



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

Laboratório 4

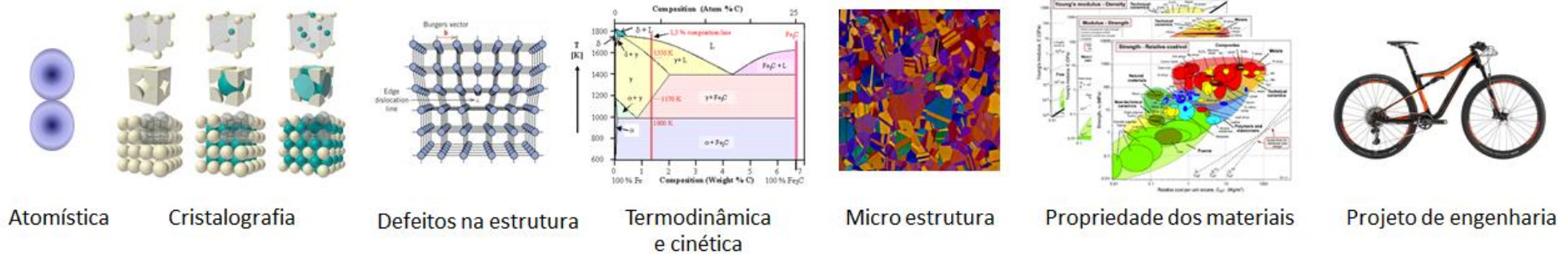
**Caracterização de Materiais:
Ensaio de Tração e Dureza**

2023.1



Introdução

Abordagem orientada pela ciência

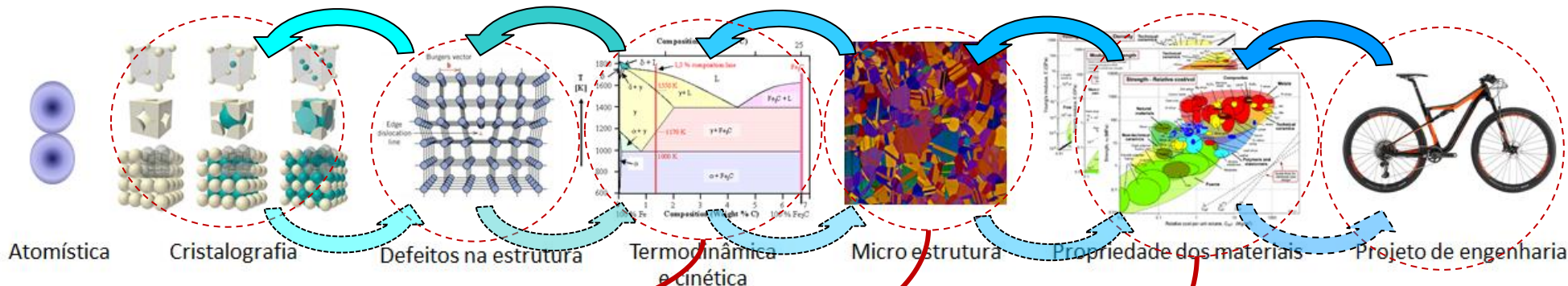


Abordagem orientada pelo projeto

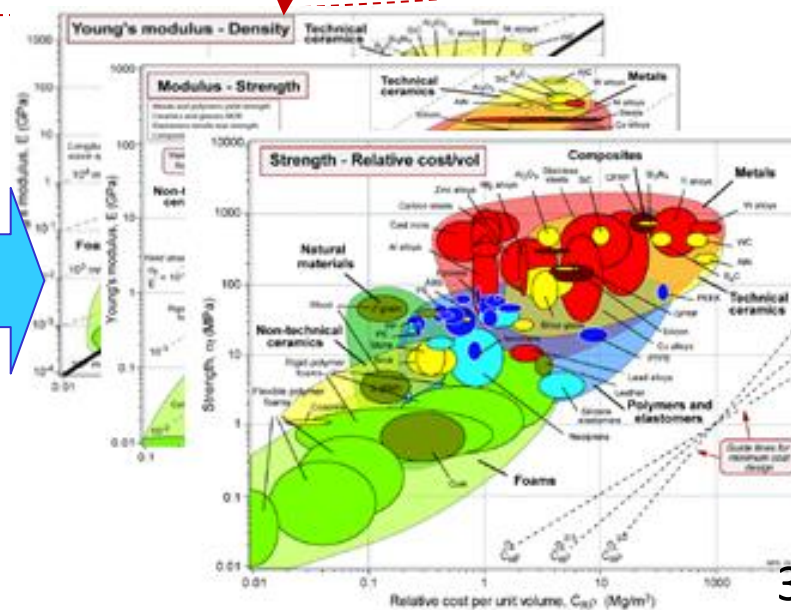
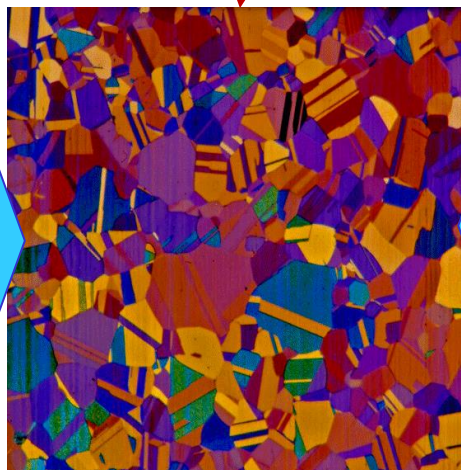
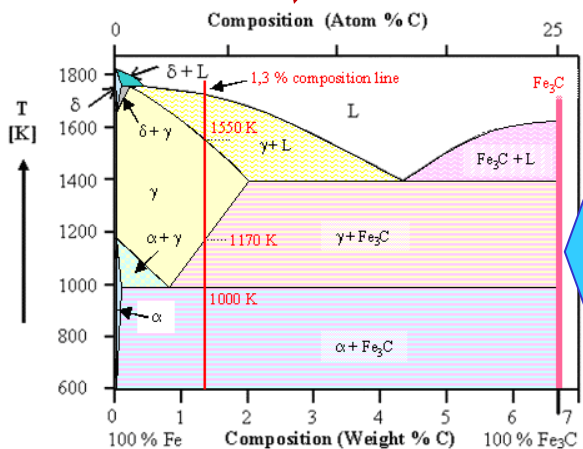


Introdução

Abordagem orientada pela ciência



Abordagem orientada pelo projeto





Comportamento dos materiais

- ▶ Sob o ponto de vista da aplicação prática, o estudo de como os materiais respondem sob a ação de carregamentos é um tópico importante no projeto e dimensionamento de elementos de máquinas
- ▶ A maioria dos componentes, mesmo quando utilizados visando outras de suas propriedades também tem que cumprir certas funções mecânicas



Materiais

- ▶ A seleção de materiais para elementos de máquinas ou partes estruturais, é uma das decisões mais importantes que um engenheiro é levado a tomar durante o desenvolvimento de um projeto.
- ▶ Essa decisão geralmente é tomada antes que o dimensionamento seja realizado.
- ▶ Ainda assim o processo pode ser realimentado se as condições de carregamento ou critério de falha assim o exigirem.



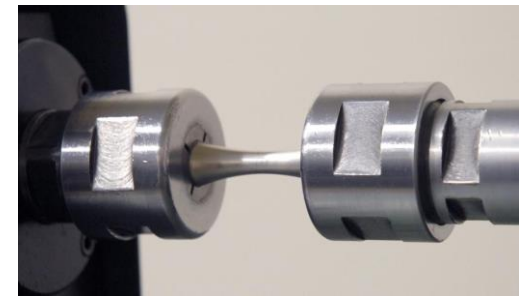
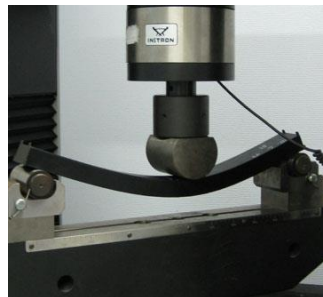
Materiais

- ▶ A escolha do material em si não termina o processo de seleção, o mesmo deve estar associado aos processos de fabricação e modificação de propriedades (ex. tratamentos térmicos).
- ▶ A seleção de materiais deve ser feita sob a óptica de minimizar riscos, embora em algumas vezes os mesmos devam ser aceitáveis. Neste caso existem critérios de falha que orientam a seleção de materiais.



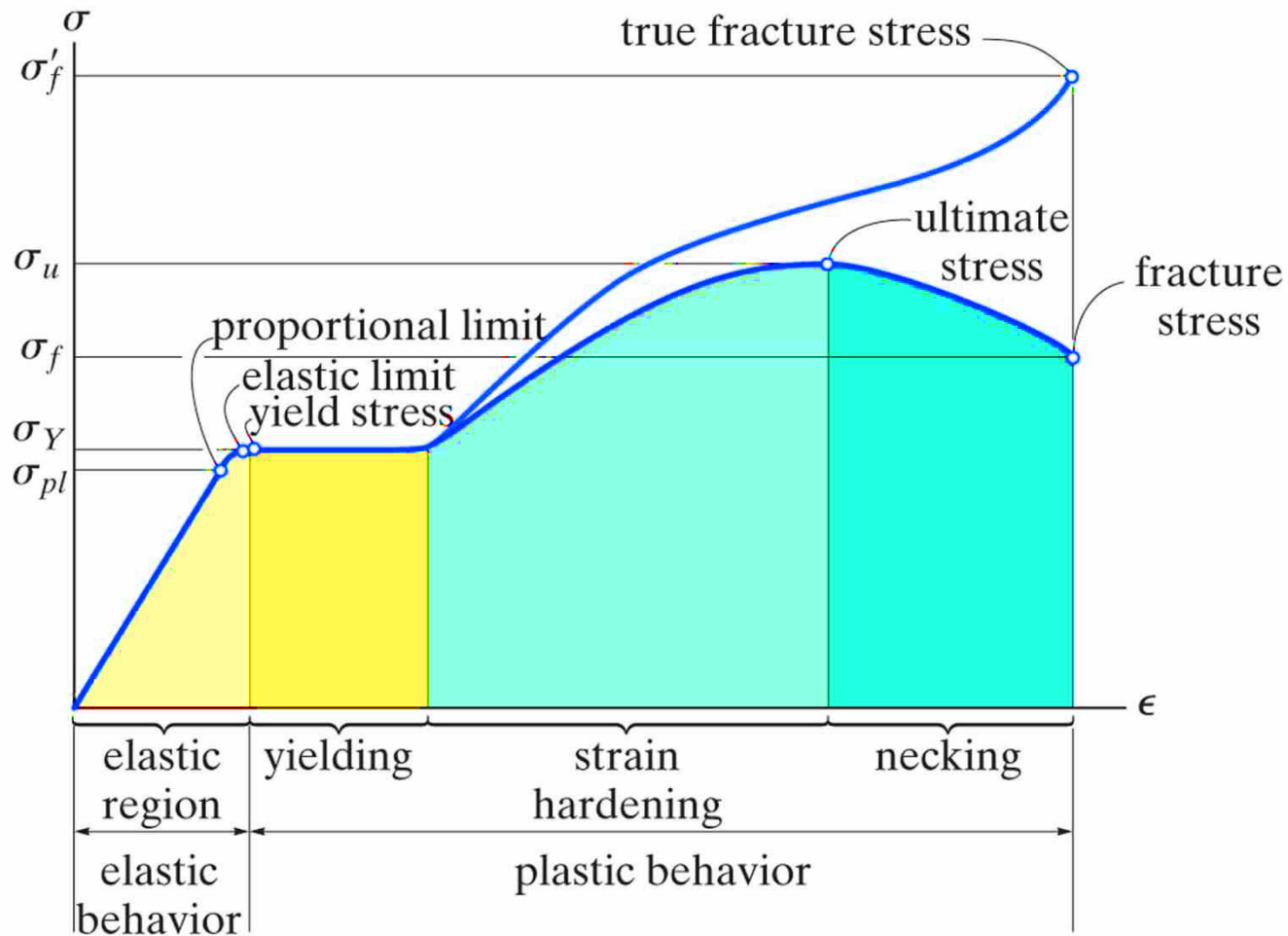
Comportamento dos materiais

- ◆ As propriedades mecânicas mais importantes são:
 - **tensão máxima,**
 - **tensão de escoamento,**
 - **tensão de cisalhamento,**
 - **outras;** dureza, rigidez e ductilidade
- ◆ Testes experimentais para a determinação das propriedades mecânicas dos materiais tendem a reproduzir condições de uso





Propriedades na tração

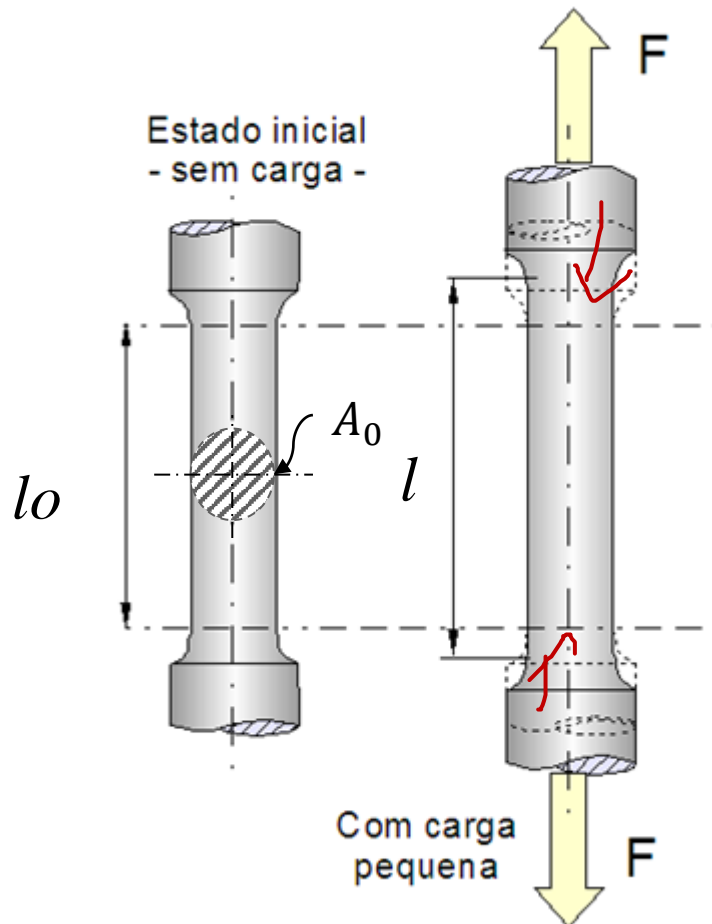


Conventional and true stress-strain diagrams for ductile material (steel) (not to scale)



Deformação (ϵ)

- ▶ Sob a ação de temperatura ou carregamentos externos um corpo sólido se deforma



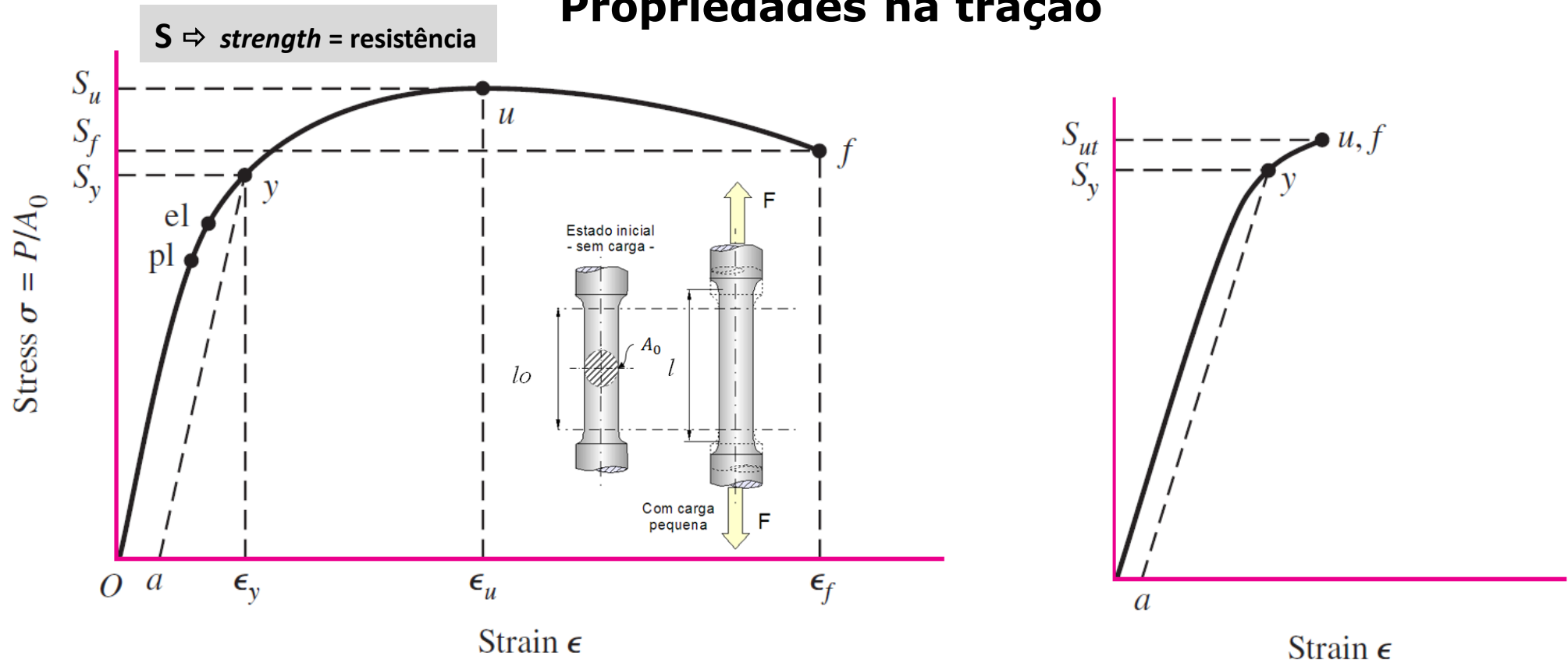
$$\epsilon_x = \frac{1}{E} \sigma_x - \frac{\nu}{E} \sigma_x - \frac{\nu}{E} \sigma_z + \alpha \delta T$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \epsilon = \frac{(l - l_0)}{l_0}$$

$$\epsilon = \int_{L_0}^L \frac{dl}{l_0} \quad \epsilon = \ln \frac{l}{l_0}$$



Propriedades na tração

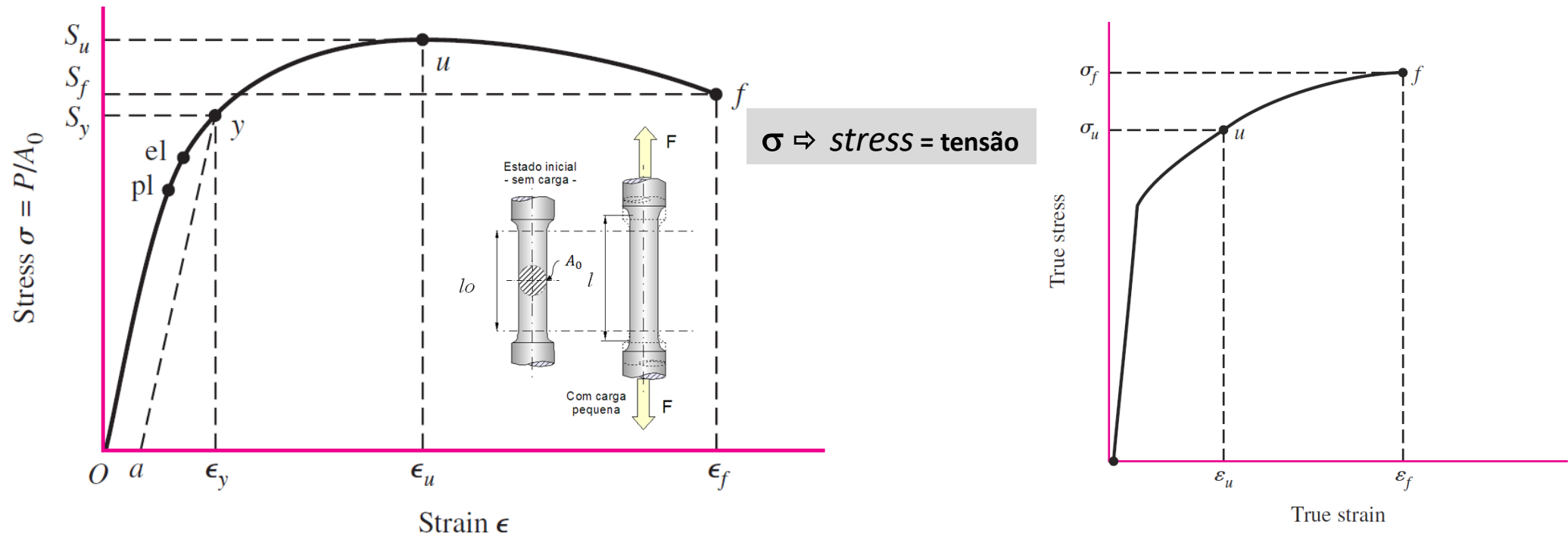


- ▶ pl = limite de elástico
- ▶ el = transição elasto-plástico
- ▶ S_y = limite de escoamento
- ▶ ϵ_y = deformação
- ▶ S_u = Limite máximo de resistência

- ▶ S_a = tensão máxima
- ▶ ϵ_a = deformação máxima
- ▶ S_f = tensão de ruptura
- ▶ ϵ_f = deformação na ruptura



Propriedades na tração



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

- ▶ Essa equação não representam o valor real pois consideram que a área inicial como sendo constante, desprezando a redução da área da seção resistente causada pela estrição

$$\epsilon = \frac{(l - l_0)}{l_0}$$

- ▶ Essa equação representam o valor real pois consideram que a área inicial como sendo constante, desprezando a redução da área da seção resistente causada pela estrição

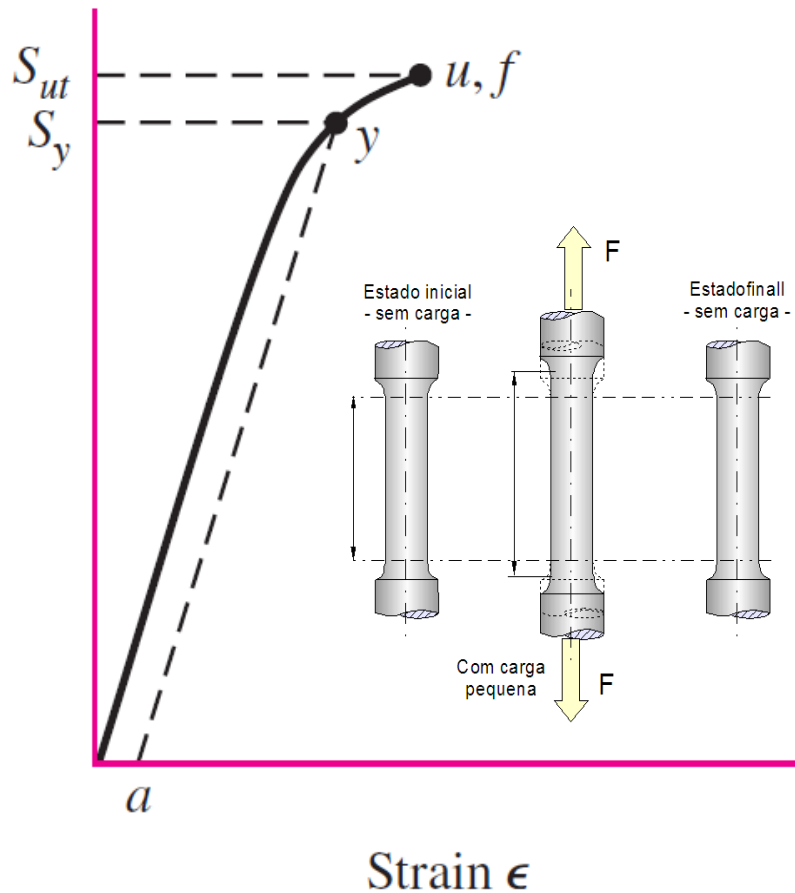


Propriedades a tração

- ▶ O limite de escoamento corresponde ao ponto onde o material começa a ter deformação plástica
- ▶ Alguns materiais apresentam um limite de escoamento, ou região de escoamento, outros não.
- ▶ Na ausência do ponto de escoamento é arbitrado um ponto de escoamento a 0,02 (2%) de deformação
- ▶ Partindo-se deste ponto traça-se uma linha paralela a linha de deformação elástica até se interceptar a curva tensão x deformação, onde se obtém um valor de tensão limite representativo para o escoamento



Propriedades a tração



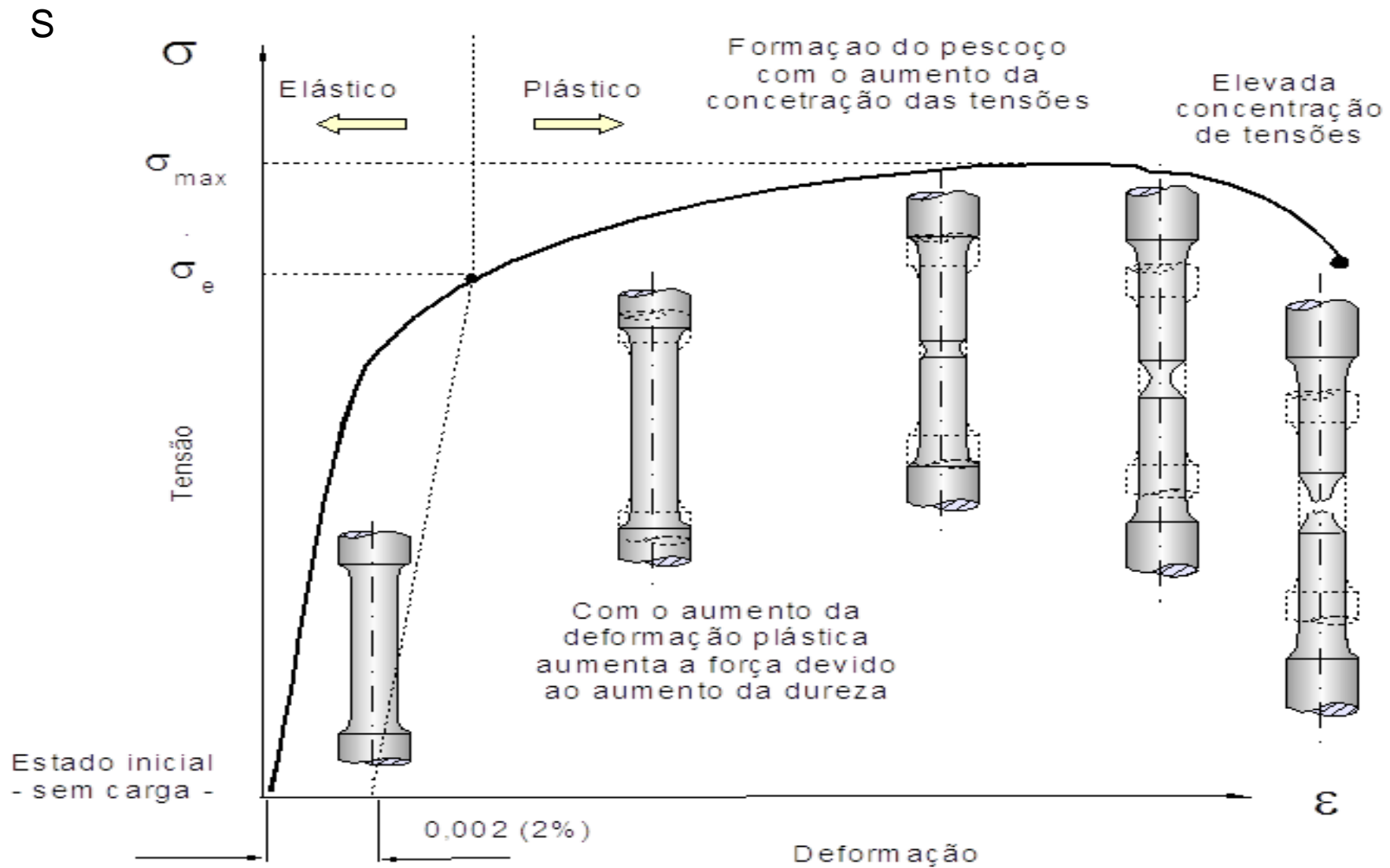
Onde:

- ▶ S_{ut} = Tensão de ruptura
- ▶ U, f = ponto de ruptura
- ▶ S_y = Tensão equivalente de escoamento
- ▶ a = deformação equivalente de escoamento para materiais frágeis

Considerando material frágeis



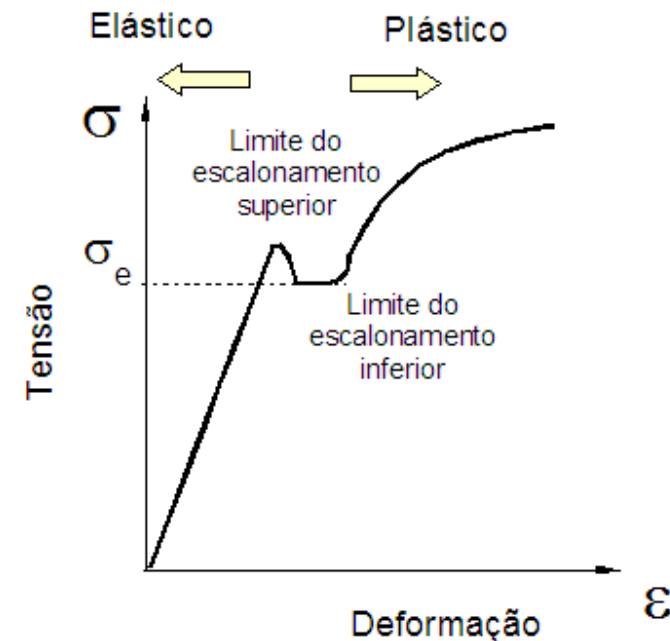
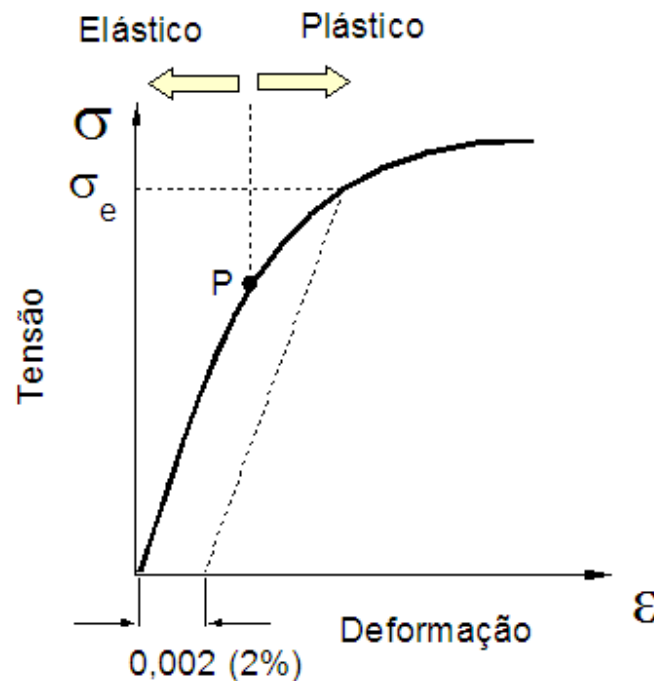
Propriedades a tração





Propriedades a tração

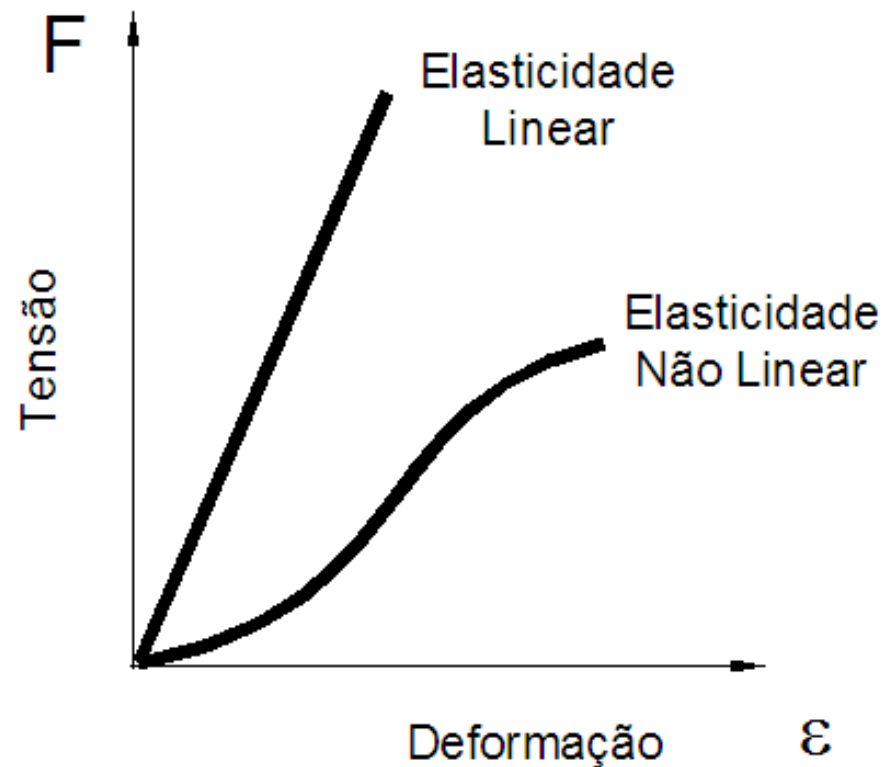
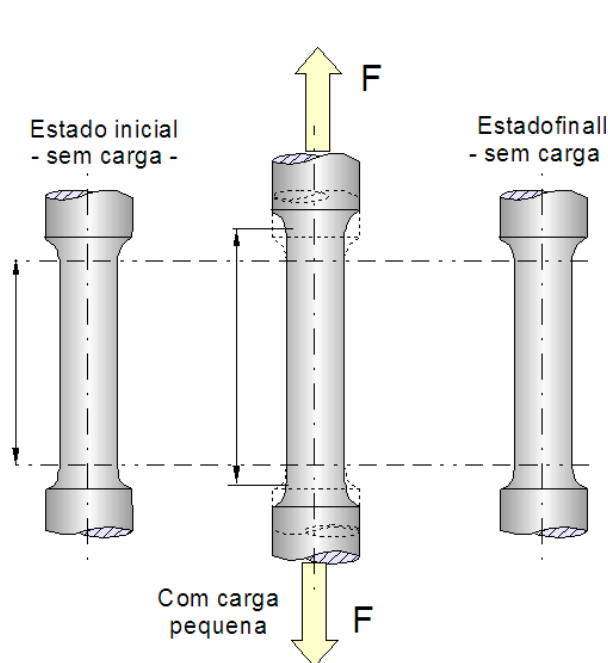
- ▶ Para aplicações estruturais a tensão de escoamento é normalmente é mais importante do que a tensão máxima, pois uma vez essa ultrapassada a estrutura deforma-se além de limites aceitáveis e tende ao colapso





Elasticidade

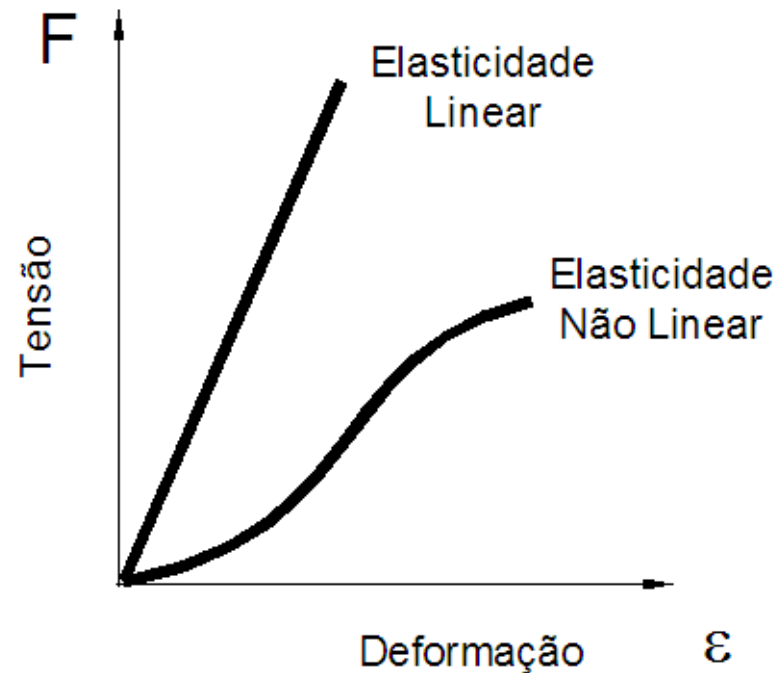
- ▶ Elasticidade representa a capacidade dos materiais de retornarem ao seu estado de deformação inicial após retirado o carregamento aplicado sobre ele





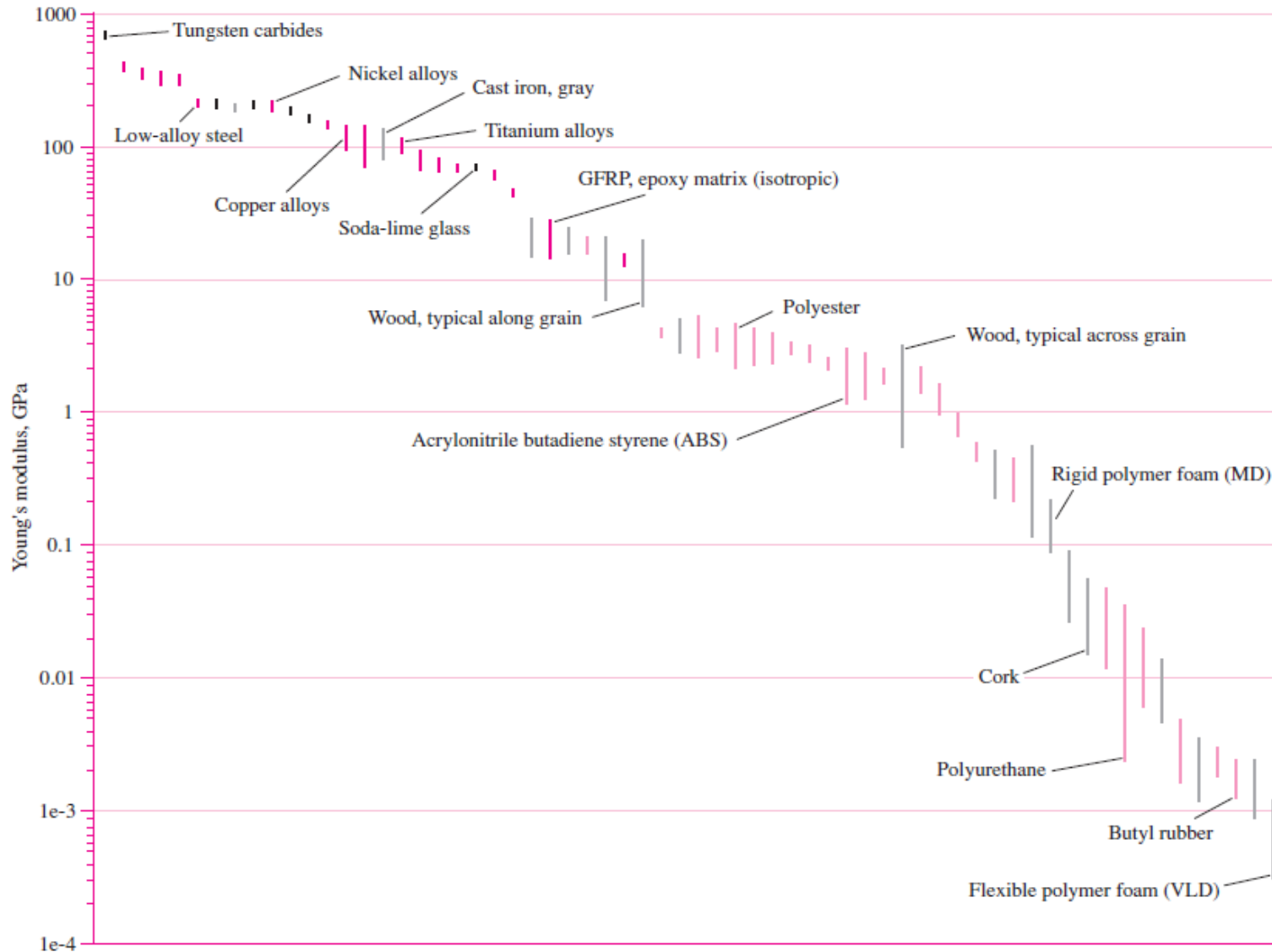
Módulo de Elasticidade

- ▶ O Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young, nos informa quanto um componente/material vai se deformar elasticamente sob carregamento



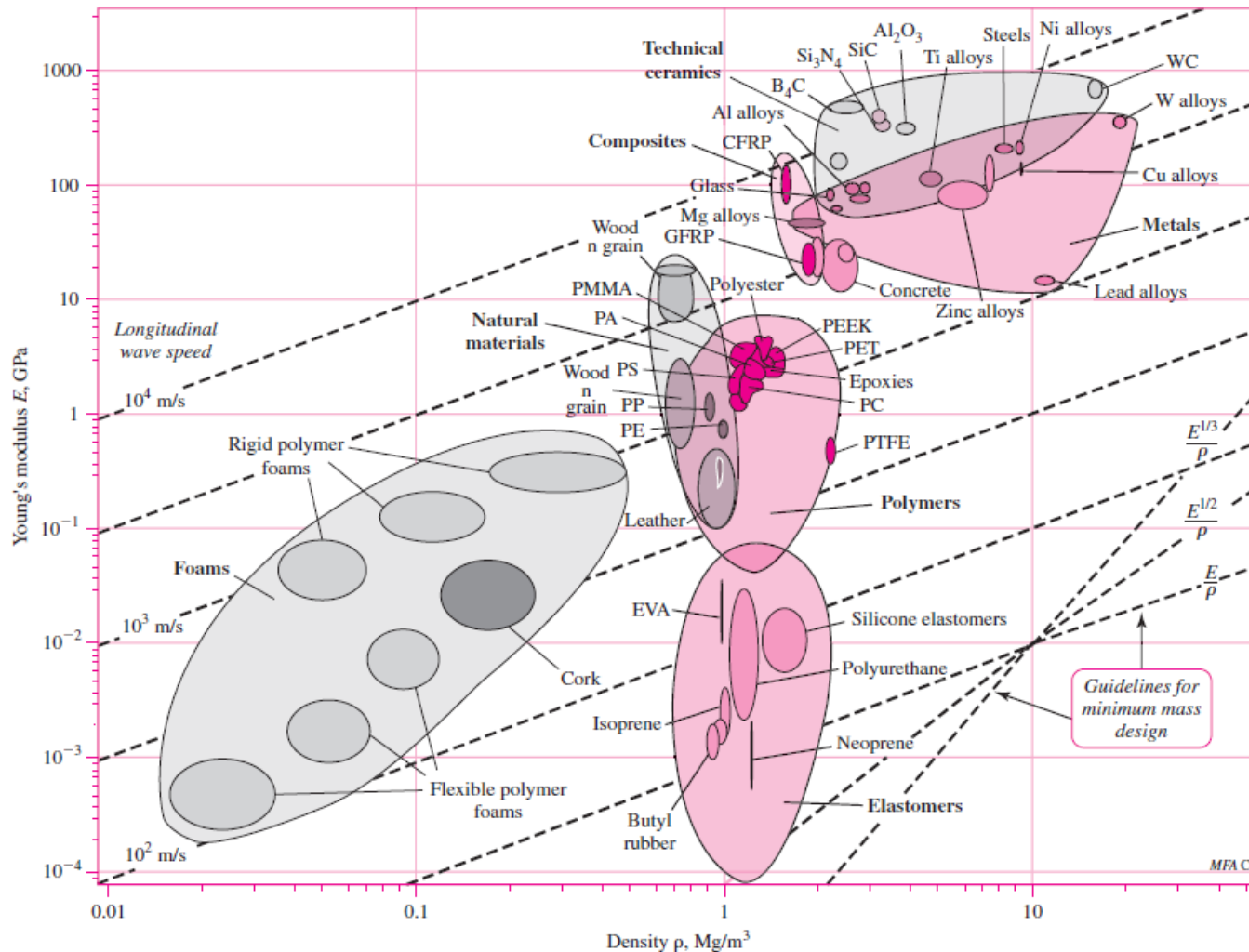


Módulo de Elasticidade





Módulo de Elasticidade

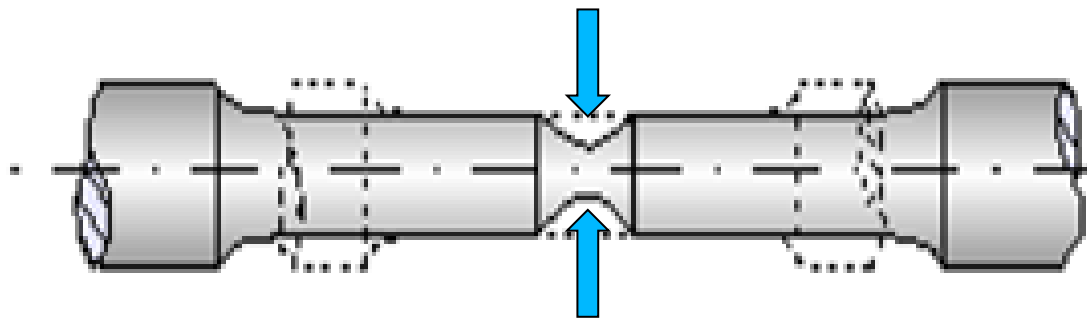


Ashby, M.F.; Materials Selection in Mechanical Design, Fourth Edition, Elsevier Science 2010



Relação de Poisson

- ▶ Coeficiente de Poisson expressa a constrição transversal de um corpo submetido a um carregamento e deformação normal
- ▶ Quando sob tensão (Z) o corpo de prova torna-se maior e mais fino, ou seja, contração na largura (X) e profundidade (Y)
- ▶ A relação de Poisson define quando de deformação lateral ocorre nas direções x e Y, quando ocorre deformação na direção Z





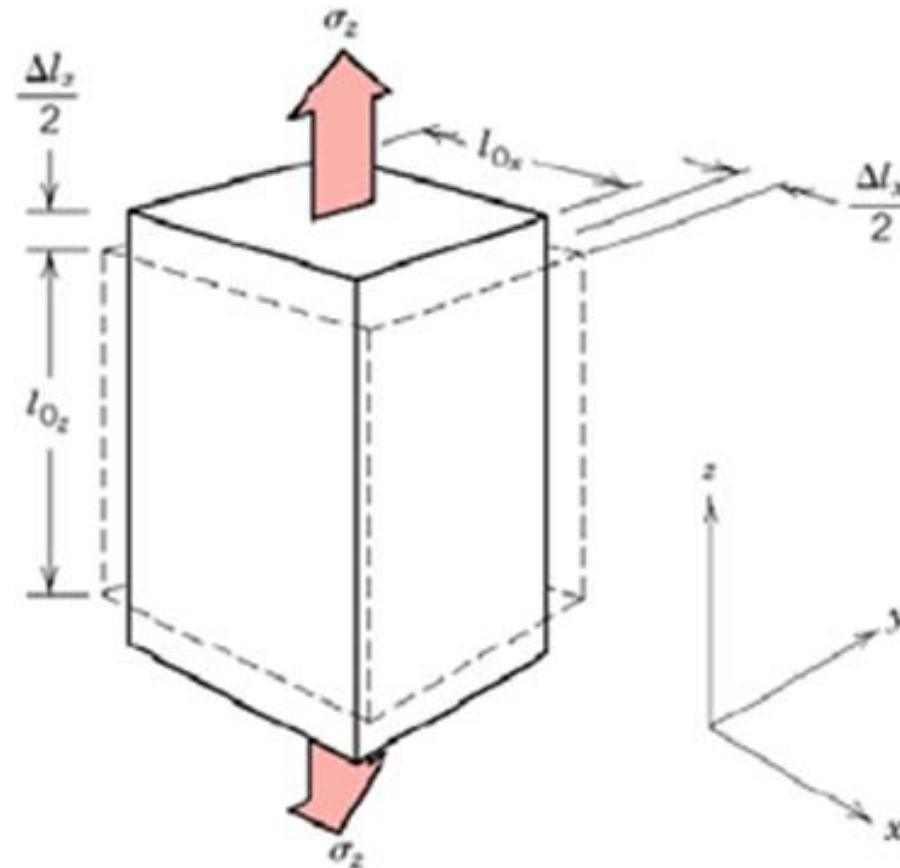
Relação de Poisson

- ▶ A relação de Poisson é expressa por:

$$\frac{\epsilon_z}{2} = \frac{\Delta l_z}{2 l_{0z}}$$

$$\frac{\epsilon_x}{2} = \frac{\Delta l_x}{2 l_{0x}}$$

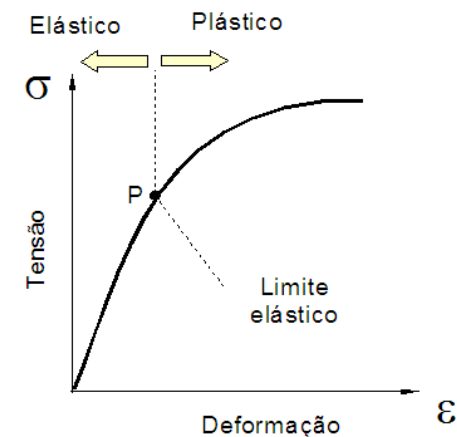
$$u = \frac{\left(\frac{\Delta l_z}{2}\right)}{\left(\frac{\Delta l_x}{2}\right)} = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l}$$





Deformação plástica

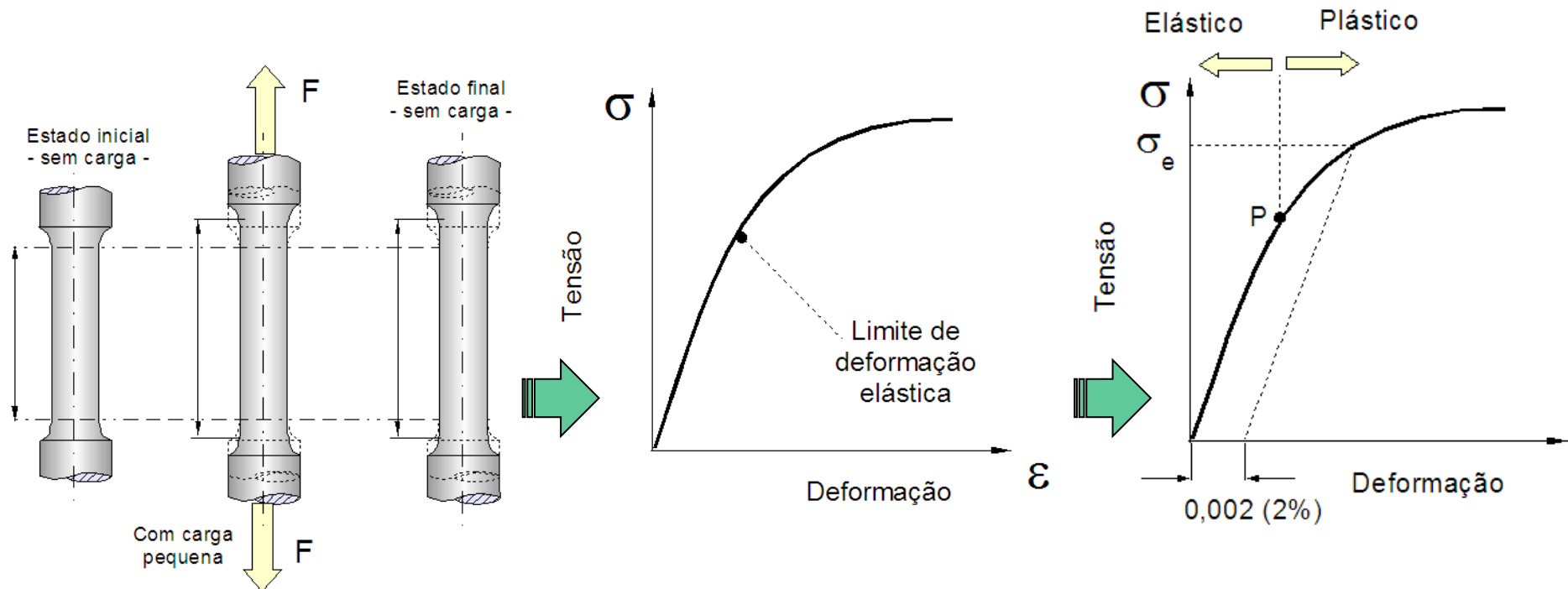
- ▶ Limite elástico é o ponto onde a curva tensão deformação torna-se não linear, ou seja, a deformação passa não ser mais proporcional a tensão
- ▶ A tensão e a deformação neste ponto são denominadas de limites proporcionais
- ▶ A partir desse ponto a Lei de Hooke não é mais válida para determinar a relação de proporcionalidade entre tensão e deformação em tração ou cisalhamento





Deformação plástica

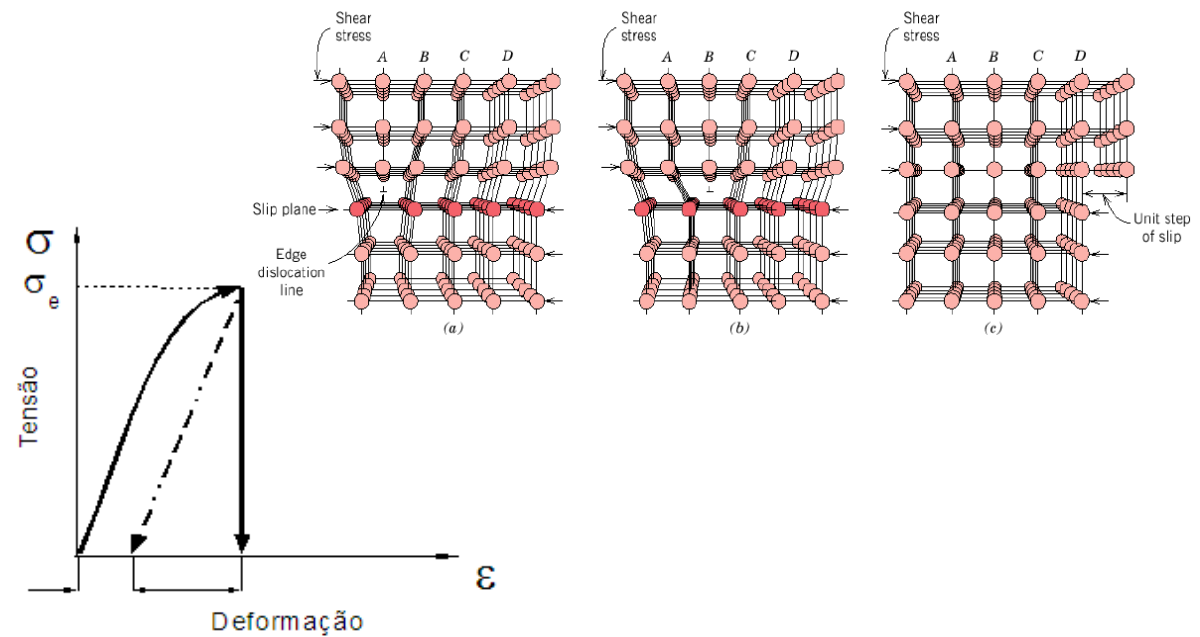
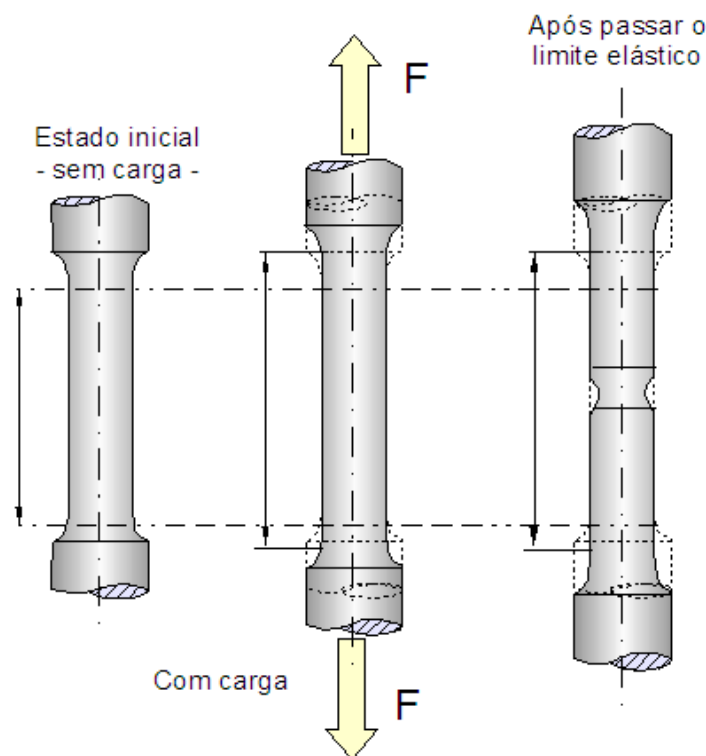
- ▶ A partir do ponto limite de deformação elástica tensão e deformação não são mais proporcionais. O que torna a deformação não é mais reversível





Deformação plástica

- ▶ A deformação ocorre pelo rearranjo das ligações atômicas. Em materiais cristalinos primariamente ocorrem pelo deslocamento das discordâncias





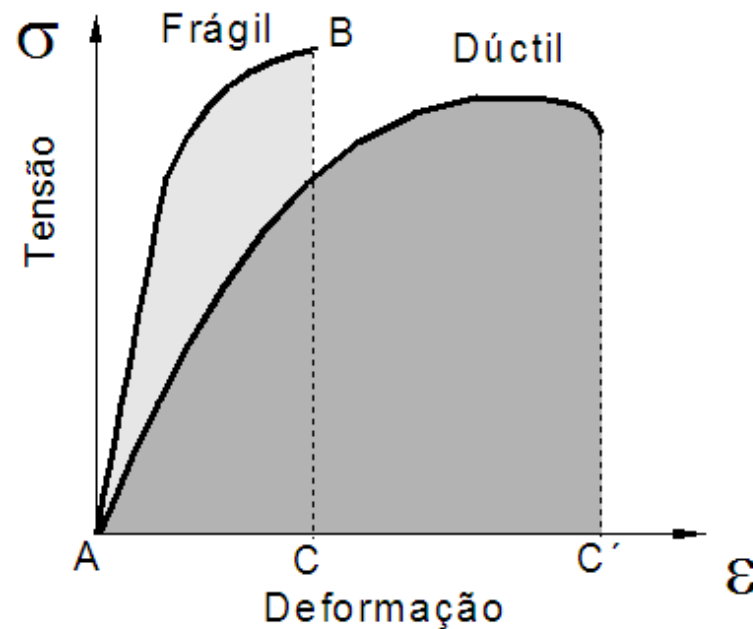
Ductilidade

- ▶ A ductilidade é a medida do grau de deformação plástica que é suportado quando da fratura
- ▶ A ductilidade permite classificar os materiais em dúcteis e frágeis
 - Materiais frágeis ==> suportam pouca ou nenhuma deformação plástica quando da fratura
 - Materiais dúcteis ==> suportam deformação plástica quando da ruptura, alguns mais outros menos



Ductilidade

- ▶ Quantitativamente a ductilidade pode ser expressa em termos de alongamento percentual, quanto em redução de área

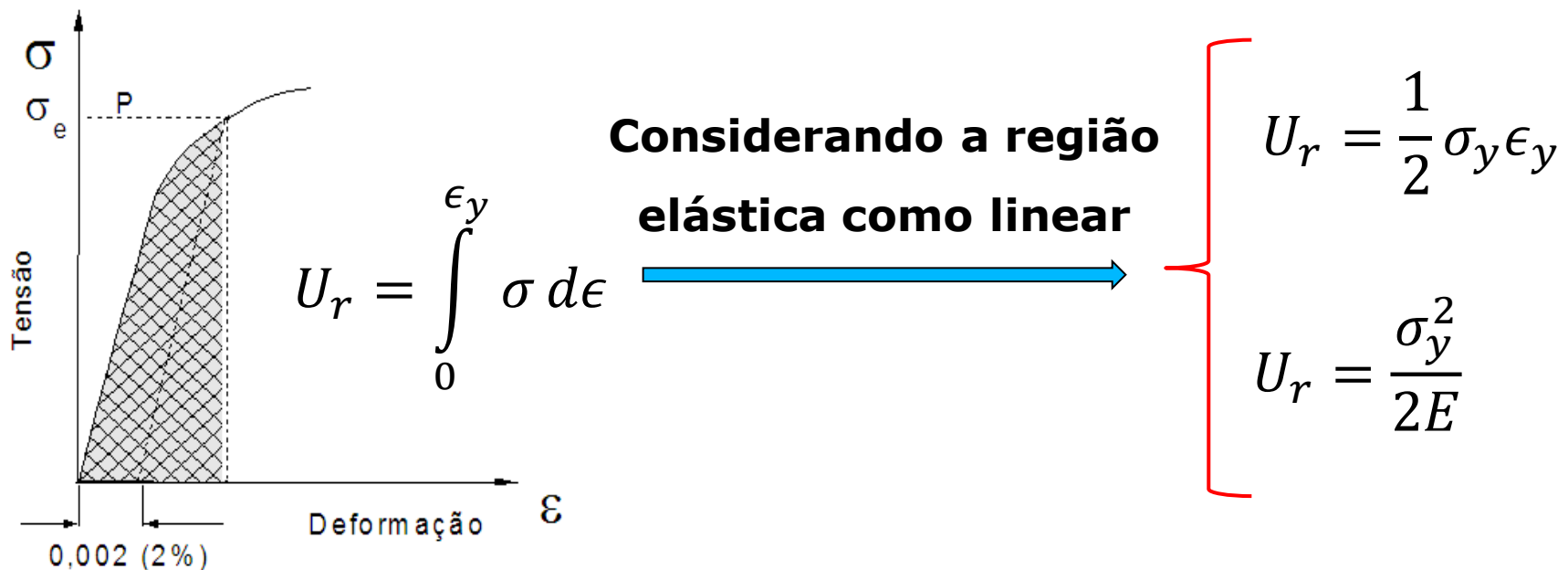


$$%EL = \frac{(l_f - l_0)}{l_0} * 100_f$$



Resiliência

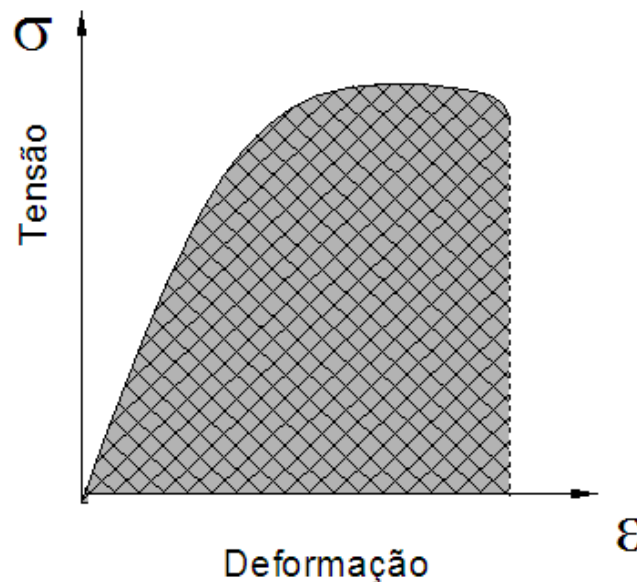
- ▶ A resiliência é a capacidade do material de absorver energia quando é deformado elasticamente e depois, com a retirada desse carregamento ter a energia recuperada
- ▶ Propriedade é representada pelo Módulo de resiliência U_r





Tenacidade

- ▶ A tenacidade geralmente representa a capacidade de um material em absorver energia até sua fratura
- ▶ A tenacidade depende fortemente da geometria do corpo e da forma (intensidade, direção, etc.) de como a carga é aplicada
- ▶ Sob o ponto de vista prático ela representa a área total sob a curva Tensão X Deformação até a ruptura





Deformação Plástica

- ▶ Suponha que uma tensão trativa seja aplicada ao corpo e então a retirada após o ponto de escoamento ser alcançado
- ▶ Nesse caso a deformação é irreversível e a remoção do carregamento leva o material a não retornar ao seu estado original



Vídeos sobre ensaio de Tração



<https://www.youtube.com/watch?v=HGwtRn4UQKA>

<https://www.youtube.com/watch?v=WDRT4ovHcaY>

<https://www.youtube.com/watch?v=kSbgHLXRMZ0>

<https://www.youtube.com/watch?v=67fSwIjYJ-E>

<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kcpcM&t=340s>



Vídeos sobre ensaio de Dureza

➤ **Brinell Hardness Test**

<https://www.youtube.com/watch?v=RJXJpeH78iU>

➤ **Rockwell Hardness Test**

<https://www.youtube.com/watch?v=G2JGNIIvNC4>

➤ **Vickers Hardness Test**

<https://www.youtube.com/watch?v=7Z90OZ7C2jI>



Outros tipos de ensaio importantes

➤ Ensaio Charpy

<https://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo>

<https://www.youtube.com/watch?v=cvdvTtJPAwA>

➤ Ensaio de fadiga

https://www.youtube.com/watch?v=LhUclxBUV_E



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

- Fim -