

ENSAIO DE MATERIAIS

Profº Diógenes Bitencourt

BASES TECNOLÓGICAS

- Diagrama Tensão-Deformação;
- Ensaio de Tração;
- Ensaio de Compressão;
- Ensaio de Cisalhamento;
- Ensaio de dureza Brinell;
- Ensaio de dureza Rockwell;
- Ensaio de dureza Vickers;
- Ensaio com líquidos penetrantes;
- Ensaio com partículas magnéticas;
- Ensaio com ultra-som;
- Ensaio com radiografia industrial.

HABILIDADES

- Interpretar o diagrama Tensão-Deformação;
- Descrever as propriedades mecânicas à tração, compressão e ao cisalhamento;
- Descrever os principais ensaios de dureza destrutivos e não destrutivos;
- Realizar ensaios não destrutivos para detecção de falhas em produtos acabados e semi-acabados.

COMPETÊNCIAS

- Conhecer as propriedades mecânicas à tração, compressão e ao cisalhamento;
- Conhecer os principais ensaios de dureza destrutivos e não destrutivos.

ENSAIO DE MATERIAIS

Para que servem os ensaios?

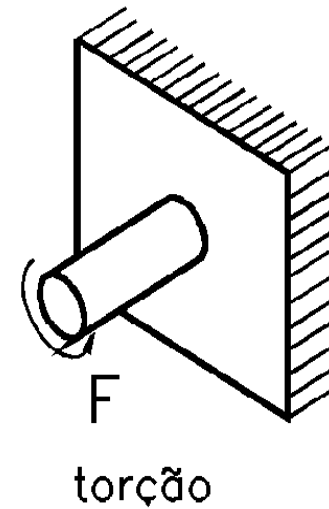
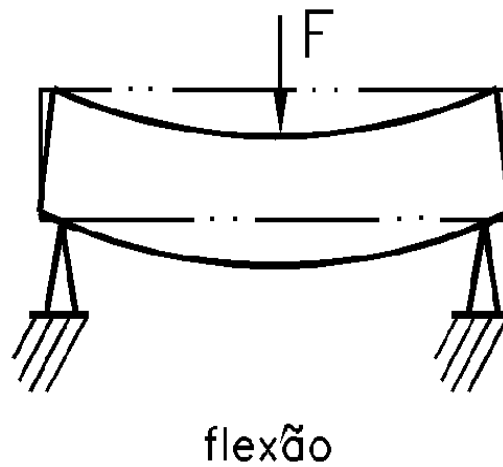
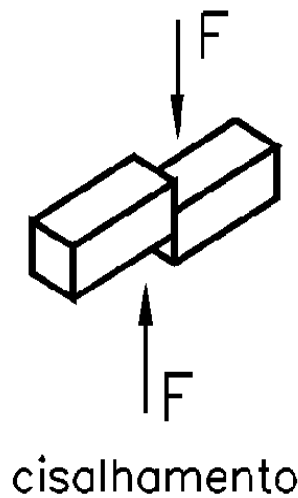
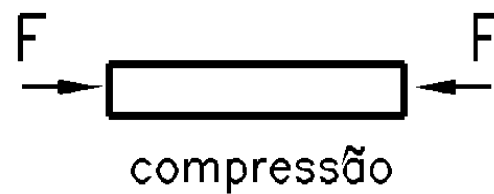
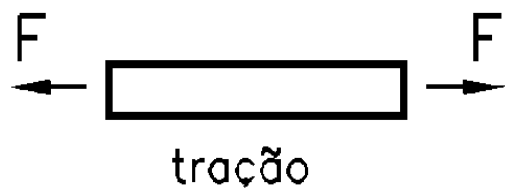
É por meio deles que se verifica se os materiais apresentam as propriedades que os tornarão adequados ao seu uso.

ENSAIO DE MATERIAIS

Evolução

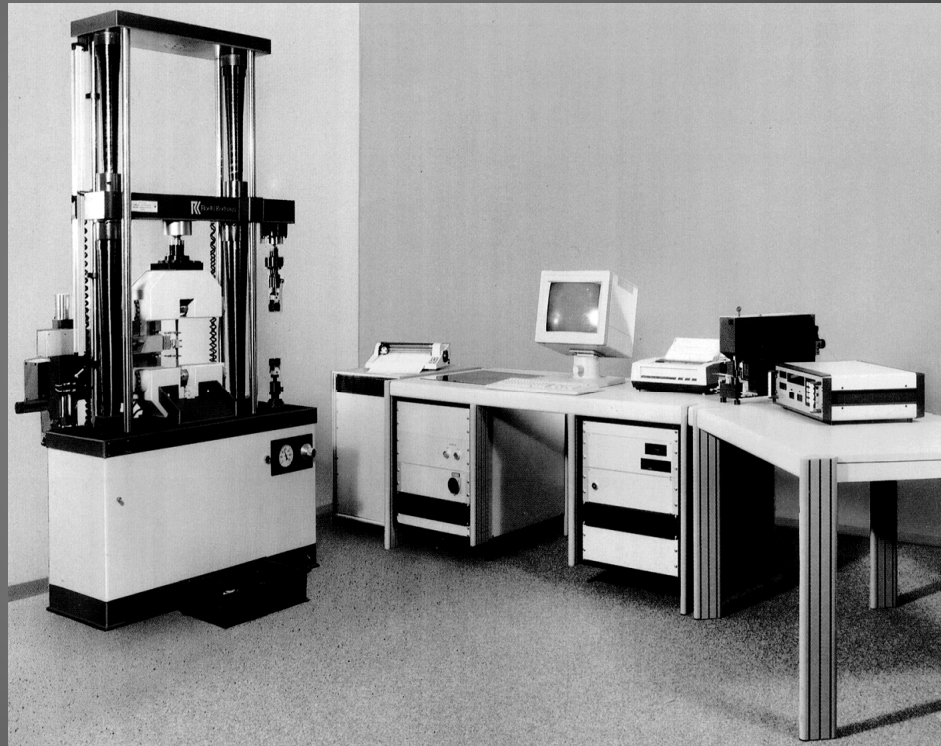


ALGUNS TIPOS DE ESFORÇOS



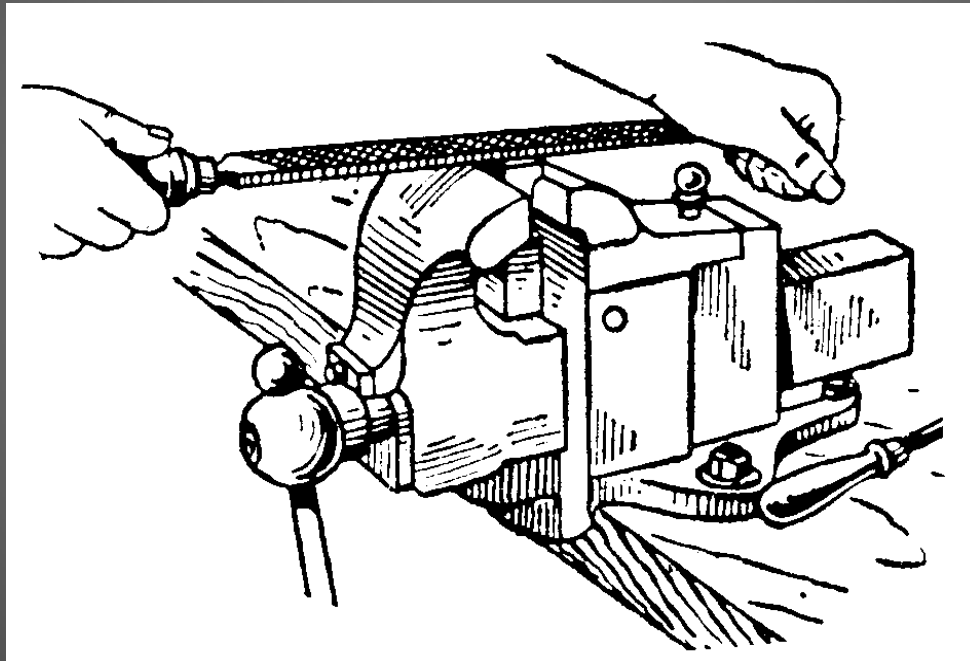
ONDE SÃO FEITO OS ENSAIOS

- Oficina
- Laboratório

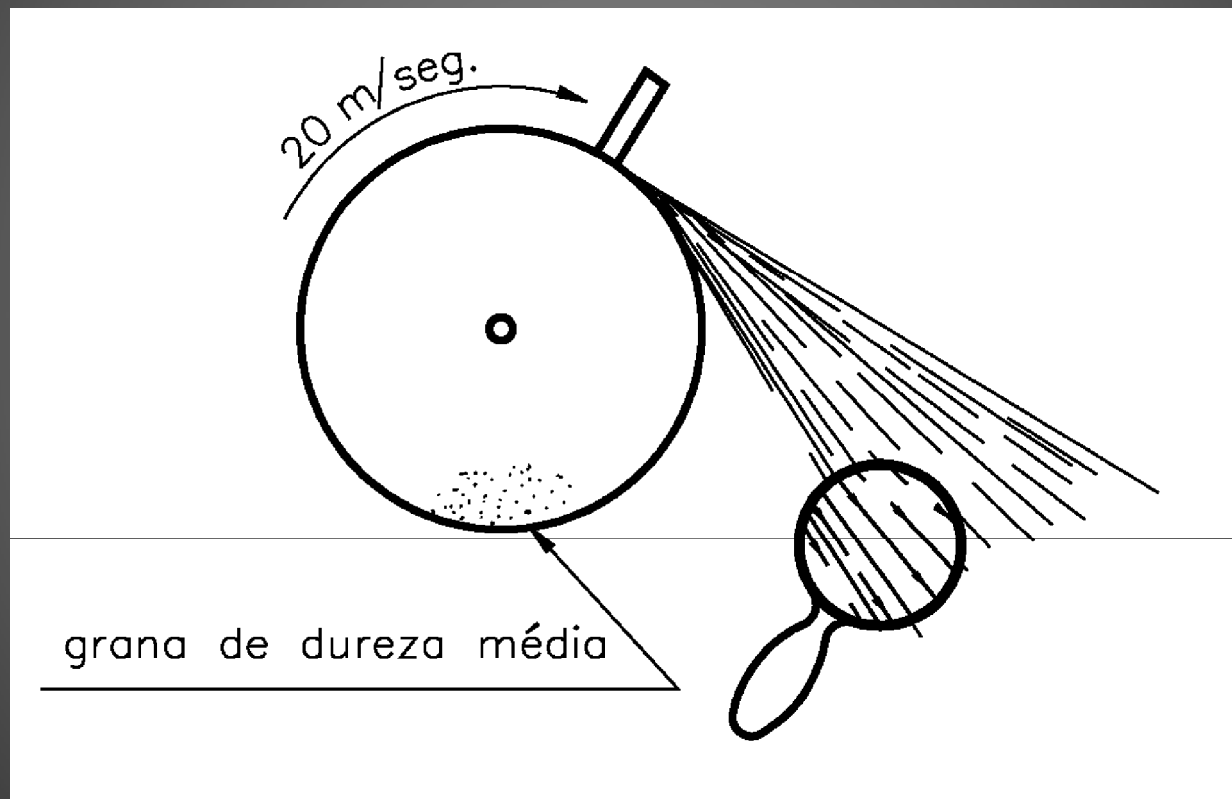


F02A01

ENSAIO POR LIMA



ENSAIO POR CENTELHA



PROTÓTIPO

- É a versão preliminar de um produto, produzida em pequena quantidade, e utilizada durante a fase de testes.

PROTÓTIPO



CORPO DE PROVA

- É uma amostra do material que se deseja testar, com dimensões e forma especificadas em normas técnicas.

CORPO DE PROVA



PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

- Físicas
- Químicas

PROPRIEDADES MECÂNICAS

- Referem-se à forma como os materiais reagem aos esforços externos, apresentando deformação ou ruptura.

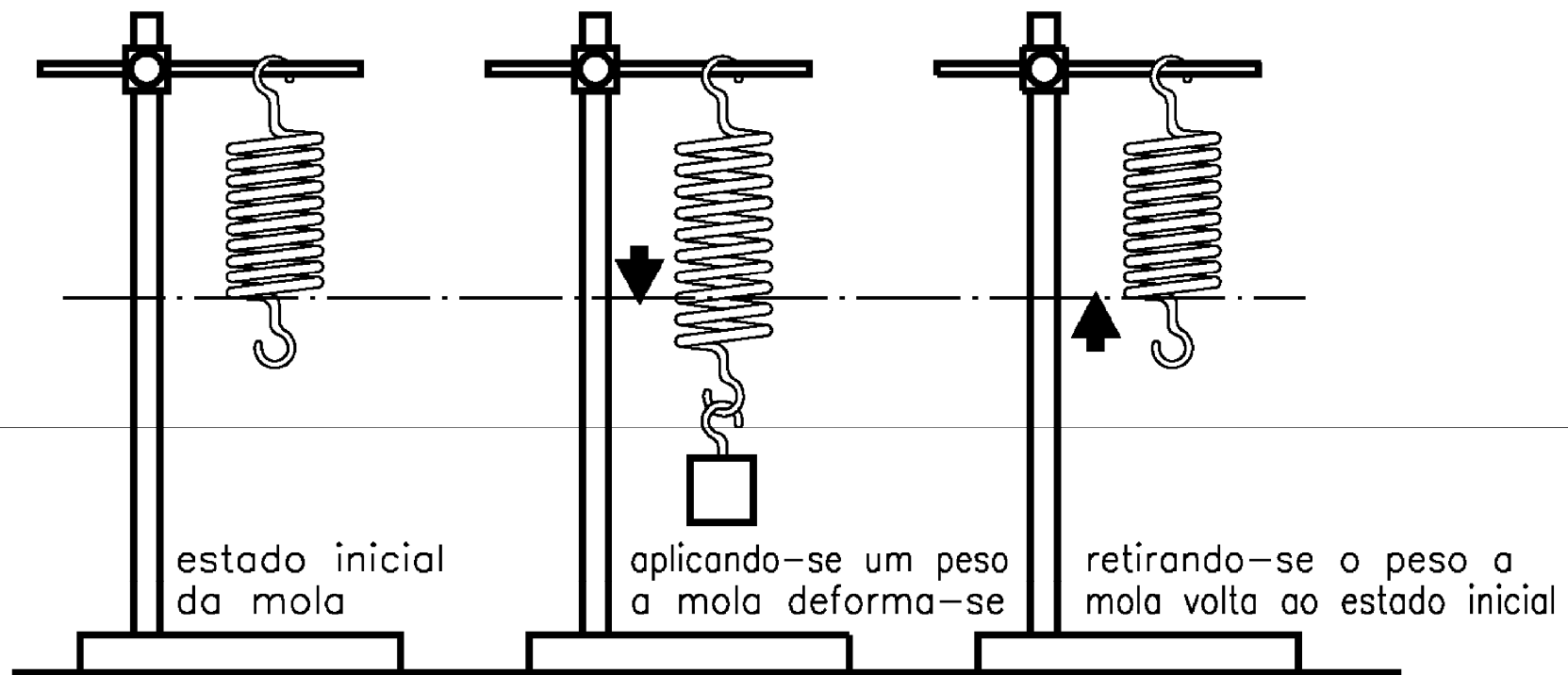
PROPRIEDADES MECÂNICAS

- Elasticidade;
- Plasticidade;
- Resistência Mecânica.

ELASTICIDADE

- É a capacidade que um material tem de retornar à sua forma e dimensões originais quando cessa o esforço que o deformava.

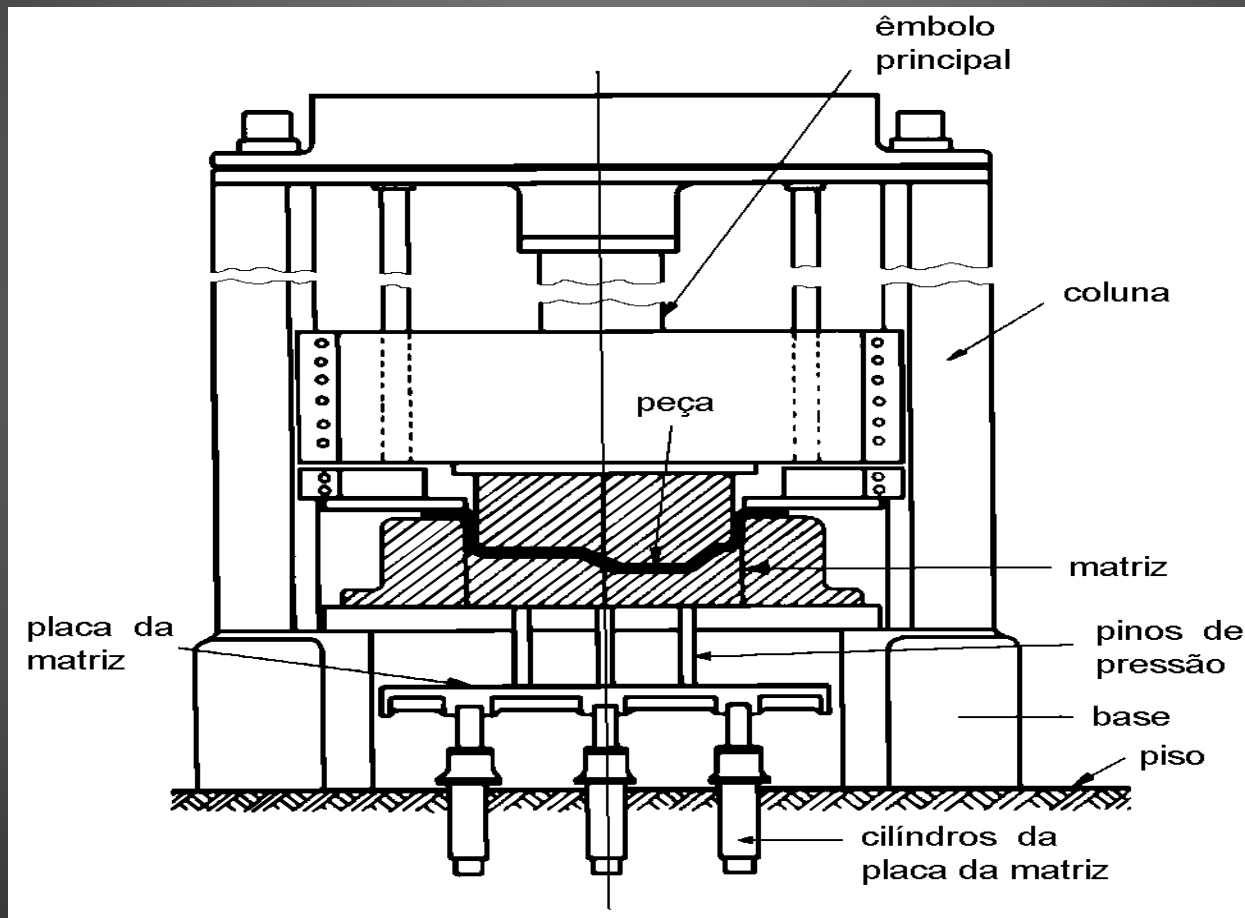
ELASTICIDADE



PLASTICIDADE

- É a capacidade que um material tem de apresentar deformação permanente apreciável, sem se romper.

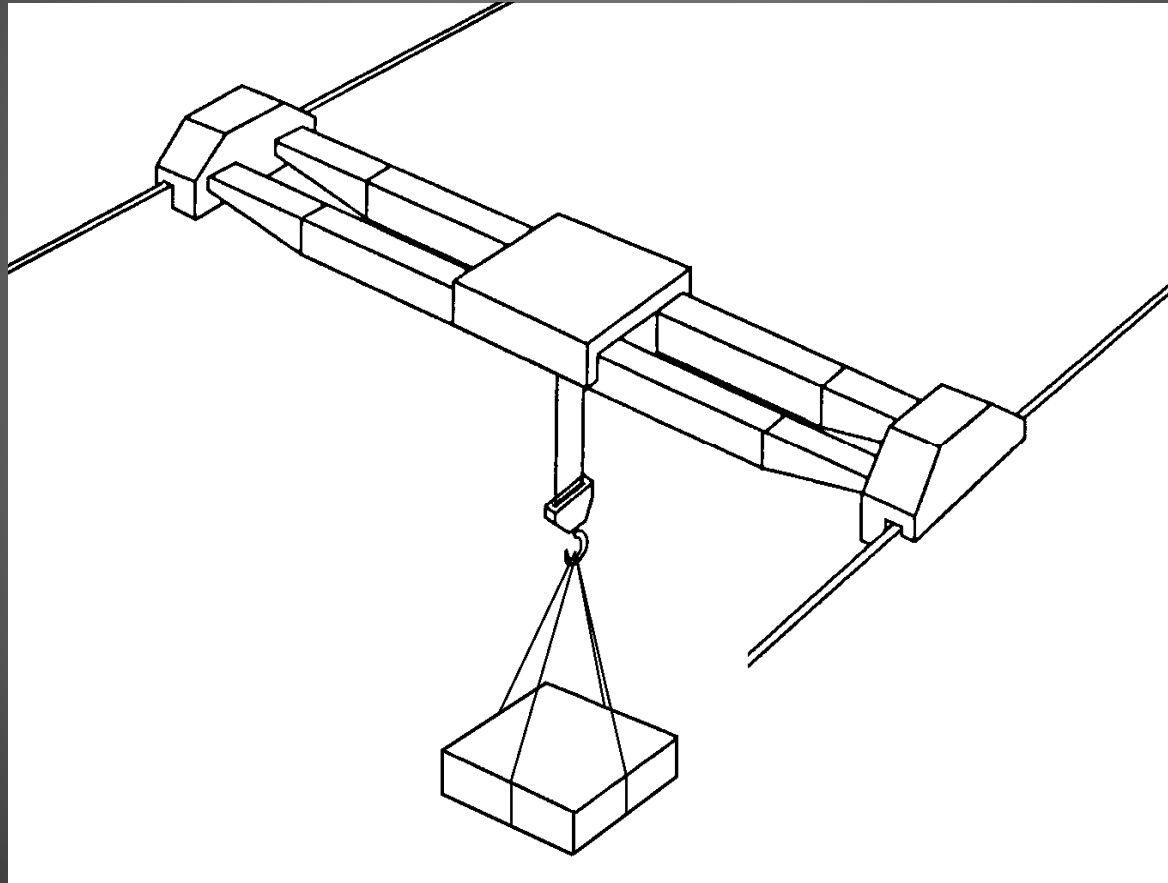
PLASTICIDADE



RESISTÊNCIA MECÂNICA

- É a capacidade que um material tem de suportar esforços externos (tração, compressão, flexão etc.) sem se romper.

RESISTÊNCIA MECÂNICA



ENSAIOS MECÂNICOS

- Destrutivos
- Não Destrutivos

ENSAIOS DESTRUTIVOS

- Tração
- Compressão
- Cisalhamento
- Dobramento
- Flexão
- Embutimento
- Torção
- Dureza
- Fluência
- Fadiga
- Impacto

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

- Visual
- Líquido penetrante
- Partículas magnéticas
- Ultra-som
- Radiografia industrial

DUVIDAS?



ENSAIO DE TRAÇÃO

- Para que serve?

O ensaio de tração consiste em submeter o material a um esforço que tende a alongá-lo até a ruptura. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio.

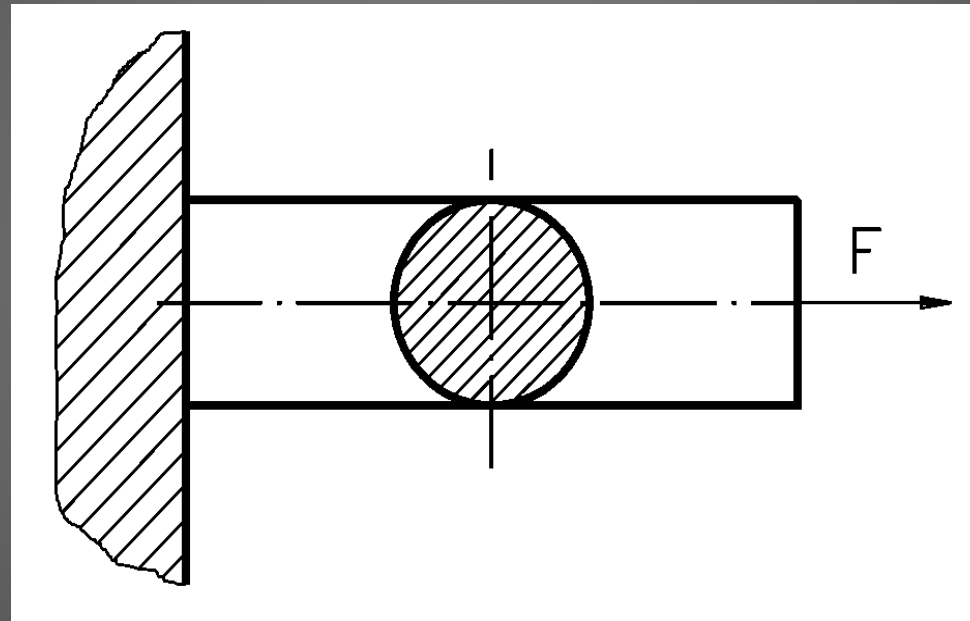
ENSAIO DE TRAÇÃO

- O ensaio mecânico mais importante para a determinação da resistência dos materiais é o ensaio de tração.

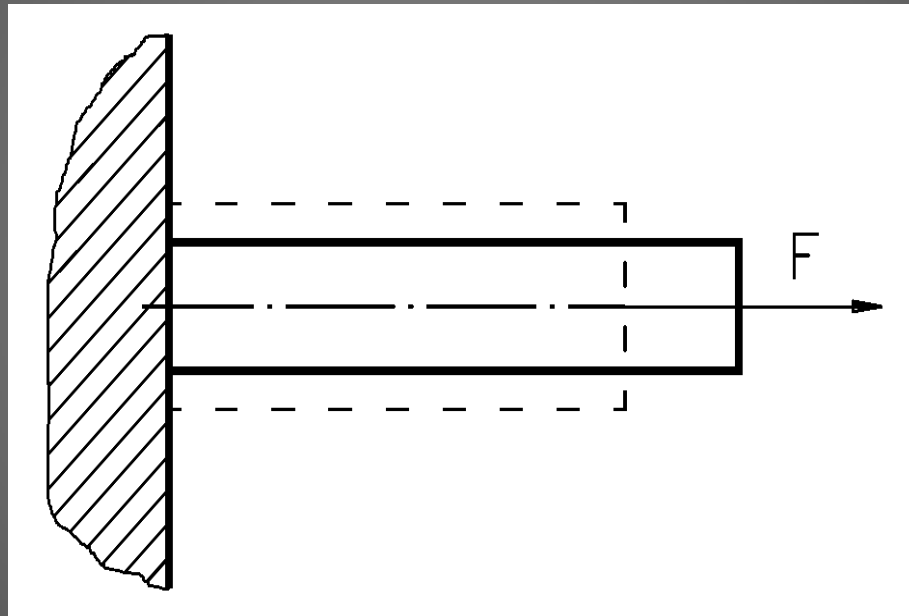
ENSAIO DE TRAÇÃO

No ensaio de tração o corpo é deformado por alongamento, até o momento em que se rompe. Os ensaios de tração permitem conhecer como os materiais reagem aos esforços de tração, quais os limites de tração que suportam e a partir de que momento se rompem.

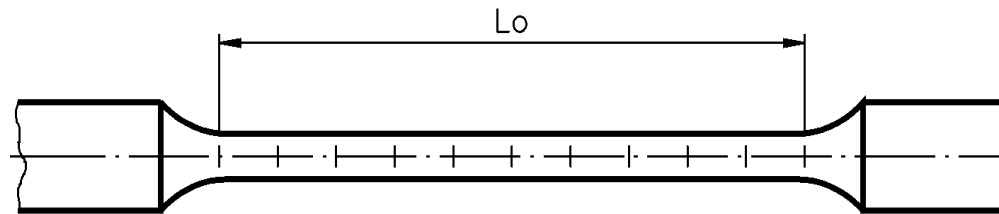
Antes da ruptura, a deformação



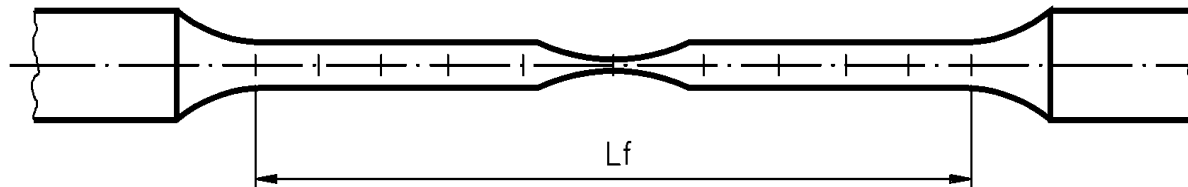
Antes da ruptura, a deformação



Alongamento



corpo de prova antes do ensaio de tração



corpo de prova depois do ensaio de tração

Alongamento

- Representado pela letra A.
- Expresso pela seguinte igualdade:

$$A = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

L_o = comprimento inicial

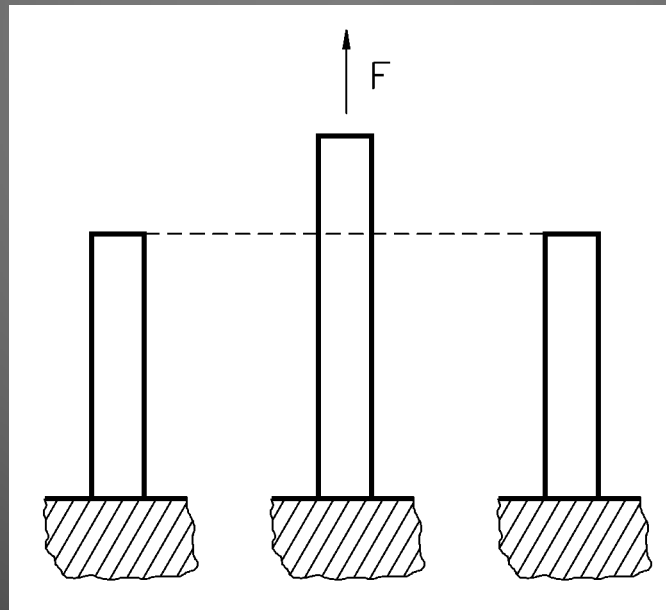
L_f = comprimento final

DEFORMAÇÕES

- Há dois tipos de deformação, que se sucedem quando o material é submetido a uma força de tração: a elástica e a plástica.

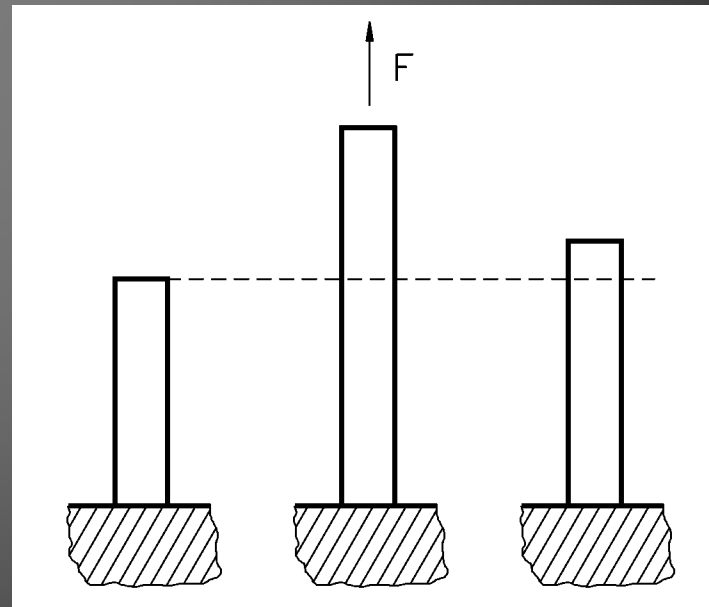
Deformação Elástica

- **Deformação elástica:** não é permanente. Uma vez cessados os esforços, o material volta à sua forma original.



Deformação Plástica

- Deformação plástica: é permanente, uma vez cessados os esforços, o material recupera a deformação elástica, mas fica com uma deformação residual plástica, não voltando mais à sua forma original.



Tensão de Tração

Tensão (T) é a relação entre uma força (F) e uma unidade de área (S):

$$T = \frac{F \text{ (N)}}{S \text{ (mm}^2\text{)}}$$

Tabela de Conversões

1 N	= 0,10 2kgf		
1 kgf	= 0,454 lb	= 9,807 N	
1 MPa	= 1N/mm ²	= 0,102 kgf/mm ²	
1 kgf/mm ²	= 1422,27 psi	= 9,807 MPa	= 9,807 N/mm ²

ENSAIO DE TRAÇÃO: PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS

- Quando o ensaio de tração é realizado num laboratório, com equipamento adequado, ele permite registrar informações importantes para o cálculo de resistência dos materiais a esforços de tração e, conseqüentemente, para projetos e cálculos de estruturas. Algumas informações são registradas durante a realização do ensaio e outras são obtidas pela análise das características do corpo de prova após o ensaio.

ENSAIO DE TRAÇÃO: PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS

- Os dados relativos às forças aplicadas e deformações sofridas pelo corpo de prova até a ruptura permitem traçar o gráfico conhecido como diagrama tensão-deformação.

DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio.

Mas o que nos interessa para a determinação das propriedades do material ensaiado é a relação entre tensão e deformação.

DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

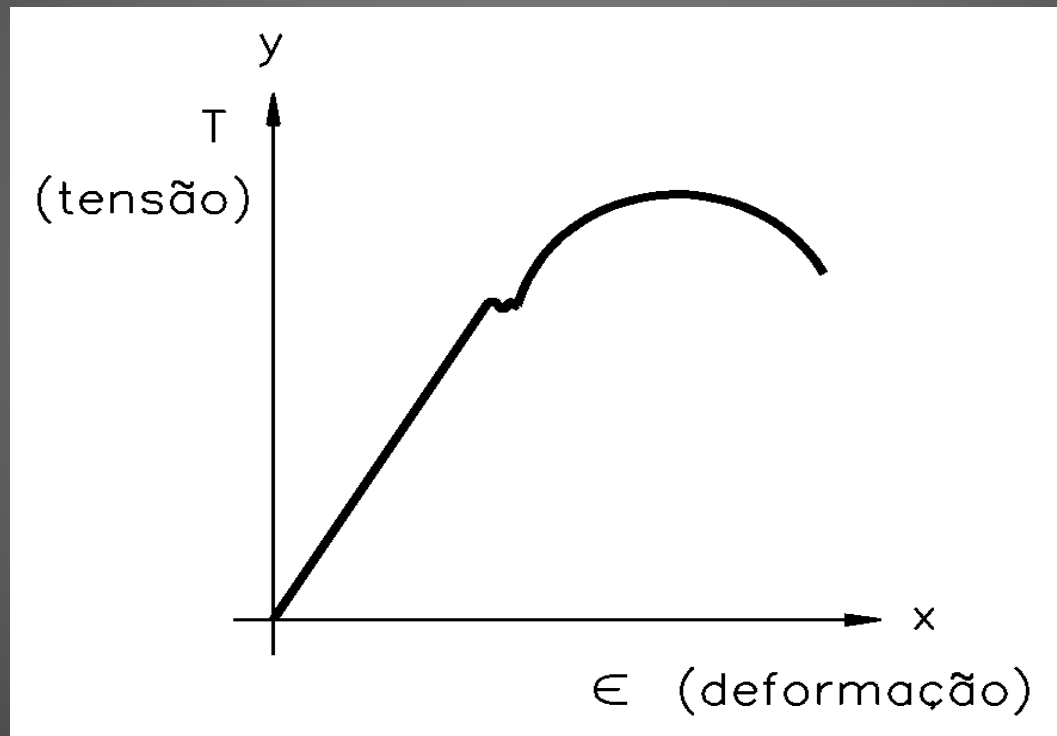


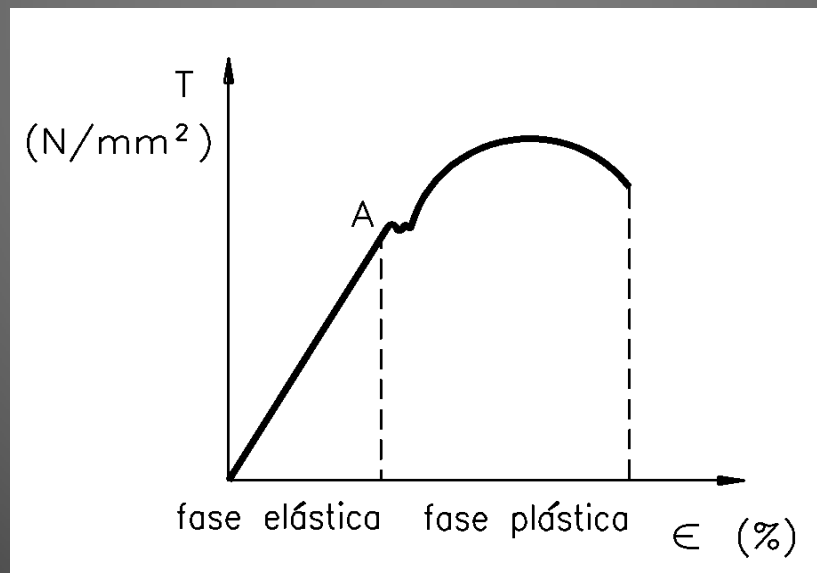
DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

Analizando o gráfico podemos ficar conhecendo algumas propriedades que o diagrama nos permite determinar.

E a primeira delas é o LIMITE ELÁSTICO.

LIMITE ELÁSTICO

Observe o diagrama a seguir. Note que foi marcado um ponto A no final da parte reta do gráfico. Este ponto representa o limite elástico.



LIMITE ELÁSTICO

O limite elástico recebe este nome porque, se o ensaio for interrompido antes deste ponto e a força de tração for retirada, o corpo volta à sua forma original, como faz um elástico.

LIMITE ELÁSTICO

Na fase elástica os metais obedecem à lei de Hooke. Suas deformações são diretamente proporcionais às tensões aplicadas.

Exemplificando: se aplicarmos uma tensão de 10 N/mm^2 e o corpo de prova se alongar $0,1\%$, ao aplicarmos uma força de 100 N/mm^2 o corpo de prova se alongará 1% .

MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na fase elástica, se dividirmos a tensão pela deformação, em qualquer ponto, obteremos sempre um valor constante.

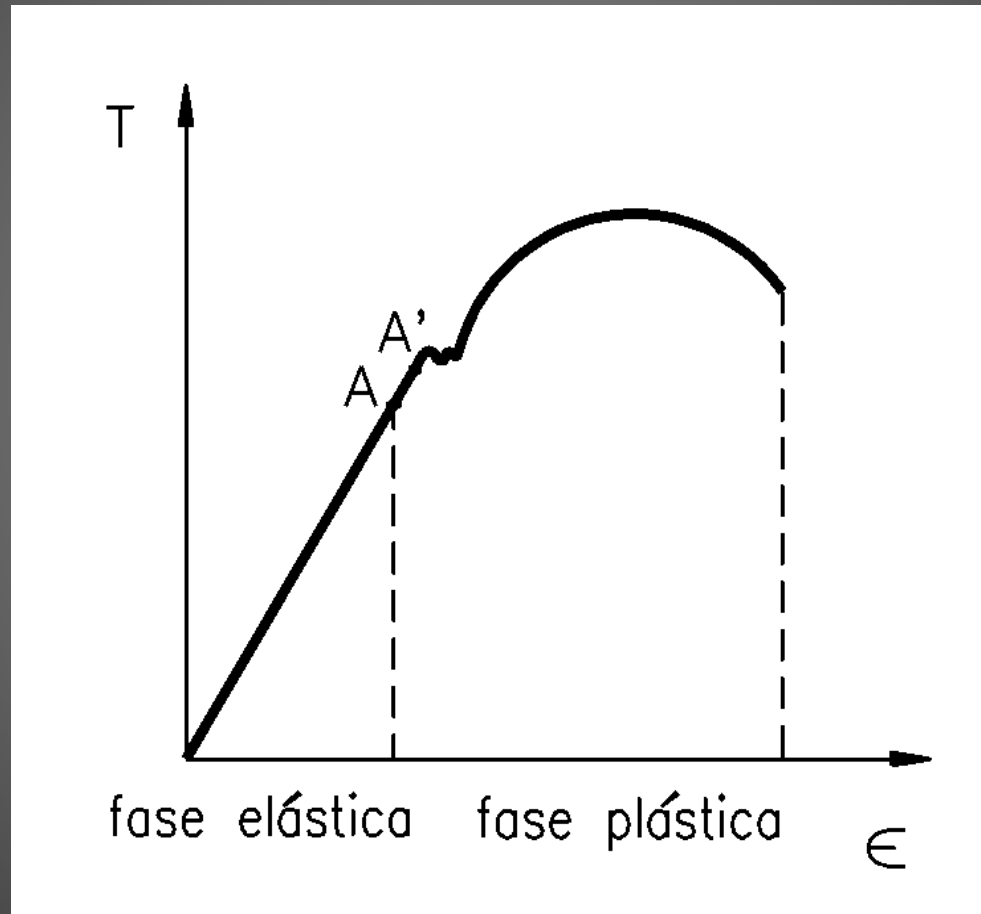
Este valor constante é chamado módulo de elasticidade. A expressão matemática dessa relação é:

$$E = \frac{T}{\varepsilon}$$

LIMITE DE PROPORCIONALIDADE

Porém, a lei de Hooke só vale até um determinado valor de tensão, denominado limite de proporcionalidade, que é o ponto representado no gráfico a seguir por A', a partir do qual a deformação deixa de ser proporcional à carga aplicada.

LIMITE DE PROPORCIONALIDADE

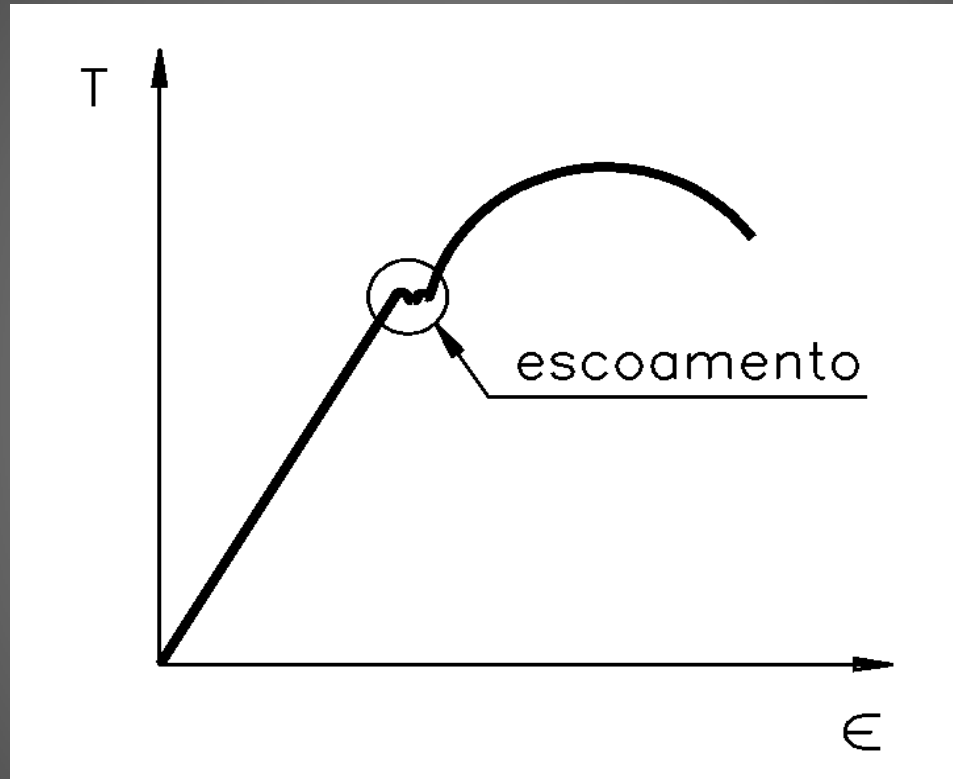


ESCOAMENTO

Terminada a fase elástica, tem início a fase plástica, na qual ocorre uma deformação permanente no material, mesmo que se retire a força de tração.

No início da fase plástica ocorre um fenômeno chamado escoamento. O escoamento caracteriza-se por uma deformação permanente do material sem que haja aumento de carga, mas com aumento da velocidade de deformação. Durante o escoamento a carga oscila entre valores muito próximos uns dos outros.

ESCOAMENTO

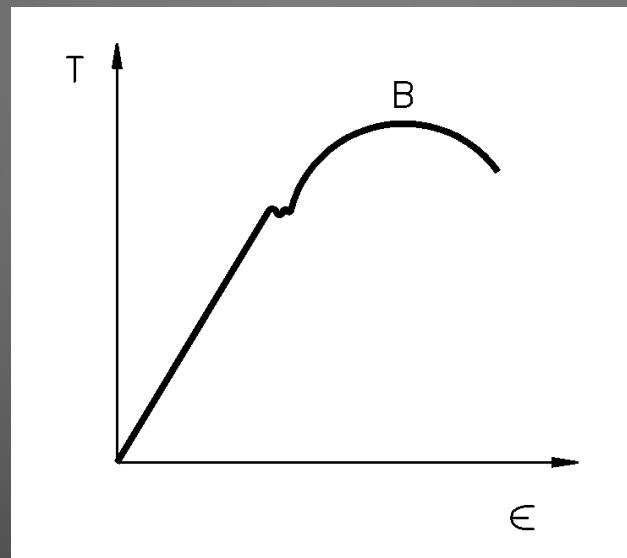


LIMITE DE RESISTÊNCIA

Após o escoamento ocorre o encruamento, que é um endurecimento causado pela quebra dos grãos que compõem o material quando deformados a frio. O material resiste cada vez mais à tração externa, exigindo uma tensão cada vez maior para se deformar.

LIMITE DE RESISTÊNCIA

Nessa fase, a tensão recomeça a subir, até atingir um valor máximo num ponto chamado de limite de resistência (B).



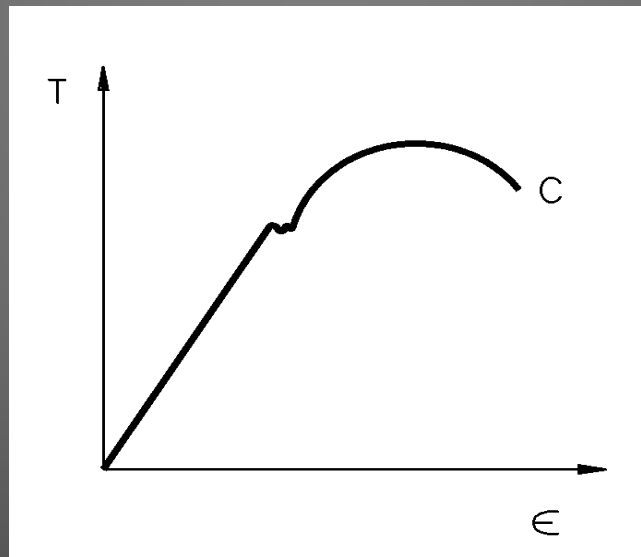
LIMITE DE RESISTÊNCIA

Para calcular o valor do limite de resistência (LR), basta aplicar a fórmula:

$$LR = \frac{F_{max}}{S_o}$$

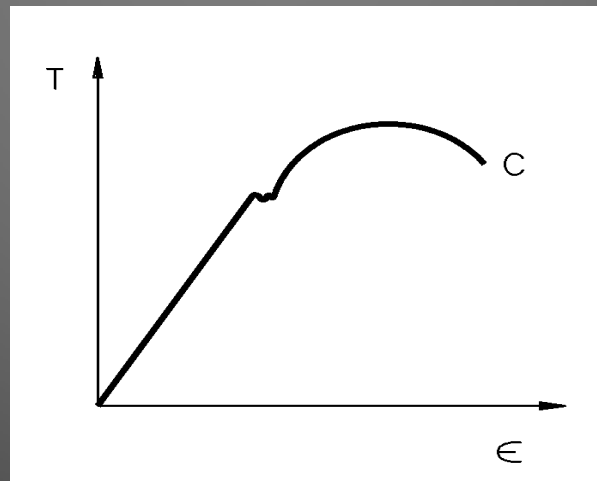
LIMITE DE RUPTURA

Continuando a tração, chega-se à ruptura do material, que ocorre num ponto chamado limite de ruptura (C).

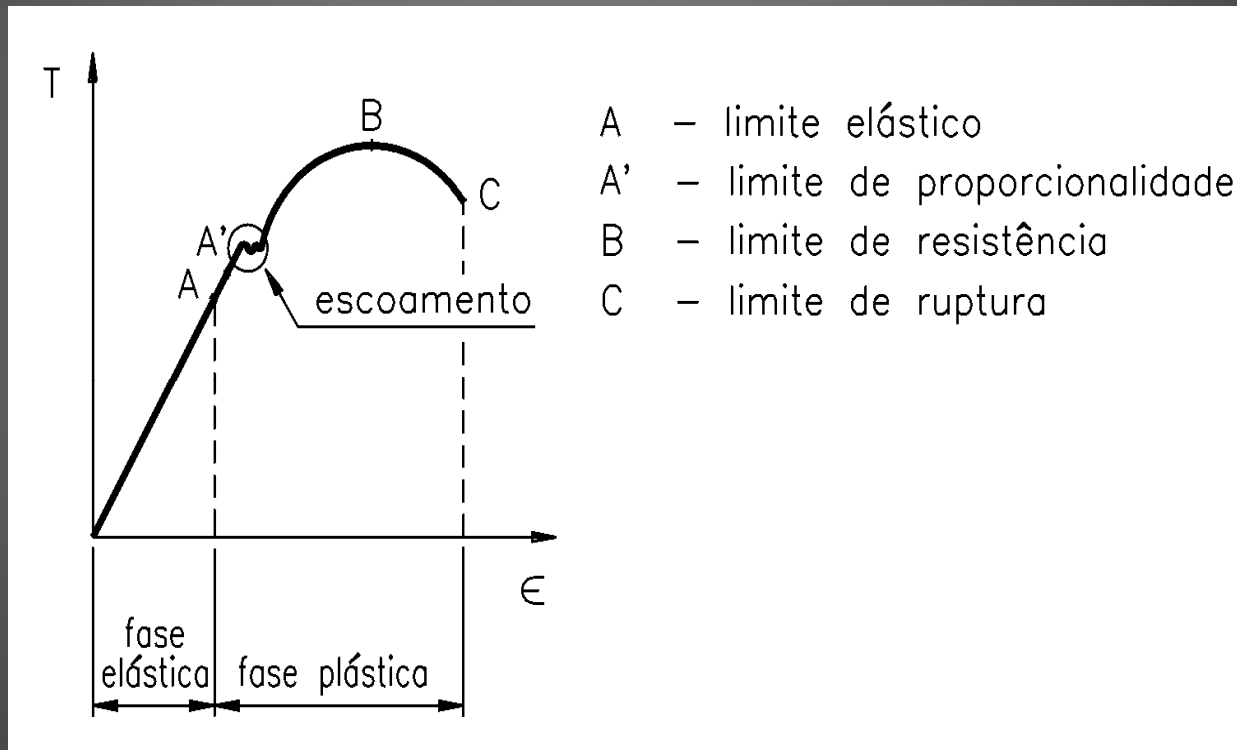


LIMITE DE RUPTURA

Note que a tensão no limite de ruptura é menor que no limite de resistência, devido à diminuição da área que ocorre no corpo de prova depois que se atinge a carga máxima.



Elementos representados num mesmo diagrama Tensão-Deformação



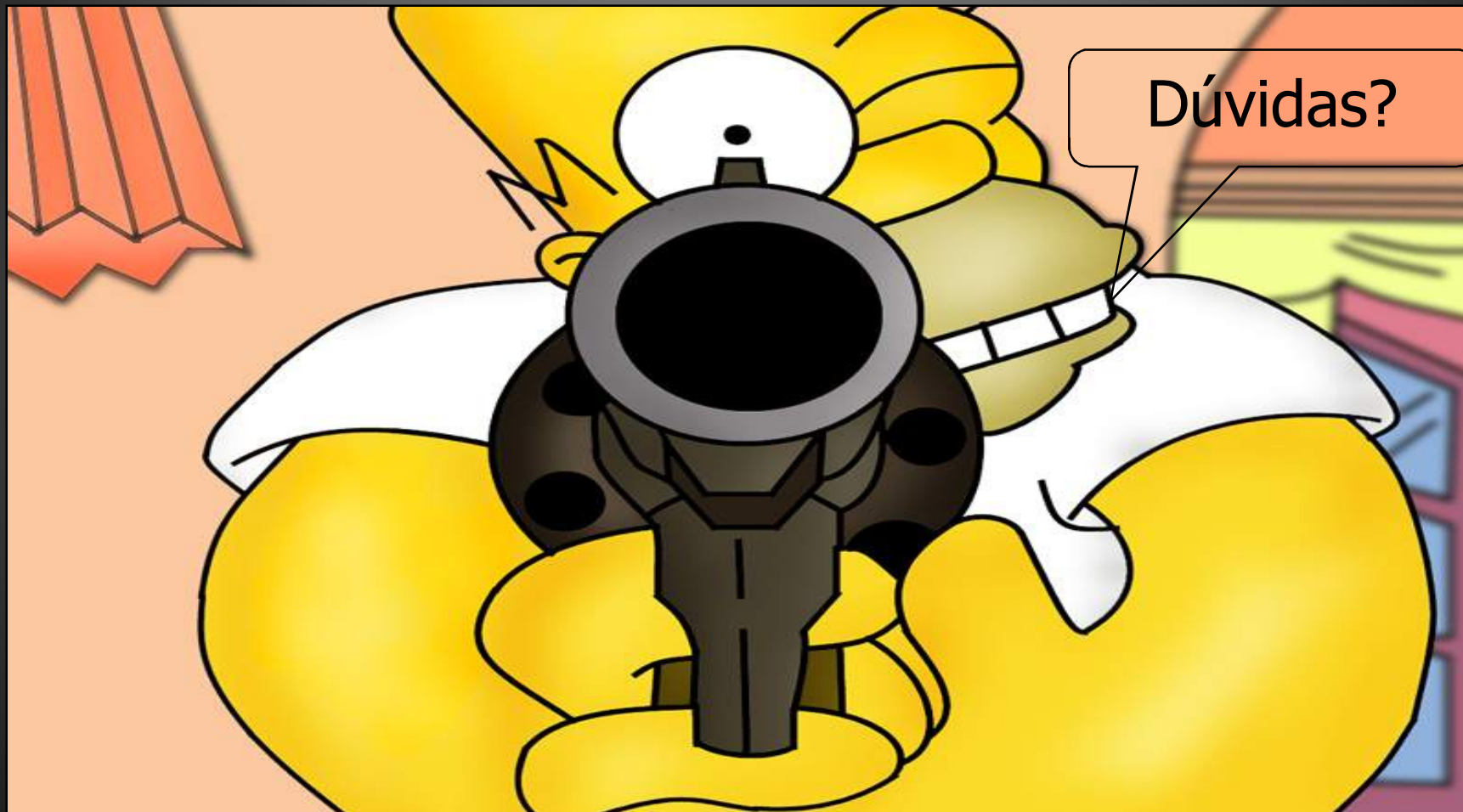
ESTRICÇÃO

É a redução percentual da área da seção transversal do corpo de prova na região onde vai se localizar a ruptura.

A estricção determina a ductilidade do material. Quanto maior for a porcentagem de estricção, mais dúctil será o material.

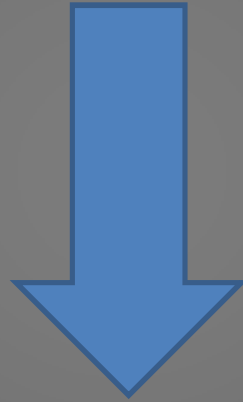
DUCTILIDADE

- A ductilidade ou ductibilidade é a propriedade física dos materiais de suportar a deformação plástica, sob a ação de cargas, sem se romper ou fraturar.
- Um material dúctil é aquele que se deforma sob uma tensão. Ouro, cobre e alumínio são metais muito dúcteis. O oposto de dúctil é frágil, quando o material se rompe sem sofrer grande deformação.



PROCEDIMENTOS NORMALIZADOS

GLOBALIZAÇÃO



NORMALIZAÇÃO

CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS

Os ensaios indicam as propriedades absolutas de um material?

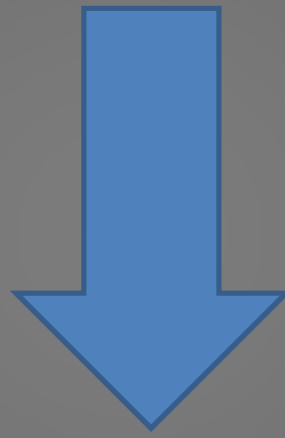
Não.

Porquê?

Não reproduzem totalmente os esforços a que uma peça é submetida.

CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS

COEFICIENTE DE SEGURANÇA



O qual leva em consideração as Incertezas

Normas técnicas voltadas para ensaios de Tração

Normas mais utilizadas são referentes à:

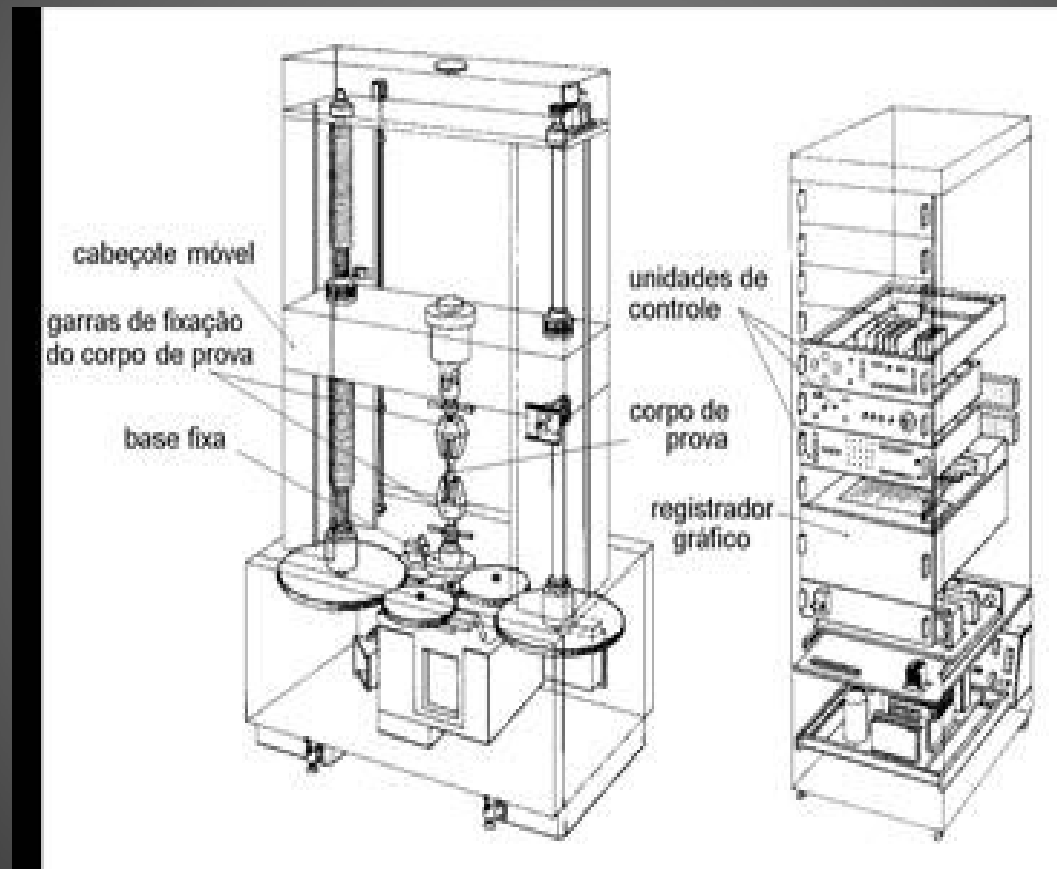
 Especificação dos materiais.

 Método de ensaio.

NORMAS MAIS UTILIZADAS PELOS LABORATÓRIOS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- DIN - Deutsches Institut für Normung
- AFNOR - Association Française de Normalisation
- BSI - British Standards Institution
- ASME - American Society of Mechanical Engineer
- ISO - International Organization for Standardization
- JIS - Japanese Industrial Standards
- SAE - Society of Automotive Engineers
- COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas

EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO



MÁQUINA UNIVERSAL

MÁQUINA UNIVERSAL



DINAMÔMETRO

- Aparelho utilizado para medir a força aplicada.



CORPO DE PROVA

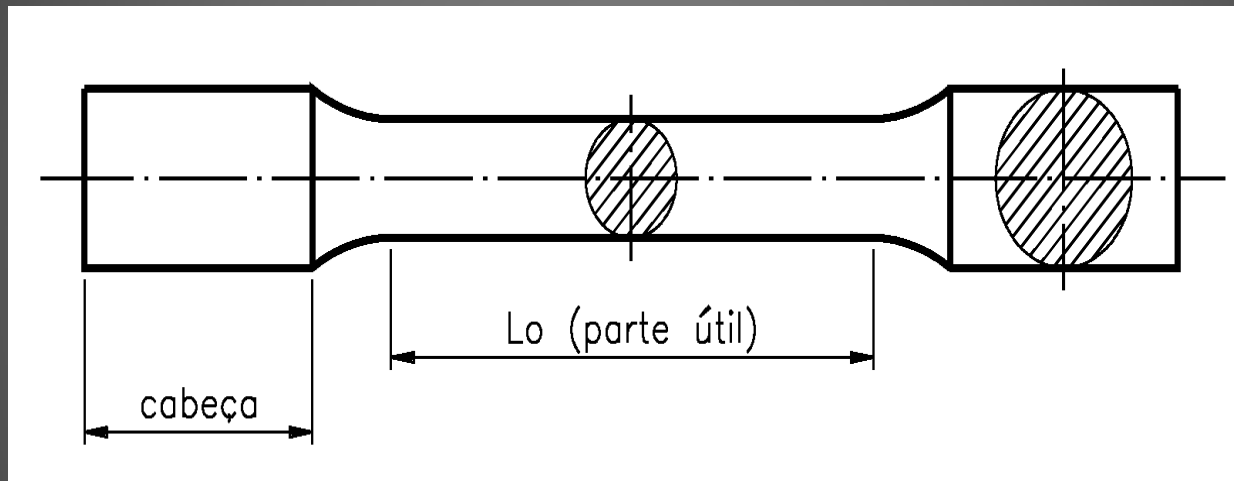


Características especificadas de acordo com normas técnicas.



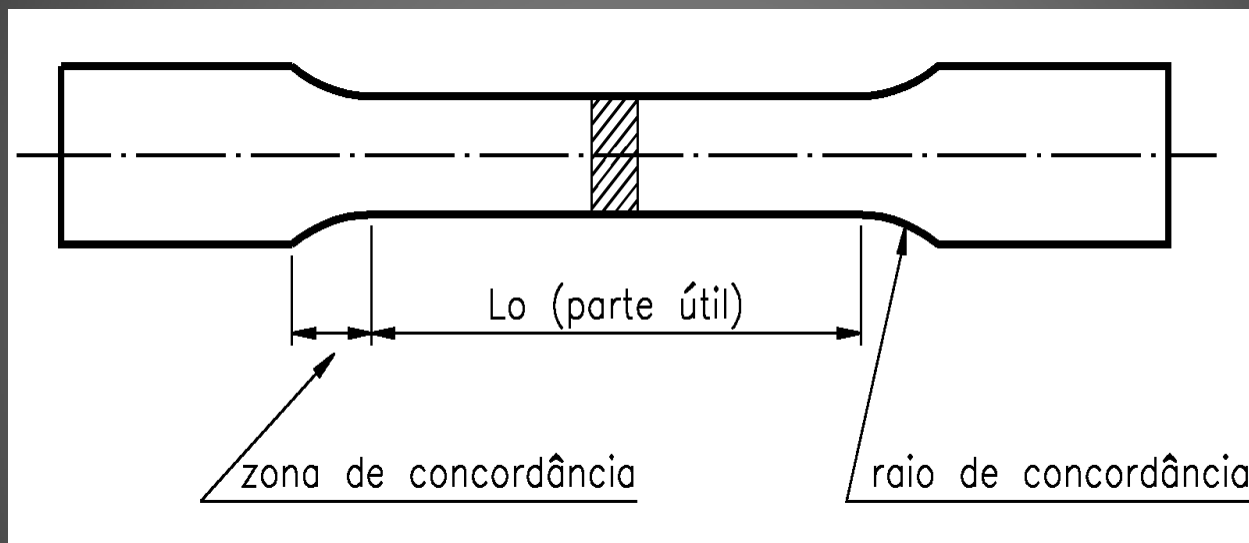
Suas dimensões devem ser adequadas à capacidade da máquina de ensaio.

TIPOS DE CORPOS DE PROVA



CORPO DE PROVA SEÇÃO CIRCULAR

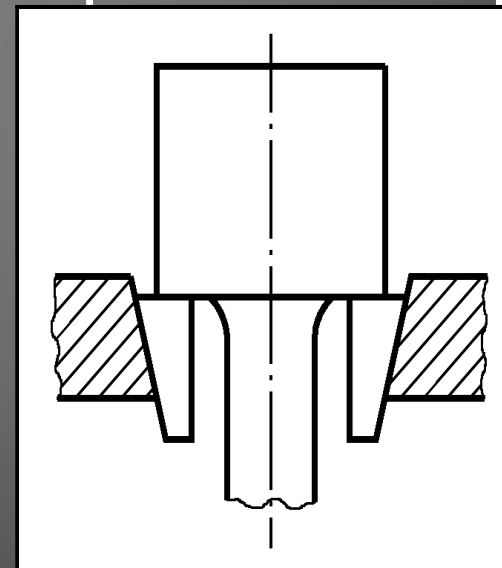
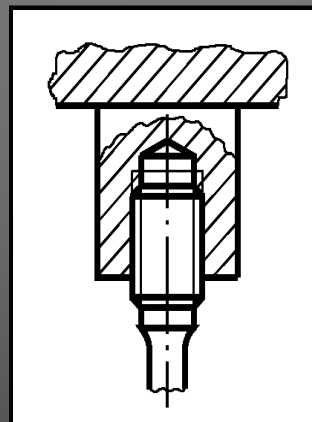
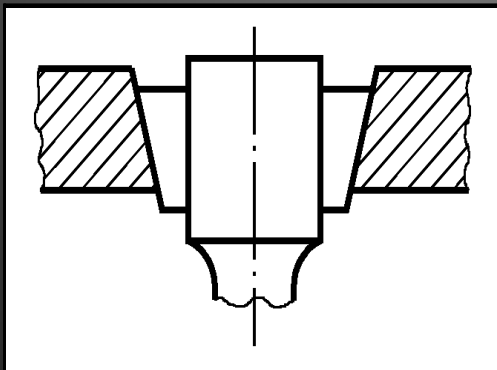
TIPOS DE CORPOS DE PROVA



CORPO DE PROVA SEÇÃO RETANGULAR

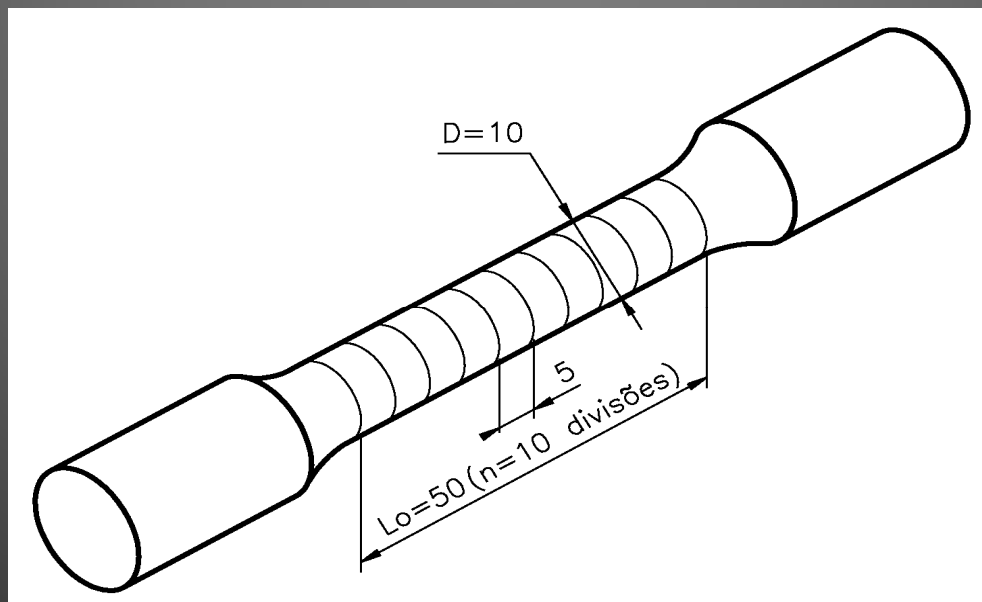
PARTES DO CORPO DE PROVA

- Parte útil – região onde são feitas as medidas das propriedades mecânicas do material.
- Cabeças – são as regiões extremas, que servem para fixar o corpo de prova à máquina.



NORMAS PARA CORPOS DE PROVA

Segundo a ABNT, o comprimento da parte útil dos corpos de prova utilizados nos ensaios de tração deve corresponder a 5 vezes o diâmetro da seção da parte útil.



NORMAS PARA CORPO DE PROVA

Por acordo internacional, sempre que possível um corpo de prova deve ter 10 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento inicial. Não sendo possível a retirada de um corpo de prova deste tipo, deve-se adotar um corpo com dimensões proporcionais a essas.

NORMAS PARA CORPOS DE PROVA

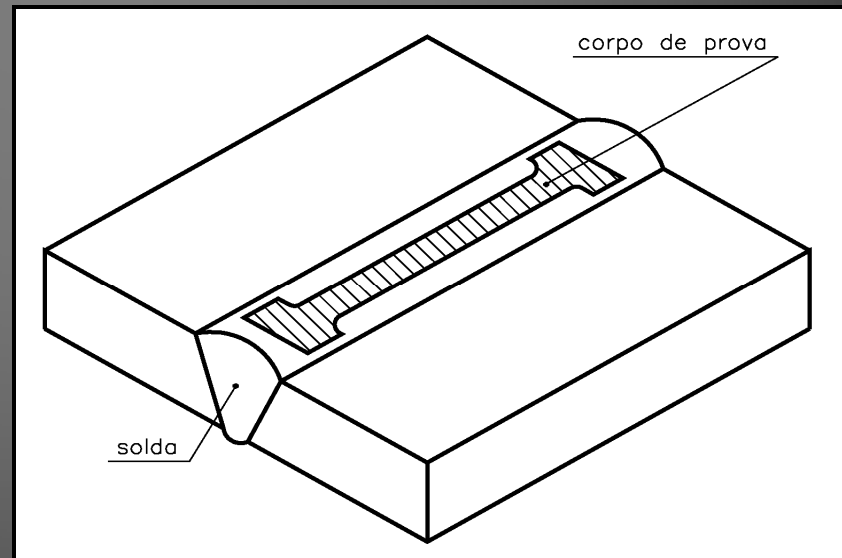
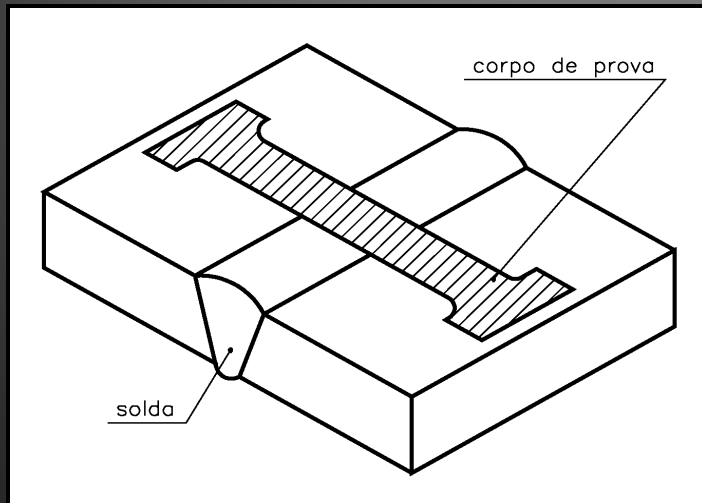
- Corpos de prova com seção retangular são geralmente retirados de placas, chapas ou lâminas. Suas dimensões e tolerâncias de usinagem são normalizadas pela ISO/R377 enquanto não existir norma brasileira correspondente.

NORMAS PARA CORPOS DE PROVA

- A norma brasileira (NBR 6152, dez./1980) somente indica que os corpos de prova devem apresentar bom acabamento de superfície e ausência de trincas.

NORMAS PARA CORPOS DE PROVA

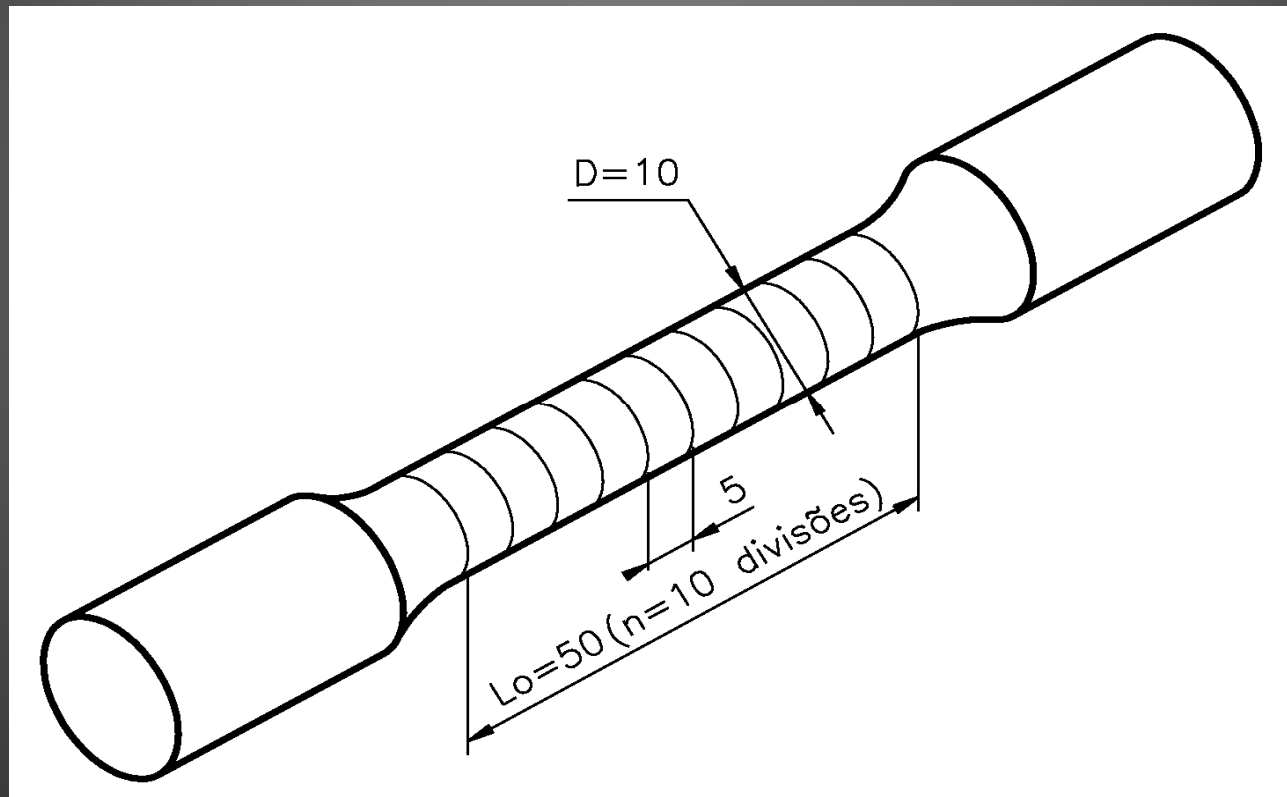
- Em materiais soldados, podem ser retirados corpos de prova com a solda no meio ou no sentido longitudinal da solda.



PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO

- 1° Passo – identificar o material do corpo de prova.
- 2° Passo - deve-se medir o diâmetro do corpo de prova em dois pontos no comprimento da parte útil, utilizando um micrômetro, e calcular a média.
- 3° Passo - Por fim, deve-se riscar o corpo de prova, isto é, traçar as divisões no comprimento útil. Num corpo de prova de 50 mm de comprimento, as marcações devem ser feitas de 5 em 5 milímetros.

PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO



ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa determinam-se as principais propriedades que podem ser obtidas no ensaio de tração.

COMO CALCULAR O ALONGAMENTO

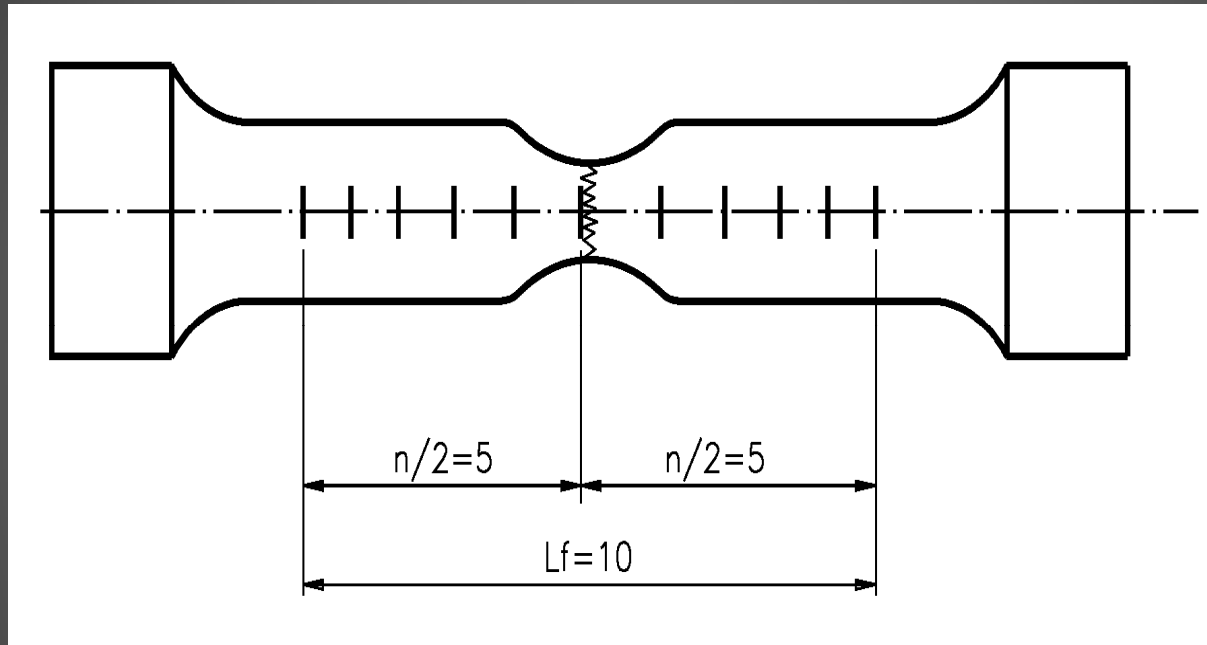
Alongamento Plástico – que define a ductilidade do material

$$A = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

COMO CALCULAR O ALONGAMENTO

- A primeira coisa a fazer é juntar, da melhor forma possível, as duas partes do corpo de prova.
- Depois, procura-se o risco mais próximo da ruptura e conta-se a metade das divisões ($n/2$) para cada lado. Mede-se então o comprimento final, que corresponde à distância entre os dois extremos dessa contagem.

COMO CALCULAR O ALONGAMENTO



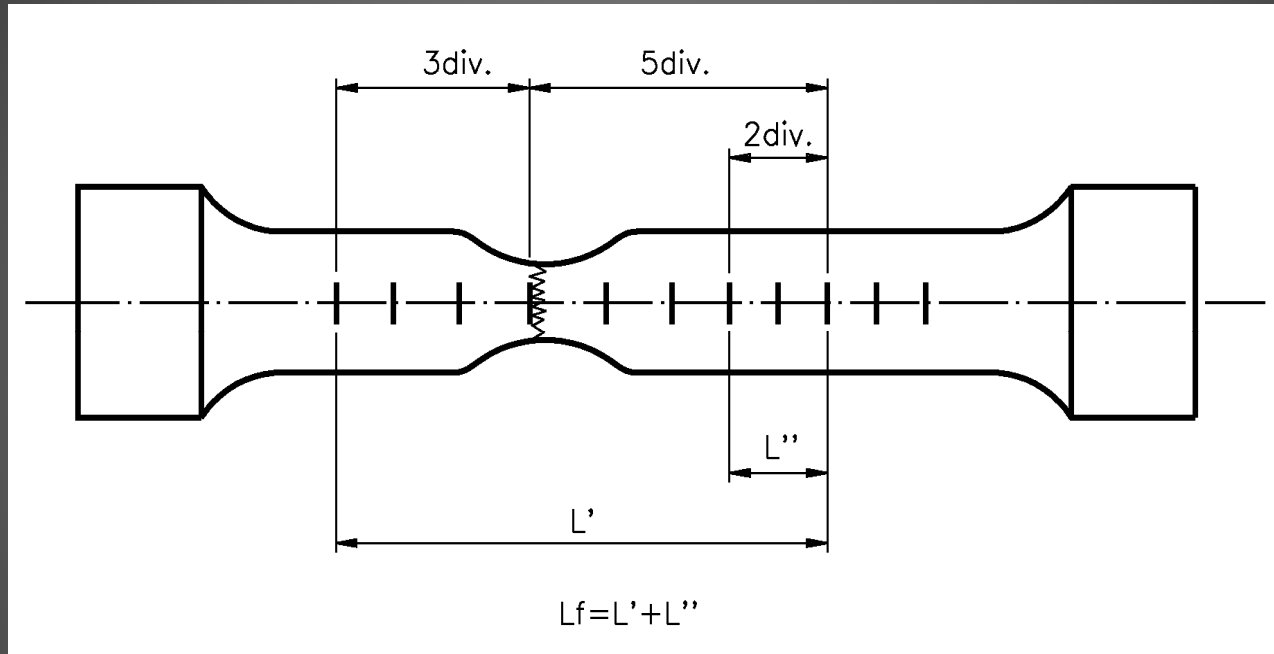
Este é o método para determinar o comprimento final quando a ruptura ocorre no centro da parte útil do corpo de prova.

COMO CALCULAR O ALONGAMENTO

Se a ruptura ocorrer fora do centro, de modo a não permitir a contagem de $n/2$ divisões de cada lado, deve-se adotar o seguinte procedimento normalizado:

- Toma-se o risco mais próximo da ruptura.
- Conta-se $n/2$ divisões de um dos lados.
- Acrescentam-se ao comprimento do lado oposto quantas divisões forem necessárias para completar as $n/2$ divisões.
- A medida de L_f será a somatória de $L' + L''$

COMO CALCULAR O ALONGAMENTO



Este é o método para determinar o comprimento final quando a ruptura não ocorre no centro da parte útil do corpo de prova.

DETERMINAÇÃO DO LIMITE ELÁSTICO OU DE PROPORCIONALIDADE

O limite elástico é a máxima tensão que uma peça pode ser submetida? Por que?

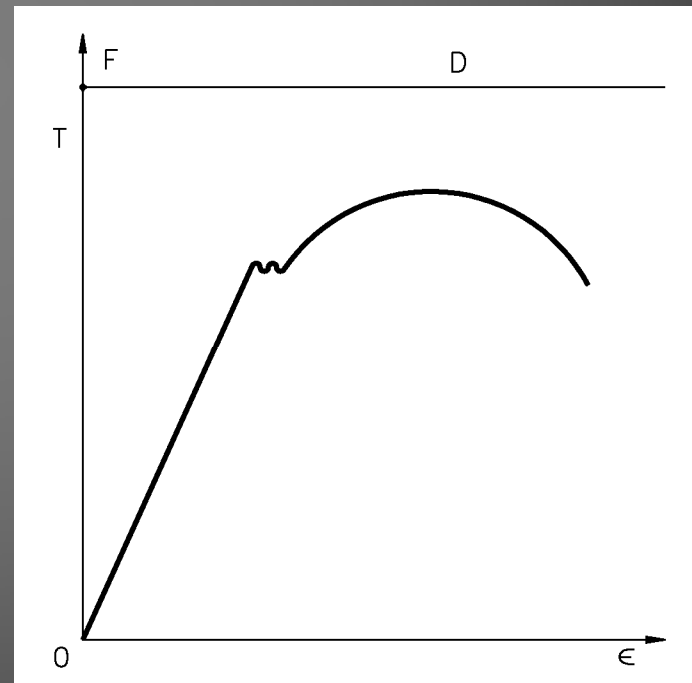
R = Sim. Porque a partir desse ponto a deformação é permanente

LIMIT ELÁSTICO

Ficou conhecido como Limite Jhonson.

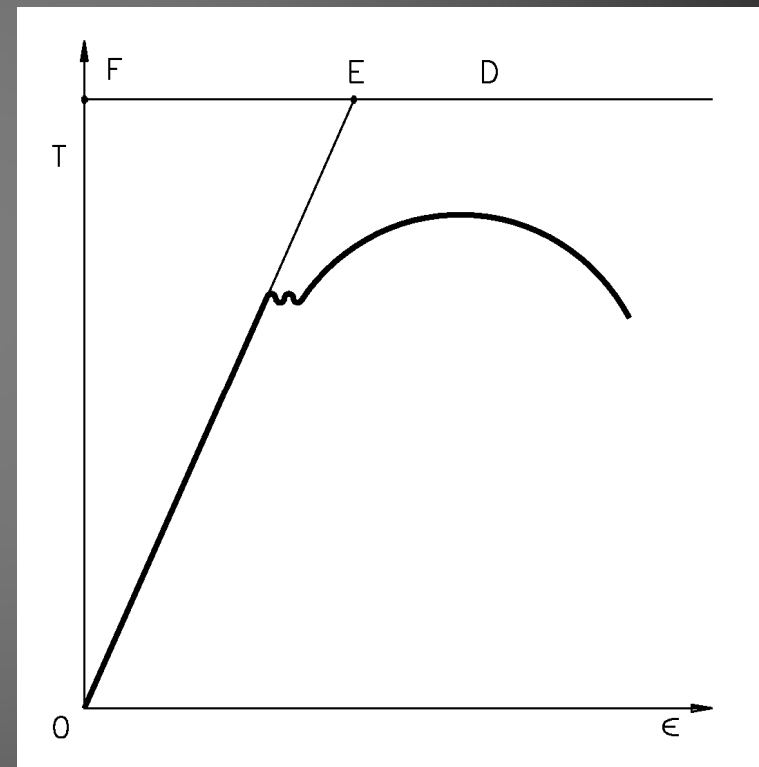
Vamos determinar o Limite Jhonson na prática:

Trace uma reta perpendicular ao eixo das tensões, fora da região da curva tensão-deformação (F-D).



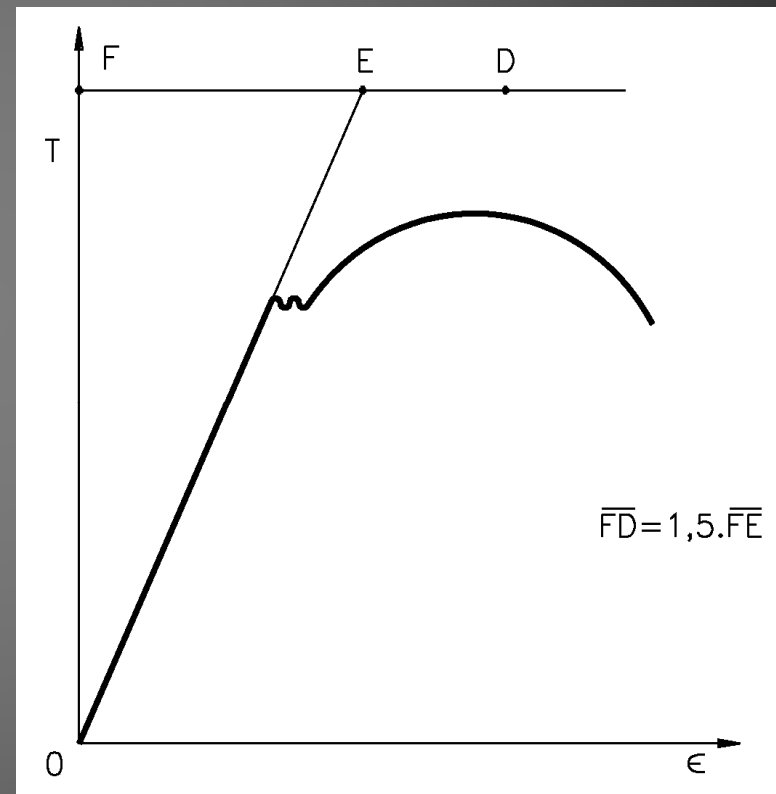
LIMIT ELÁSTICO

Prolongue a reta da zona elástica, a partir do ponto O, até que ela corte a reta FD no ponto E.



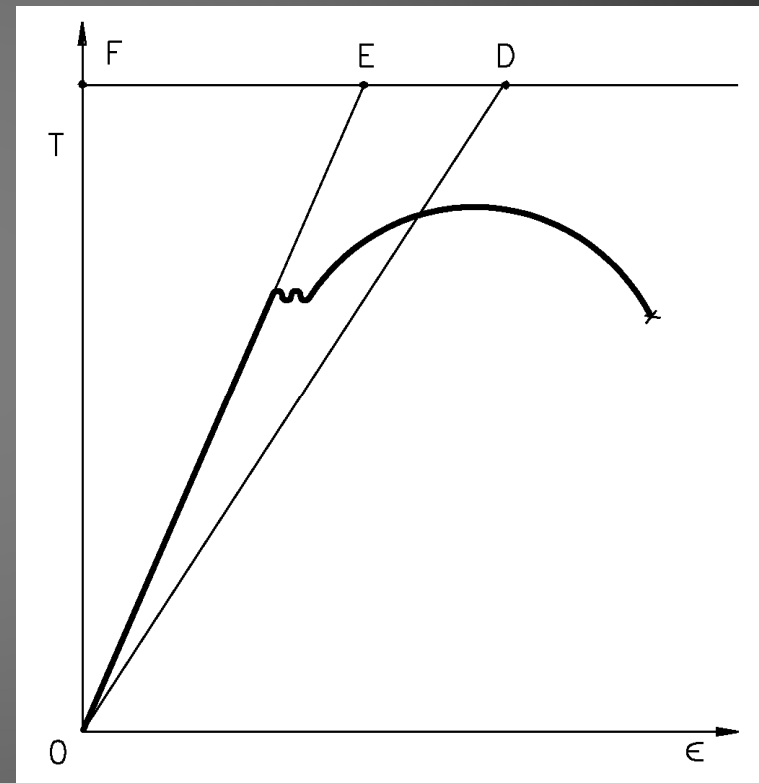
LIMIT ELÁSTICO

Remarque o ponto D de modo que a medida do segmento FD seja igual a uma vez e meia o segmento FE.



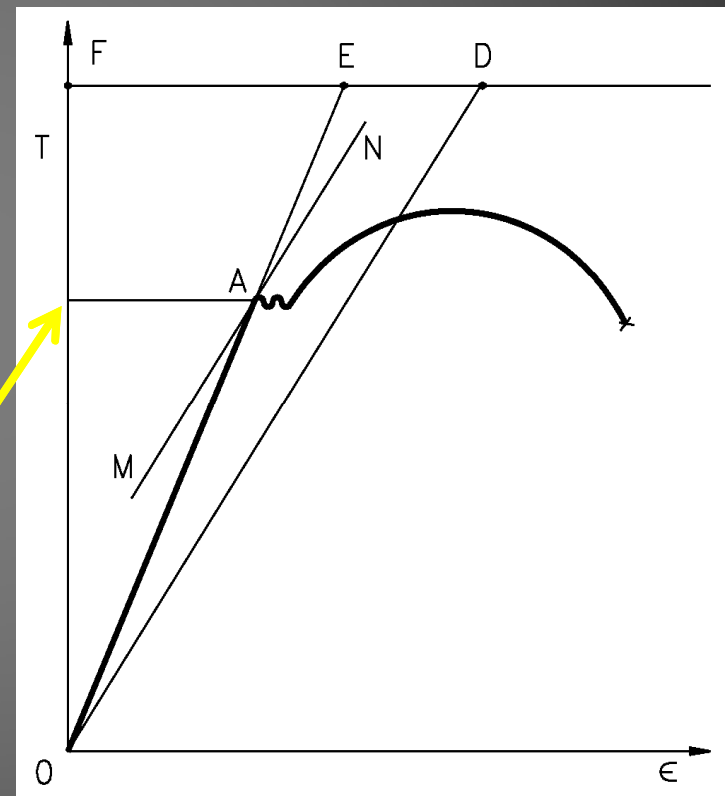
LIMIT ELÁSTICO

Trace a reta OD.



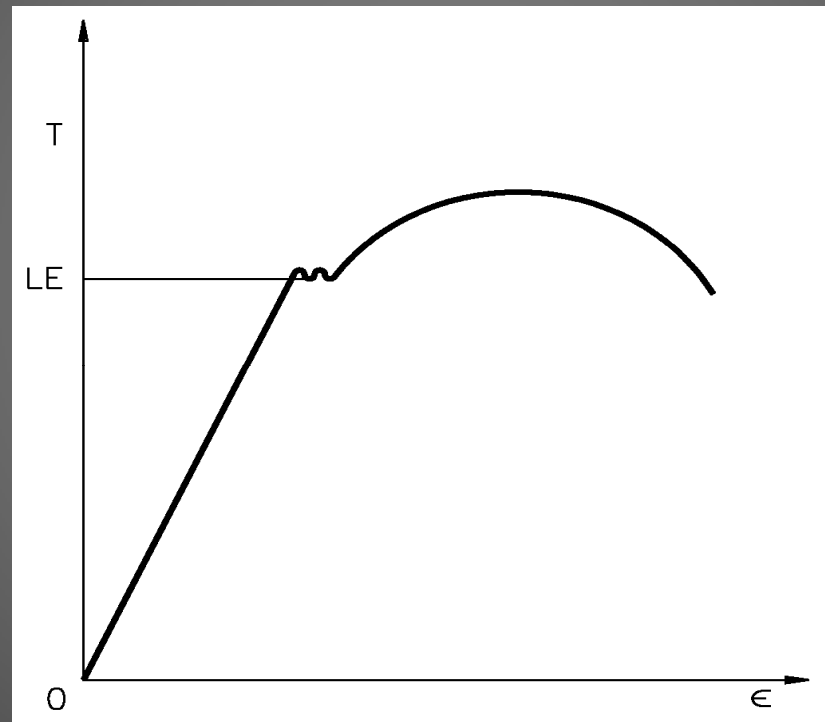
LIMIT ELÁSTICO

Trace a reta MN
paralela a OD,
tangenciando a curva
tensão-deformação.



O limite Johnson é o valor de tensão do ponto tangencial (A).

LIMITE DE ESCOAMENTO: valores convencionais



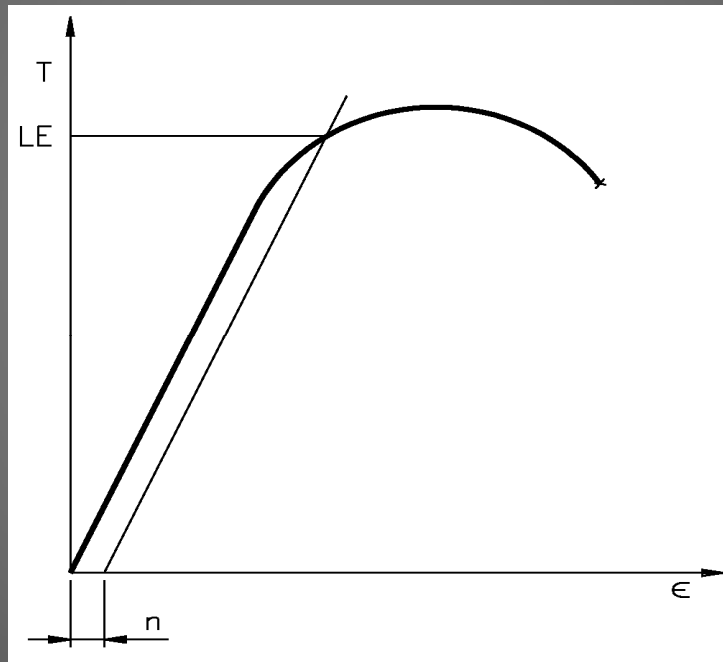
LIMITE DE ESCOAMENTO: valores convencionais

Vários metais não apresentam escoamento, e mesmo nas ligas em que ocorre ele não pode ser observado, na maioria dos casos, porque acontece muito rápido e não é possível detectá-lo. Por essas razões, foram convencionados alguns valores para determinar este limite. O valor convencionado (n) corresponde a um alongamento percentual.

Os valores de uso mais freqüente são:

- $n = 0,2\%$, para metais e ligas metálicas em geral;
- $n = 0,1\%$, para aços ou ligas não ferrosas mais duras;
- $n = 0,01\%$, para aços-mola.

LIMITE DE ESCOAMENTO: valores convencionais



TENSÃO NO LIMITE DE RESISTÊNCIA

Este valor de tensão é utilizado para a especificação dos materiais nas normas, pois é o único resultado preciso que se pode obter no ensaio de tração e é utilizado como base de cálculo de todas as outras tensões determinadas neste ensaio.

DIFICULDADES COM A TENSÃO DE RUPTURA

É difícil determinar com precisão o limite de ruptura, pois não há forma de parar o ponteiro da força no instante exato da ruptura. Além disso, o limite de ruptura não serve para caracterizar o material, pois quanto mais dúctil ele é, mais se deforma antes de romper-se.

CALCULANDO A ESTRICÇÃO

A estrição também é uma medida da ductilidade do material. É representada pela letra Z, e calculada pela seguinte fórmula:

$$Z = \frac{S_o - S_f}{S_o}$$

onde S_o é a área de seção transversal inicial e S_f a área de seção final, conhecida pela medição da região fraturada.

Visto: