

# Mecânica dos Sólidos

# Mecânica dos Sólidos

Propriedades mecânicas dos  
materiais





# Propriedades mecânicas dos materiais





- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



- Introdução
- Conceitos de tensão e deformação
- Curva tensão-deformação
- Esforços em elementos de máquinas
- Cisalhamento em componentes de paredes finas
- Círculo de Mohr no estado plano de tensões
- Conceitos de energia



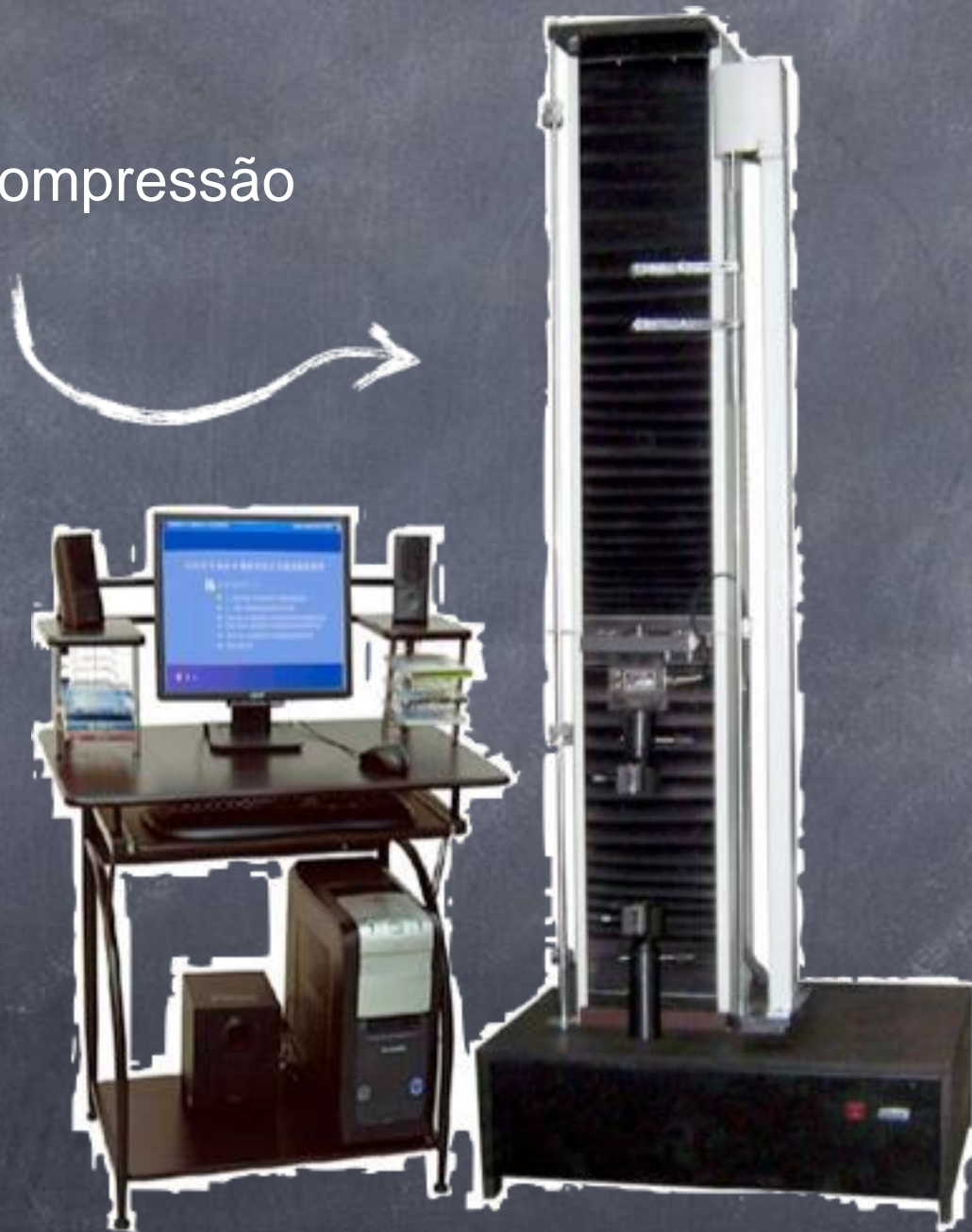
# • Introdução

# Testes de tração e compressão



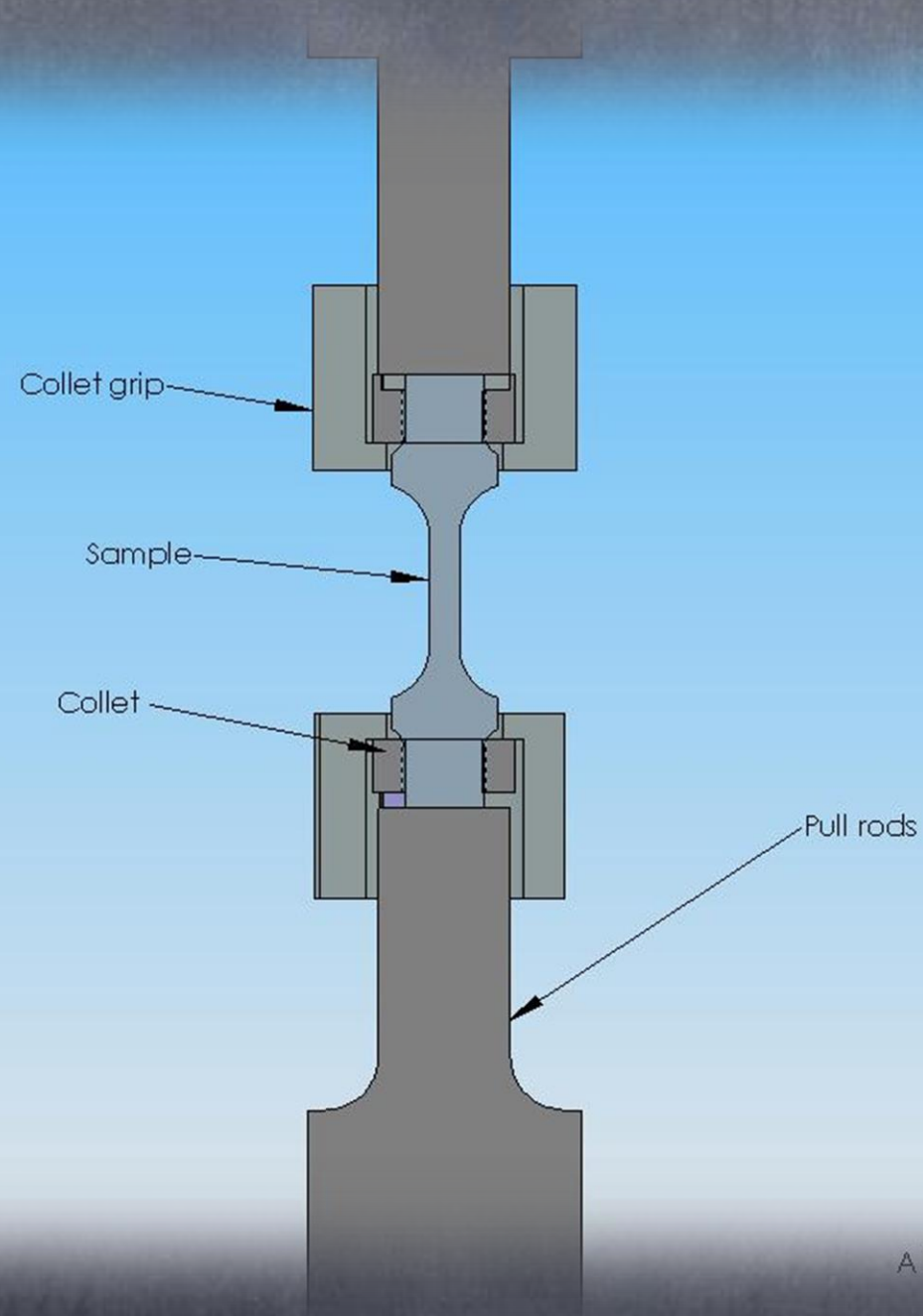
# Testes de tração e compressão

máquina de tração/compressão





# Testes de tração e compressão



A Rayment 2007

corpo de prova



Mecânica dos Sólidos

# Testes de tração e compressão

Resistência

# Testes de tração e compressão

## Resistência

Capacidade de um material suportar uma carga sem deformação excessiva, ou sem atingir a ruptura.



# Testes de tração e compressão

## Resistência

Capacidade de um material suportar uma carga sem deformação excessiva, ou sem atingir a ruptura.

Propriedade inerente ao material de que é confeccionado o corpo.

# Testes de tração e compressão

## Resistência

Capacidade de um material suportar uma carga sem deformação excessiva, ou sem atingir a ruptura.

Propriedade inerente ao material de que é confeccionado o corpo.

Deve ser determinada experimentalmente.



# Testes de tração e compressão

## Resistência

Capacidade de um material suportar uma carga sem deformação excessiva, ou sem atingir a ruptura.

Propriedade inerente ao material de que é confeccionado o corpo.

Deve ser determinada experimentalmente.

Não é possível medir tensão ou deformação, mas é possível medir força e deslocamento.

# Testes de tração e compressão

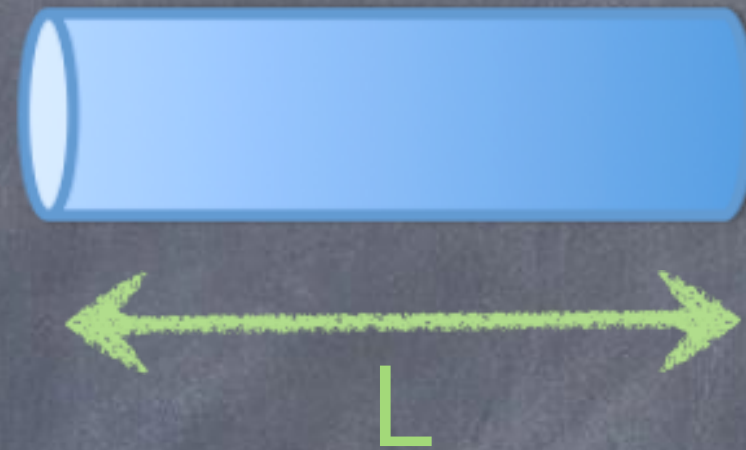
Resistência





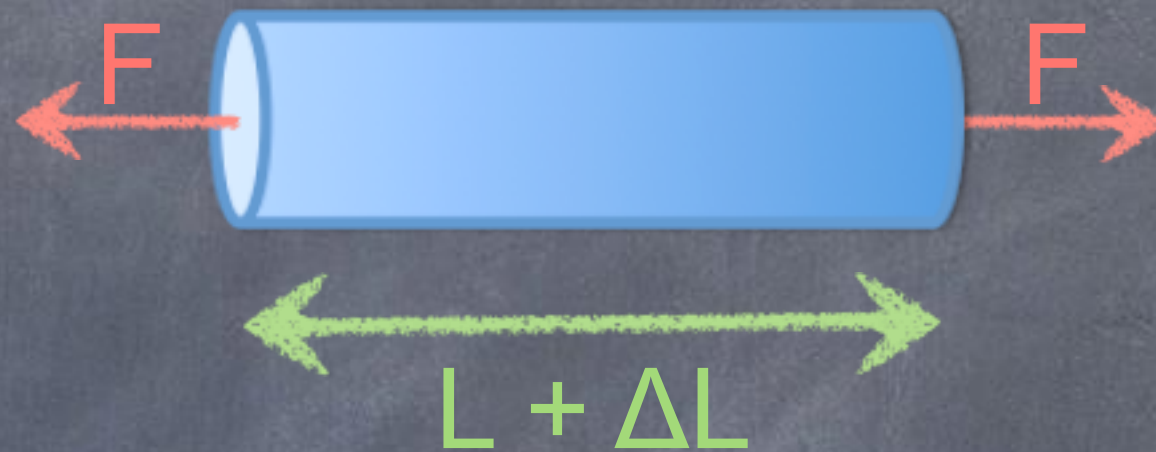
# Testes de tração e compressão

Resistência



# Testes de tração e compressão

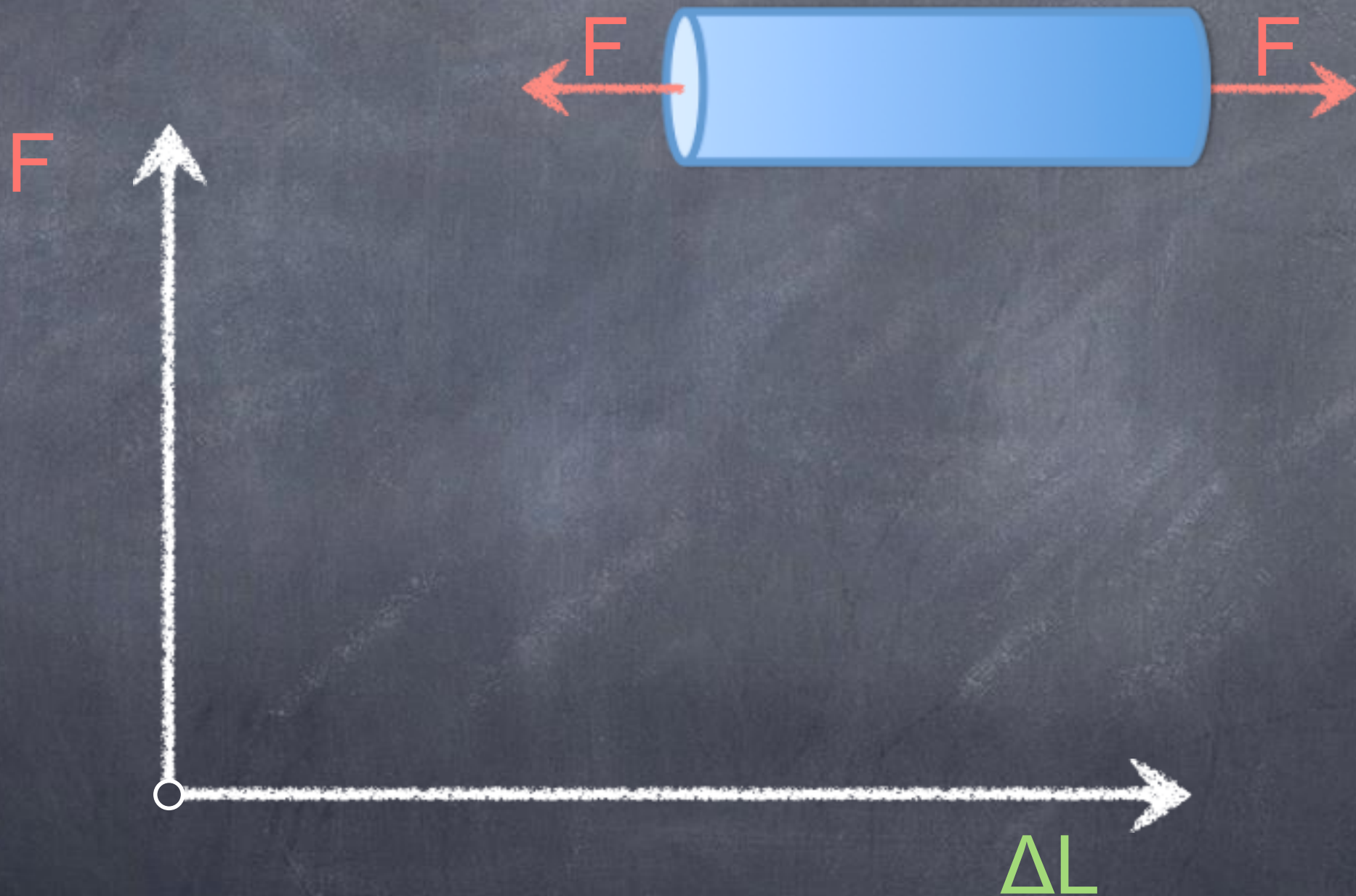
## Resistência





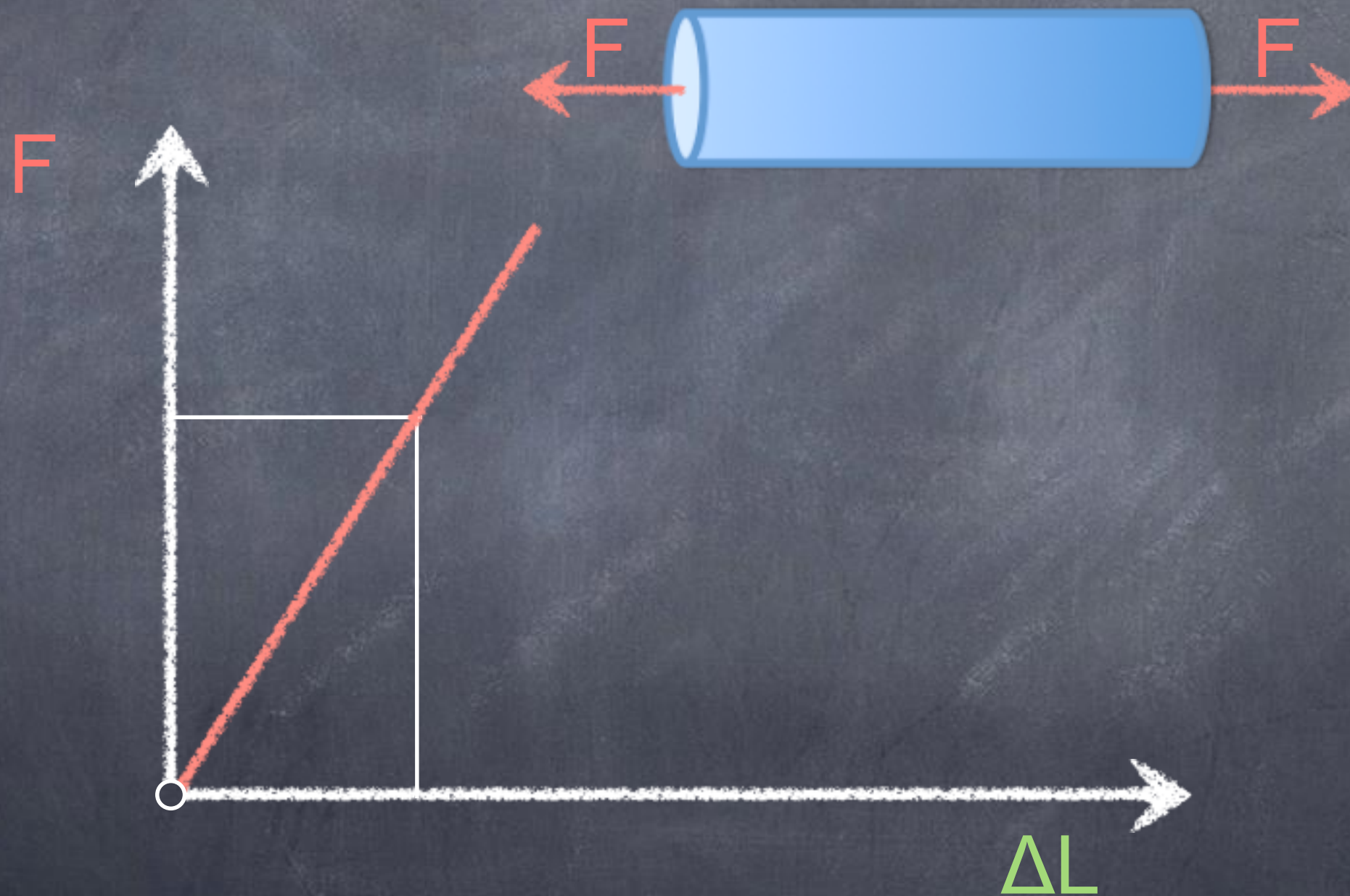
# Testes de tração e compressão

Resistência



# Testes de tração e compressão

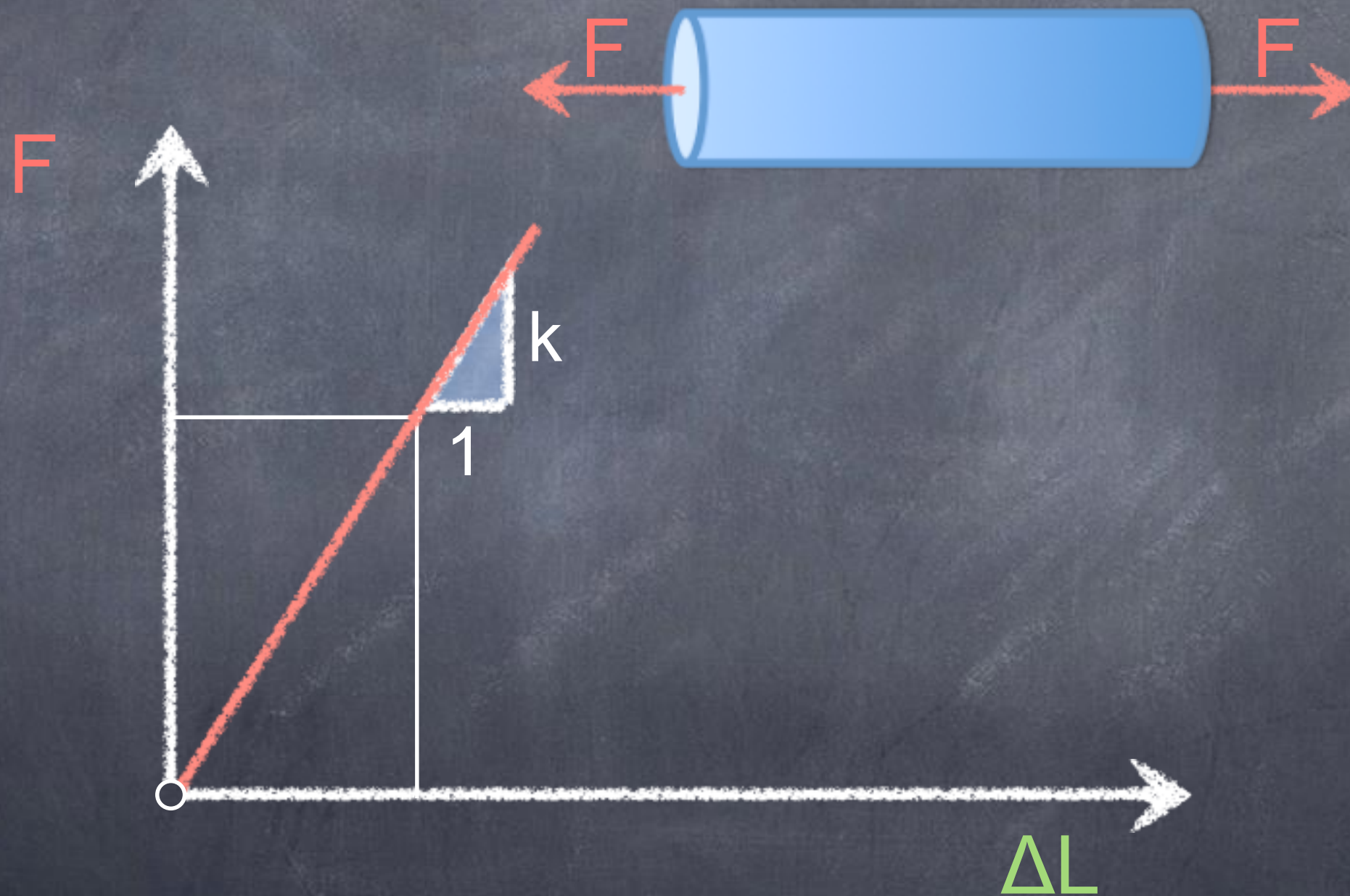
## Resistência





# Testes de tração e compressão

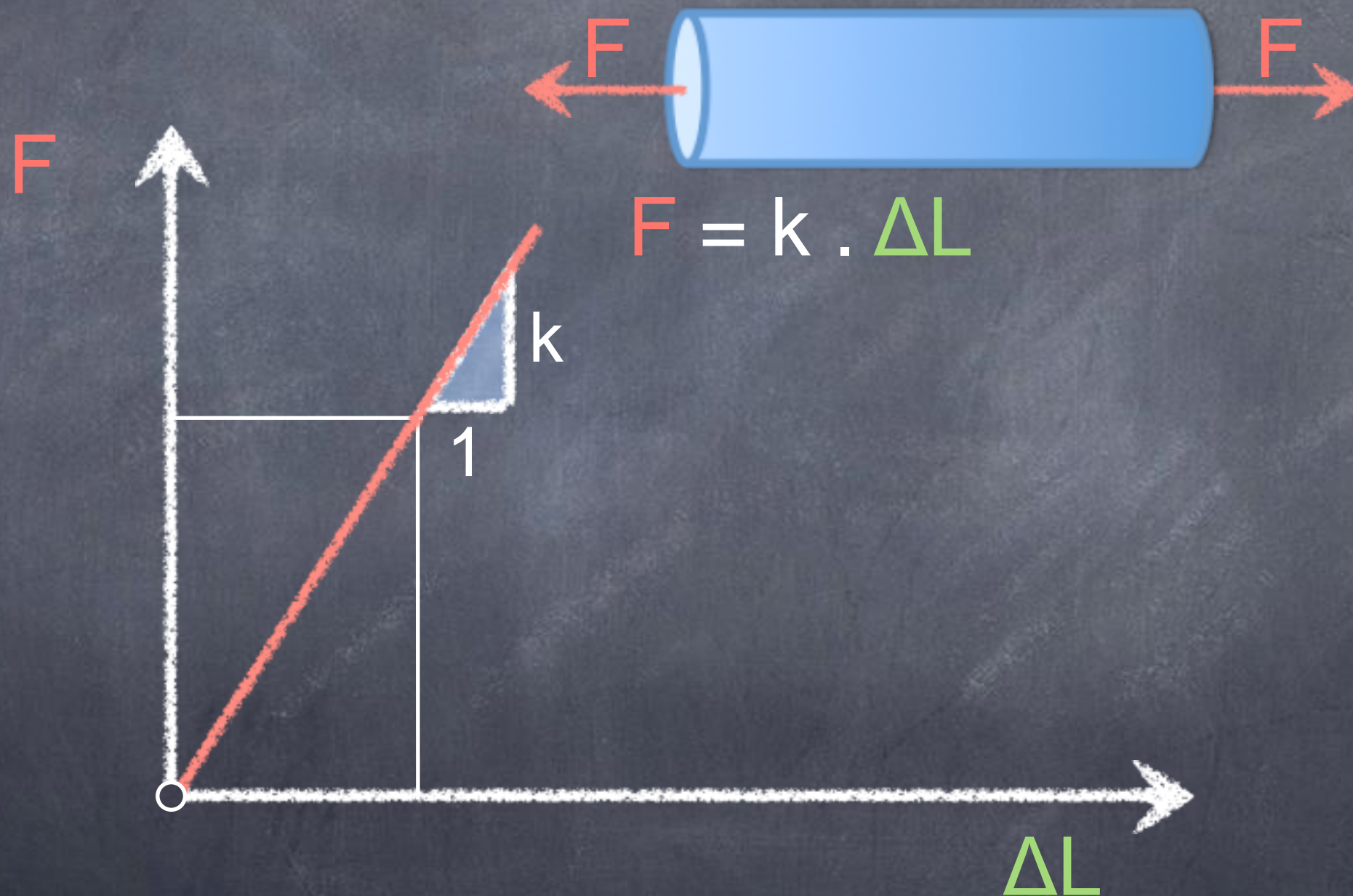
## Resistência





# Testes de tração e compressão

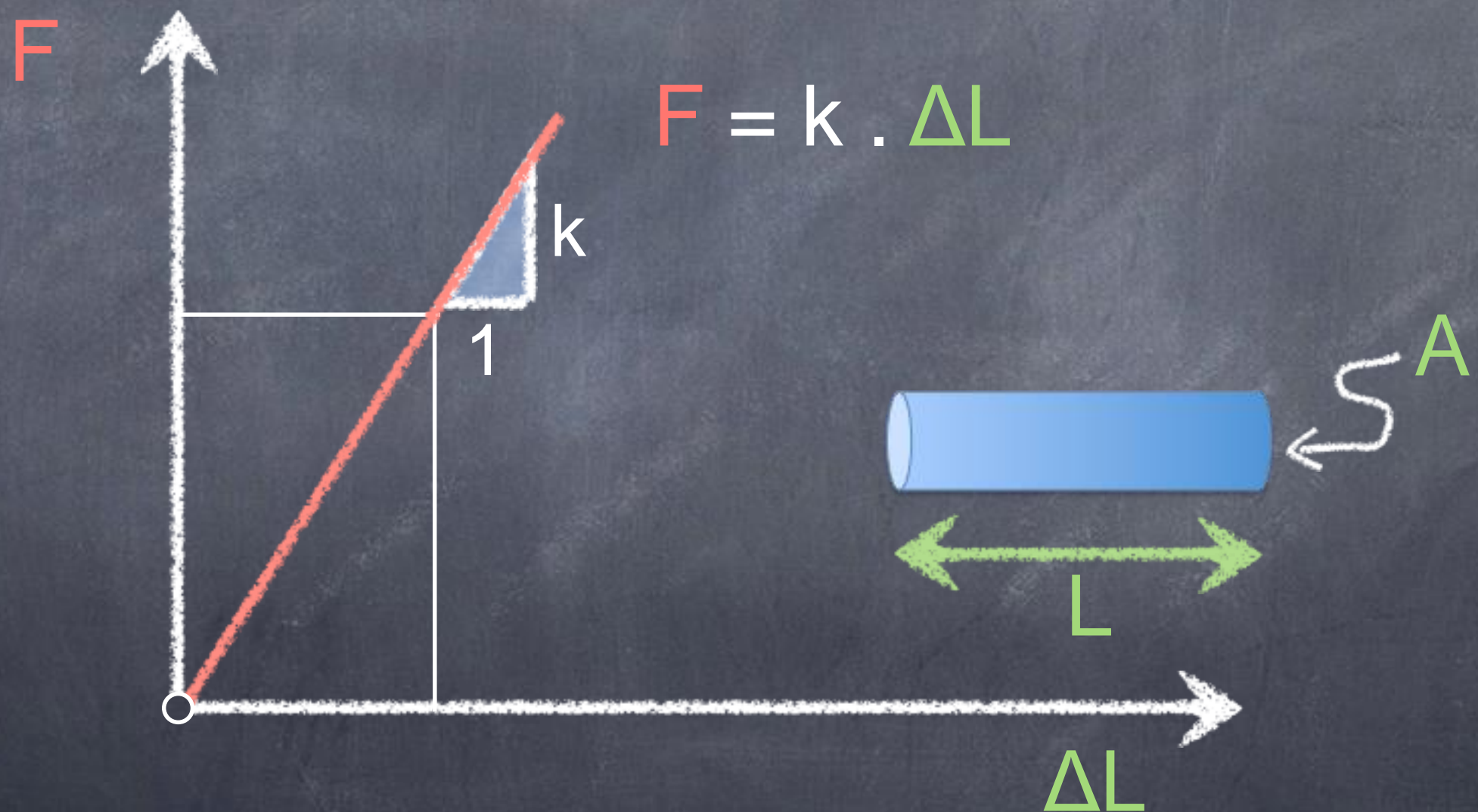
## Resistência





# Testes de tração e compressão

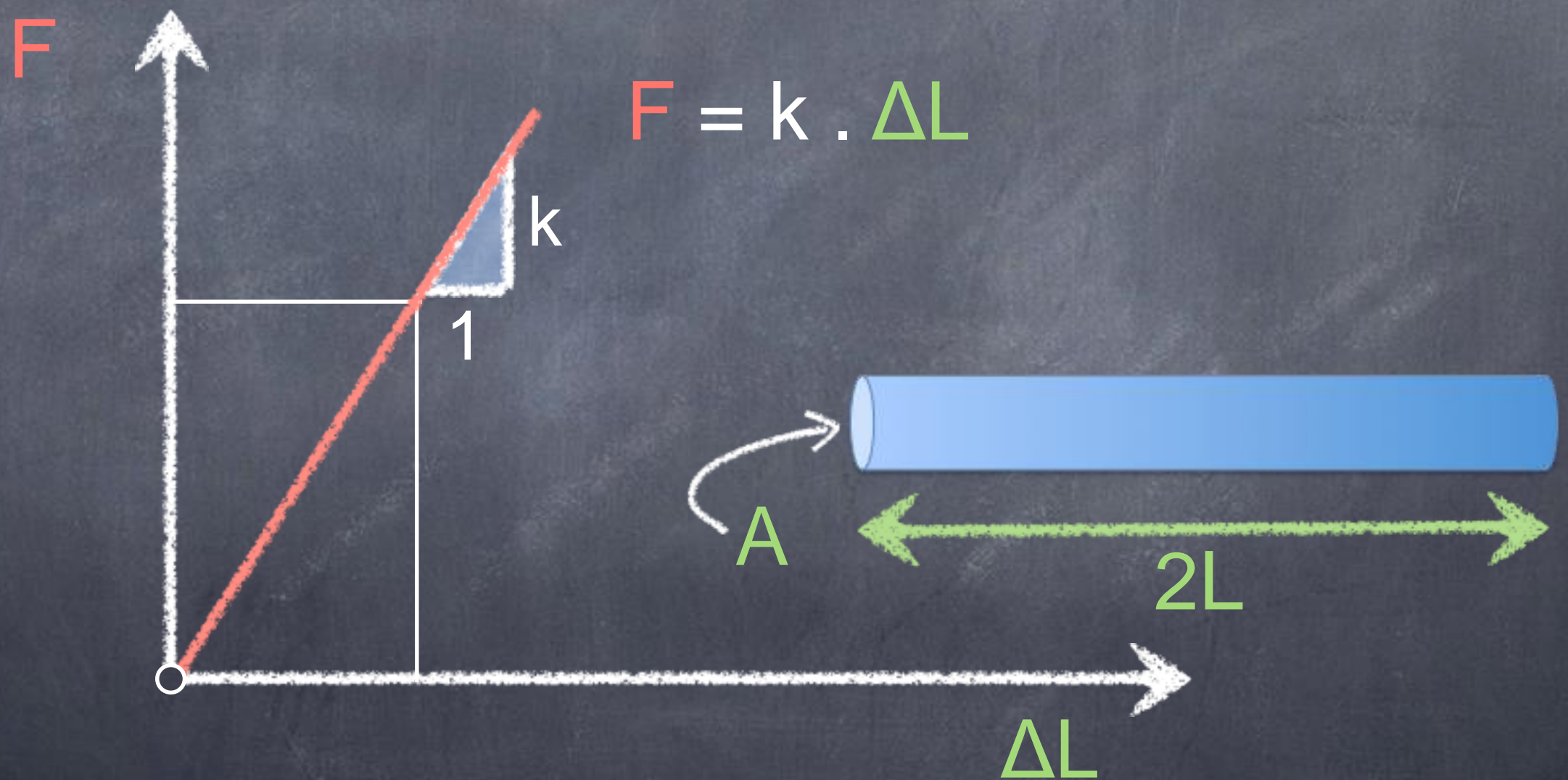
## Resistência





# Testes de tração e compressão

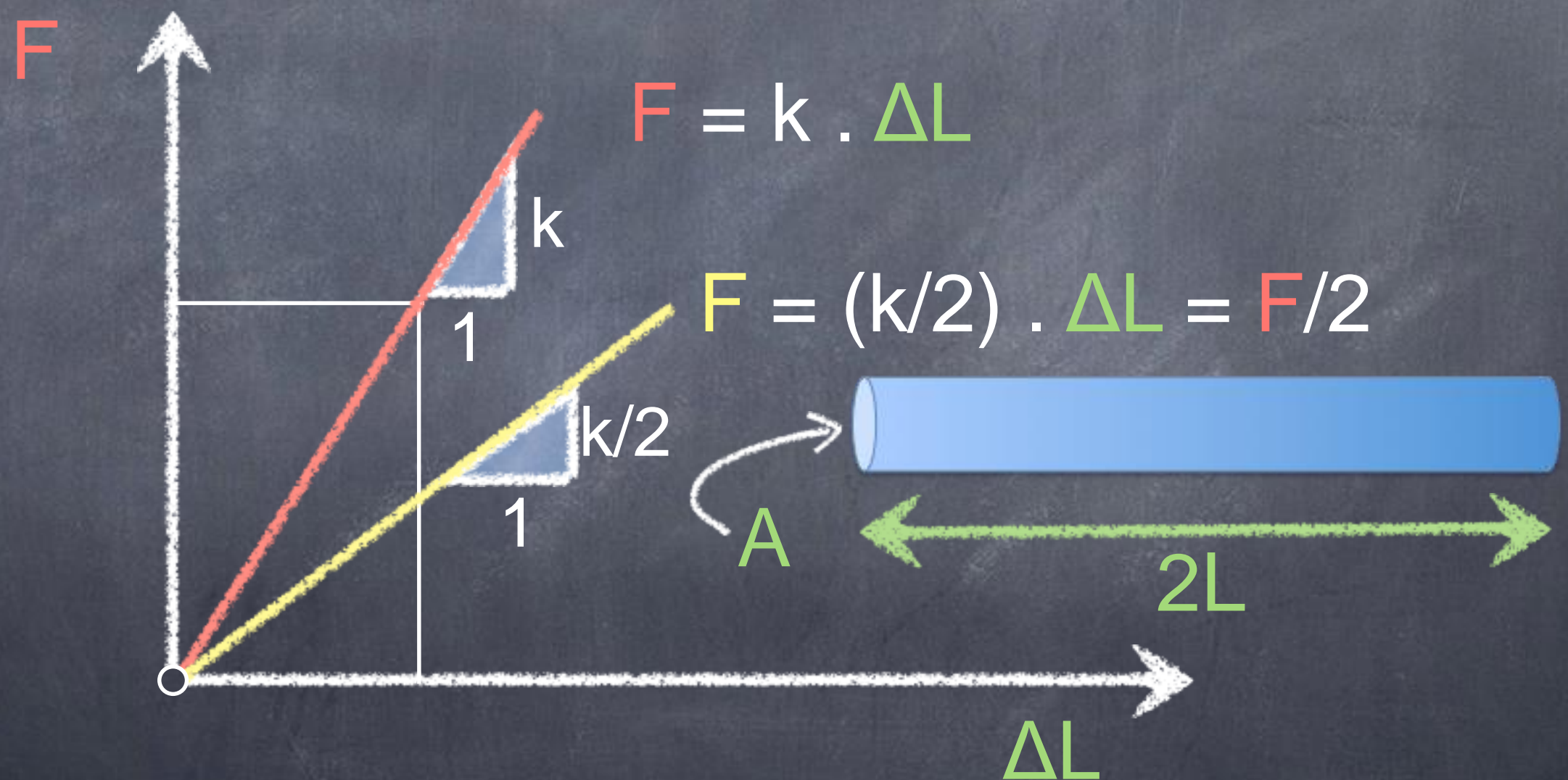
## Resistência





# Testes de tração e compressão

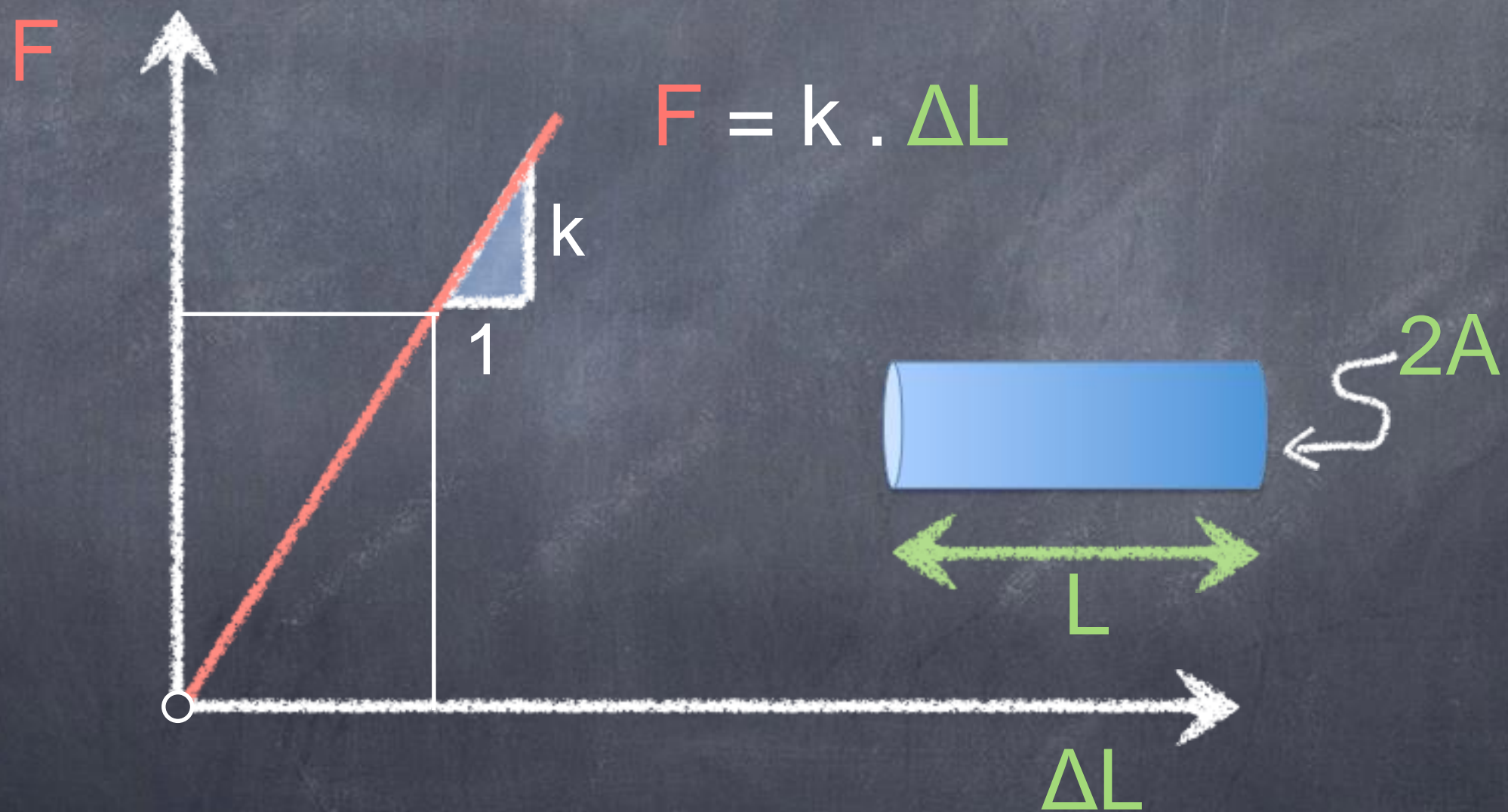
## Resistência





# Testes de tração e compressão

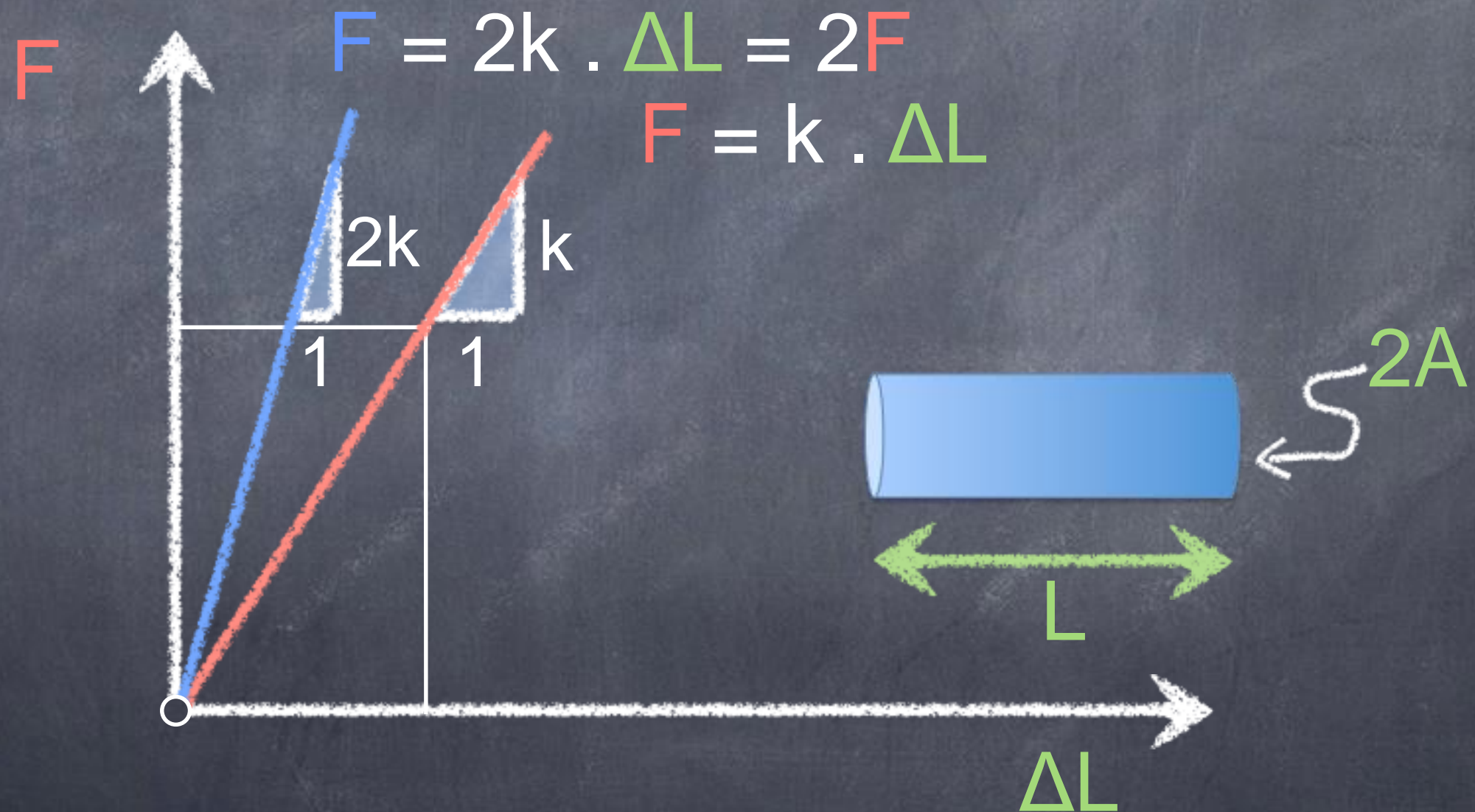
## Resistência





# Testes de tração e compressão

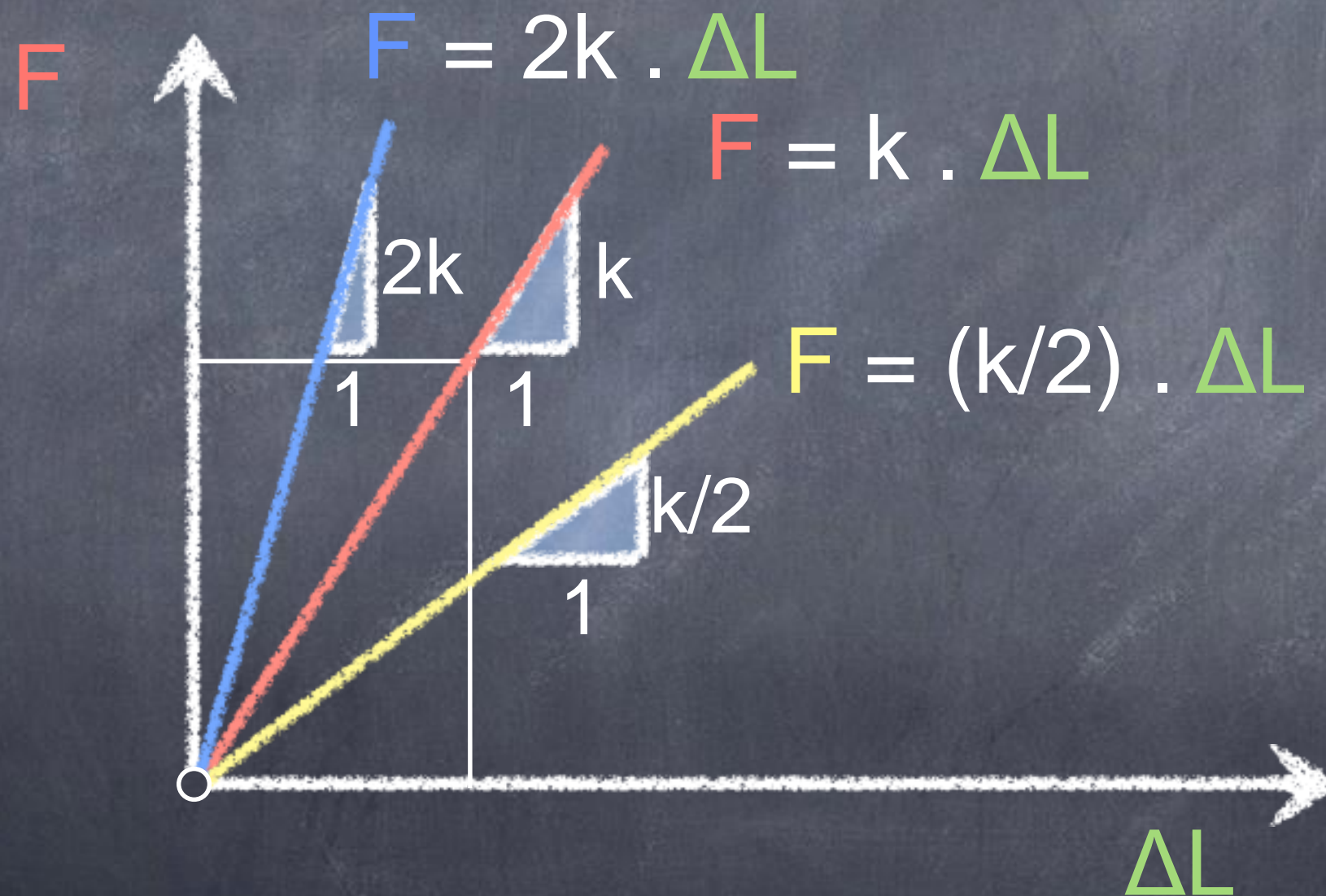
## Resistência





# Testes de tração e compressão

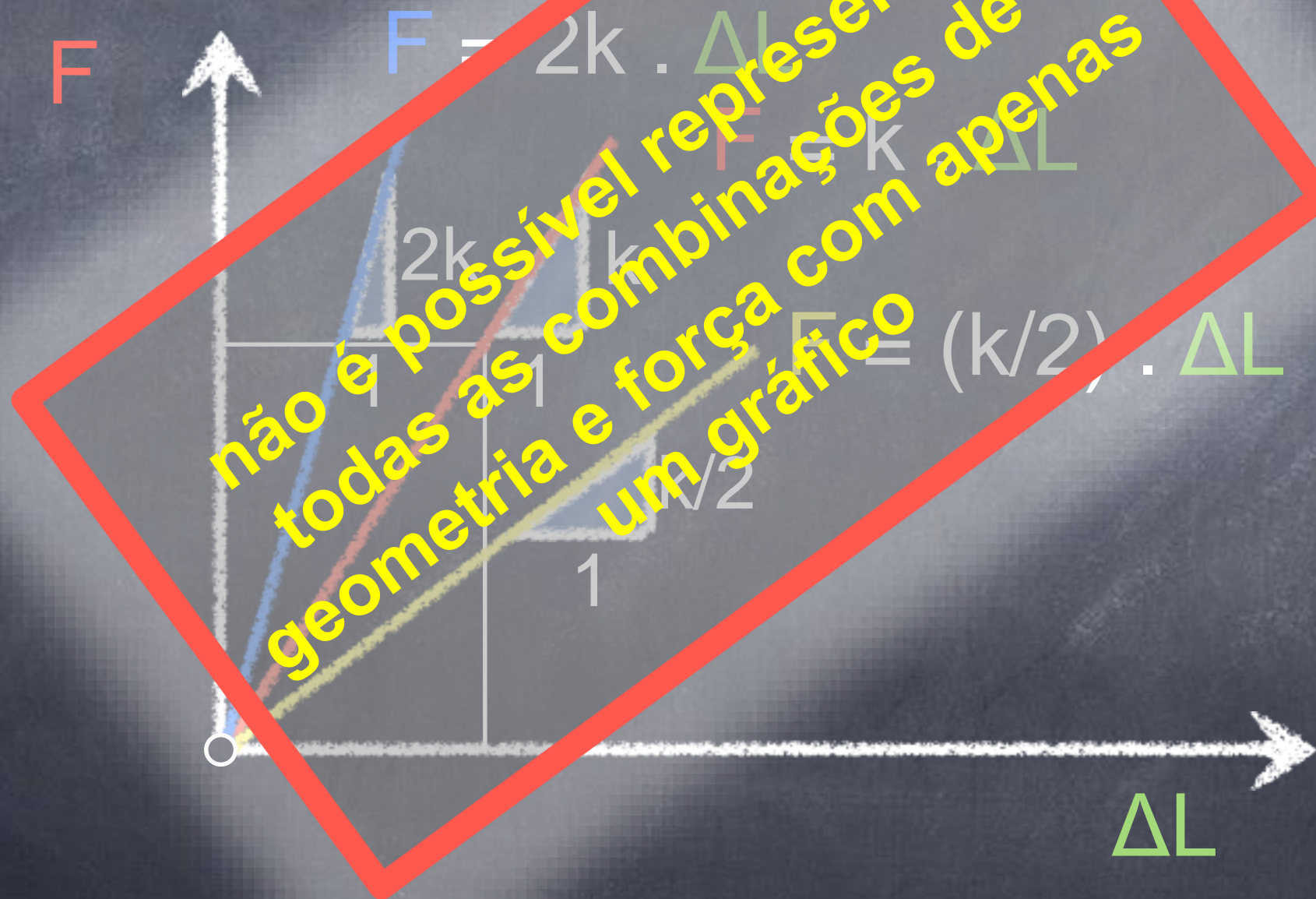
## Resistência





# Testes de tração e compressão

## Resistência





# Testes de tração e compressão

Resistência





# Testes de tração e compressão

Resistência



# Testes de tração e compressão

## Resistência

$$\sigma = F/A$$


$$\epsilon = \Delta L / L$$



# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

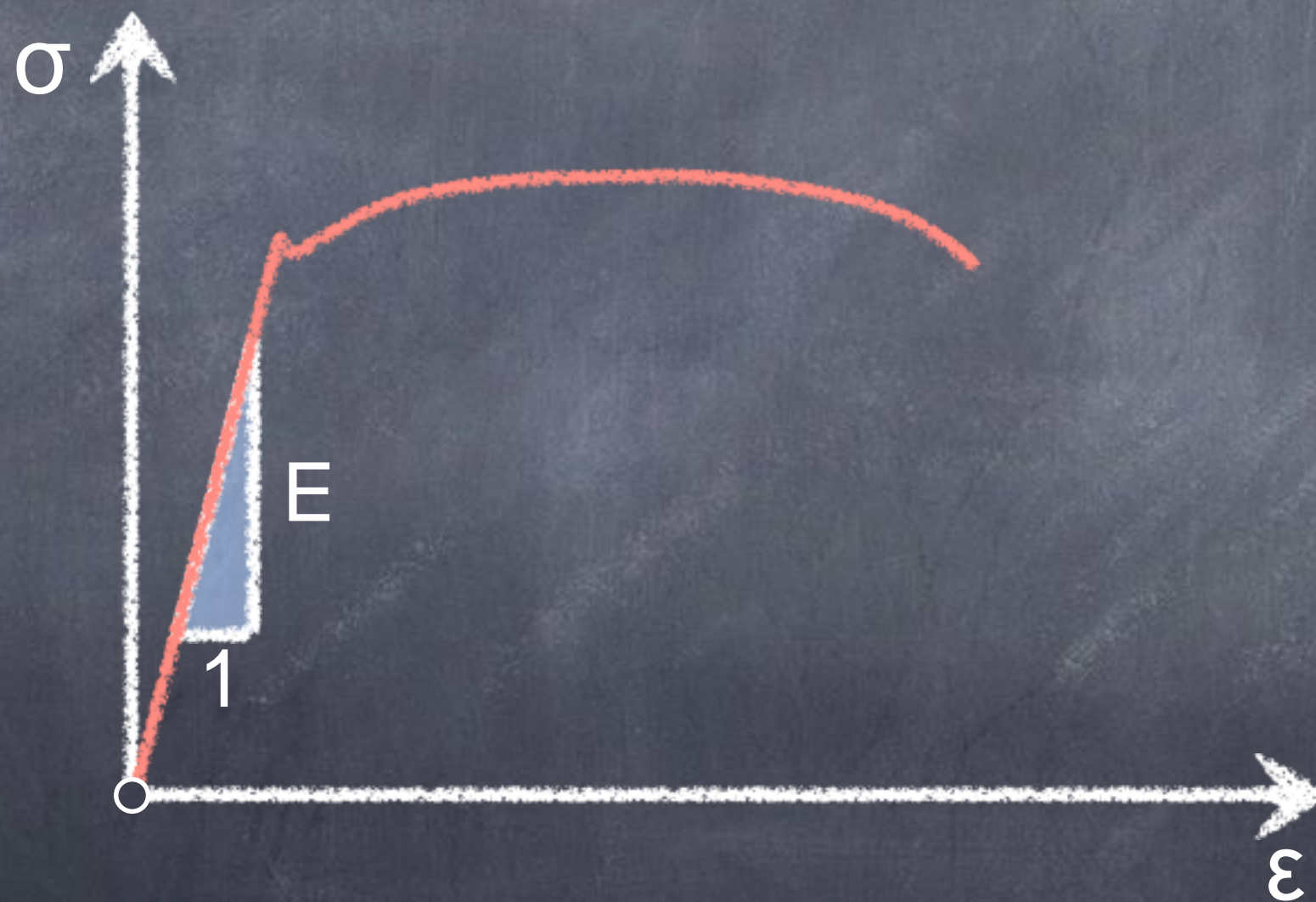




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

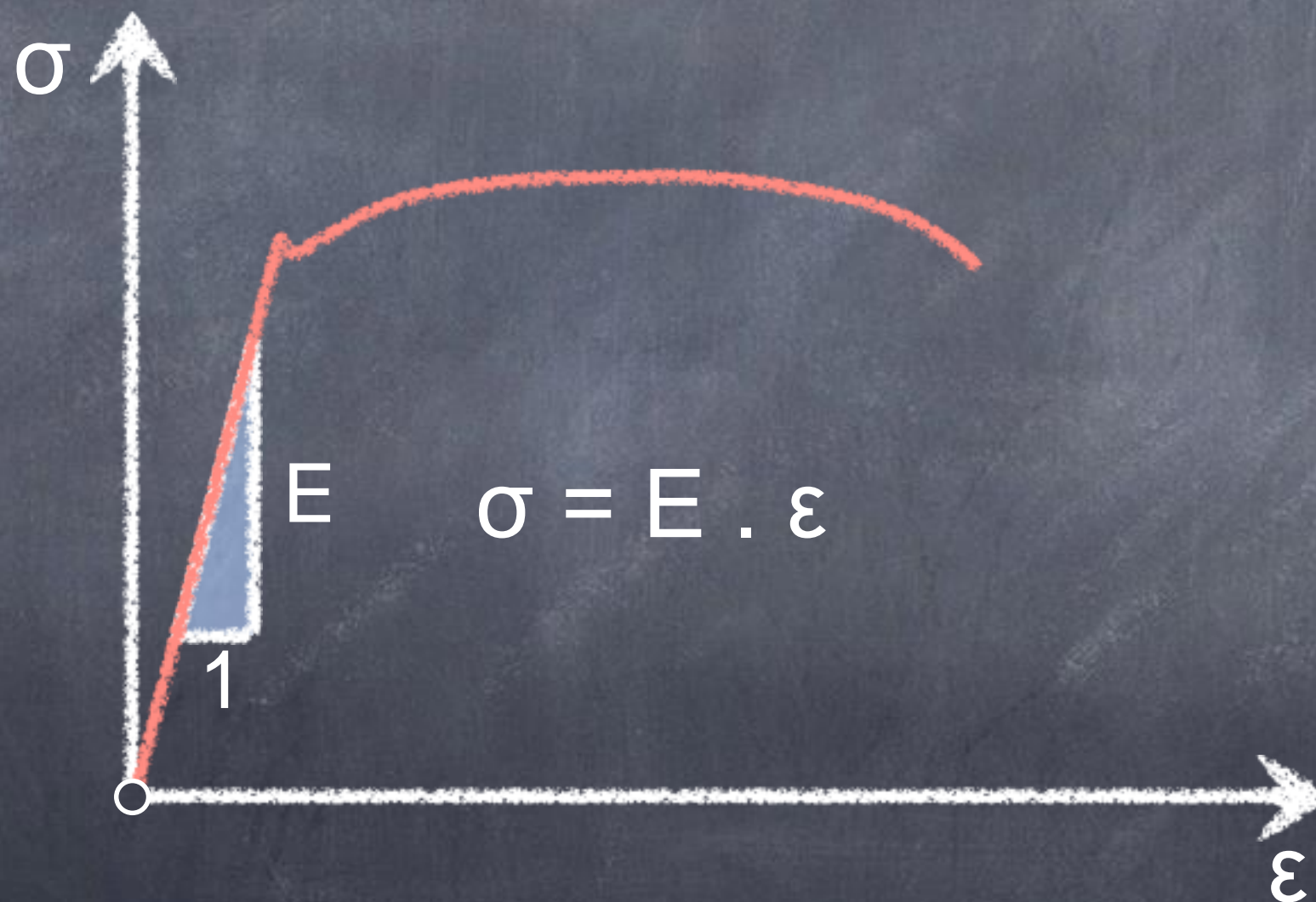




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação





# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

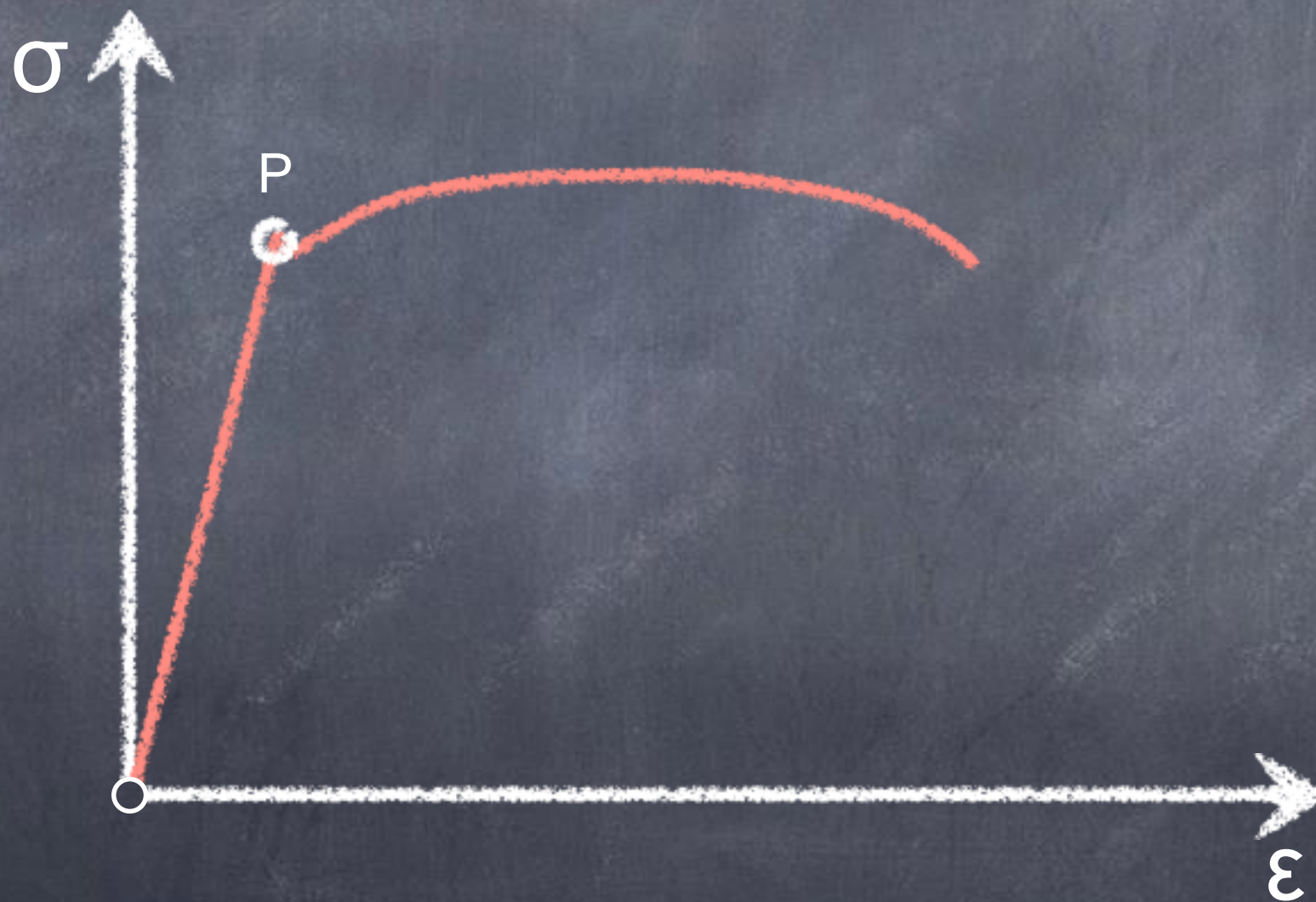




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

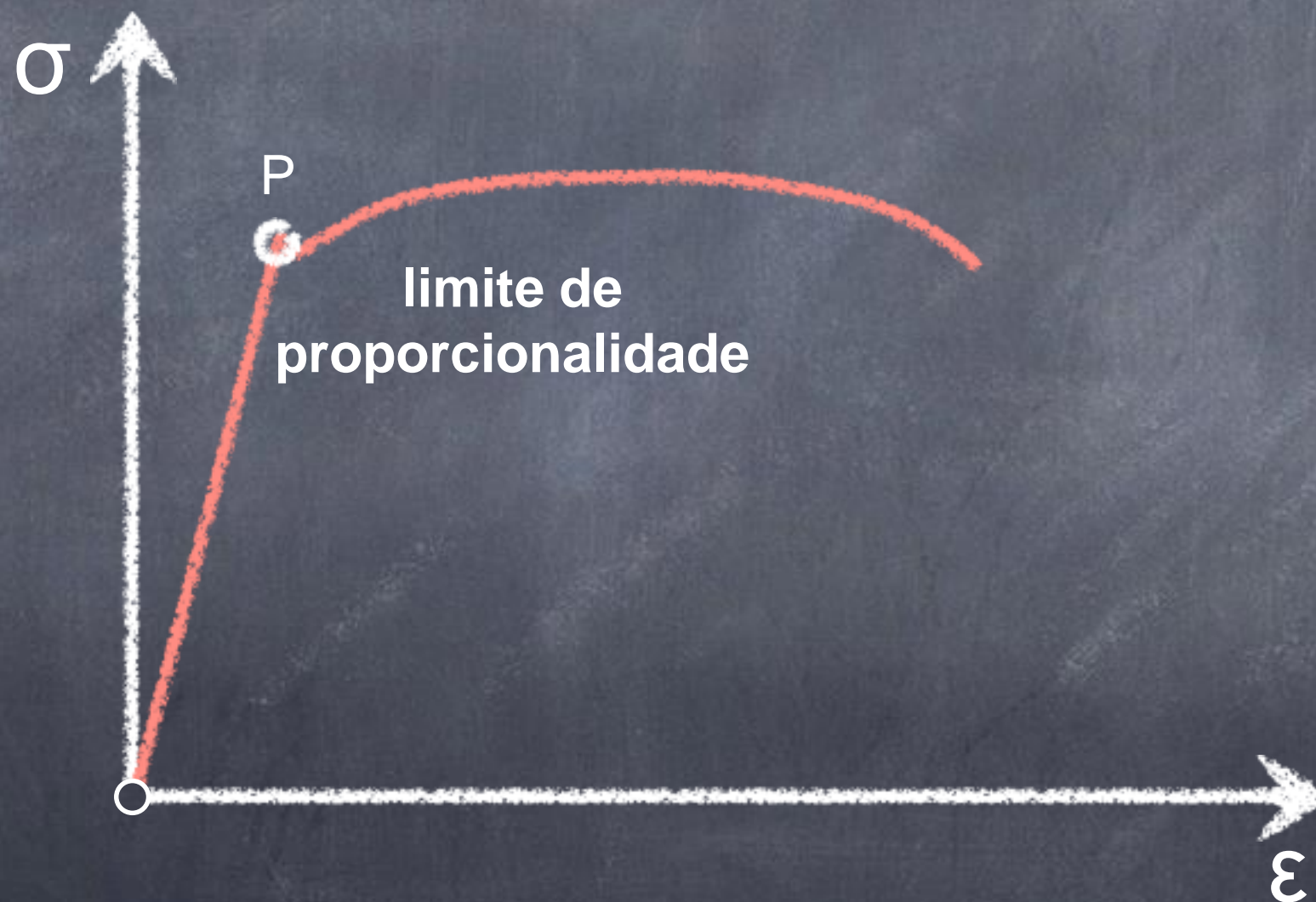




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

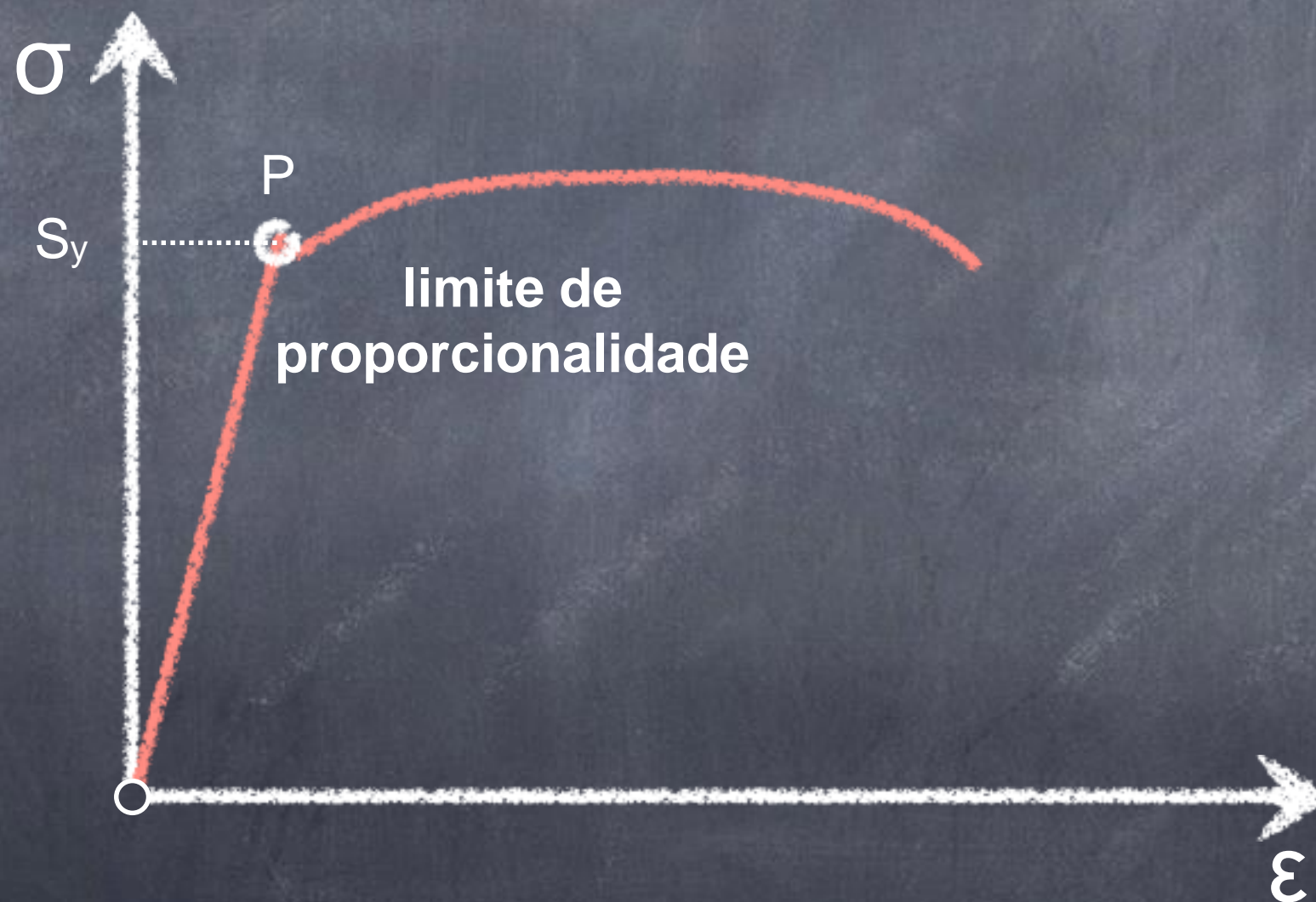




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

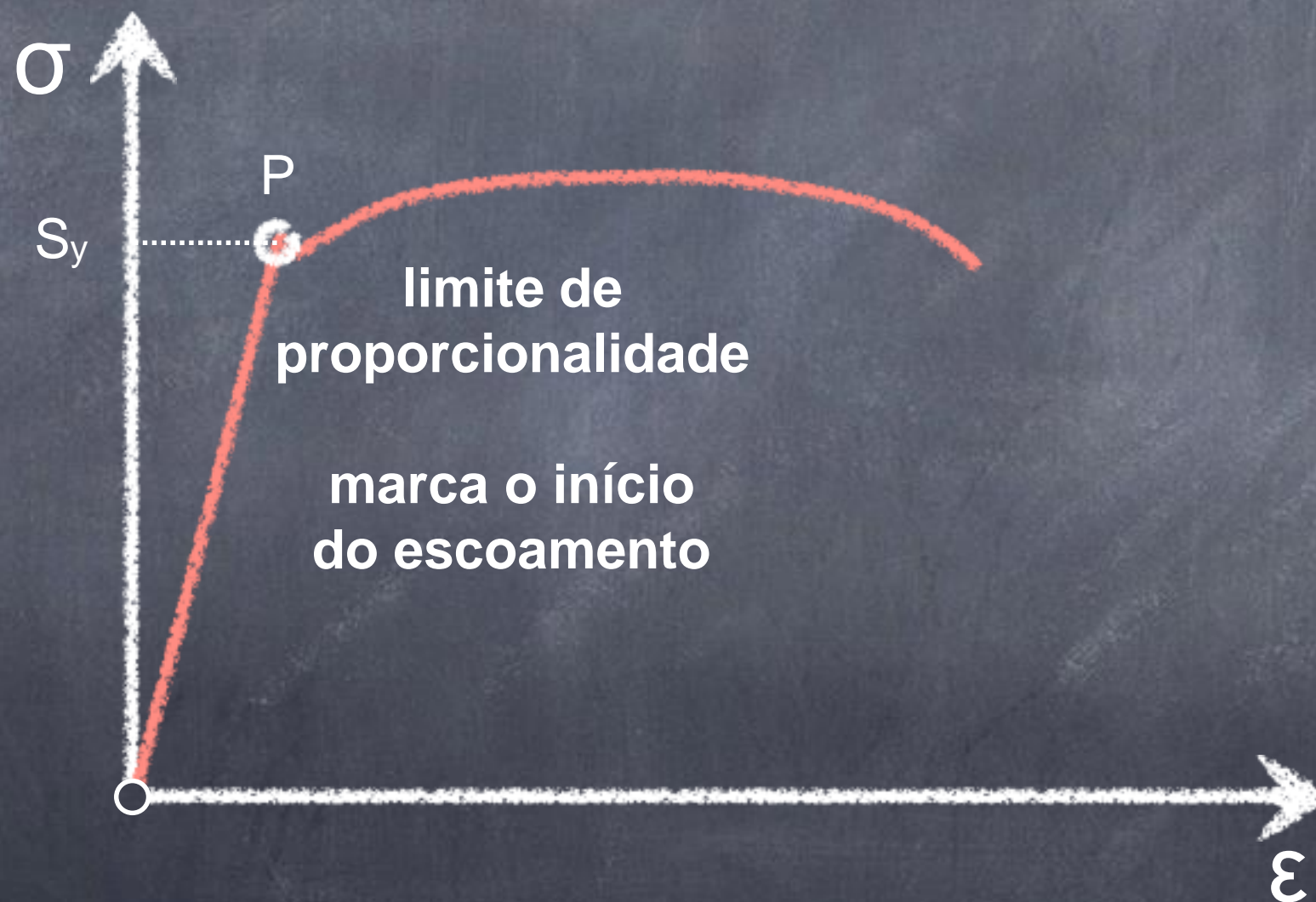




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

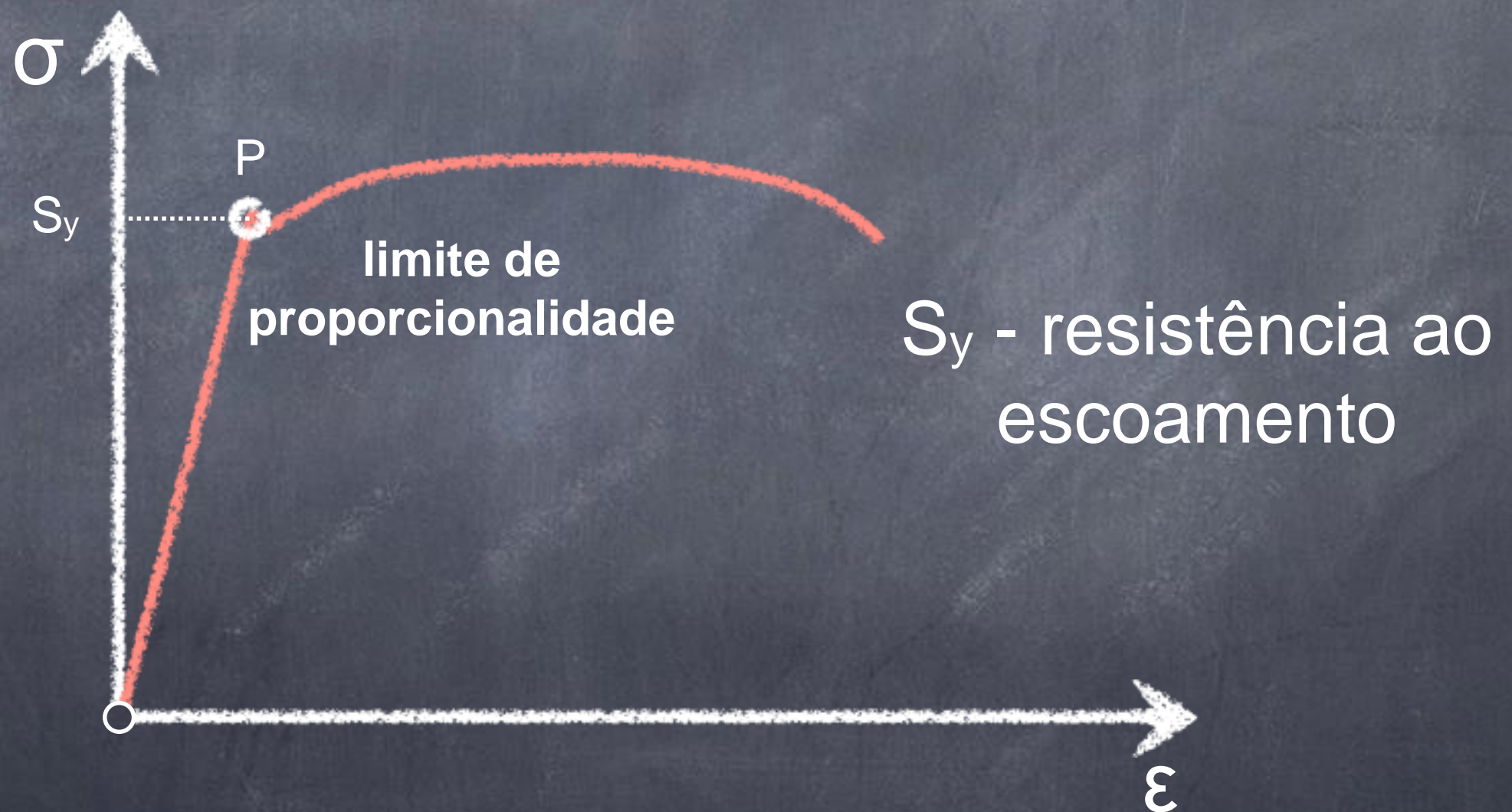




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

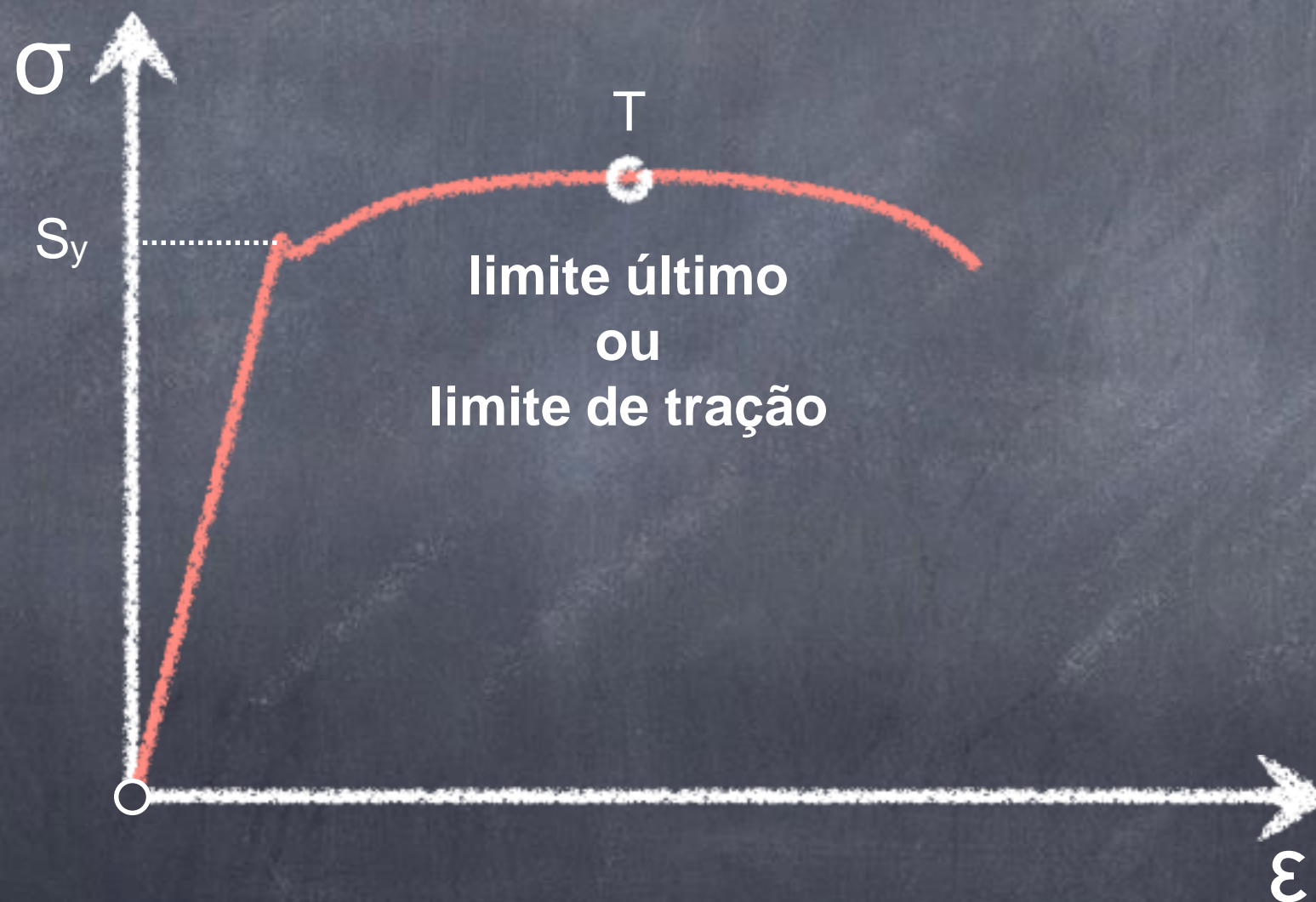




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

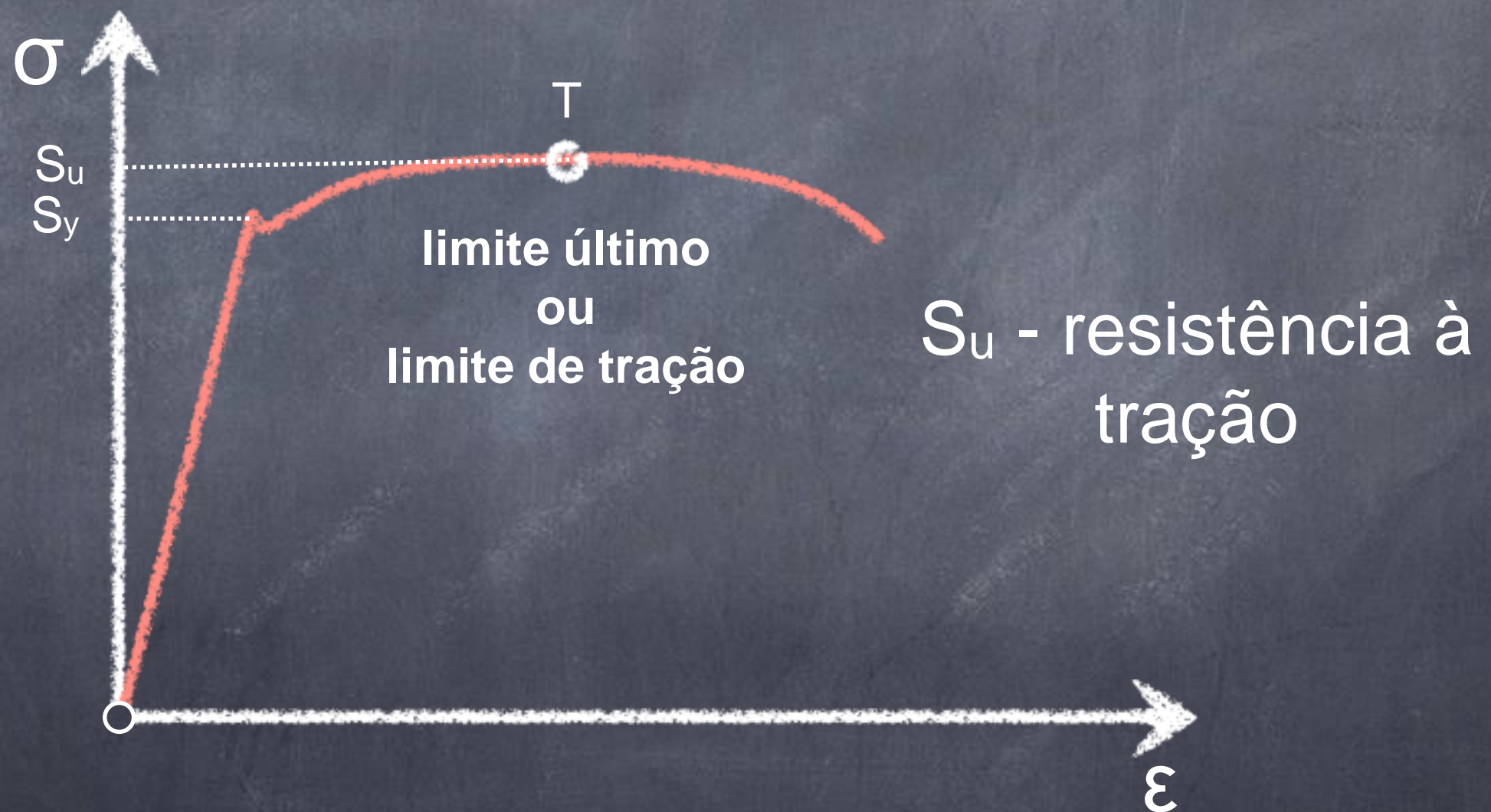




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

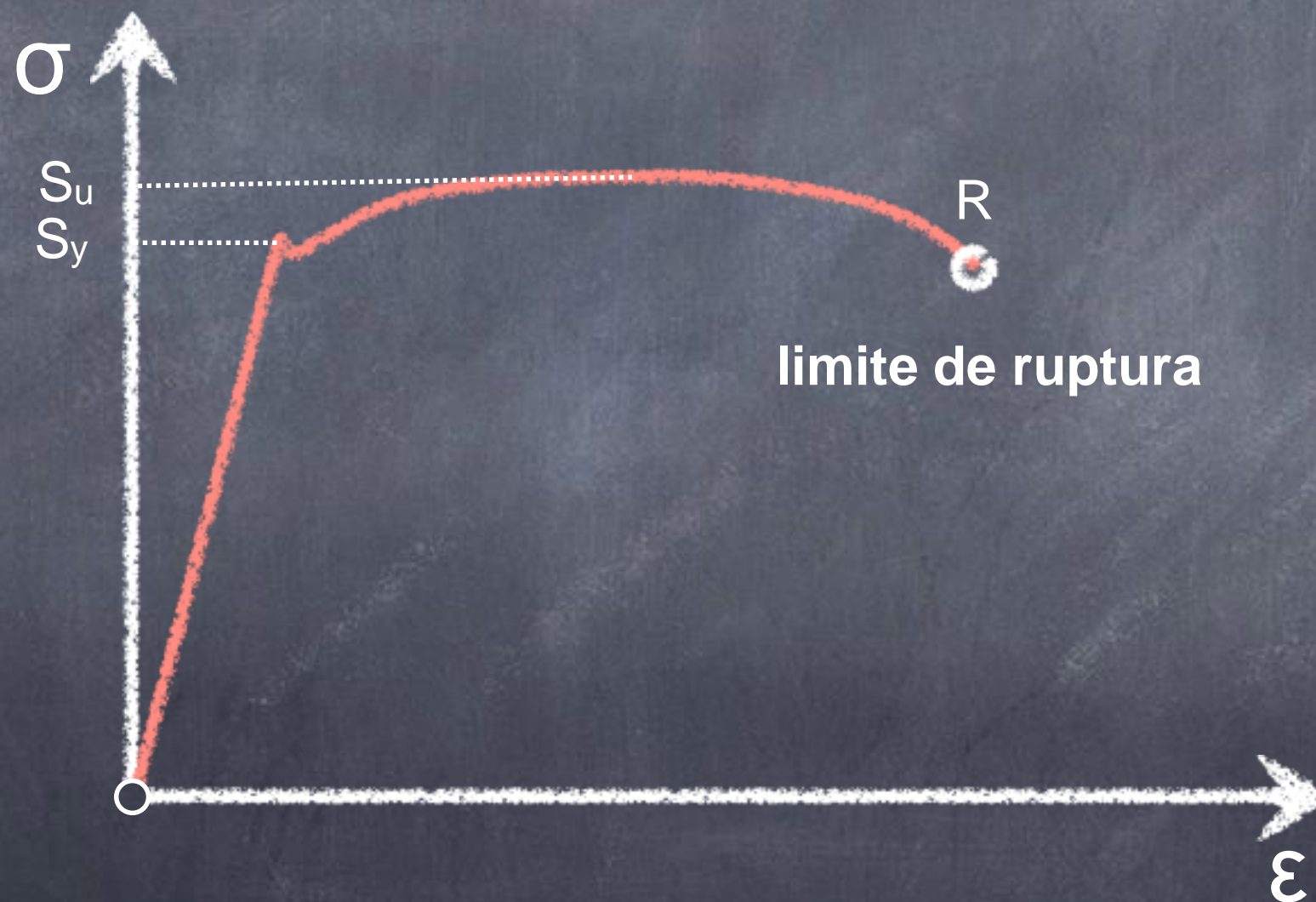




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

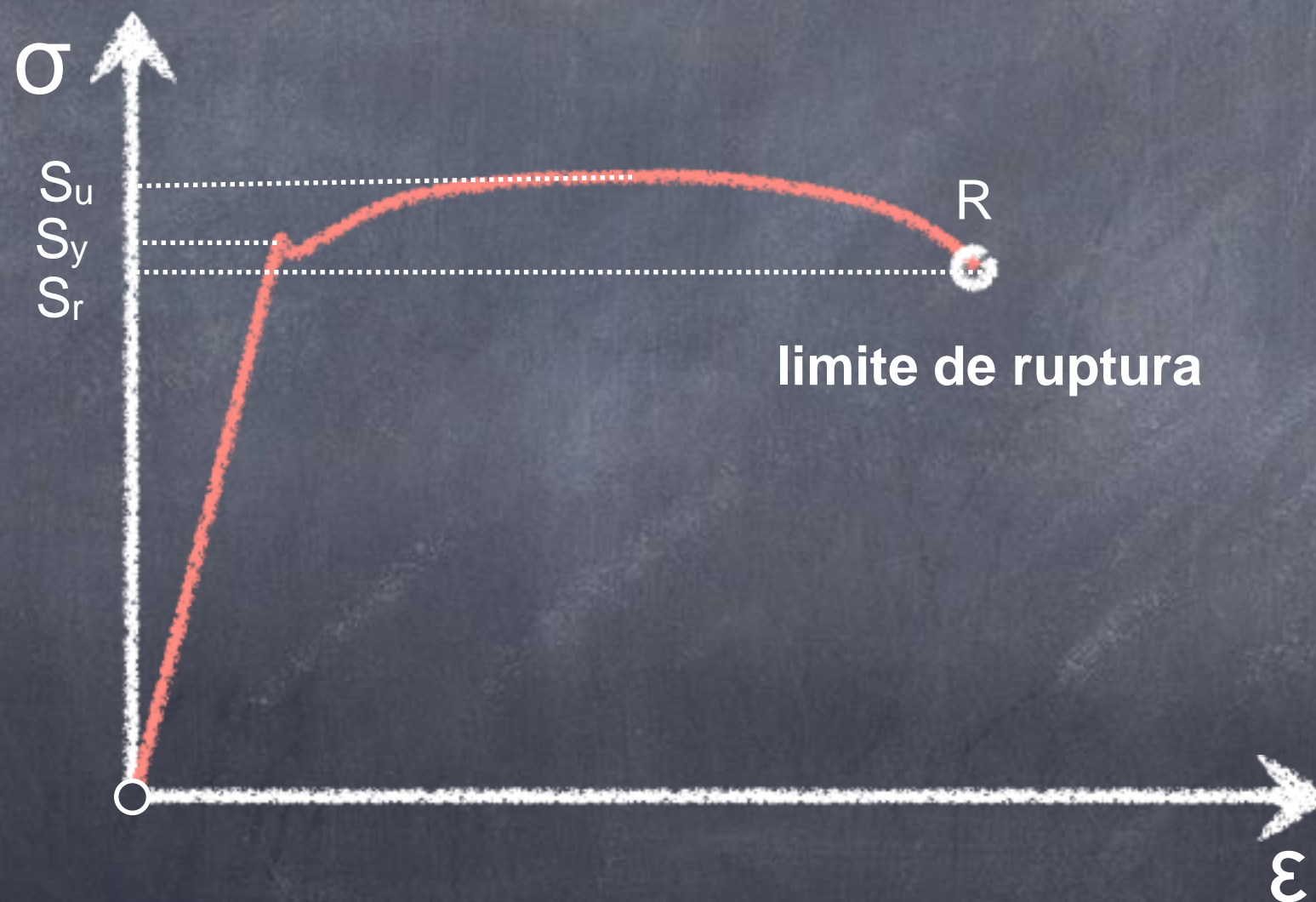




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação





# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação





# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

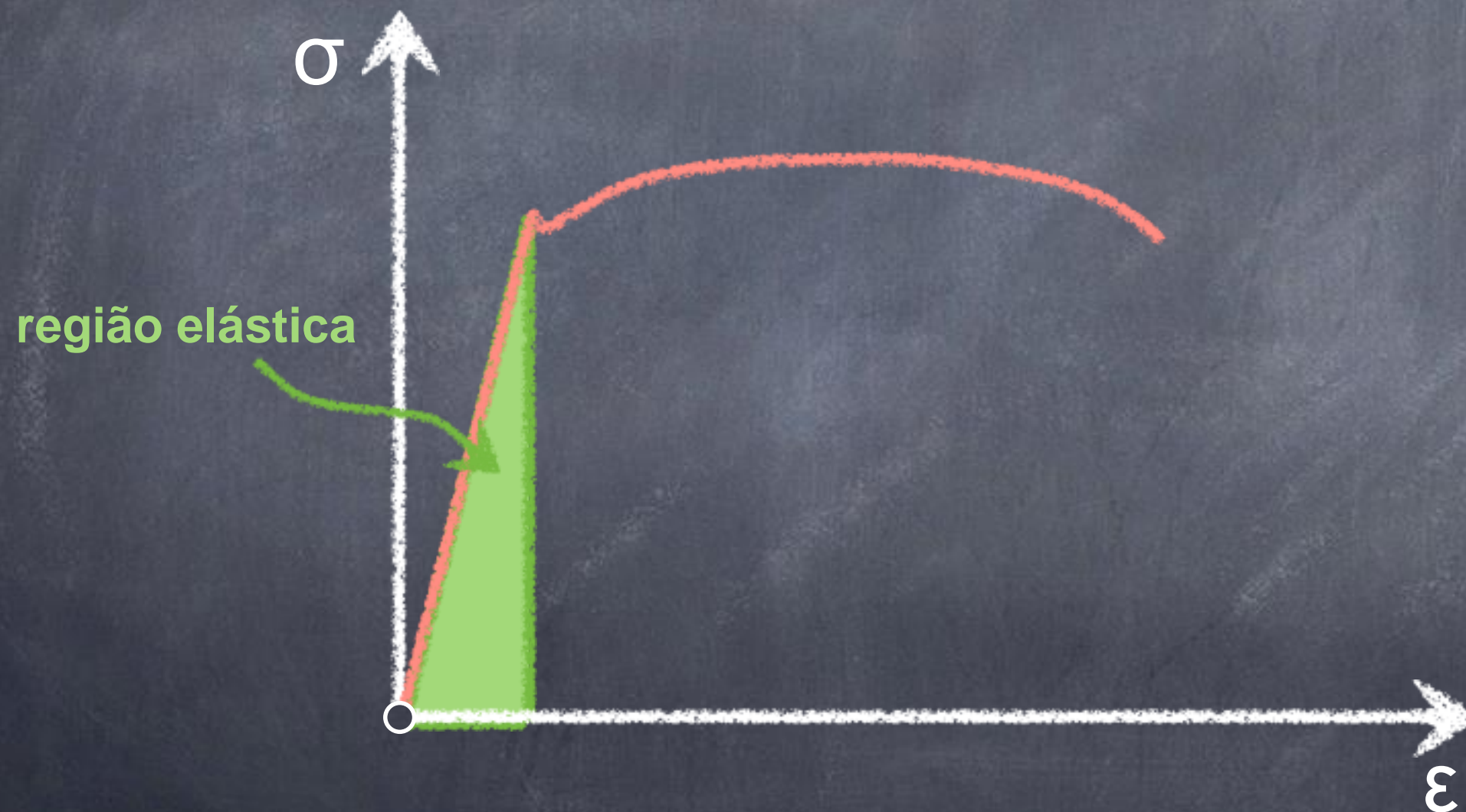




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

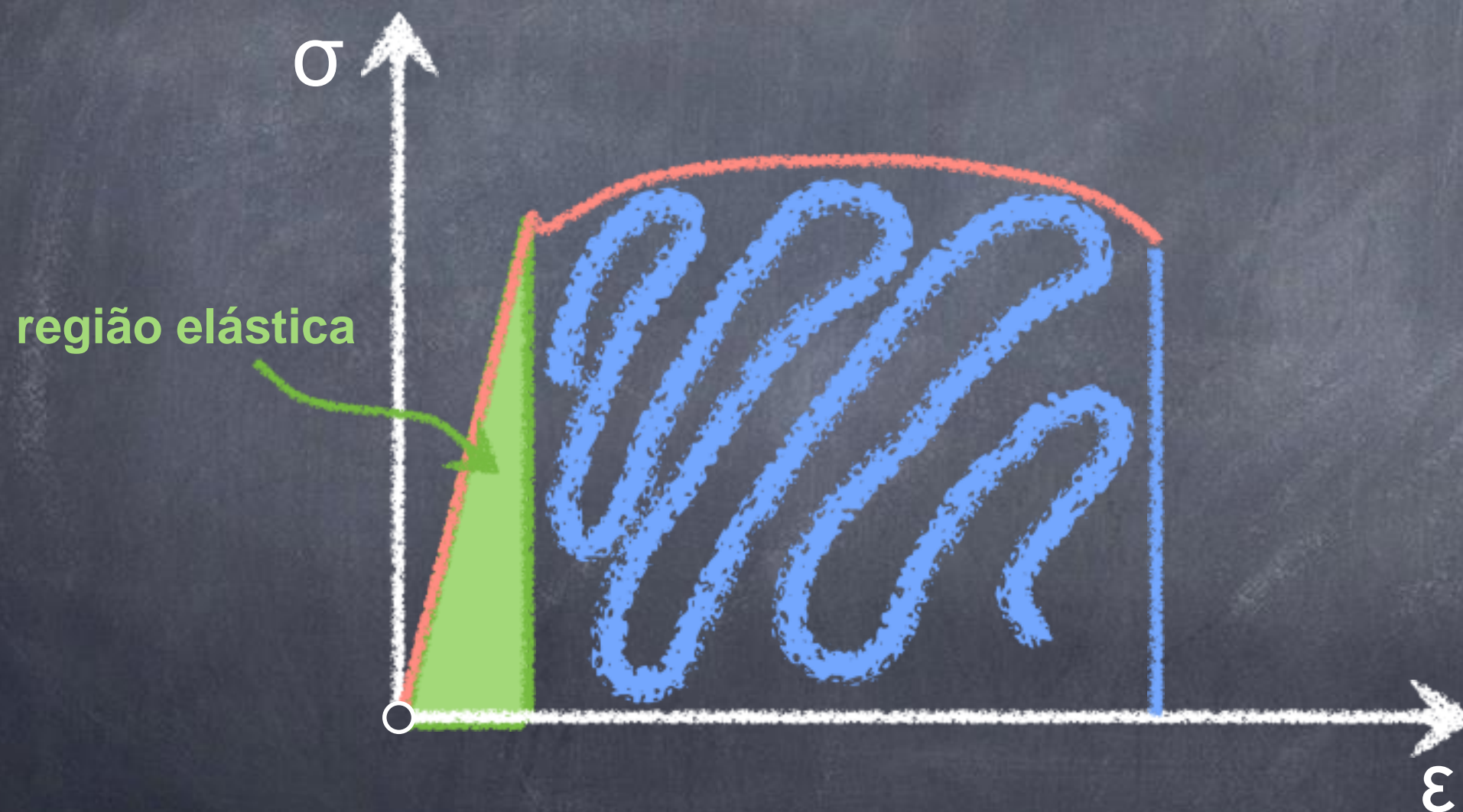




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

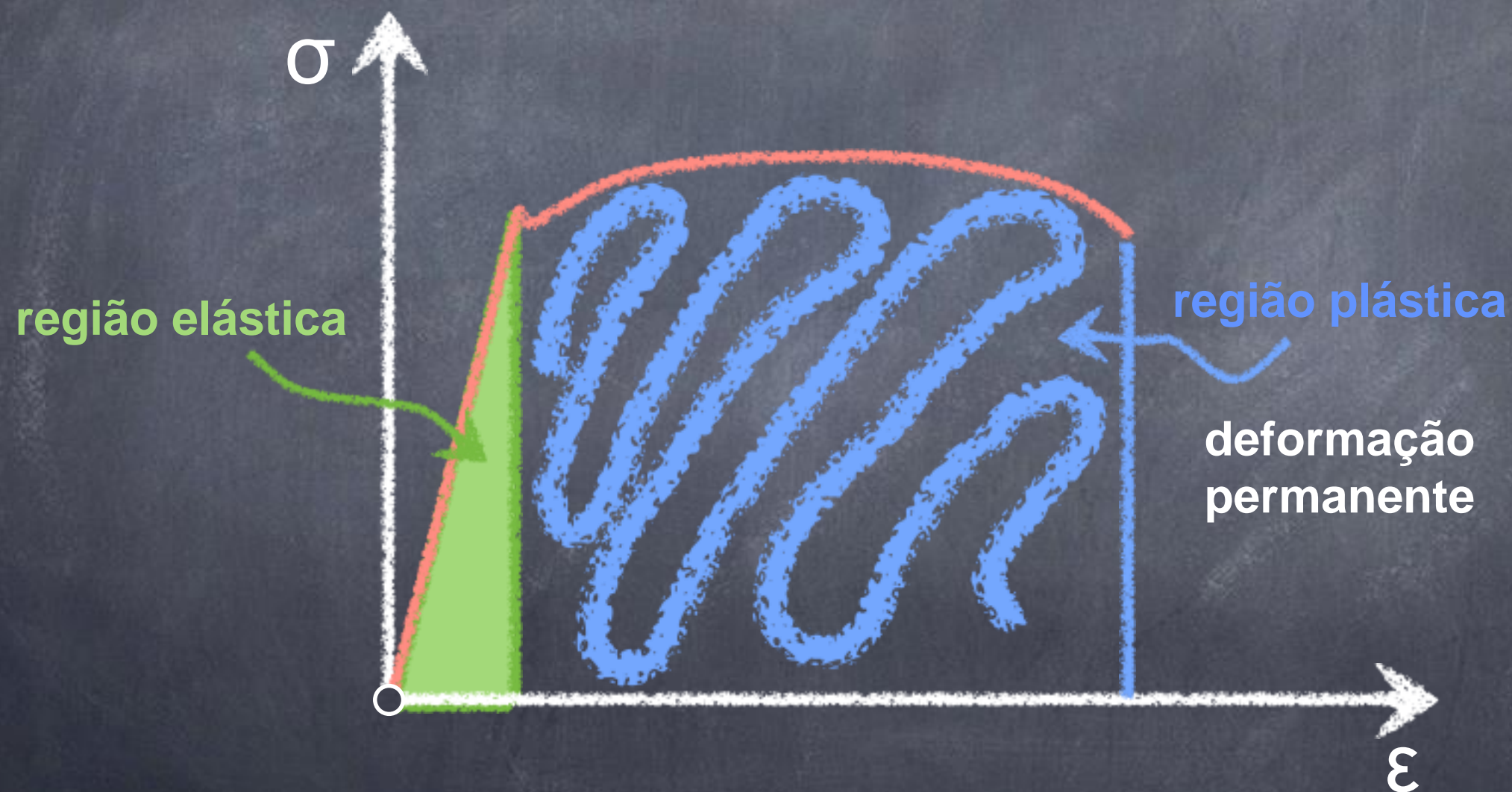




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação





Mecânica dos Sólidos

# Testes de tração e compressão

Resistência

Diagrama tensão-deformação

CORPO DE PROVA

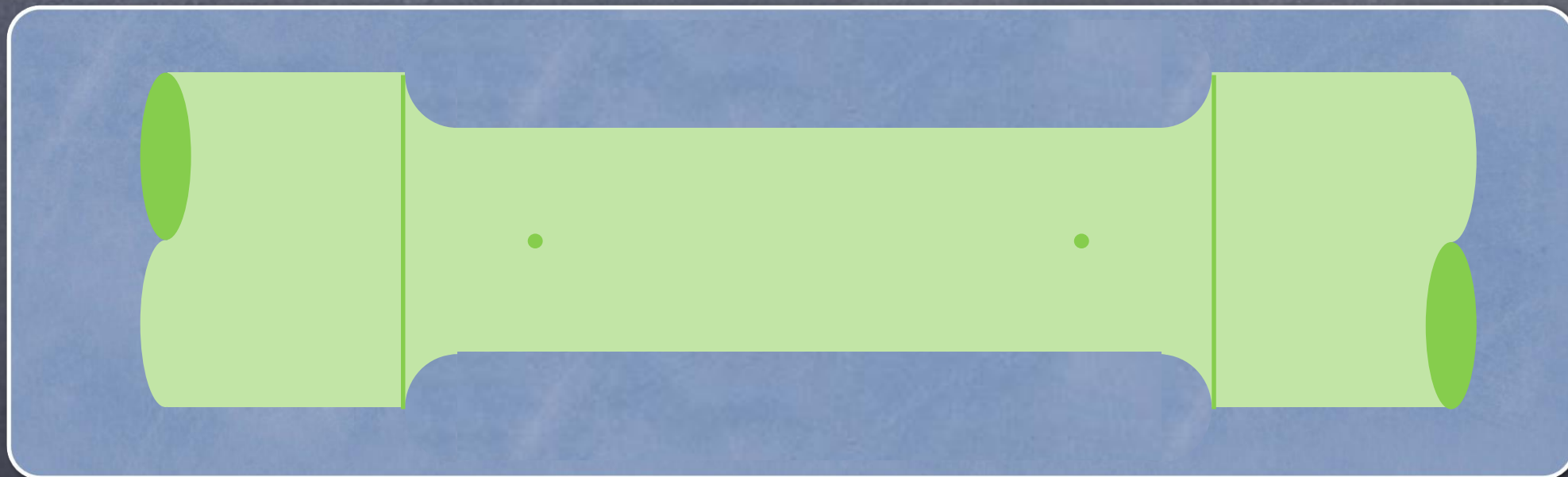


# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

CORPO DE PROVA



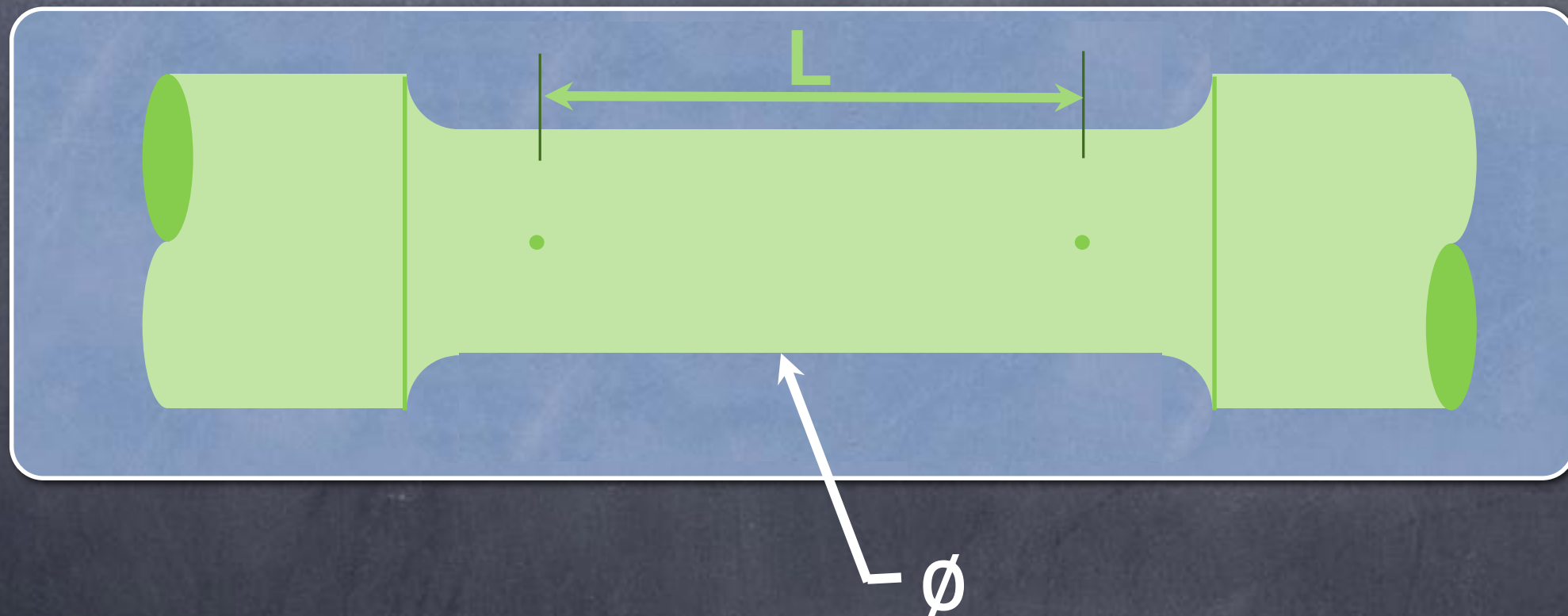


# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

CORPO DE PROVA

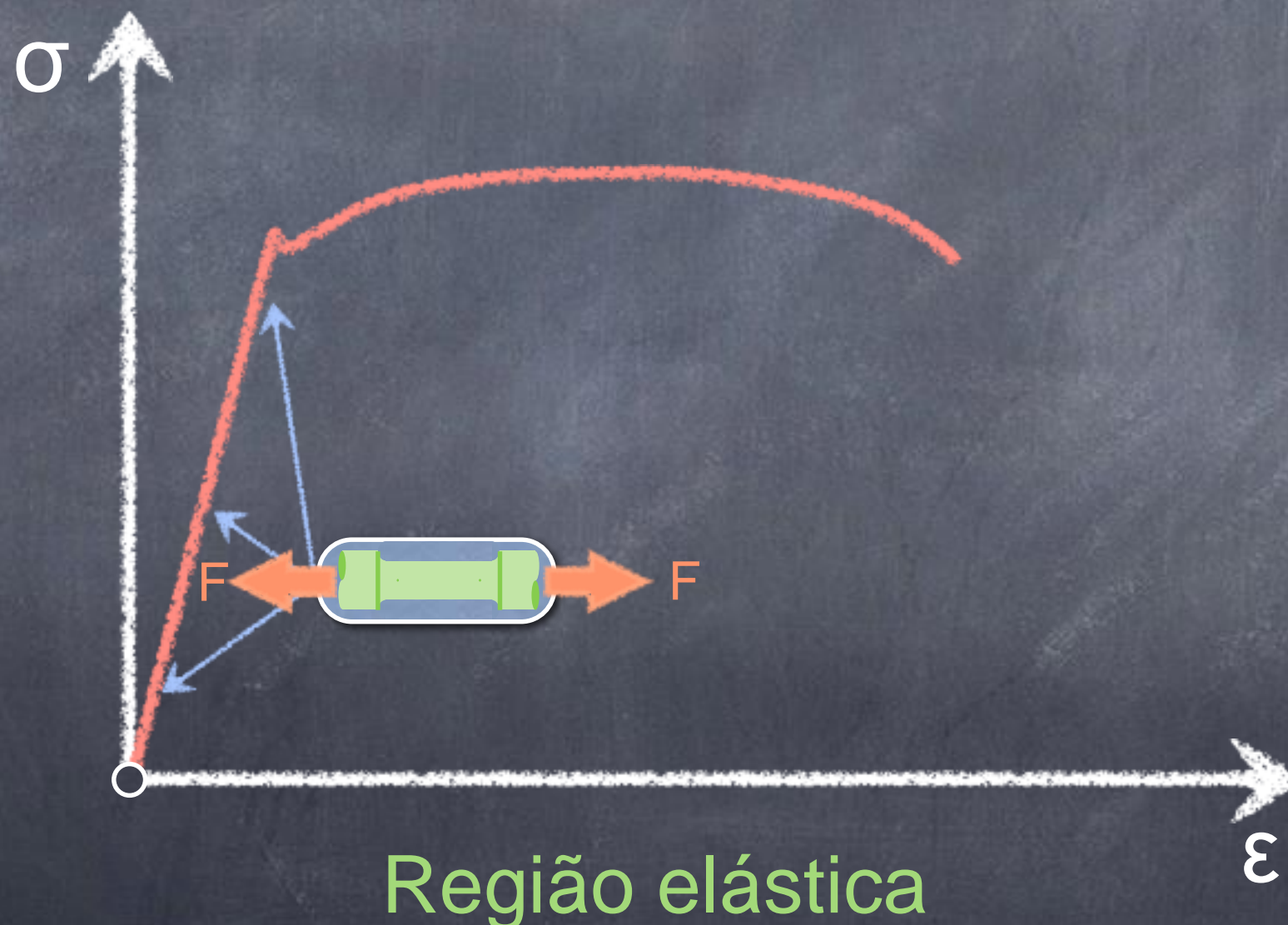




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação





# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação





# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

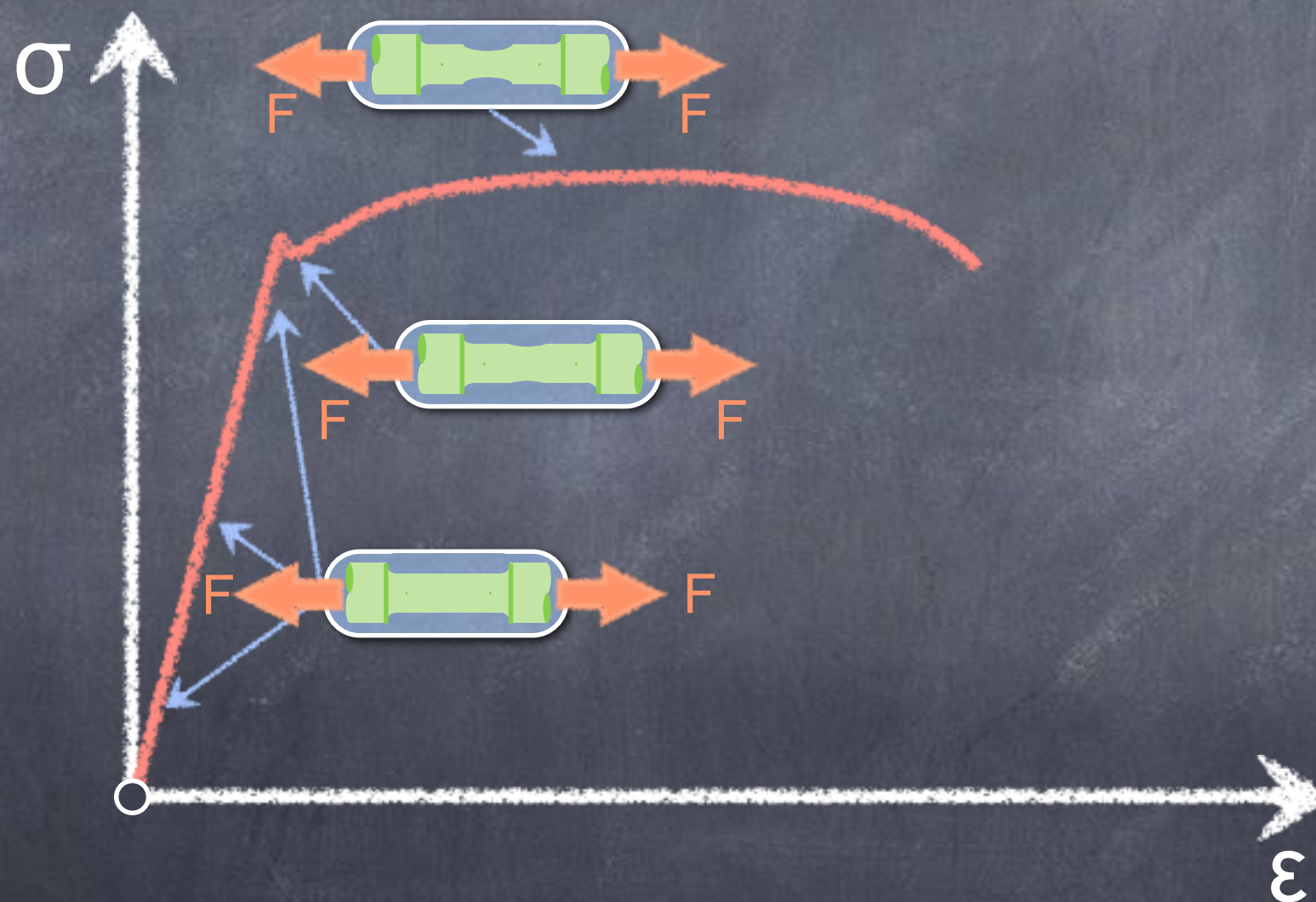




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

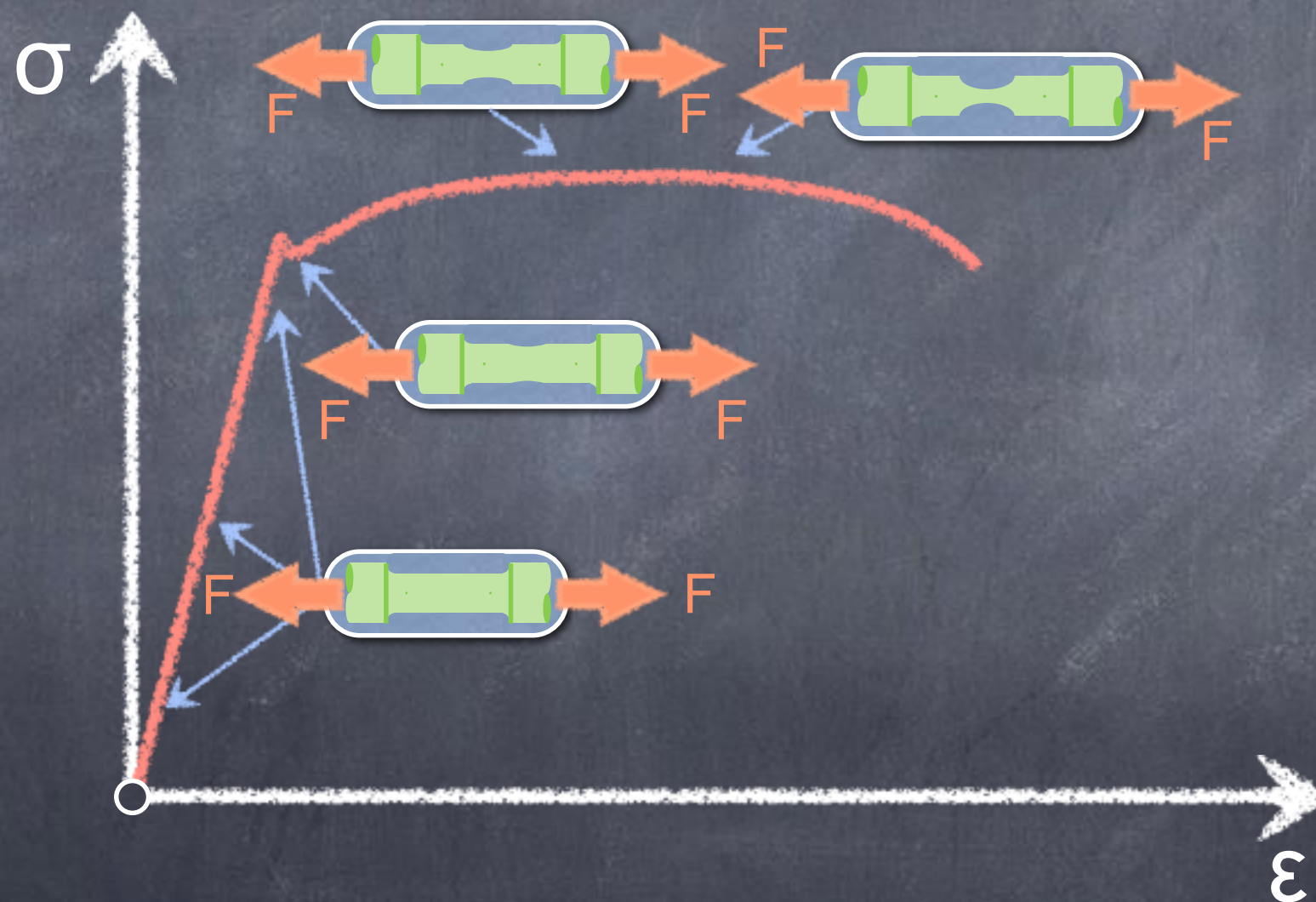




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

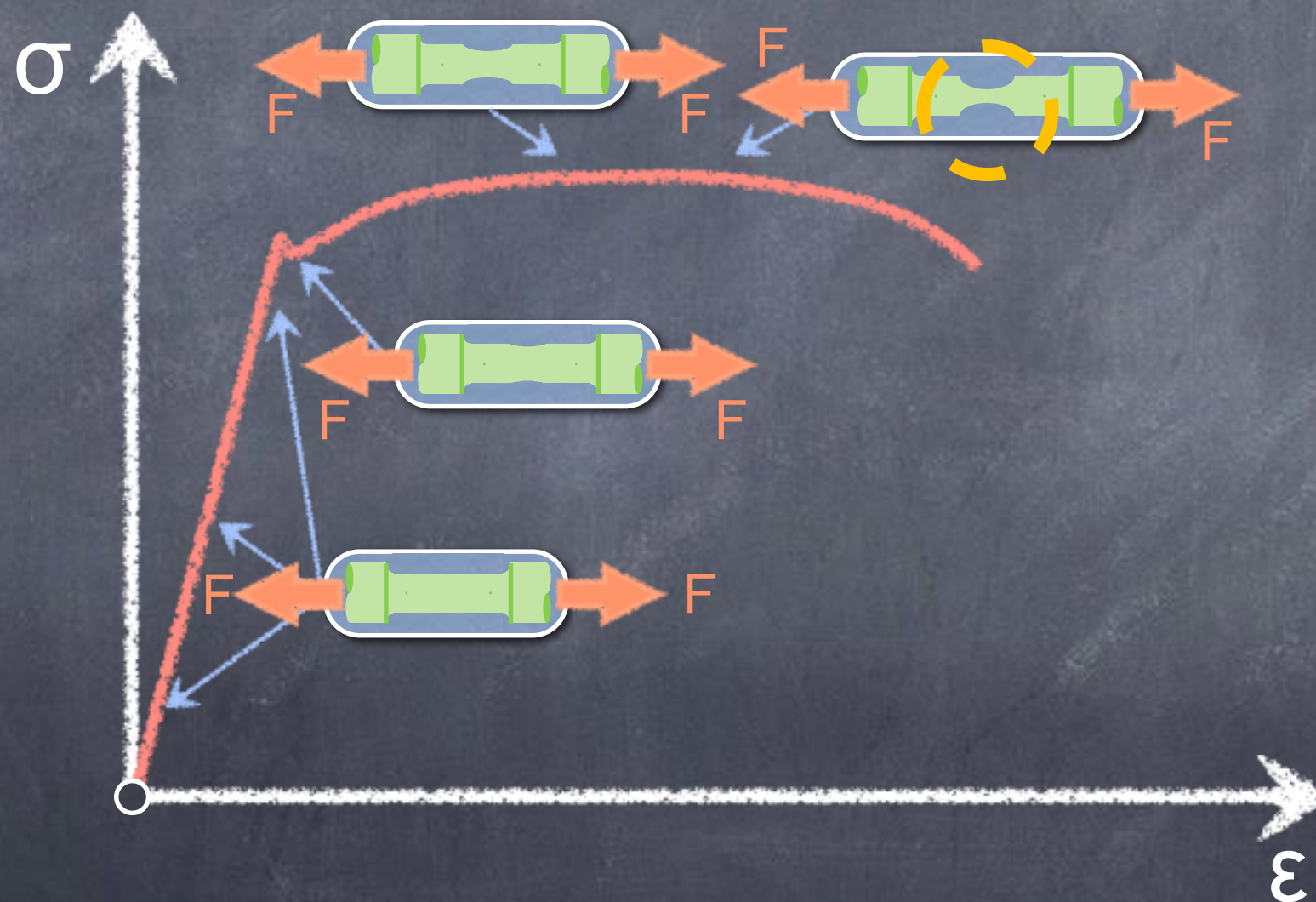




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

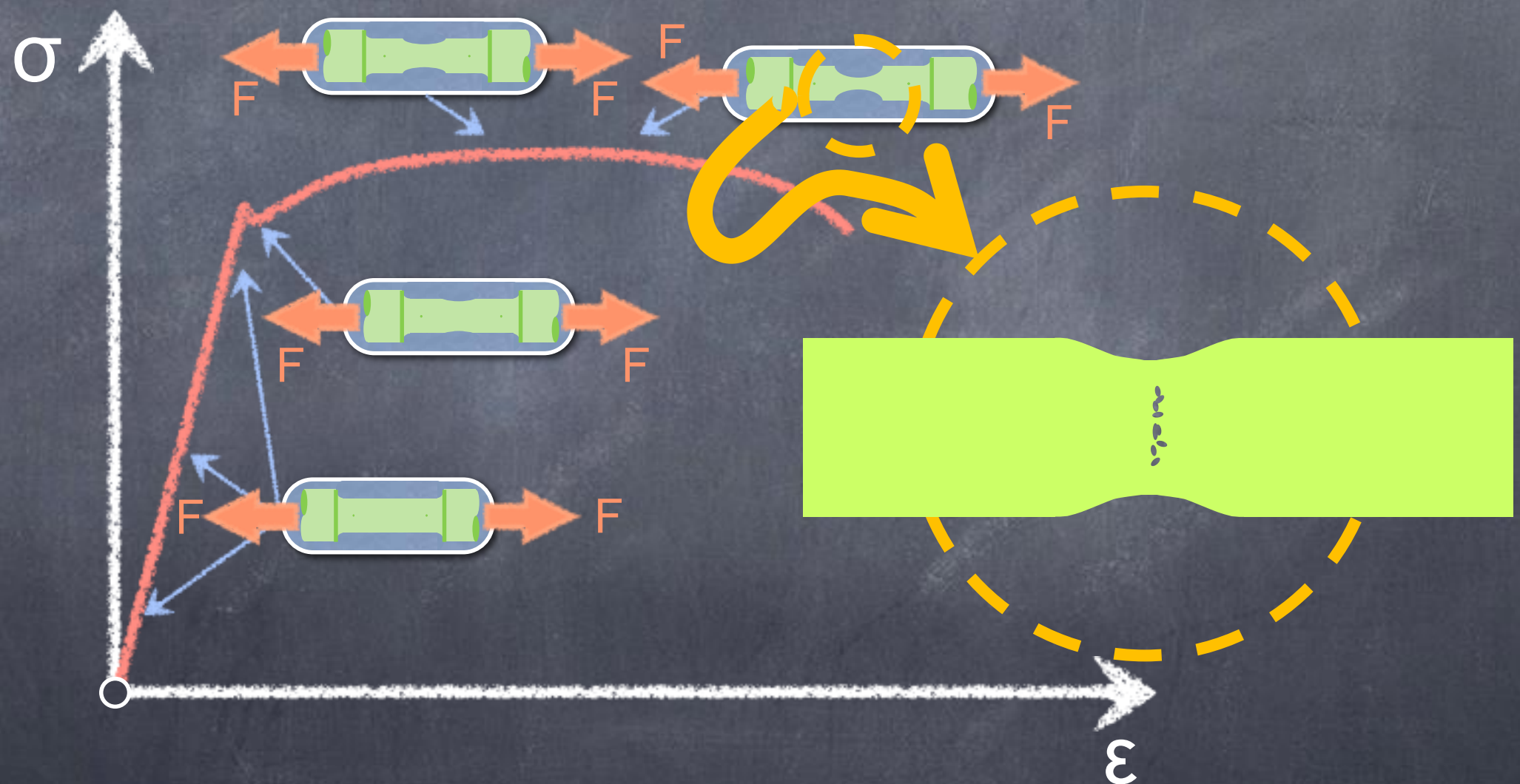




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

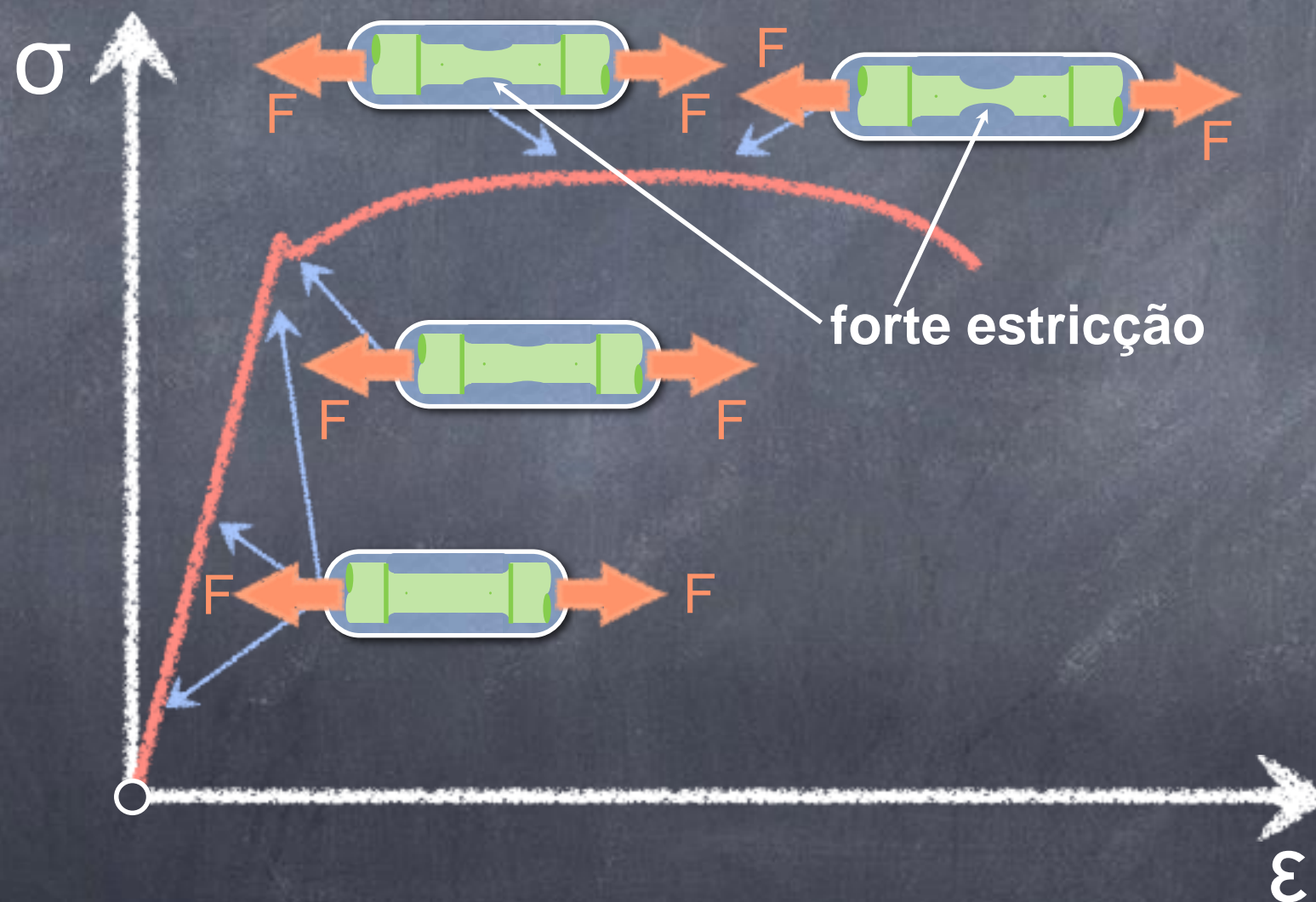




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

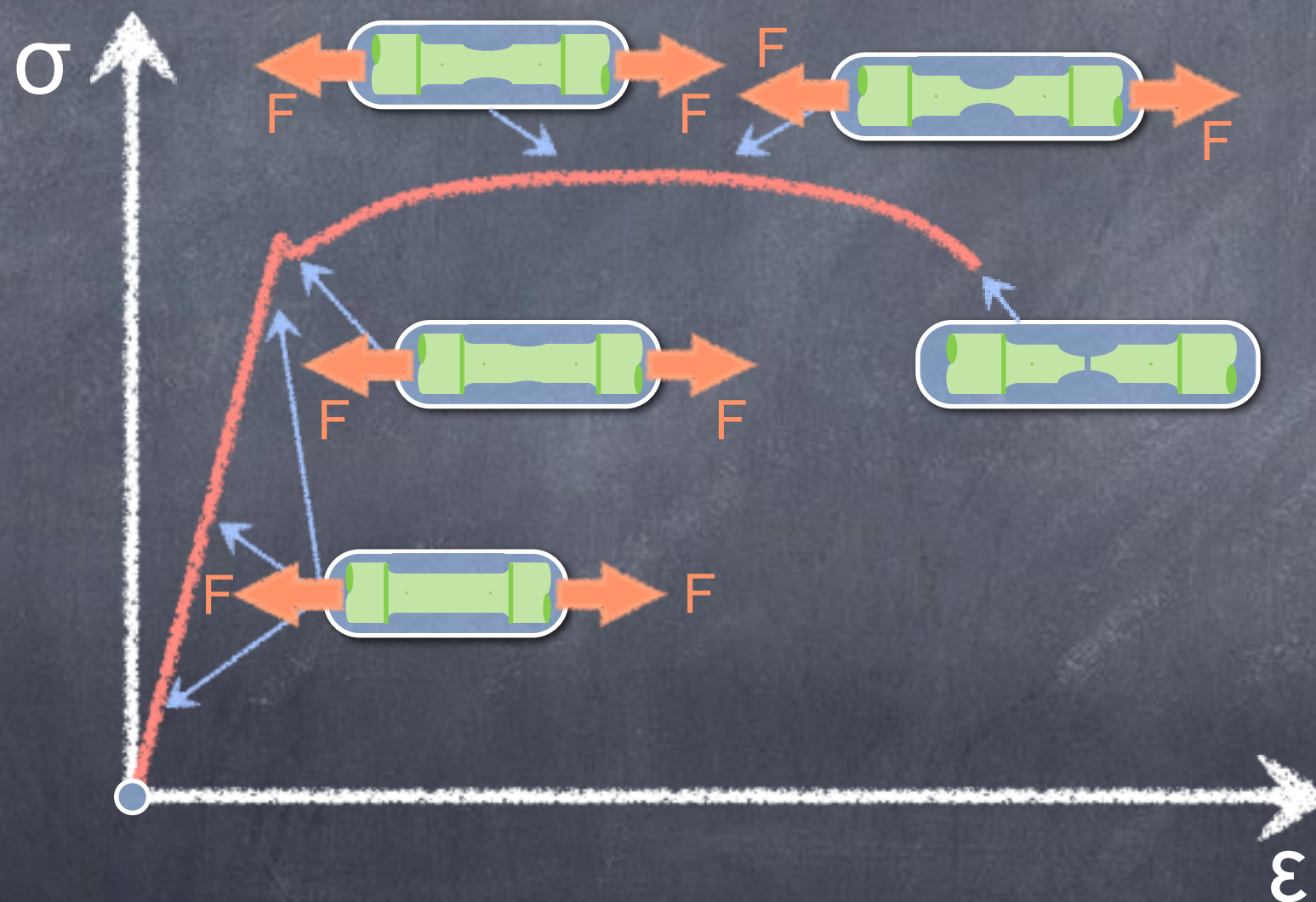




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diagrama tensão-deformação

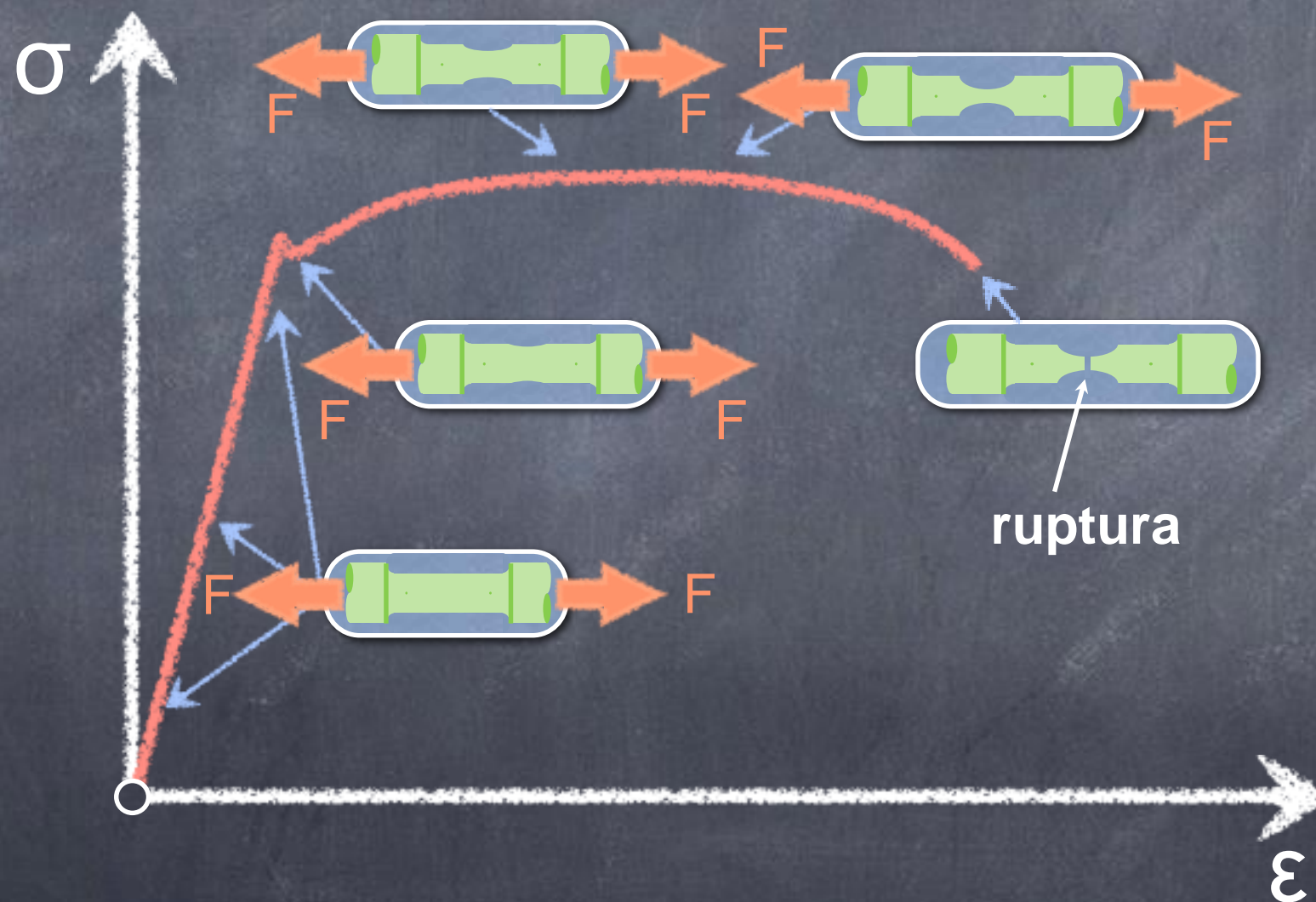




# Testes de tração e compressão

## Resistência

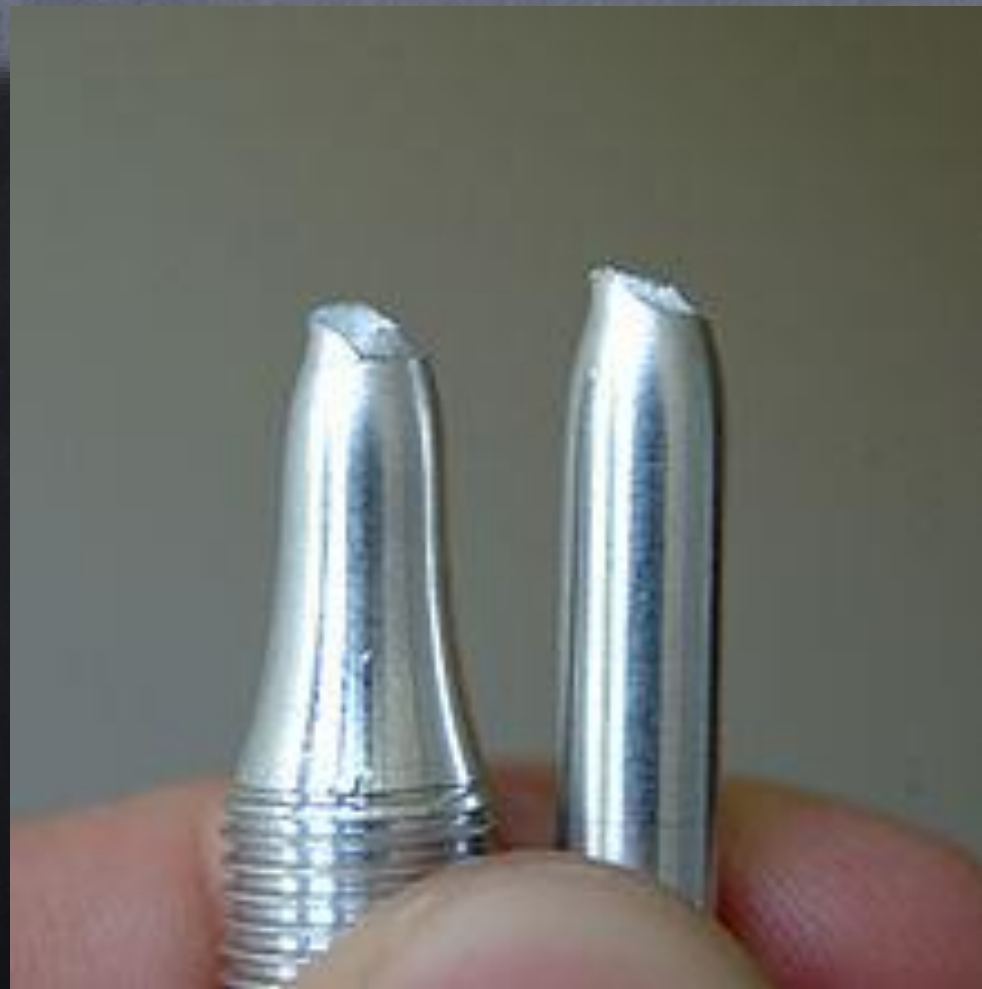
### Diagrama tensão-deformação





# Testes de tração e compressão

## Resistência



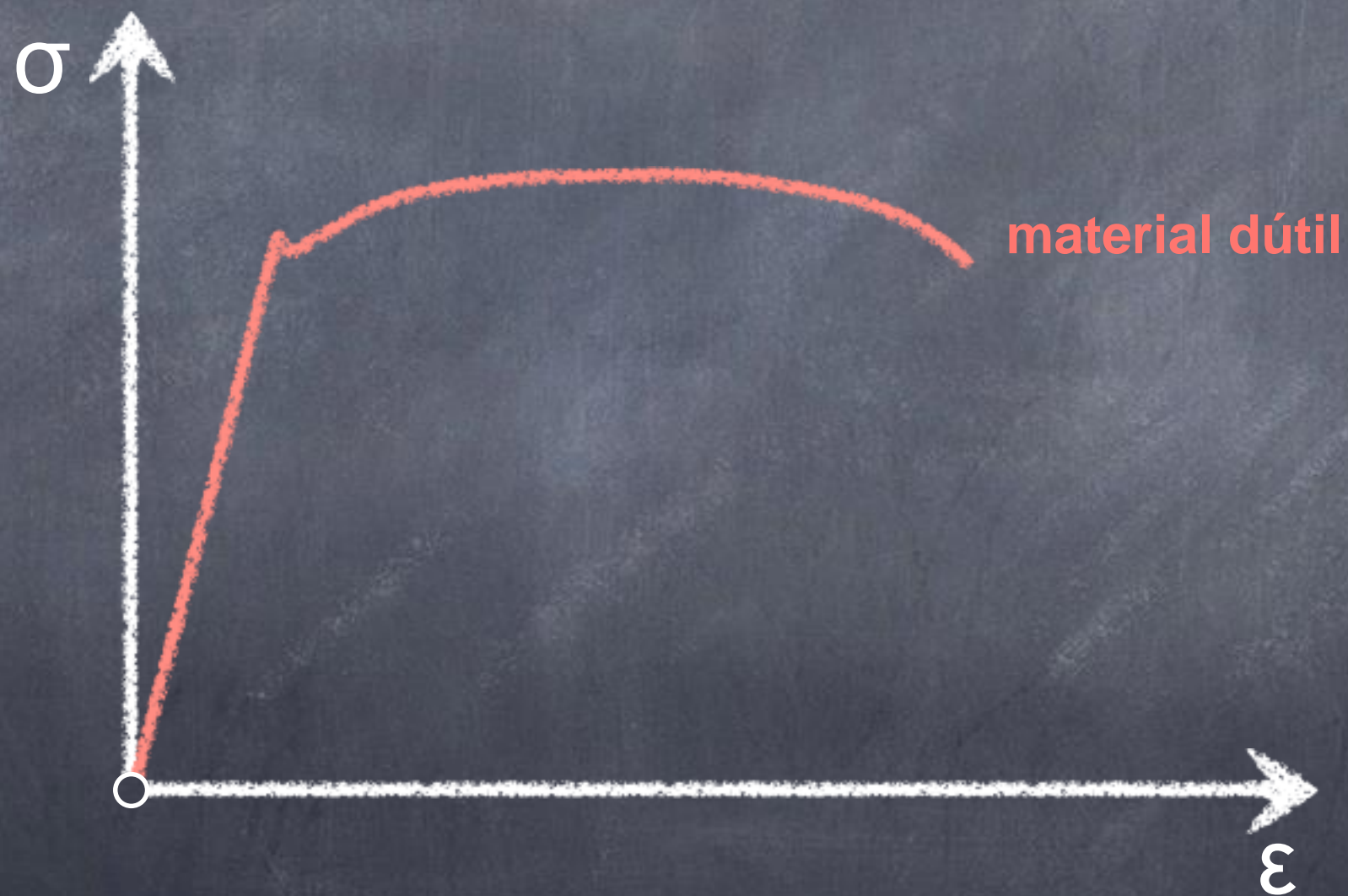
Aspecto do corpo de prova após o ensaio de tração



# Testes de tração e compressão

## Resistência

Diferentes tipos de materiais

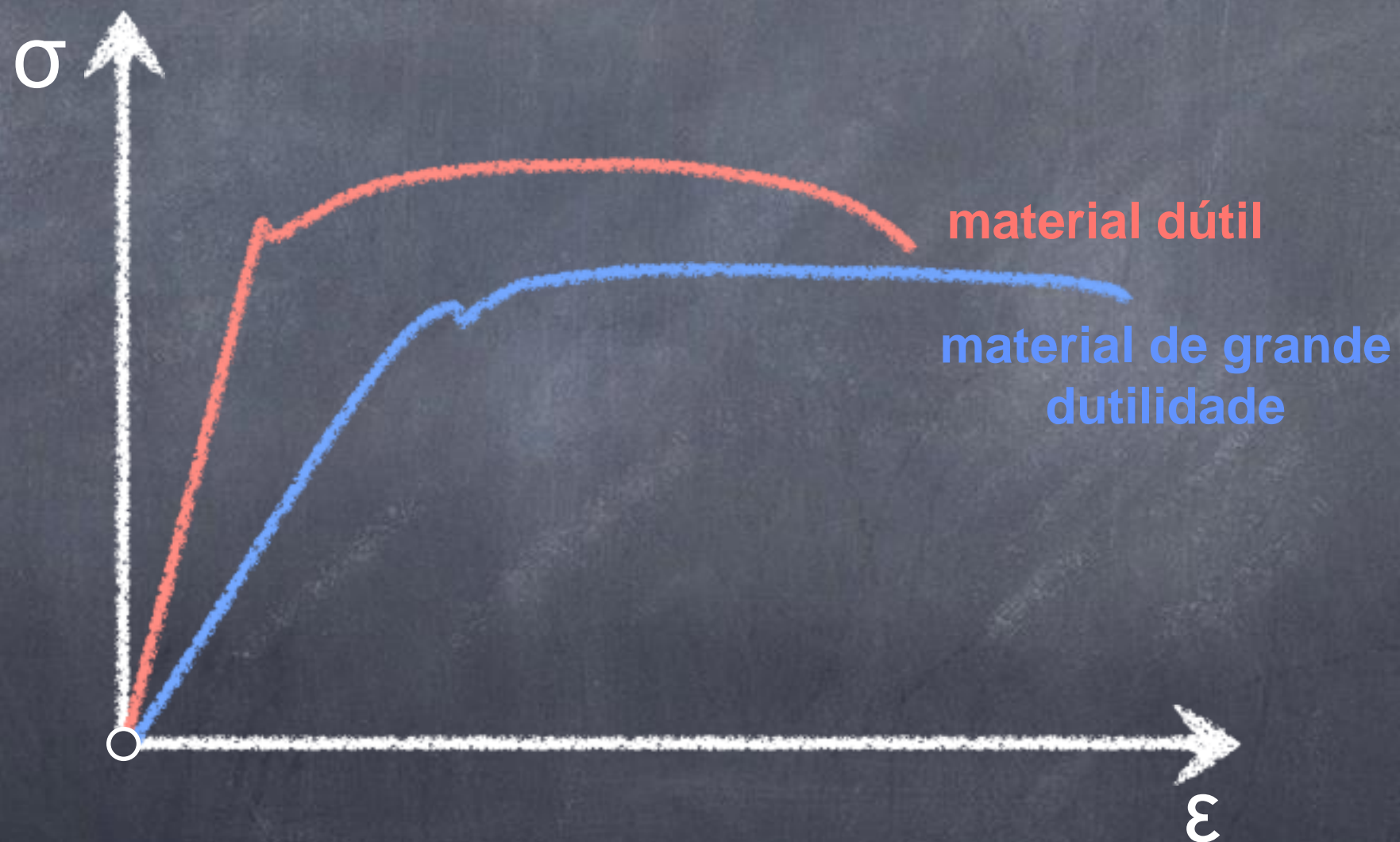




# Testes de tração e compressão

## Resistência

Diferentes tipos de materiais

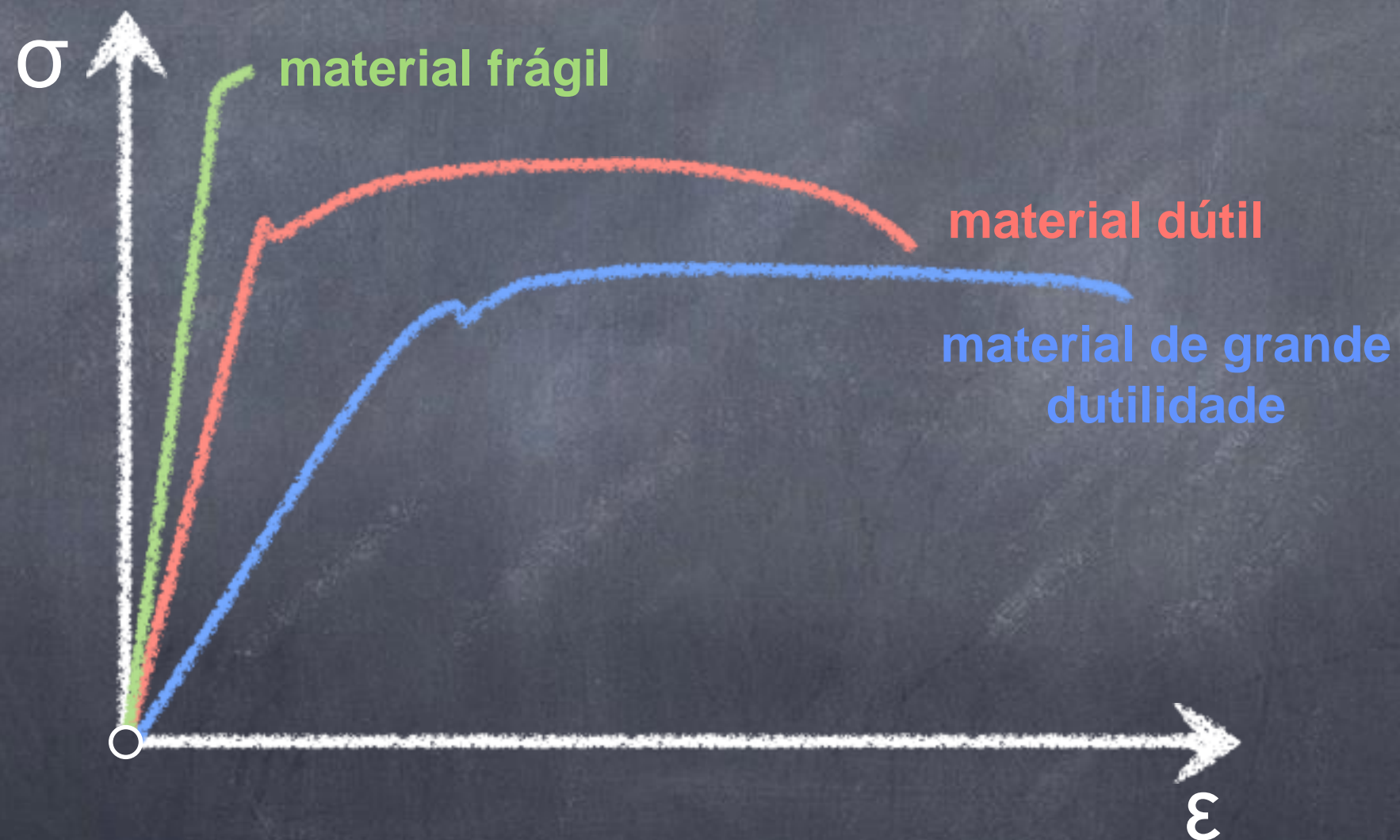




# Testes de tração e compressão

## Resistência

### Diferentes tipos de materiais





# Testes de tração e compressão

## Resistência

Diagrama tensão-deformação real

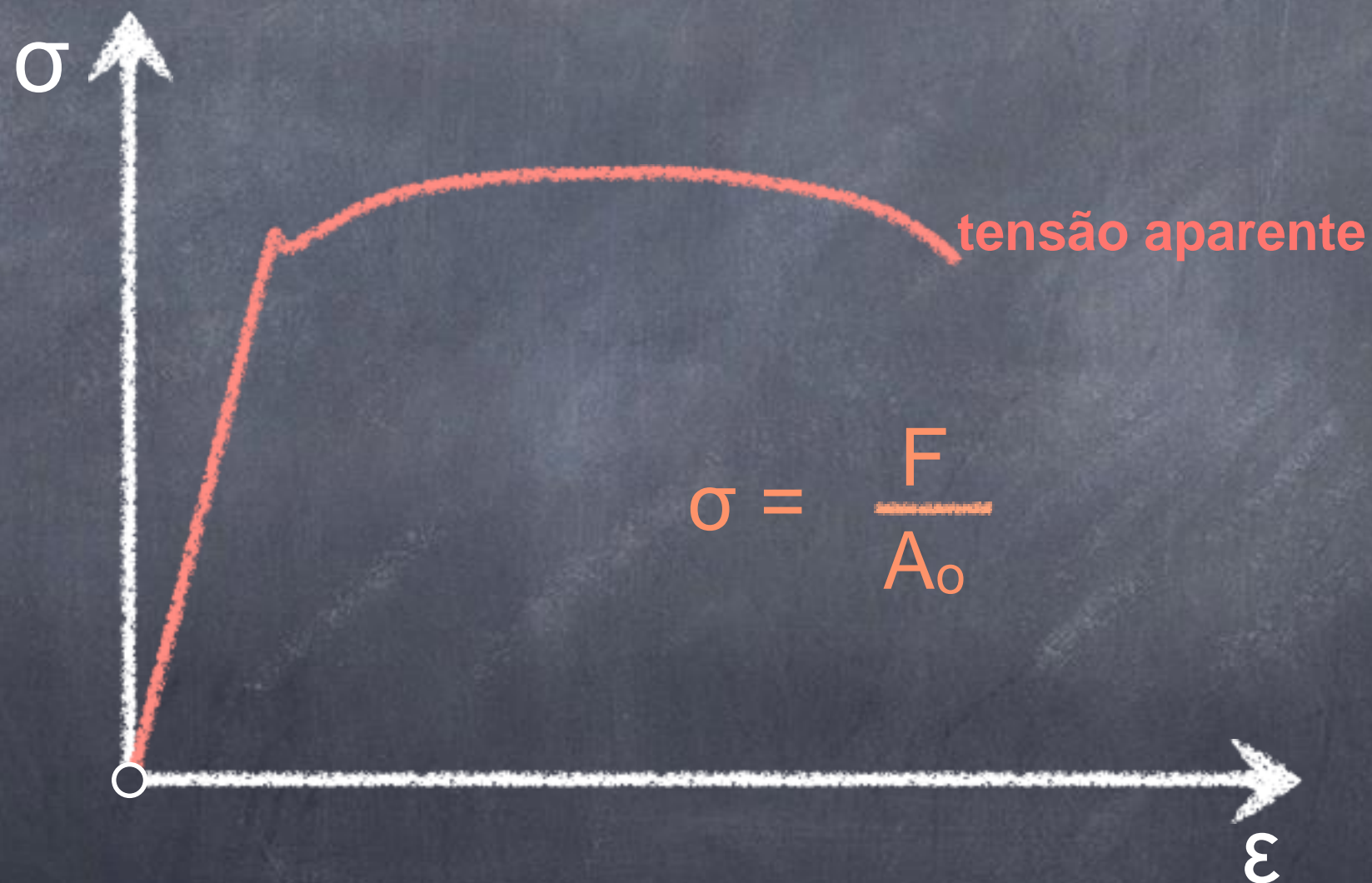




# Testes de tração e compressão

## Resistência

Diagrama tensão-deformação real

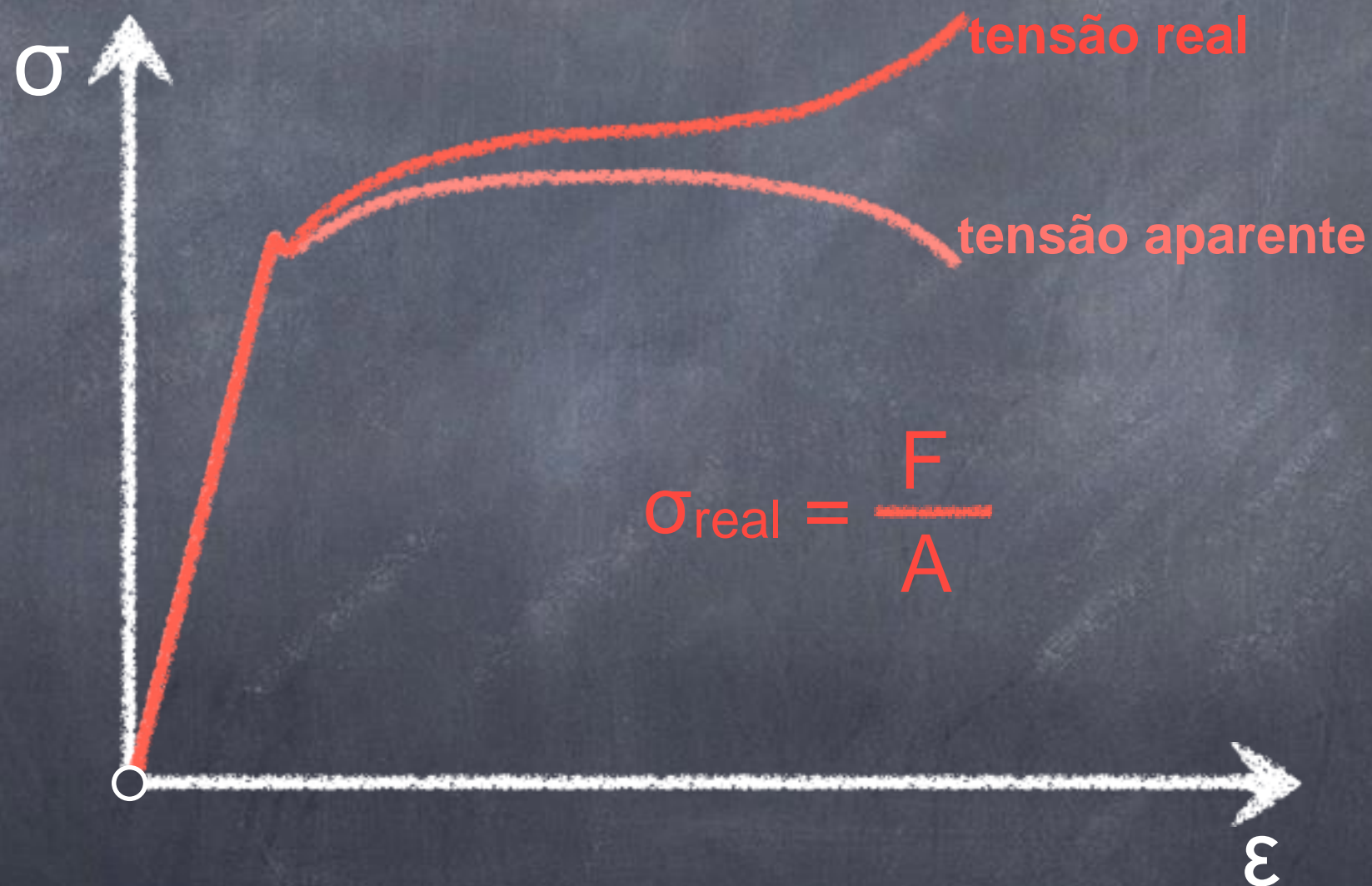




# Testes de tração e compressão

## Resistência

Diagrama tensão-deformação real





# Testes de tração e compressão

Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

A. Materiais dúteis



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Materiais que podem sofrer grande deformações permanentes.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Materiais que podem sofrer grande deformações permanentes.

Capazes de absorver energia de choque.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

**Materiais que podem sofrer grandes deformações permanentes.**

Capazes de absorver energia de choque.

Ex.: Aço, ligas de Cobre, ligas de Alumínio, etc.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Materiais que podem sofrer grandes deformações permanentes.

Capazes de absorver energia de choque.

Ex.: Aço, ligas de Cobre, ligas de Alumínio, etc.

Medida de ductilidade: porcentagem de alongamento.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Materiais que podem sofrer grande deformações permanentes.

Capazes de absorver energia de choque.

Ex.: Aço, ligas de Cobre, ligas de Alumínio, etc.

Medida de ductilidade: porcentagem de alongamento.

Máxima ductilidade de um material ocorre na ruptura.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Materiais que podem sofrer grande deformações permanentes.

Capazes de absorver energia de choque.

Ex.: Aço, ligas de Cobre, ligas de Alumínio, etc.

Medida de ductilidade: porcentagem de alongamento.

Máxima ductilidade de um material ocorre na ruptura.

$$\text{porcentagem de alongamento} = \frac{L_{\text{rup}} - L_0}{L_0} (100\%)$$



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Outra medida de ductilidade é a porcentagem de redução de área.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Outra medida de ductilidade é a porcentagem de redução de área.

$$\text{porcentagem de redução de área} = \frac{A_{\text{rup}} - A_0}{A_0} (100\%)$$



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Outra medida de ductilidade é a porcentagem de redução de área.

$$\text{porcentagem de redução de área} = \frac{A_{\text{rup}} - A_0}{A_0} (100\%)$$

Nem todo material apresenta claramente o término da região elástica.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Método da deformação residual



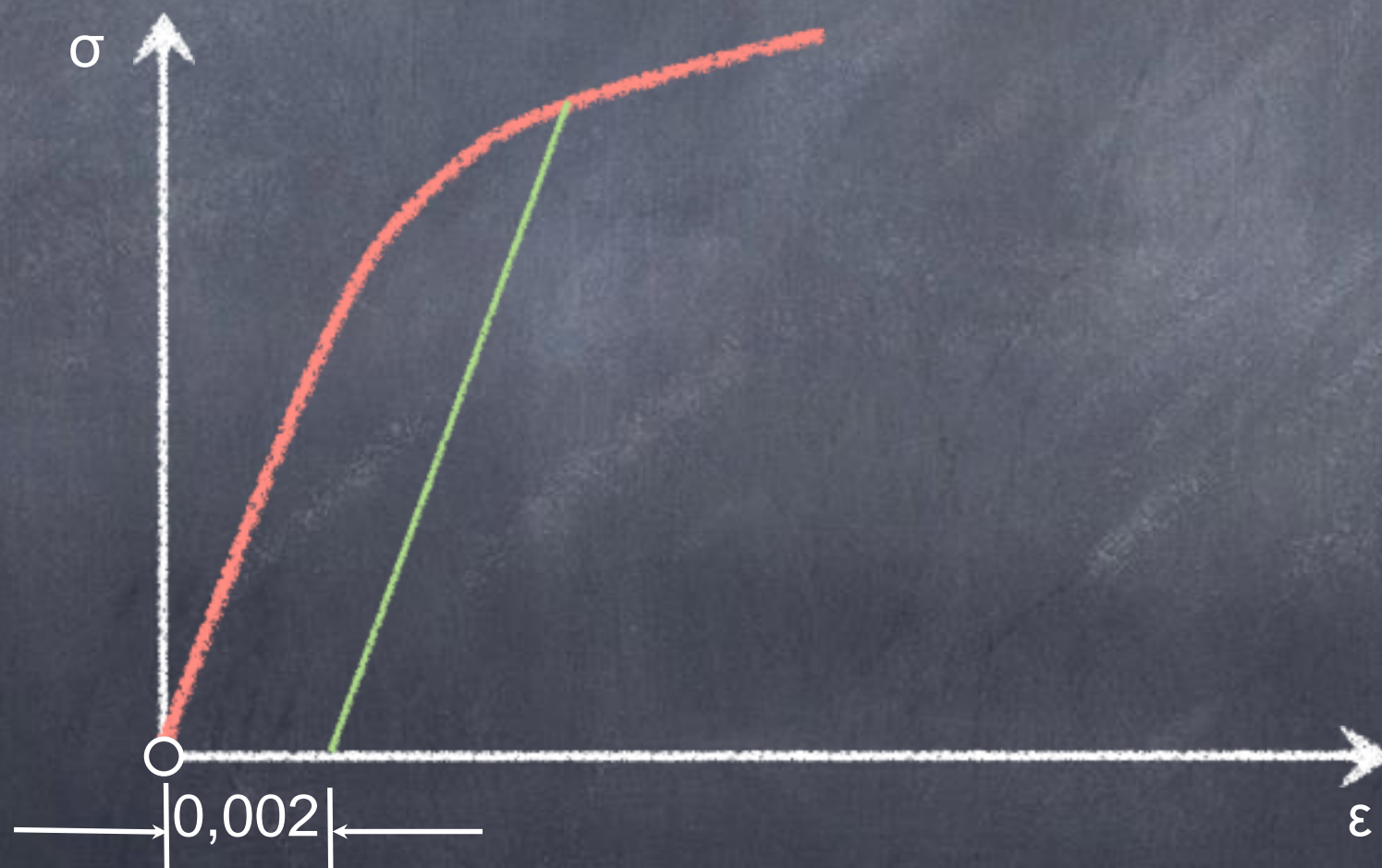


# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Método da deformação residual



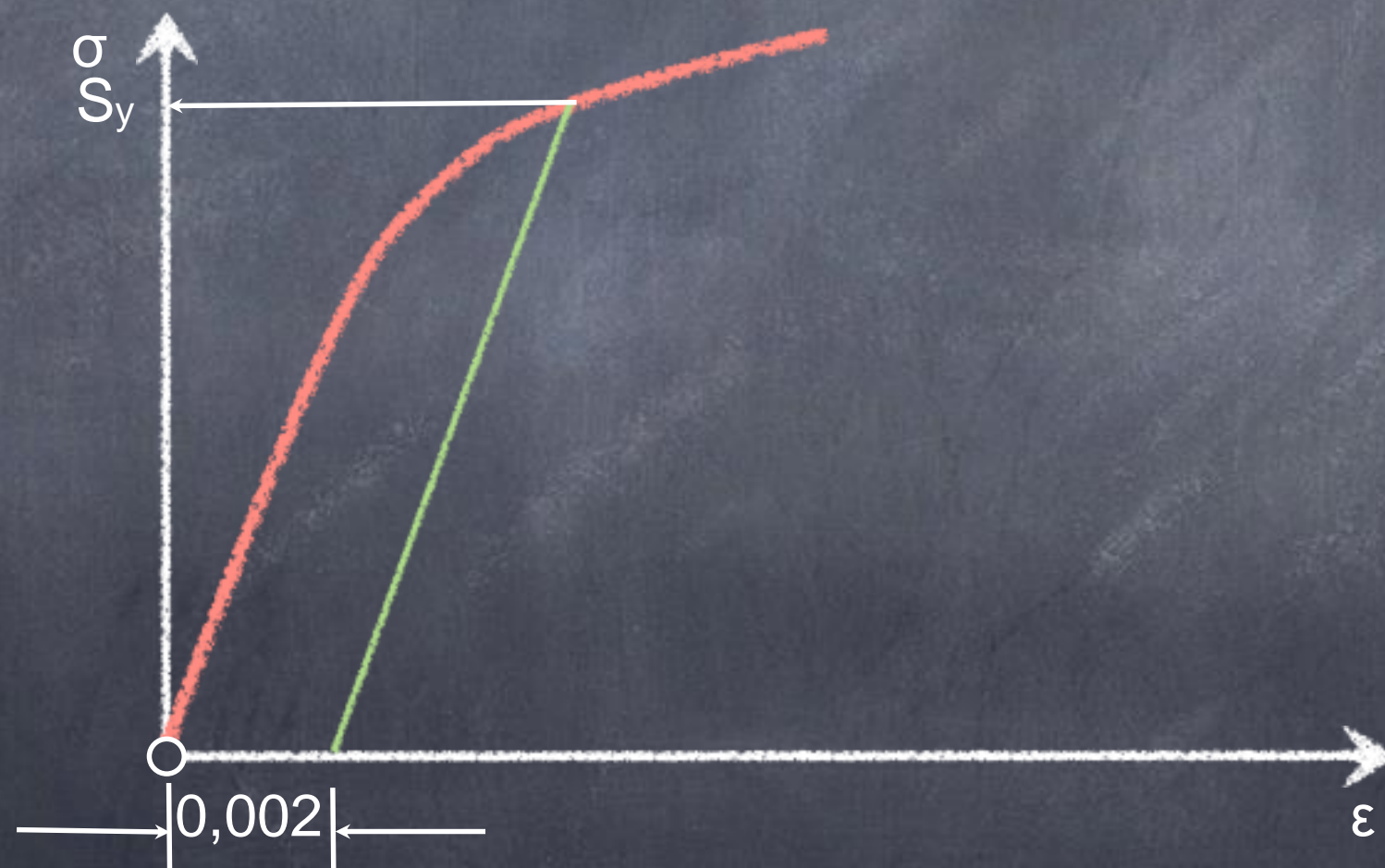


# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Método da deformação residual



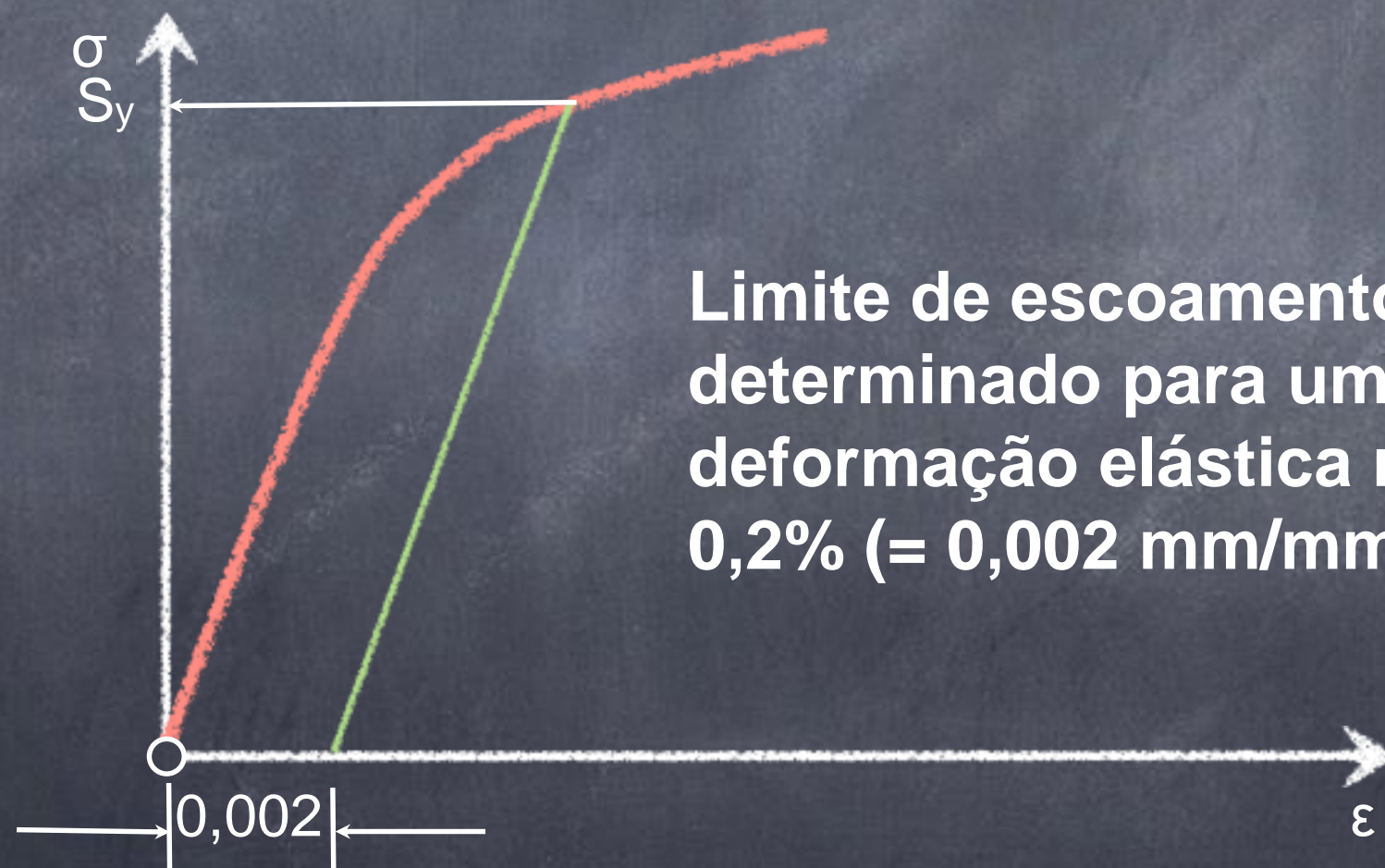


# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### A. Materiais dúteis

Método da deformação residual



**Limite de escoamento determinado para uma deformação elástica máxima de 0,2% (= 0,002 mm/mm).**



# Testes de tração e compressão

Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

B. Materiais frágeis



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### B. Materiais frágeis

Materiais que permitem pouca ou nenhuma deformação permanente.



# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### B. Materiais frágeis

Materiais que permitem pouca ou nenhuma deformação permanente.

Ex.: Ferro fundido cinzento, cerâmicas, concreto, etc.



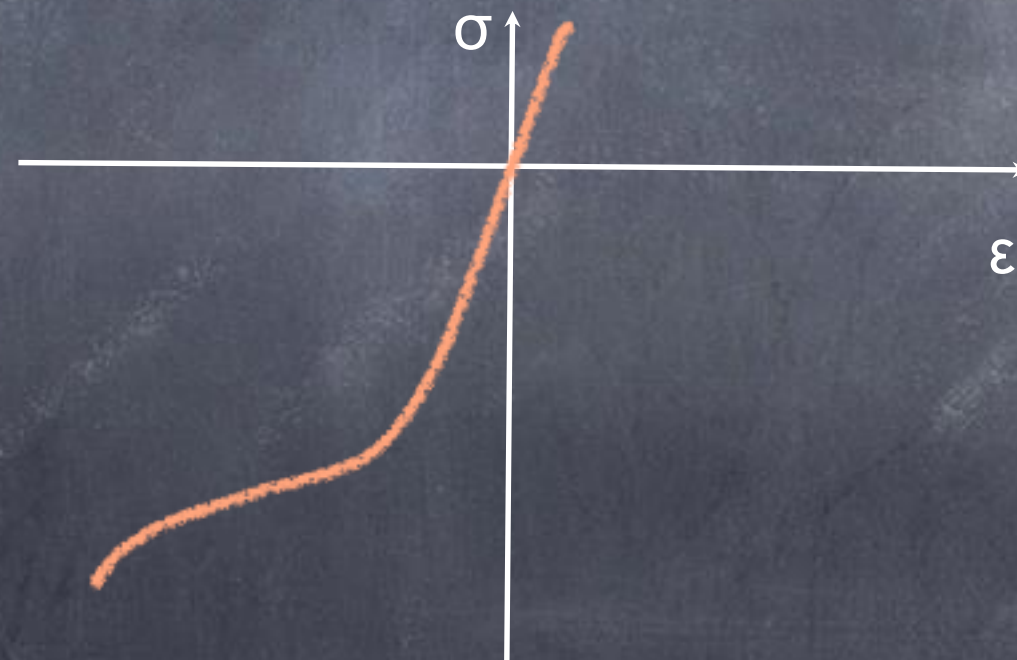
# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### B. Materiais frágeis

Materiais que permitem pouca ou nenhuma deformação permanente.

Ex.: Ferro fundido cinzento, cerâmicas, concreto, etc.



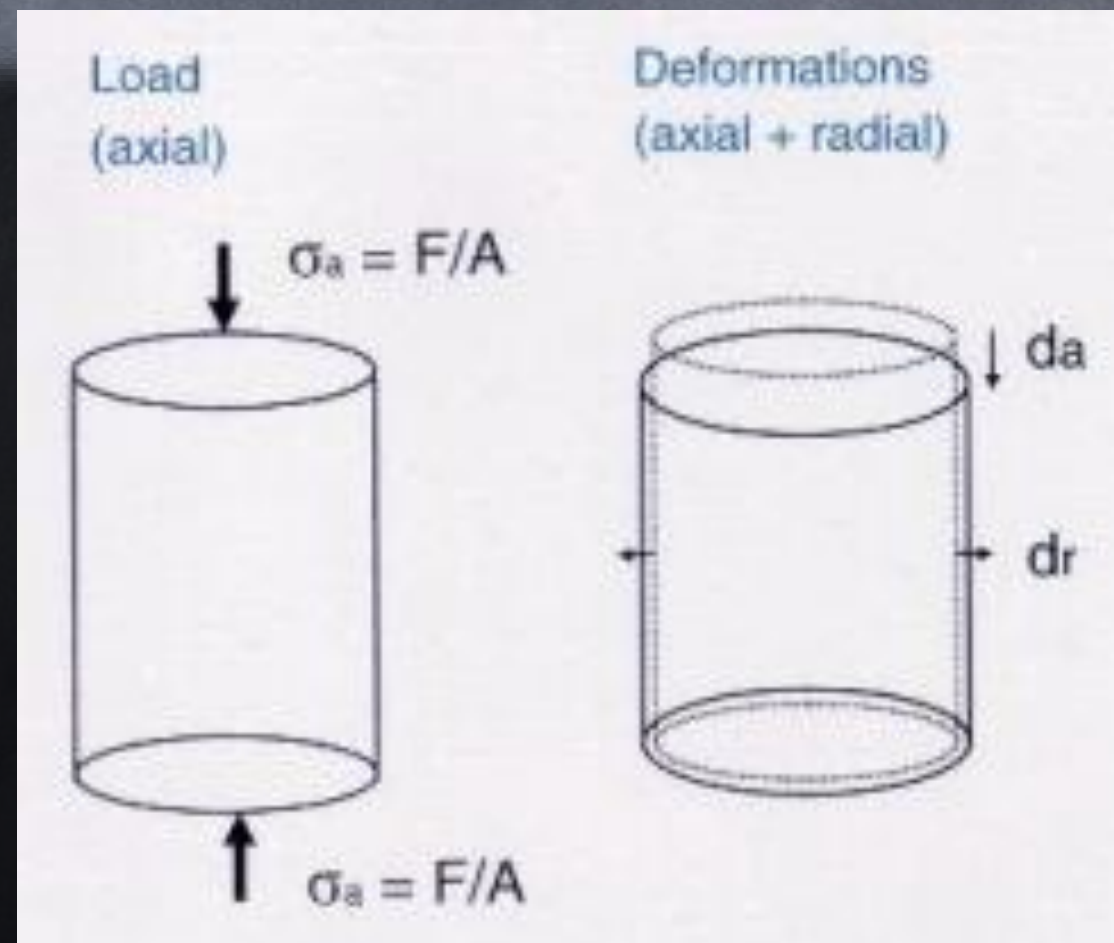


# Testes de tração e compressão

## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### B. Materiais frágeis

Aspecto de um corpo elástico submetido à compressão.





# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Lei de Hooke



# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Lei de Hooke

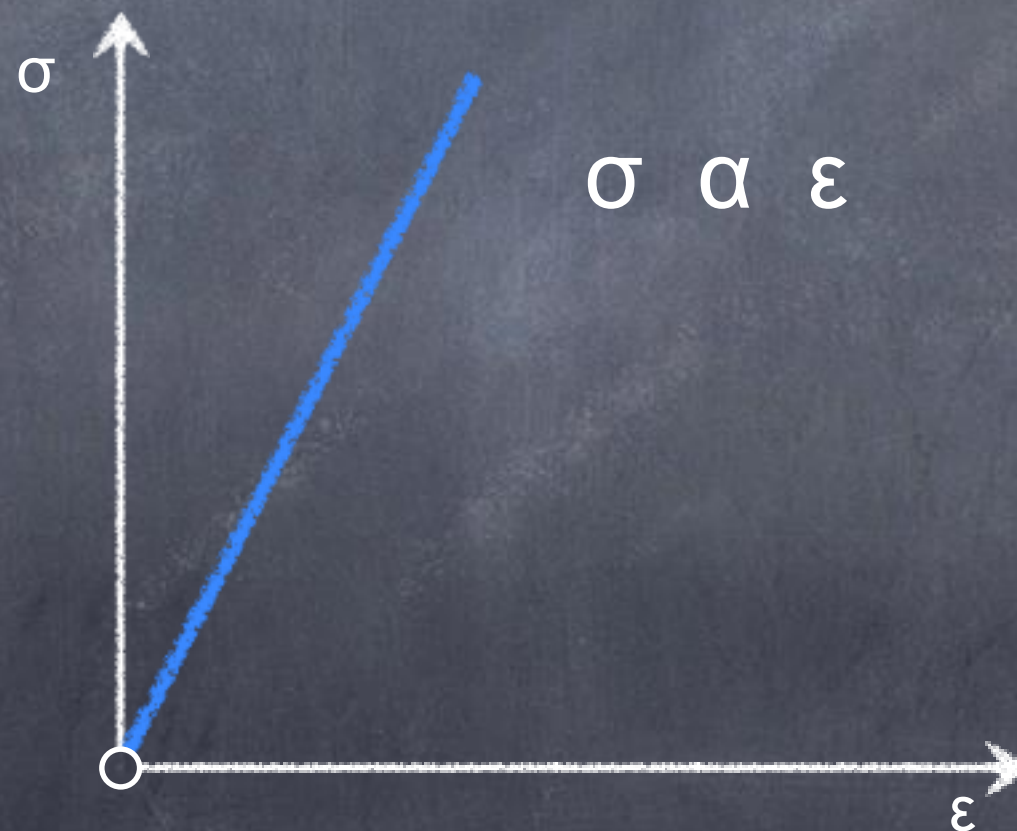
A tensão em um ponto de um corpo elástico é proporcional à deformação específica neste mesmo ponto.



# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Lei de Hooke

A tensão em um ponto de um corpo elástico é proporcional à deformação específica neste mesmo ponto.

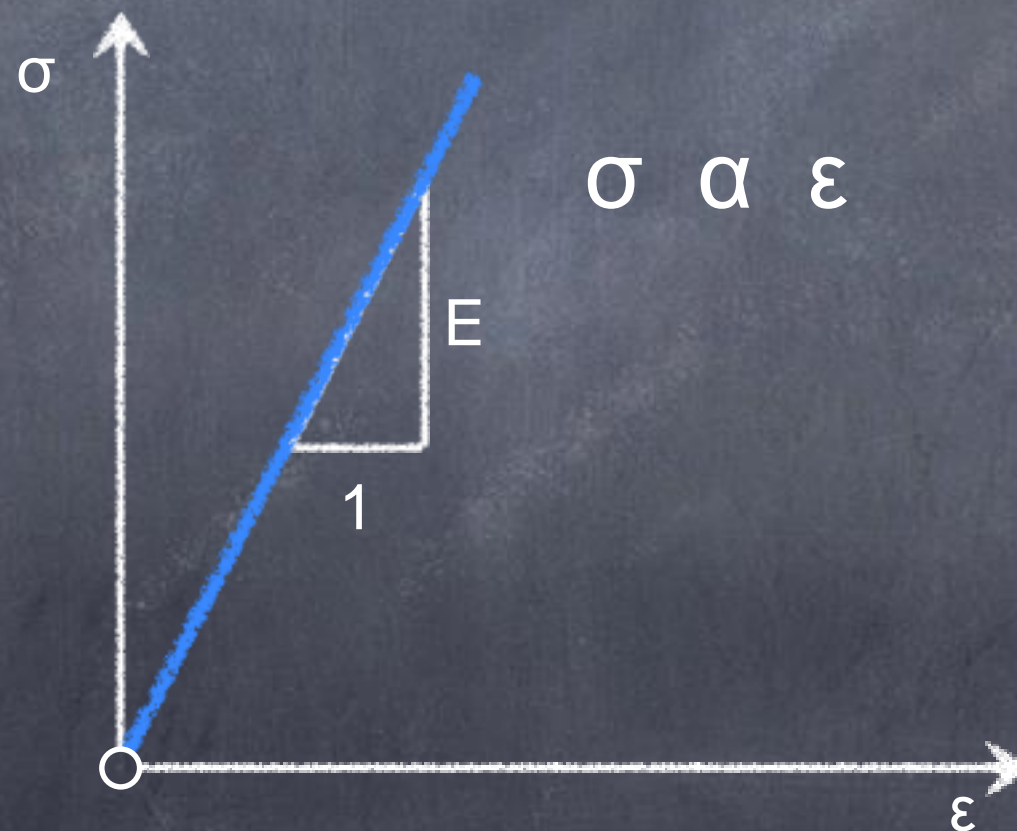




# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Lei de Hooke

A tensão em um ponto de um corpo elástico é proporcional à deformação específica neste mesmo ponto.

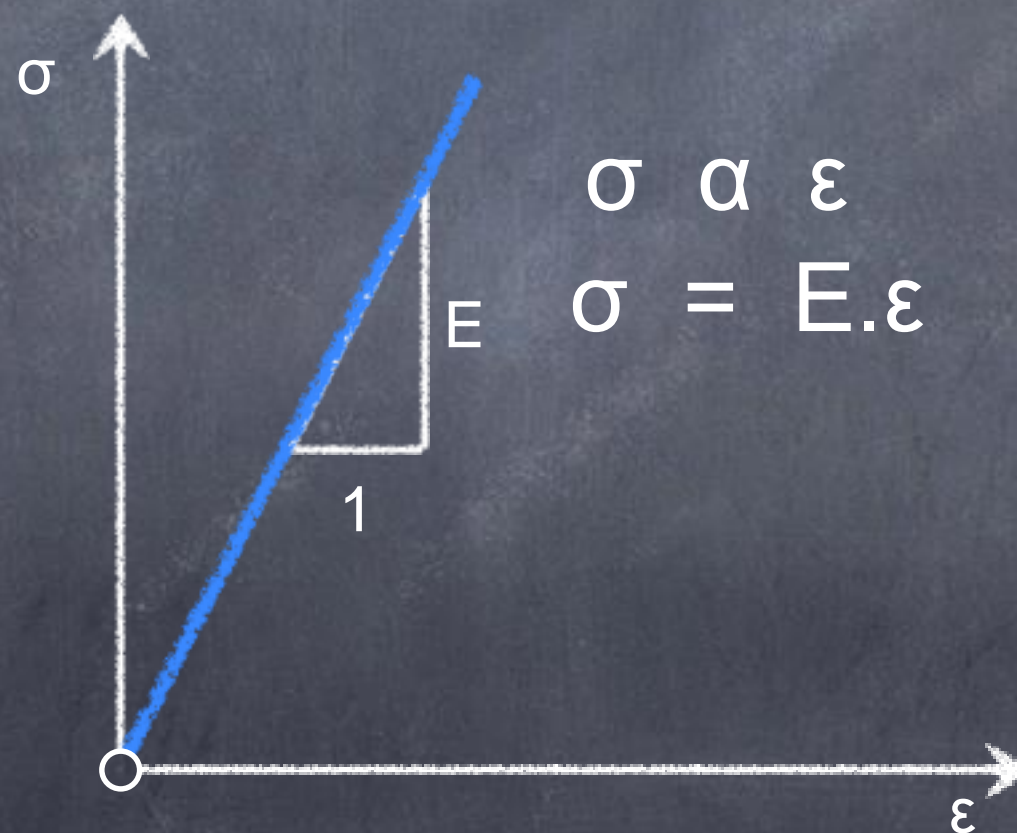




## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### Lei de Hooke

A tensão em um ponto de um corpo elástico é proporcional à deformação específica neste mesmo ponto.

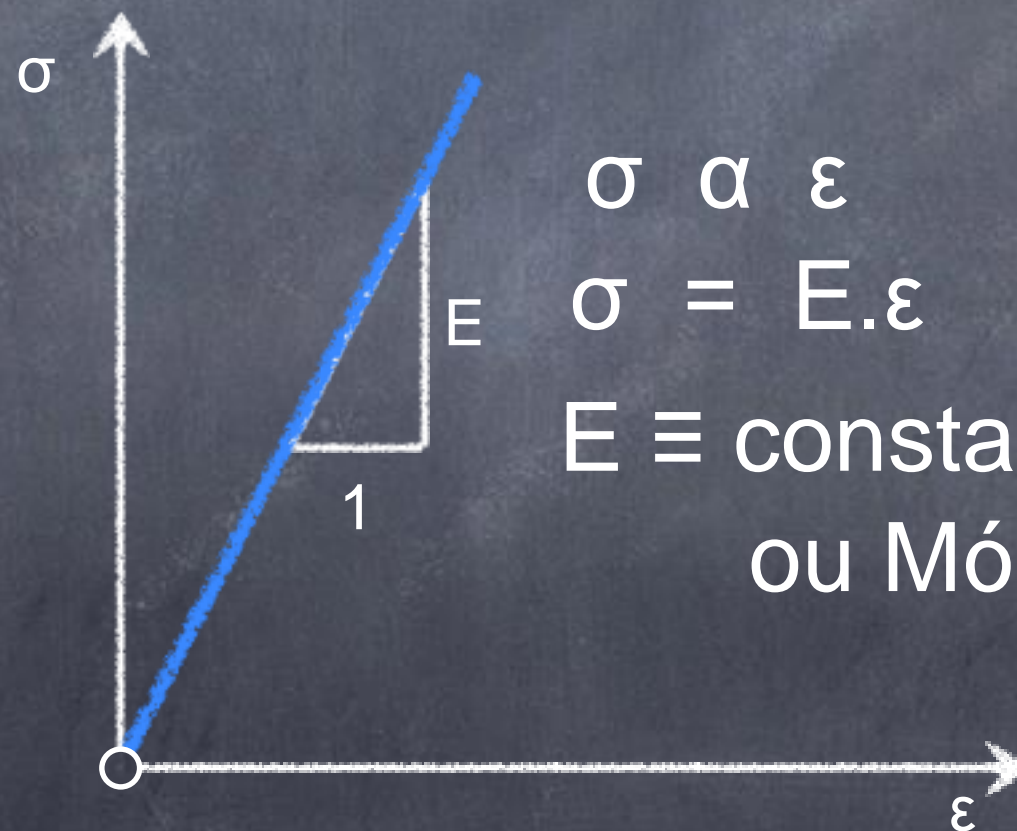




## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### Lei de Hooke

A tensão em um ponto de um corpo elástico é proporcional à deformação específica neste mesmo ponto.



$$\sigma \propto \epsilon$$

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

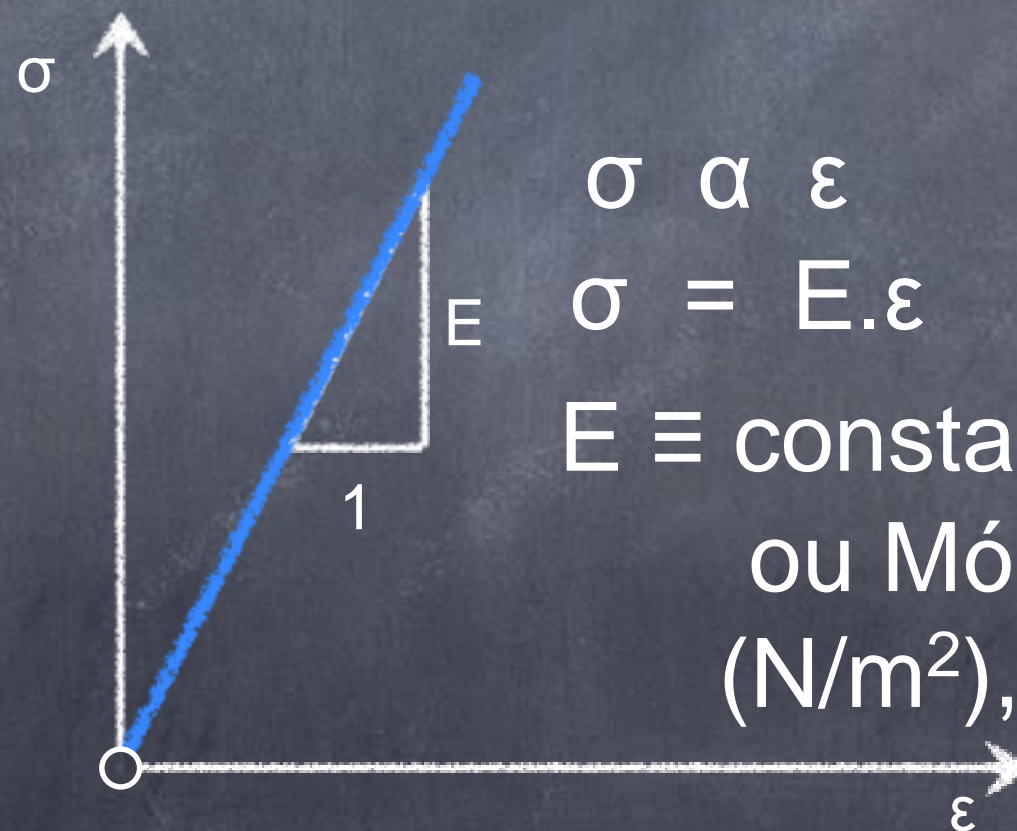
$E \equiv$  constante elástica  
ou Módulo de elasticidade



## Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

### Lei de Hooke

A tensão em um ponto de um corpo elástico é proporcional à deformação específica neste mesmo ponto.



$$\sigma \propto \epsilon$$

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

$E \equiv$  constante elástica  
ou Módulo de elasticidade  
(N/m<sup>2</sup>), (lb/in<sup>2</sup>)



# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE



# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;



# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

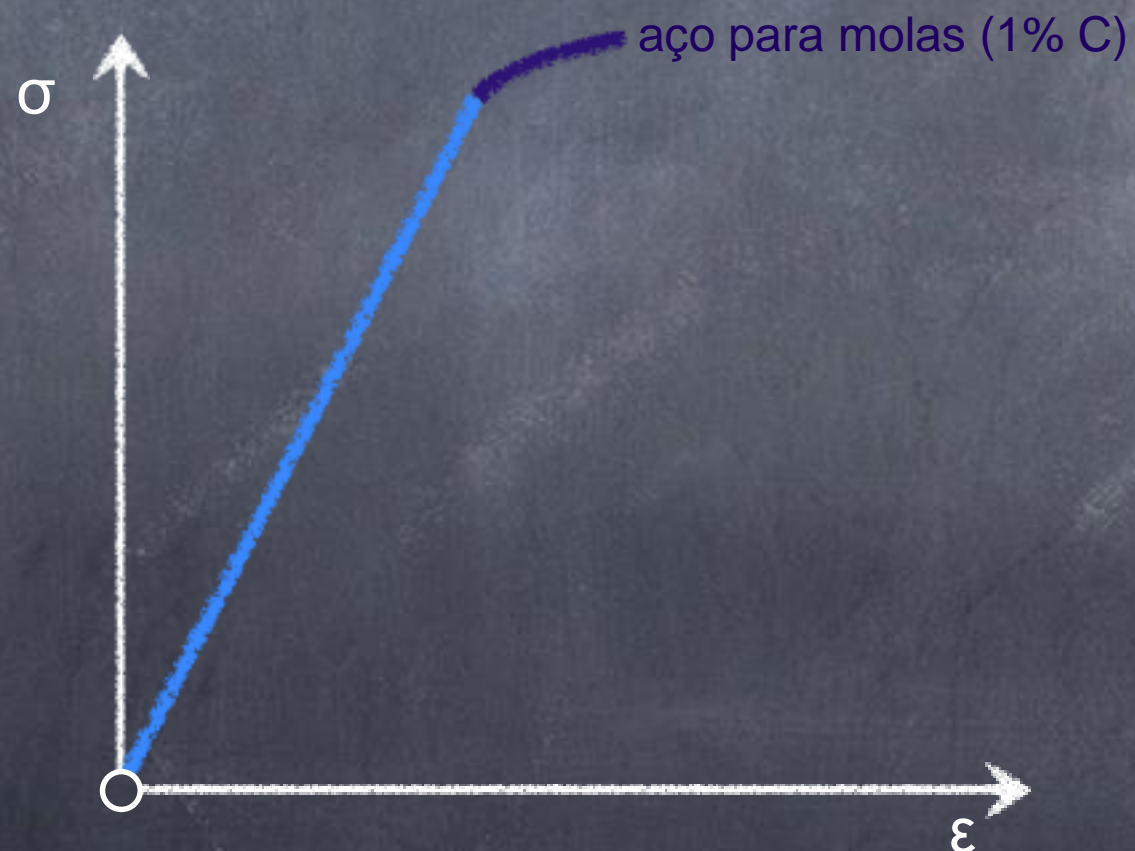


# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;



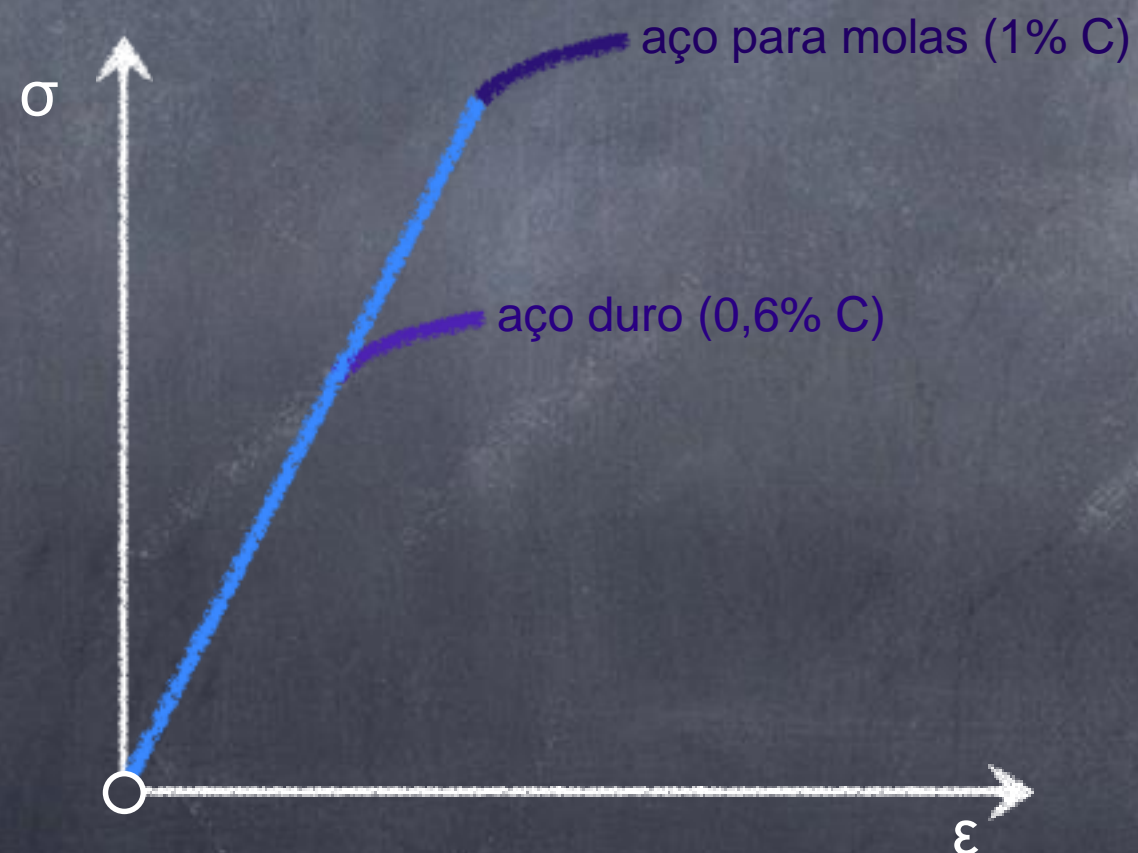


# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;



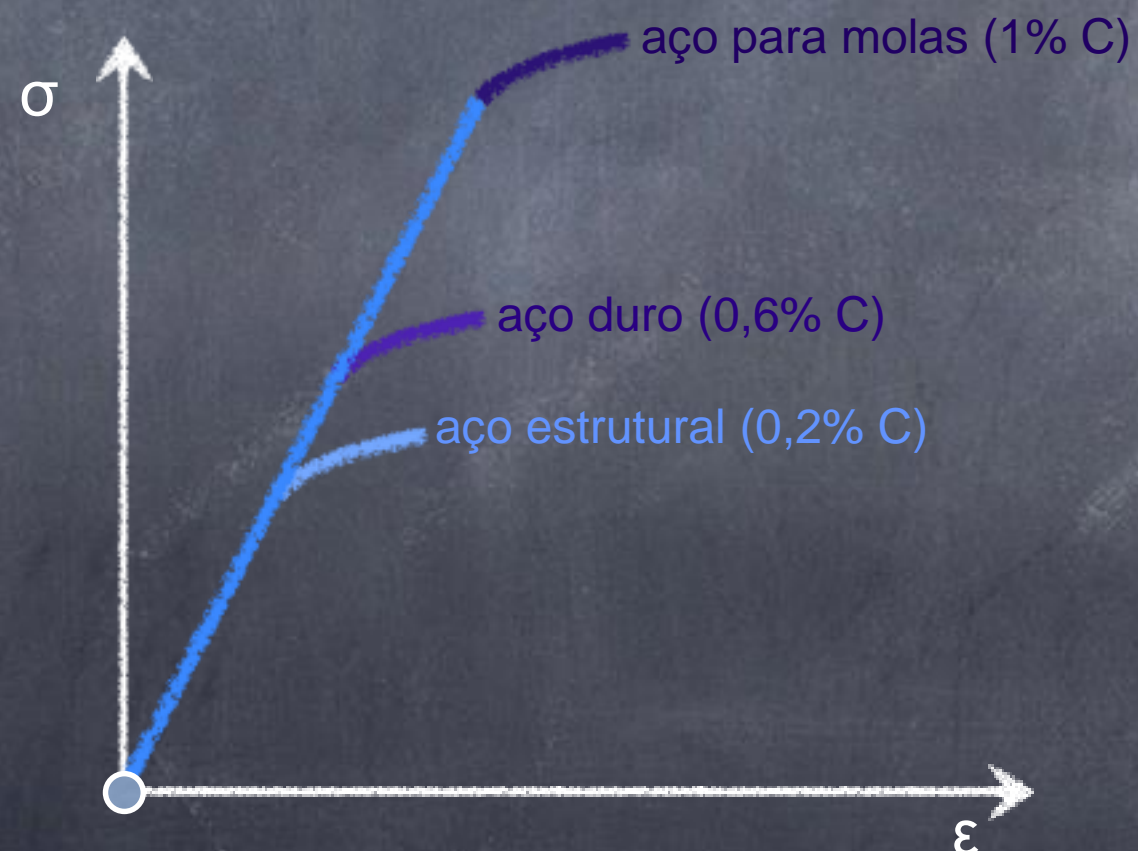


# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;



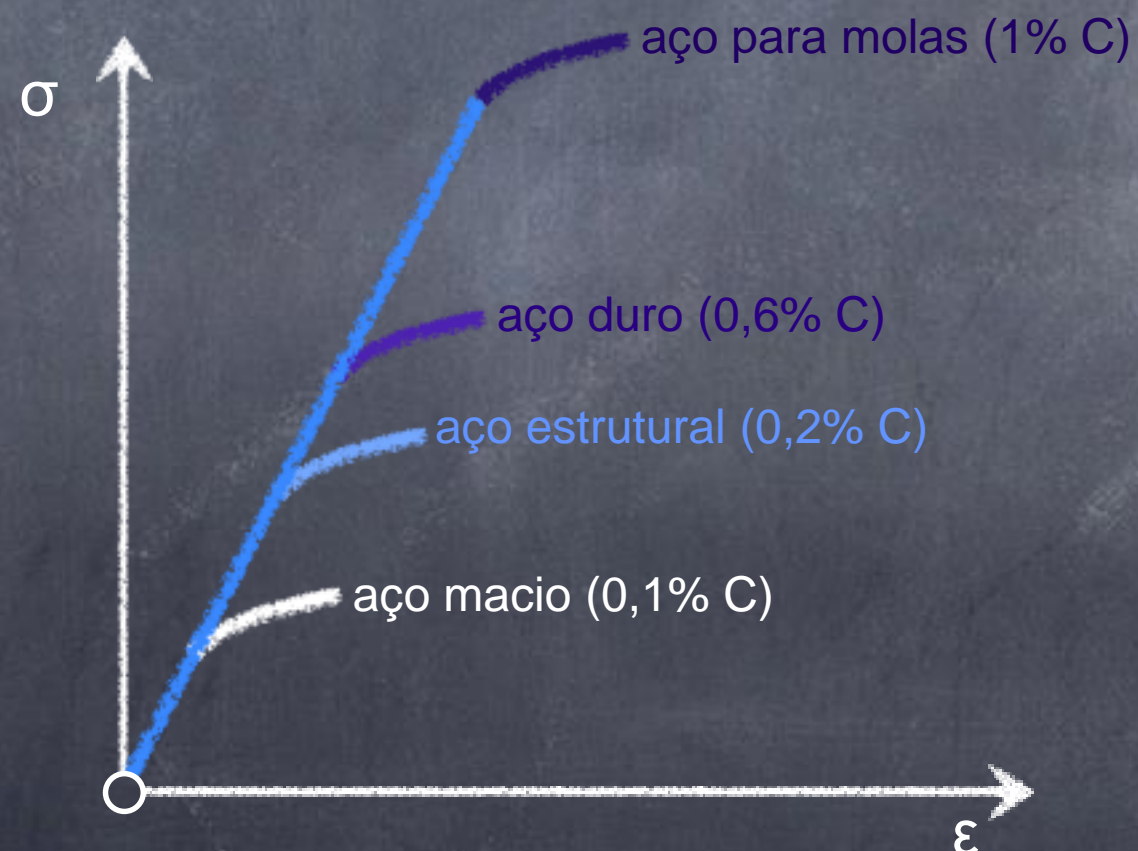


# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;



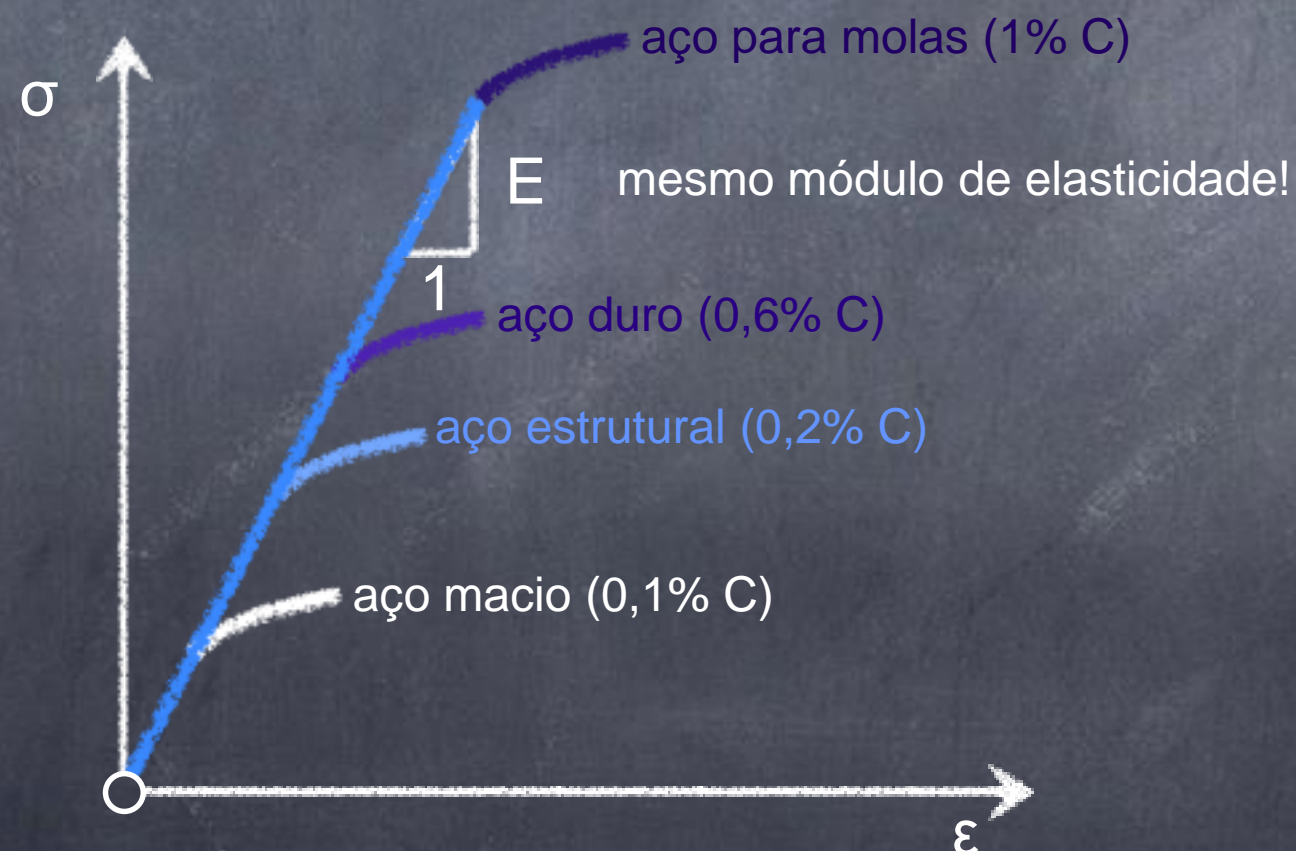


# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;





# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

Depende da temperatura do material;



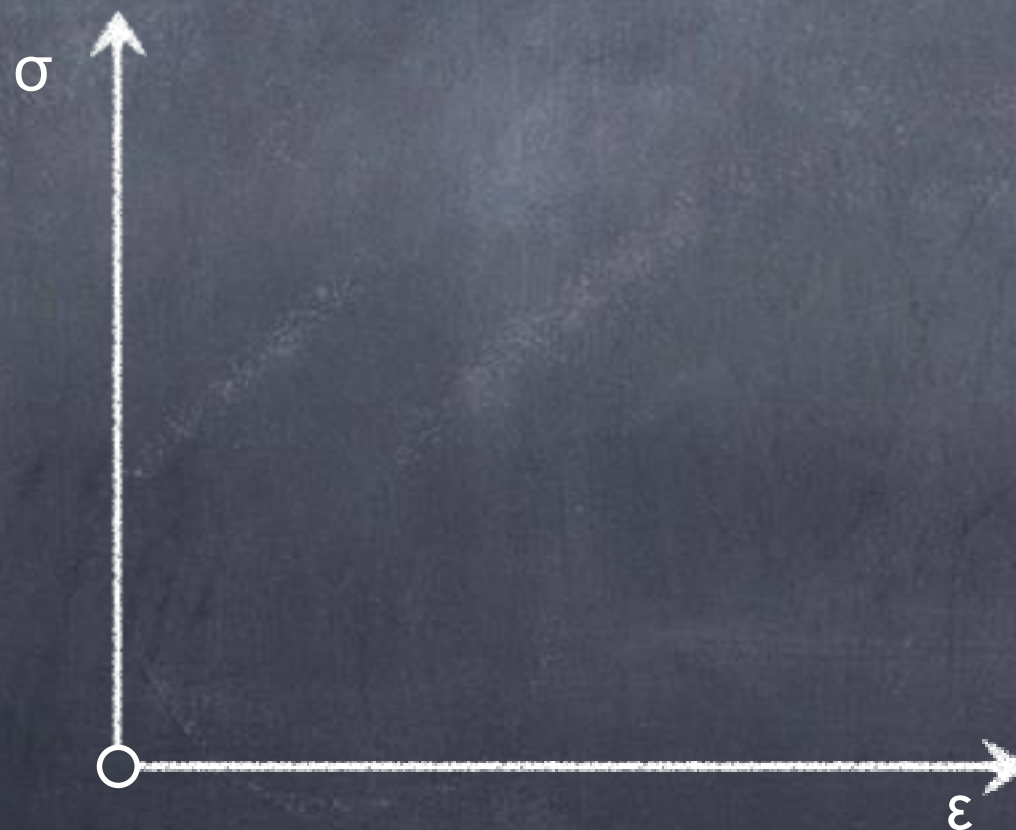
# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

Depende da temperatura do material;





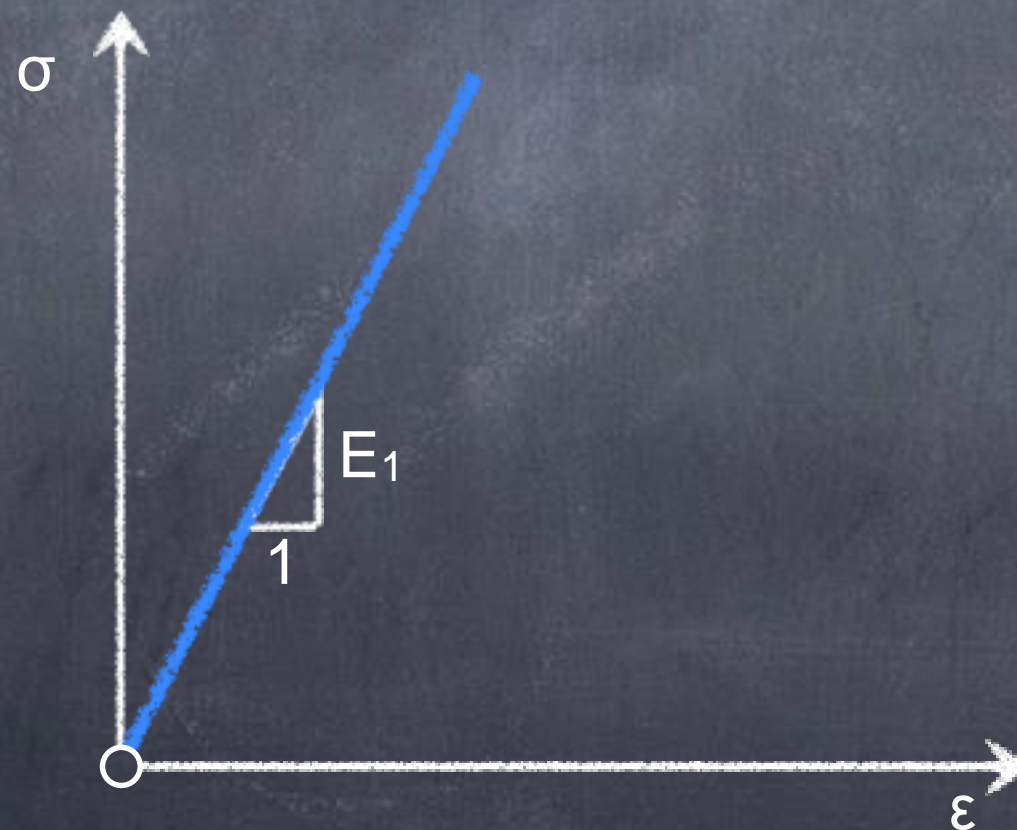
# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

Depende da temperatura do material;





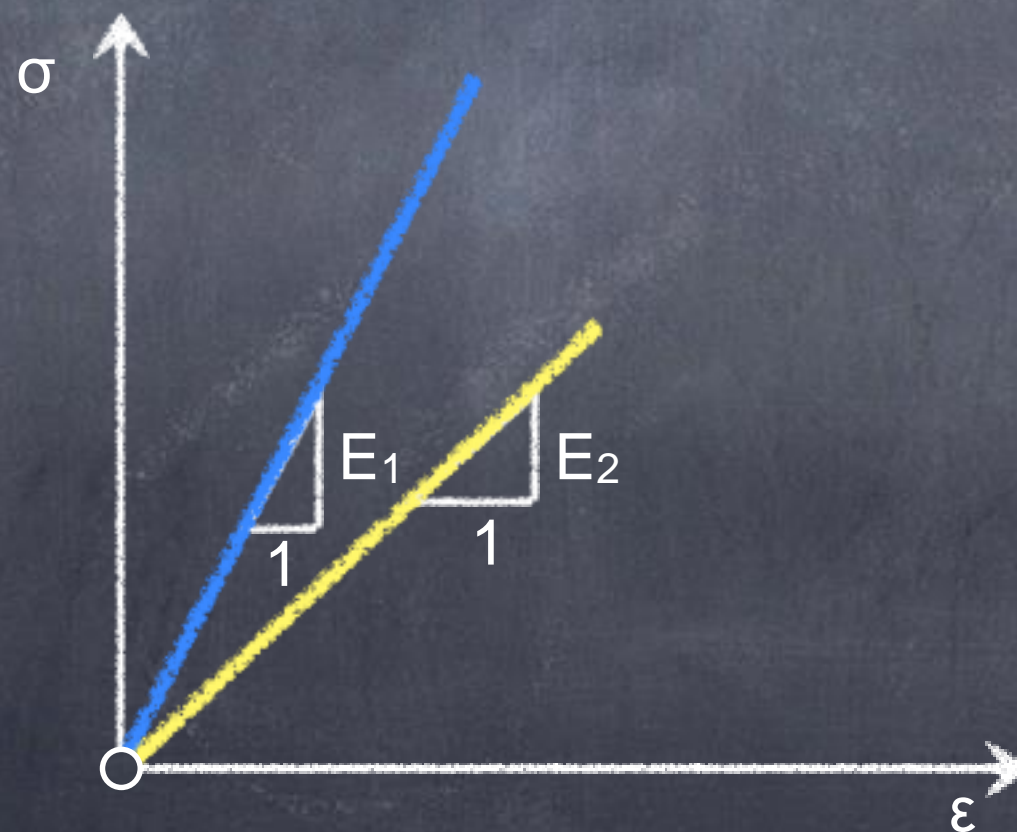
# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

Depende da temperatura do material;





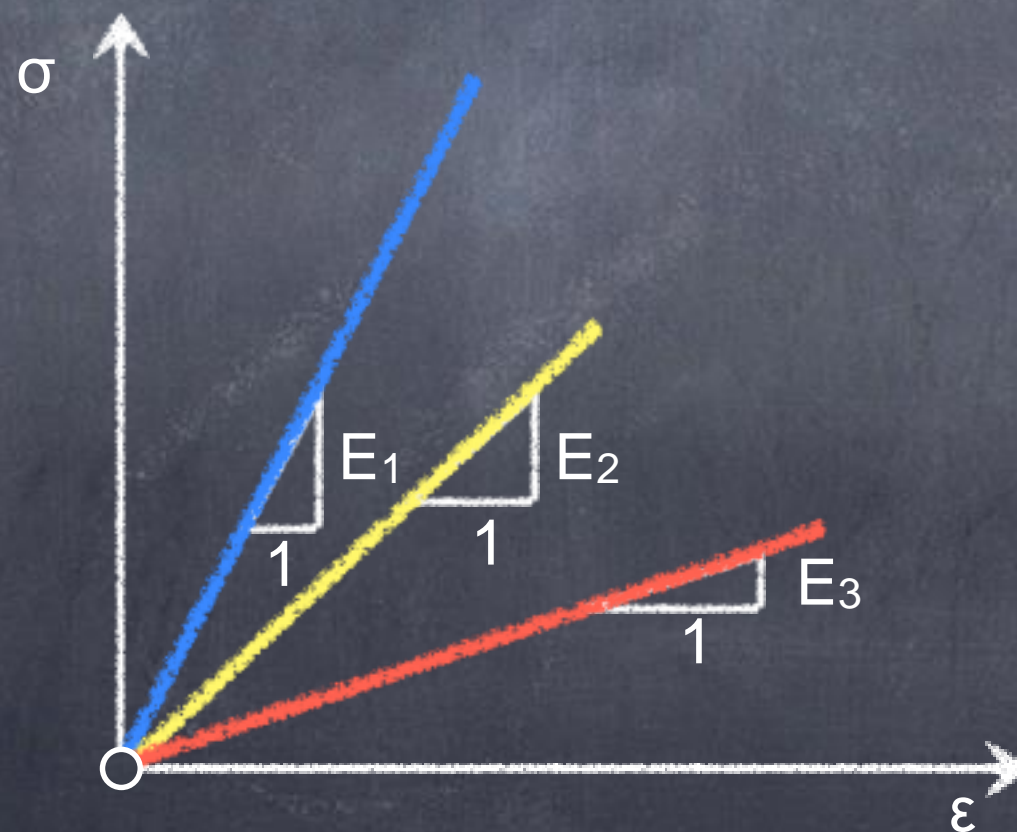
# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

Depende da temperatura do material;





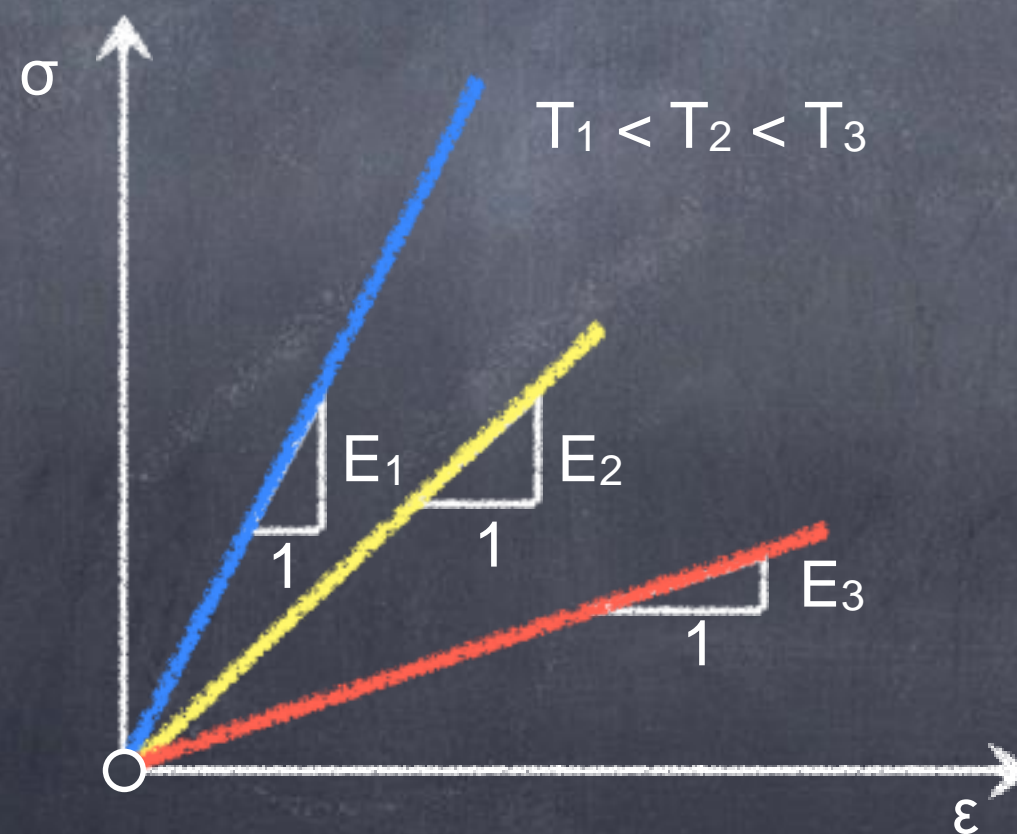
# Comportamento mecânico de materiais dúteis e frágeis

## Módulo de ELASTICIDADE

Propriedade do material;

Depende dos componentes do material;

Depende da temperatura do material;





# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

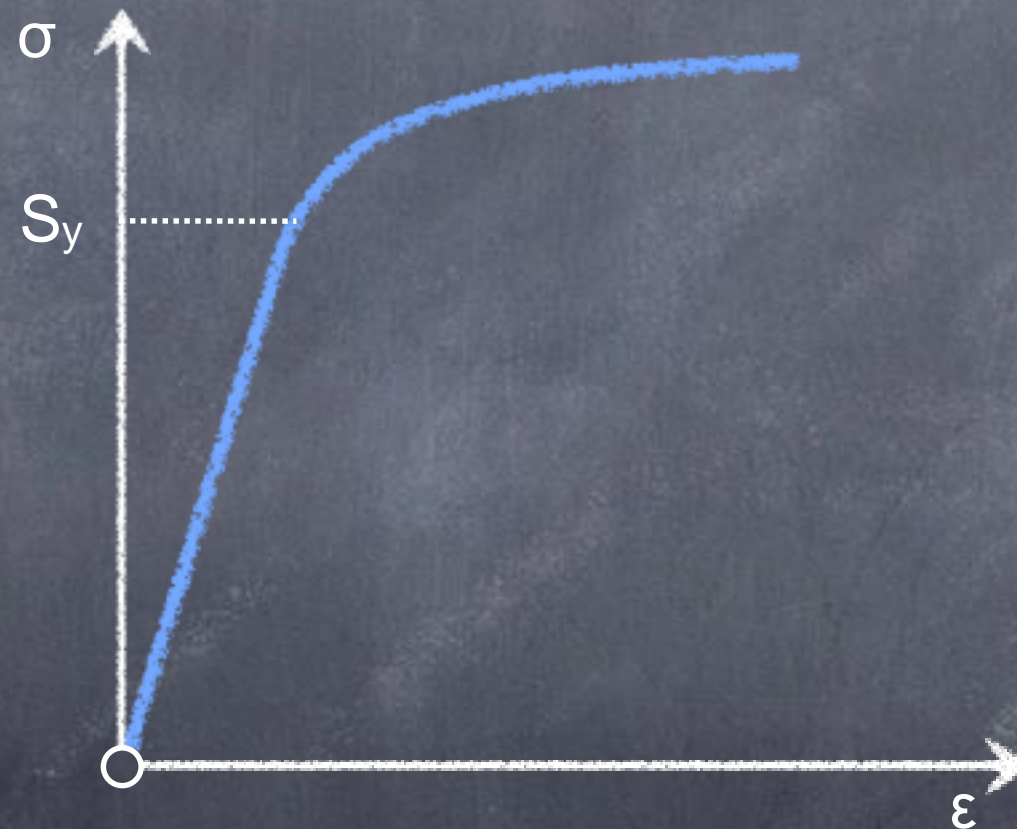


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

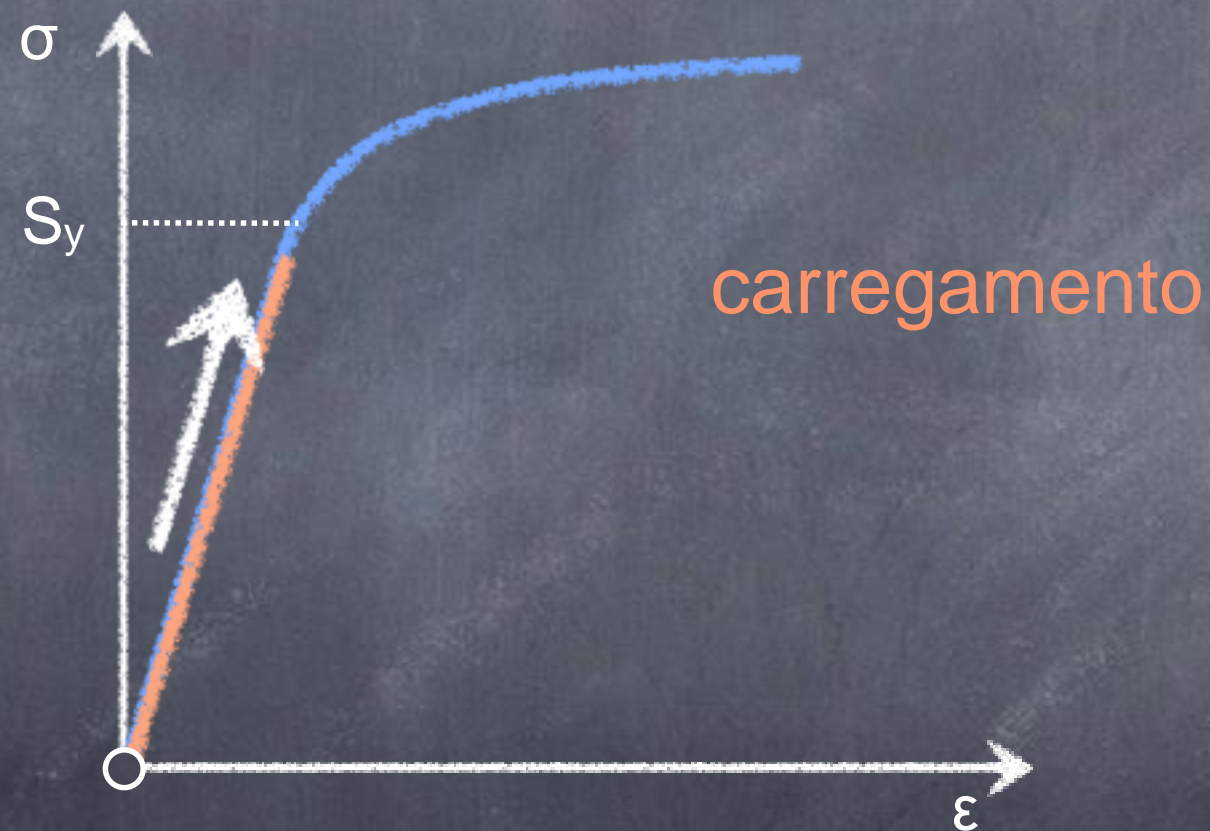


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

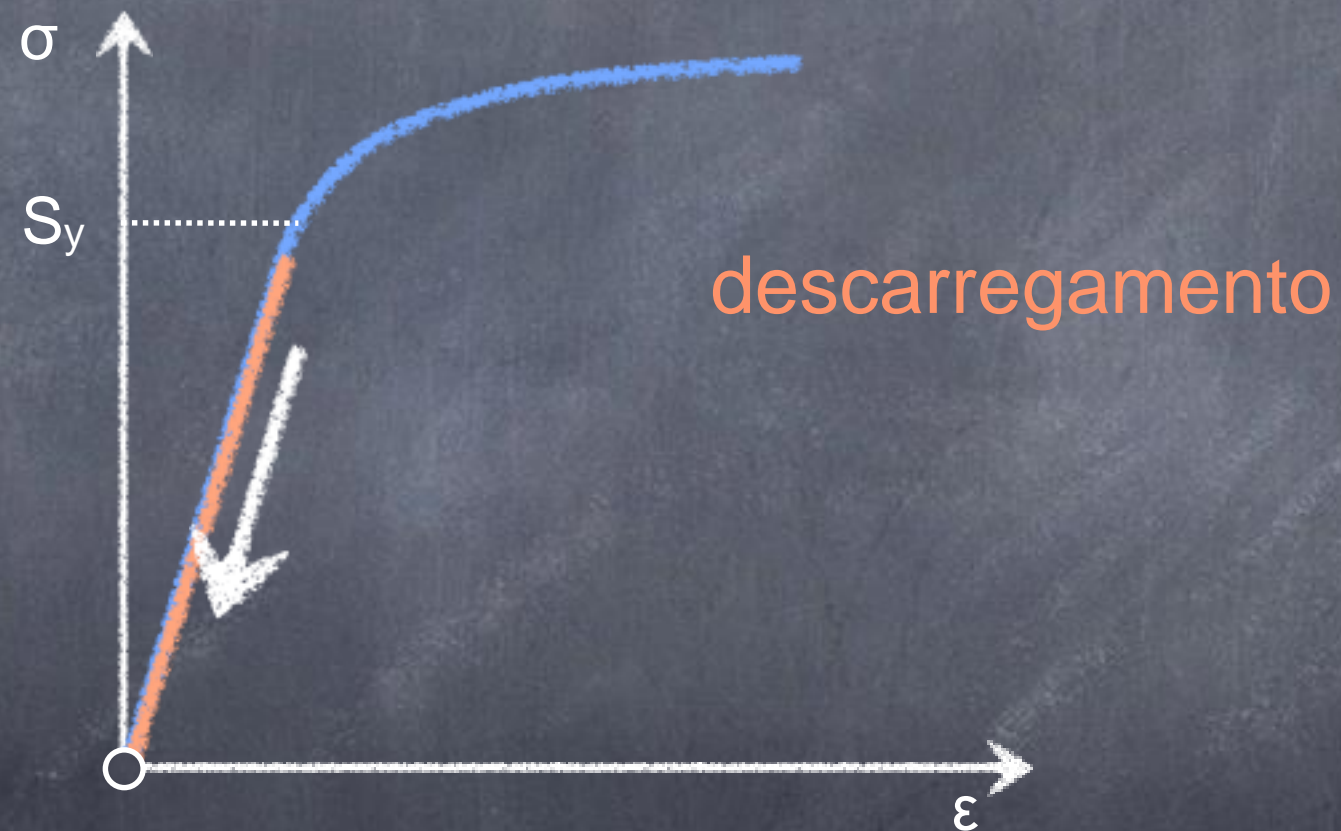


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis



Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

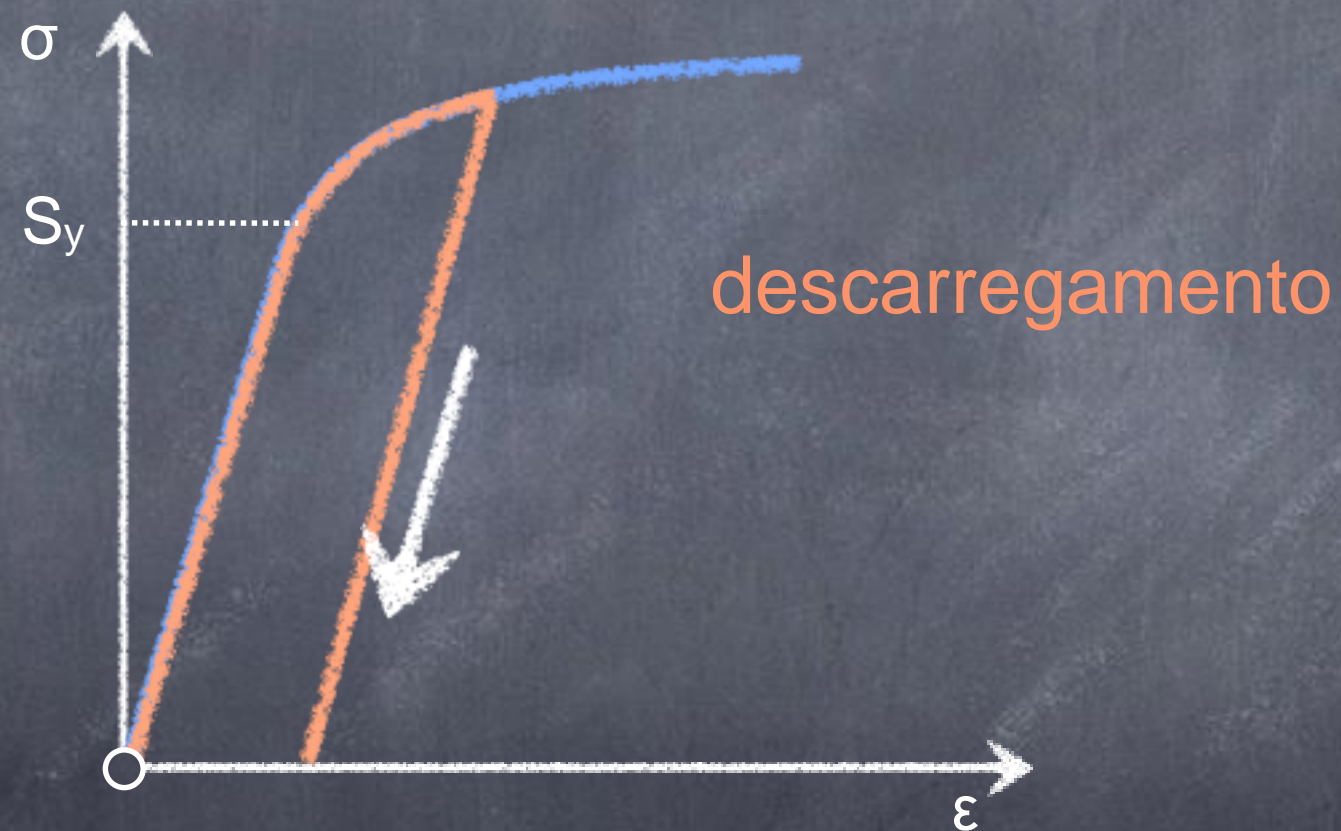


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

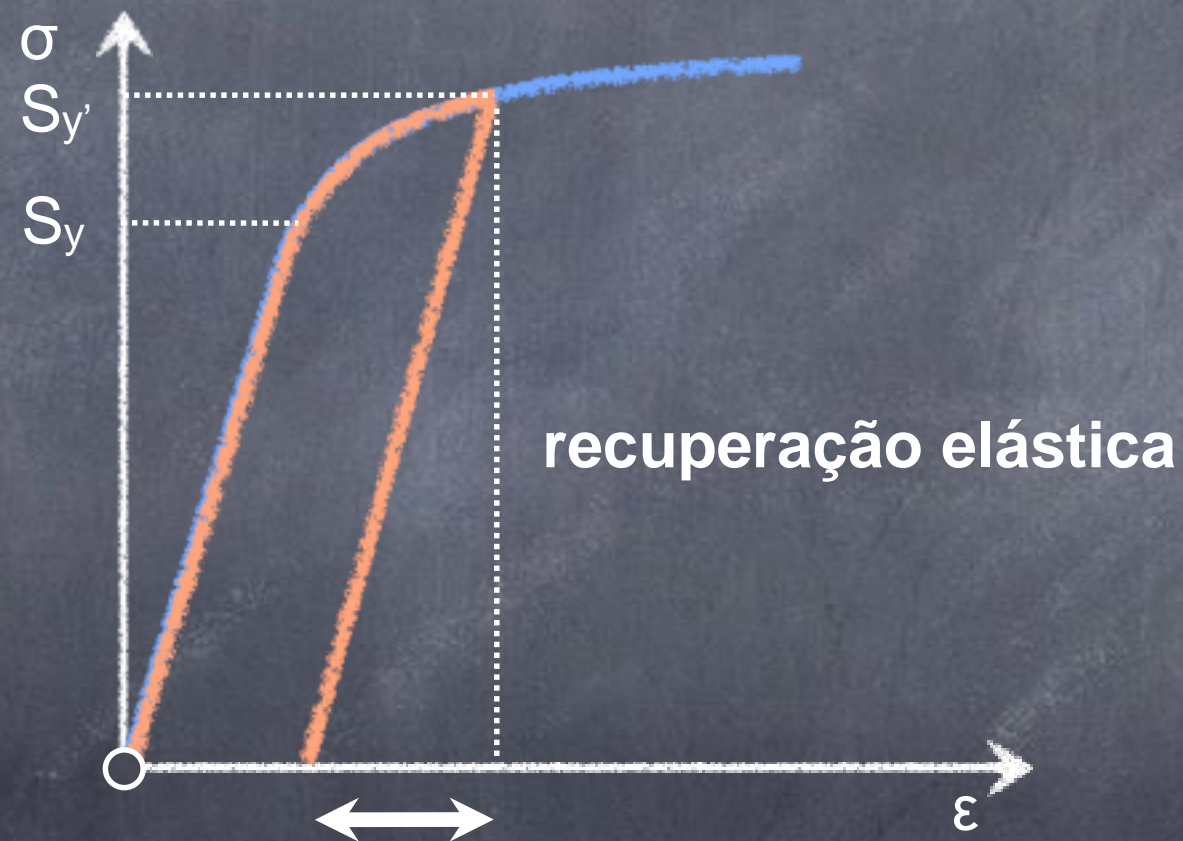


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

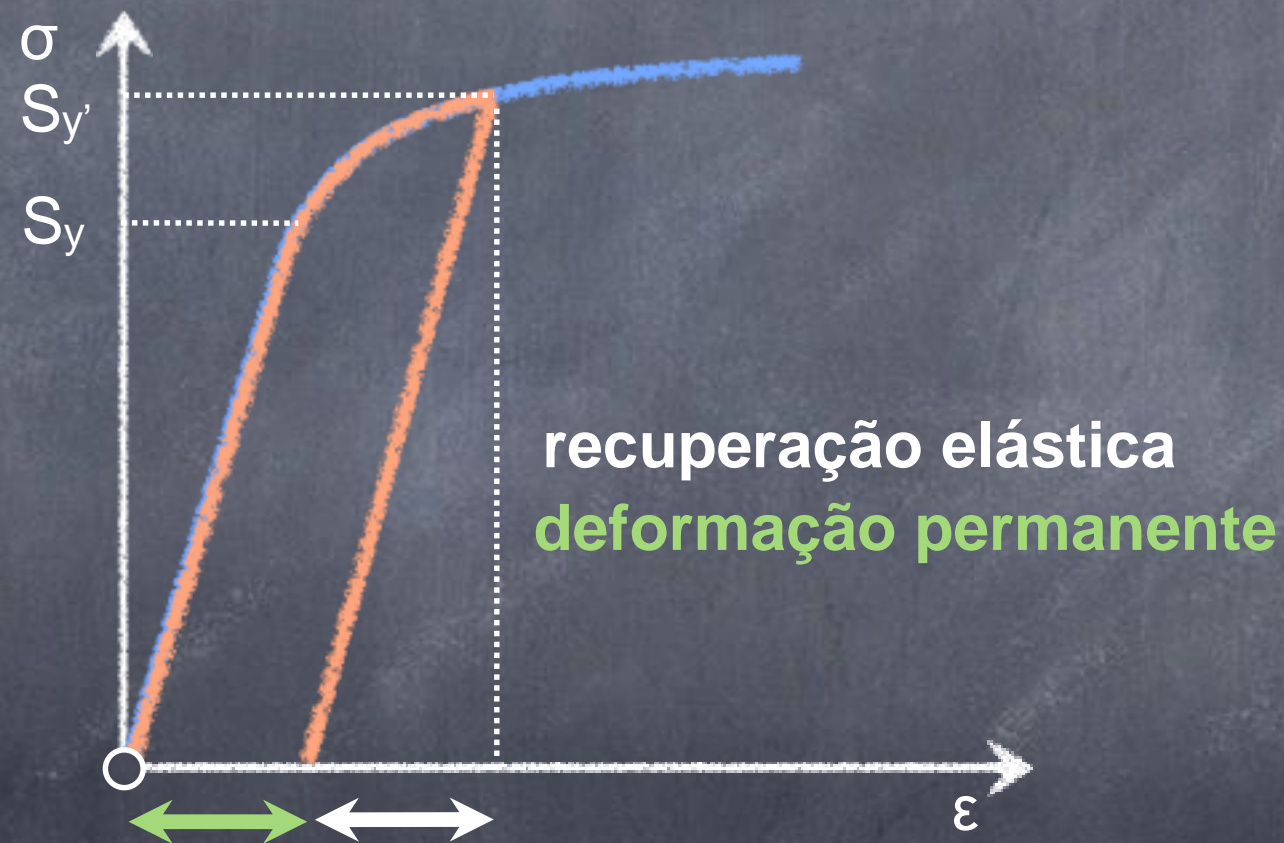


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

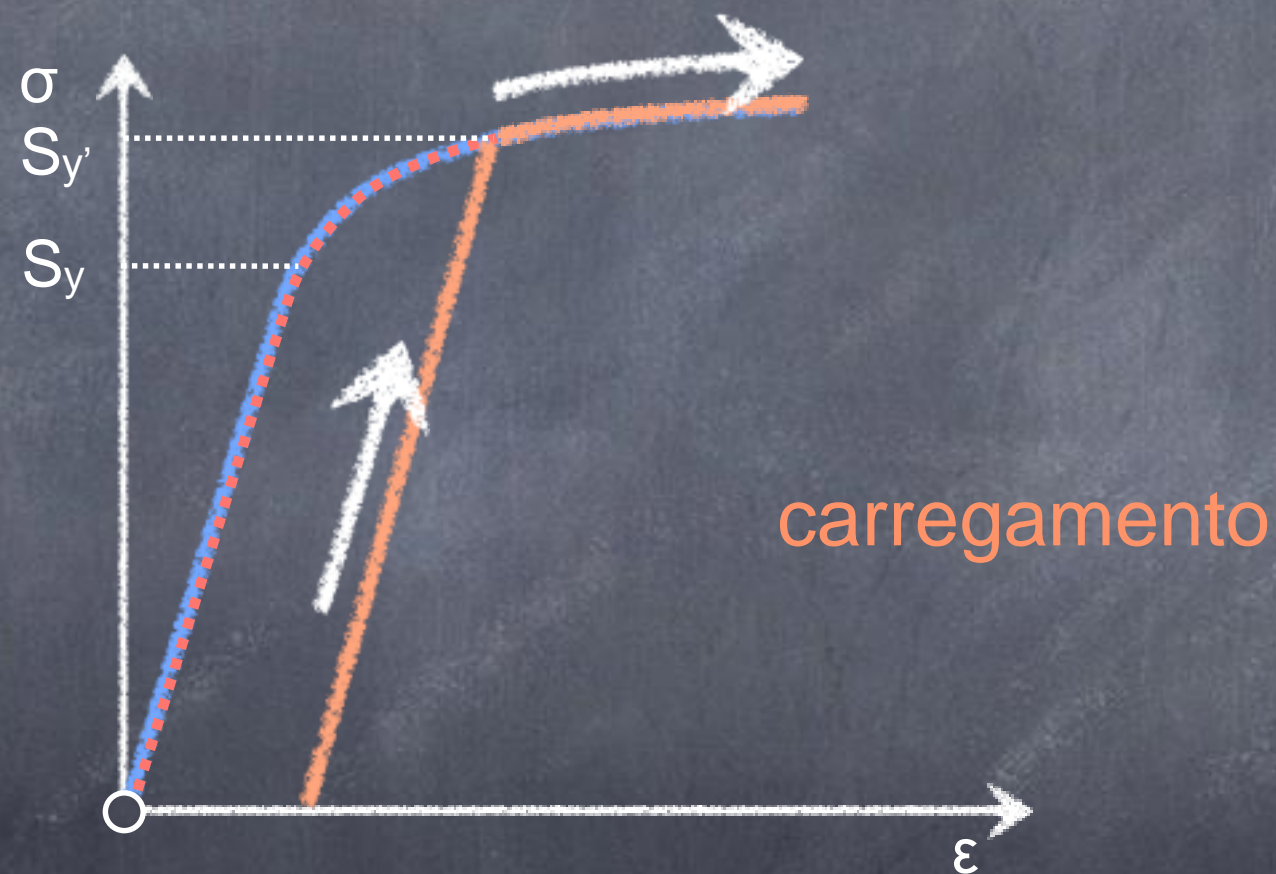


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

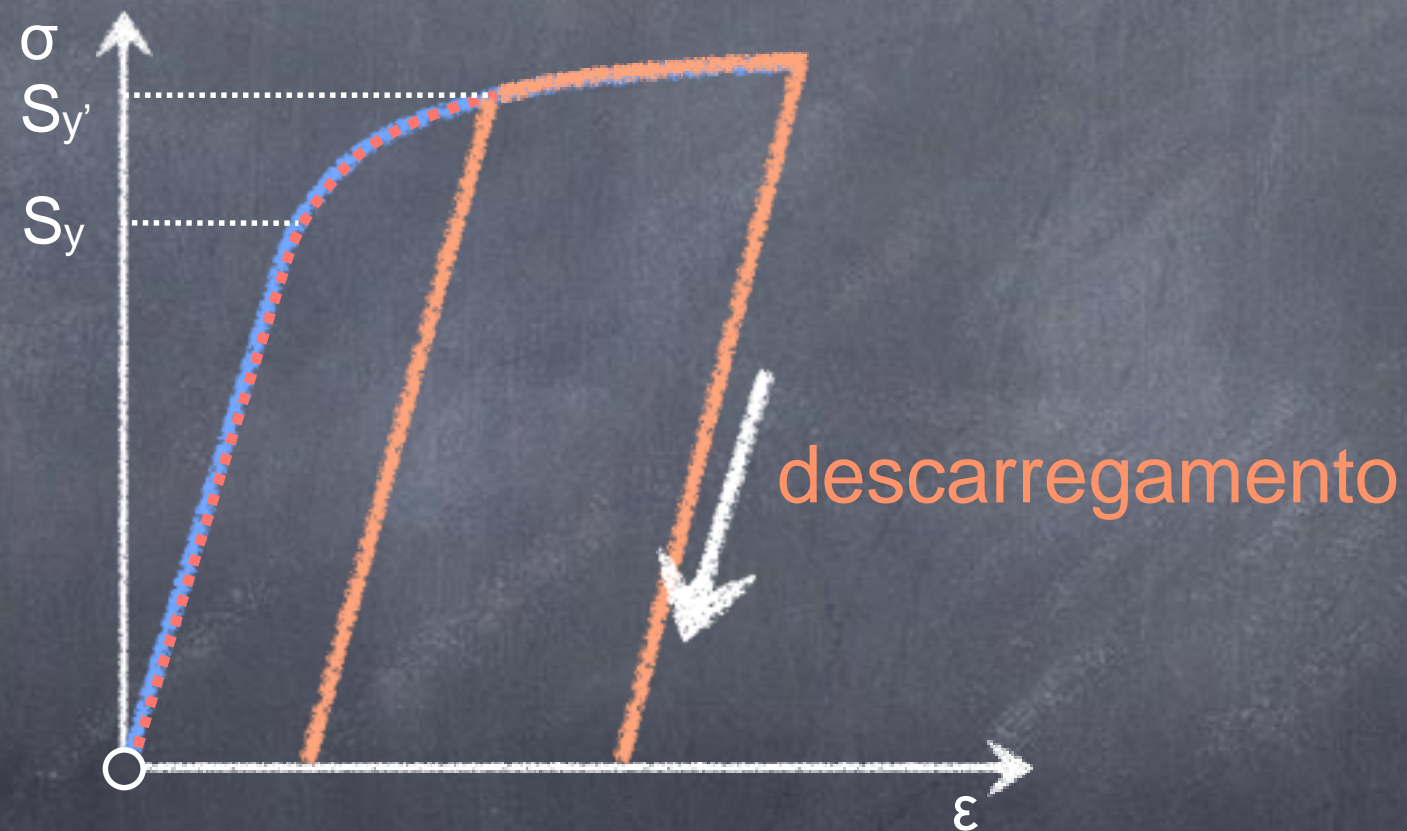


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

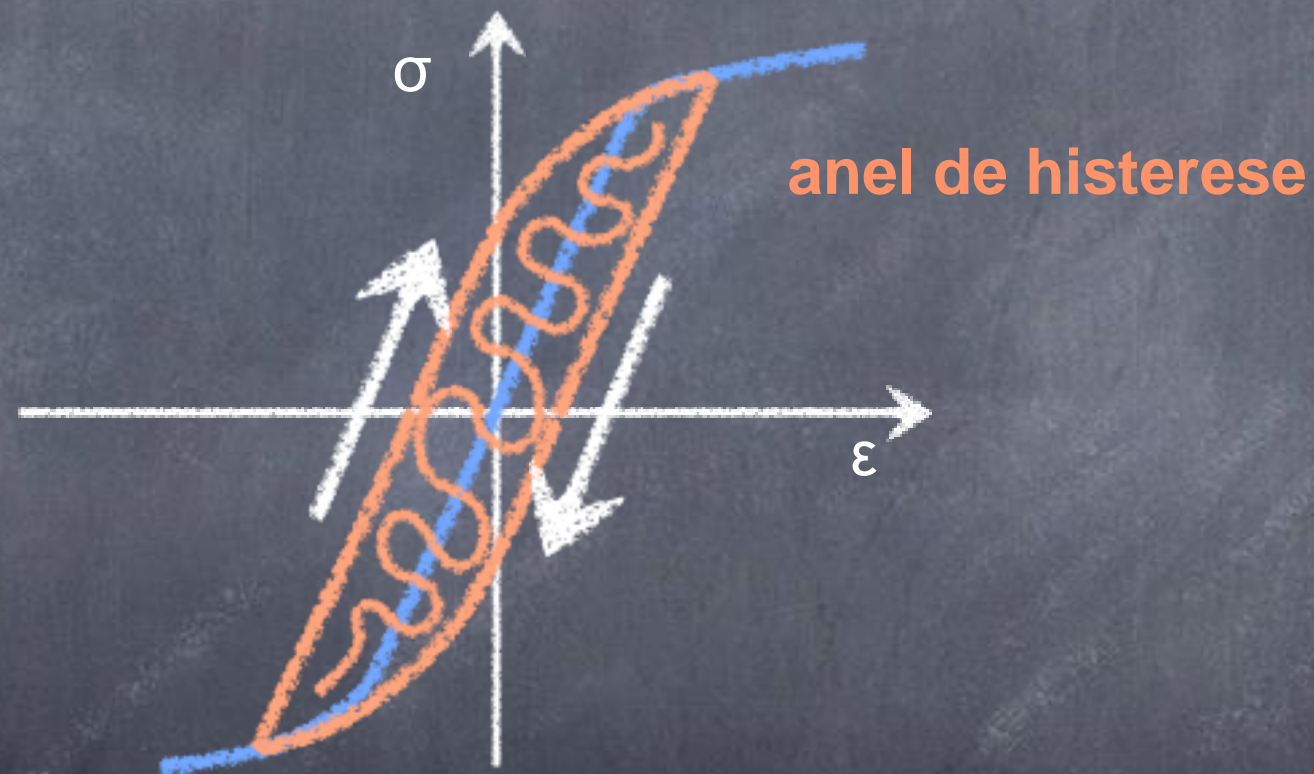


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

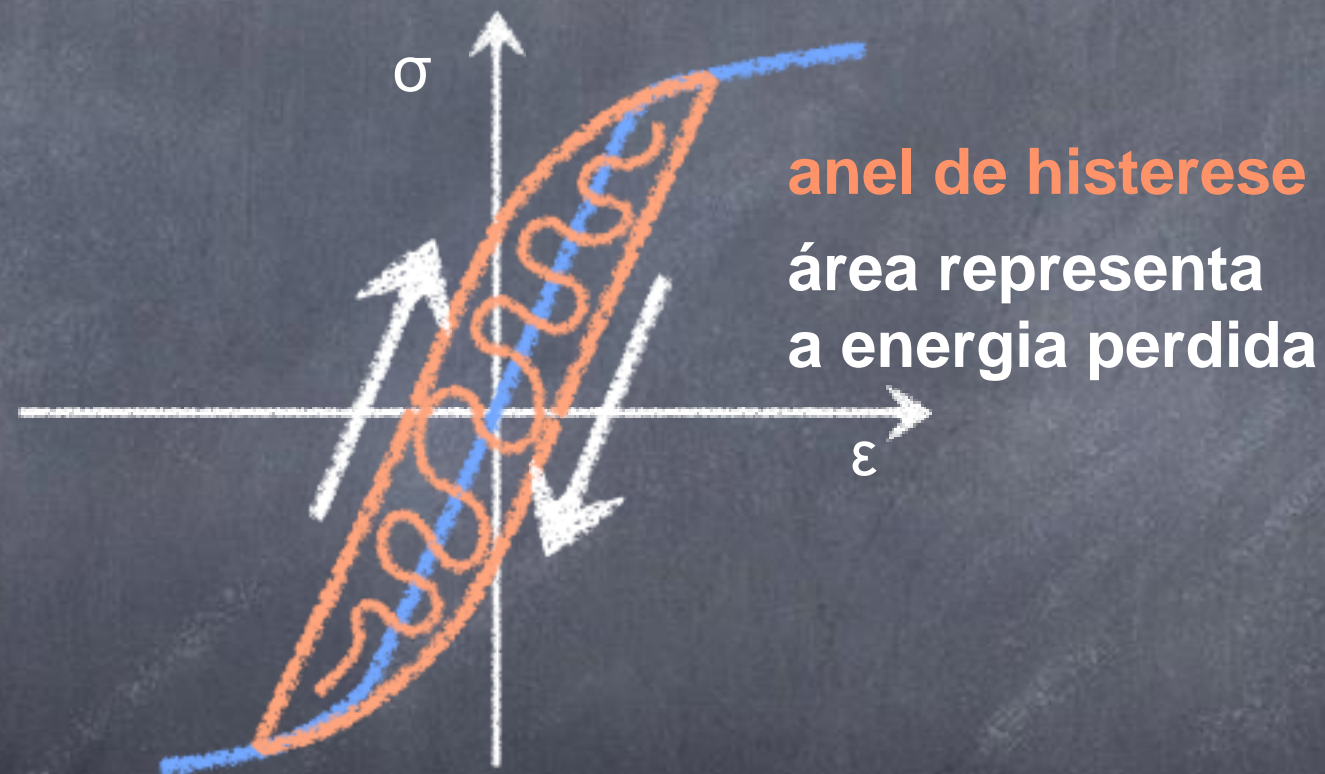


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



# Endurecimento por deformação

Materiais dúteis

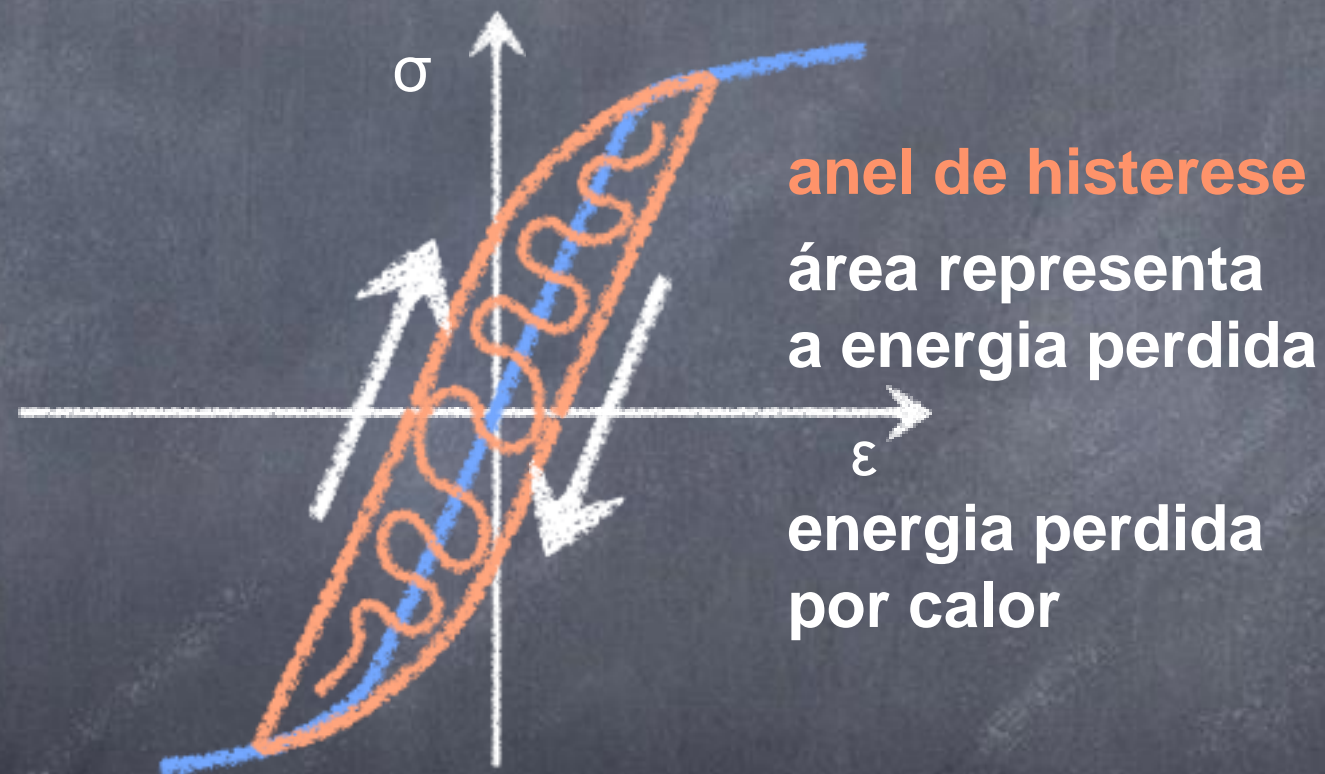


Diagrama Tensão ( $\sigma$ ) vs Deformação ( $\epsilon$ )



Mecânica dos Sólidos

# Energia de deformação



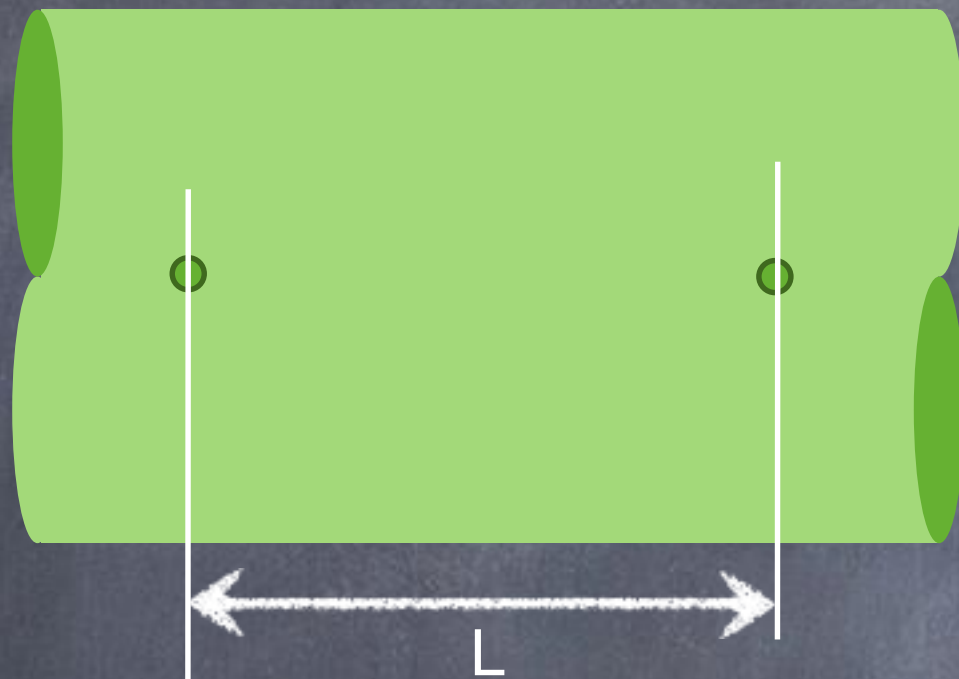
# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



# Energia de deformação

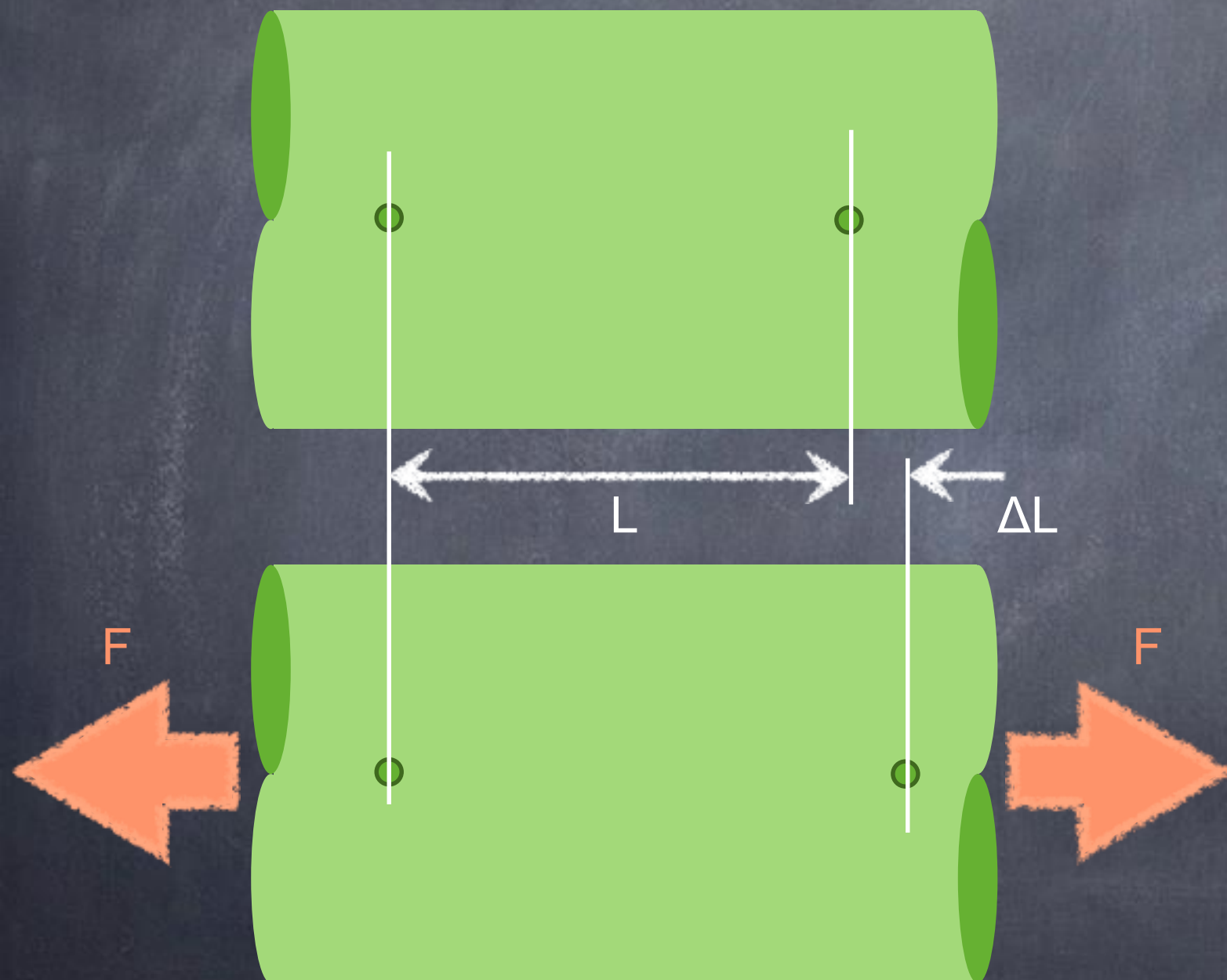
Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra





# Energia de deformação

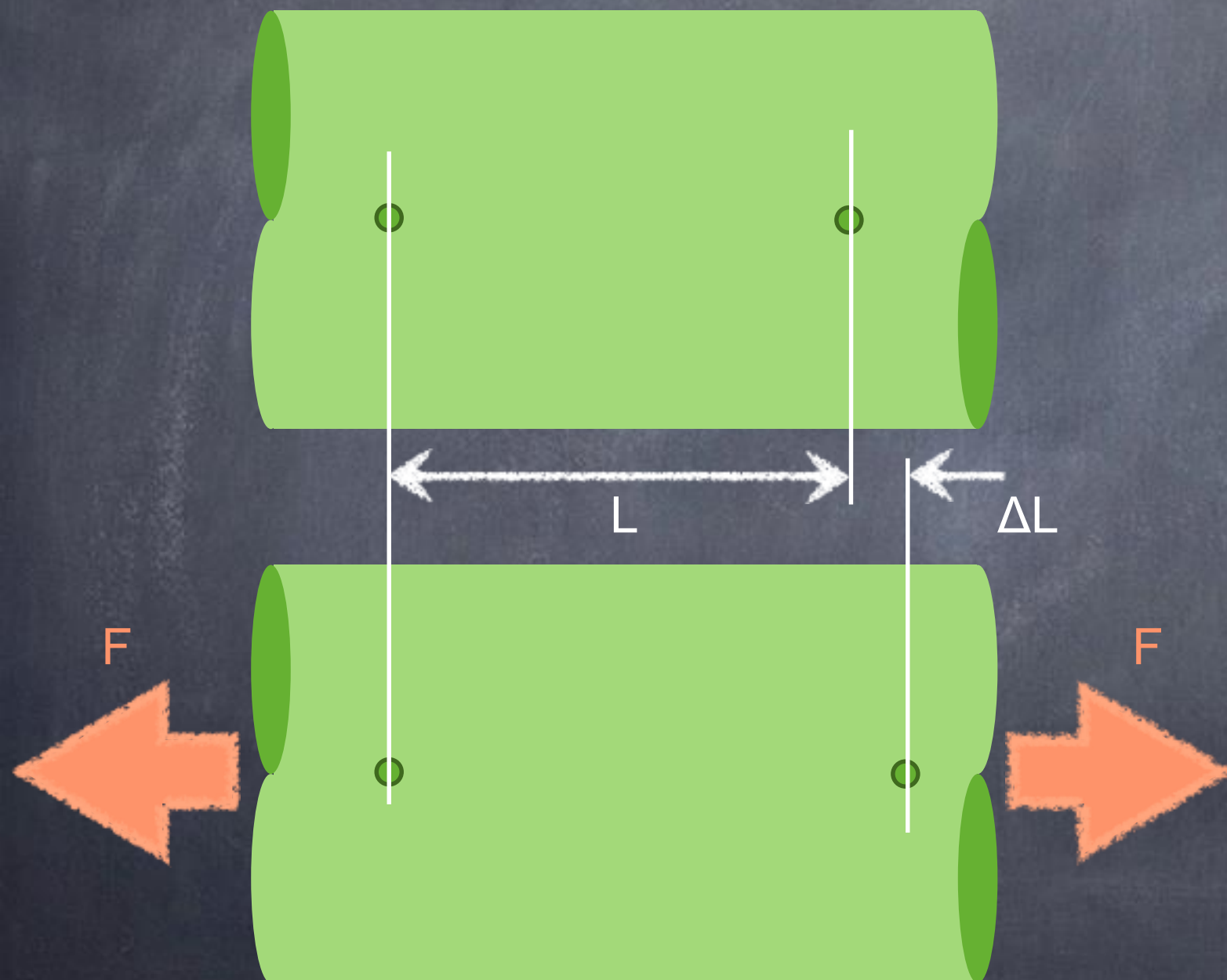
Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra

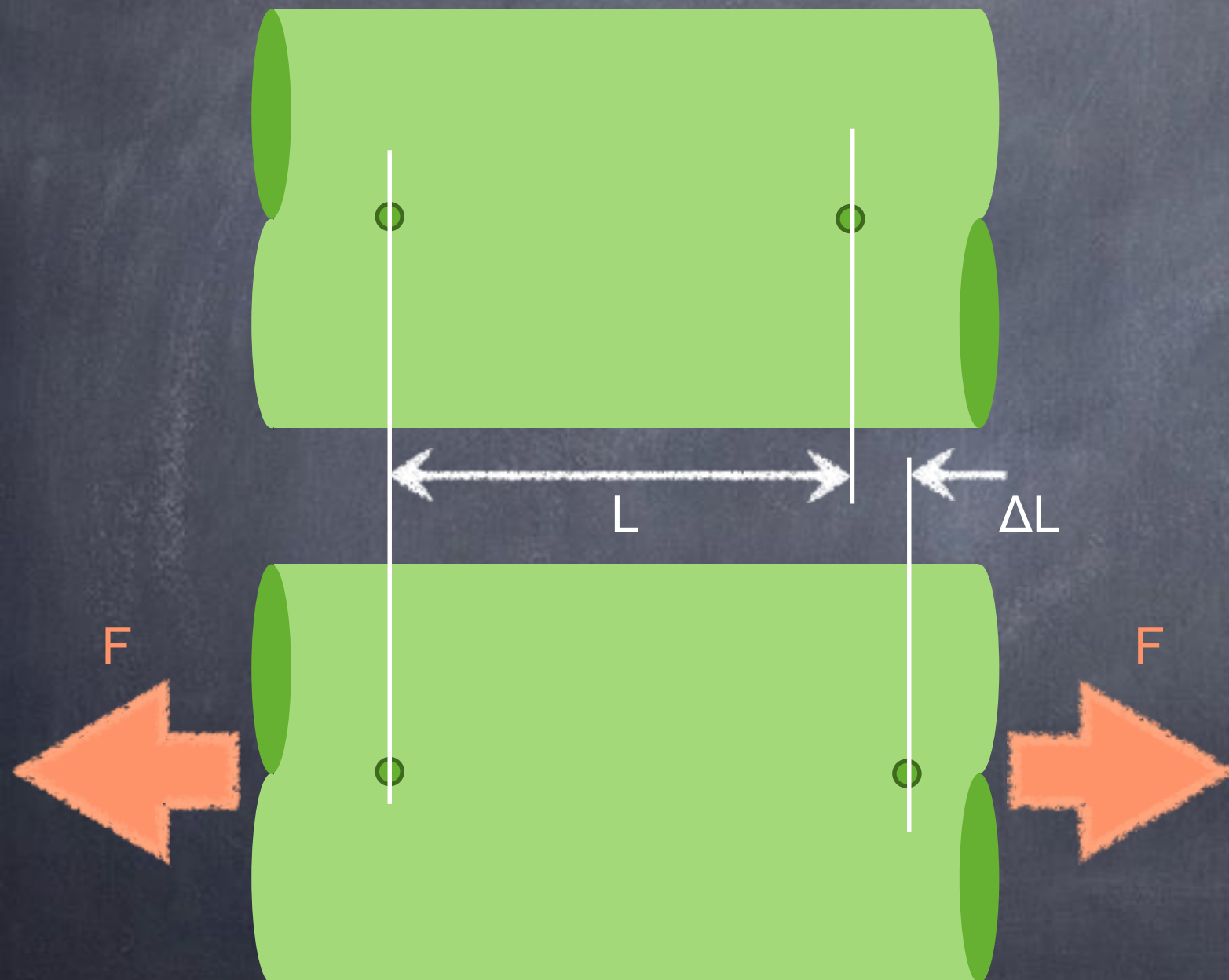


$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$

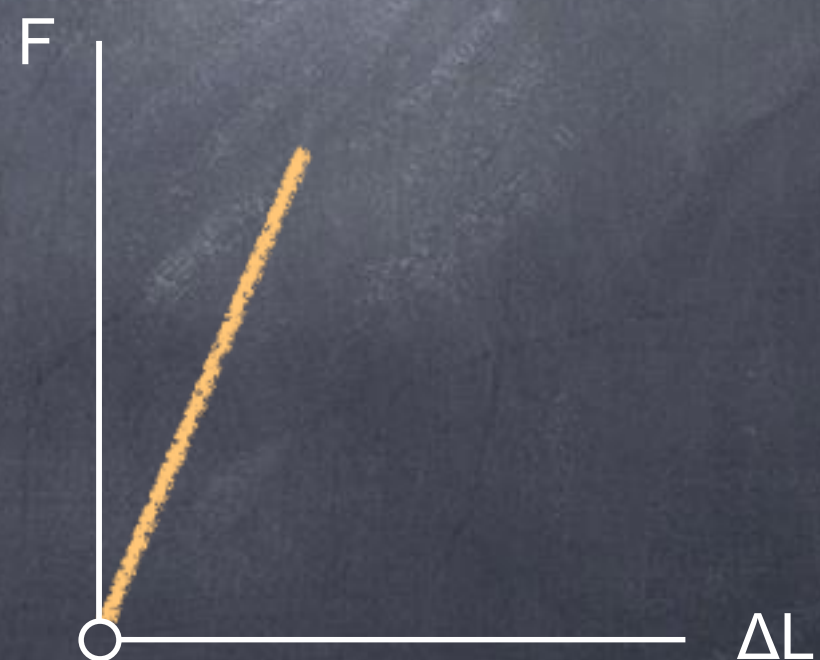


# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



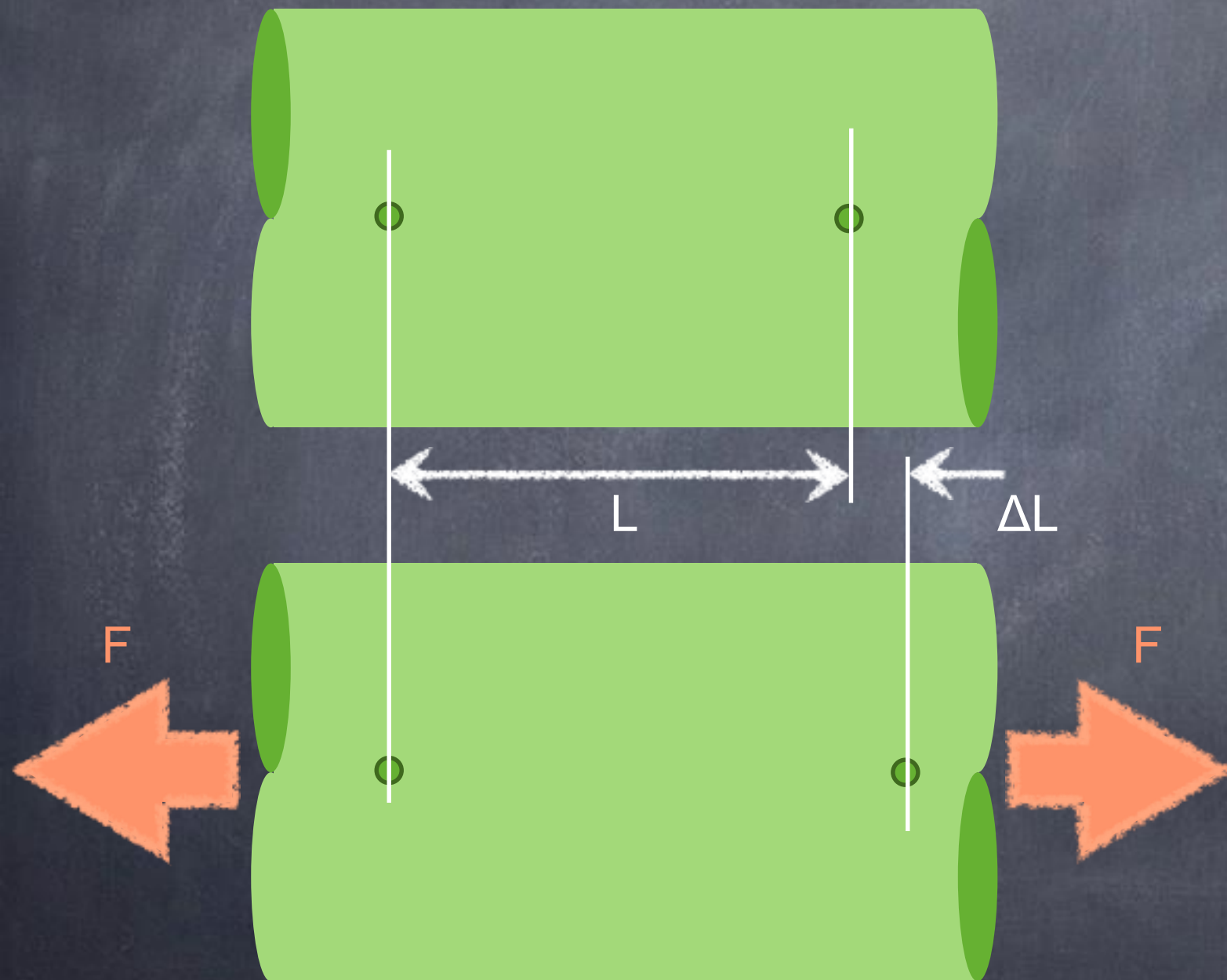
$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$



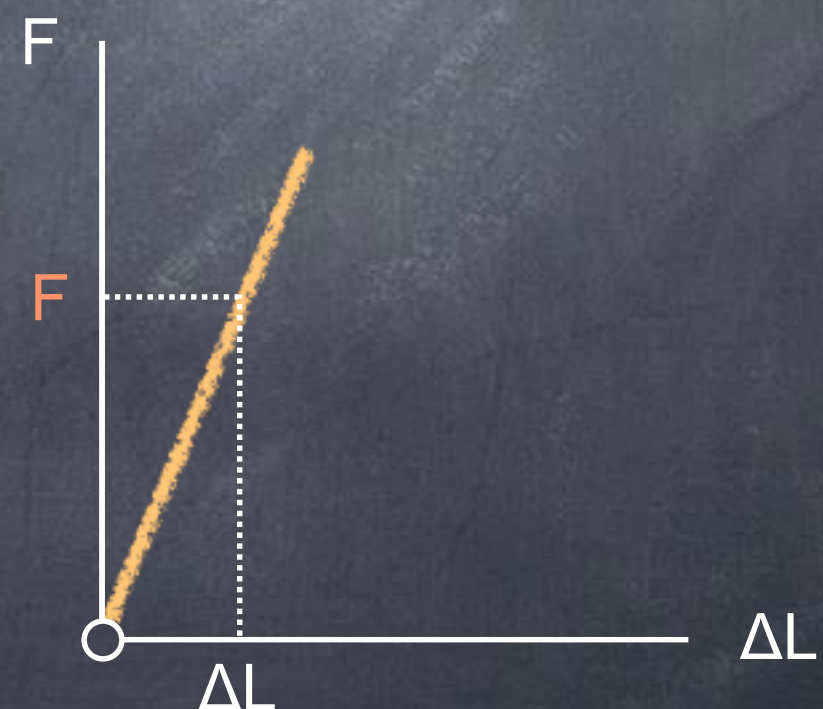


# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



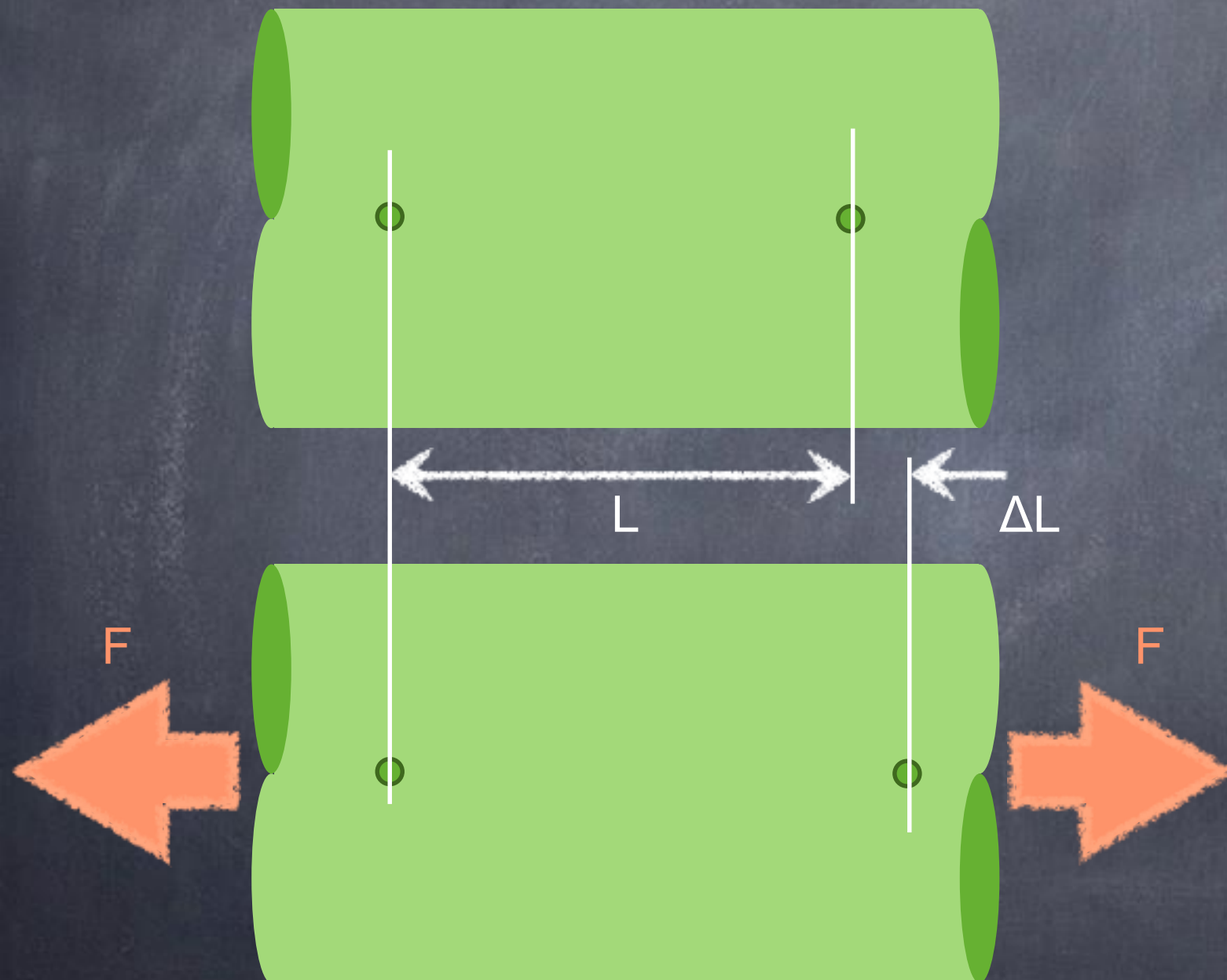
$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$



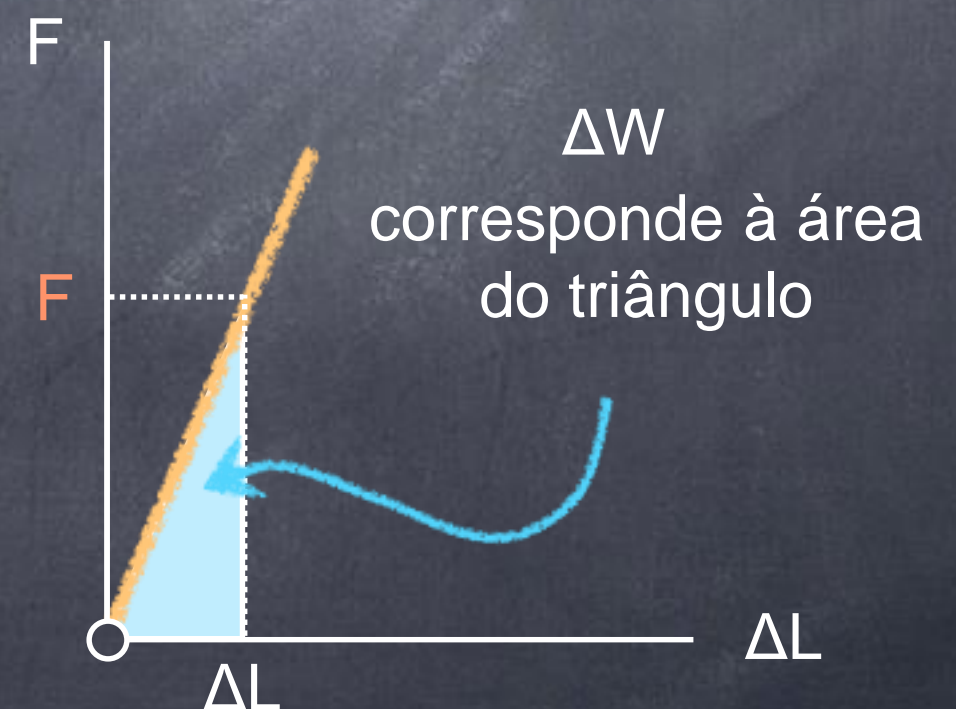


# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



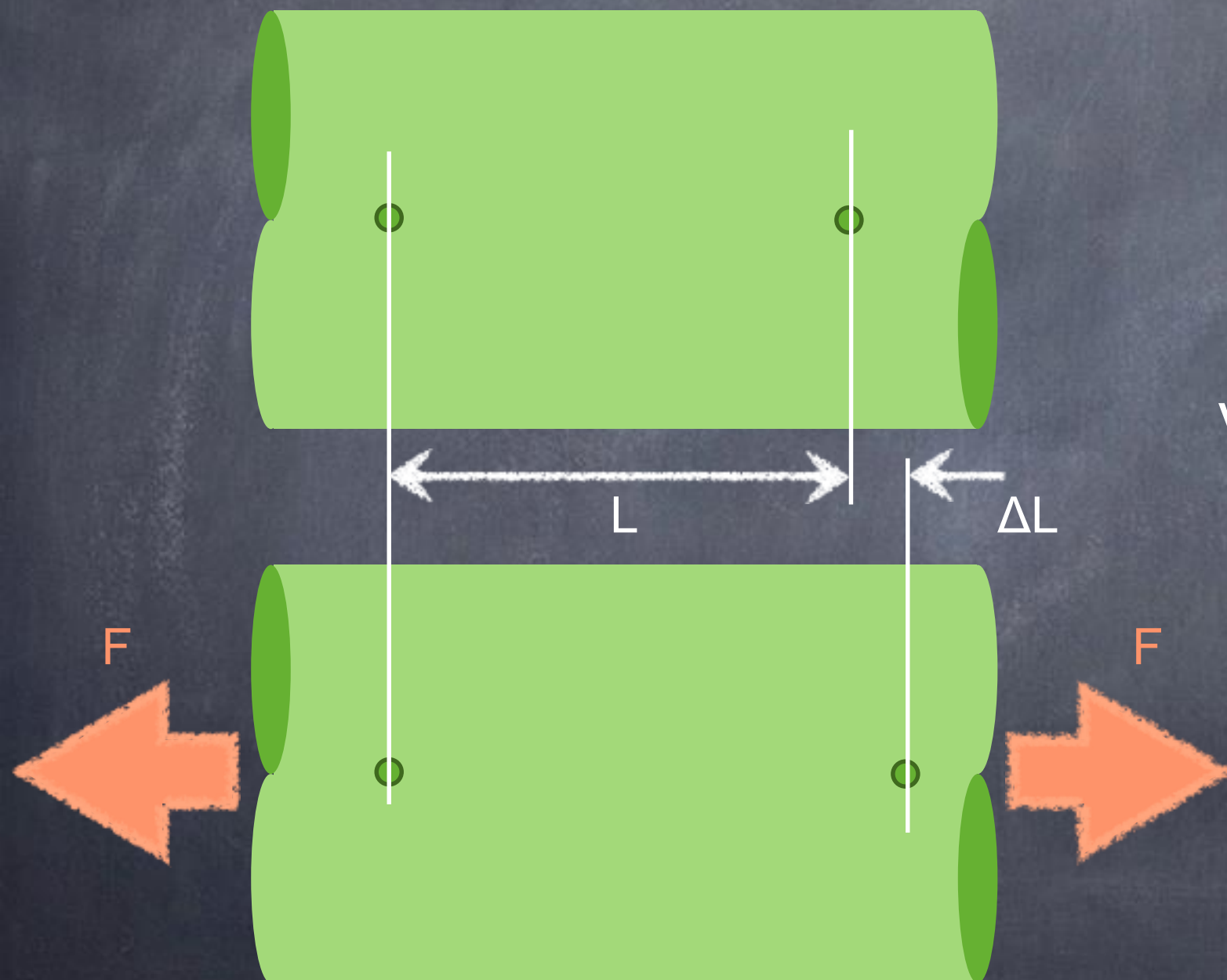
$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



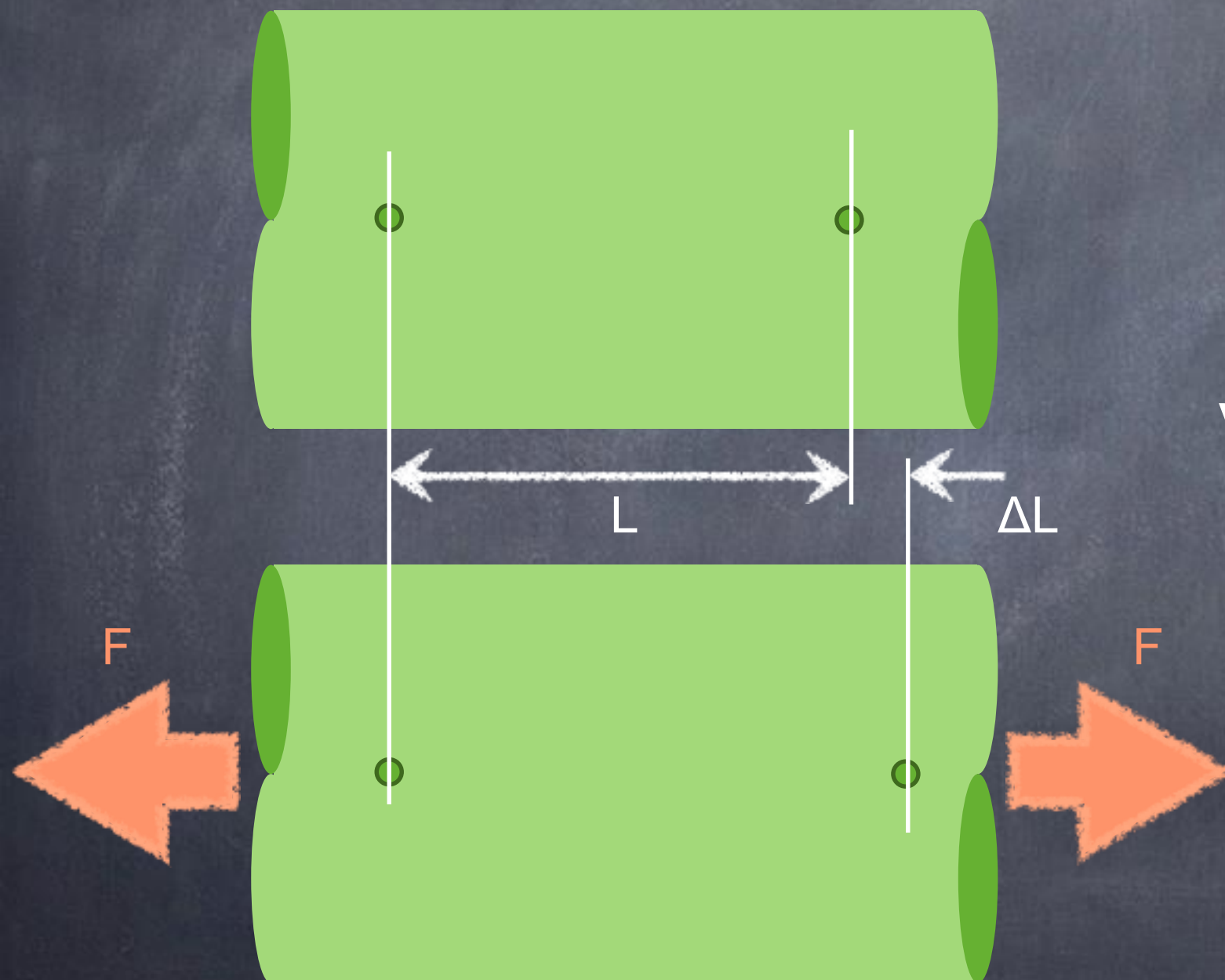
$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$

Variação de energia total



# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$

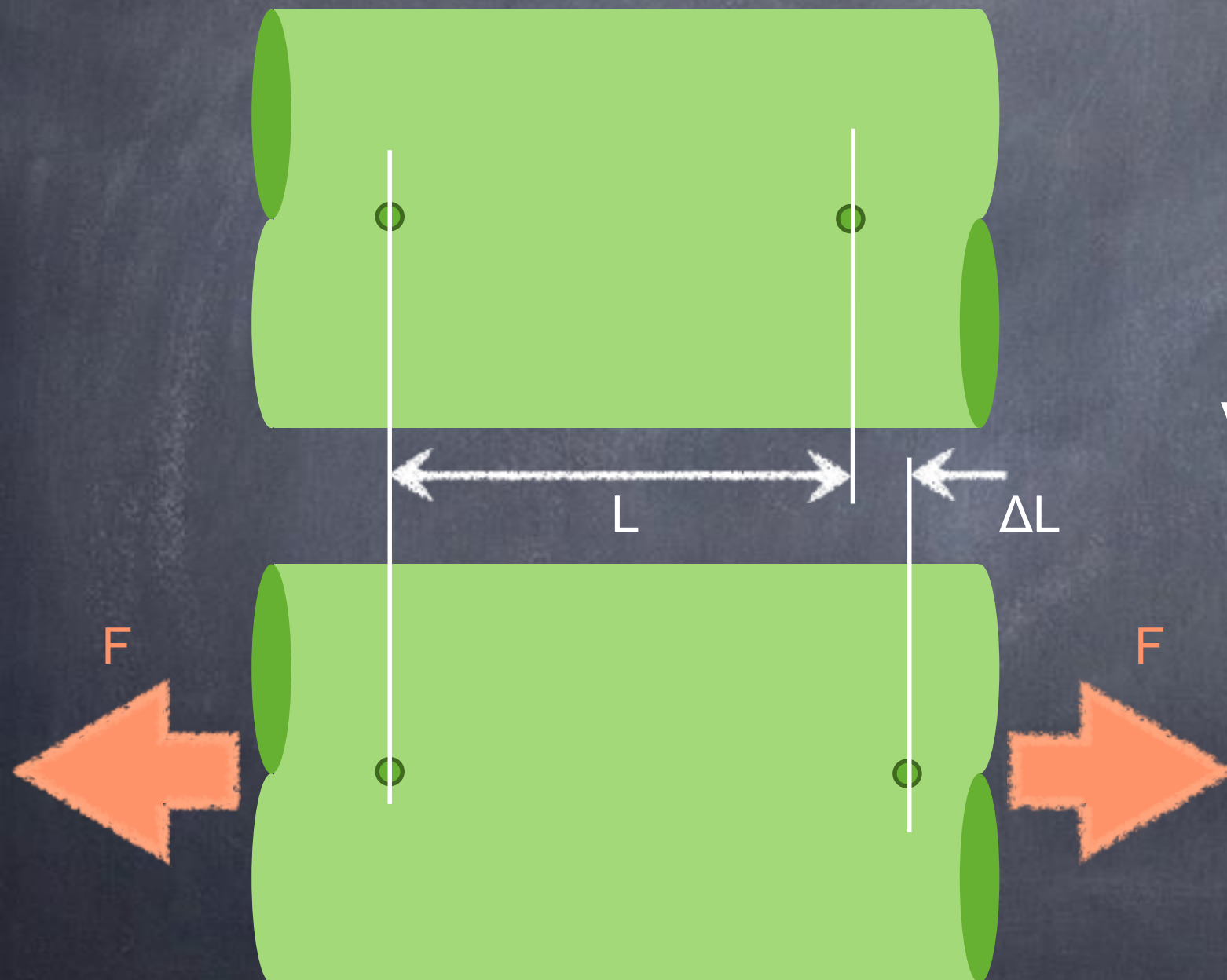
Variação de energia total

$$\Delta E_T = \Delta W + \Delta U = 0$$



# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$

Variação de energia total

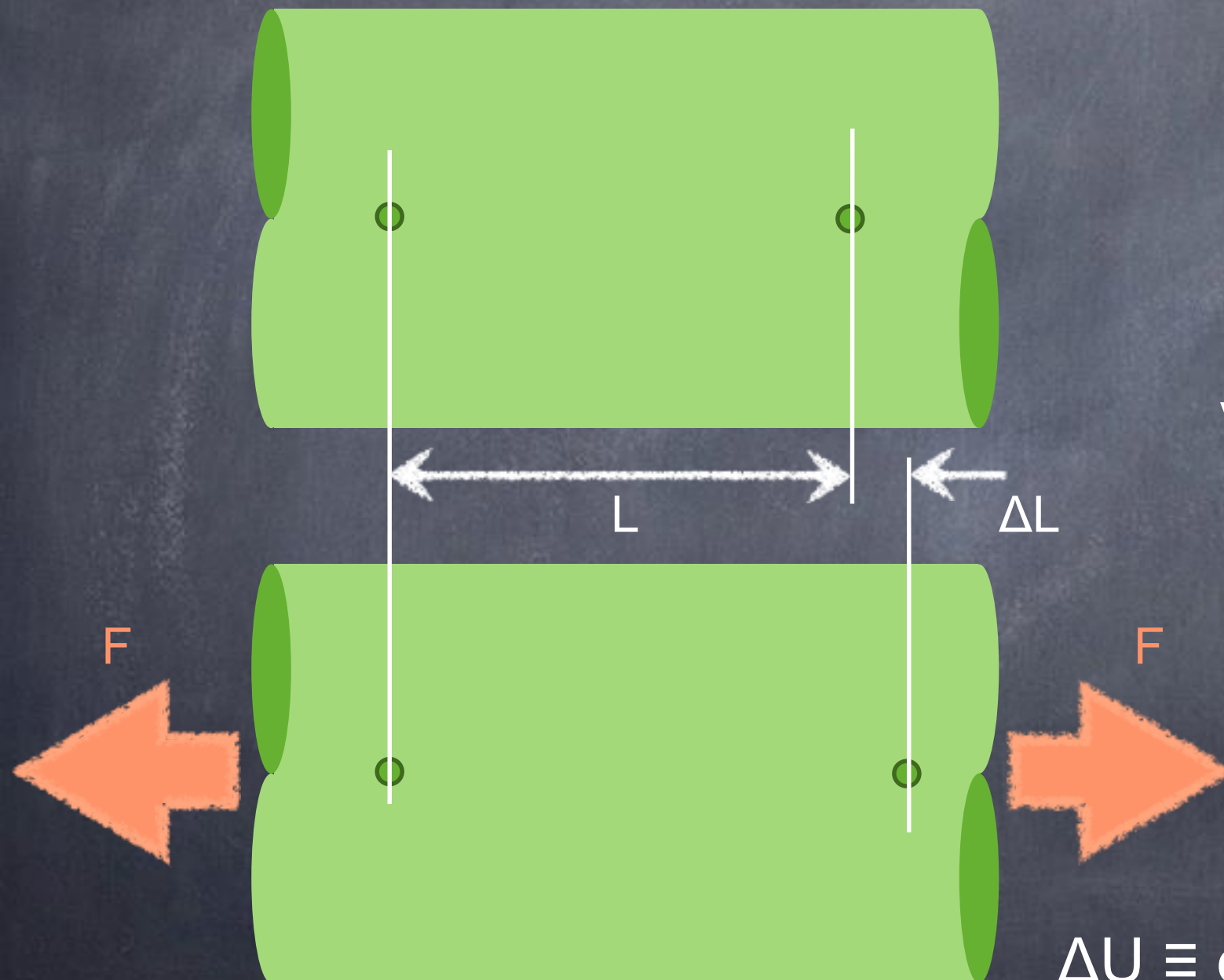
$$\Delta E_T = \Delta W + \Delta U = 0$$

$$\Delta W = - \Delta U$$



# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra



$$\Delta W = (1/2) \cdot F \cdot \Delta L$$

Variação de energia total

$$\Delta E_T = \Delta W + \Delta U = 0$$

$$\Delta W = - \Delta U$$

$\Delta U \equiv$  energia interna de deformação



# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



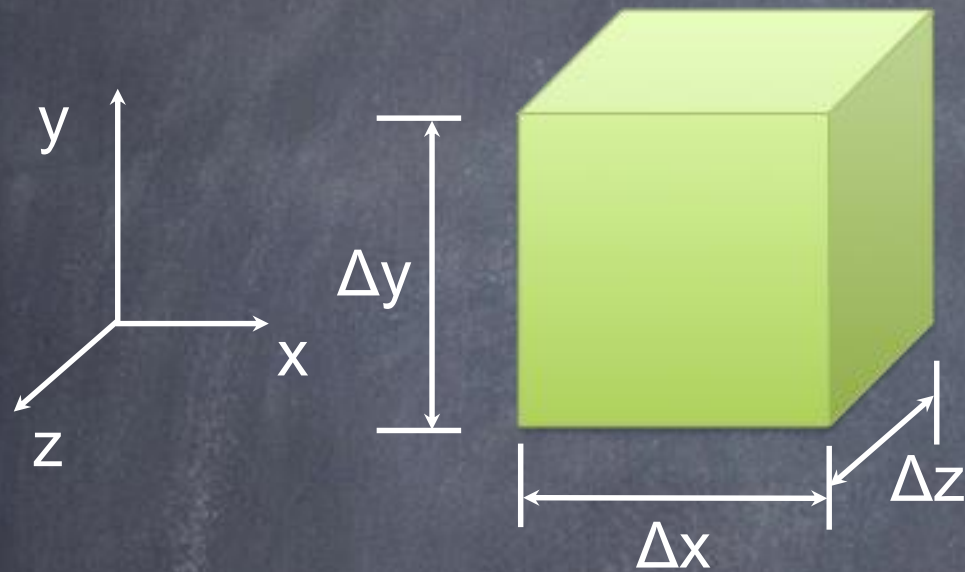
## Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



# Energia de deformação

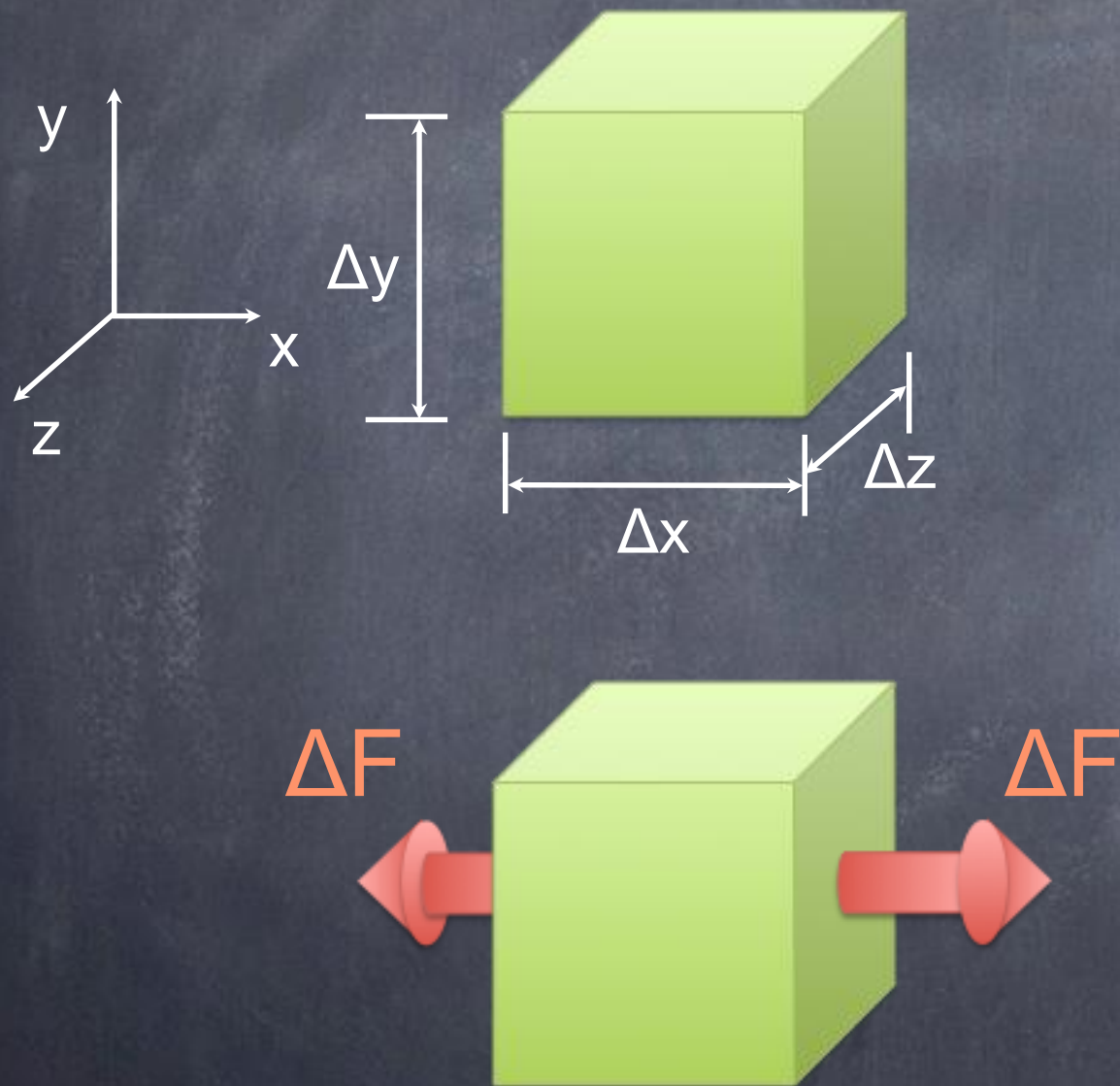
Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra





# Energia de deformação

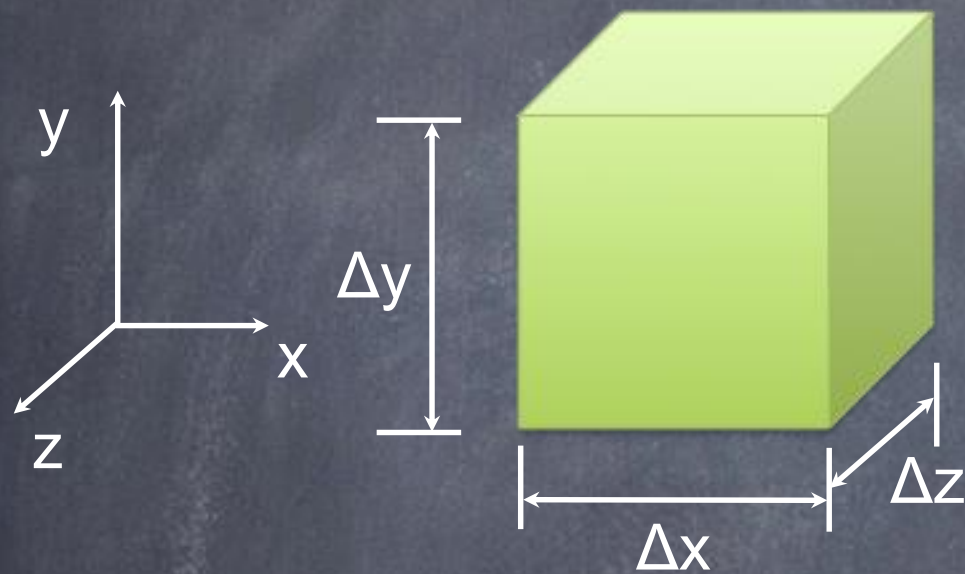
Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



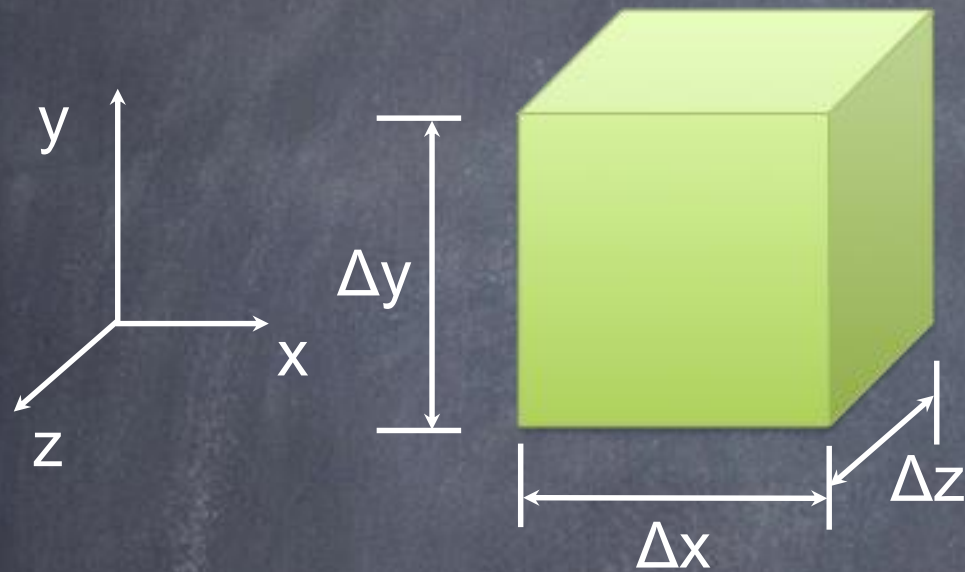
$$\Delta F = \sigma \cdot \Delta A = \sigma \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



$$\Delta F = \sigma \cdot \Delta A = \sigma \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

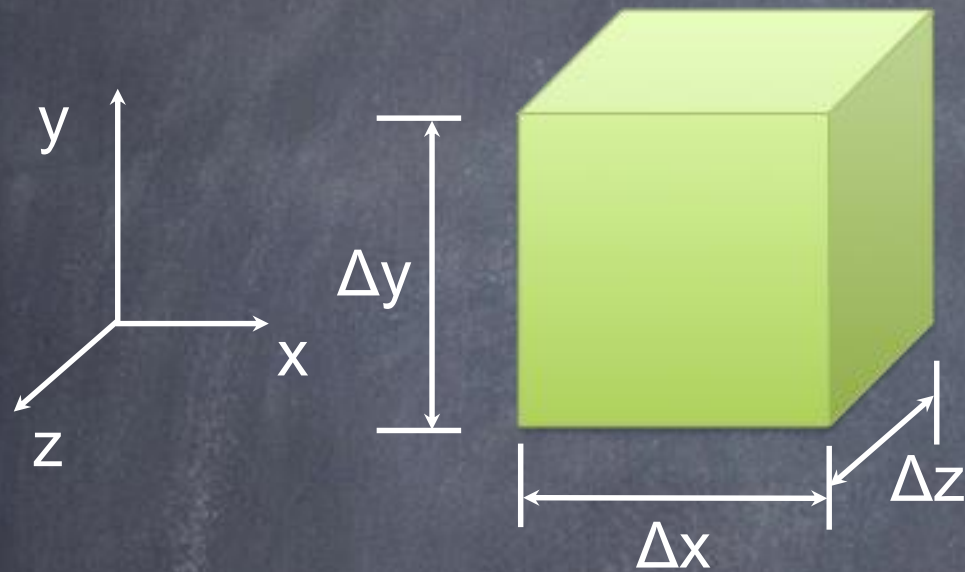
o deslocamento será





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



$$\Delta F = \sigma \cdot \Delta A = \sigma \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

o deslocamento será

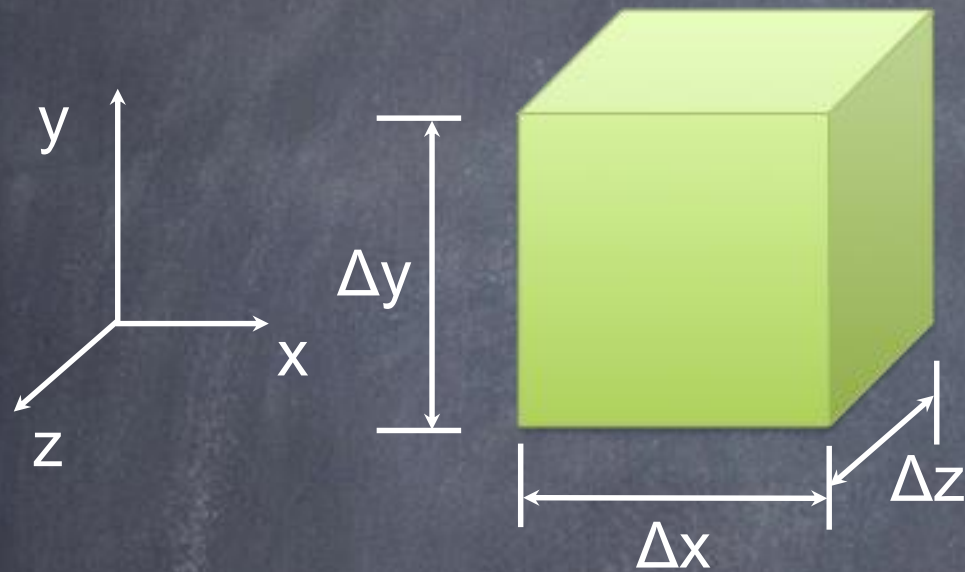
$$d = \varepsilon \cdot \Delta x$$





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



$$\Delta F = \sigma \cdot \Delta A = \sigma \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

o deslocamento será

$$d = \varepsilon \cdot \Delta x$$

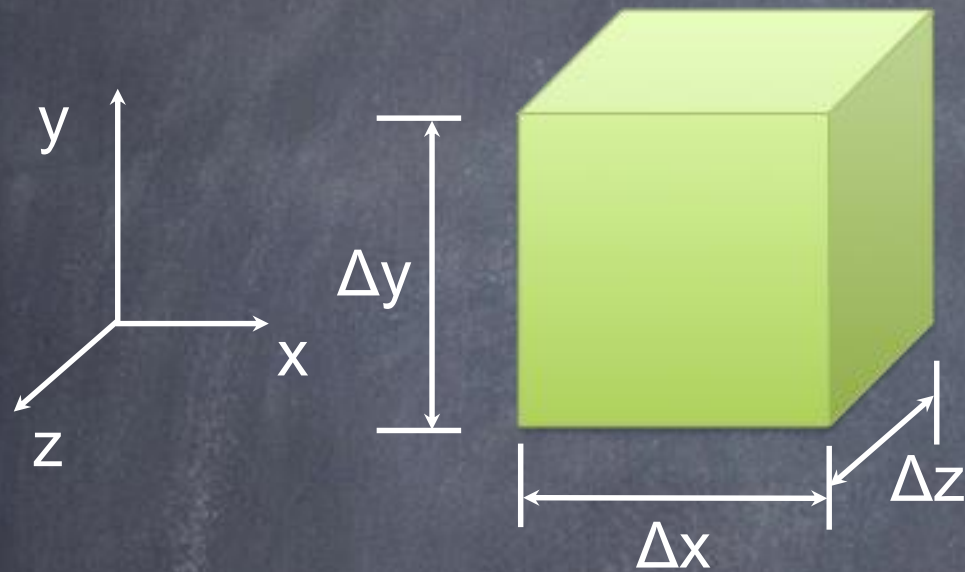
logo, o trabalho é dado por





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



$$\Delta F = \sigma \cdot \Delta A = \sigma \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

o deslocamento será

$$d = \varepsilon \cdot \Delta x$$

logo, o trabalho é dado por

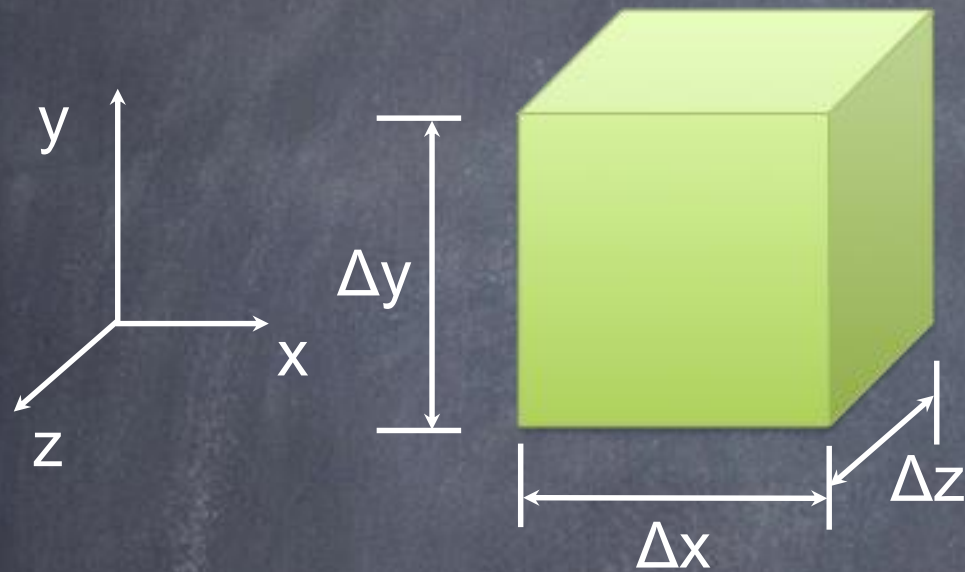
$$\Delta W = \frac{1}{2} \Delta F \cdot d$$





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



$$\Delta F = \sigma \cdot \Delta A = \sigma \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

o deslocamento será

$$d = \varepsilon \cdot \Delta x$$

logo, o trabalho é dado por

$$\Delta W = \frac{1}{2} \Delta F \cdot d$$

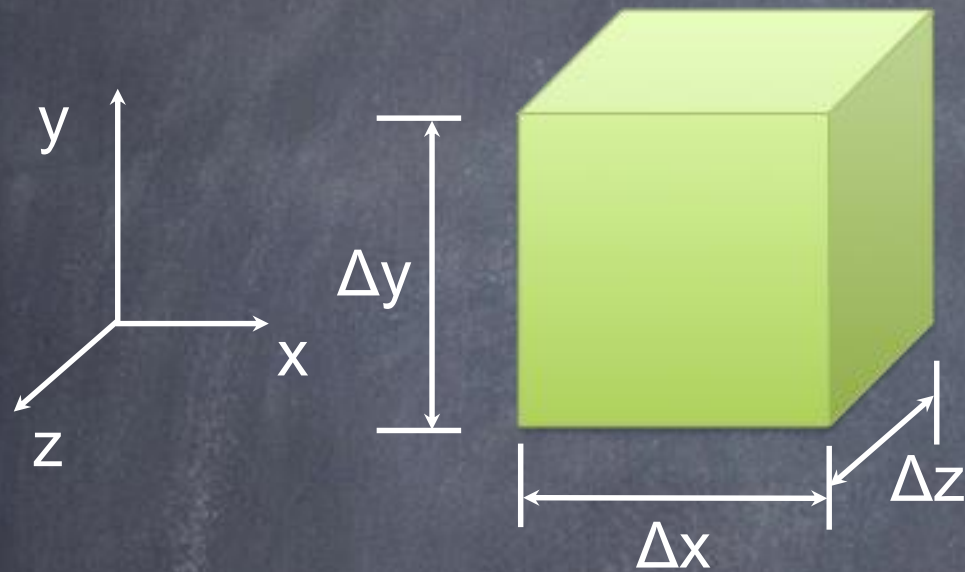


$$\Delta W = \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon \cdot (\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z)$$



# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



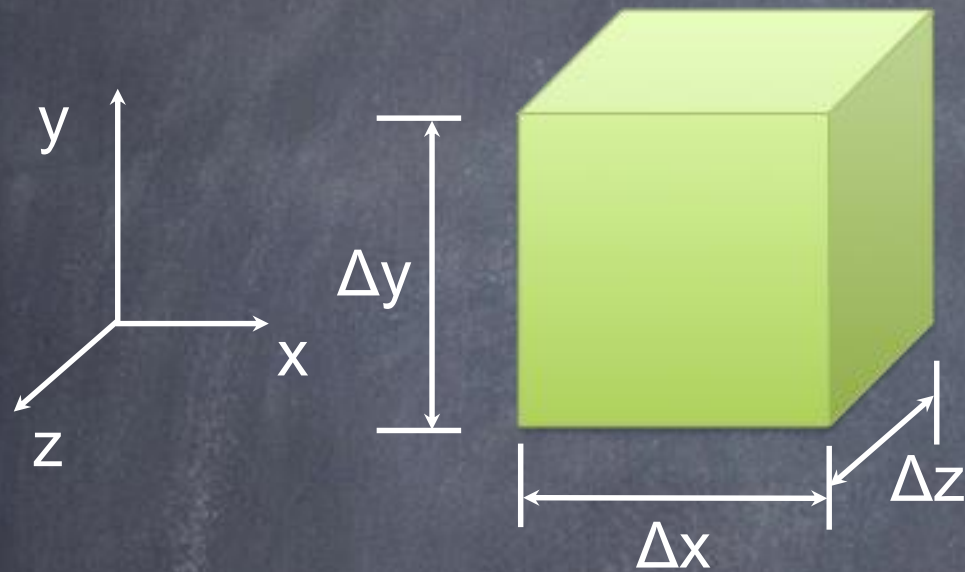
portanto, a energia interna será





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



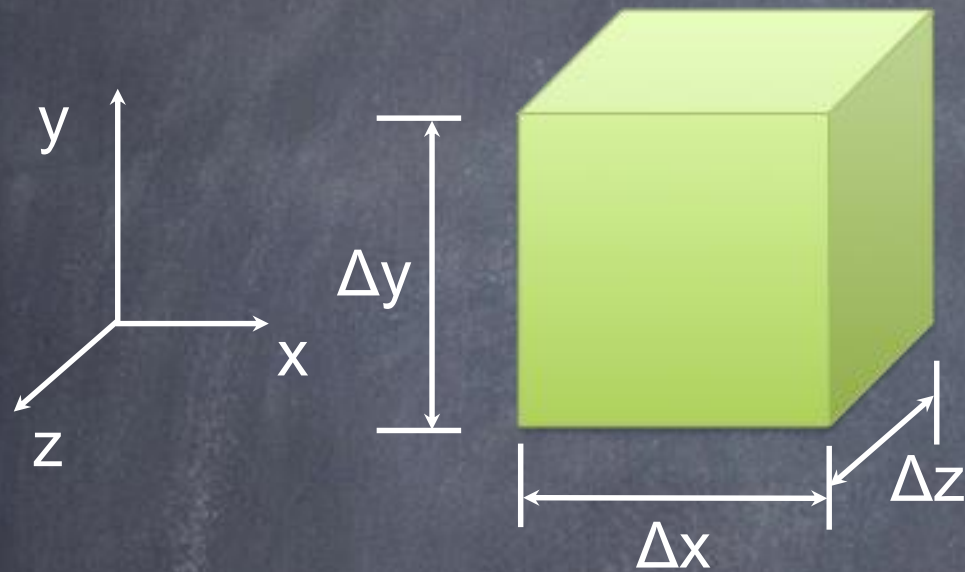
portanto, a energia interna será

$$\Delta U = - \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon \cdot \Delta V$$



# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



portanto, a energia interna será

$$\Delta U = - \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon \cdot \Delta V$$

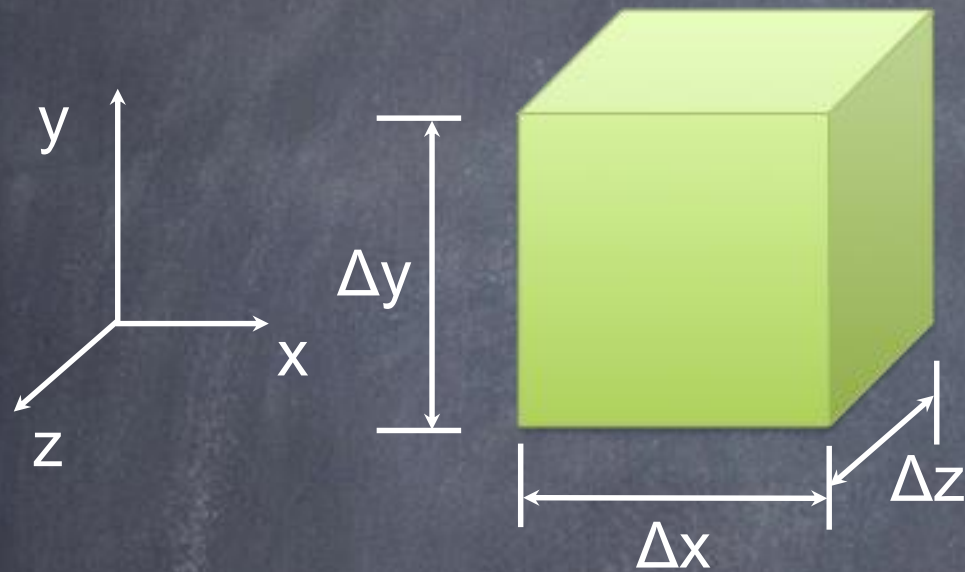
Densidade de energia interna de deformação





# Energia de deformação

Trabalho realizado por uma força externa aplicada sobre uma barra = energia interna resultante da deformação da barra



portanto, a energia interna será

$$\Delta U = - \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon \cdot \Delta V$$

Densidade de energia interna de deformação

$$u = (\Delta U / \Delta V) = \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon$$



# Energia de deformação

Quando  $\sigma = S_y$ , a deformação é dada por  $\varepsilon = S_y/E$ . Assim,



## Energia de deformação

Quando  $\sigma = S_y$ , a deformação é dada por  $\varepsilon = S_y/E$ . Assim,

$$U_R = \frac{1}{2} S_y \cdot (S_y/E) = \frac{1}{2} (S_y^2/E),$$

## Energia de deformação

Quando  $\sigma = S_y$ , a deformação é dada por  $\varepsilon = S_y/E$ . Assim,

$$u_R = \frac{1}{2} S_y \cdot (S_y/E) = \frac{1}{2} (S_y^2/E),$$

na qual  $u_R$  é denominado Módulo de resiliência. Ele é representado pela área sombreada do diagrama tensão-deformação.

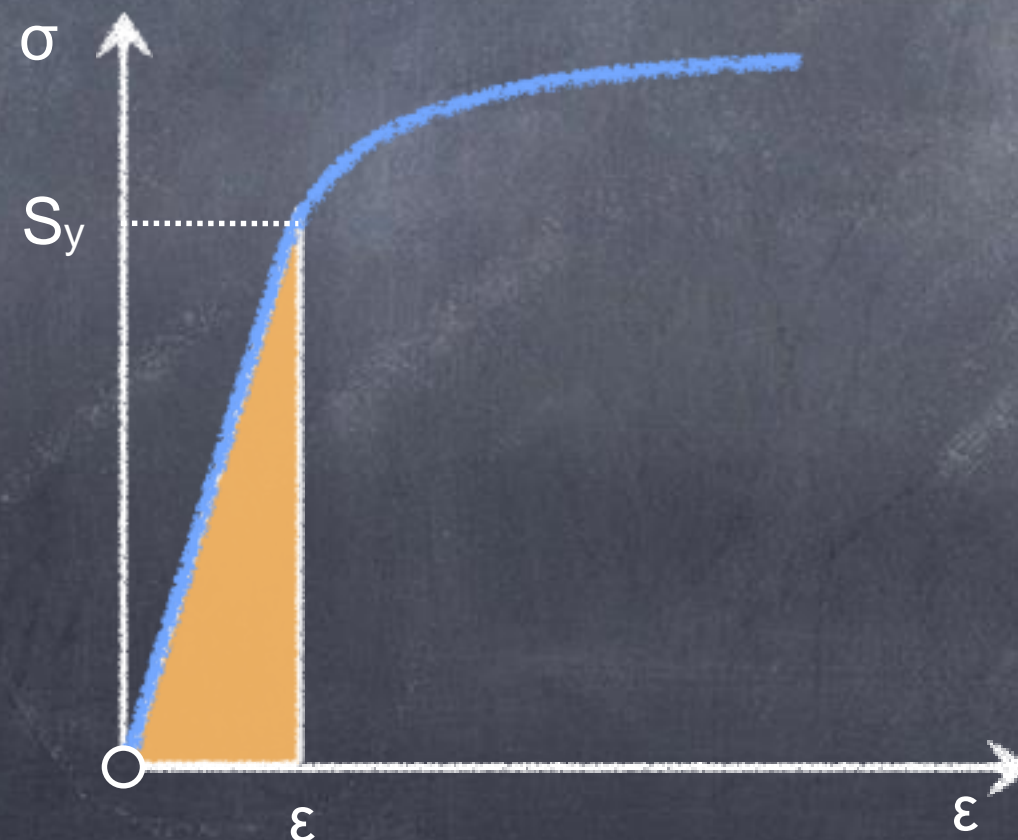


## Energia de deformação

Quando  $\sigma = S_y$ , a deformação é dada por  $\epsilon = S_y/E$ . Assim,

$$u_R = \frac{1}{2} S_y \cdot (S_y/E) = \frac{1}{2} (S_y^2/E),$$

na qual  $u_R$  é denominado Módulo de resiliência. Ele é representado pela área sombreada do diagrama tensão-deformação.



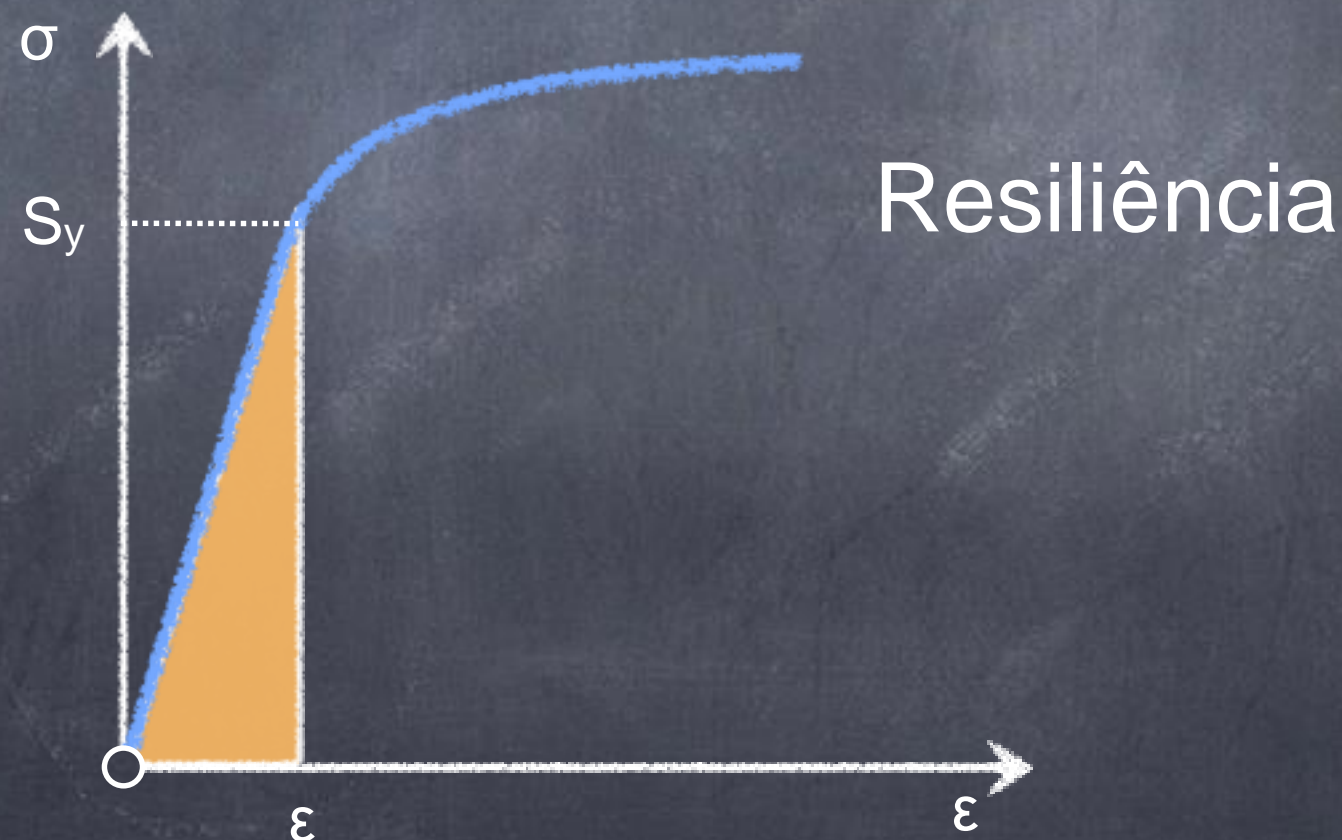


## Energia de deformação

Quando  $\sigma = S_y$ , a deformação é dada por  $\epsilon = S_y/E$ . Assim,

$$u_R = \frac{1}{2} S_y \cdot (S_y/E) = \frac{1}{2} (S_y^2/E),$$

na qual  $u_R$  é denominado Módulo de resiliência. Ele é representado pela área sombreada do diagrama tensão-deformação.



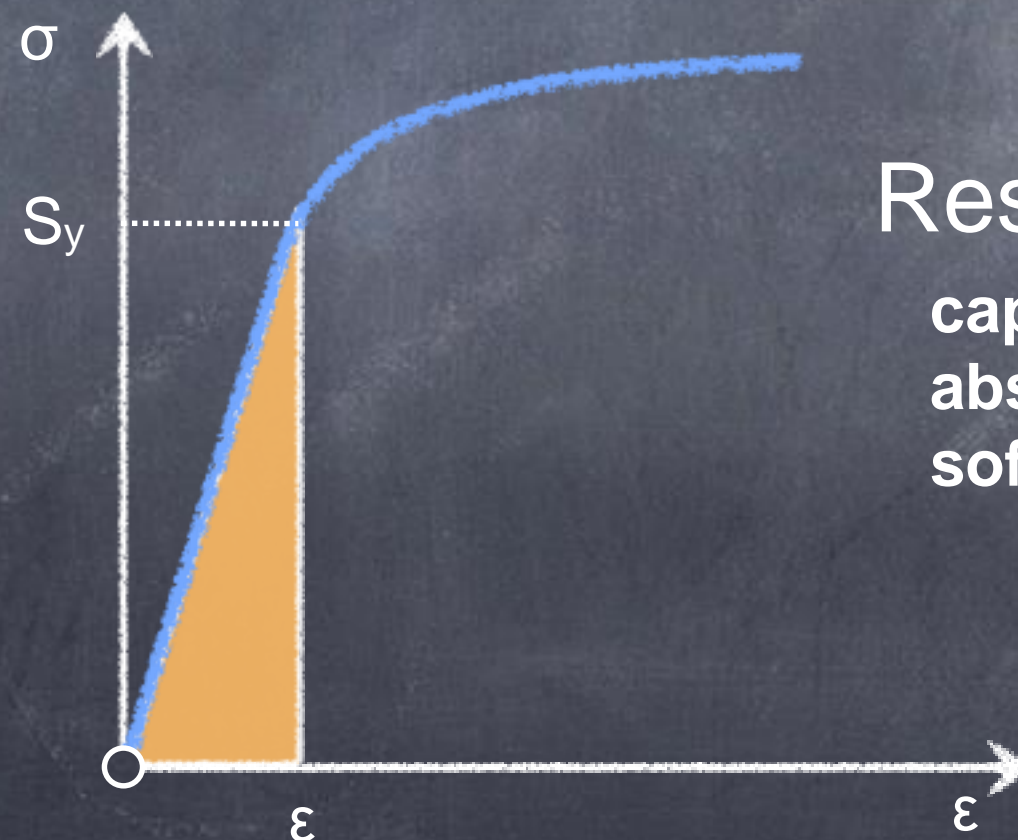


## Energia de deformação

Quando  $\sigma = S_y$ , a deformação é dada por  $\epsilon = S_y/E$ . Assim,

$$u_R = \frac{1}{2} S_y \cdot (S_y/E) = \frac{1}{2} (S_y^2/E),$$

na qual  $u_R$  é denominado Módulo de resiliência. Ele é representado pela área sombreada do diagrama tensão-deformação.



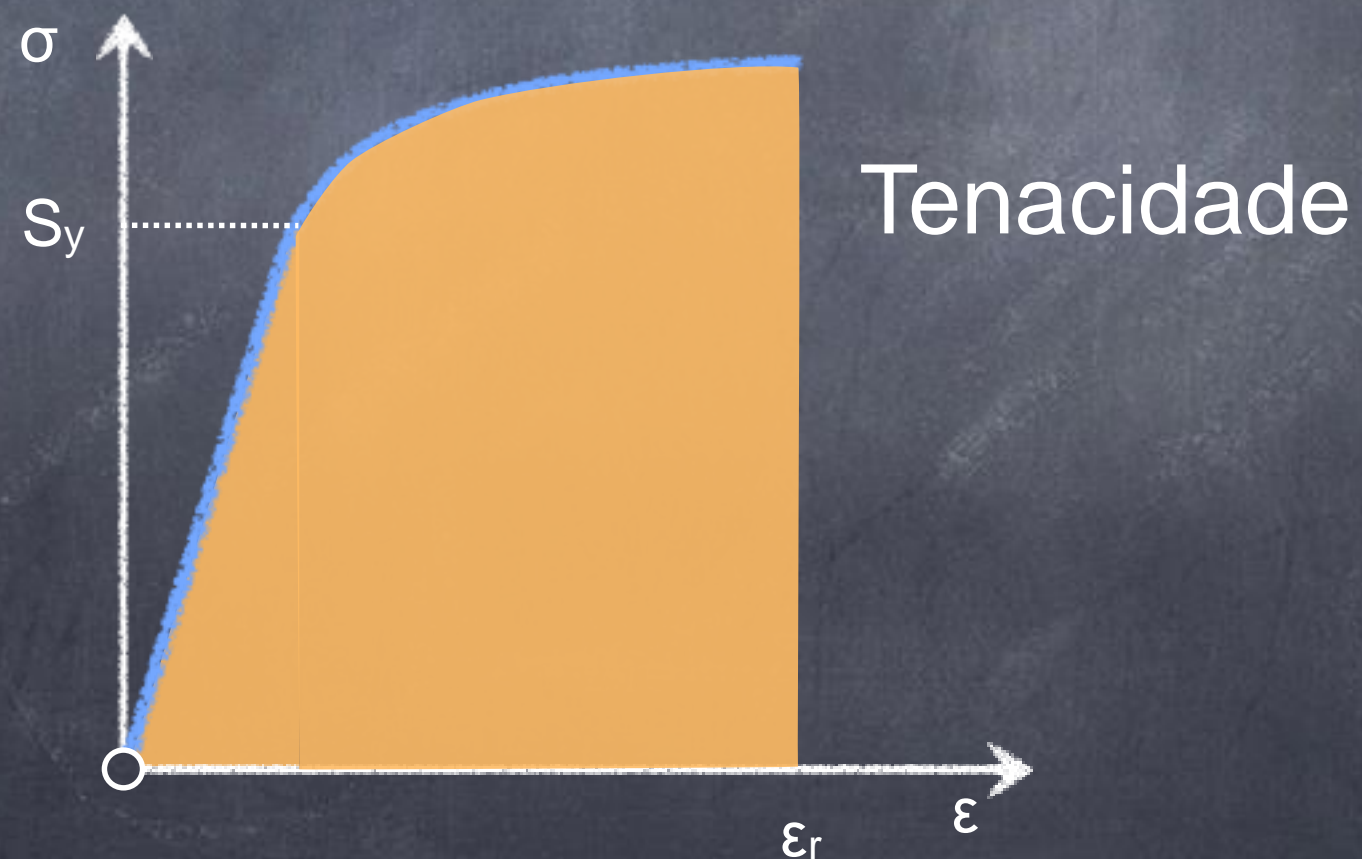
### Resiliência

capacidade de um material  
absorver deformação sem  
sofrer dano permanente.



# Energia de deformação

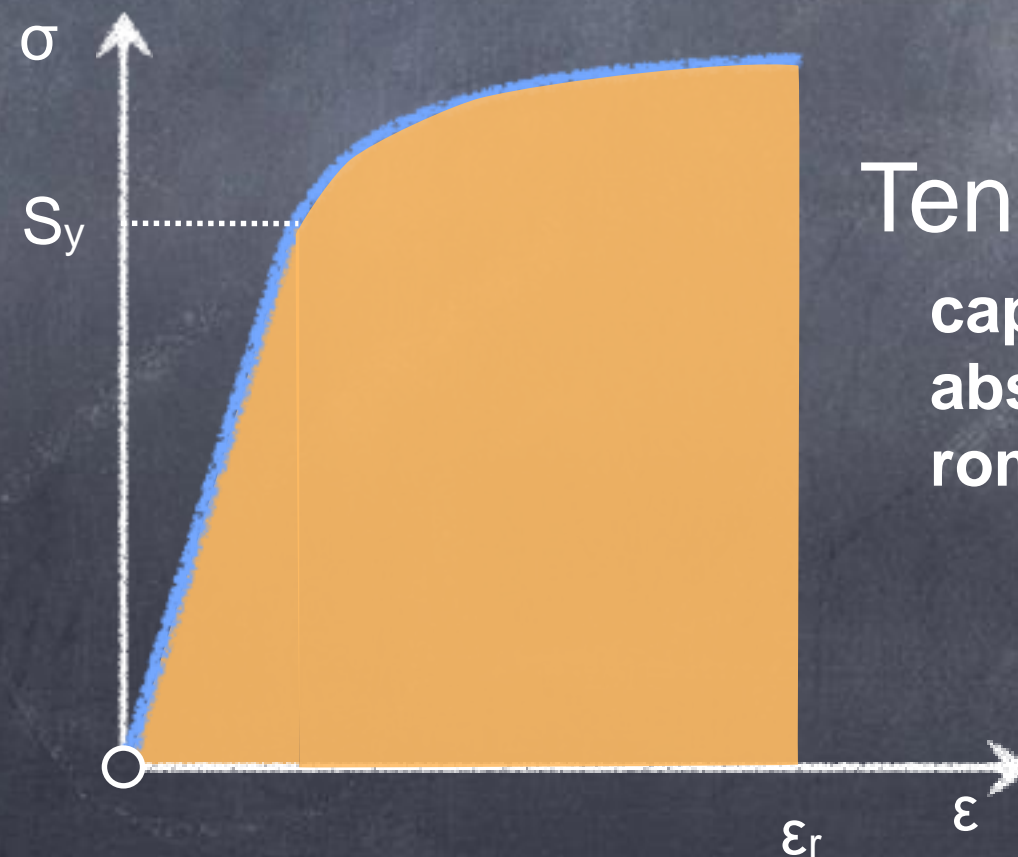
A área sombreada do diagrama mostra a tenacidade do material





# Energia de deformação

A área sombreada do diagrama mostra a tenacidade do material



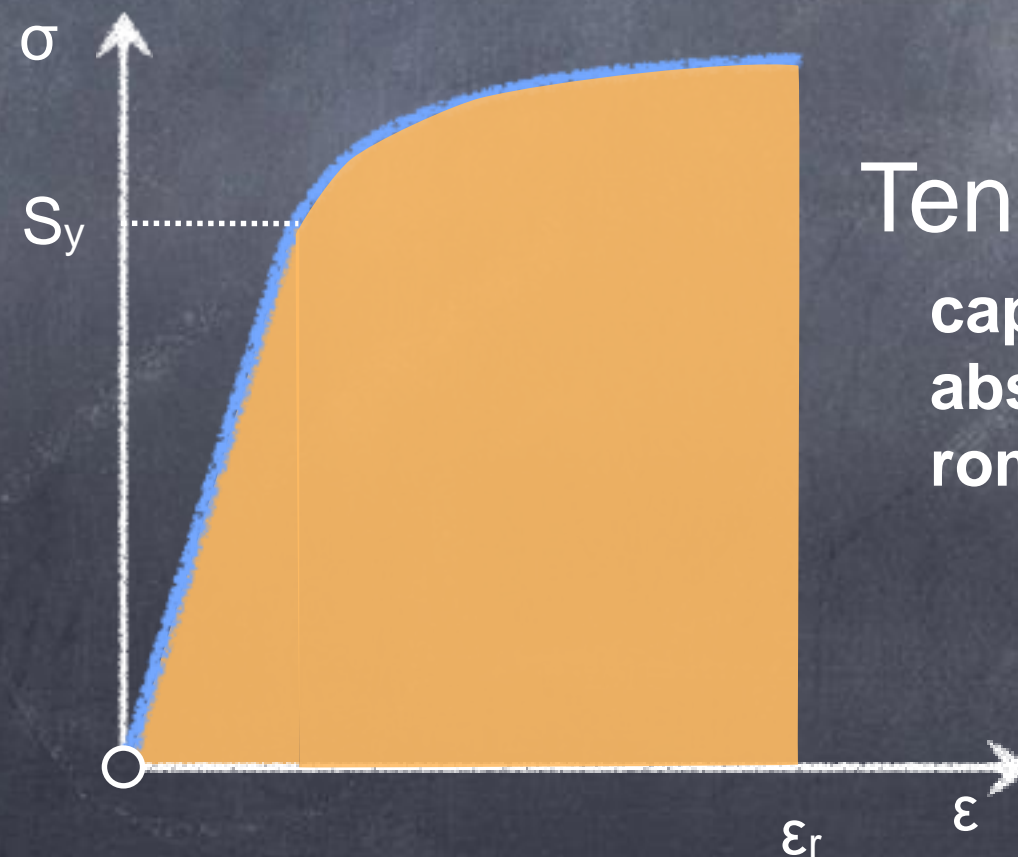
**Tenacidade**

capacidade de um material  
absorver deformação sem  
romper.

# Energia de deformação

A área sombreada do diagrama mostra a tenacidade do material

$$u_T = \int_0^{\epsilon_r} \sigma \, d\epsilon$$



**Tenacidade**

capacidade de um material  
absorver deformação sem  
romper.

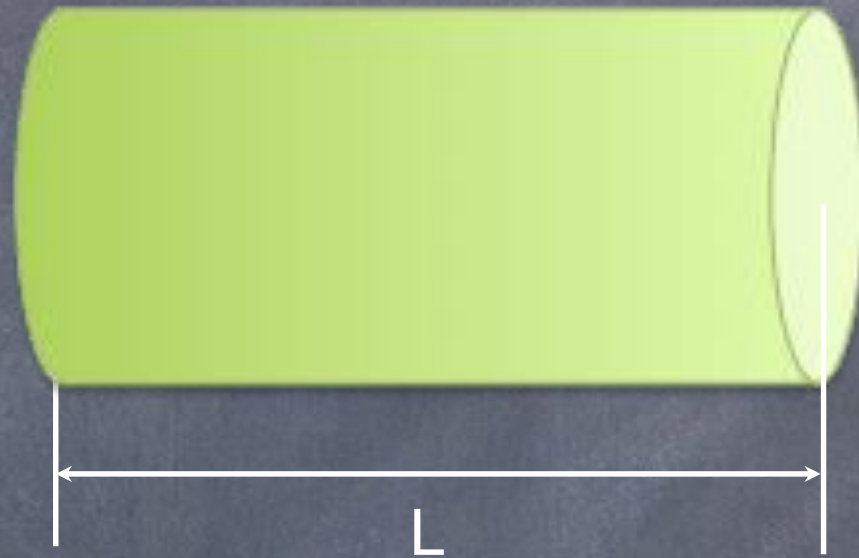


# Coeficiente de Poisson





# Coeficiente de Poisson

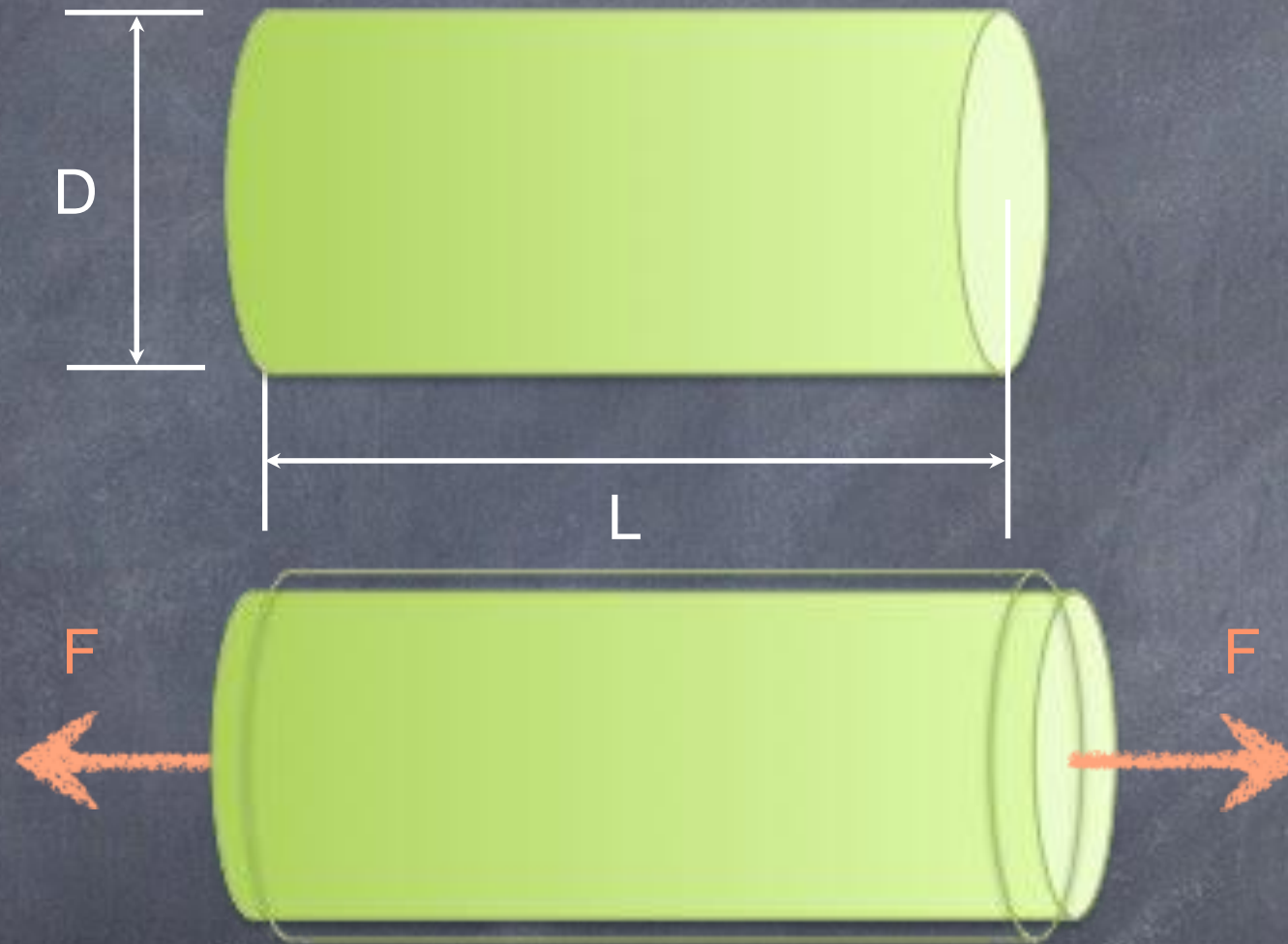


# Coeficiente de Poisson

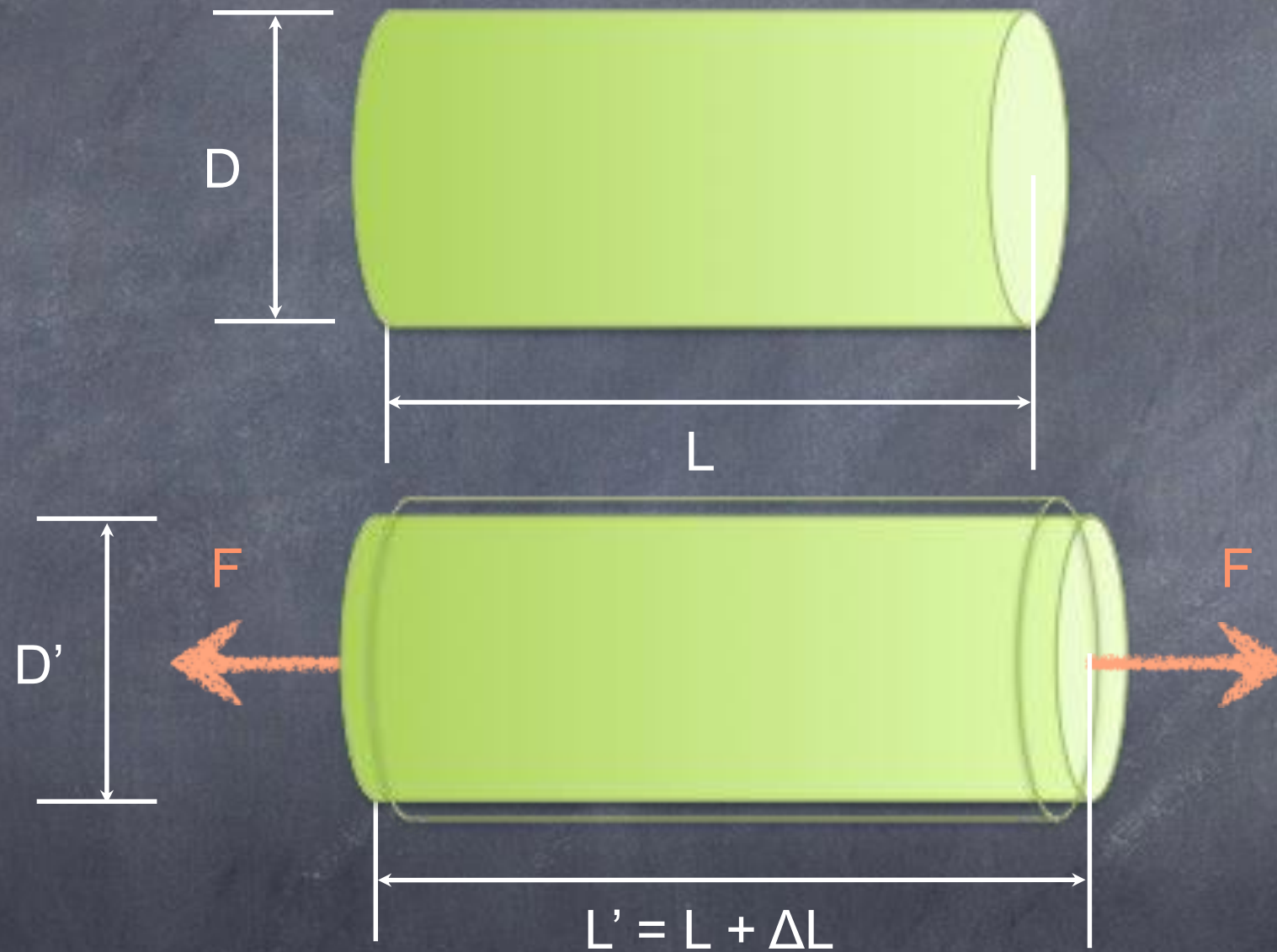




# Coeficiente de Poisson

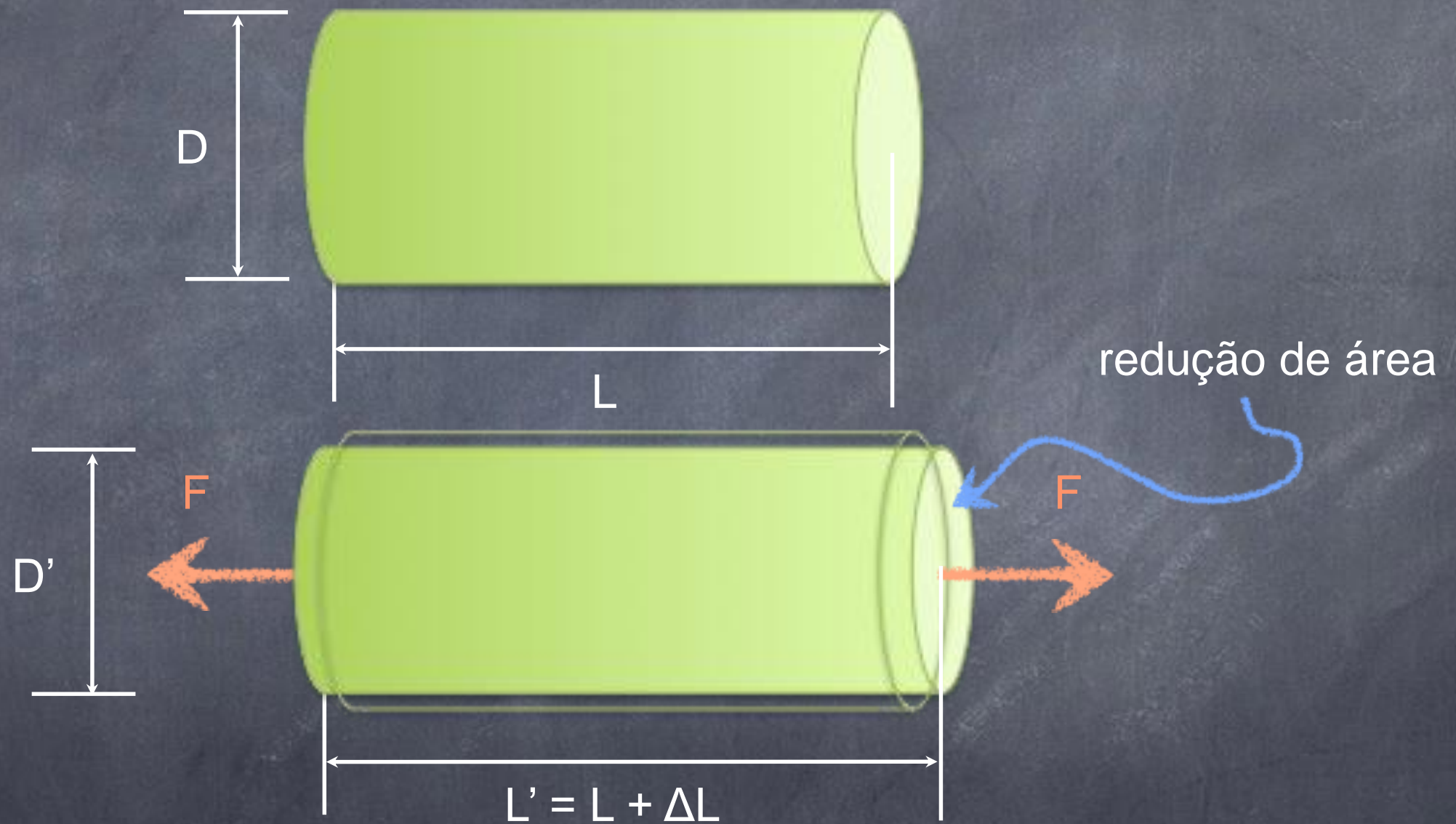


# Coeficiente de Poisson





# Coeficiente de Poisson



# Coeficiente de Poisson

Deformação longitudinal

$$\varepsilon_L = \Delta L / L$$



# Coeficiente de Poisson

Deformação longitudinal

$$\varepsilon_L = \Delta L / L$$

Deformação transversal

$$\varepsilon_t = \Delta D / D$$

# Coeficiente de Poisson

Deformação longitudinal

$$\varepsilon_L = \Delta L / L$$

Deformação transversal

$$\varepsilon_t = \Delta D / D \quad ( < 0 ! )$$



# Coeficiente de Poisson

Deformação longitudinal

$$\varepsilon_L = \Delta L / L$$

Deformação transversal

$$\varepsilon_t = \Delta D / D \quad ( < 0 ! )$$

S.D.Poisson  $\Rightarrow$  deformações são proporcionais na região elástica.

$$\nu = - \varepsilon_t / \varepsilon_L$$

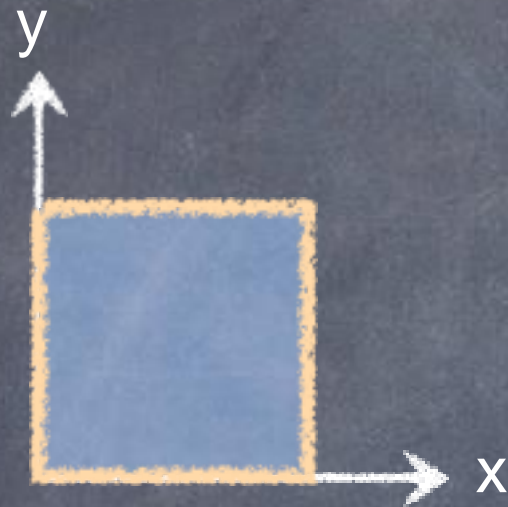
# Coeficiente de Poisson

Variação do Coeficiente de Poisson para materiais homogêneos isotrópicos

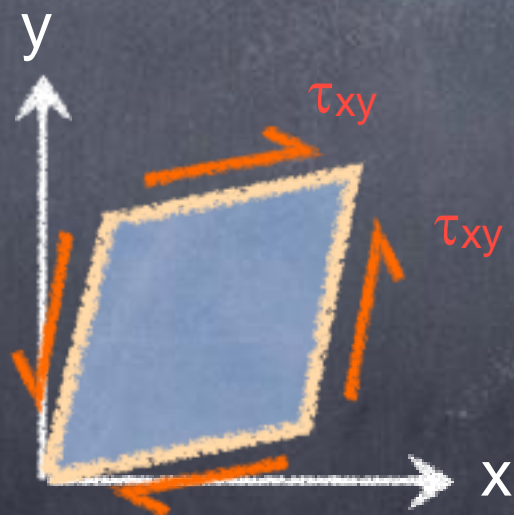
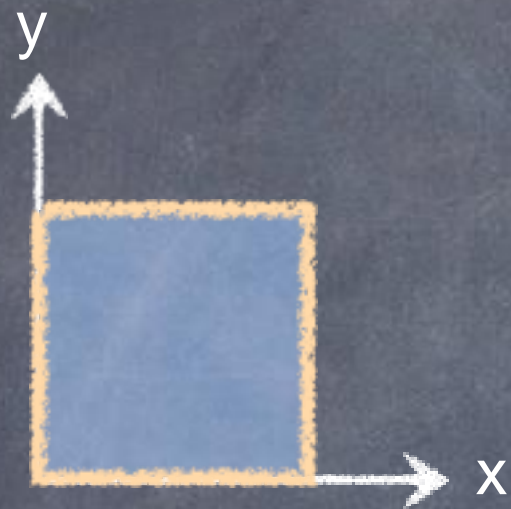
$$1/4 < \nu < 1/3$$



# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento

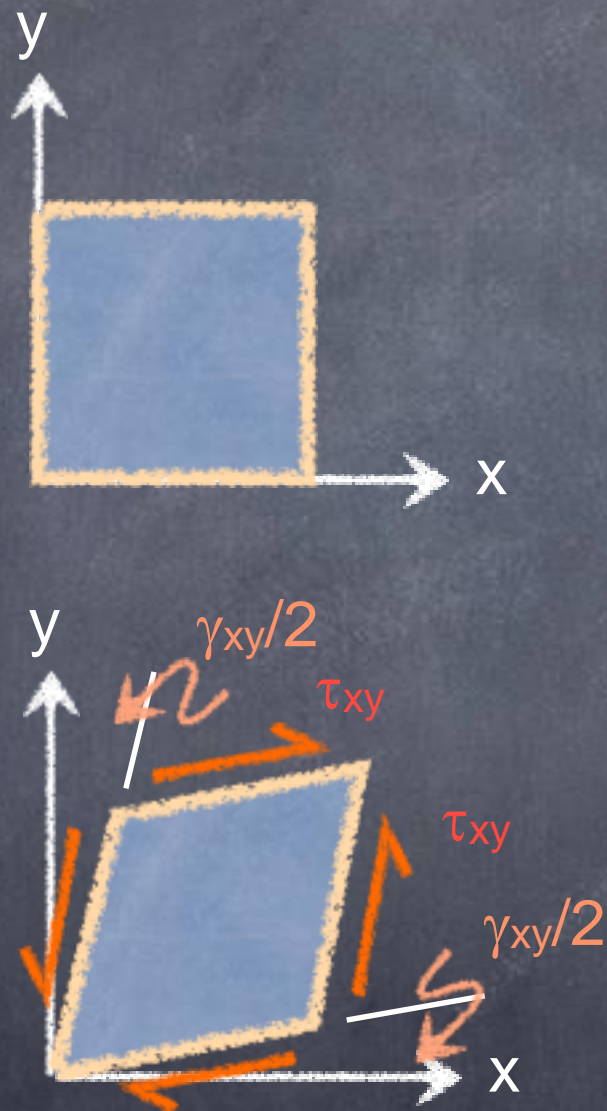


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento



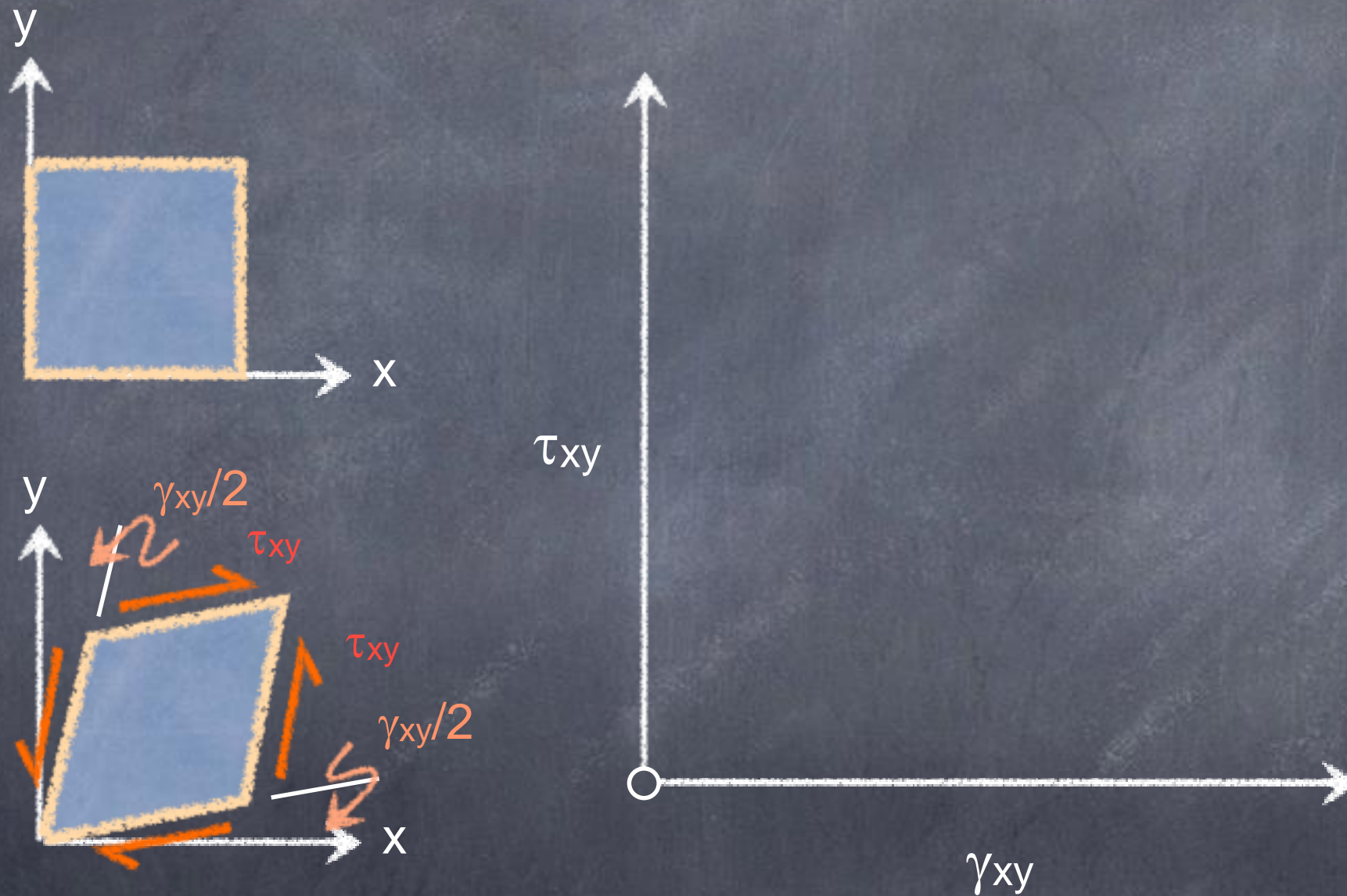


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento



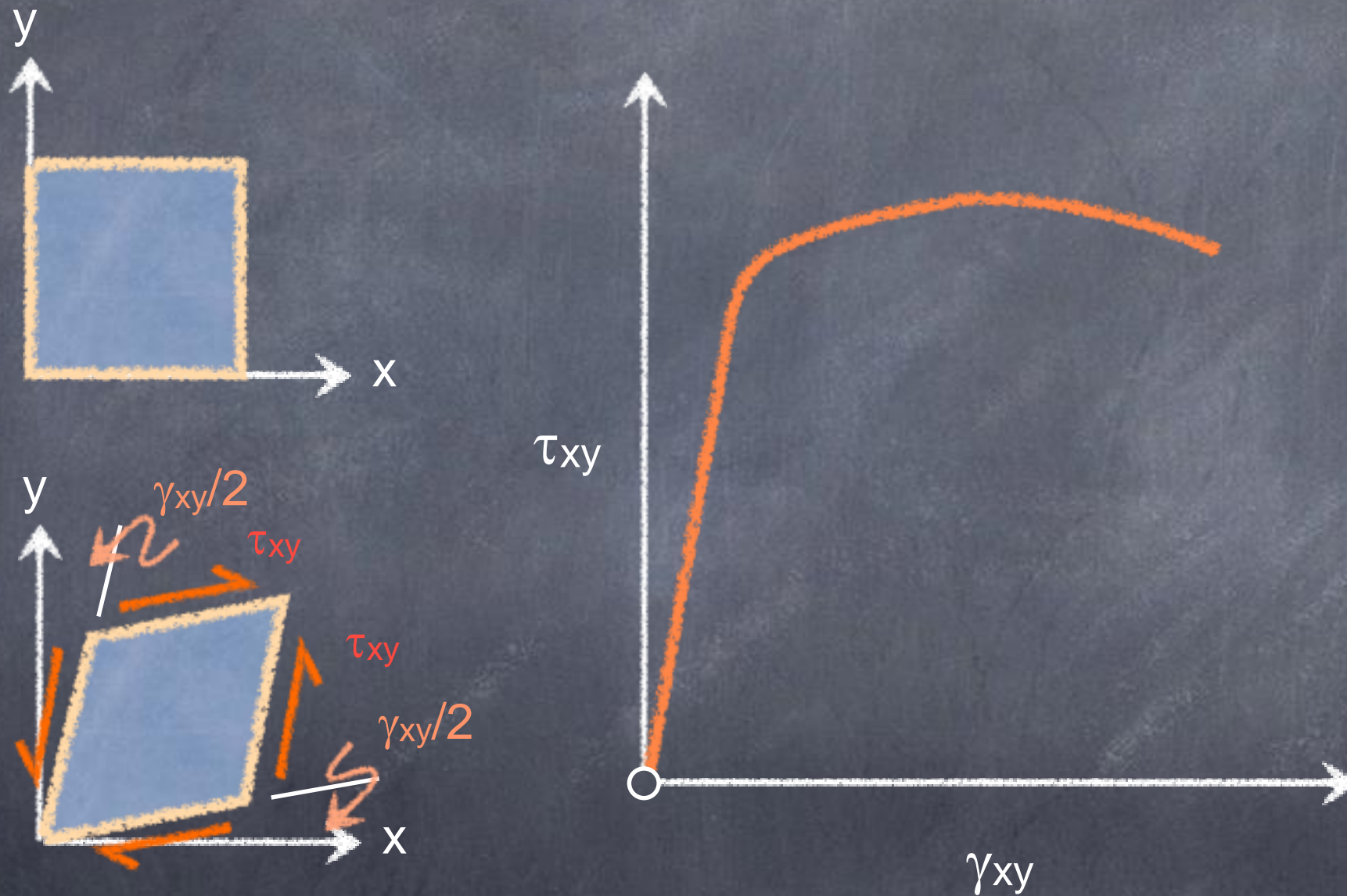


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento



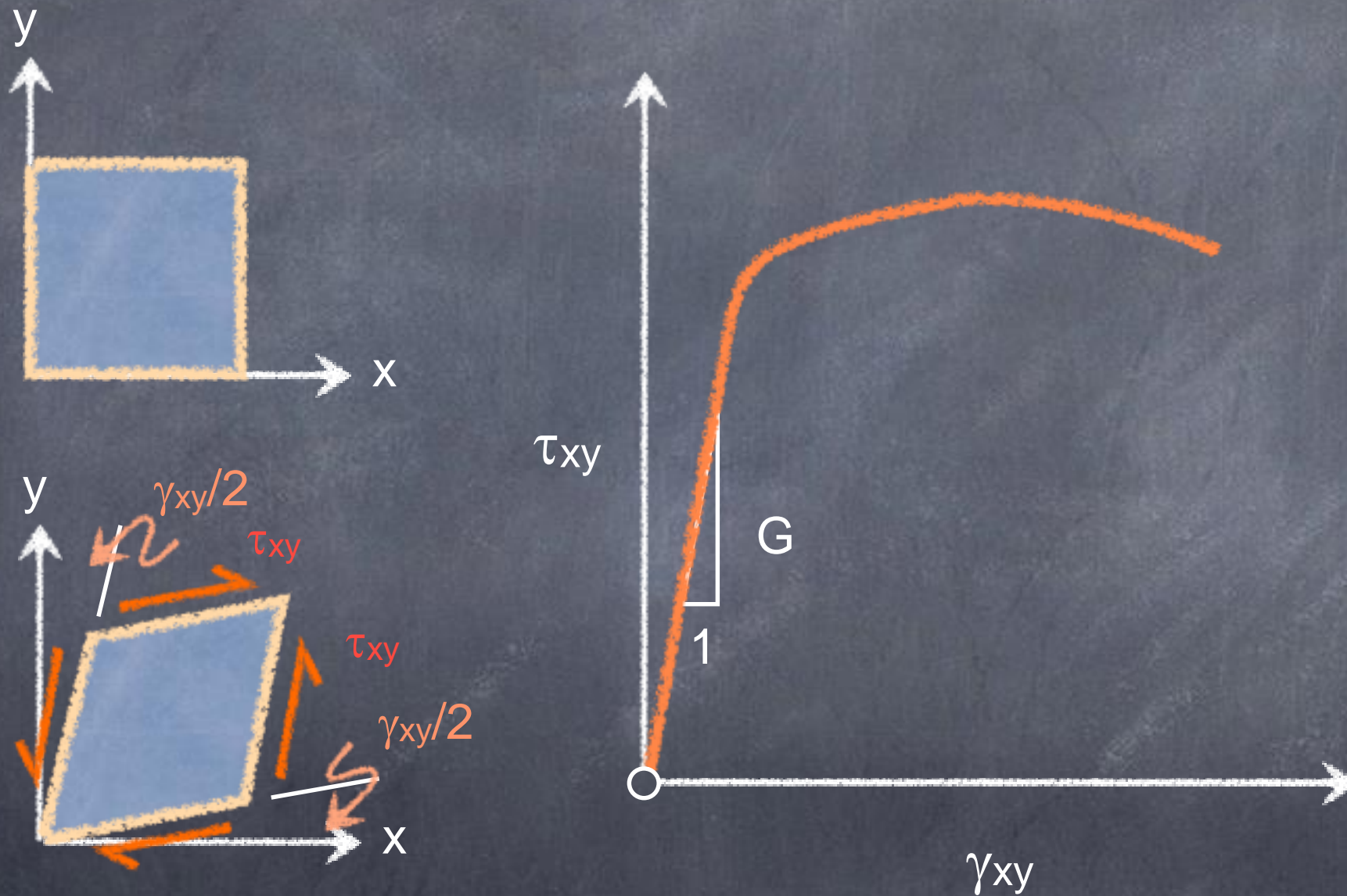


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento



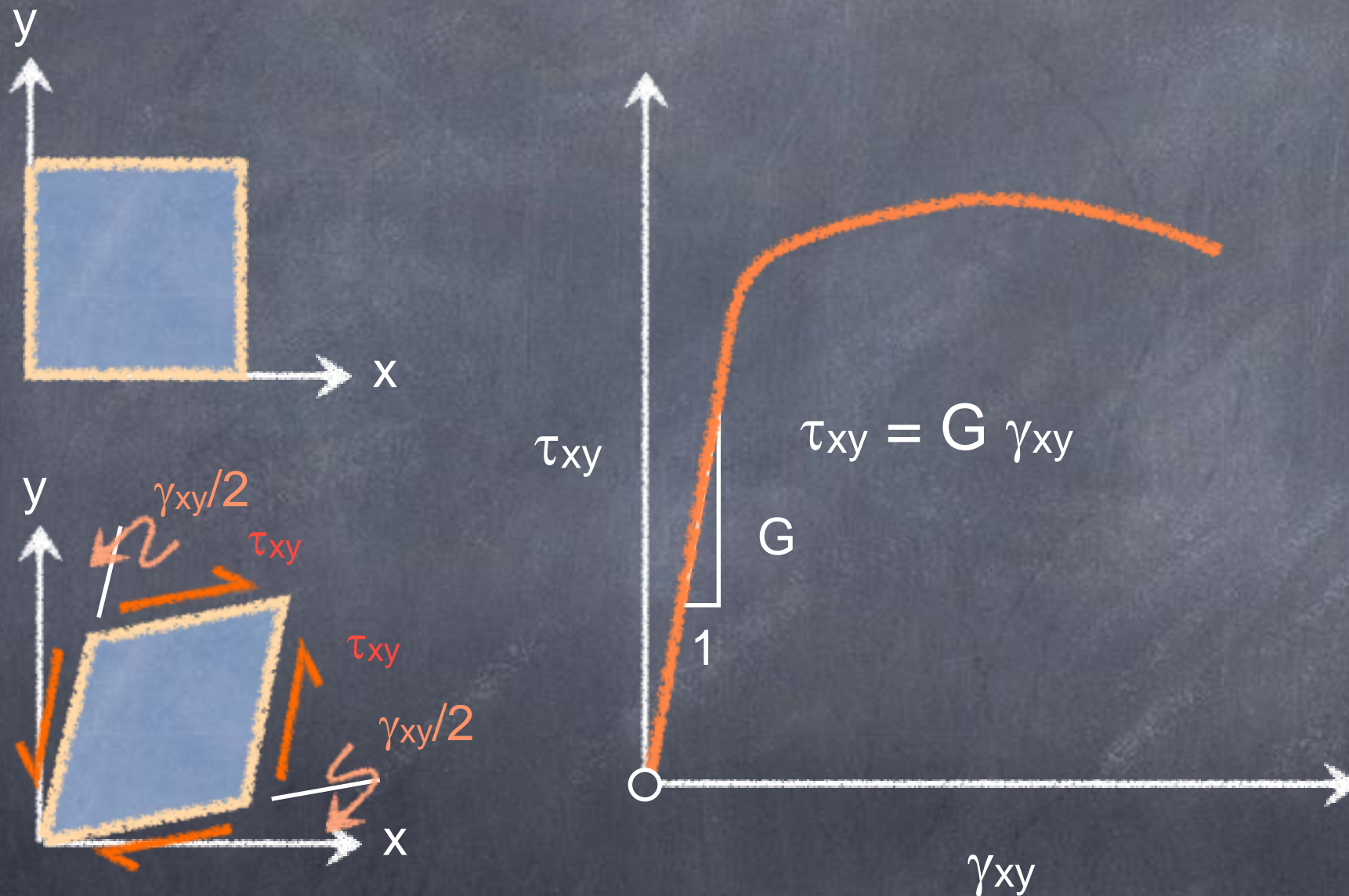


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento



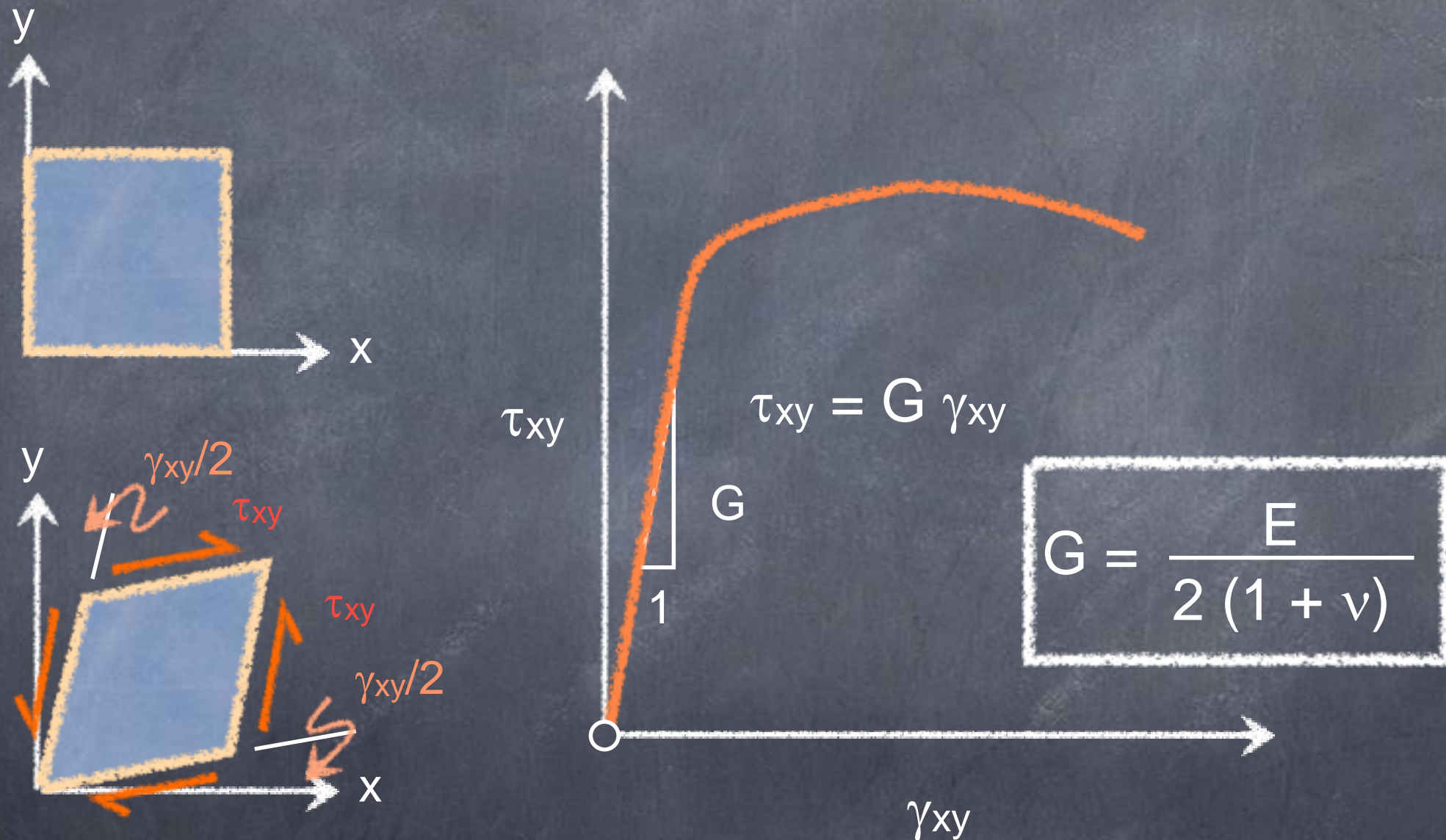


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento



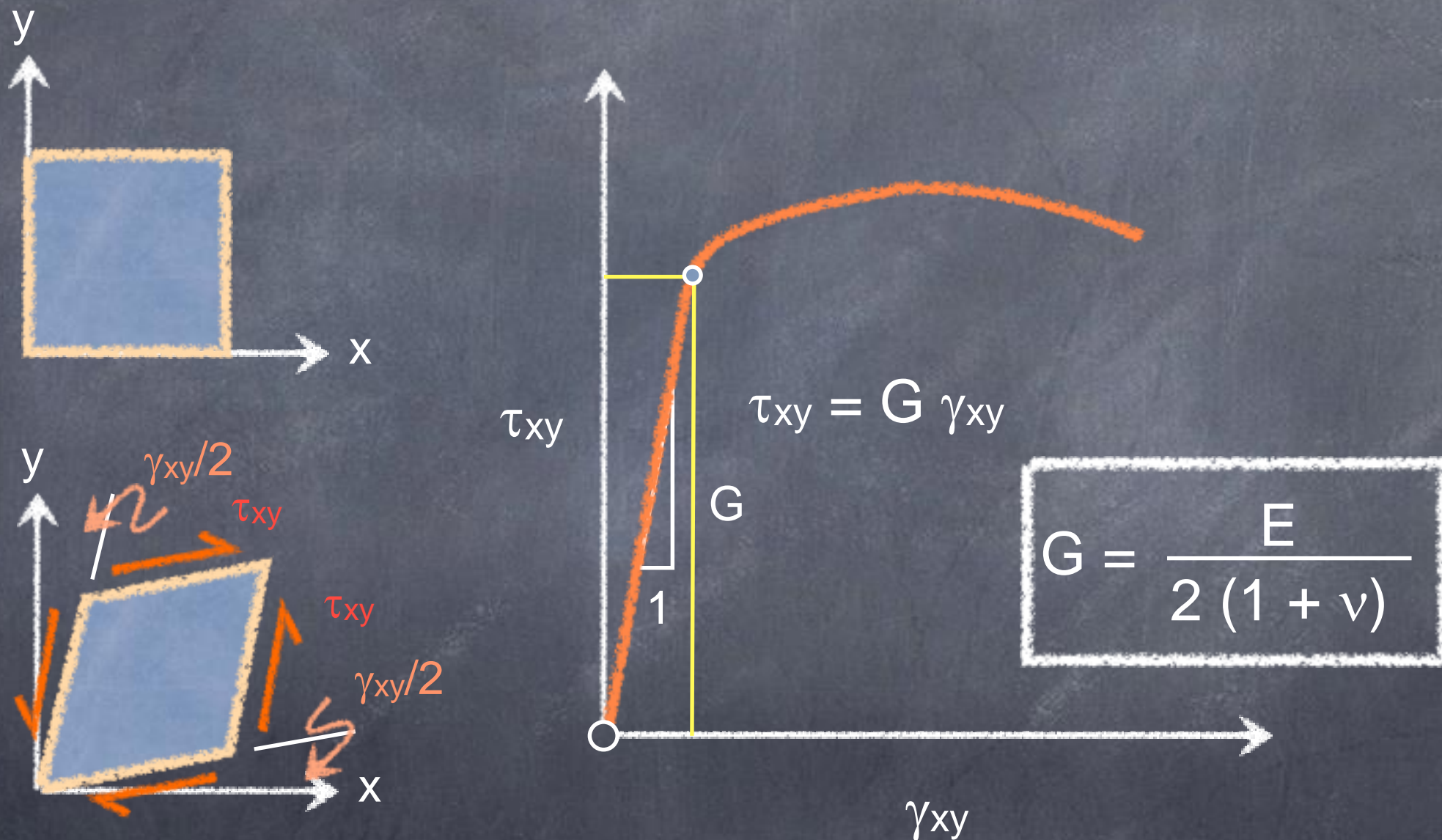


# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento





# Diagrama tensão-deformação em cisalhamento





**F I M**