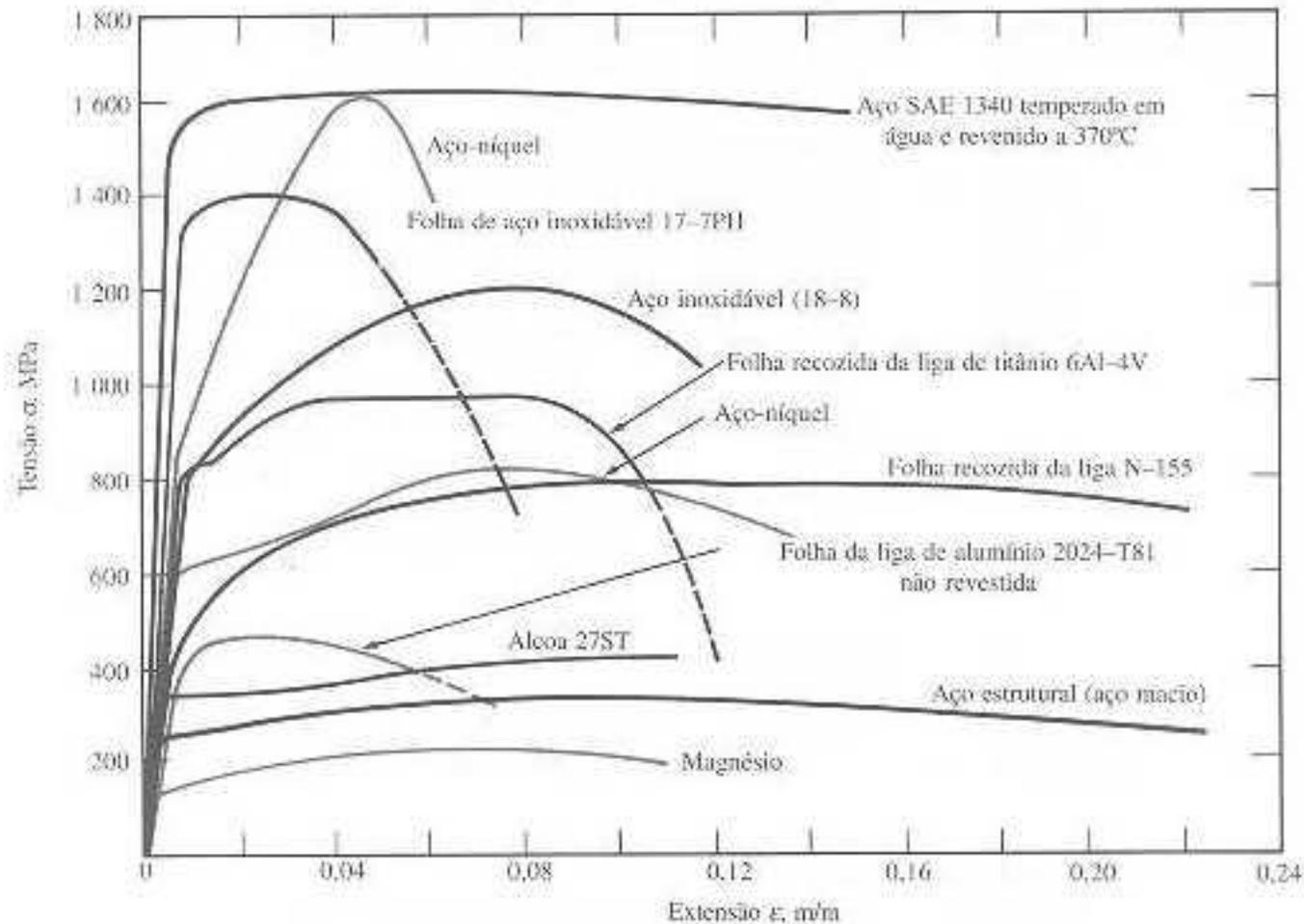


ENSAIOS MECÂNICOS



Diagrama tensão x deformação



Curvas $\sigma \times \epsilon$ de alguns metais e ligas



Fratura

- O processo de fratura é normalmente súbito e catastrófico, podendo gerar grandes acidentes.



- Envolve duas etapas: formação de trinca e propagação.
- Pode assumir dois modos: dúctil e frágil.

Fratura

- **Fatores que determinam o tipo de fratura**
 - natureza do material
 - condição de tensão
 - temperatura (transformação frágil – dúctil)
 - taxa de deformação
 - meio ambiente - corrosão



Direções da fratura

- trans e inter granular

Transgranular- fratura ocorre através dos grãos

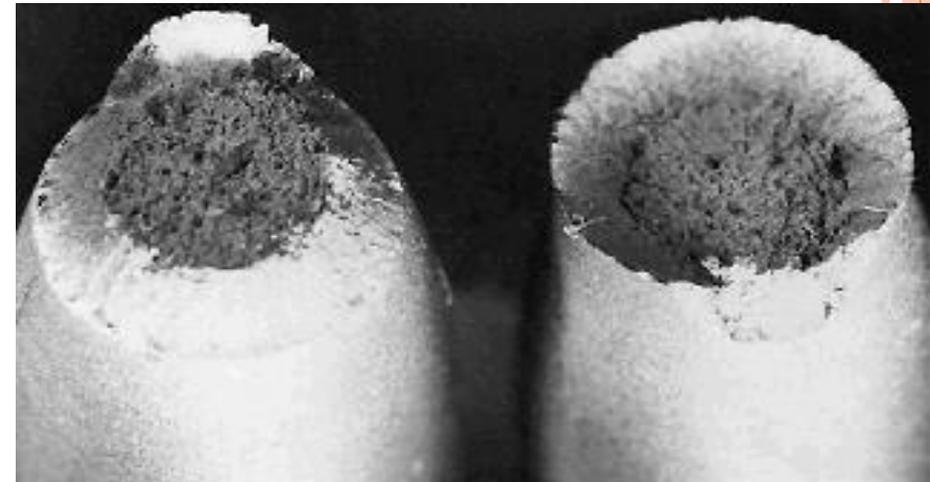
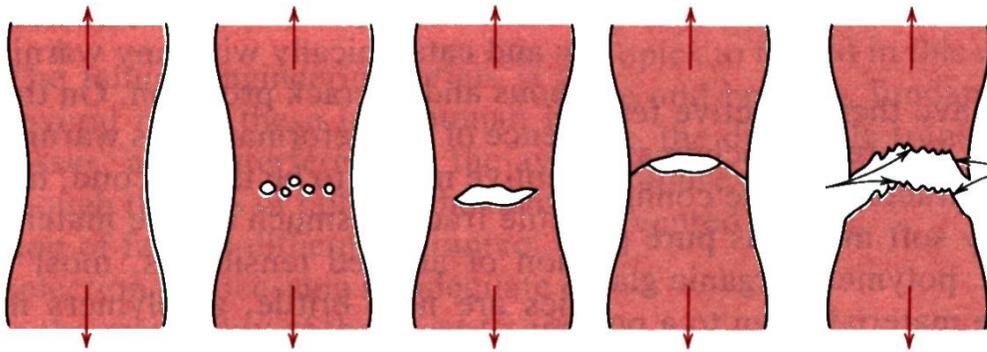
Intergranular - fratura ocorre entre os grãos - nos contornos dos grãos



Fratura dúctil e frágil

•Fratura dúctil

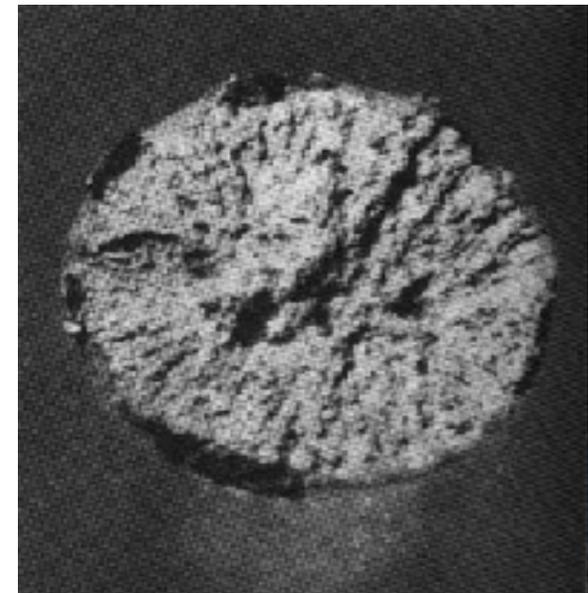
- o material se deforma substancialmente antes de fraturar.
- O processo se desenvolve de forma relativamente lenta à medida que a trinca propaga.
- Este tipo de trinca é denominado **estável** porque ela para de se propagar a menos que haja uma aumento da tensão aplicada no material.



Fratura dúctil e frágil

Fratura frágil

- O material se deforma pouco, antes de fraturar.
- O processo de propagação de trinca pode ser muito veloz, gerando situações catastróficas.
- A partir de um certo ponto, a trinca é dita instável porque se propagará mesmo sem aumento da tensão aplicada sobre o material.

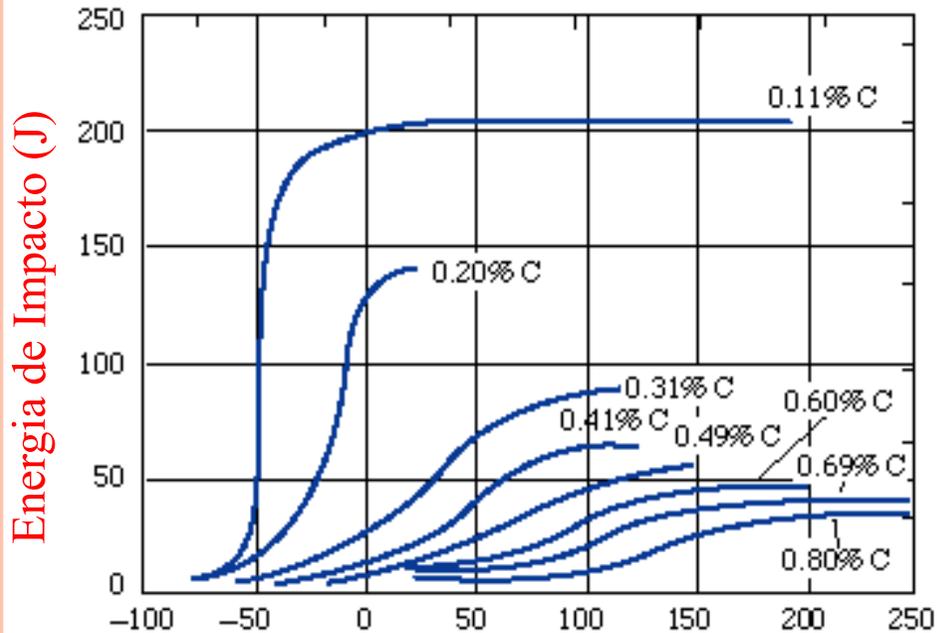


Transição dúctil-frágil

- A ductilidade dos materiais é função da temperatura e da presença de impurezas.
- Materiais dúcteis se tornam frágeis a temperaturas mais baixas. Isto pode gerar situações desastrosas caso a temperatura de teste do material não corresponda a temperatura efetiva de trabalho.

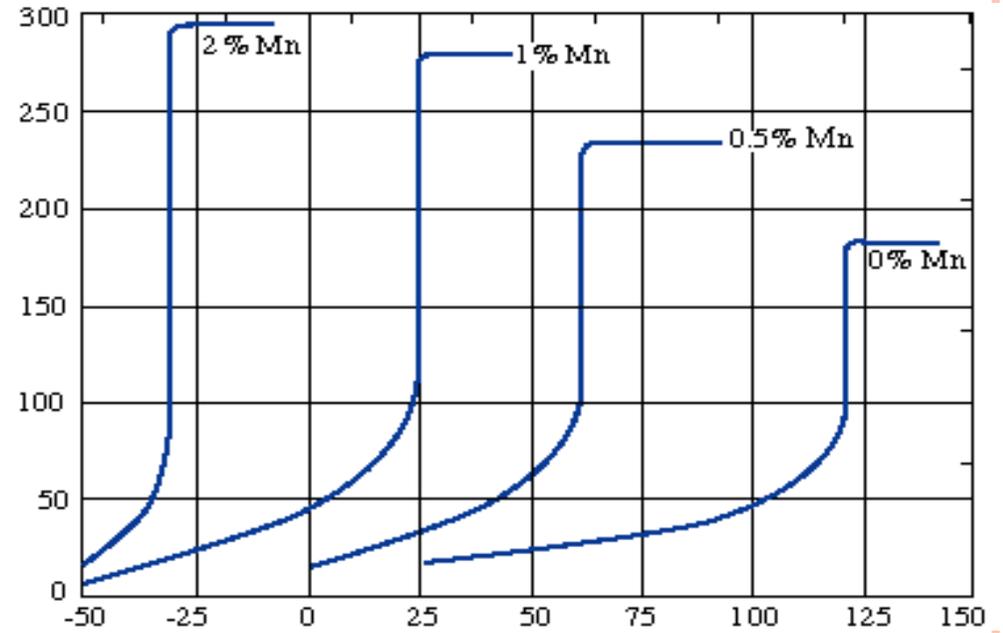
Ex: Os navios tipo Liberty, da época da 2ª Guerra, que literalmente quebraram ao meio. Eles eram fabricados de aço com baixa concentração de carbono, que se tornou frágil em contato com as águas frias do mar.

Transição dúctil-frágil



Temperatura (°C)

Aços com diferentes
concentrações de carbono



Temperatura (°C)

Aços com diferentes
concentrações de manganês



Outros Ensaio Mecânicos

Ensaio de Dureza

Dureza é definida pela resistência da superfície do material à penetração de uma ponta (esférica, cônica ou piramidal), geralmente de diamante.

Os métodos de medida de dureza mais usuais são:

- Brinell
- Vickers
- Rockwell



Dureza Brinell (HB) é a medida de dureza a partir da área de indentação sob uma carga. Os penetradores utilizados são normalmente esféricos de aço temperado com elevado teor de carbono ou de carbeto de tungstênio. As cargas usualmente utilizadas são 250, 500, 1000 e 3000Kg e o diâmetro do penetrador é 10, 5 e 2,5mm.



Dureza Vickers (HV) e Knoop (HK) é a medida de dureza utilizando um penetrador de diamante com geometria piramidal.

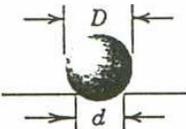
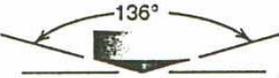
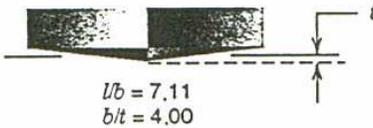
A impressão resultante é observada sob um microscópio e medida, esta medida é convertida em um número índice de dureza.

Esses métodos são conhecidos e utilizados para determinar microdureza, indicado para regiões pequenas e selecionadas do material ou corpo de prova.



Dureza Rockwell (HV) é a medida de dureza a partir da profundidade de indentação sob uma carga. O penetrador pode ser uma esfera de aço temperado, com diâmetros de 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 polegadas, e um penetrador cônico de diamante, que é usado para os materiais mais duros. As cargas principais são 10, 60, 100 e 150 Kg.



Ensaio	Penetrador	Forma da Impressão		Carga	Fórmula para o Número Índice de Dureza ^a
		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 100 kg 150 kg 15 kg 30 kg 45 kg	} Rockwell } Rockwell Superficial
					

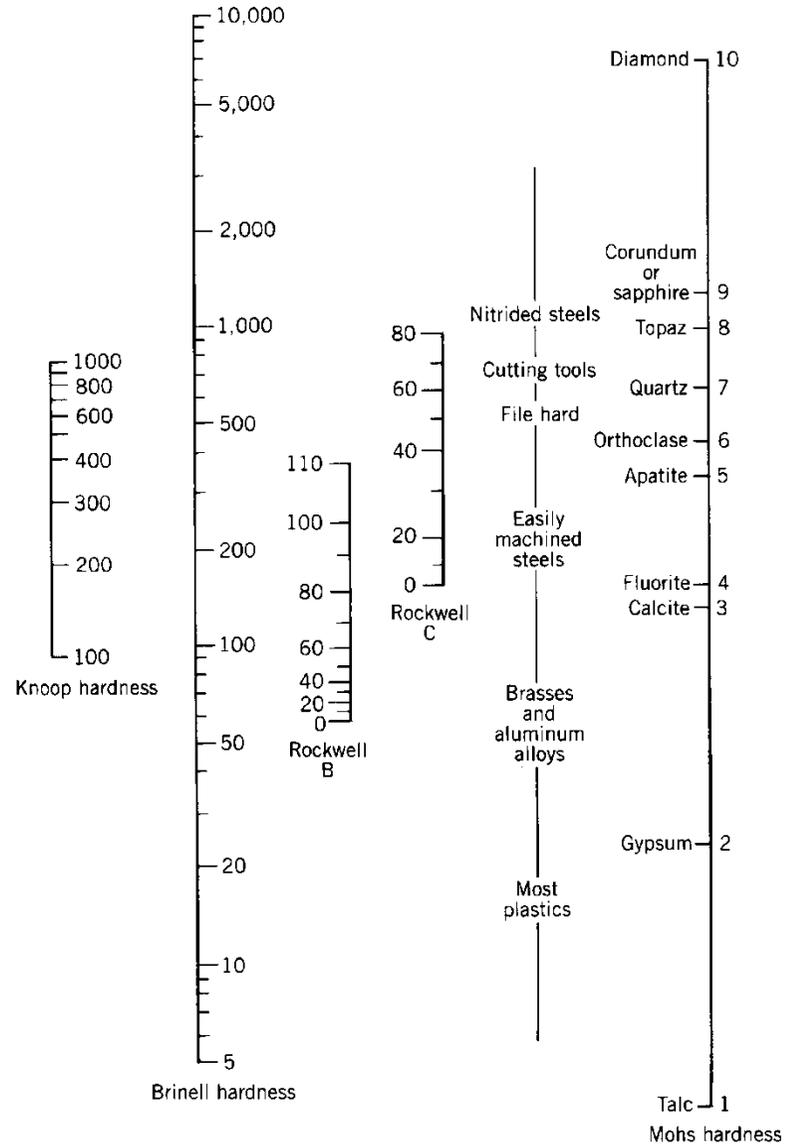
^a as fórmulas de dureza dadas, P (a carga aplicada) está em kg, enquanto D, d, d₁ e l estão todos em mm.

Fonte: Adaptado de H. W. Hayden, W. G. Moffatt e J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 por John Wiley & Sons, New York. Reimpresso sob permissão de John Wiley & Sons, Inc.



Escalas de dureza

FIGURE 6.17
 Comparison of several
 hardness scales.
 (Adapted from G. F.
 Kinney, *Engineering
 Properties and
 Applications of Plastics*,
 p. 202. Copyright
 © 1957 by John
 Wiley & Sons, New
 York. Reprinted by
 permission of John
 Wiley & Sons, Inc.)



Tenacidade é medida em termos da energia necessária para fraturar um corpo de prova, e os ensaios normalmente empregados são Ensaio de Impacto Charpy e Izod.

O ensaio de Impacto Charpy avalia quantitativamente a influência de entalhes no comportamento frágil dos aços na faixa de transição frágil-dúctil. Os ensaios de impacto são usados para determinar a energia absorvida ao se romper um corpo de prova padronizado, quando submetido ao impacto por um martelo pendular.



Um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil irá requerer maior energia para ser rompido e portanto este material é considerado mais tenaz.

Os métodos de ensaio Charpy e Izod diferem entre si apenas na forma do corpo de prova e no método de aplicação da energia.

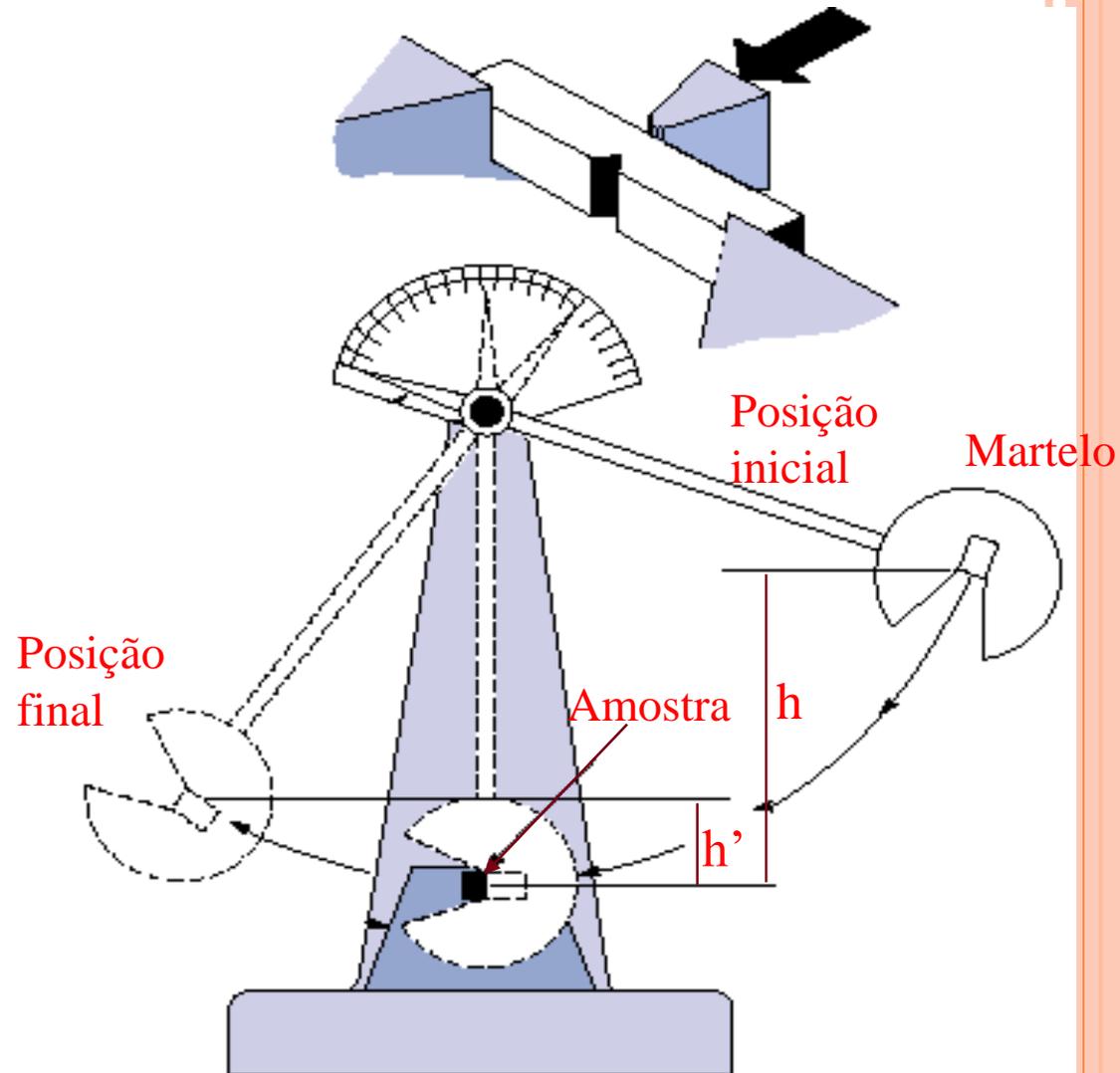
O corpo de prova Charpy apresenta um entalhe tipo “buraco de fechadura” e o golpe do martelo do pêndulo é deferido na face oposta do entalhe.

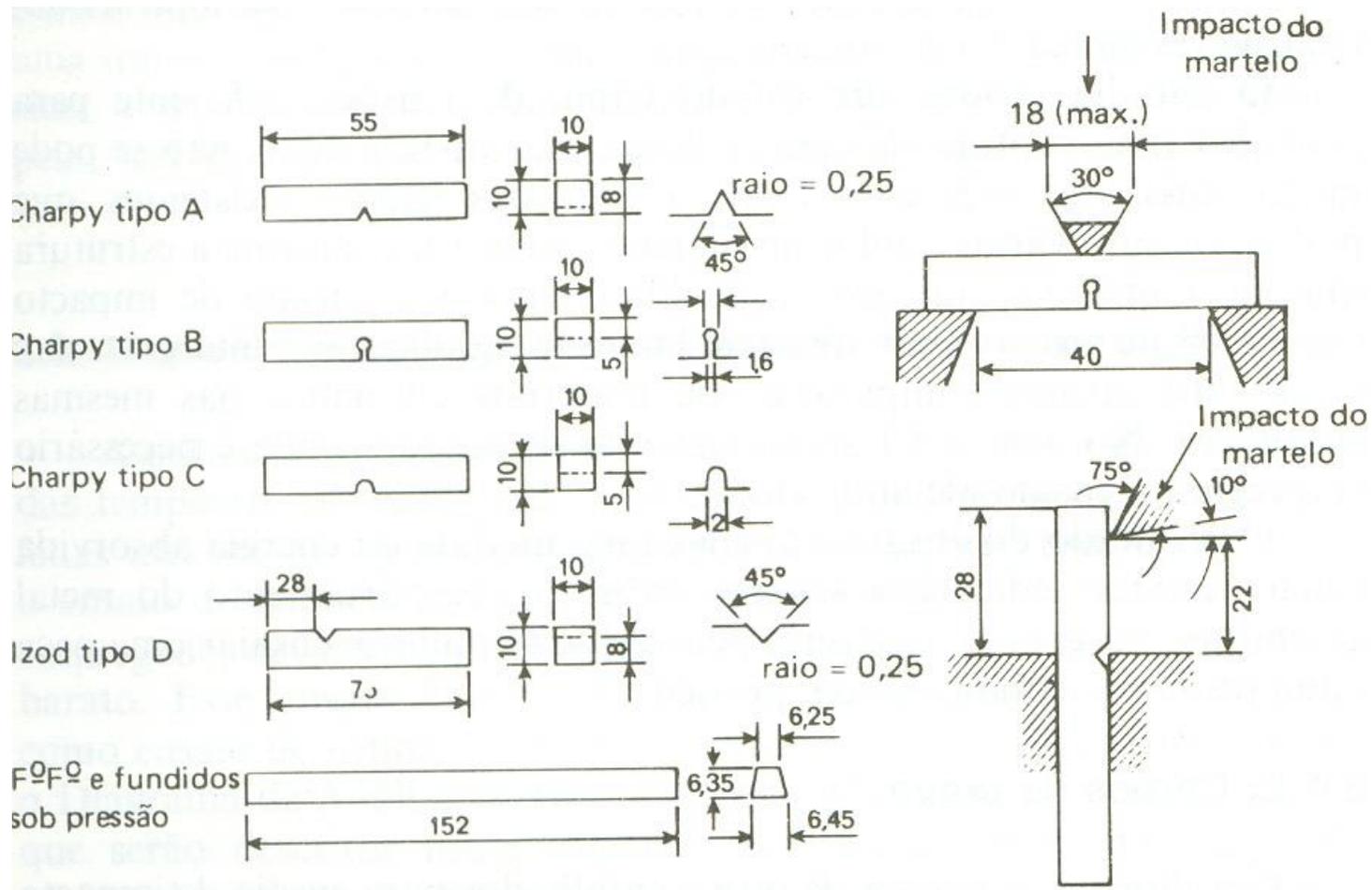
o corpo de prova tipo Izod, o entalhe é em forma de V e o golpe do martelo do pêndulo é deferido do mesmo lado do entalhe.



Teste de impacto (Charpy)

- Um martelo cai como um pêndulo e bate na amostra, que fratura.
- A energia necessária para fraturar, a **energia de impacto**, é obtida diretamente da diferença entre altura final e altura inicial do martelo.



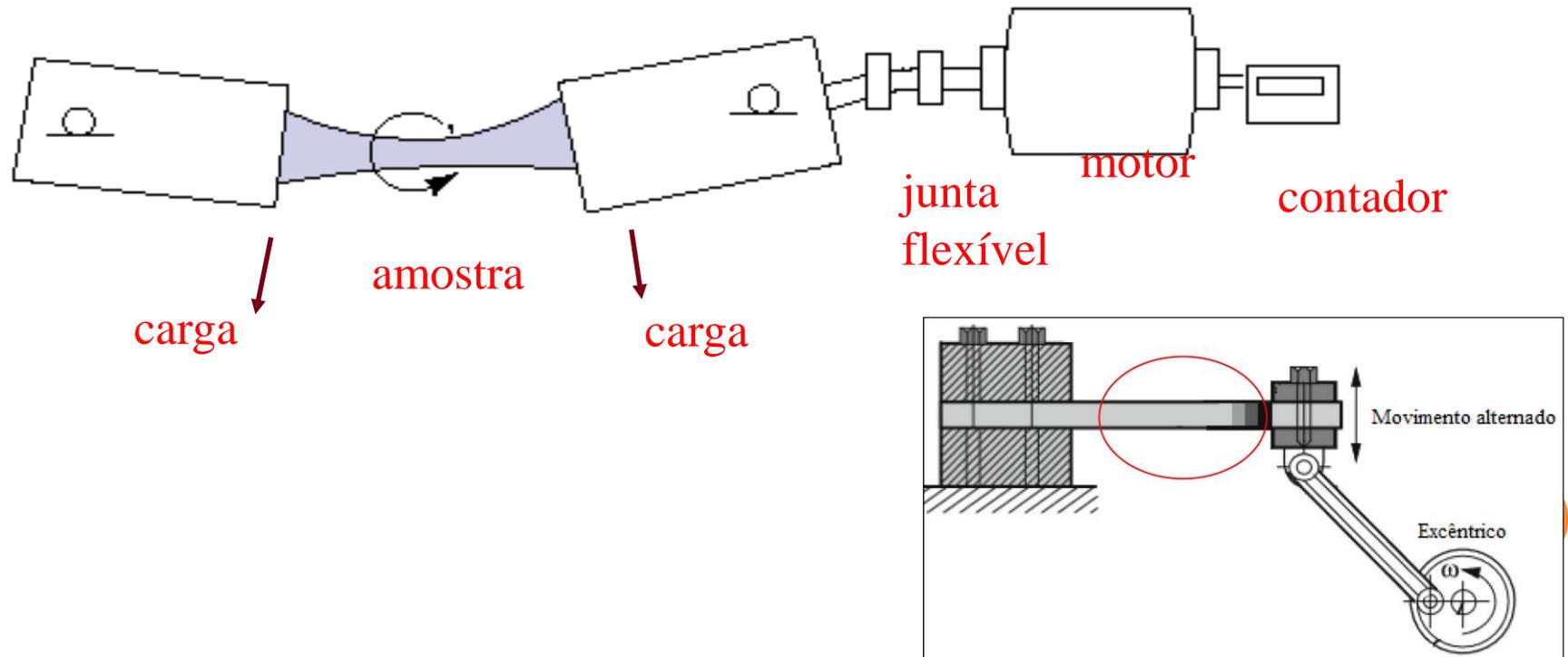
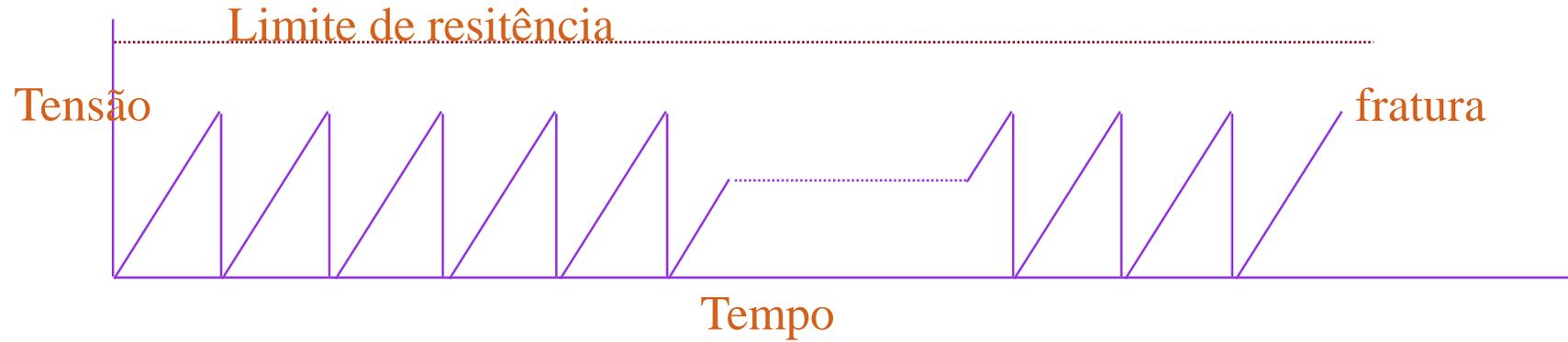


Fadiga

- Fadiga é um tipo de falha que ocorre em materiais sujeitos à tensão que varia no tempo. A falha pode ocorrer a níveis de tensão substancialmente mais baixos do que o limite de resistência do material. É responsável por $\approx 90\%$ de todas as falhas de metais, afetando também polímeros e cerâmicas.
- Ocorre subitamente e sem aviso prévio.
- A falha por fadiga é do tipo frágil, com muito pouca deformação plástica.

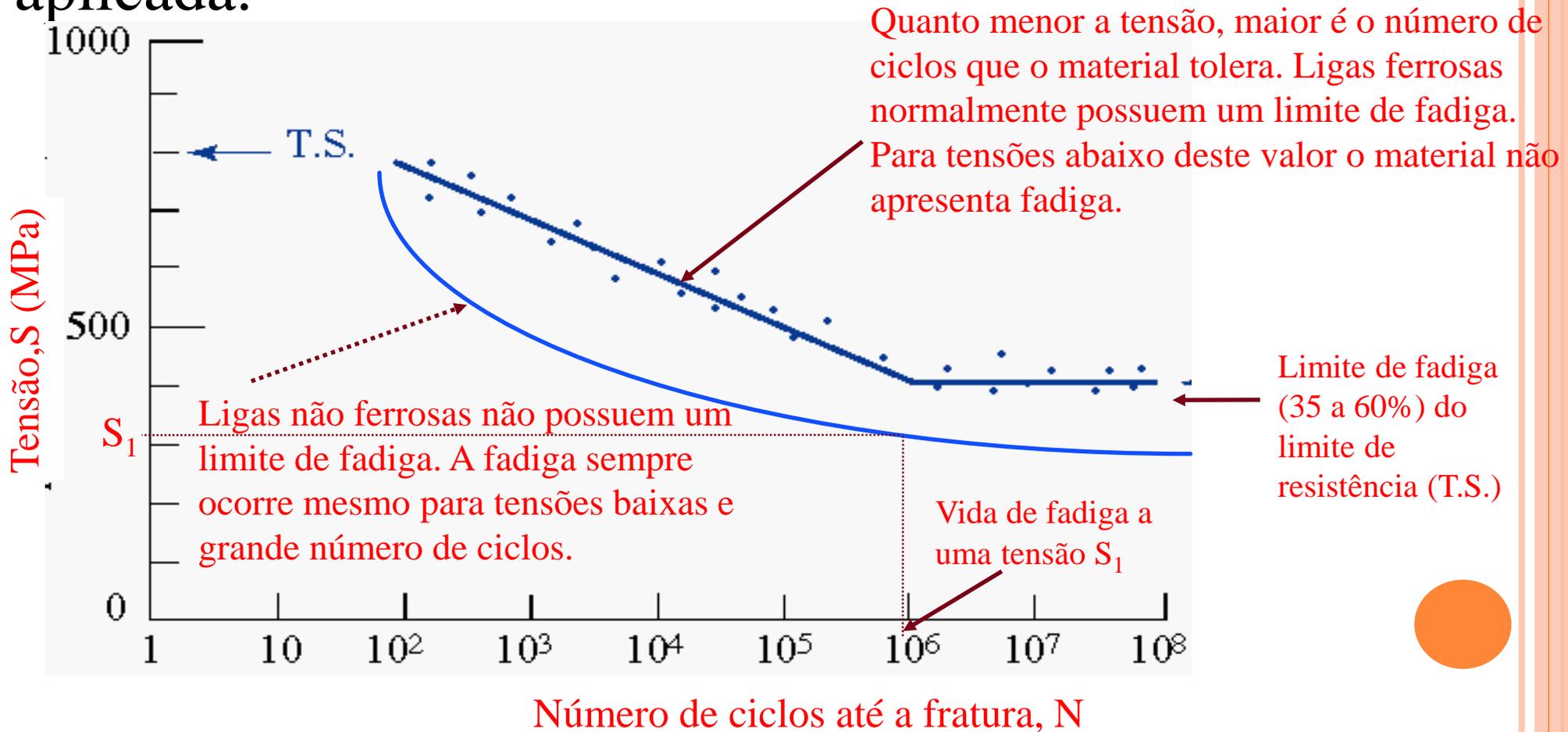


Teste de fadiga



A curva S-N

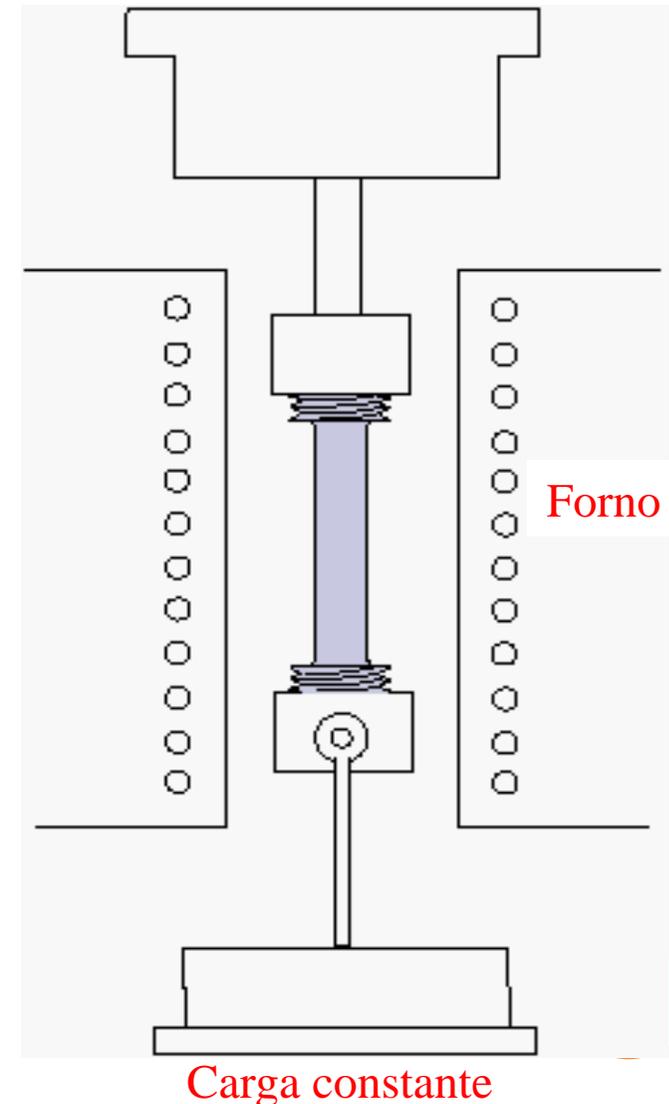
- A curva **Stress-Number of cycles** é um gráfico que relaciona o número de ciclos até a fratura com a tensão aplicada.



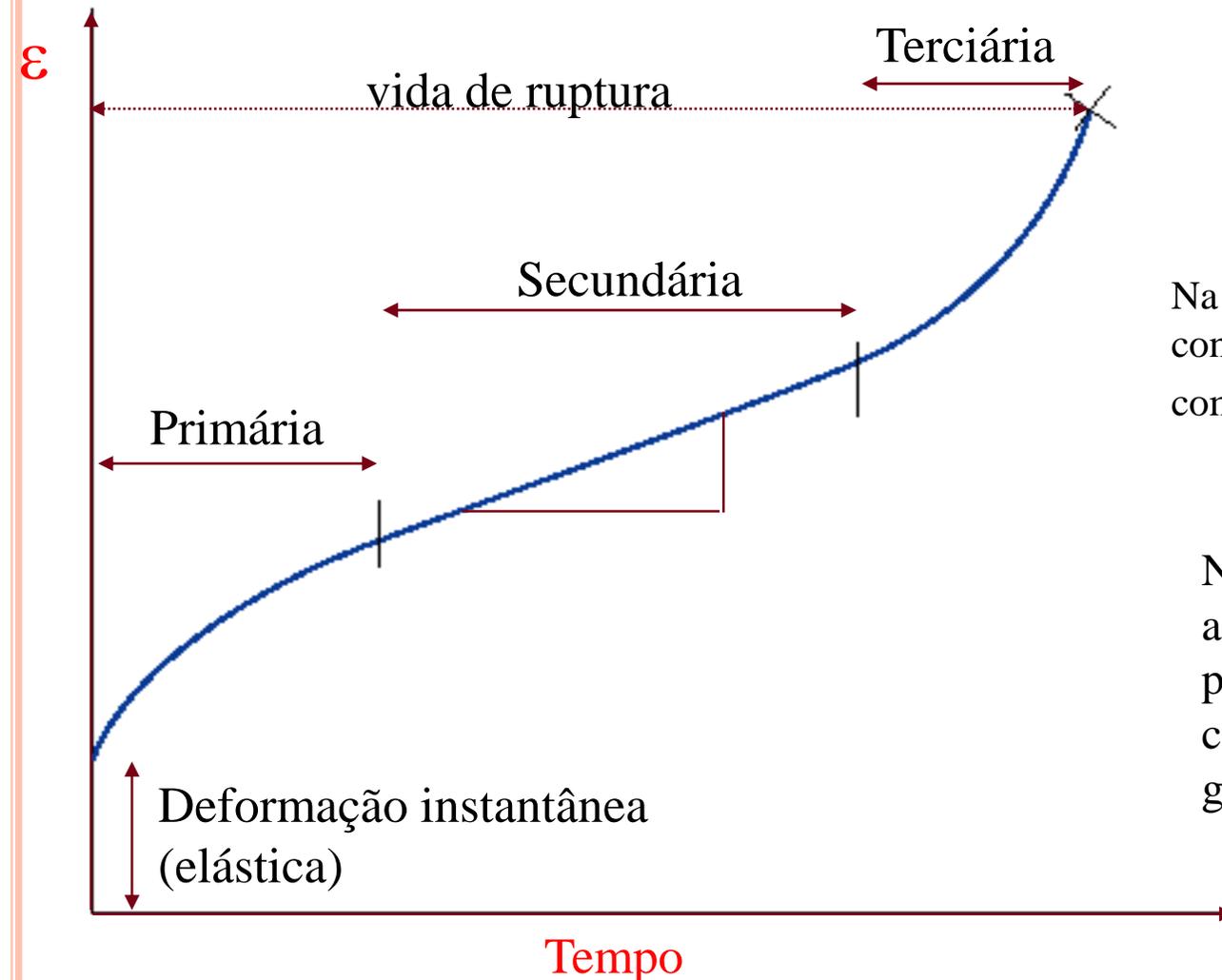
Fluência

• Fluência é a deformação plástica que ocorre em materiais sujeitos a tensões constantes, a temperaturas elevadas.

- Turbinas de jatos, geradores a vapor.
- É muitas vezes o fator limitante na vida útil da peça.
- Se torna importante, para metais, a temperaturas $\approx 0.4T_f$



Curva de fluência



Na região primária o material encrua, tornando-se mais rígido, e a taxa de crescimento da deformação com o tempo diminui.

Na região secundária a taxa de crescimento é constante (estado estacionário), devido a uma competição entre encruamento e recuperação.

Na região terciária ocorre uma aceleração da deformação causada por mudanças microestruturais tais como rompimento das fronteiras de grão.

Ensaio de Fluência

A **resistência à fluência** é definida como a tensão a uma determinada temperatura que produz uma taxa mínima de fluência ($d\varepsilon/dt$) de por exemplo 0,0001 por cento/hora ou 0,001 por cento/hora.

A **resistência à ruptura** refere-se à tensão a uma determinada temperatura que produz uma vida até a ruptura de 100, 1000 ou 10000 horas.

