



# **MECÂNICA DOS SÓLIDOS**

## **PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS**

Prof. Dr. Daniel Caetano

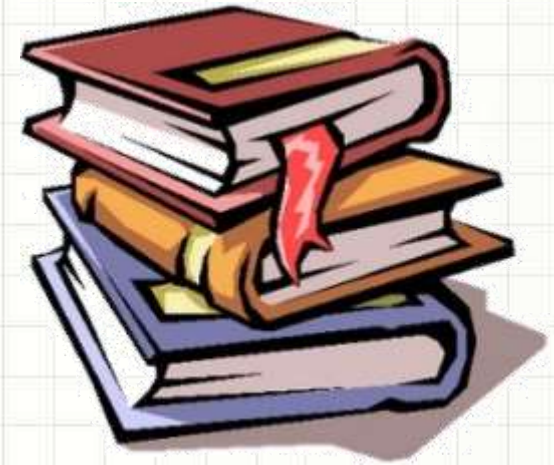
2019 - 1

# Objetivos

- Conhecer o comportamento dos materiais na tração e compressão
- Compreender o gráfico de tensão x deformação
- Conhecer os diferentes tipos de materiais
- Conhecer as diferentes fases da deformação dos materiais
- Compreender fluência e fadiga
- **Atividade Aula 10 – SAVA!**
- **Pós-Aula 10 – SAVA**



# Material de Estudo



---

## Material

## Acesso ao Material

Apresentação

<http://www.caetano.eng.br/>  
(Mecânica dos Sólidos – Aula 10)

Material Didático

-

Minha Biblioteca

-

Biblioteca Virtual

Resistência dos Materiais (Hibbeler, 7ª, cap. 3)

---

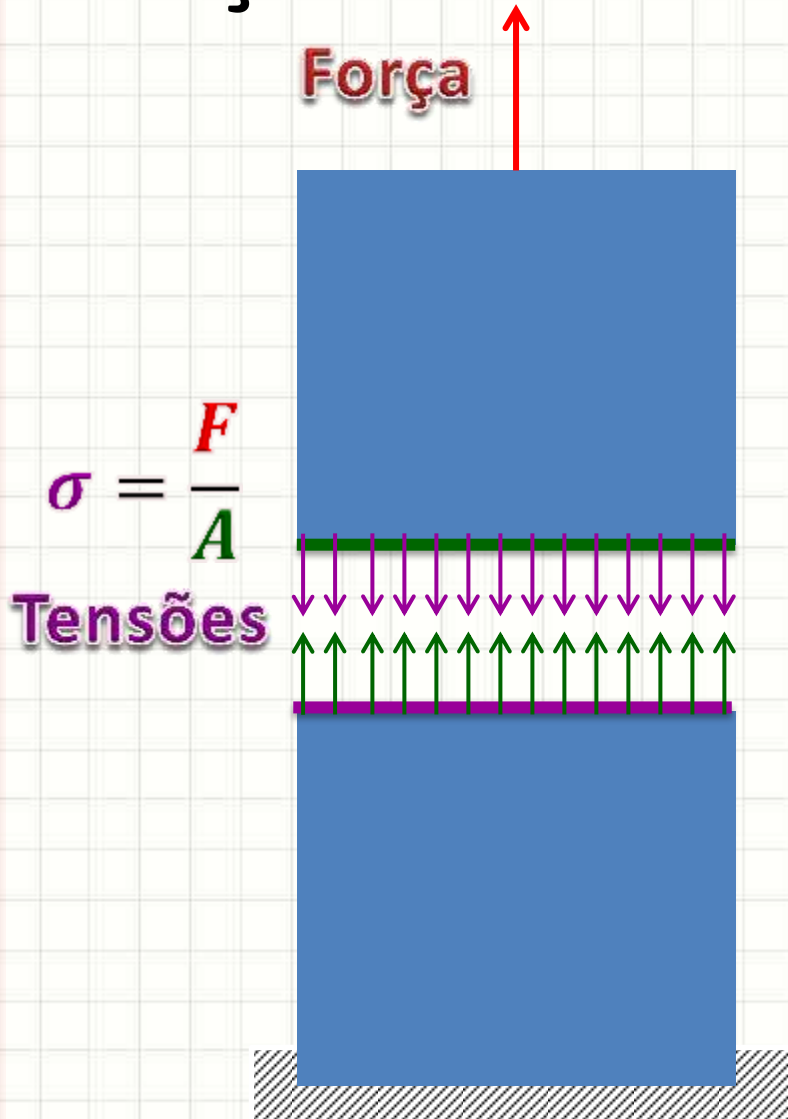
**LEMBRETE: CONSULTAR O “DEPOIS” DA AULA 10 NO SAVA!**



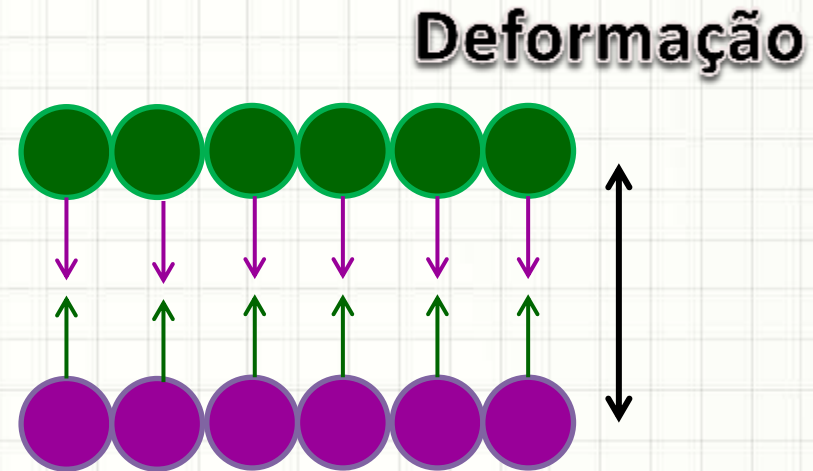
RETOMANDO:

# TENSÕES E DEFORMAÇÕES

# Força Axial x Tensão Normal



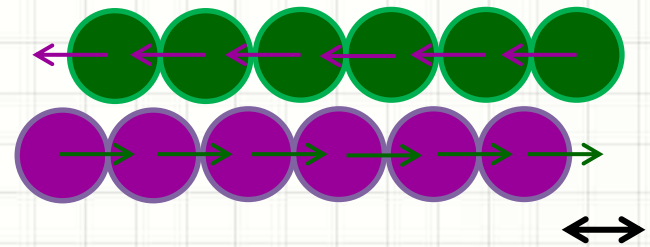
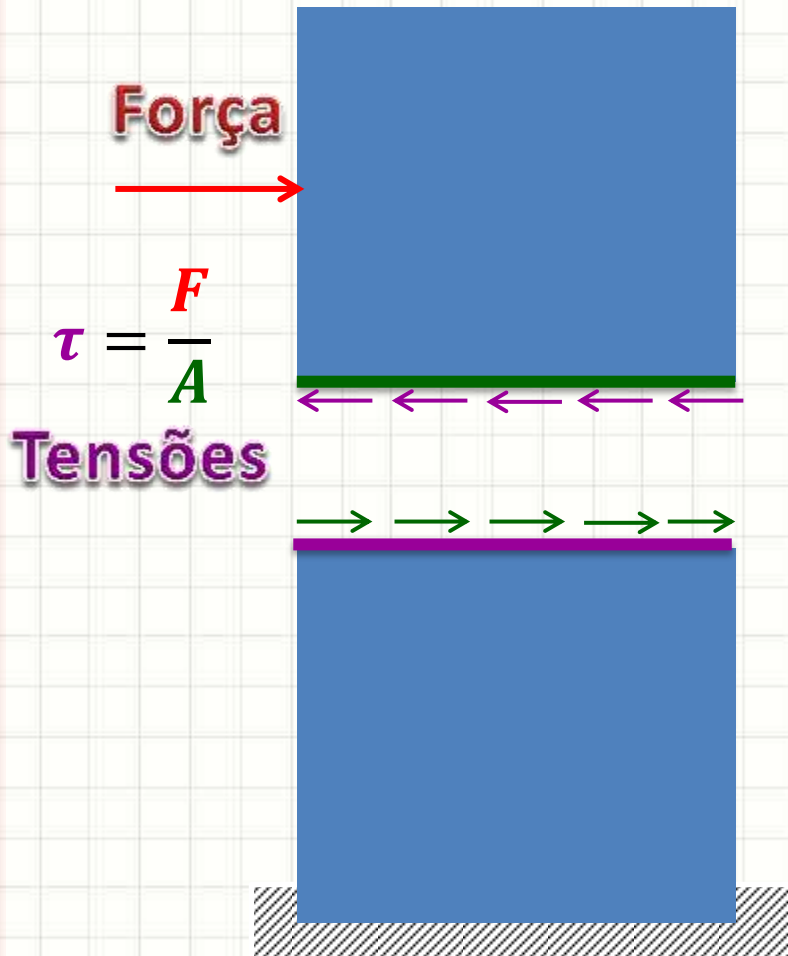
- Corpo Sólido: ligações atômicas mantêm os átomos unidos



$$\epsilon_{méd} = \frac{\Delta S' - \Delta S}{\Delta S}$$

# Força Cortante x Tensão de Cisalhamento

- Corpo Sólido: ligações atômicas mantêm os átomos unidos



$$\gamma_{nt} = \frac{\pi}{2} - \lim_{\substack{B \rightarrow A \text{ ao longo de } n \\ C \rightarrow A \text{ ao longo de } t}} \theta'$$



# ENSAIO DE TENSÃO

# Quanto resiste um material?

- Ensaio de tensão



**VÍDEO**



# Deformação do Material

- Tensão x Deformação



Indeformado



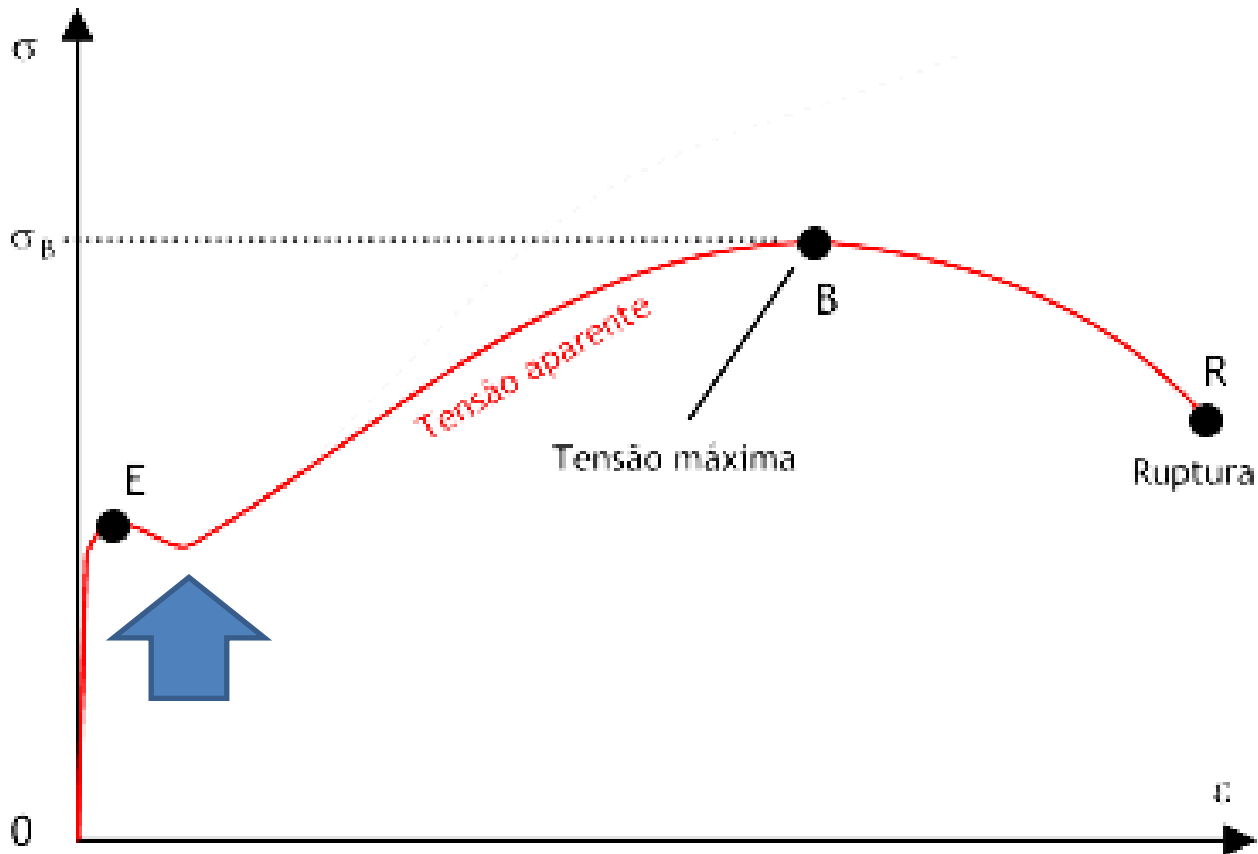
Deformação  
Elástica



Deformação  
Plástica

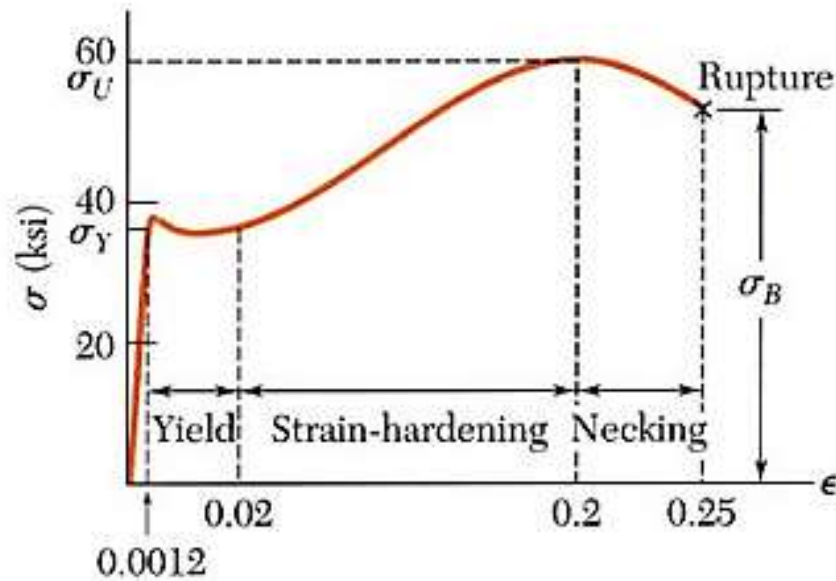
# Tensão x Deformação

- Material Elastoplástico / Dúctil

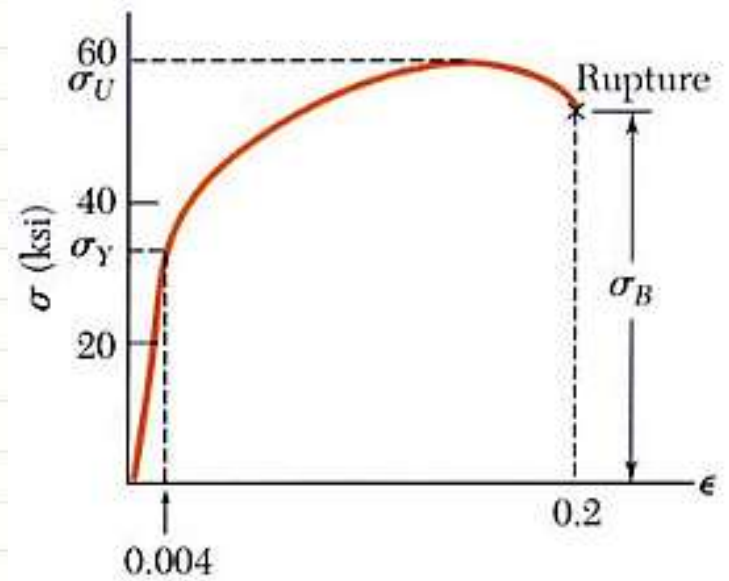


# Tensão x Deformação

- Material Elastoplástico / Dúctil



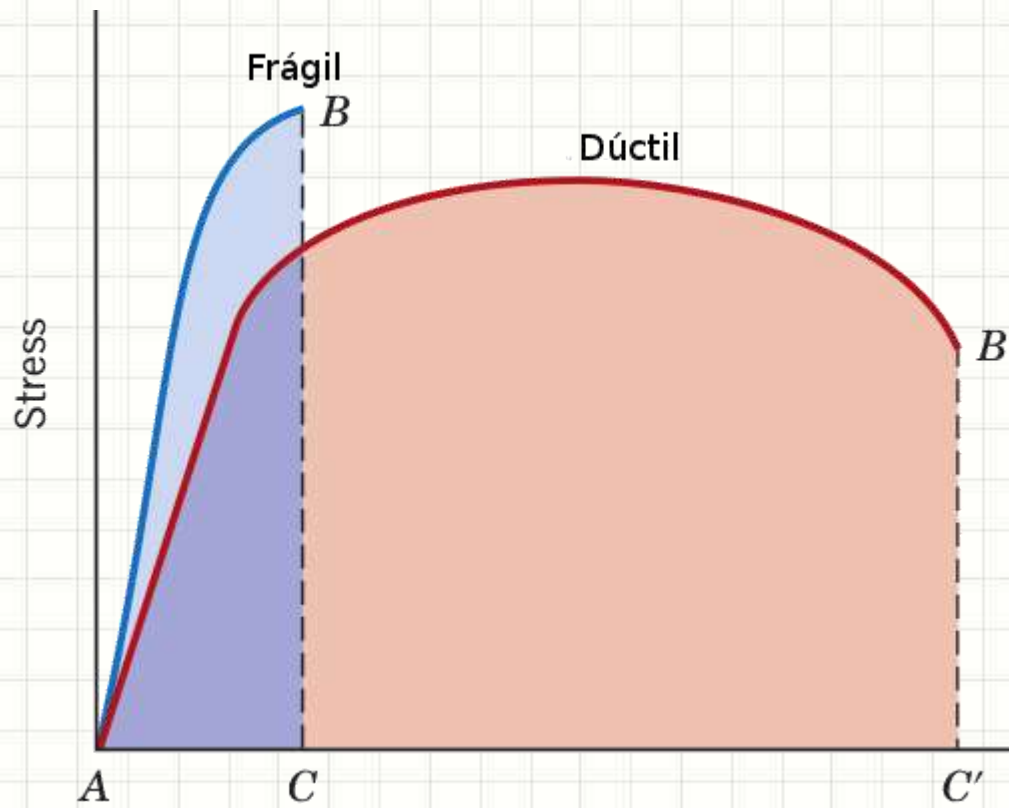
(a) Low-carbon steel



(b) Aluminum alloy

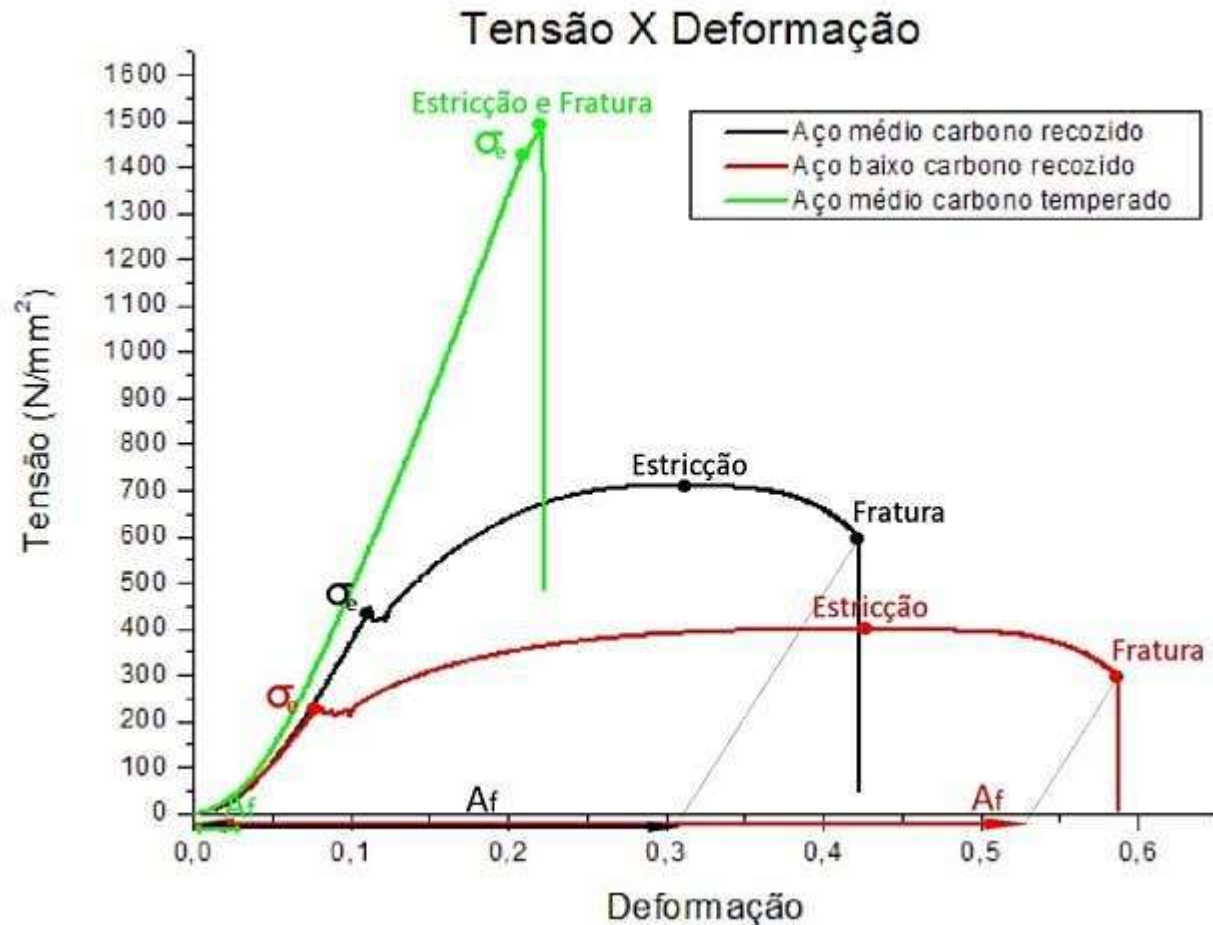
# Tensão x Deformação

- Material Frágil



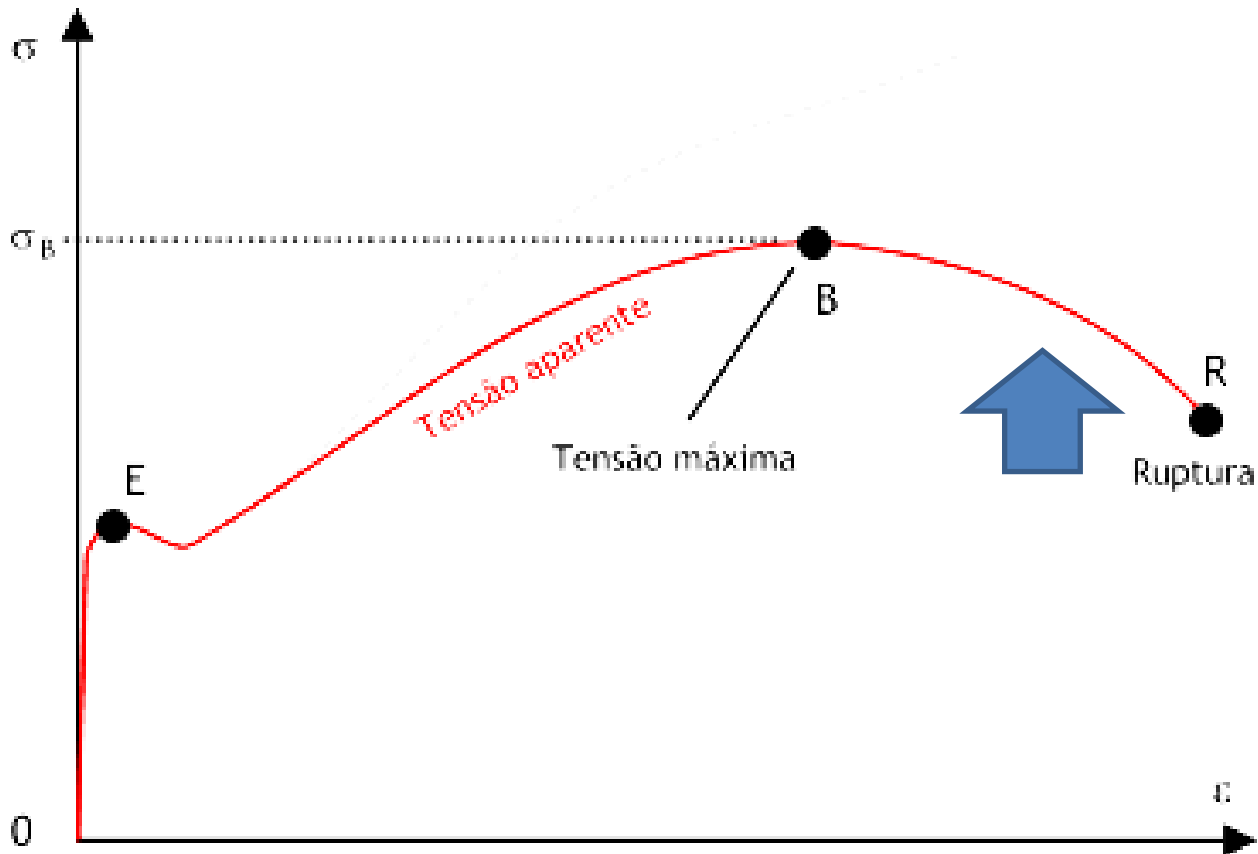
# Tensão x Deformação

- Variações na composição / preparo



# Tensão x Deformação

- Queda da tensão aparente

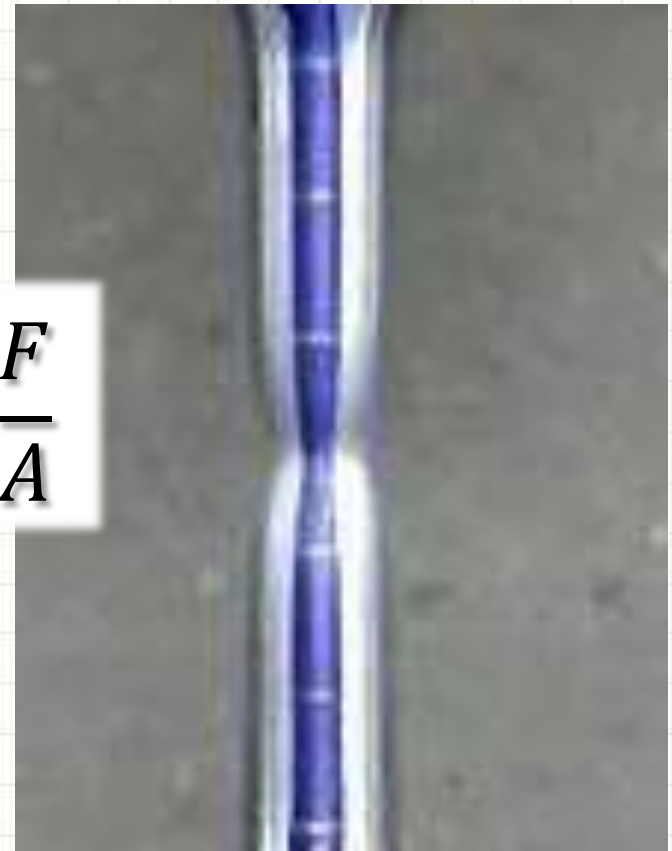


# Tensão x Deformação

- Queda da tensão aparente



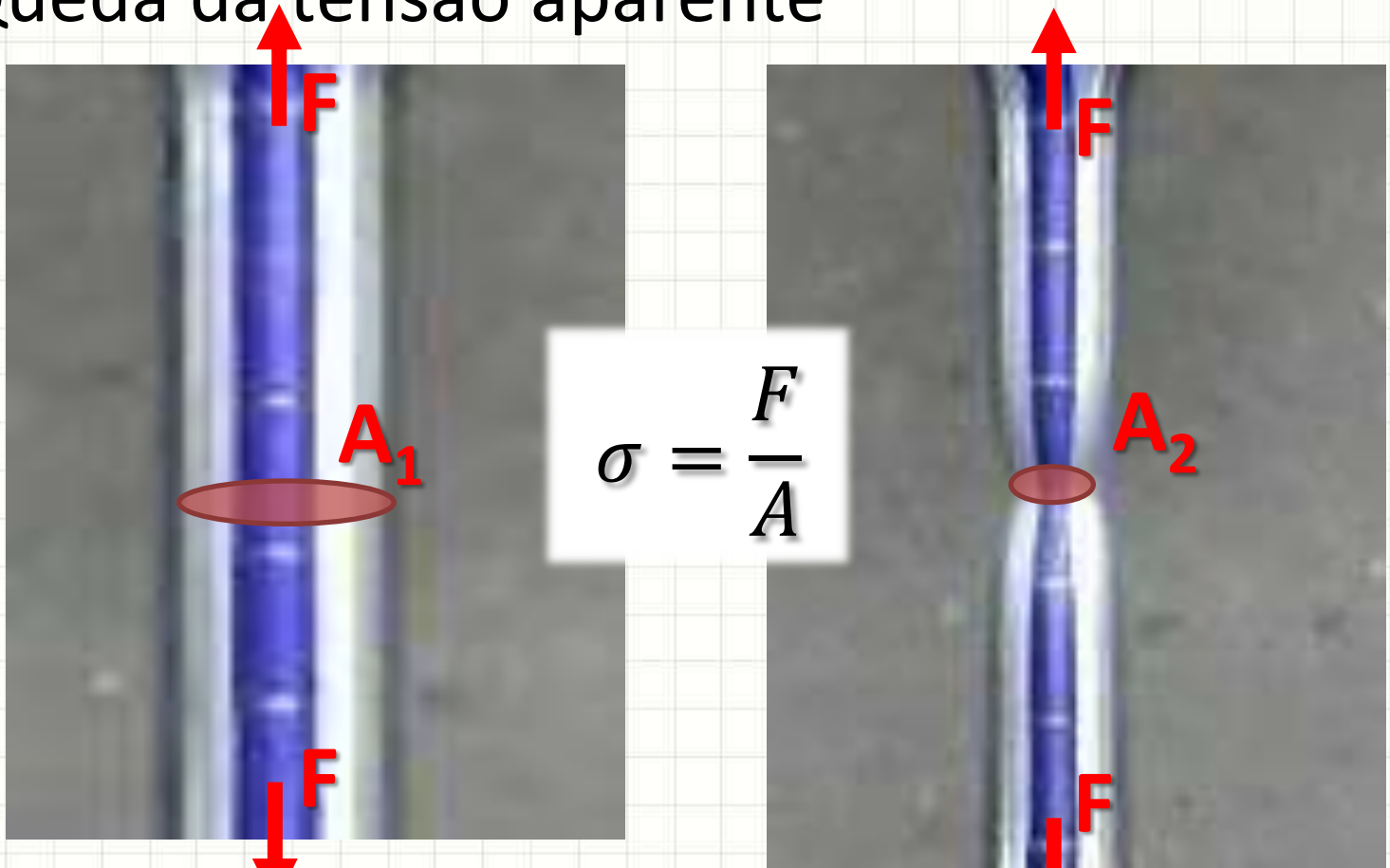
$$\sigma = \frac{F}{A}$$



**Isso explica?**

# Tensão x Deformação

- Queda da tensão aparente

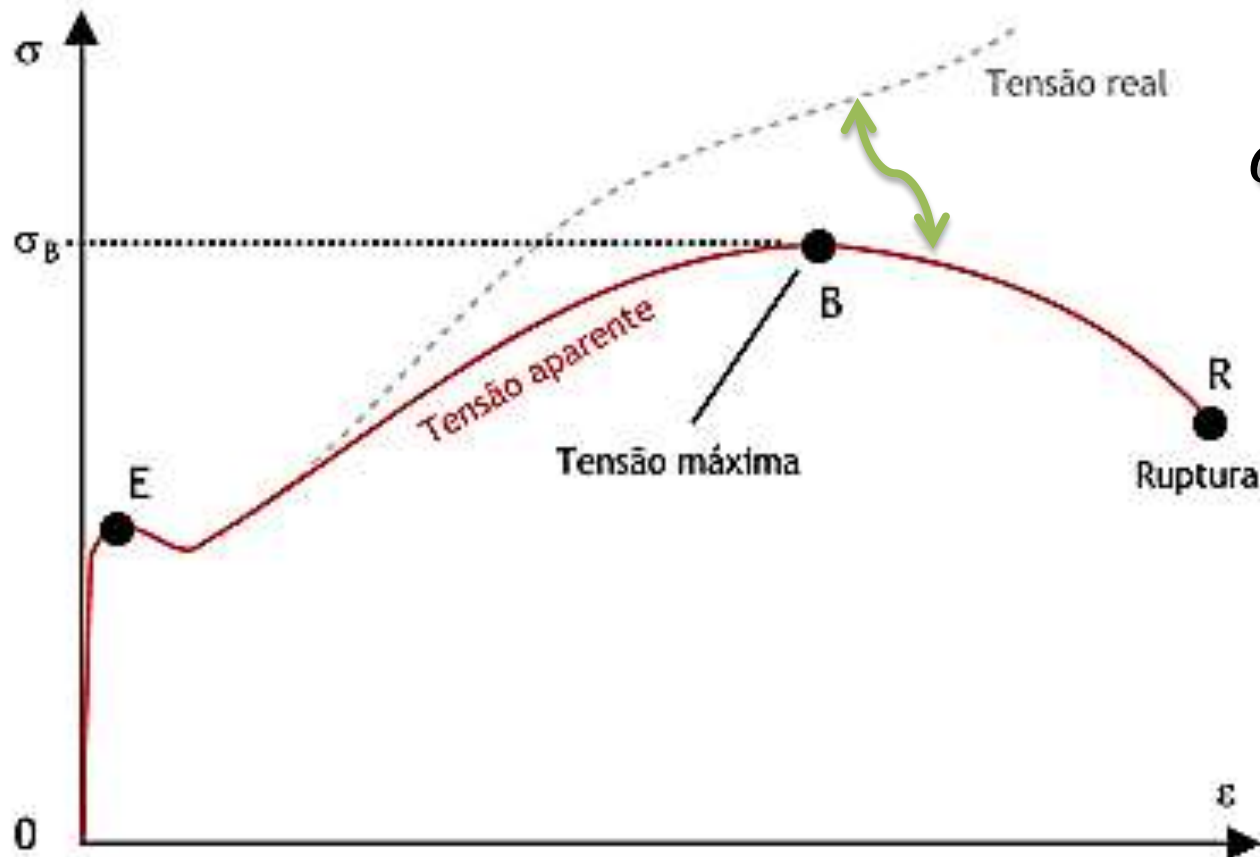


Área Resistente Reduzida:  
Menos Força Continua Deformando




# Tensão x Deformação

- Queda da tensão aparente



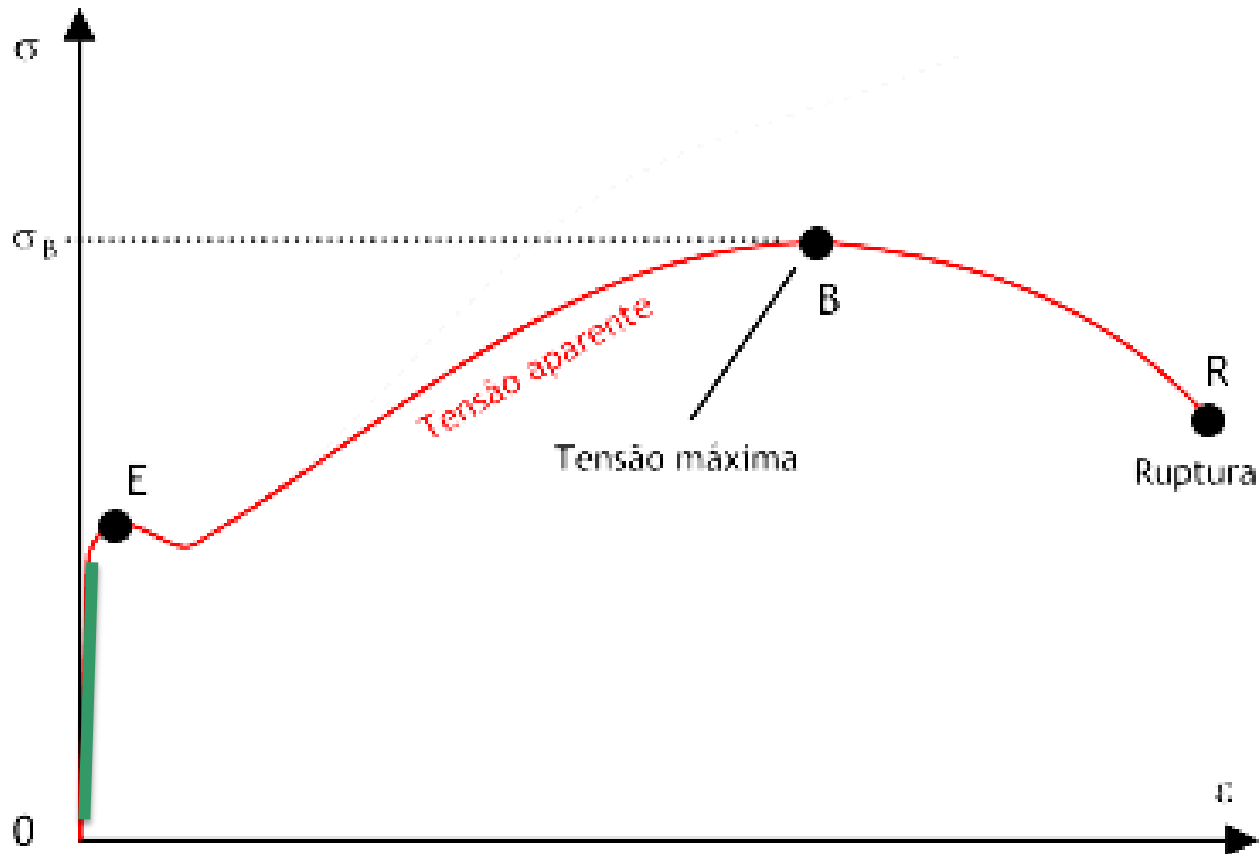
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

The background features a light gray grid pattern. In the upper left corner, there are several overlapping, wavy red lines of varying thickness and opacity, creating a dynamic, abstract design. The text is positioned on the right side of the grid.

# **DEFORMAÇÃO E ENERGIA**

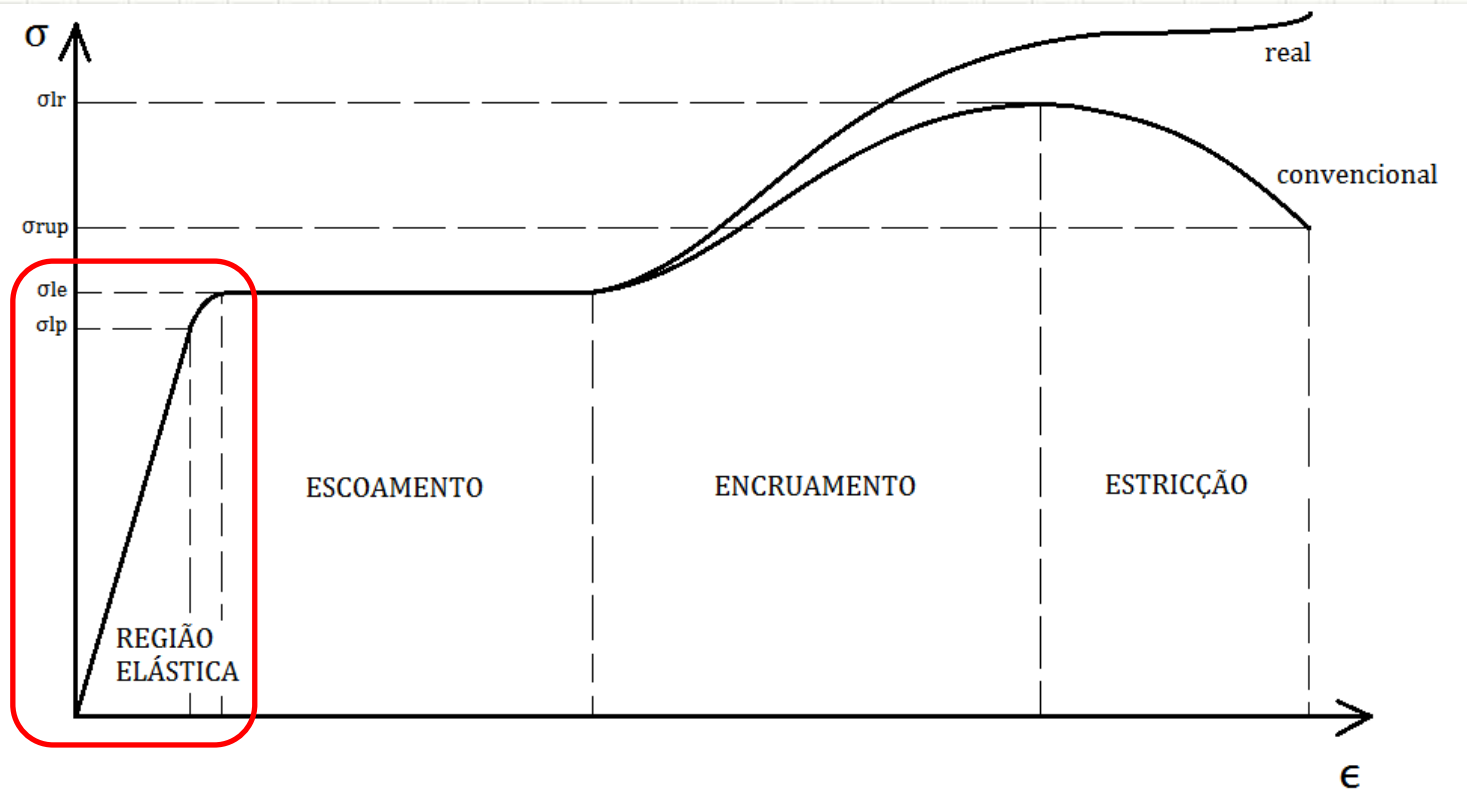
# Deformação Elástica

- Alguns materiais: trecho linear



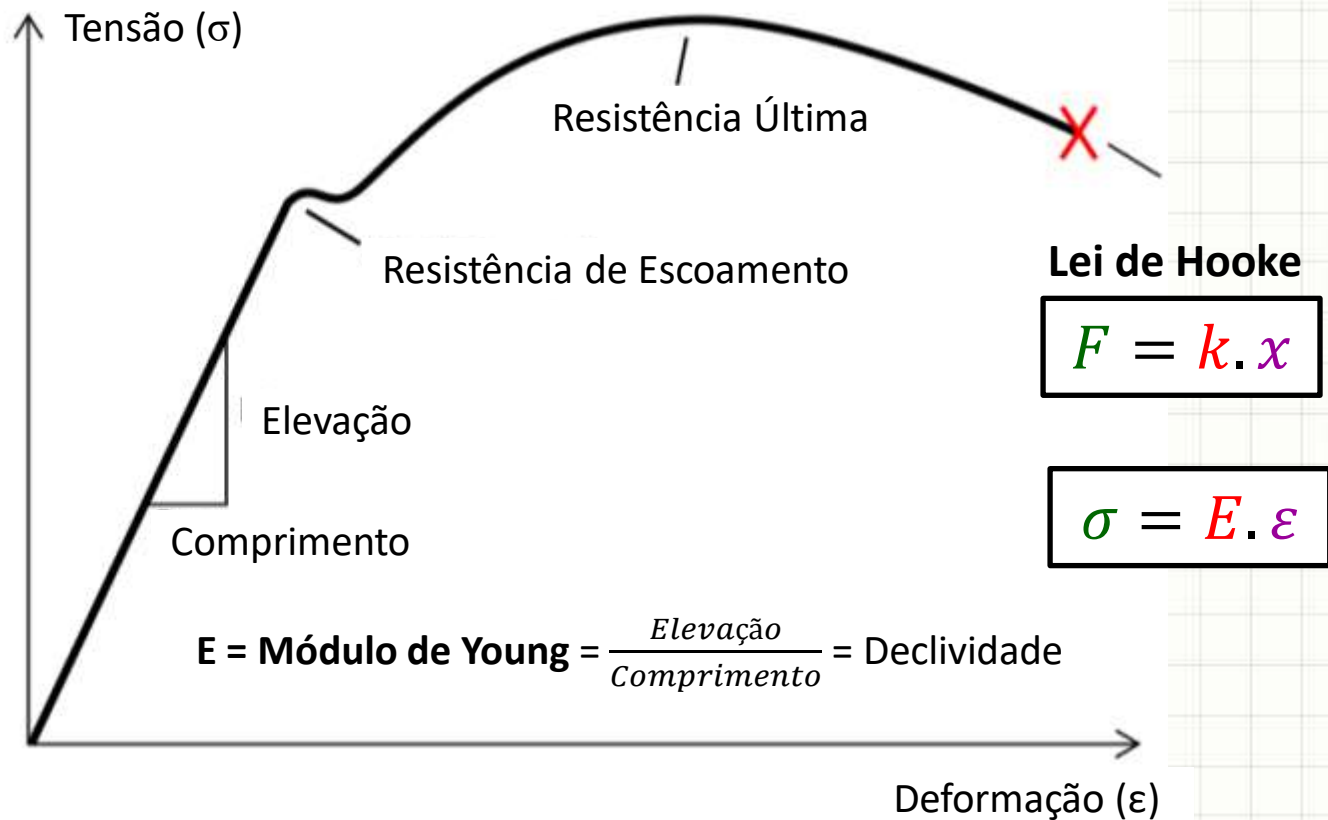
# Deformação Elástica

- Gráfico Tensão x Deformação simplificado



# Deformação Elástica

- Gráfico Tensão x Deformação simplificado



# Energia de Deformação

- Energia Elástica

- Trabalho que a  $F_{\text{elástica}}$  exerce sobre uma mola

$$F = k \cdot x$$

$$E_{pe} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

ou

$$E_{pe} = \frac{F \cdot x}{2}$$

- Energia de Deformação (na região elástica)?

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$U = \frac{E \cdot \varepsilon^2}{2} \cdot Vol$$

ou

$$U = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{2} \cdot Vol$$

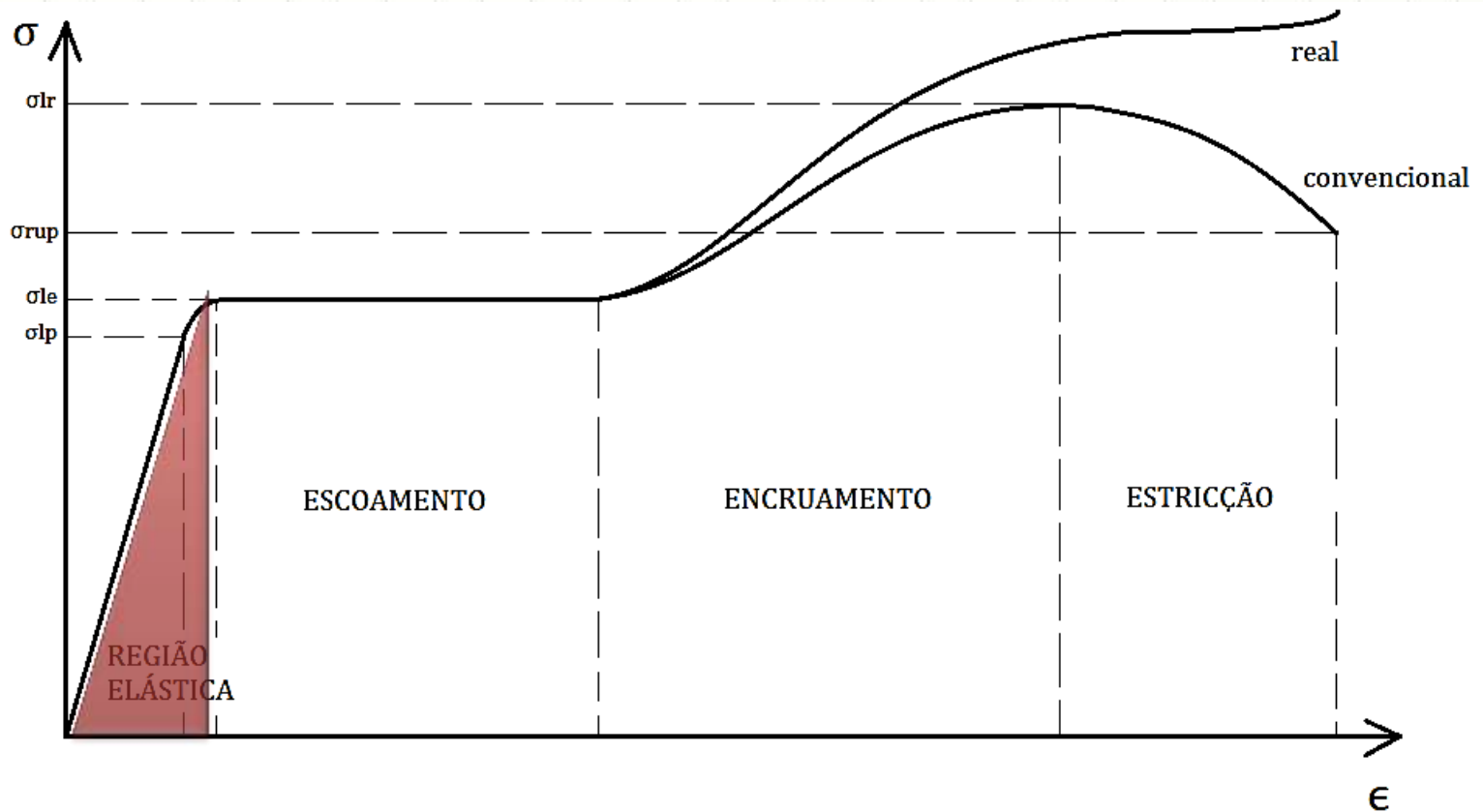
# Energia de Deformação

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$U = \frac{E \cdot \varepsilon^2}{2} \cdot Vol$$

ou

$$U = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{2} \cdot Vol$$



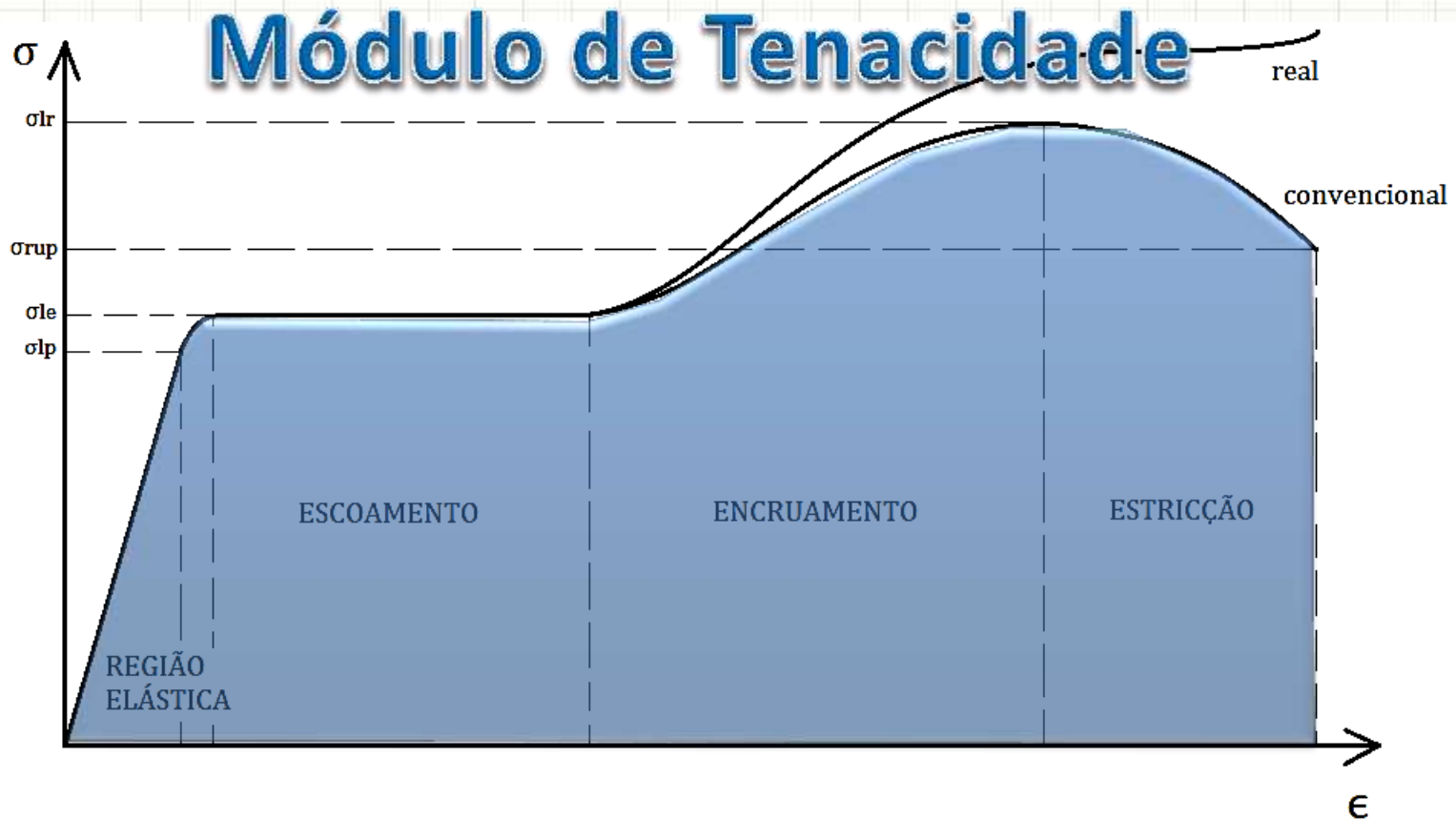
# Energia de Deformação

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$U = \frac{E \cdot \varepsilon^2}{2} \cdot Vol$$

ou

$$U = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{2} \cdot Vol$$





# Exemplo

- Uma barra de 10 m e seção transversal de área 0,1 m<sup>2</sup>, após a aplicação de uma carga de 1kN, ficou com um comprimento de 11m. Qual o **Módulo de Elasticidade**?

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{10^4}{10^{-1}} = 10^5 = \mathbf{100kPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1000}{0,1} = 10^4 \text{ N}$$

$$L_f = L_i + L_i \cdot \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = \frac{L_f - L_i}{L_i} = \frac{11 - 10}{10} = 10^{-1}$$

# Exercício

- Uma barra de 25 m e seção transversal de área  $0,2 \text{ m}^2$ , após a aplicação de uma carga de 2kN, ficou com um comprimento de 25,01m. Qual o **Módulo de Elasticidade**?

# Exercício

- Uma barra de 25 m e seção transversal de área 0,2 m<sup>2</sup>, após a aplicação de uma carga de 2kN, ficou com um comprimento de 25,01m. Qual o **Módulo de Elasticidade**?

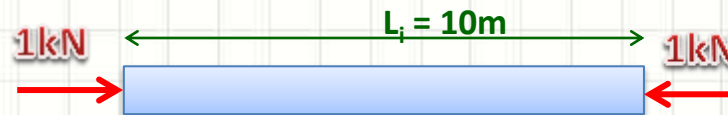
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{10^4}{4 \cdot 10^{-4}} = 4 \cdot 10^8 = \mathbf{400MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{2000}{0,2} = 10^4 \text{ N}$$

$$L_f = L_i + L_i \cdot \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = \frac{25,01 - 25}{25} = \frac{0,01}{25} = 4 \cdot 10^{-4}$$

# Exemplo

- Qual o comprimento final de uma barra de 10 metros, de seção quadrada de 10cm de lado, de material de módulo  $E = 20\text{GPa}$ , ao ser comprimida por uma força de 1kN?



$$L_f = L_i + L_i \cdot \epsilon = 10 + 10 \cdot (-0,5 \cdot 10^{-5}) = 9,99995\text{m}$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{-10 \cdot 10^4}{20 \cdot 10^9} = -0,5 \cdot 10^{-5} \text{m/m}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{-1000}{0,1 \cdot 0,1} = -10 \cdot 10^4 \text{ N}$$

# Exercício

- Uma barra de 25 metros, de seção circular de raio igual a 0,1m e módulo  $E = 1\text{GPa}$  é tracionada por uma força de 314kN. Qual a **deformação** dessa barra?

# Exercício

- Uma barra de 25 metros, de seção circular de raio igual a 0,1m e módulo  $E = 1\text{GPa}$  é tracionada por uma força de 314kN. Qual a **deformação** dessa barra?

$$\delta = L_i \cdot \epsilon = 25 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,25\text{m}$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{10 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^9} = 10 \cdot 10^{-3} \text{m/m}$$

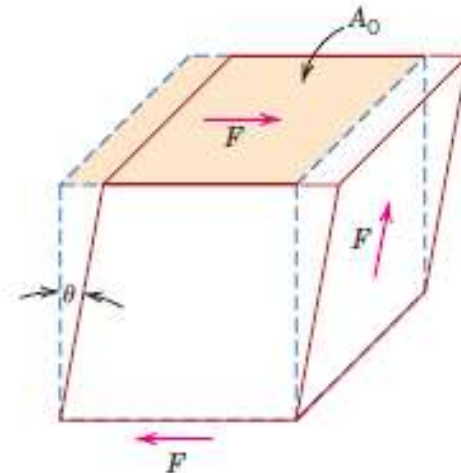
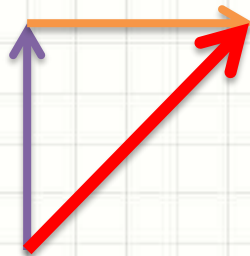
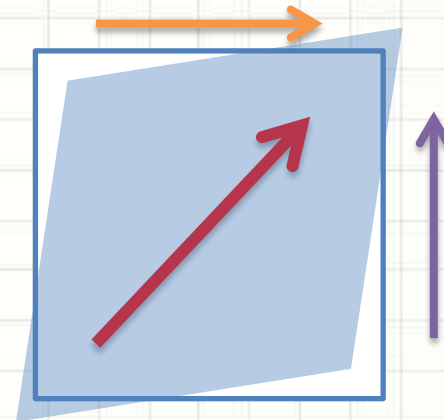
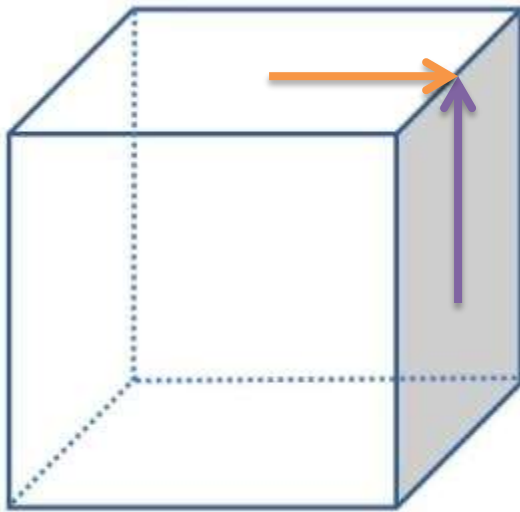
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{314 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,1^2} = \frac{100 \cdot 10^3}{10^{-2}} = 10 \cdot 10^6 \text{ N}$$



# **DEFORMAÇÃO DE CISALHAMENTO**

# Deformação de Cisalhamento

- A deformação de cisalhamento é diferente





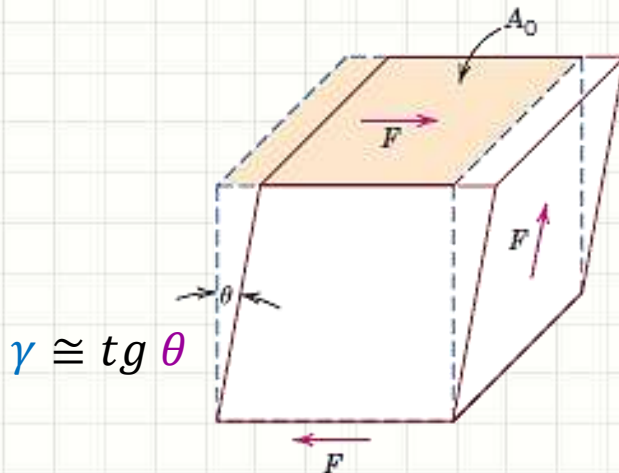
# Deformação de Cisalhamento

- A medida é parecida, no entanto
- Deformação Longitudinal



$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

- Deformação de Cisalhamento



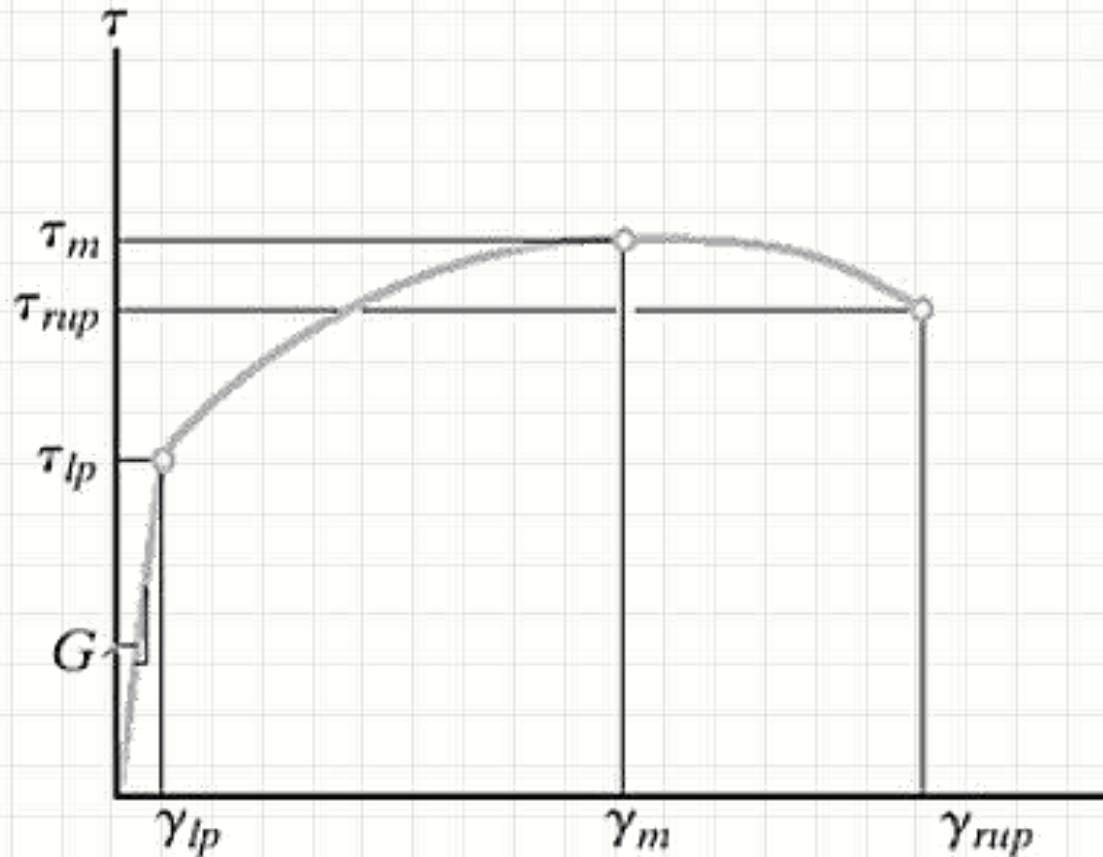
$$\tau = G \cdot \gamma$$

$G$  : Módulo de Elasticidade ao Cisalhamento

No espaço pode ocorrer em duas direções:  $\gamma_x$  e  $\gamma_y$

# Deformação de Cisalhamento

- Diagrama Tensão-Deformação



# Coeficiente de Poisson

- Nos materiais homogêneos e isotrópicos
  - Existe uma relação entre as deformações  $\gamma$  e  $\varepsilon$

$$\nu = \frac{\gamma}{\varepsilon}$$

| Material | $\nu$ |
|----------|-------|
| Aço      | 0,30  |
| Alumínio | 0,33  |
| Cobre    | 0,34  |
| Magnésio | 0,29  |
| Níquel   | 0,31  |
| Titânio  | 0,34  |

– Coeficiente de Poisson

– Também existe relação entre as elasticidades

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

# Deformação Transversal

- O que parece mais próximo da realidade?



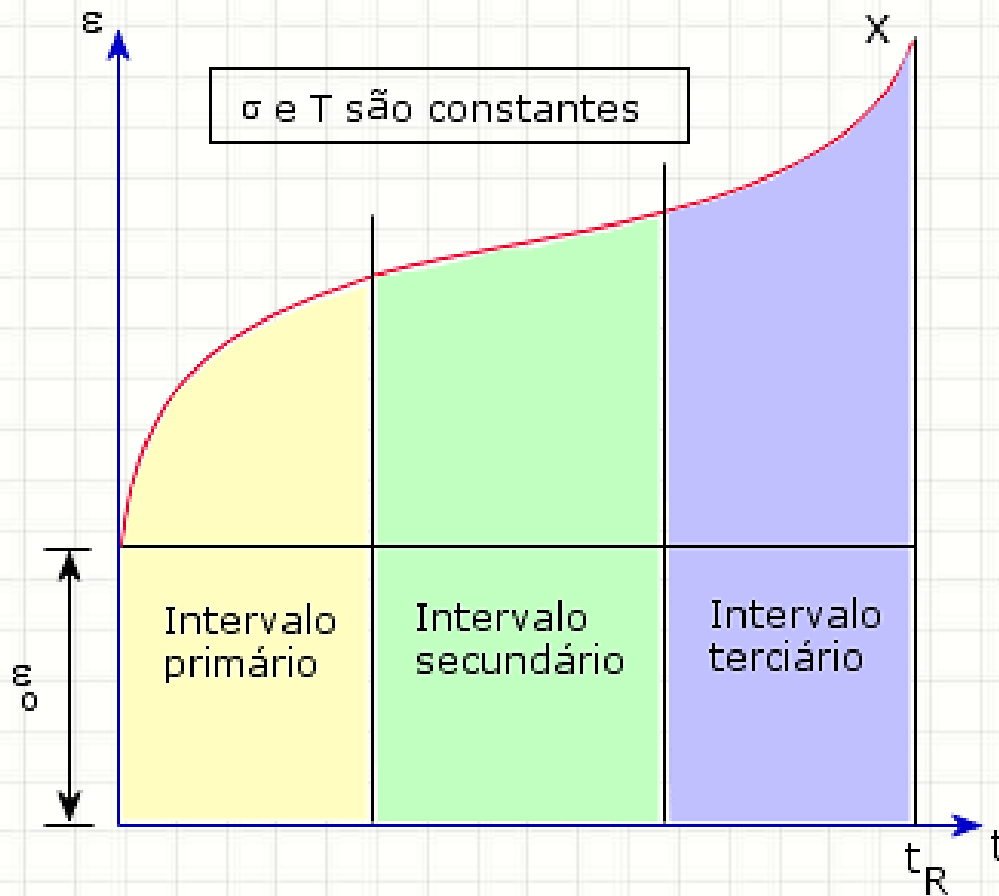
- De fato, ao ser esticado...
  - O corpo sofre um “afinamento” transversal
  - Variação pode ser determinada pelo  $\nu$



# FLUÊNCIA E FADIGA

# Fluência

- Tensão e carga  $c^{te}$ ... deformação crescente

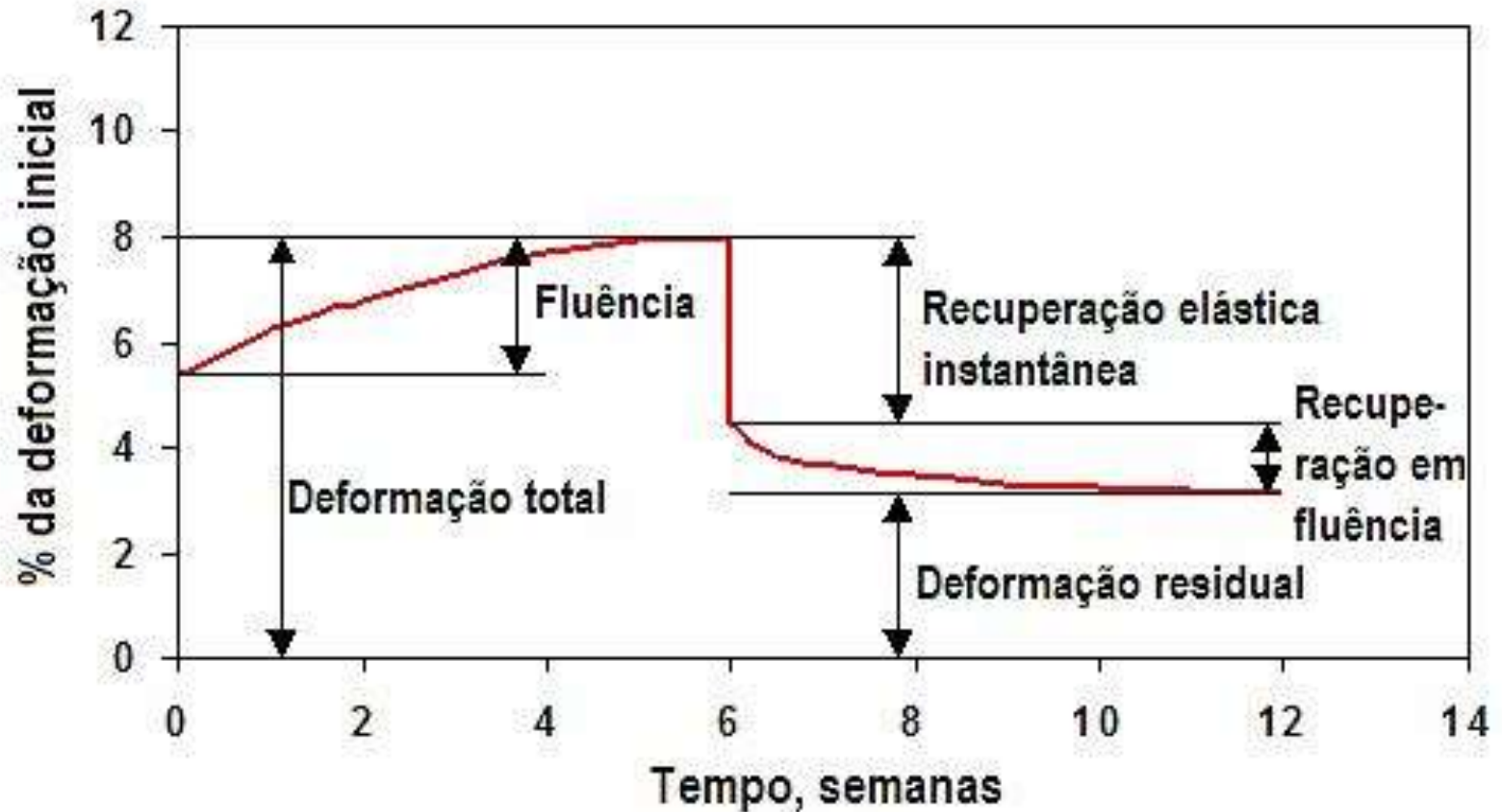


**Pode chegar  
a romper!**

**Exemplo?**

# Fluência

- Ao remover a carga?



# Fadiga

- Esforços e deformações repetitivos...
  - Reduzem a resistência

**Material dúctil pode  
passar a se comportar  
como frágil!**

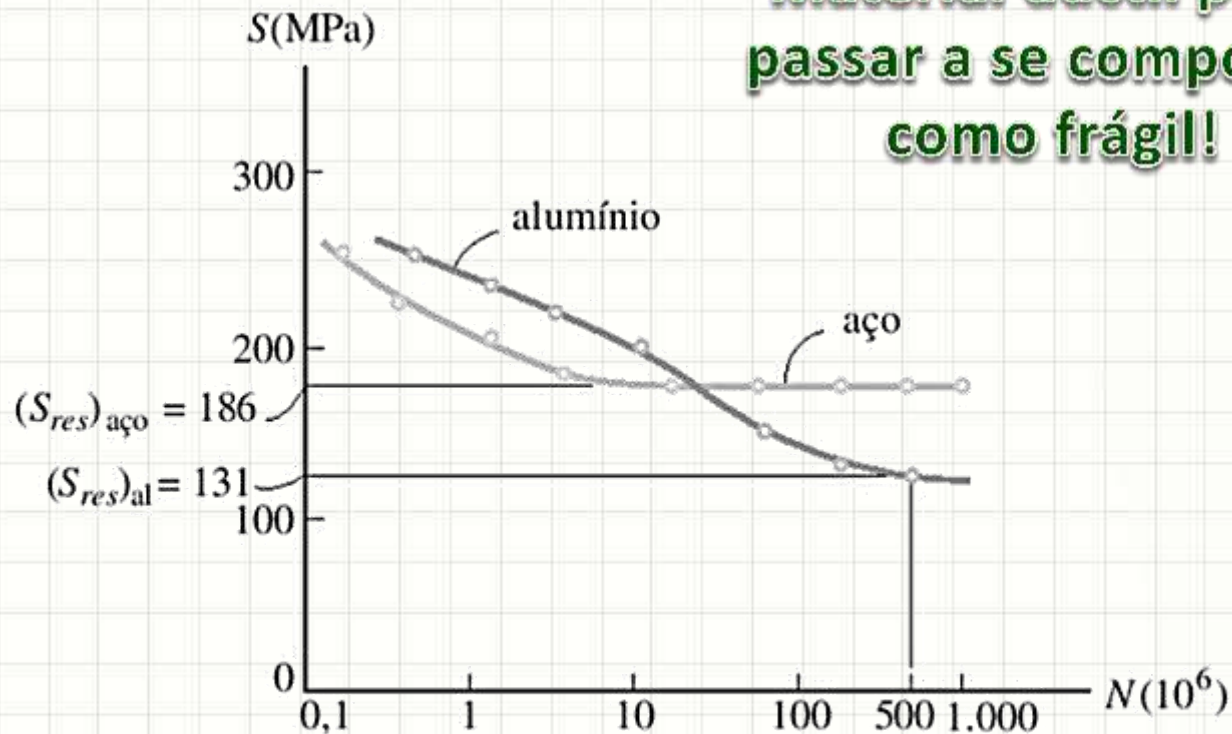


Diagrama S-N para ligas de aço e alumínio  
(o eixo  $N$  tem escala logarítmica)





# CONCLUSÕES

# Resumo

- Tensões: causam deformações
  - Deformações longitudinais ( $\varepsilon$ )
  - Deformações transversais/cisalhamento ( $\gamma$ )
- Modulo de Elasticidade (E e G)
  - Depende do material
  - Relação entre tensão e deformação

- Coeficiente de Poisson

- **TAREFA:** Exercícios Aula 10

**SAVA10!**

- Aula online e leitura do livro

- Noções de Resistência: Tensão Admissível



**PERGUNTAS?**

# Exercício para casa

- Leia os exemplos 3.1 a 3.3 do Hibbeler, 7ª ed.
- Sabendo que a leitura do extensômetro do avião antes de ser carregado era  $\varepsilon = 0,00100\text{m/m}$  e, depois do carregamento, passou a ser  $\varepsilon_f = 0,00243\text{m/m}$ , determine a carga acrescentada no avião entre a primeira e a segunda medida, em toneladas, sabendo que a área da seção transversal é  $2200\text{mm}^2$  e  $E = 70\text{GPa}$ .

