

# **Propriedades dos materiais**

**Antonio Figueiredo**

**Renata Monte**

# Objetivo principal:

- **Apresentar as principais propriedades mecânicas dos materiais de construção civil.**

# Propriedades mecânicas

Propriedades associadas com a capacidade que o material tem de resistir a esforços mecânicos  
(fundamental para materiais estruturais)

**Resistência**

**Tenacidade**

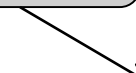
**Fluência**

**Resiliência**

**Dureza**

**Rigidez**

**Módulo de elasticidade**



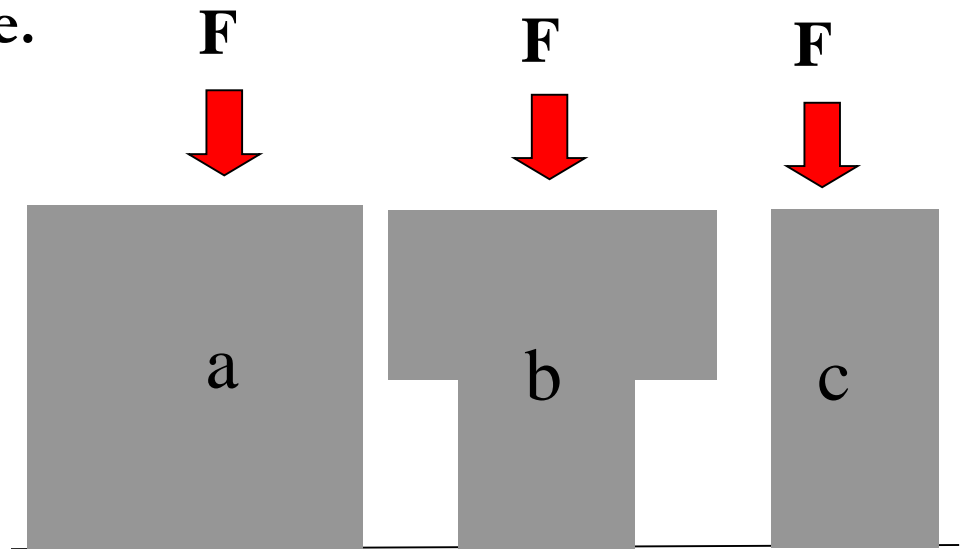
# Tensão

É a relação entre a carga aplicada e a área resistente.

$$\sigma = \frac{F}{A_{resistente}}$$

É expressa em

- $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ ,
- $\text{MPa} = \text{N/mm}^2$ .



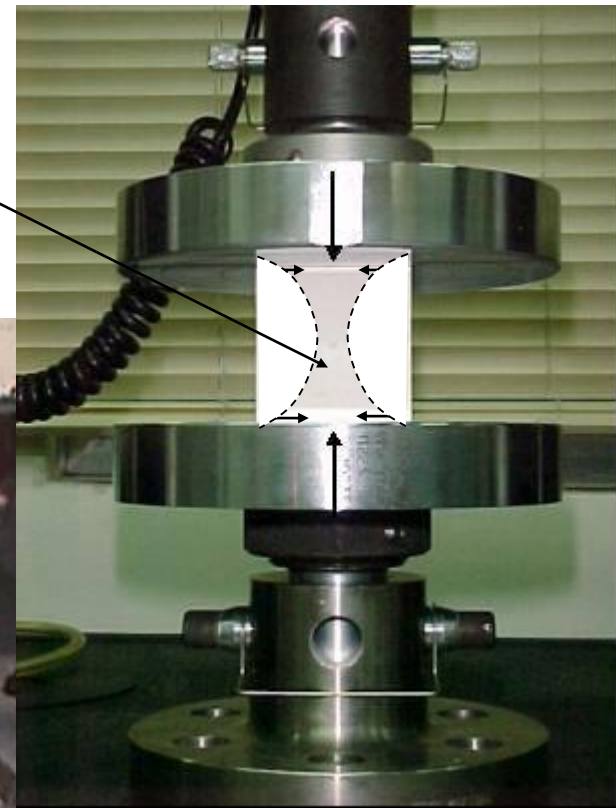
# Compressão

- Resistência à compressão

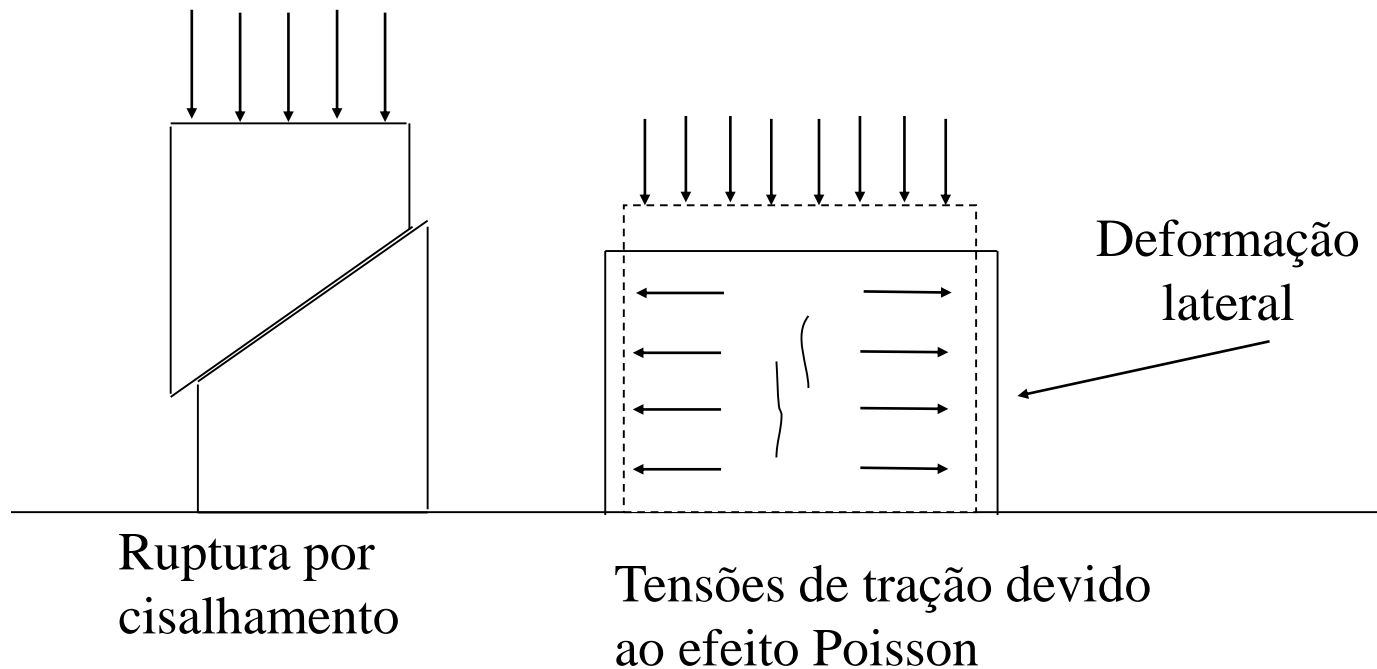
$$f_c = \frac{P_{rup}}{A}$$

- Influência
  - da forma do cp
  - velocidade de carregamento
  - temperatura
  - umidade

Região de influência da restrição dos planos de aplicação da carga



# Formas de ruptura em ensaios de compressão

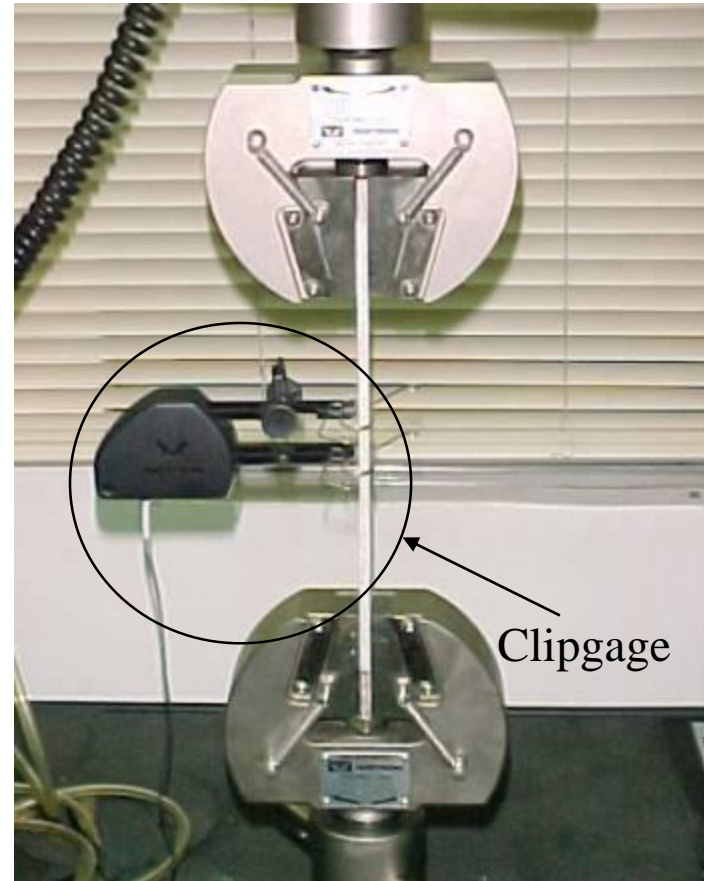


# Tração direta

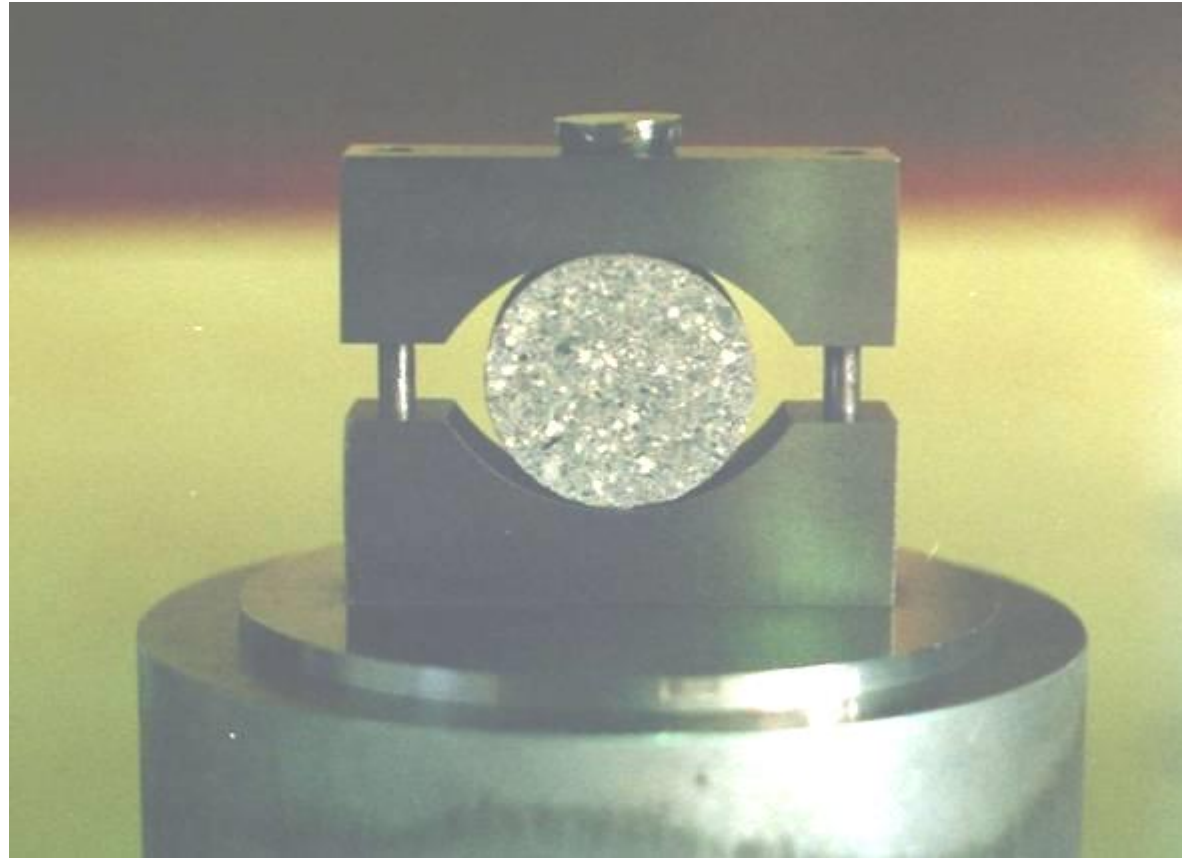
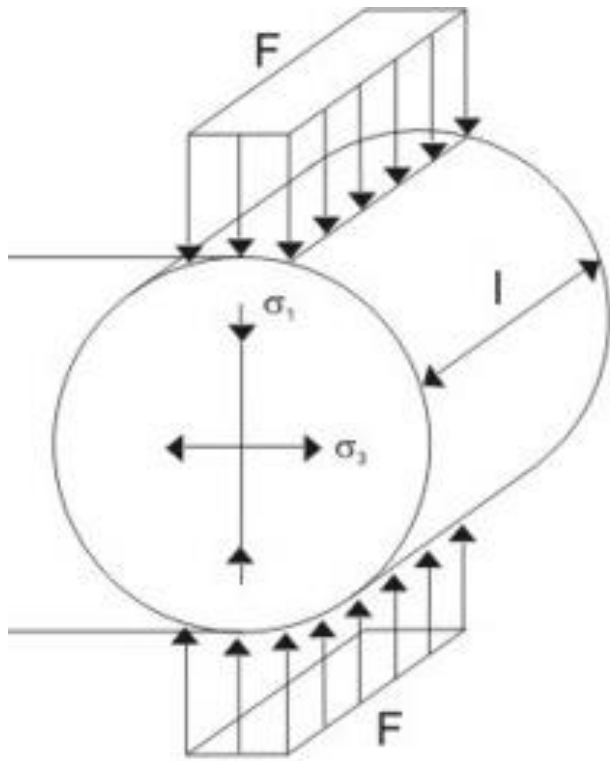
- Resistência à tração

$$f_t = \frac{P_{rup}}{A}$$

- Sistema de garras
- Forma do corpo-de-prova
- Medidor de deformação

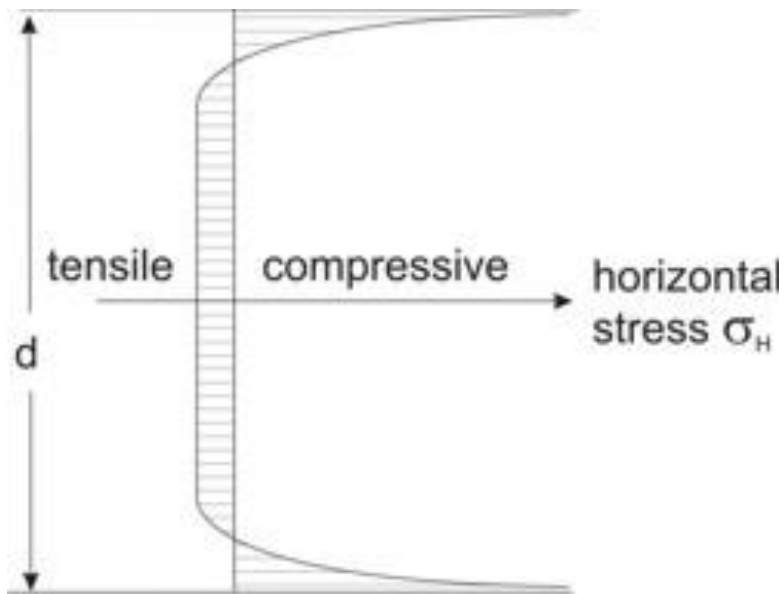


# Teste brasileiro, o que mede?

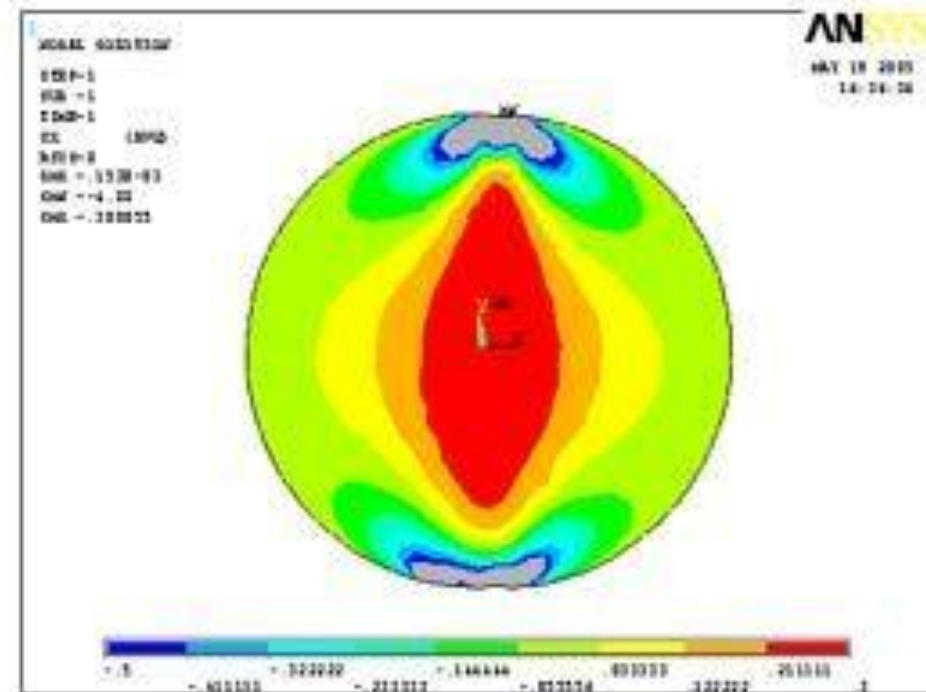




# Resistência à Tração – Teste brasileiro



$d$  - diameter of the sample



FEM Simulation of a Brazilian Disk Test

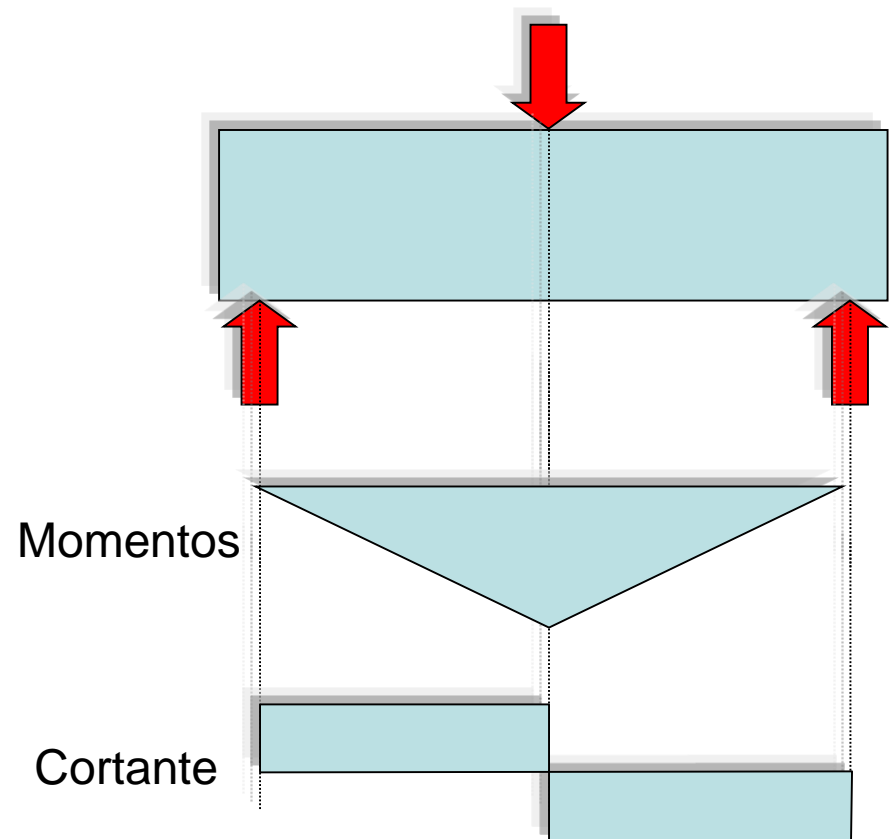
# Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
  - Módulo de ruptura
- Três pontos

$$MOR = \frac{3}{2} x \frac{PL}{be^2}$$

- Quatro

$$MOR = \frac{PL}{be^2} \quad E = \frac{23L^3}{1296I} \frac{P}{\delta}$$



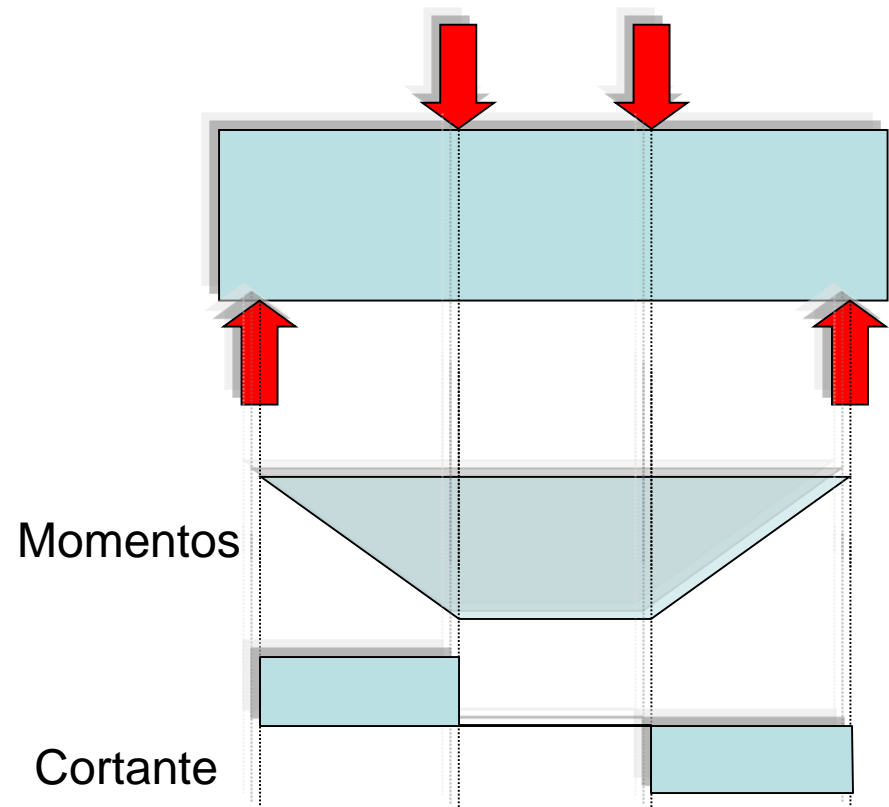
# Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
  - Módulo de ruptura
- Três pontos

$$MOR = \frac{3}{2} x \frac{PL}{be^2}$$

- Quatro

$$MOR = \frac{PL}{be^2} \quad E = \frac{23L^3}{1296I} \frac{P}{\delta}$$



# Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
  - A resistência à tração é definida pelo termo Módulo de ruptura
- Três pontos

$$MOR = \frac{3}{2} x \frac{PL}{be^2}$$

- Quatro pontos

$$MOR = \frac{PL}{be^2}$$

$$E = \frac{23L^3}{1296I} \frac{P}{\delta}$$

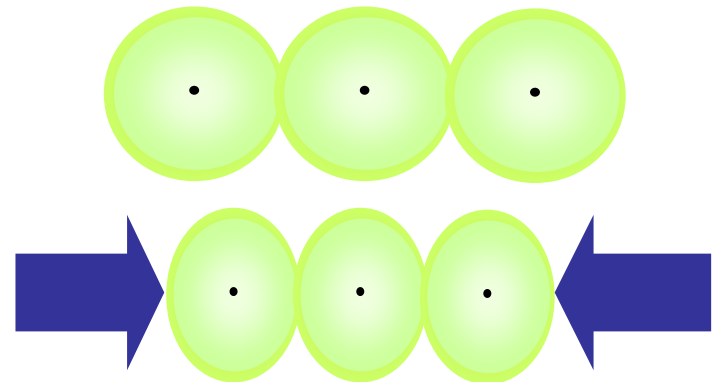
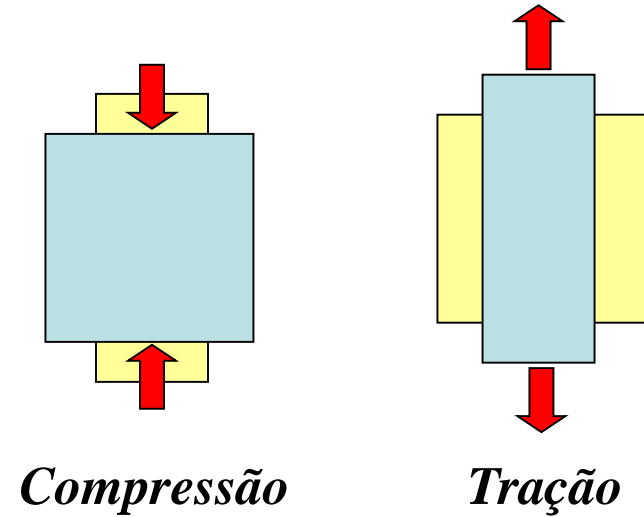


LVDT: mede a flecha no meio do vão

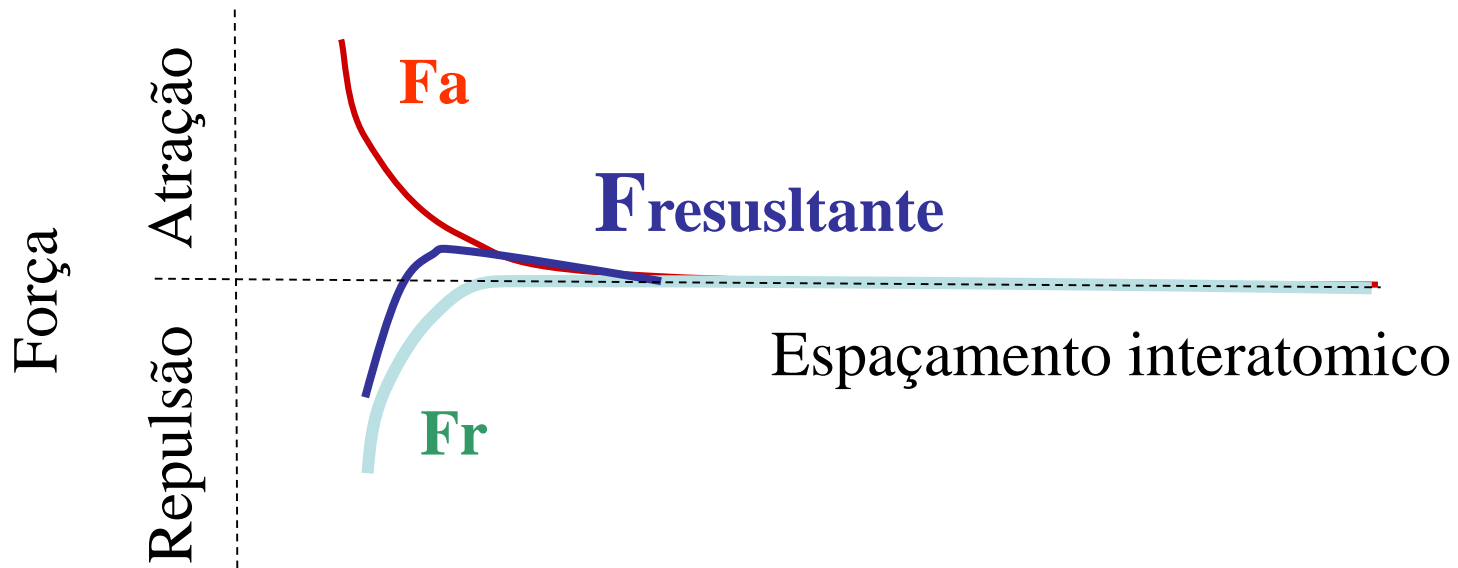
# **Deformação específica**

# Deformação elástica

- Instantânea
- Reversível
  - Volta às dimensões originais quando retira a carga
- Variação de volume
- Linear ou não linear



# Forças Interatômicas

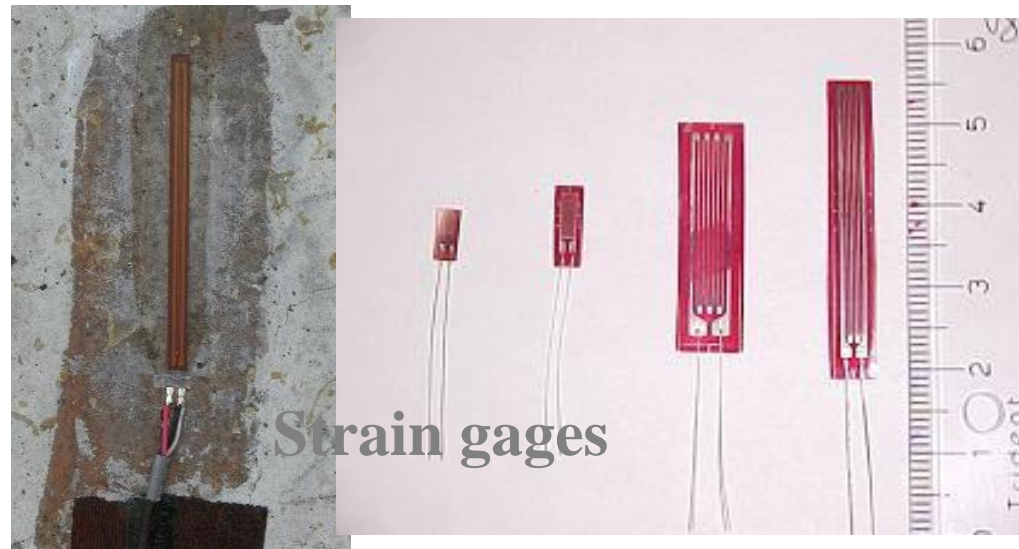
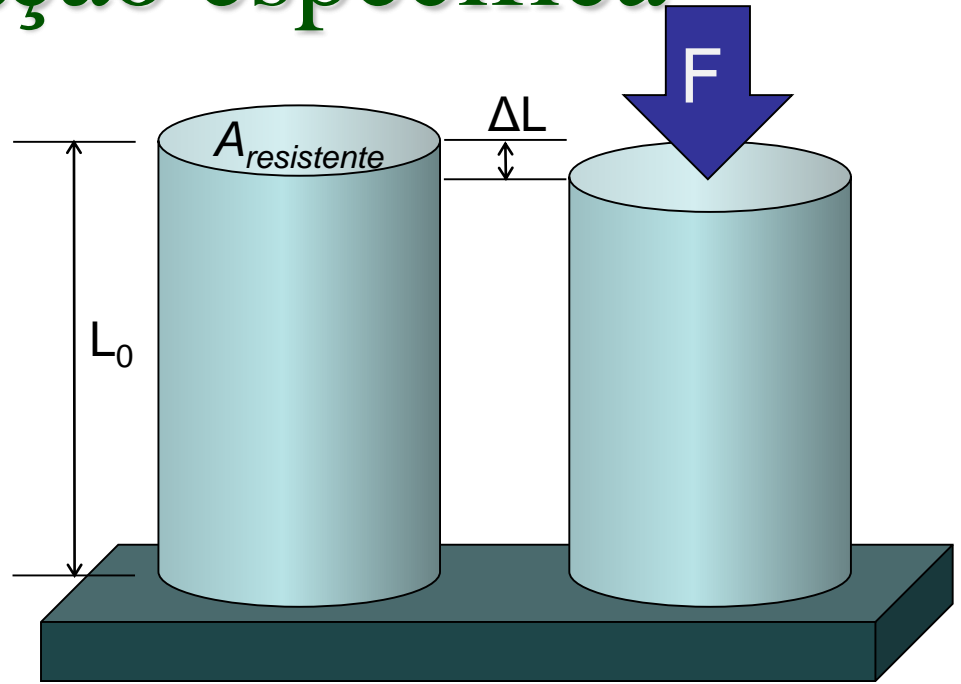


atração + **repulsão**  $\rightarrow$  **ligação**

# Deformação específica

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

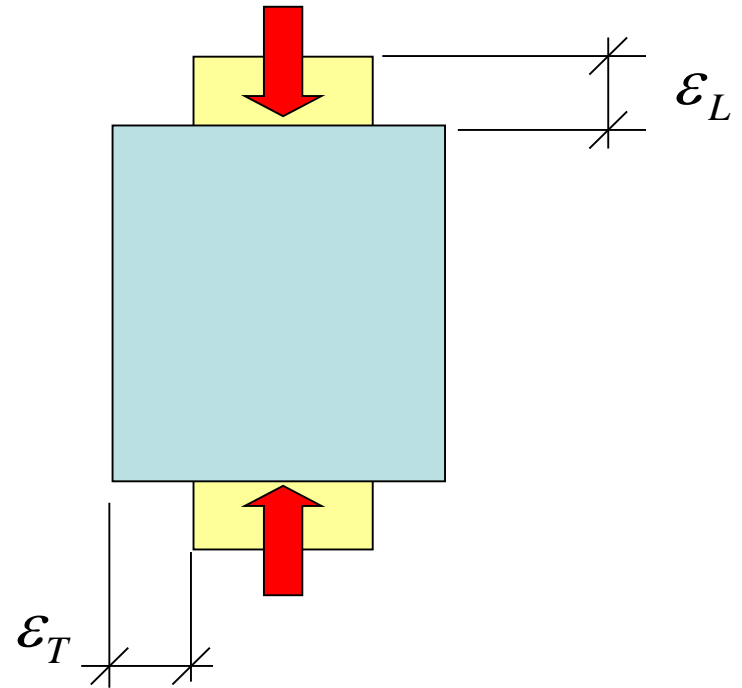
(L/L) m/m, mm/mm





# Coeficiente de Poisson

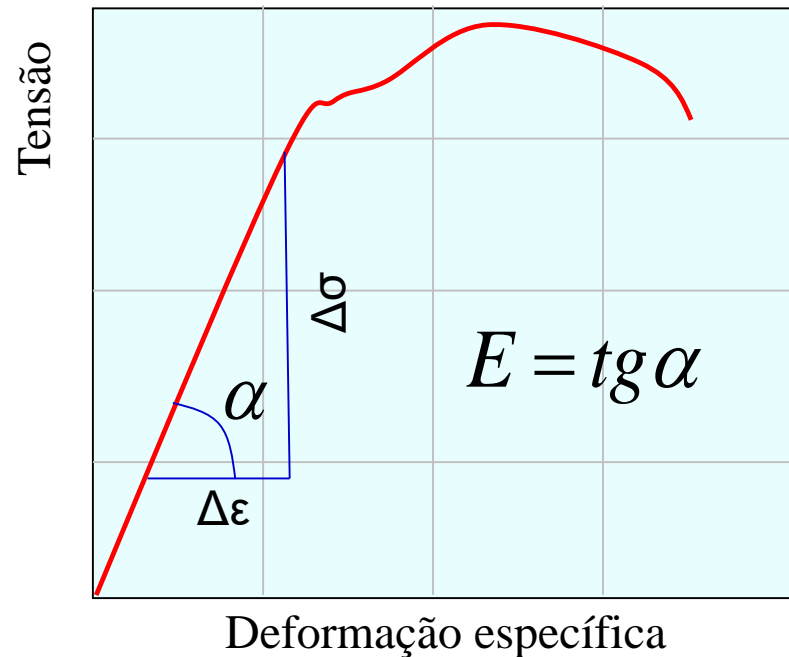
$$\nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_L}$$



- Exemplo:
  - Poisson do concreto é aprox. = 0,2

# Módulo de elasticidade

- Lei de Hook:  
Deformação é proporcional a tensão (elasticidade linear)
- Módulo de elasticidade ou Young

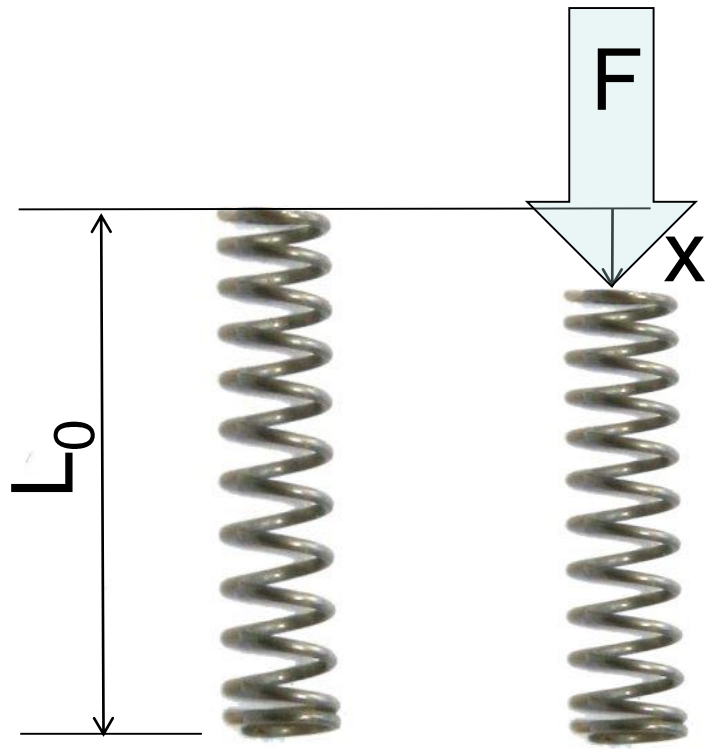


$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Deformação específica

Independe do comprimento de medida

# Módulo de elasticidade

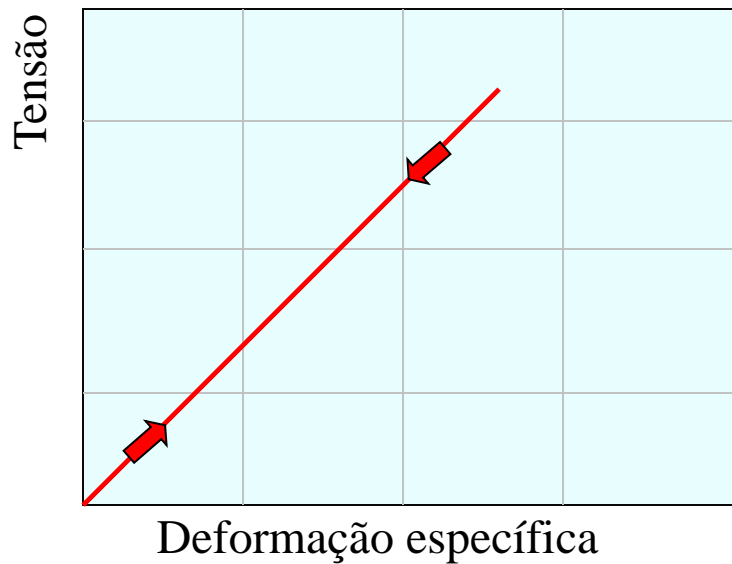


$$\frac{F}{A} = k \cdot \frac{x}{L_0}$$

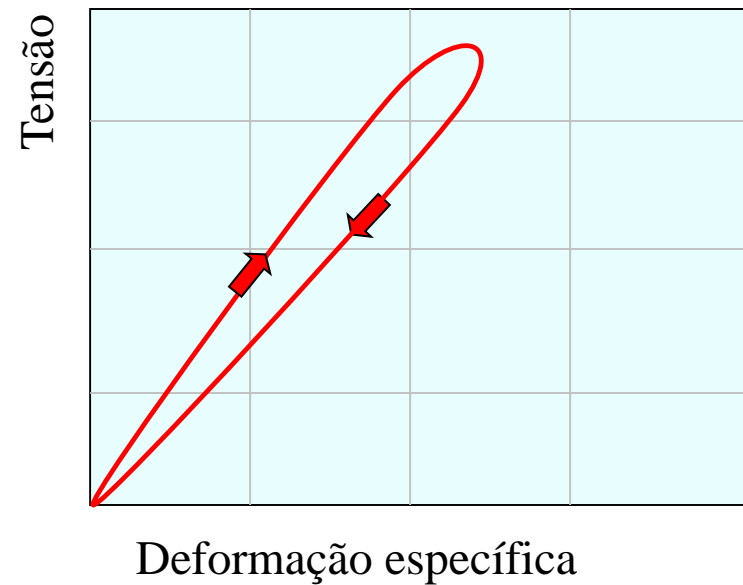
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

# Módulo de elasticidade

## Elástico linear

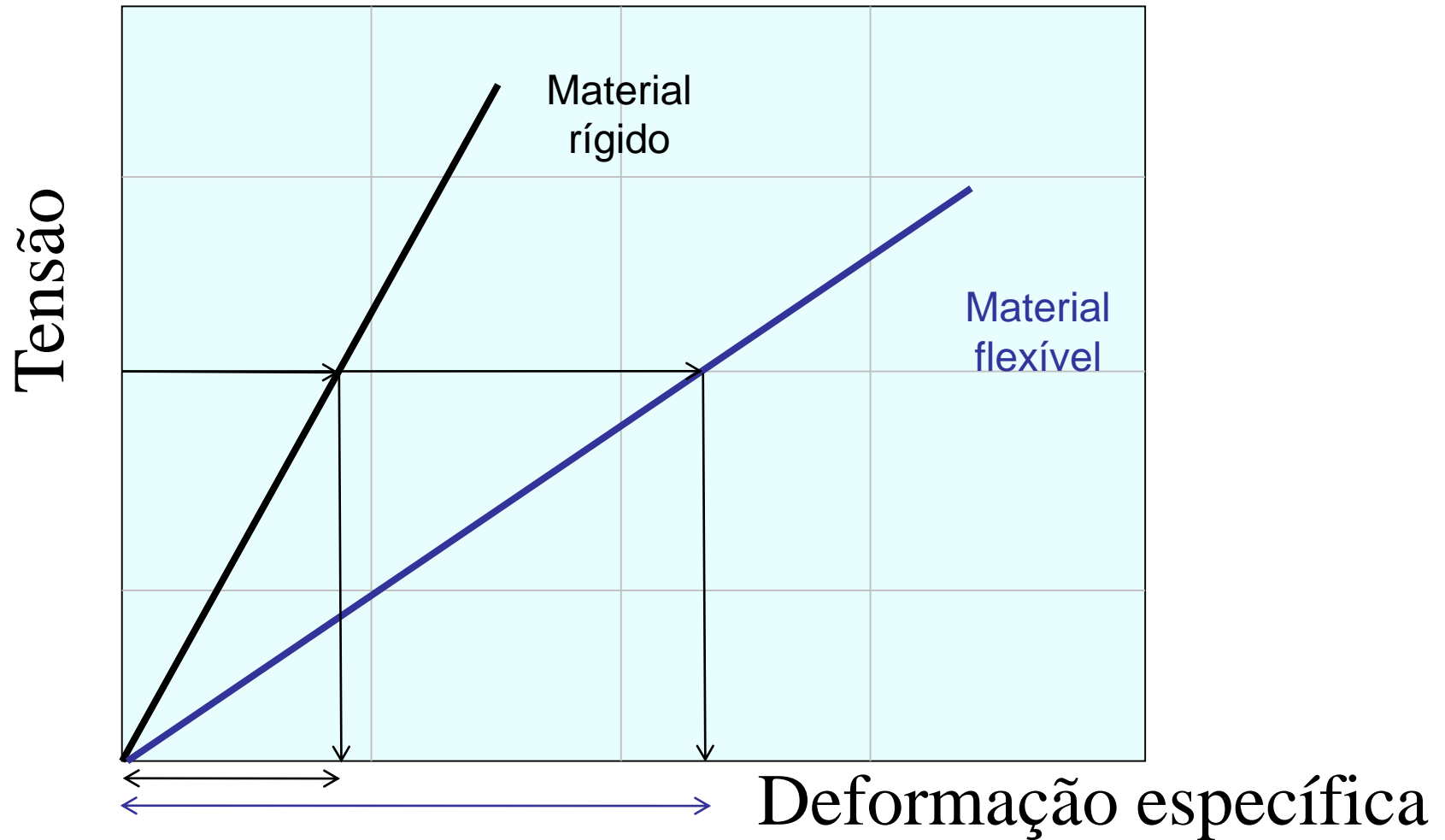


## Elástico não linear



# Módulo de elasticidade

(exemplos)



# Módulo de elasticidade

(exemplos)

Material	Módulo de elasticidade (GPa)
<b>Concreto</b>	<b>15 - 40</b>
<b>Aço</b>	<b>210</b>
<b>Alumínio</b>	<b>70</b>
<b>Fibras de carbono</b>	<b>200 – 450</b>
<b>Borracha</b>	<b>0,001 – 0,02</b>

Fonte: TAYLOR, GD (1991).

# Deformação plástica e as formas de ruptura



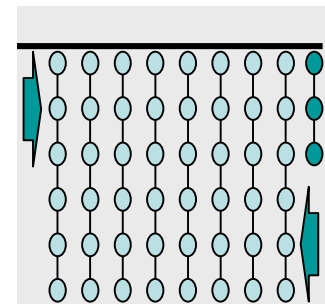
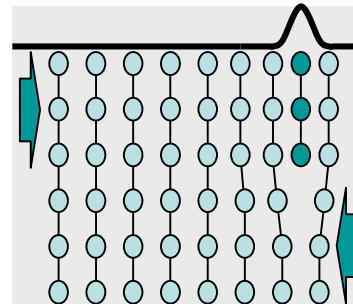
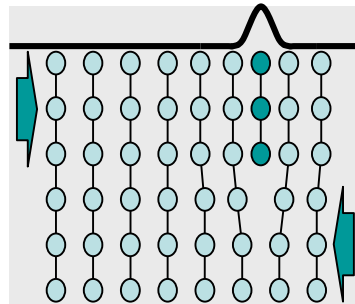
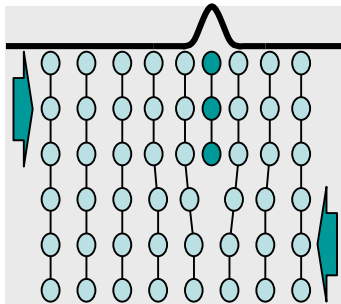
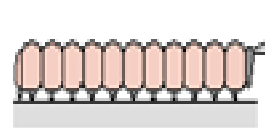
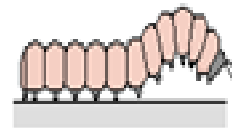
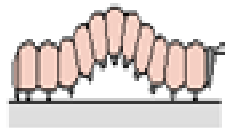
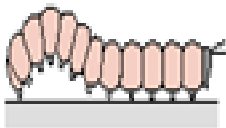
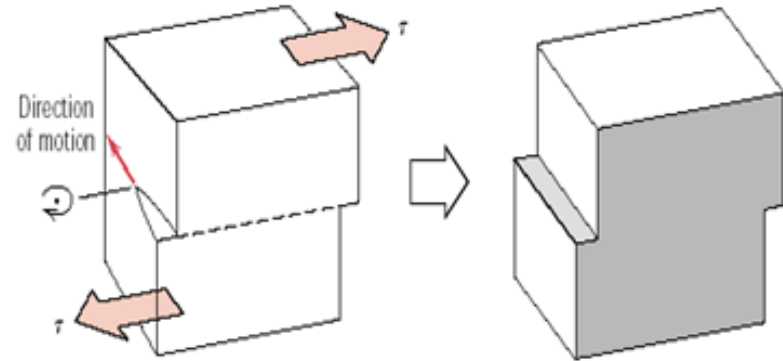
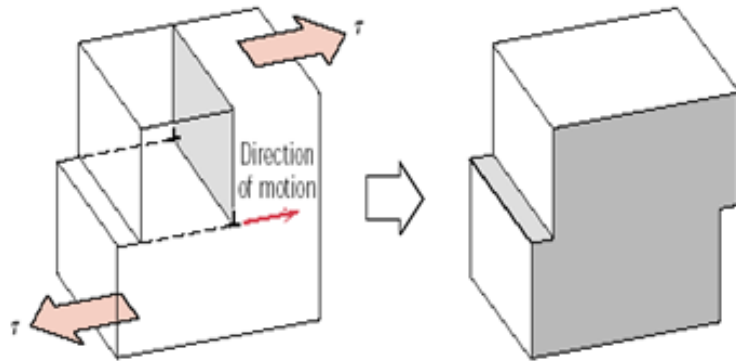
<http://arteinfantil-elartes.blogspot.com/2010/09/argila.html>

# Deformação plástica

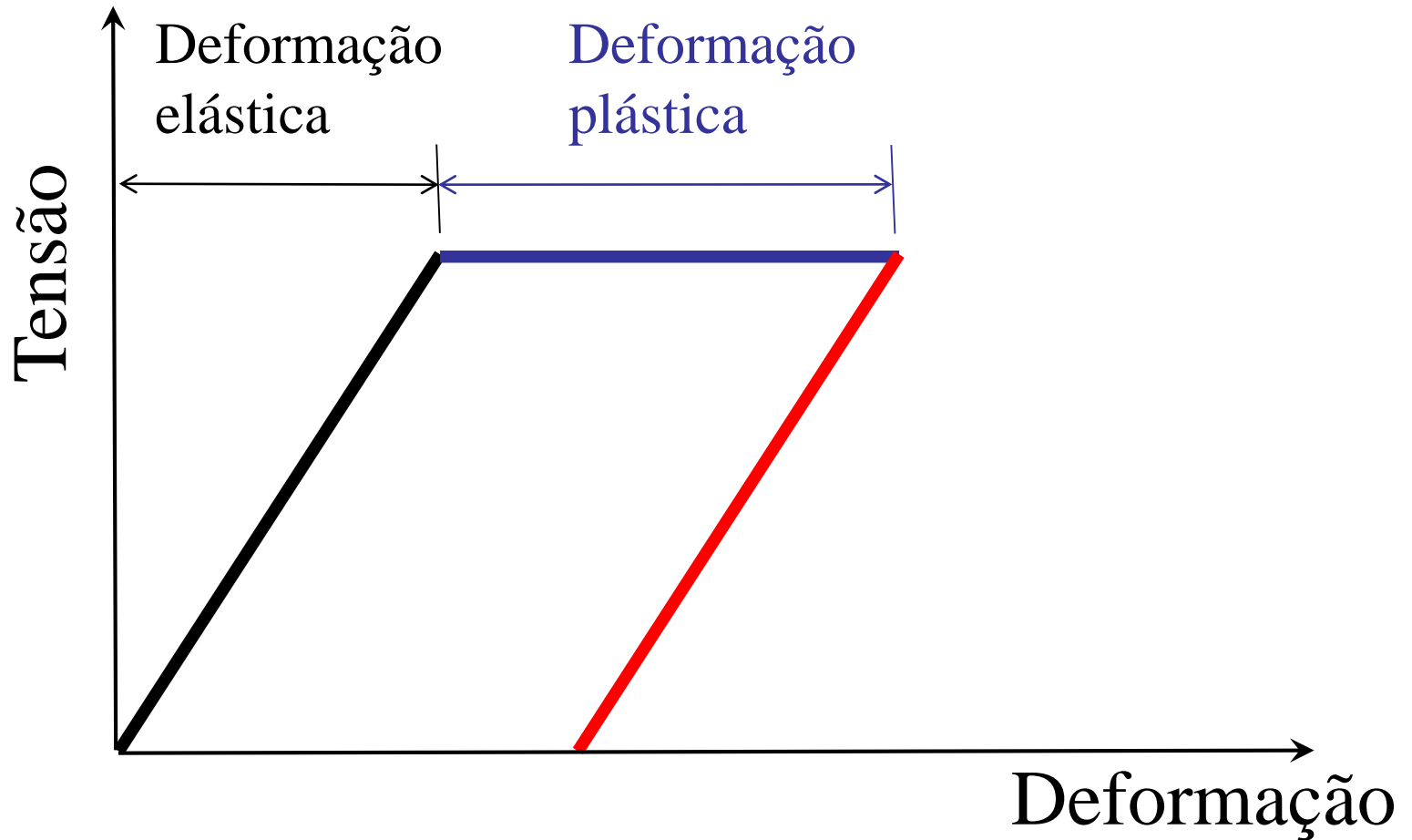
- Pode ocorrer acima de determinado nível de tensão
- Instantânea e
- Irreversível
- Sem mudança de volume



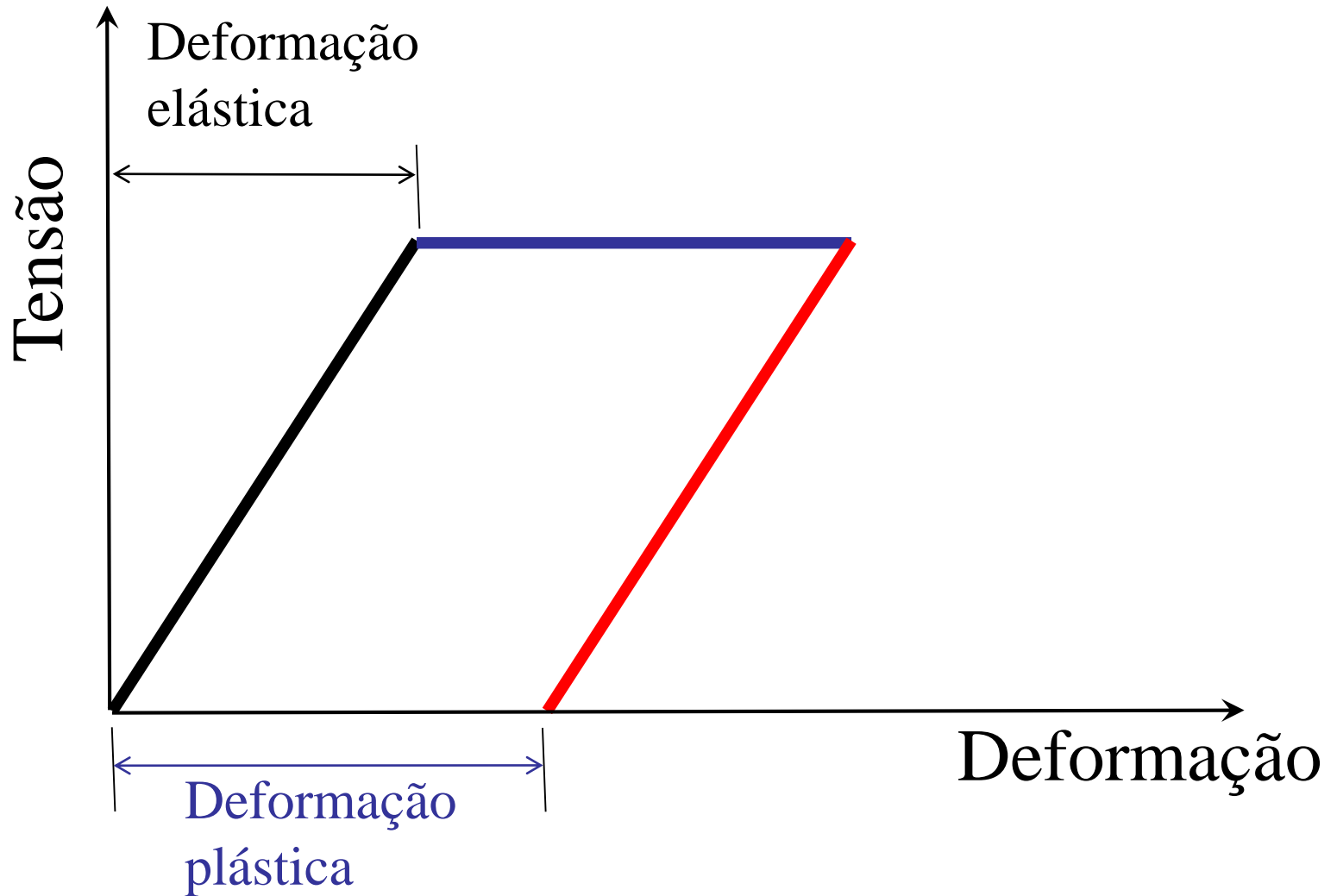
# Movimento de discordâncias



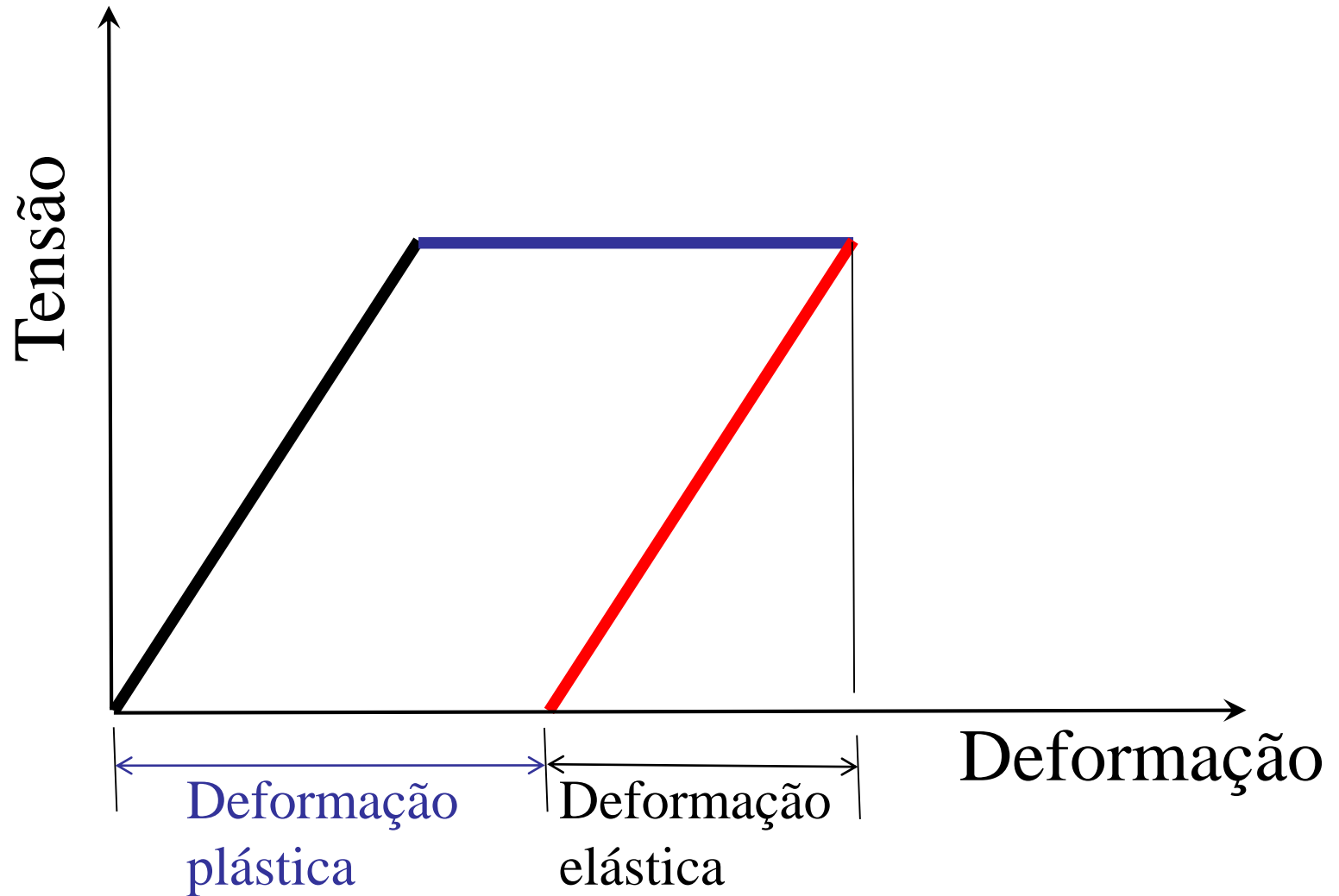
# Deformação plástica



# Deformação plástica

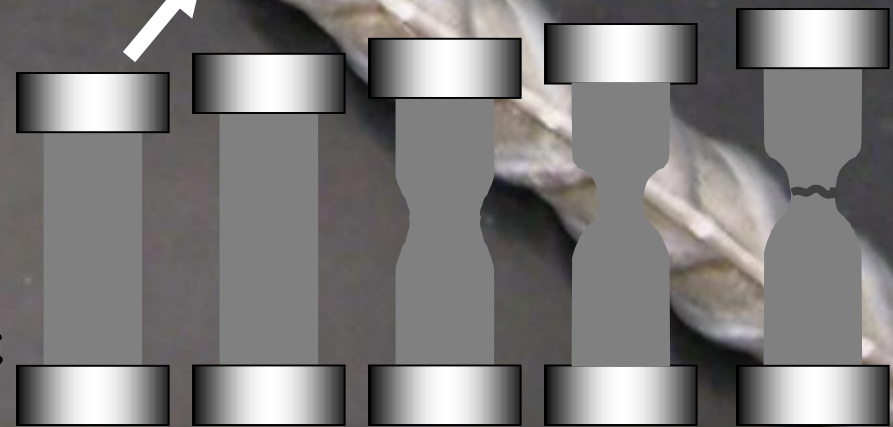
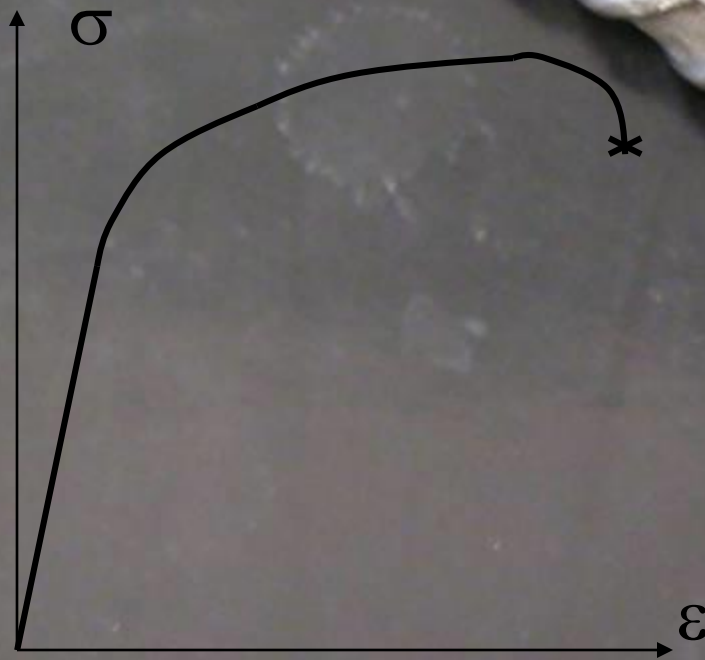


# Deformação plástica



# Comportamento mecânico dos materiais dúcteis (metais)

Material elasto-plástico



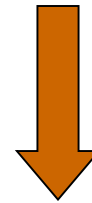
Ensaio de tração direta

# Formas de ruptura

- Ruptura frágil
  - Ocorre sem que o material apresente deformações plásticas significativas
- Ruptura dúctil
  - Ocorre com o material apresentando deformações plásticas

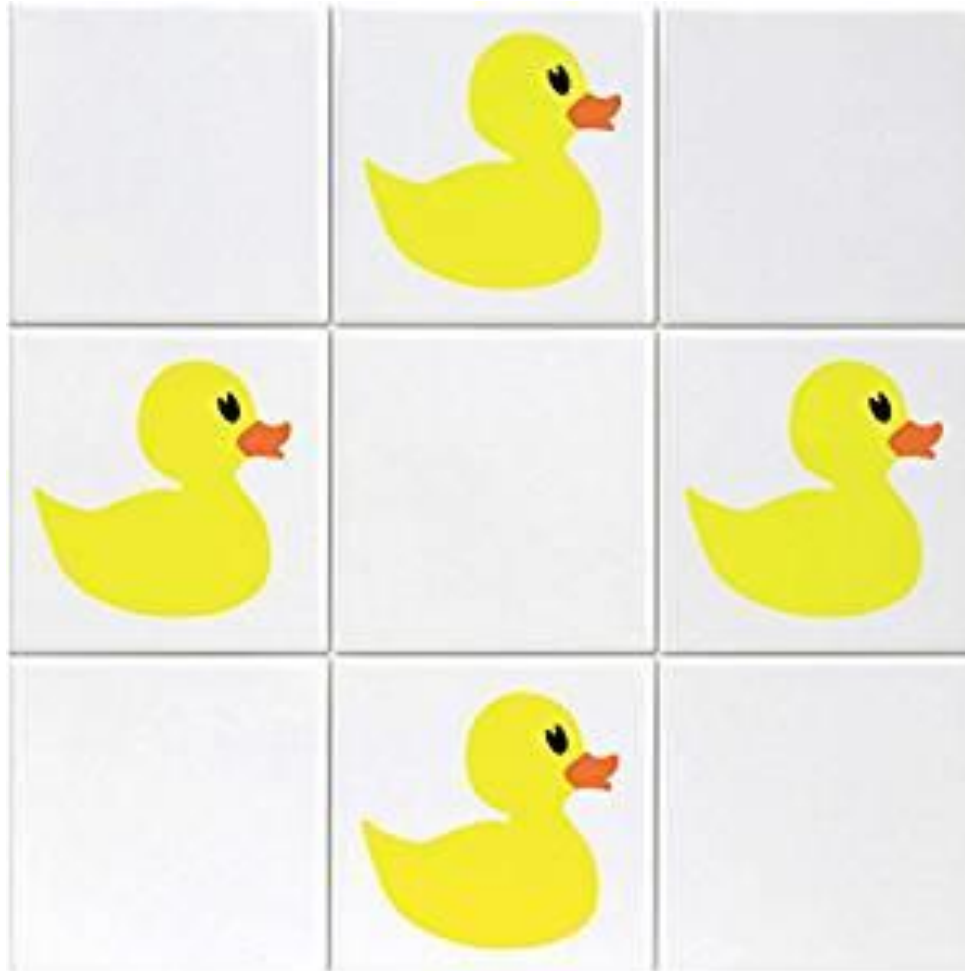


Ruptura catastrófica  
(sem aviso)



Ruptura precedida  
de grandes  
deformações visíveis

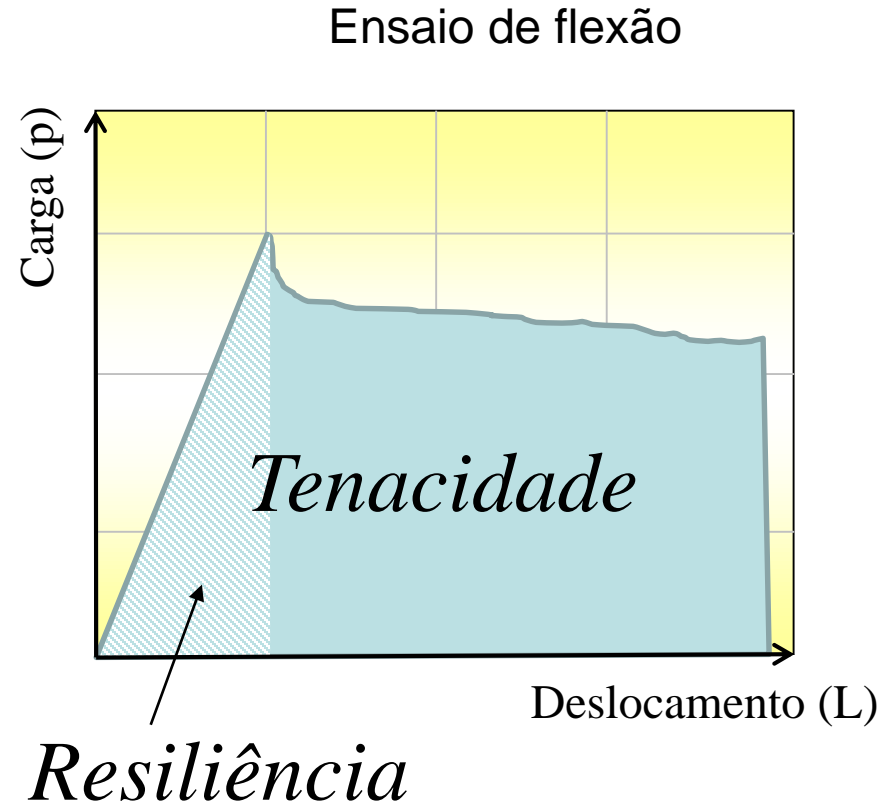
# Is this duck tile ductile?



# Energias de ruptura

- Tenacidade
  - Energia despendida até sua ruptura
- Resiliência
  - Energia absorvida até seu limite elástico
- Conceito de trabalho

$$\tau = F.d$$

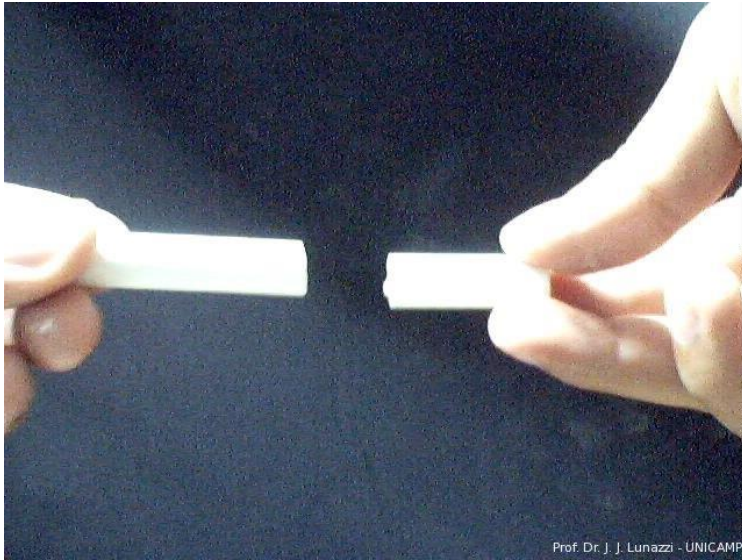




# Formas de ruptura

- Material frágil
  - Material absolutamente frágil: apenas deformações elásticas antes da ruptura.
  - Frequentemente: pouca ou nenhuma deformação plástica antes da ruptura
  - Pouca dissipação de energia
  - Baixa resistência à impactos
- Material dúctil
  - Grande deformação plástica antes da ruptura
  - Grande dissipação de energia
  - Alta resistência à impactos

# Forma de ruptura

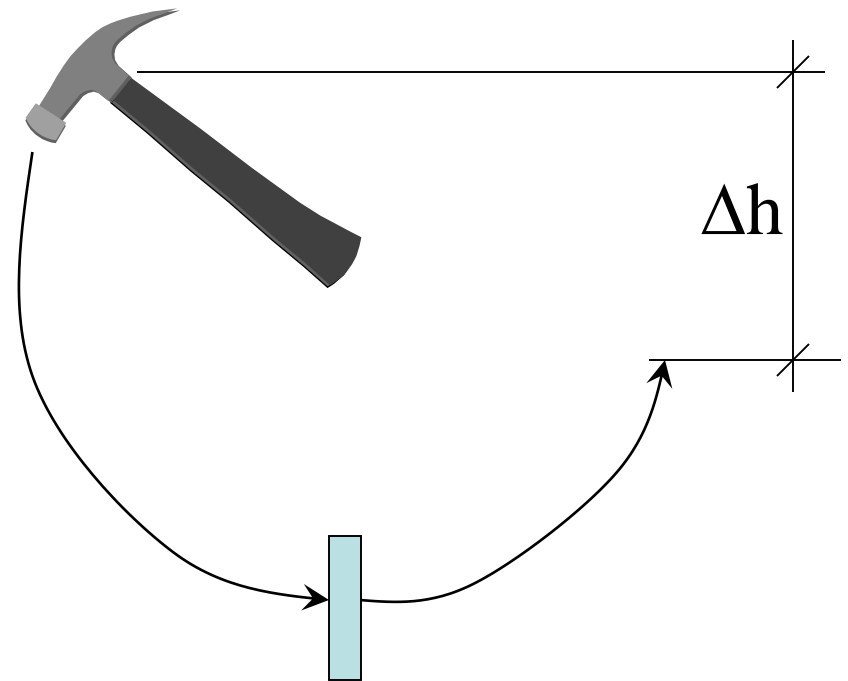


# Impacto



# Impacto

- Impacto = carga de curta duração
- Associado a capacidade de absorção de energia
  - **Trabalho de deformação**
  - **Formação de superfície**



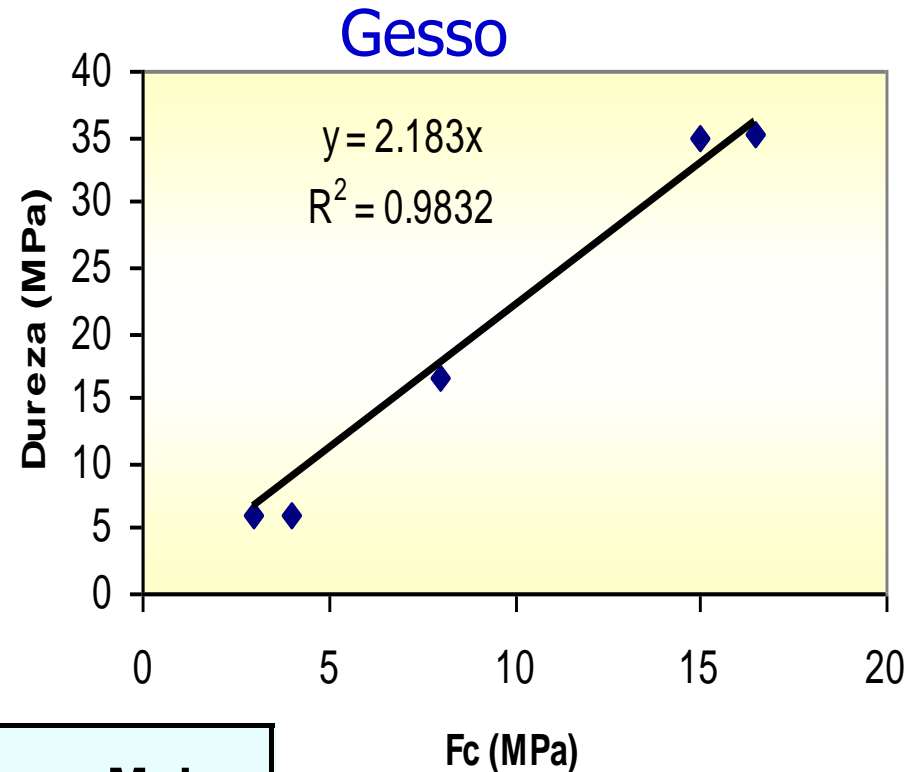
Ensaio de pêndulo de Charpy

# Dureza

- Resistência à penetração oferecida pela superfície do material
- Associada à resistência à abrasão
- Medida por escalas
  - Mohs=f(escala comparativa com materiais de referência)
  - Brinell=f(área de penetração de bilha esférica)
  - Rockwell=f(profundidade de penetração de bilha padrão)

# Dureza x resistência mecânica

- Pode-se relacionar a resistência mecânica de um material com a sua dureza (ensaio não destrutivo)



## Exemplos:

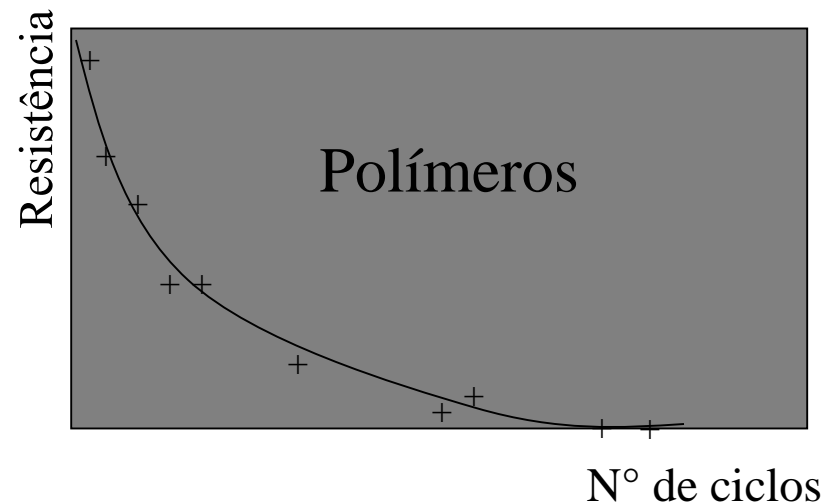
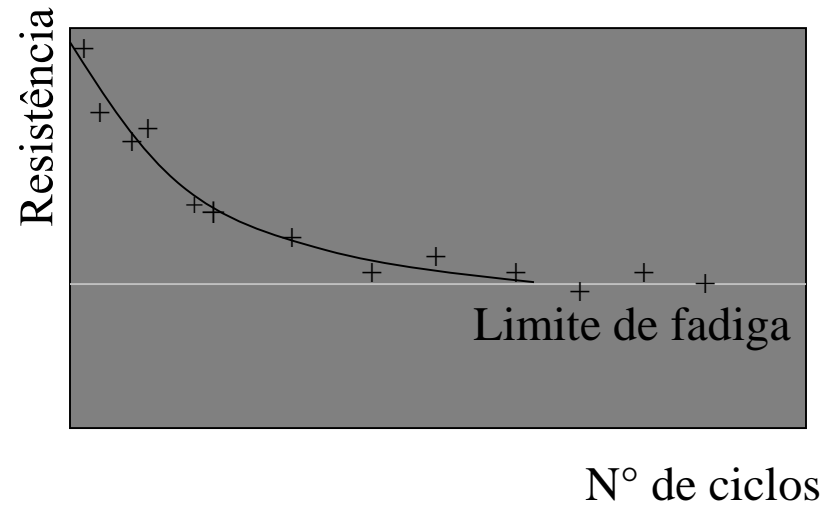
Material	Dureza Brinell	Dureza Mohs
Aço carbono	200	Entre 4 e 5
Latão	100	Entre 2 e 3
Plásticos	12	Entre 1 e 2

# **Propriedades de longo prazo**



# Fadiga

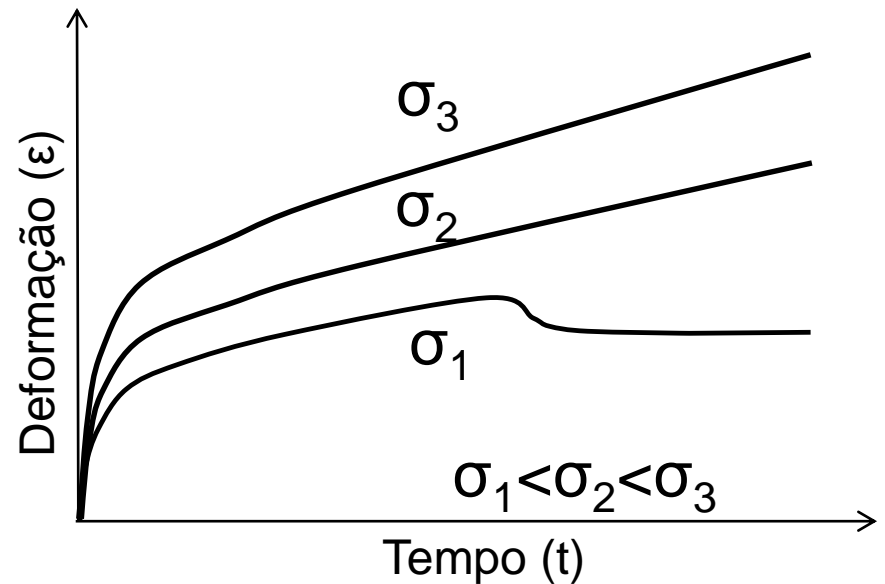
- Esforço cíclico  $\rightarrow$  rompe em tensão  $< R_{mec}$
- Função do nível de tensão





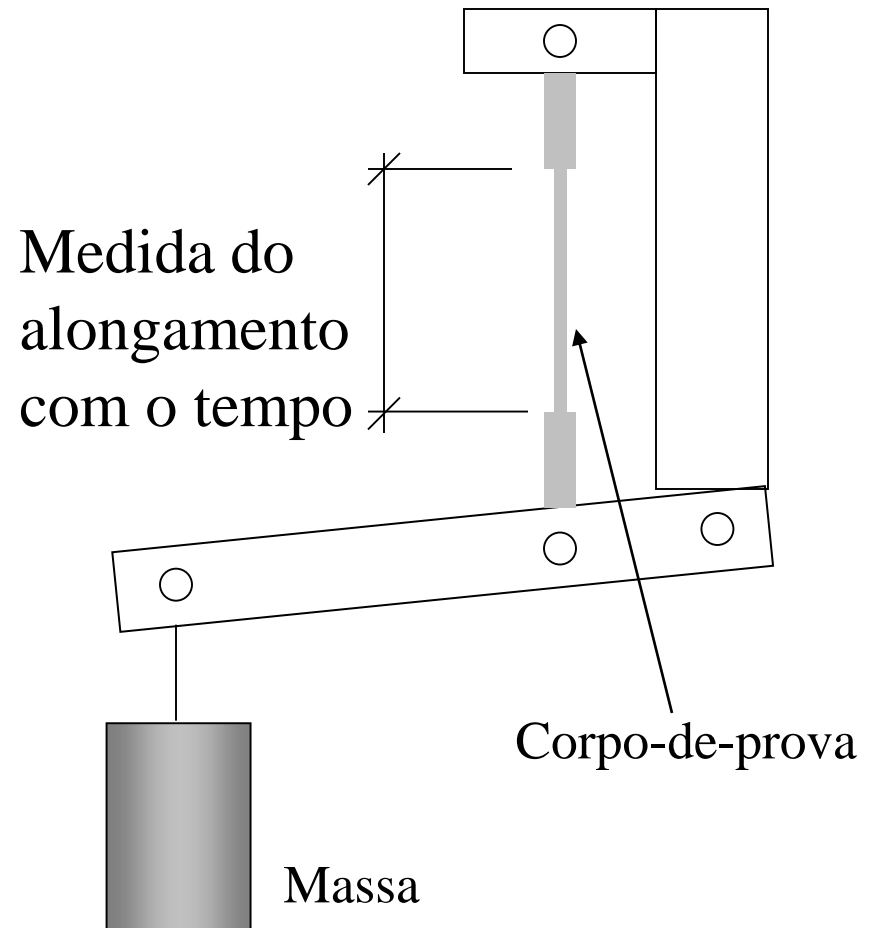
# Deformação lenta

- Elástica ou viscosa (fluência)
- Depende do tempo, exemplos:
  - **Concreto, vidro, asfalto, rochas, metais, polímeros...**



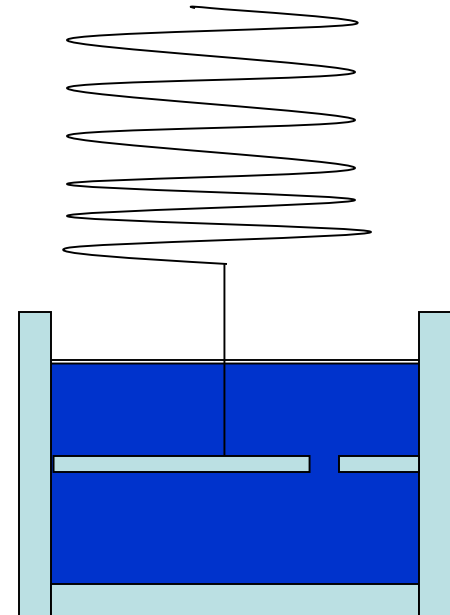
# Fluência

- Tensão constante
- Deformação crescente
- Parcialmente irreversível
- Sólidos amorfos e fluidos
- Deslocamento relativo entre moléculas
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração



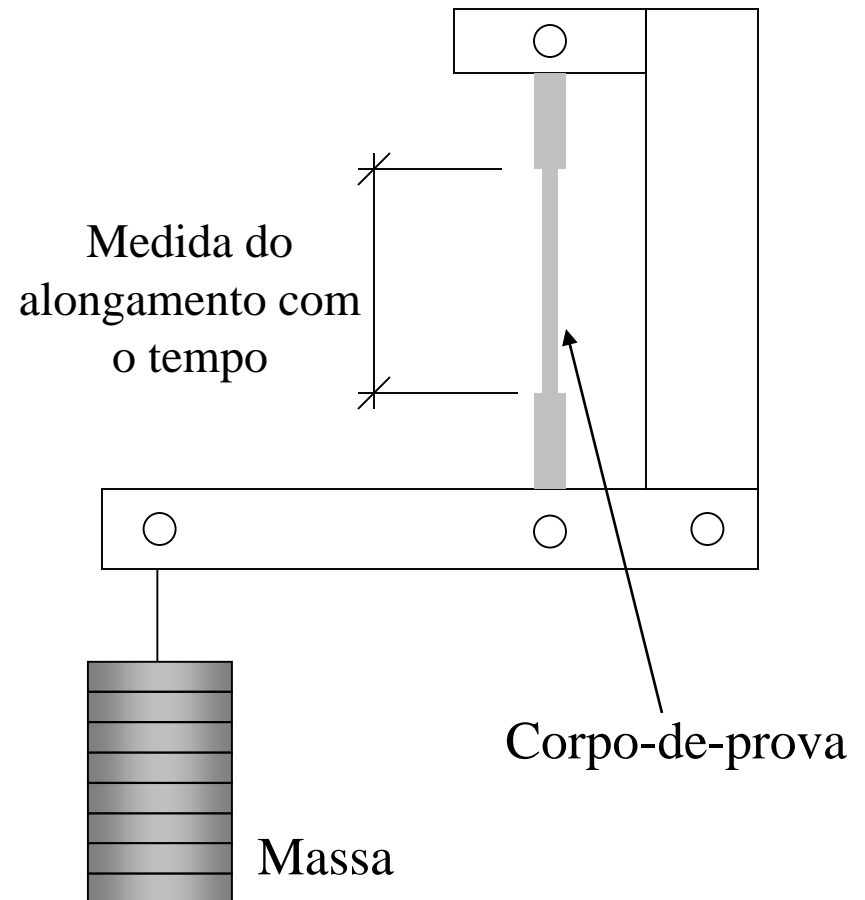
# Relaxação

- Deformação constante imposta ao material
- Tensão decrescente com o tempo
  - Elástico
  - Aço de protensão
  - Argamassas de revestimento
- Mesmo “mecanismo” da fluência



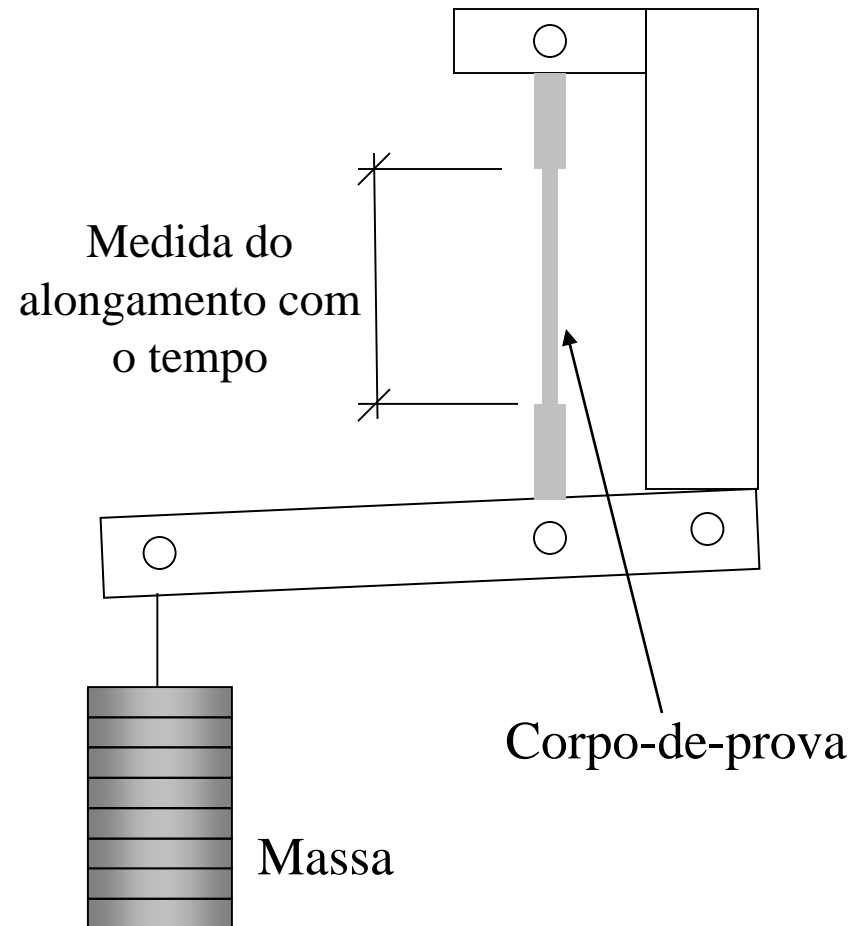
# Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



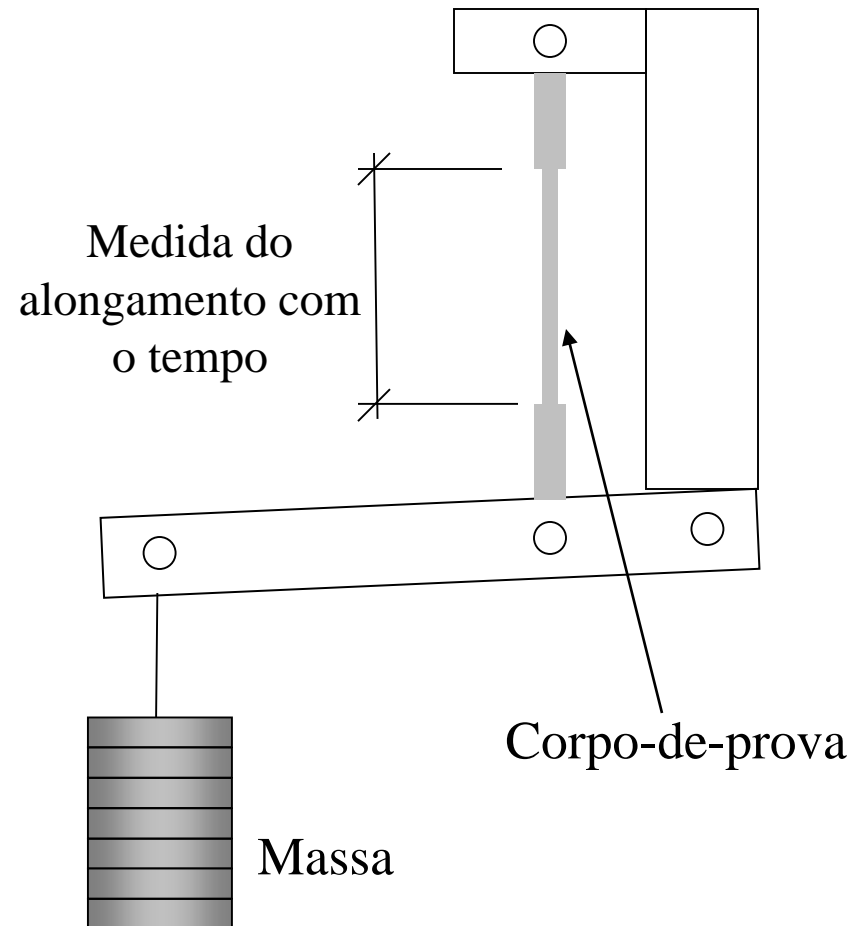
# Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



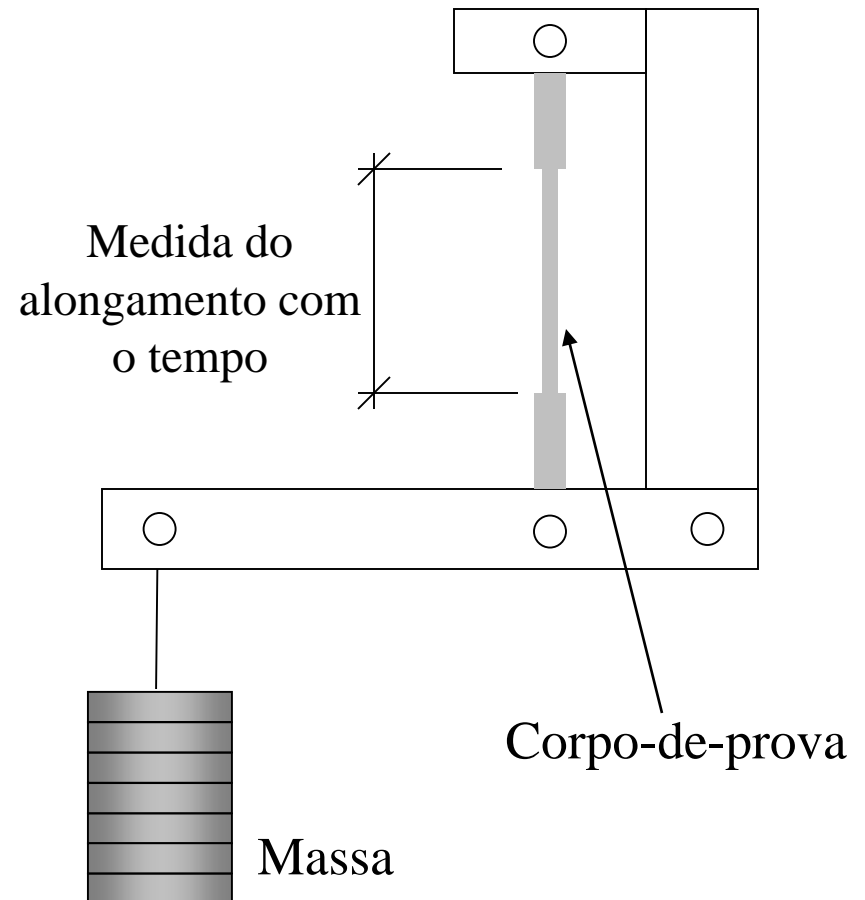
# Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



# Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



# O problema de medir propriedades

- **Problema metrológico**
  - Precisão de medida
  - Calibração
    - Prensa
    - Capeamento
  - Erros do operador
  - Capeamento/polimento
- **Representatividade**
  - Amostragem
  - Variabilidade





# Custo

- **Viabiliza ou não a aplicação de um material**
- **Custo unitário não é suficiente (verificação da influência no processo)**
- **Custo ambiental**
- **Custo social**
- **SUSTENTABILIDADE**

