeno de escoamento, a tensão de escoamento corresponde à tensão necessária para promover uma deformação permanente de 0,2% ou outro valor especificado (obtido pelo método gráfico indicado na figura ao lado)

Limite de proporcionalidade





Limite de Escoamento

Quando não nítido, utiliza-se da convenção de um deformação padrão

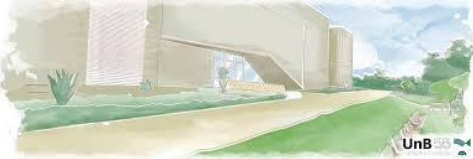
Metais e ligas em geral : $n = 0,2 \% \ (\epsilon = 0,002)$

Cobre e suas ligas: $n = 0,5 \% \ (\epsilon = 0,005)$

Ligas metálicas duras: $n = 0,1 \% \ (\epsilon = 0,001)$

Cerâmicos : $n = 0,1 \% \ (\epsilon = 0,001)$

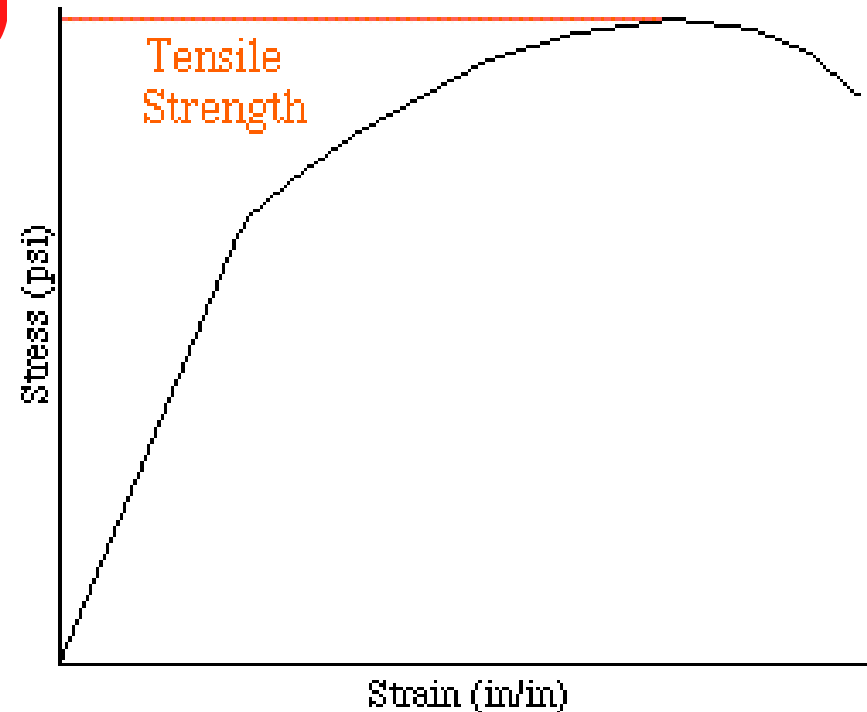
Polímeros: $n = 0,5 \% \ (\epsilon = 0,005)$



Outras informações que podem ser obtidas das curvas tensão x deformação

Resistência à Tração (Kgf/mm^2)

- Corresponde à tensão máxima aplicada ao material antes da ruptura
- É calculada dividindo-se a carga máxima suportada pelo material pela área de seção reta inicial

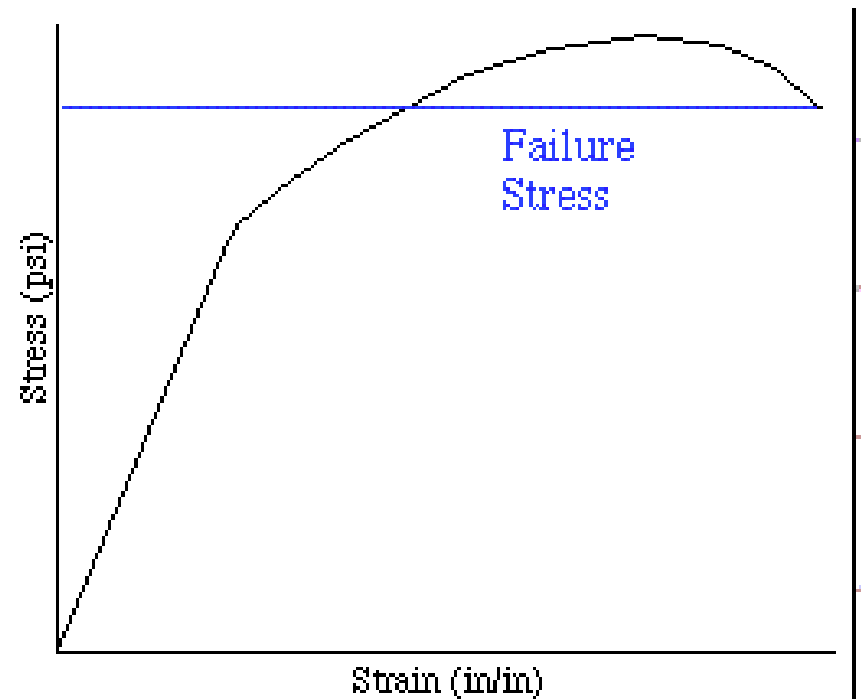


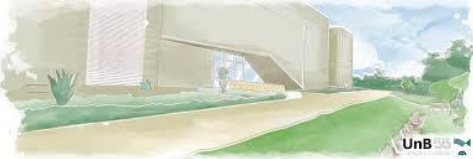


Outras informações que podem ser obtidas das curvas tensão x deformação

Tensão de Ruptura (Kgf/mm^2)

- Corresponde à tensão que promove a ruptura do material
- O limite de ruptura é geralmente inferior ao limite de resistência em virtude de que a área da seção reta para um material dúctil reduz-se antes da ruptura





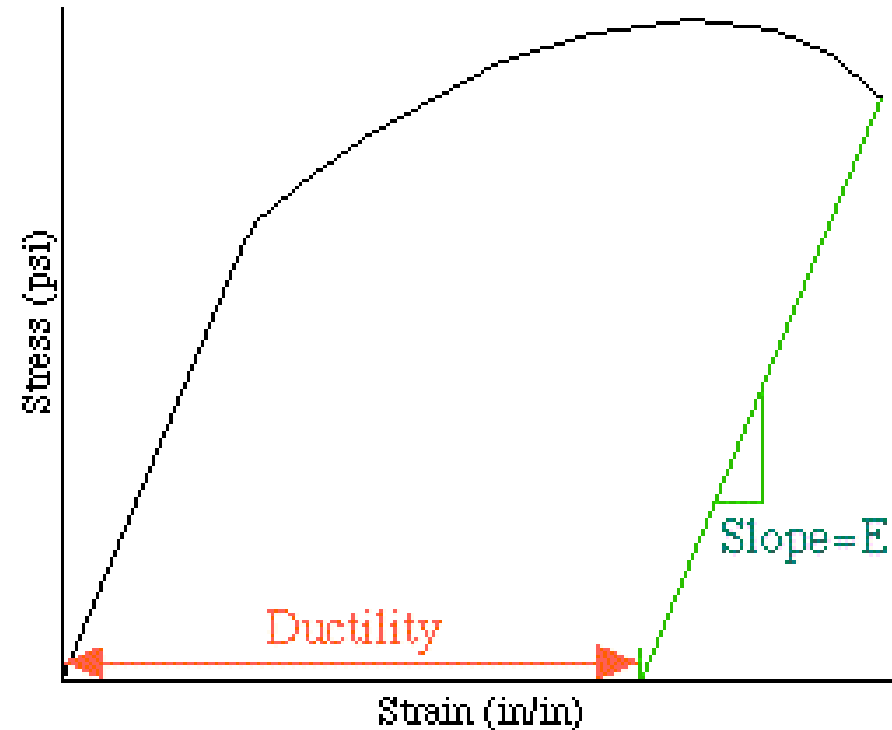
Outras informações que podem ser obtidas das curvas tensão x deformação

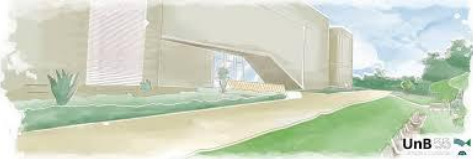
Ductilidade em termos de alongamento

Corresponde ao alongamento total do material devido à **deformação plástica**

$$\% \text{ alongamento} = (l_f - l_o / l_o) \times 100$$

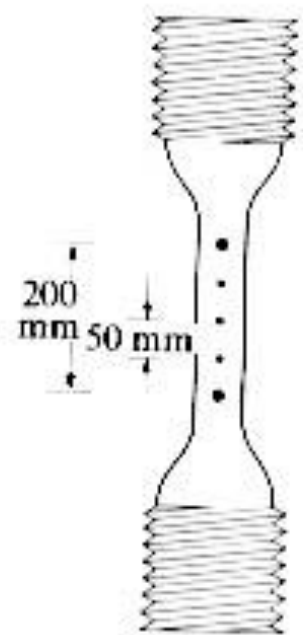
onde l_o e l_f correspondem ao comprimento inicial e final (após a ruptura), respectivamente



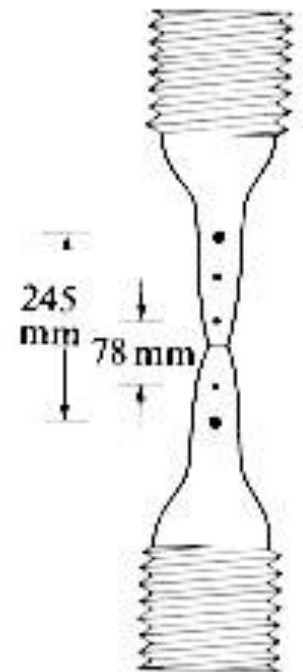


Ductilidade expressa como alongamento

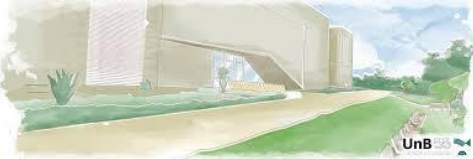
- Como a deformação final é localizada, o valor da elongação só tem significado se indicado o comprimento de medida
- Ex: Alongamento: 56% em 50 mm



Comprimento
de medida
200 mm
50 mm



Alongamento
22,5%
56,0%



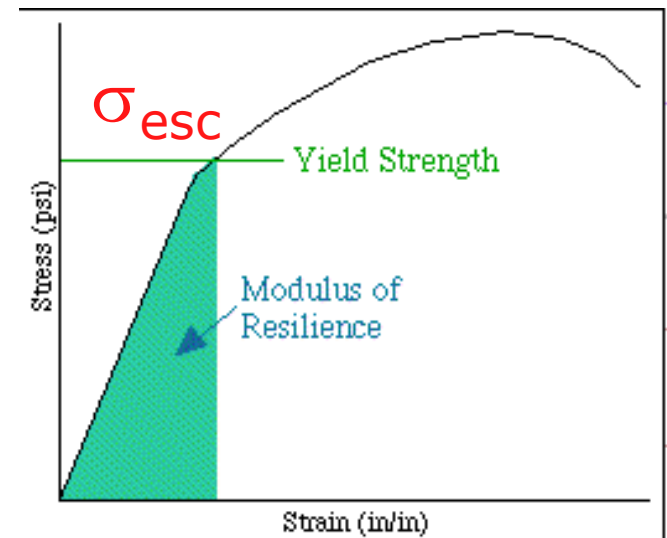
Outras informações que podem ser obtidas das curvas tensão x deformação

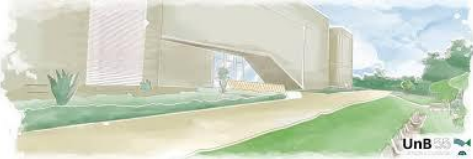
Resiliência

- Corresponde à capacidade do material de absorver energia quando este é deformado elasticamente
- A propriedade associada é dada pelo módulo de resiliência (U_r)

$$U_r = \sigma_{esc}^2 / 2E$$

- Materiais resilientes são aqueles que têm alto limite de elasticidade e baixo módulo de elasticidade (como os materiais utilizados para molas)

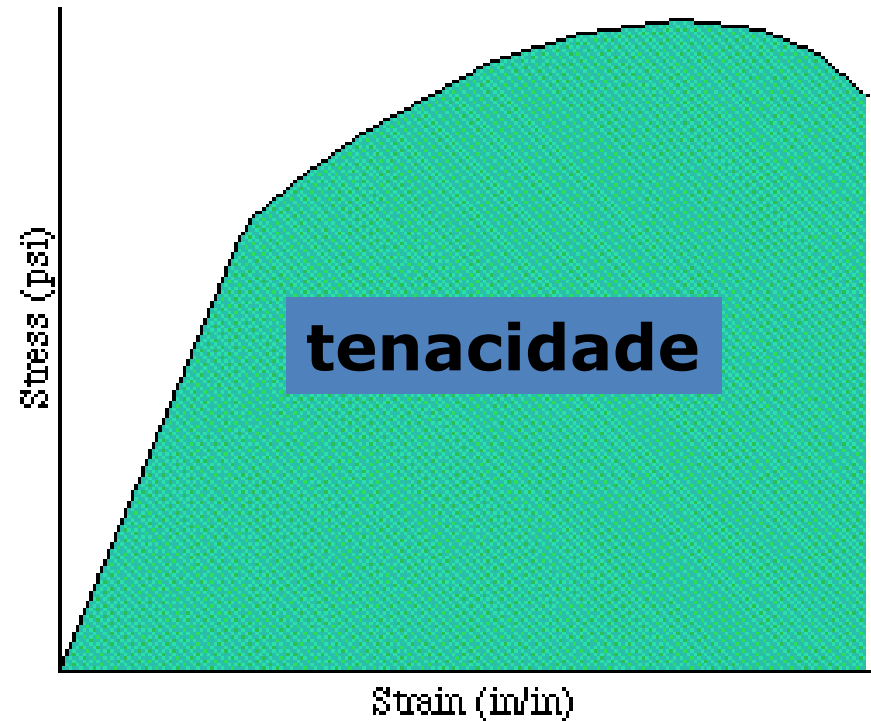


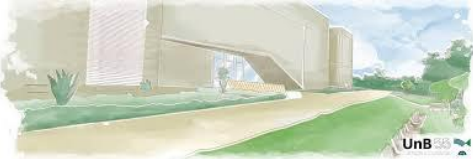


Outras informações que podem ser obtidas das curvas tensãoxdeformação

Tenacidade

- Corresponde à capacidade do material de absorver energia até sua ruptura

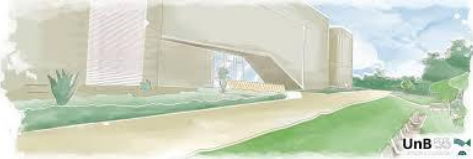




Módulo de tenacidade

Materiais dúcteis

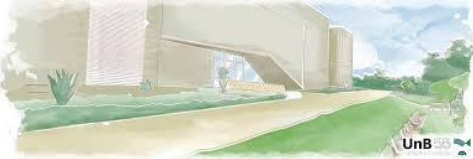
$$U_t = \frac{\sigma_{esc} + \sigma_{LRT}}{2} \cdot \epsilon_f \quad [N.m/m^3]$$



Módulo de tenacidade

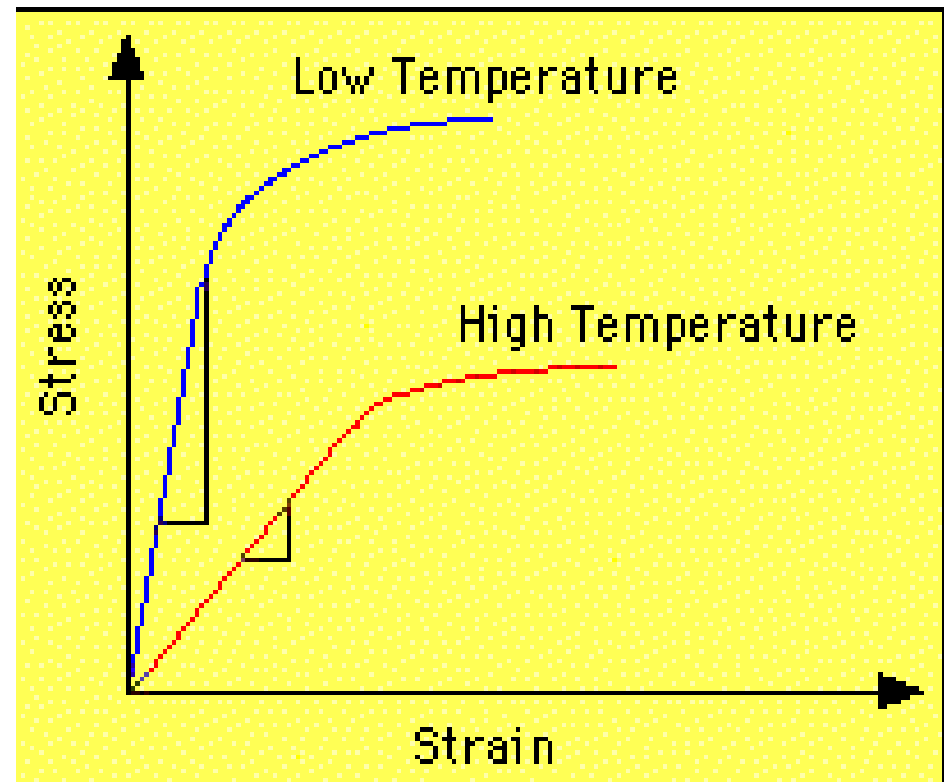
Materiais frágeis

$$U_t = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{LRT} \cdot \epsilon_f \quad [N.m/m^3]$$



VARIAÇÃO DA PROPRIEDADES MECÂNICAS COM A TEMPERATURA

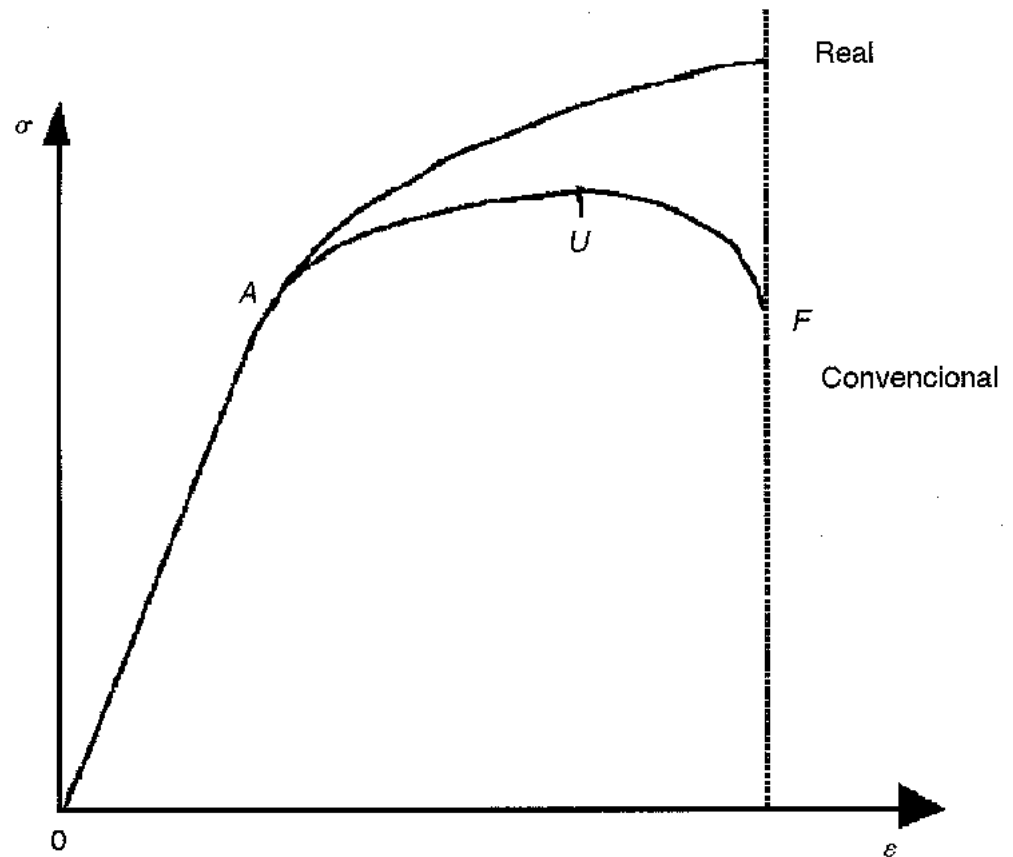
- Elastic Modulus will: ☐ Increase ☒ Decrease
- Tensile Strength will: ☐ Increase ☒ Decrease
- Yield Strength will: ☐ Increase ☒ Decrease
- Ductility will: ☒ Increase ☐ Decrease

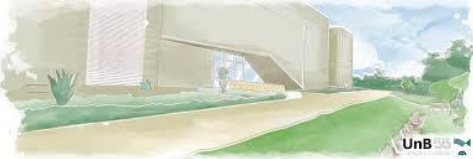




TENSÃO E DEFORMAÇÃO REAIS OU VERDADEIRAS

A curva de tensão x deformação convencional, estudada anteriormente, não apresenta uma informação real das características tensão e deformação porque se baseia somente nas características dimensionais originais do corpo de prova ou amostra e que na verdade são continuamente alteradas durante o ensaio.





TENSÃO E DEFORMAÇÃO REAIS

TENSÃO REAL (σ_r)

$$\sigma_r = F/A_i$$

onde A_i é a área da seção transversal instantânea (m^2)

DEFORMAÇÃO REAL (ε_r)

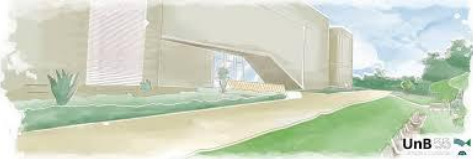
$$d\varepsilon_r = dl/l$$

$$\varepsilon_r = \ln l_i/l_o$$

Se não há variação de volume

$$A_i \cdot l_i = A_o \cdot l_o$$

$$\varepsilon_r = \ln A_i/A_o$$



RELAÇÕES ENTRE TENSÕES E DEFORMAÇÕES VERDADEIRAS E CONVENCIONAIS

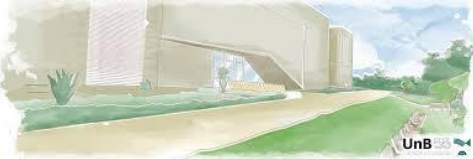
RELAÇÃO ENTRE TENSÃO
REAL E CONVENCIONAL

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

RELAÇÃO ENTRE
DEFORMAÇÃO REAL E
CONVENCIONAL

$$\varepsilon_r = \ln (1 + \varepsilon)$$

*Estas equações são válidas para situações até
a formação do pescoço*

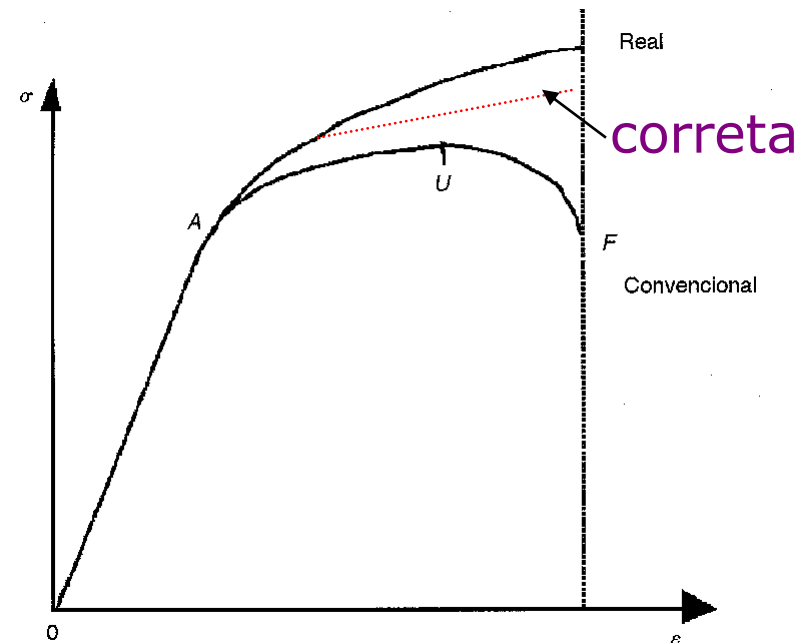


TENSÃO CORRETA PARA A REGIÃO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

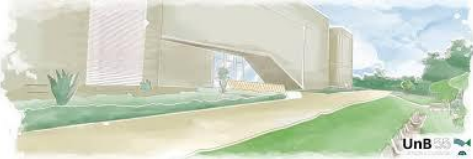
$$\sigma_r = k \cdot \varepsilon_r^n$$

Lei Potencial do Encruamento

K e n são constantes que dependem do material e dependem do tratamento dado ao mesmo, ou seja, se foram tratados termicamente ou encruados

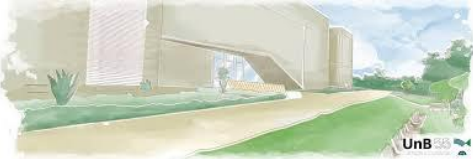


A tensão correta de ruptura é devido a outros componentes de tensões presentes, além da tensão axial



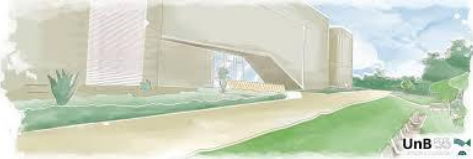
K e n

- **K** = coeficiente de resistência (quantifica o nível de resistência que o material pode suportar)
- **n** = coeficiente de encruamento (representa a capacidade com que o material distribui a deformação)



K e n para alguns materiais

Material	n	K (MPa)
Aço baixo C recozido	0,26	530
Aço 4340 recozido	0,15	640
Aço inox 304 recozido	0,45	1275
Alumínio recozido	0,2	180
Liga de Alumínio 2024 T	0,16	690
Cobre recozido	0,54	315
Latão 70-30 recozido	0,49	895




Determinação de K e n

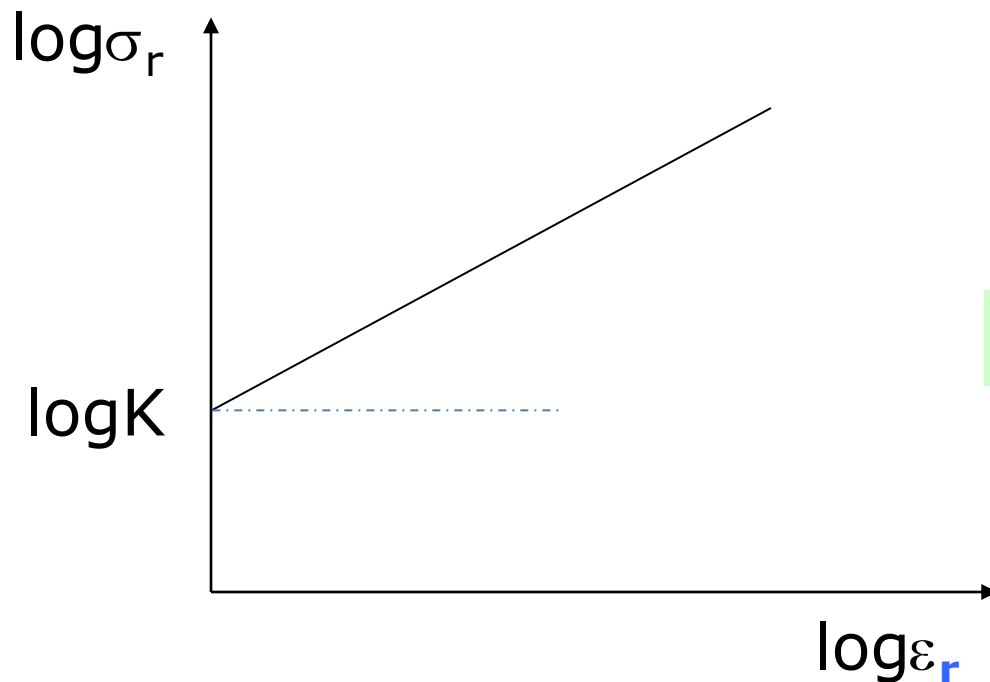
$$\text{Log } \sigma_r = \text{log } k + n \text{ log } \varepsilon_r$$

Para $\varepsilon_r = 1$

$\text{log } \varepsilon_r = 0$


extrapolando

$\sigma_r = k$



Inclinação = n