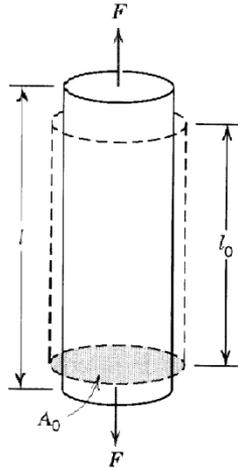
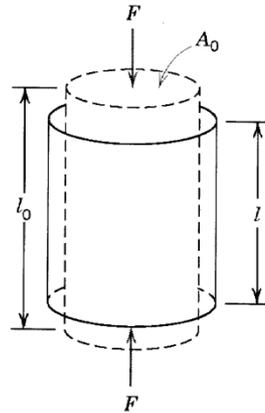


# **PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS METAIS**

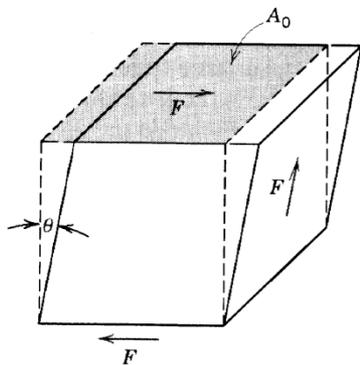
# TIPOS DE ESFORÇOS



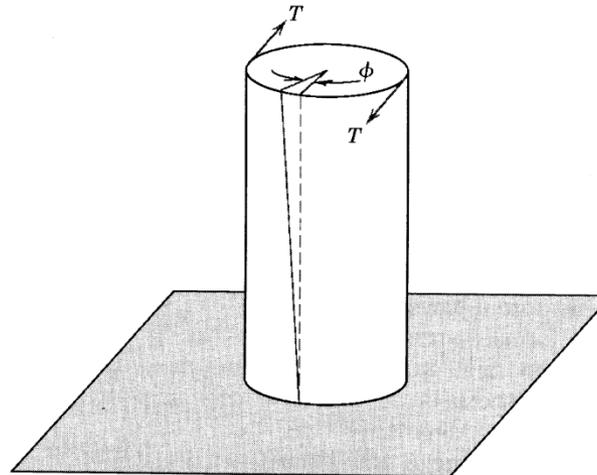
(a)



(b)



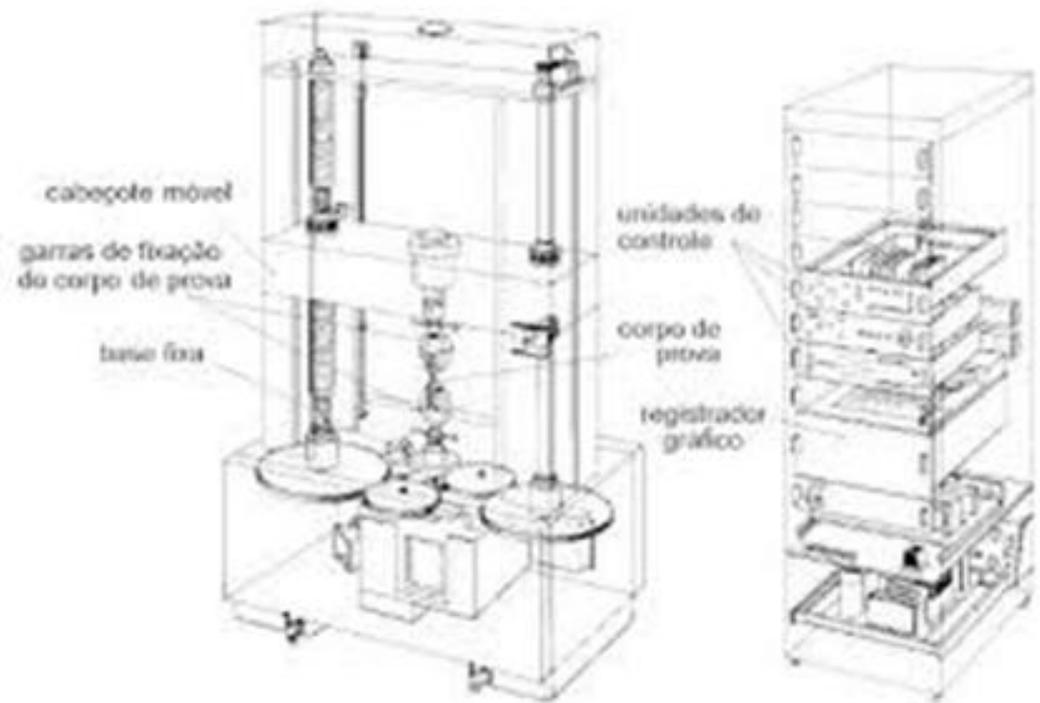
(c)



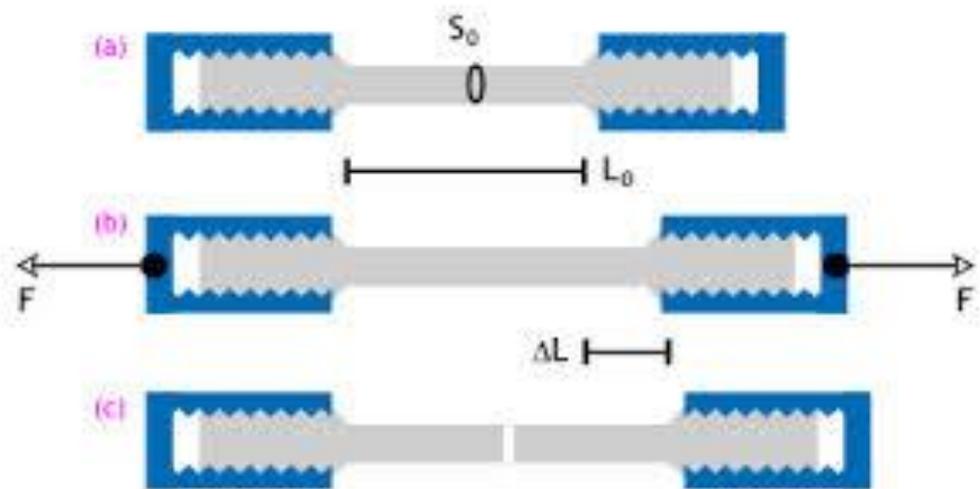
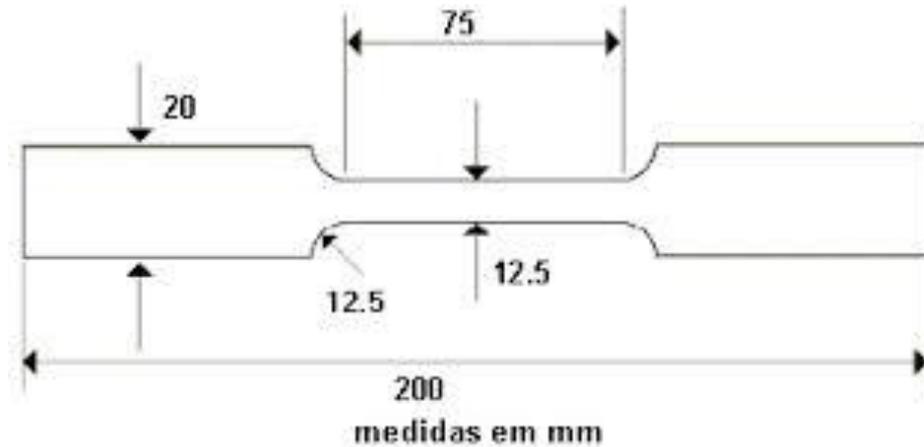
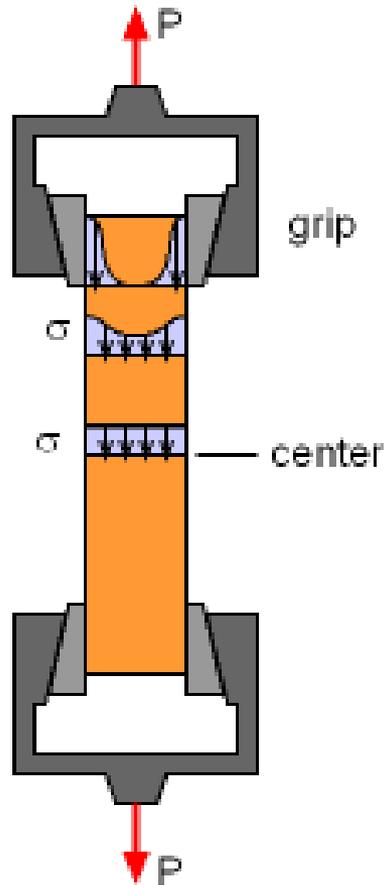
(d)

- a) Tração
- b) Compressão
- c) Cisalhamento
- d) Torção

# Ensaio Mecânicos

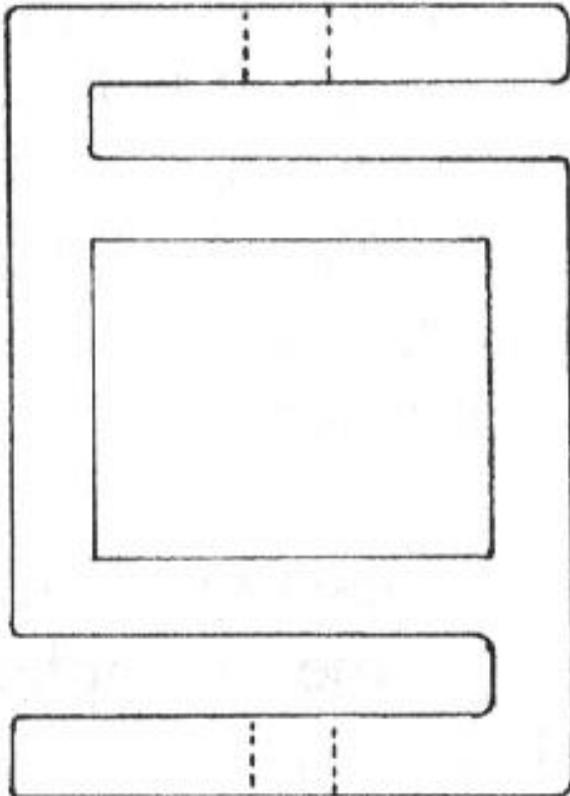


# Ensaio Mecânico



# Ensaio Mecânico

## Célula de Carga



ensaio de tração aço inox 304[2].wmv



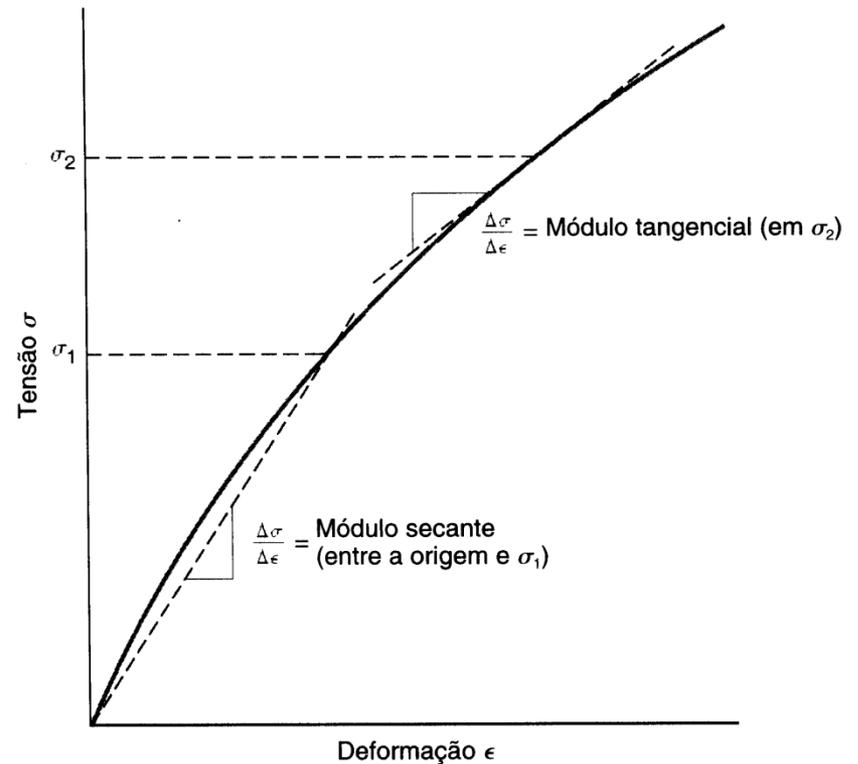
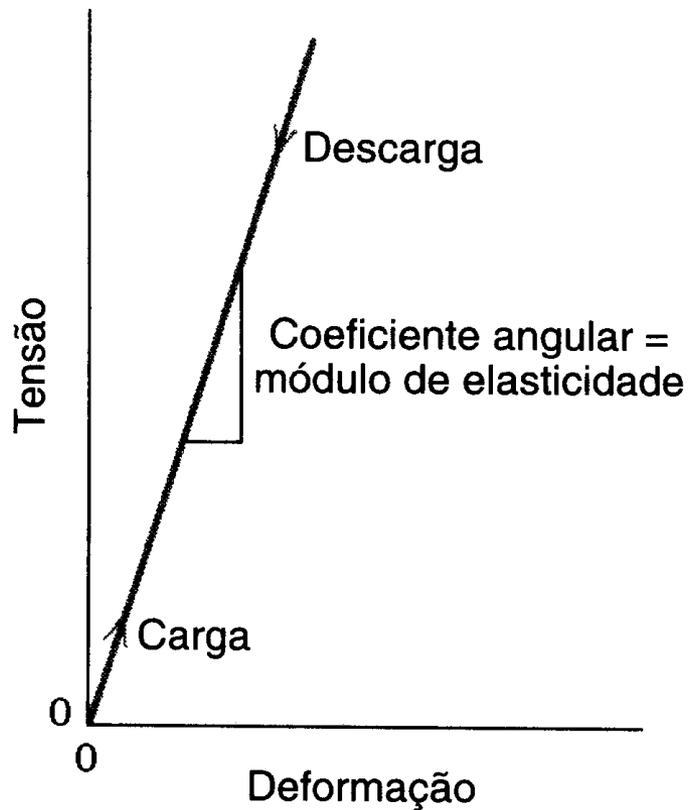
Tensile Test[3].wmv

<https://www.youtube.com/watch?v=4bokS5qZN1w>

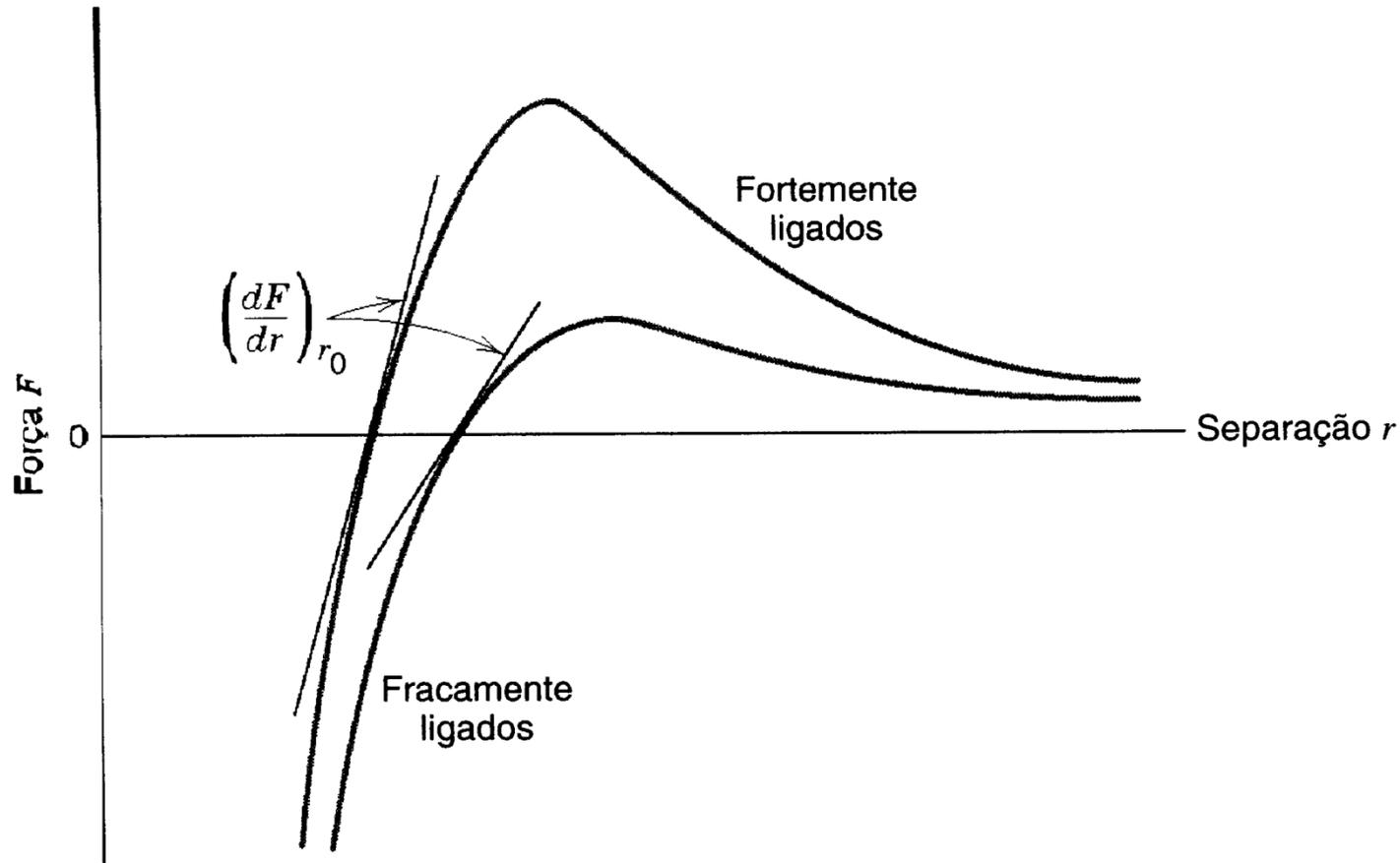
<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kcpcM>

# DEFORMAÇÃO ELÁSTICA

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



# MÓDULO DE ELASTICIDADE

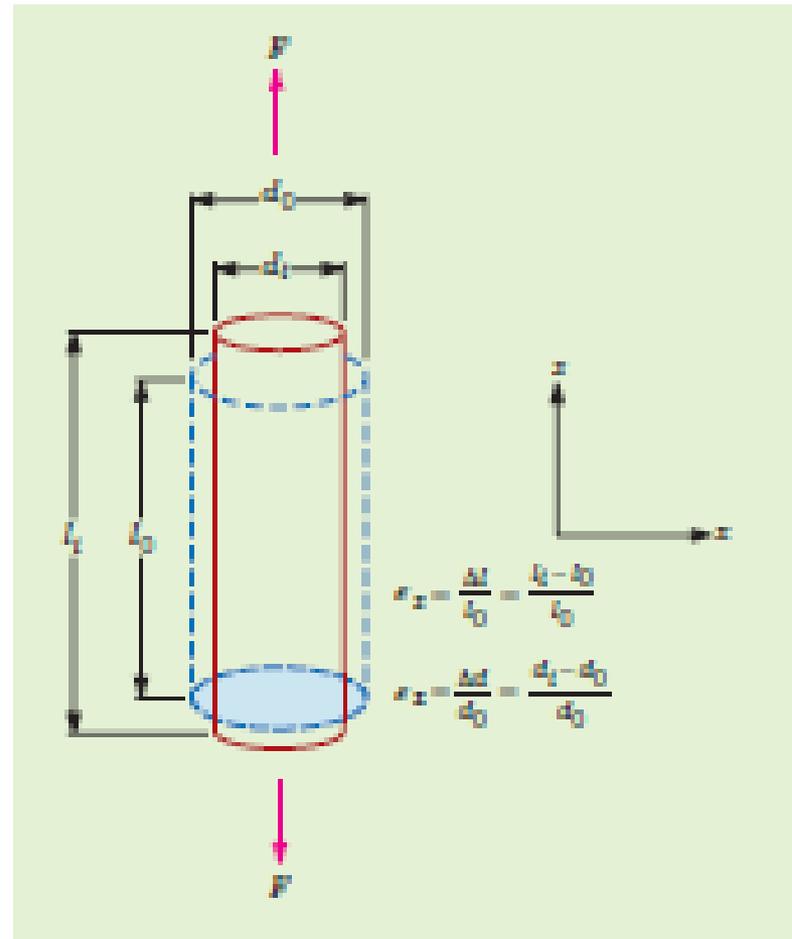


# PROPRIEDADES ELÁSTICAS DOS MATERIAIS

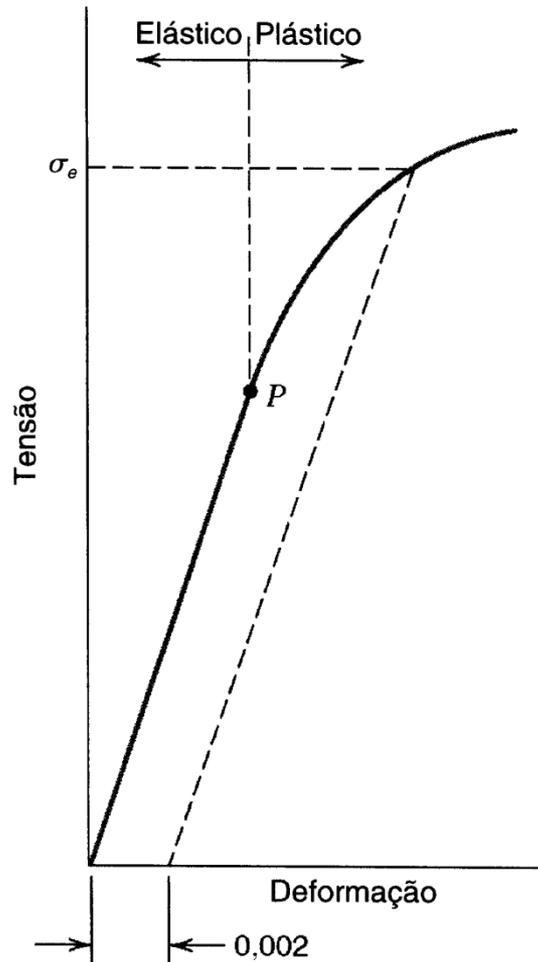
Coeficiente de Poisson

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

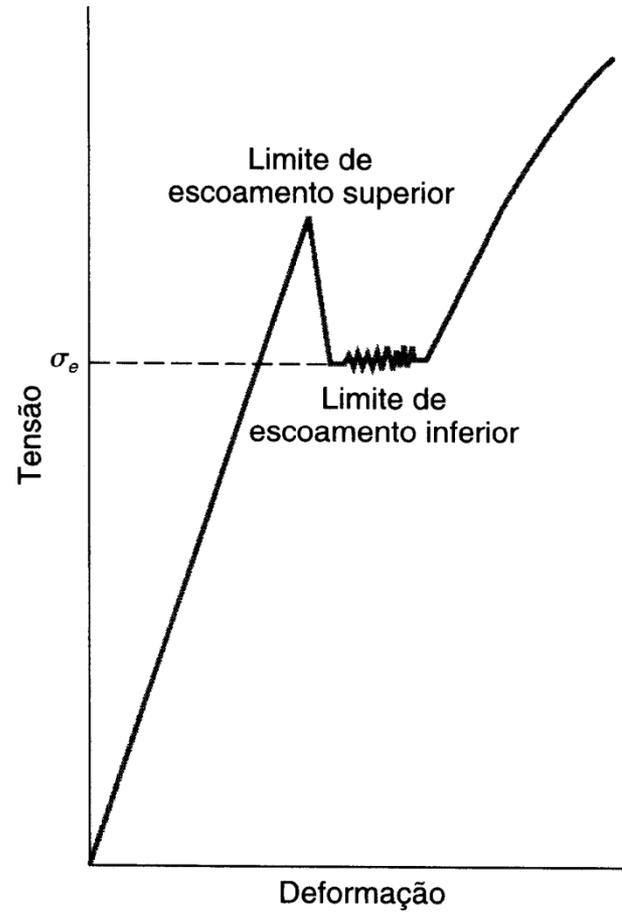
$$E = 2G(1 + \nu)$$



# DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

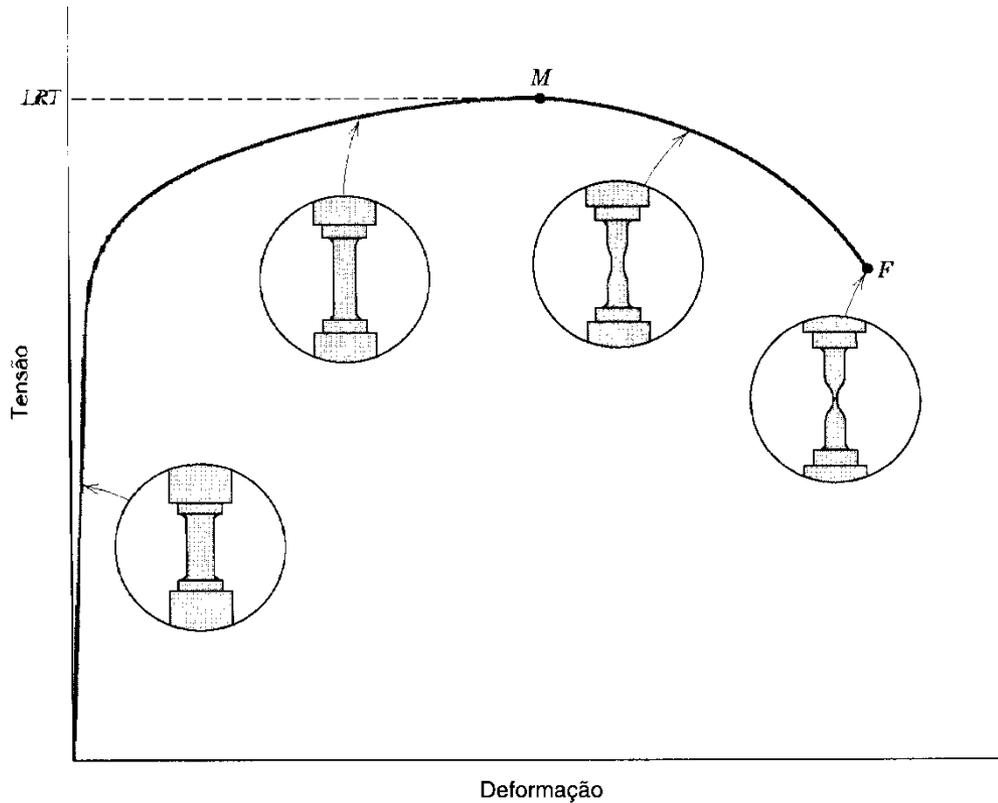


(a)



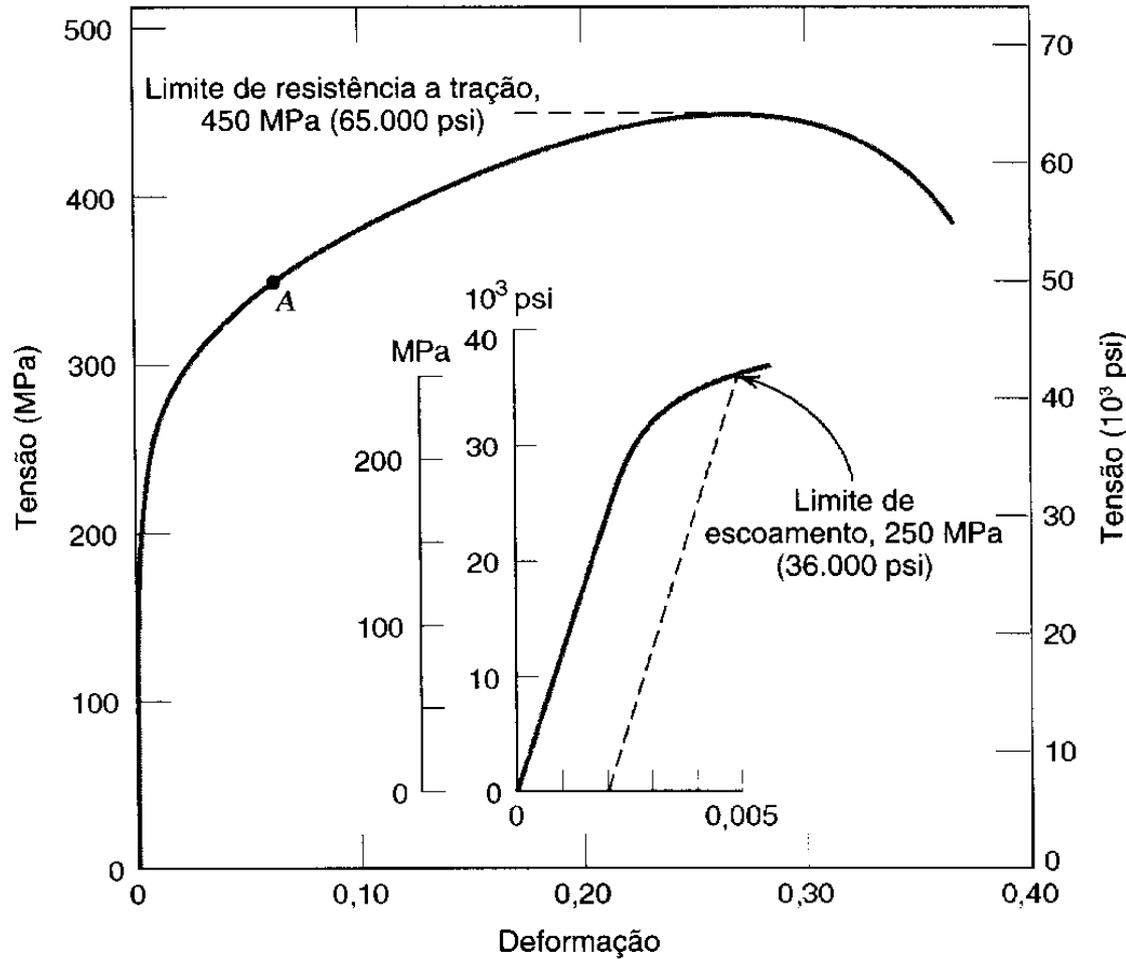
(b)

# LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO



M: Limite de Resistência à tração

# EXEMPLO 6.3



# Ductilidade

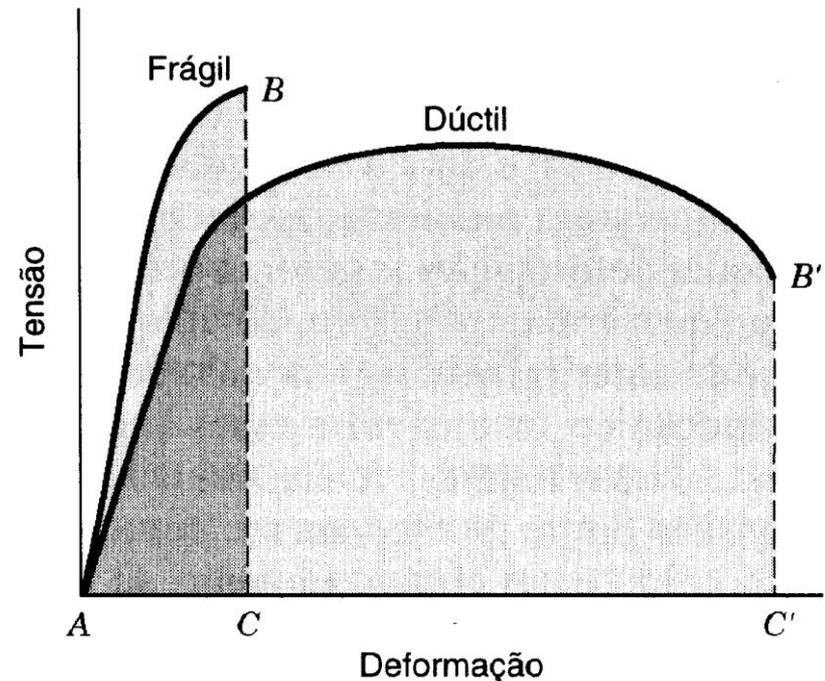
- Representa o grau de deformação plástica que foi suportado quando da fratura.

- $AL\% = \left( \frac{l_{frat} - l_0}{l_0} \right) \times 100$

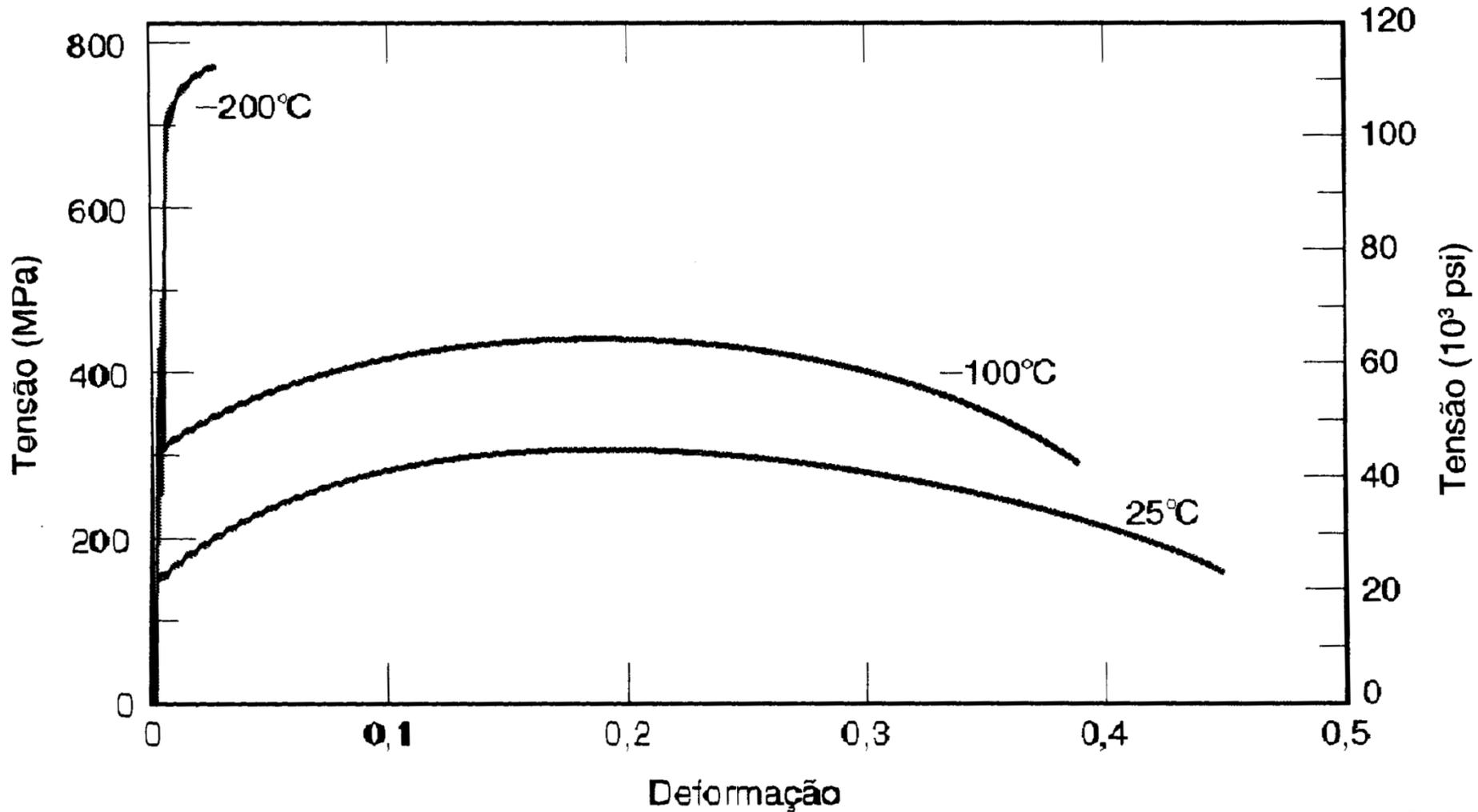
$AL\%$ : alongamento percentual

$l_{frat}$ : comprimento na fratura

$l_0$ : comprimento

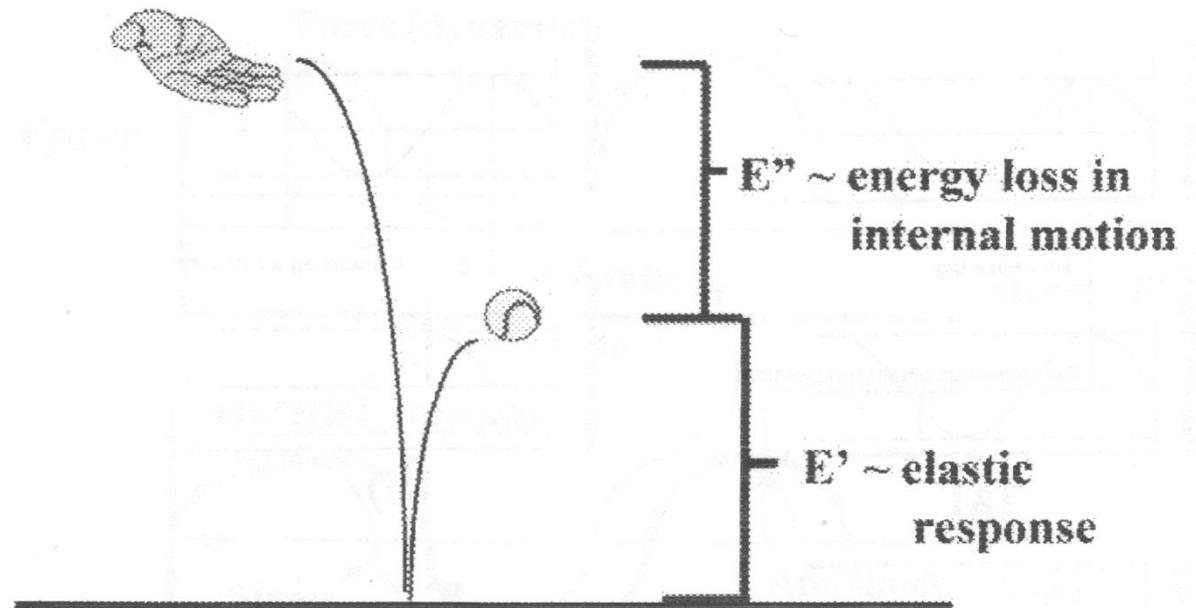


# Ductilidade

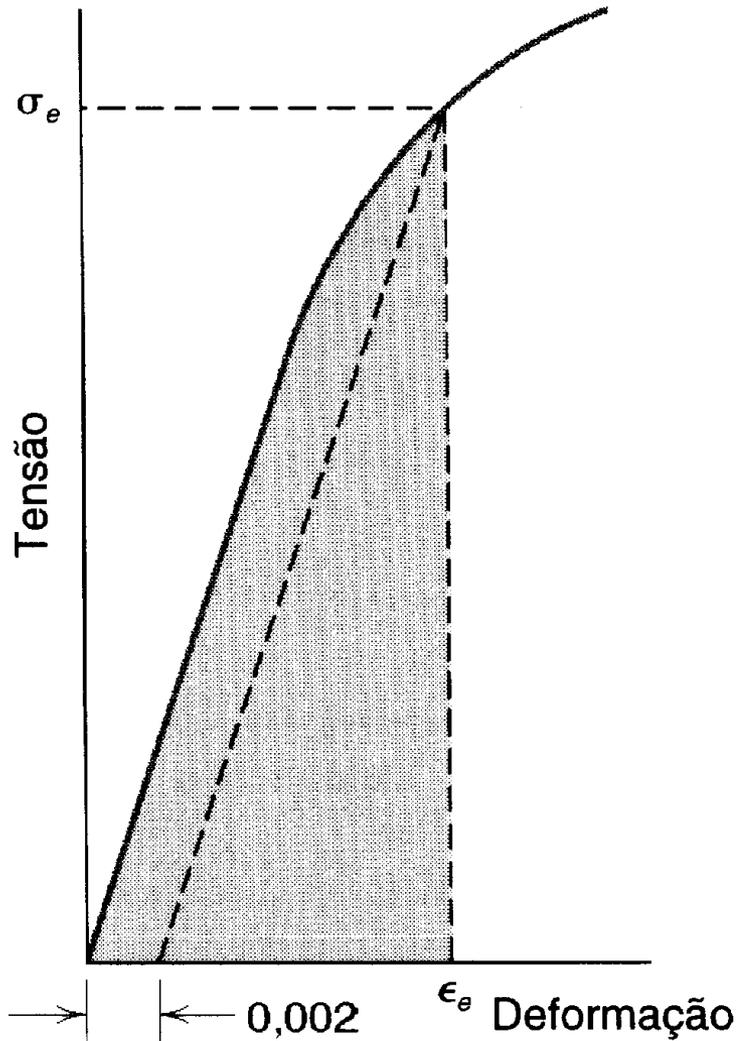


# Resiliência

- Capacidade de um material absorver energia quando ele é deformado elasticamente e depois, com o descarregamento, ter essa energia recuperada.



# Resiliência



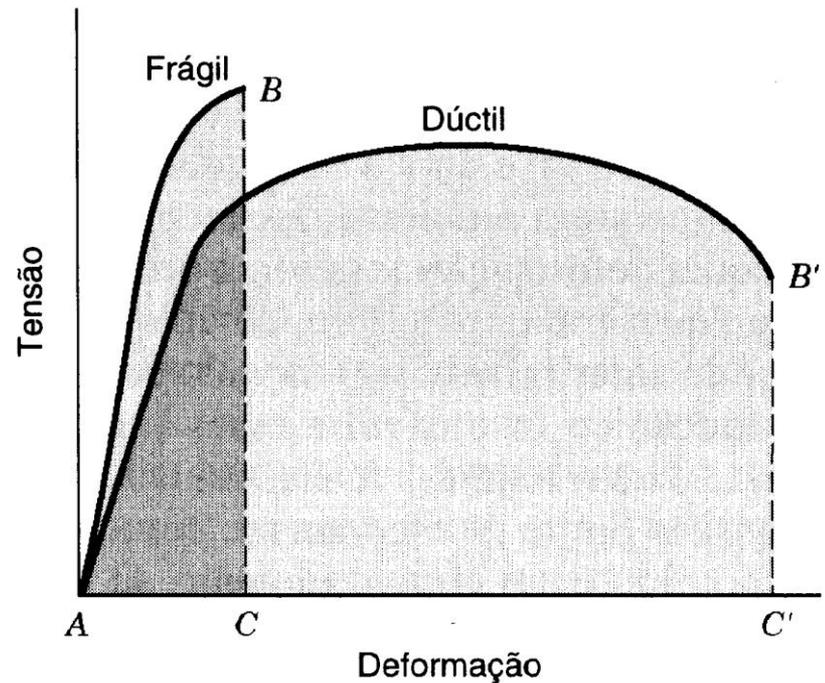
Módulo de Resiliência:  $U_r = \int_0^{\epsilon_{esc}} \sigma \cdot d\epsilon$

– Região Elástica Linear:  $U_r = \frac{1}{2} \cdot \sigma_e \cdot \epsilon_e$

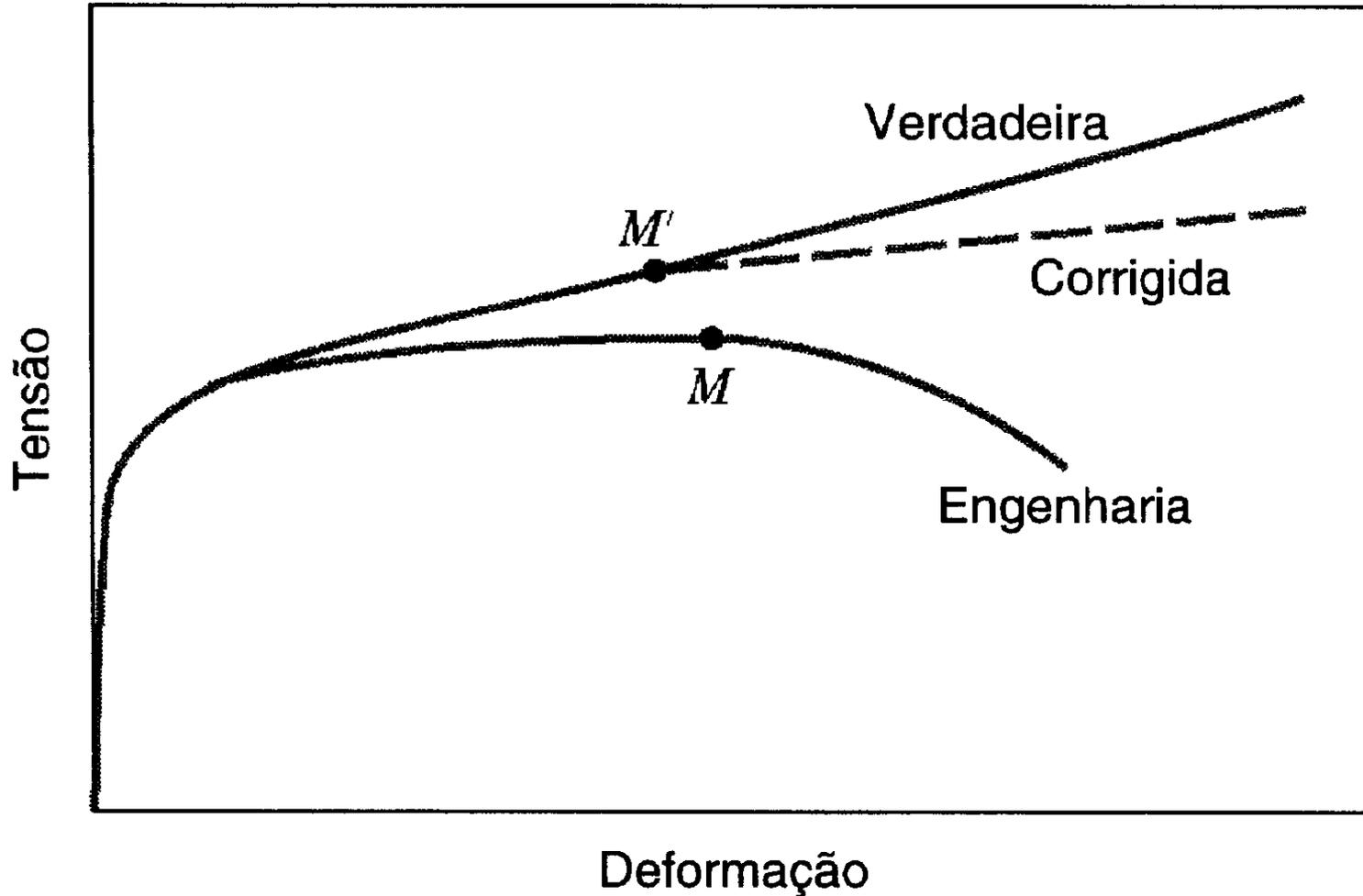
$$U_r = \frac{1}{2} \cdot \sigma_e \cdot \epsilon_e = \frac{1}{2} \cdot \sigma_e \left( \frac{\sigma_e}{E} \right) = \frac{\sigma_e^2}{2E}$$

# Tenacidade

- Habilidade de um material absorver energia até a fratura.
- Equivale a área sob a curva tensão-deformação.



# Tensão Verdadeira e Deformação Verdadeira



# Tensão Verdadeira e Deformação Verdadeira

$$\sigma_V = \frac{F}{A_i}$$

$$\epsilon_V = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

Se não ocorrer alteração do volume durante a deformação

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_V = \sigma(1 + \epsilon) \\ \epsilon_V = \ln(1 + \epsilon) \end{array} \right.$$

# Curva Tensão-Deformação Corrigida

$$\sigma_V = K \varepsilon_V^n$$

K: constante

n: constante (expoente de encruamento)

**Tabela 6.4** Tabulação dos Valores de *n* e de *K* (Equação 6.19) para Várias Ligas

| <i>Material</i>                                   | <i>n</i> | <i>K</i>   |            |
|---|----------|------------|------------|
|   |          | <i>MPa</i> | <i>psi</i> |
| Aço de baixo teor de carbono (recozido)           | 0,21     | 600        | 87.000     |
| Aço 4340 (revenido a 315°C)                       | 0,12     | 2.650      | 385.000    |
| Aço inoxidável 304 (recozido)                     | 0,44     | 1.400      | 205.000    |
| Cobre (recozido)                                  | 0,44     | 530        | 76.500     |
| Latão naval (recozido)                            | 0,21     | 585        | 85.000     |
| Liga de alumínio 2024 (tratada termicamente – T3) | 0,17     | 780        | 113.000    |
| Liga de magnésio AZ-31B (recozida)                | 0,16     | 450        | 66.000     |

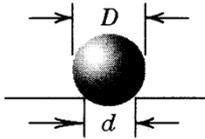
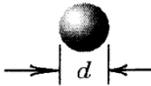
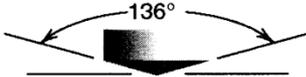
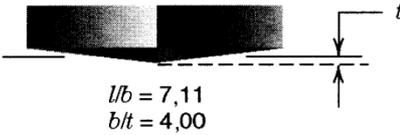
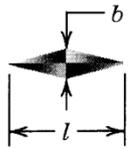
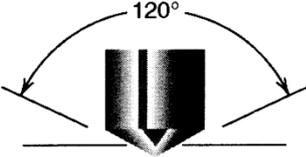
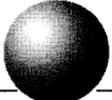




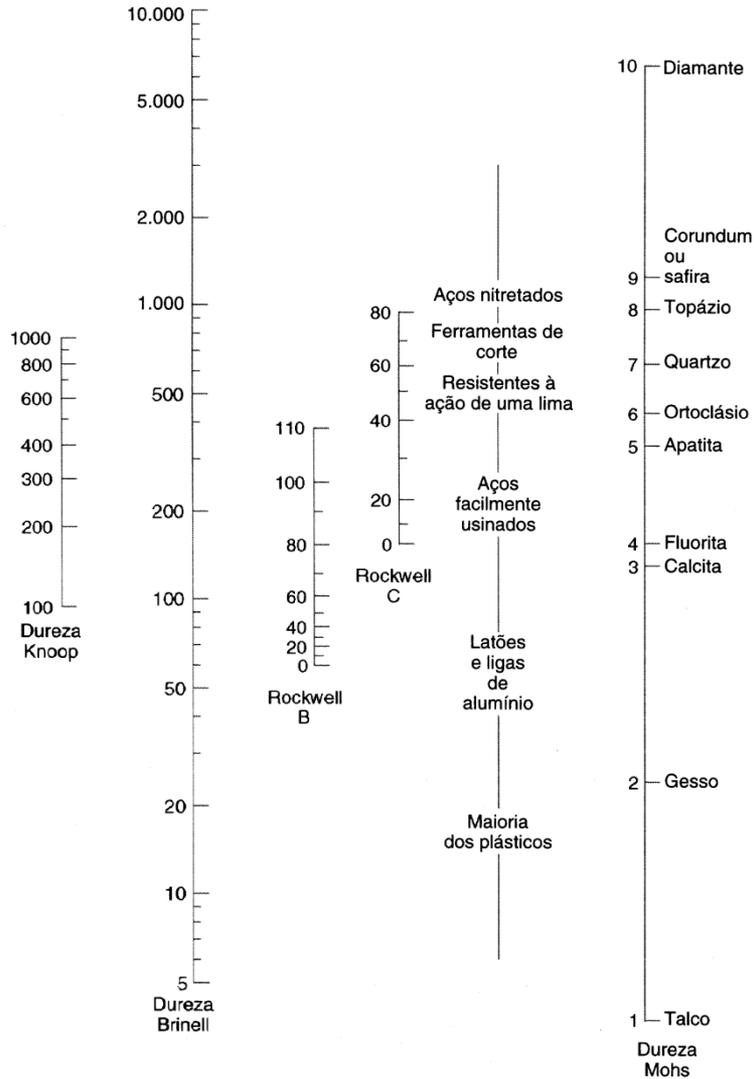


# Dureza

**Tabela 6.4 Técnicas de Ensaio de Dureza**

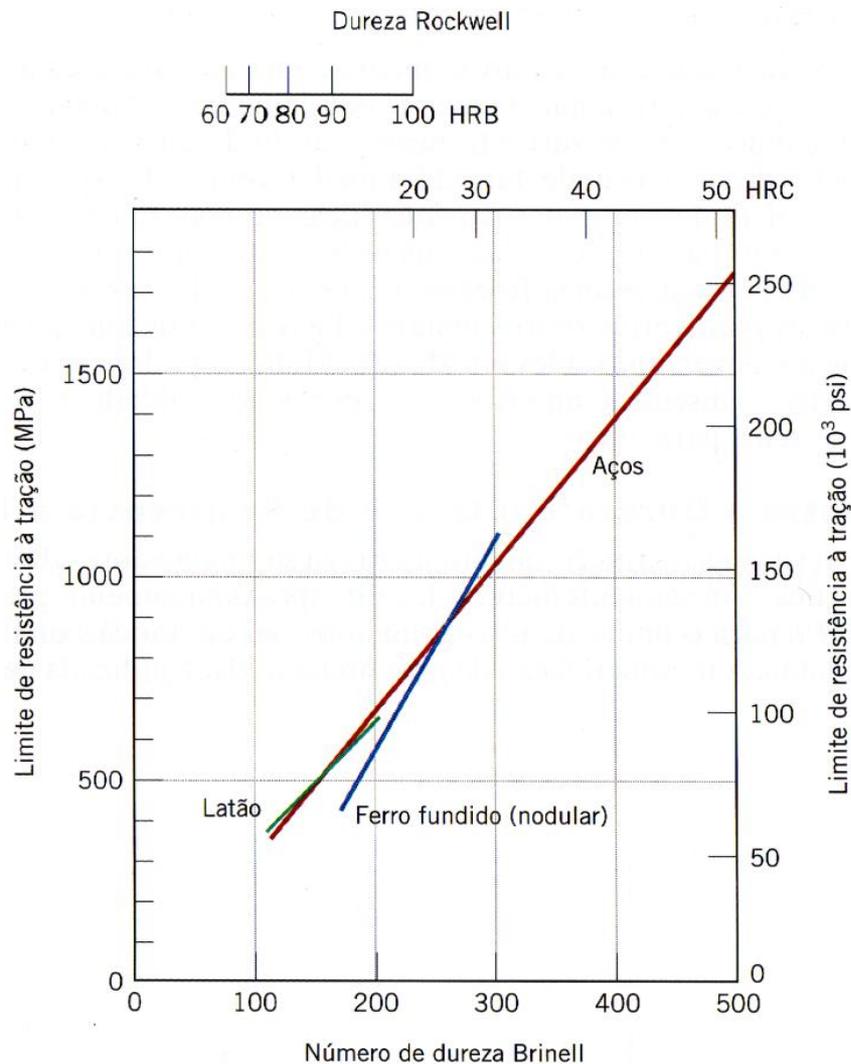
| Ensaio                          | Penetrador  | Forma da Impressão   |   | Carga  | Fórmula para o Número Índice de Dureza <sup>a</sup> |
|---------------------------------|---|--|---|--|---|
|                                 |   | Vista Lateral  | Vista Superior  |  |   |
| Brinell                         | Esfera com 10 mm em aço ou carbeto de tungstênio                            |    |    | $P$  | $HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$      |
| Microdureza Vickers             | Pirâmide de diamante  |    |    | $P$  | $HV = 1,854P/d_1^2$                                 |
| Microdureza Knoop               | Pirâmide de diamante  |    |    | $P$  | $HK = 14,2P/l^2$                                    |
| Rockwell e Rockwell Superficial | Esferas de aço com 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 pol. de diâmetro e cone de diamante |  |  | 60 kg<br>100 kg<br>150 kg<br>15 kg<br>30 kg<br>45 kg | Rockwell<br>Rockwell Superficial                    |
|                                 |   |   |  |  |   |

# Dureza



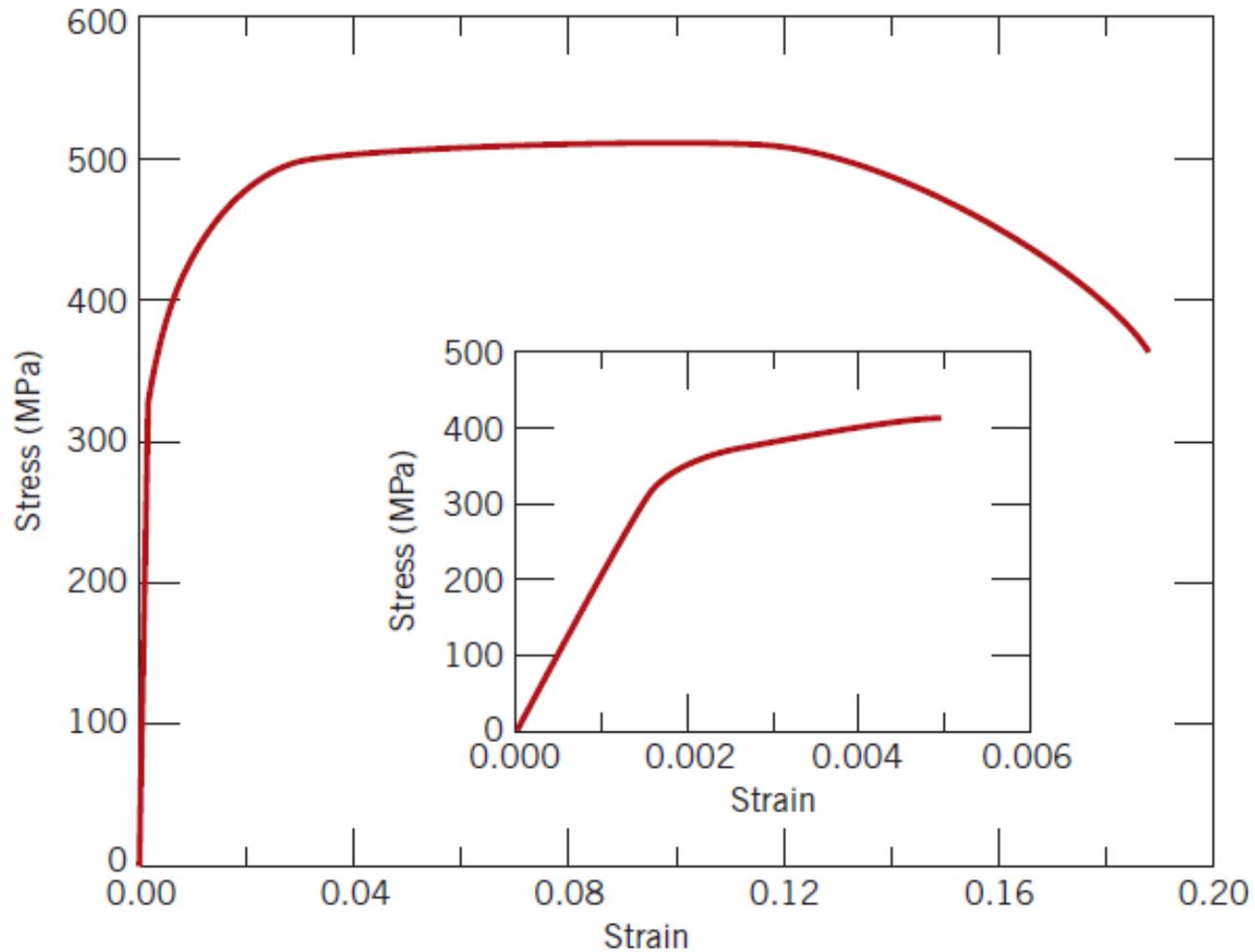
Escalas de Dureza

# Correlação entre Dureza e Limite de Resistência à Tração



**Figura 6.19** Relações entre a dureza e o limite de resistência à tração para aço, latão e ferro fundido. [Dados extraídos de *Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels*. Vol. 1. 9ª edição. B. Bardes (ed.). American Society for Metals, 1978; pp. 36 e 461; e *Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals*. Vol. 2. 9ª edição. H. Baker (Editor Gerente). American Society for Metals, 1979; p. 327.]

# Exercício 9



# Exercícios 29

| <b>Carga<br/>(N)</b> | <b>Comprimento(<br/>mm)</b> | <b>Tensão<br/>(MPa)</b> | <b>Deformação<br/>(mm/mm)</b> |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 0                    | 50,8                        | 0,0                     | 0,00000                       |
| 7330                 | 50,851                      | 57,0                    | 0,00100                       |
| 15100                | 50,902                      | 117,4                   | 0,00201                       |
| 23100                | 50,952                      | 179,6                   | 0,00299                       |
| 30400                | 51,003                      | 236,4                   | 0,00400                       |
| 34400                | 51,054                      | 267,5                   | 0,00500                       |
| 38400                | 51,308                      | 298,6                   | 0,01000                       |
| 41300                | 51,816                      | 321,1                   | 0,02000                       |
| 44800                | 52,832                      | 348,3                   | 0,04000                       |
| 46200                | 53,848                      | 359,2                   | 0,06000                       |
| 47300                | 54,864                      | 367,8                   | 0,08000                       |
| 47500                | 55,88                       | 369,3                   | 0,10000                       |
| 46100                | 56,896                      | 358,4                   | 0,12000                       |
| 44800                | 57,658                      | 348,3                   | 0,13500                       |
| 42600                | 58,42                       | 331,2                   | 0,15000                       |
| 36400                | 59,182                      | 283,0                   | 0,16500                       |

# Exercícios 38

| <b>Carga<br/>(N)</b> | <b>Comp.<br/>(mm)</b> | <b>Tensão<br/>Verdadeira<br/>(MPa)</b> | <b>Def. Verdadeira<br/>(mm/mm)</b> |
|----------------------|-----------------------|--|------------------------------------|
| 0                    | 50,8                  | 0,0                                    | 0,00000                            |
| 7330                 | 50,851                | 57,1                                   | 0,00100                            |
| 15100                | 50,902                | 117,6                                  | 0,00201                            |
| 23100                | 50,952                | 180,2                                  | 0,00299                            |
| 30400                | 51,003                | 237,3                                  | 0,00399                            |
| 34400                | 51,054                | 268,8                                  | 0,00499                            |
| 38400                | 51,308                | 301,6                                  | 0,00995                            |
| 41300                | 51,816                | 327,5                                  | 0,01980                            |
| 44800                | 52,832                | 362,3                                  | 0,03922                            |
| 46200                | 53,848                | 380,8                                  | 0,05827                            |
| 47300                | 54,864                | 397,2                                  | 0,07696                            |
| 47500                | 55,88                 | 406,3                                  | 0,09531                            |
| 46100                | 56,896                | 428,3                                  | 0,11333                            |
| 44800                | 57,658                | 476,0                                  | 0,12663                            |
| 42600                | 58,42                 | 481,2                                  | 0,13976                            |
| 36400                | 59,182                | 524,8                                  | 0,15272                            |

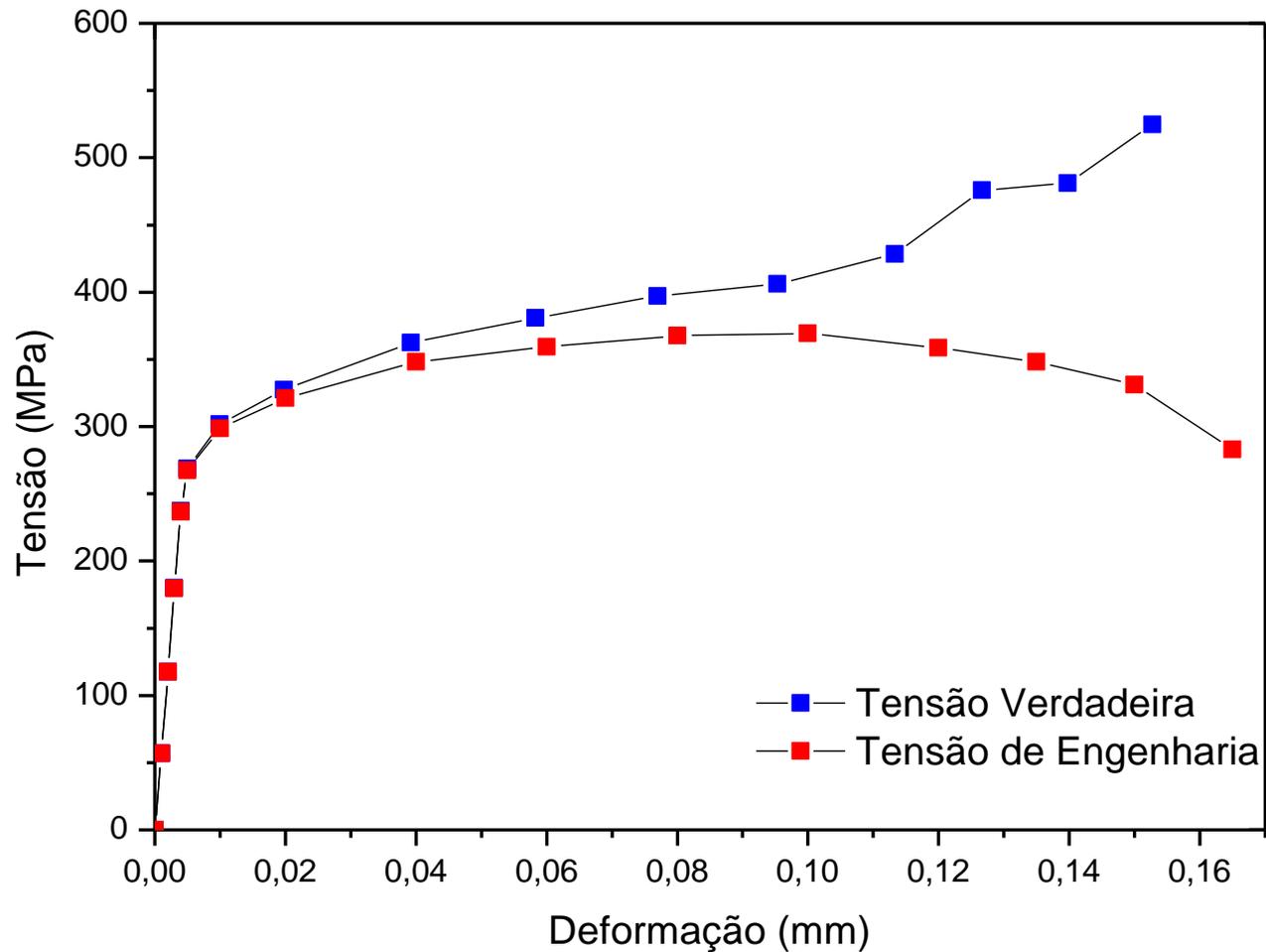
# Exercícios 29 e 38

| N     | mm     |
|-------|--------|
| 0     | 50,8   |
| 7330  | 50,851 |
| 15100 | 50,902 |
| 23100 | 50,952 |
| 30400 | 51,003 |
| 34400 | 51,054 |
| 38400 | 51,308 |
| 41300 | 51,816 |
| 44800 | 52,832 |
| 46200 | 53,848 |
| 47300 | 54,864 |
| 47500 | 55,88  |
| 46100 | 56,896 |
| 44800 | 57,658 |
| 42600 | 58,42  |
| 36400 | 59,182 |

# Exercícios 29 e 38

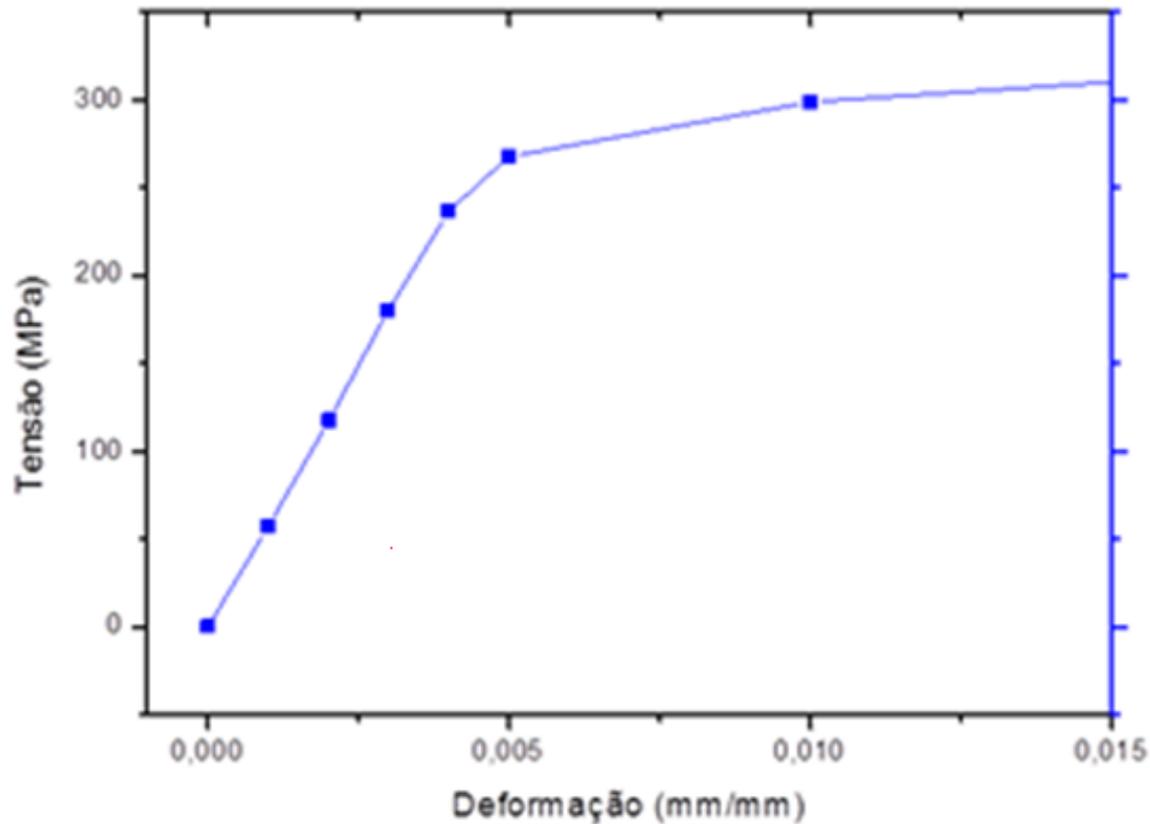
| N     | mm     | MPa     | mm/mm   | MPa     |
|-------|--------|---------|---------|---------|
| 0     | 50,8   | 0       | 0       | 0       |
| 7330  | 50,851 | 56,994  | 0,001   | 56,994  |
| 15100 | 50,902 | 117,409 | 0,00201 | 117,409 |
| 23100 | 50,952 | 179,613 | 0,00299 | 179,613 |
| 30400 | 51,003 | 236,374 | 0,004   | 236,374 |
| 34400 | 51,054 | 267,475 | 0,005   | 267,475 |
| 38400 | 51,308 | 298,577 | 0,01    | 298,577 |
| 41300 | 51,816 | 321,126 | 0,02    | 321,126 |
| 44800 | 52,832 | 348,34  | 0,04    | 348,34  |
| 46200 | 53,848 | 359,226 | 0,06    | 359,226 |
| 47300 | 54,864 | 367,779 | 0,08    | 367,779 |
| 47500 | 55,88  | 369,334 | 0,1     | 369,334 |
| 46100 | 56,896 | 358,448 | 0,12    | 428,28  |
| 44800 | 57,658 | 348,34  | 0,135   | 475,97  |
| 42600 | 58,42  | 331,234 | 0,15    | 481,14  |
| 36400 | 59,182 | 283,026 | 0,165   | 524,8   |

# Exercícios 29 e 38



# Exercícios 29 e 38

## Cálculo do Módulo



# Exercícios 29 e 38

## Determinação da Tensão Limite de Escoamento

