



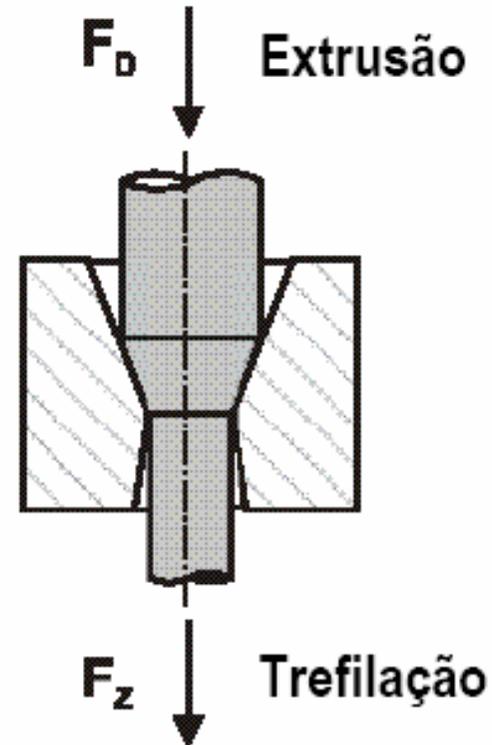
# PROCESSO DE TREFILAÇÃO

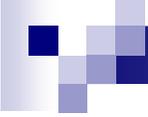
# TREFILAÇÃO E EXTRUSÃO

Com ambos os processos podem tanto ser produzidas tarugos como peças acabadas.

Processos destinados à produção de barras de perfil constante, sendo esse perfil definido pela forma da abertura da ferramenta por onde o material escoa, impulsionado por uma força que pode ser:

- Tração, no caso da trefilação, ou
- Compressão, no caso da extrusão





# TREFILAÇÃO

## O QUE É?

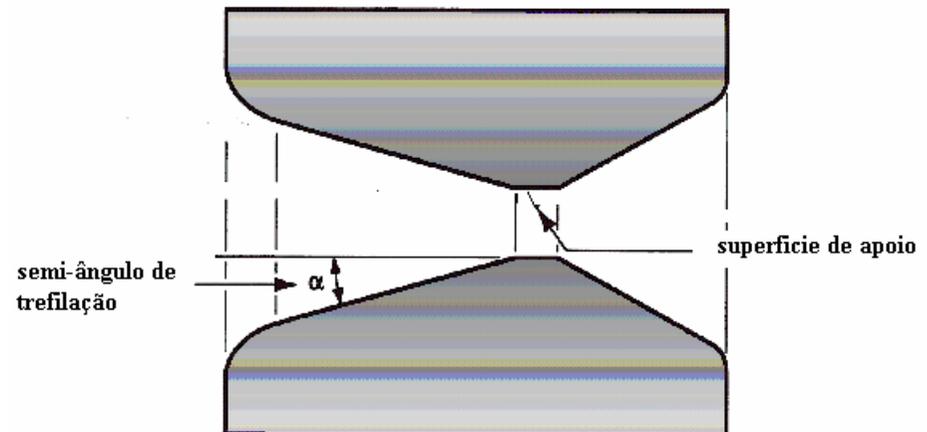
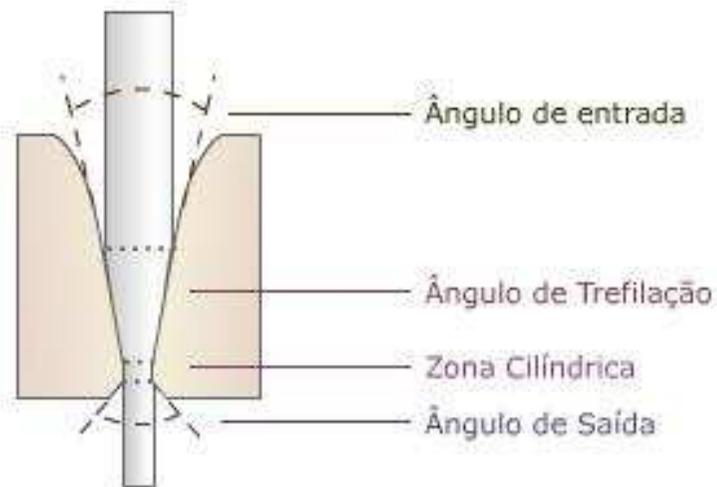
A trefilação é uma operação em que a matéria-prima é estirada através de uma matriz em forma de canal convergente (FIEIRA ou TREFILA) por meio de uma força tracionadora aplicada do lado de saída da matriz.

O escoamento plástico é produzido pela combinação da força tracionadora com as forças compressivas provenientes da reação da matriz sobre o material.

## DISPOSITIVO BÁSICO: A FIEIRA

A fieira é o dispositivo básico da trefilação, e compõe todos os equipamentos trefiladores. Sua geometria é dividida em quatro zonas:

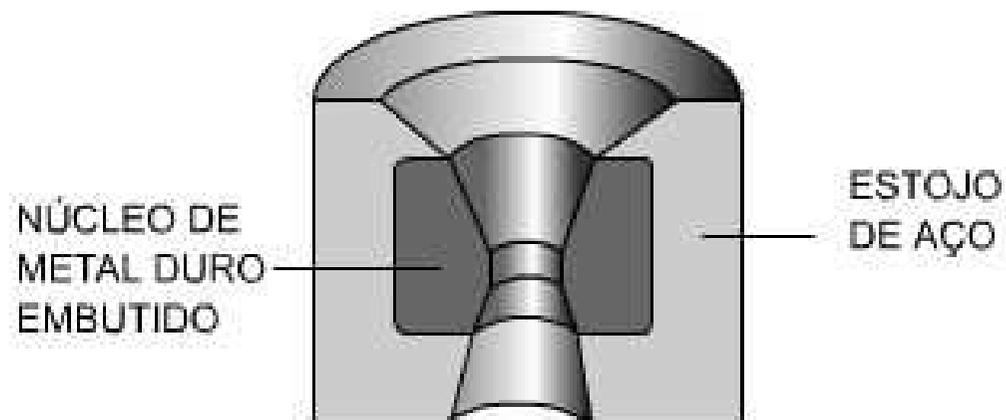
- de entrada
- de redução ( $\alpha$  = semi-ângulo de trefilação)
- de calibração (zona cilíndrica)
- de saída



## MATERIAL DA FIEIRA:

O material é escolhido conforme as exigências do processo (dimensões, esforços) e o material a ser trefilado. Os materiais mais utilizados são:

- ❑ Carbonetos sinterizados (sobretudo WC – Widia)
- ❑ Aços de alto C revestidos de Cr (cromagem dura)
- ❑ Aços especiais (Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-W, etc.)
- ❑ Ferro fundido branco
- ❑ Cerâmicos (pós de óxidos metálicos sinterizados)
- ❑ Diamante (p/ fios finos ou de ligas duras)



## PRODUTOS MAIS COMUNS

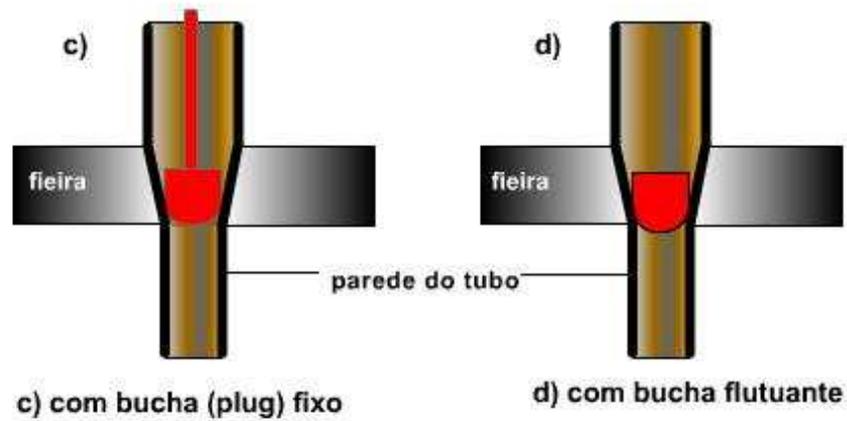
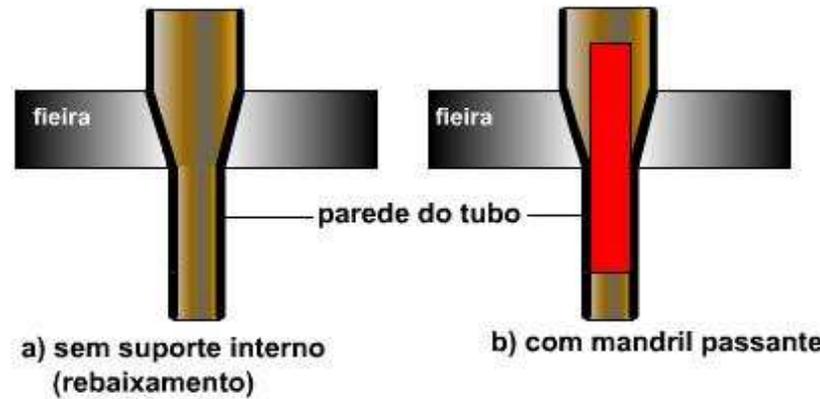
Barras	$\varnothing < 25\text{mm}$	
Arames	Comuns	Grossos: $\varnothing = 5...25\text{mm}$
		Médios: $\varnothing = 1,6...5,0\text{mm}$
		Finos: $\varnothing = 0,7...1,6\text{mm}$
	Especiais	$\varnothing < 0,02\text{mm}$
Tubos	Trefilados de diferentes formas	



## VANTAGENS

- O material pode ser estirado e reduzido em secção transversal mais do que com qualquer outro processo;
- A precisão dimensional obtida é maior do que em qualquer outro processo exceto a laminação a frio, que não é aplicável às bitolas comuns de arames;
- A superfície produzida é uniformemente limpa e polida;
- O processo influi nas propriedades mecânicas do material, permitindo, em combinação com um tratamento térmico adequado, a obtenção de uma gama variada de propriedades com a mesma composição química.

## MÉTODOS DE TREFILAÇÃO DE TUBOS



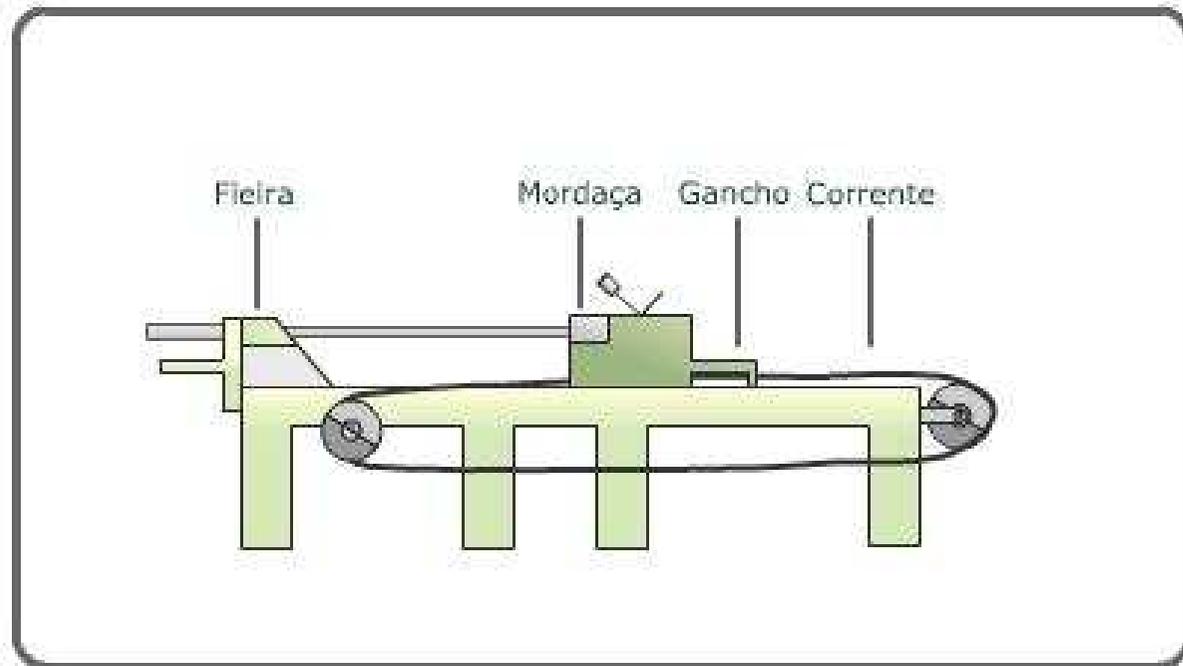
## EQUIPAMENTOS

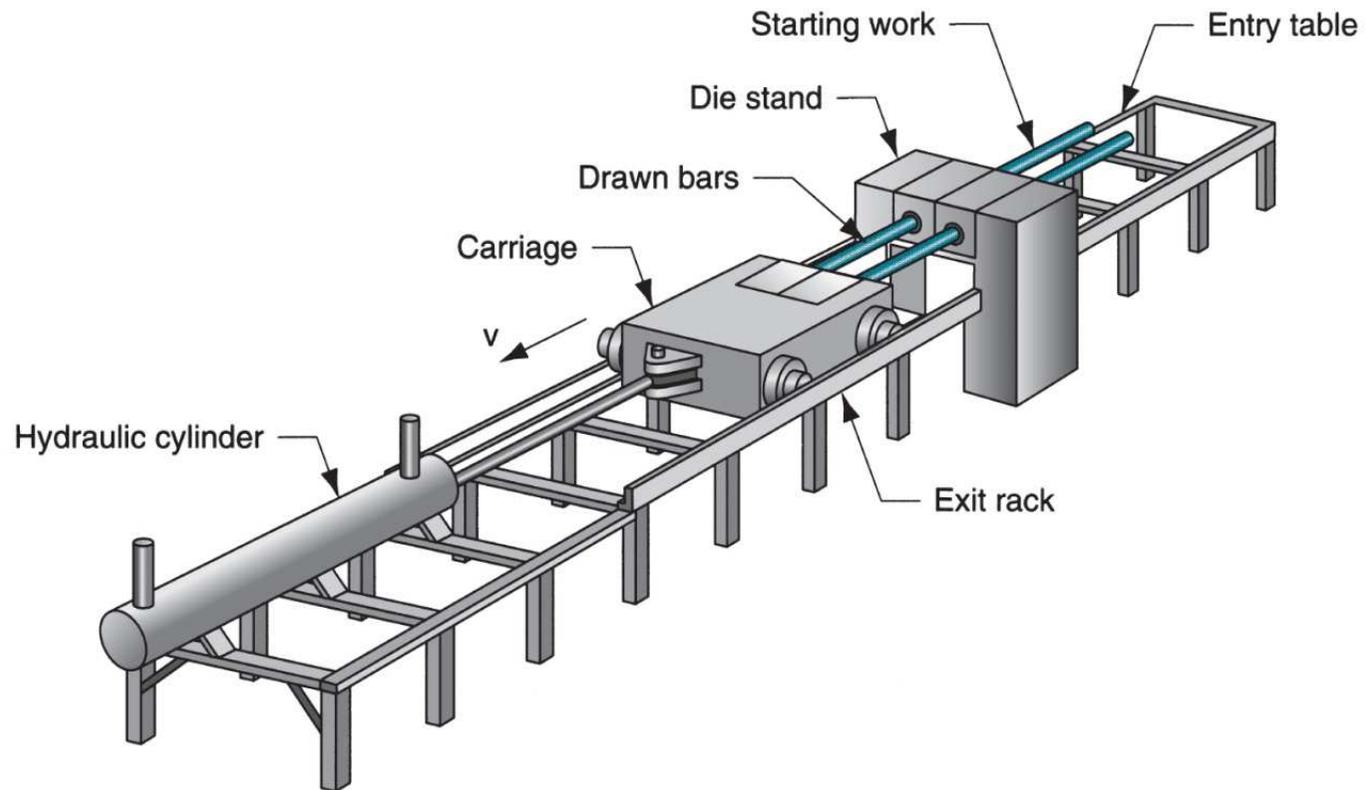
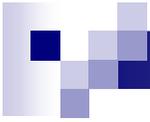
Classificam-se em dois grupos:

- BANCADAS DE TREFILAÇÃO – Utilizadas para produção de componentes não bobináveis, como barras e tubos.
- TREFILADORAS DE TAMBOR – Utilizadas para produção de componentes bobináveis, ou seja, fios e arames.

### BANCADA DE TREFILAÇÃO

Na figura ao lado pode-se observar o aspecto esquemático de uma bancada de trefilação, com os respectivos componentes.

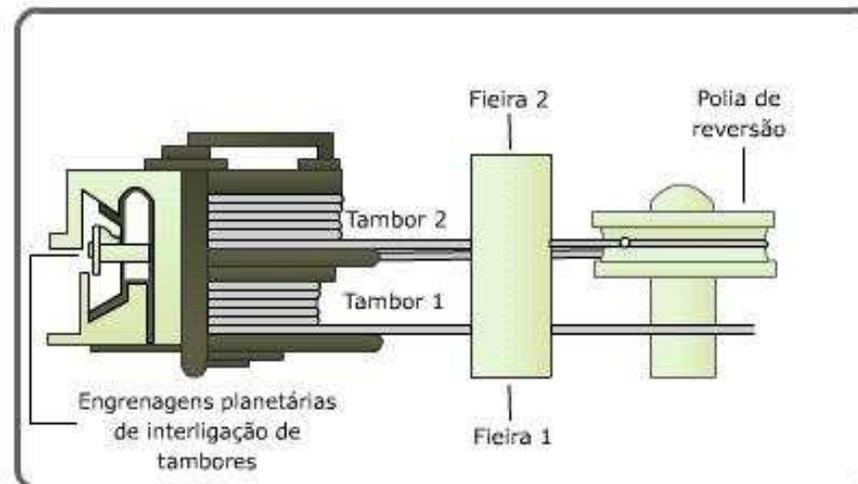
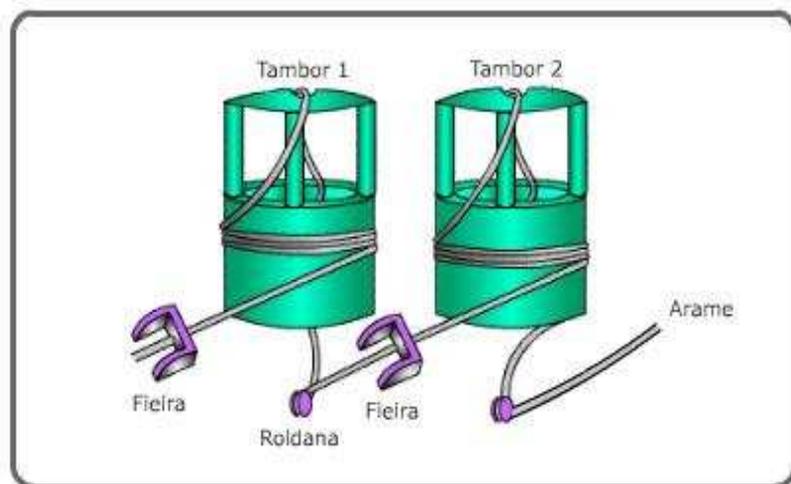




## TREFILADORAS DE TAMBOR

Classificam-se em três grupos:

- Simples (um só tambor) – Para arames grossos
- Duplas – Para arames médios
- Múltiplas (contínuas) – Para arames médios e finos



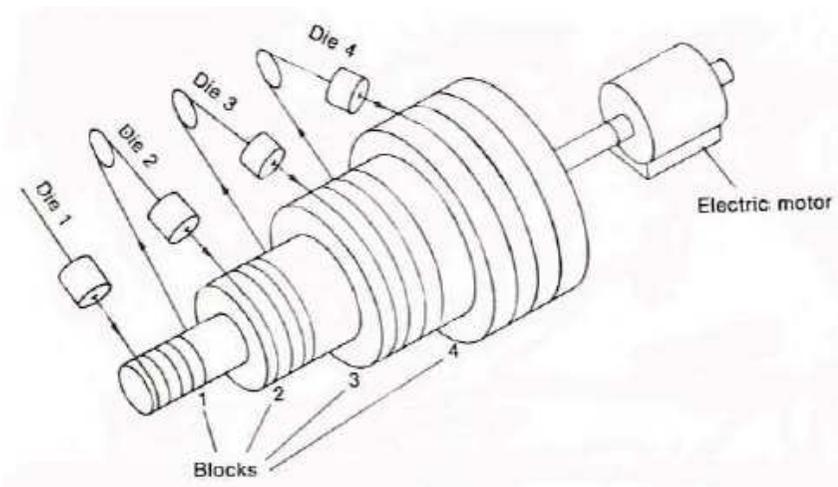
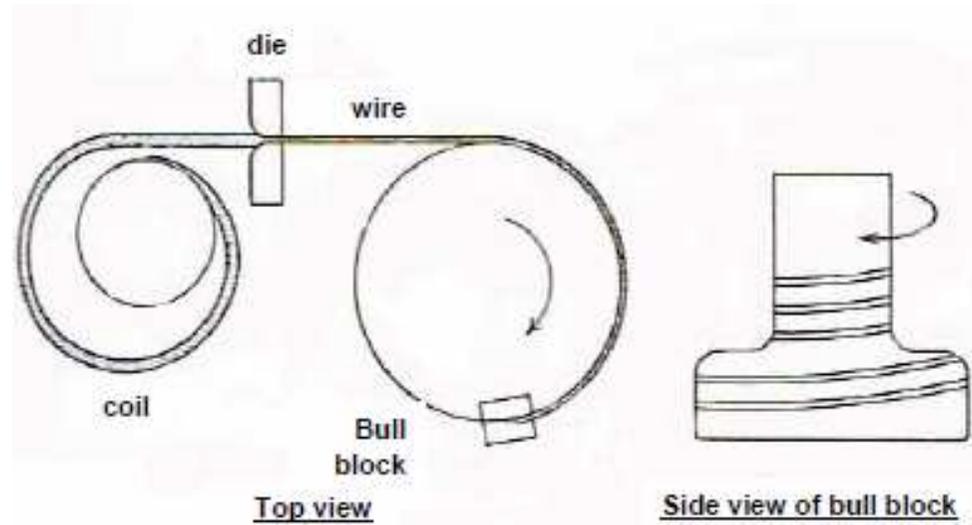
## MÁQUINA DE TREFILAÇÃO CONTINUA DE FIOS PESADOS

Os elementos das máquinas de trefilação dependem das características de cada máquina. Existem entretanto componentes básicos que usualmente sempre estão presentes nas trefiladoras. Eles são:

- Carretel alimentador
- Porta-fieira
- Garra ou mordaza para puxar a primeira porção do arame
- Tambor para enrolar o arame trefilado



# Máquinas Rotativas





## O PROCESSO PRODUTIVO

- Matéria-prima: Fio-máquina (vergalhão laminado a quente)
- Descarepação:
  - Mecânica (descascamento), dobramento e escovamento.
  - Química (decapagem): com HCl ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluídos.
- Lavagem: em água corrente.
- Recobrimento: comumente por imersão em leite de cal Ca(OH)<sub>2</sub> a 100°C a fim de neutralizar resíduos de ácido, proteger a superfície do arame, e servir de suporte para o lubrificante de trefilação.
- Secagem (em estufa) - Também remove H<sub>2</sub> dissolvido na superfície do material.
- Trefilação - Primeiros passes a seco. Eventualmente: recobrimento com Cu ou Sn e trefilação a úmido.



## TRATAMENTO TÉRMICO DE FIOS TREFILADOS

- RECOZIMENTO:
  - Indicação: principalmente para arames de baixo carbono  
Tipo: subcrítico, entre 550 a 650°C  
Objetivo: remover efeitos do encruamento.
- PATENTEAMENTO:
  - Indicação: aços de médio a alto carbono ( $C > 0,25\%$ )  
Tipo: aquecimento acima da temperatura crítica (região g) seguido de resfriamento controlado, ao ar ou em banho de chumbo mantido entre 450 e 550°C. A seguir, encruamento em trefila .  
Objetivo: obter uma boa combinação de resistência e ductilidade, pela estrutura resultante de perlita fina ou bainita encruadas.

## PRODUTOS TREFILADOS: FIOS DE AÇO



# PRODUTOS TREFILADOS: CONDUTORES ELÉTRICOS



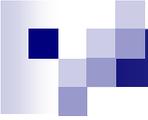
# PRODUTOS TREFILADOS:

TUBOS



MICROTUBOS





# Parâmetros de Trefilação

- Os mais importantes são:

- Quantidade de redução ( $r$ )

- $A$  = seção final

- $A_0$  = seção inicial

- semi-ângulo de trefilação ( $\alpha$ )

- Lubrificação

- propriedades mecânicas do arame antes, durante e após redução

$$r = \left( 1 - \frac{A}{A_0} \right) \times 100$$

Tensão efetiva  $(\bar{\sigma}, \sigma_{eff})$  Deformação efetiva  $(\bar{\epsilon}, \epsilon_{eff})$

São grandezas equivalentes para o estado de tensão e deformação e que tem efeito em relação ao escoamento.

$$\Rightarrow \bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2}$$

$$\Rightarrow d\bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} (d\epsilon_1^2 + d\epsilon_2^2 + d\epsilon_3^2)}$$

Na zona plástica o volume é constante

$$d\epsilon_1 + d\epsilon_2 + d\epsilon_3 = 0$$

- 
- Região plástica da curva tensão-deformação real é de maior interesse porque refere-se a um material deformado plasticamente
  - Na região plástica, o comportamento do metal é representado pela curva de fluxo:

$$\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$$

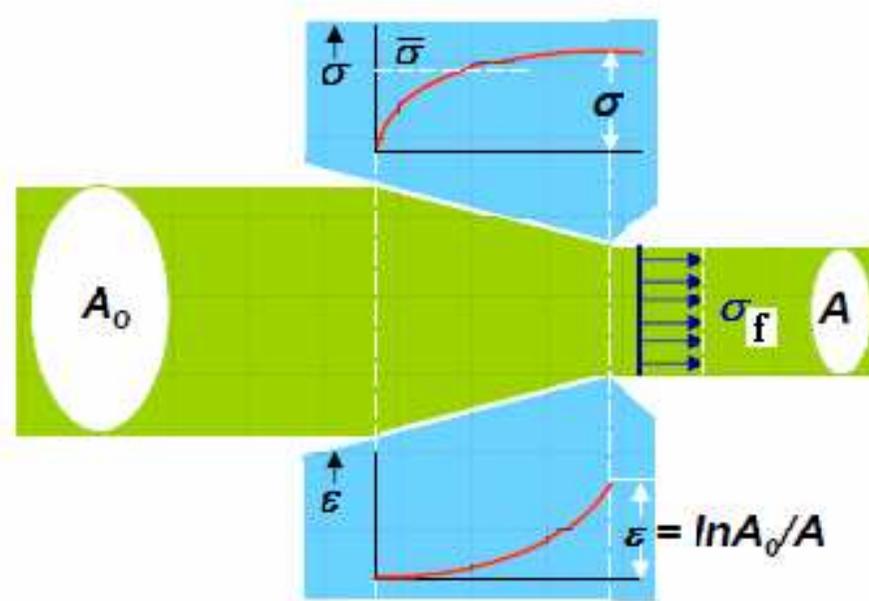
em que  $K$  = coeficiente de resistência; e  $n$  = expoente de encruamento

### Tensão de Fluxo Média

- Determinada pela integração da equação da curva de fluxo entre zero e o valor da deformação final que define a faixa de interesse

$$\bar{Y} = \frac{K\bar{\epsilon}^n}{1+n}$$

# Métodos analíticos de cálculo



## Método da deformação homogênea

$$W = F.L = \sigma_f \text{vol} = \text{vol}.u$$

$$\sigma_f = u$$

$$\varepsilon = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{1}{1-r}$$

$$\sigma_f = \bar{Y} \cdot \ln \left( \frac{A_0}{A} \right)$$

ou

$$\sigma_f = \bar{Y} \cdot \ln \left( \frac{1}{1-r} \right)$$

$\sigma_f$  = tensão frontal

$\bar{Y}$  = tensão de escoamento média

$r$  = redução

### Seção circular

$$\sigma_f = \bar{Y} \cdot \ln \left( \frac{D_0}{D_f} \right)^2 = \bar{Y} \cdot 2 \ln \left( \frac{D_0}{D_f} \right)$$

$\sigma_f \leq \sigma_e$  do material já trefilado

## Método dos Blocos

Fios:

$$\sigma_f = \bar{Y} \frac{(1+B)}{B} \left[ 1 - (1-r)^B \right]$$

ou

$$\sigma_f = \bar{Y} \frac{(1+B)}{B} \left[ 1 - \left( \frac{D_f}{D_0} \right)^{2B} \right]$$

$r = \text{redução}$

$B = \mu \cot g \alpha$

$\mu = \text{coeficiente de atrito}$



## Cálculo de redução máxima

Considera-se:  $\sigma_f = \bar{Y}$

$$\frac{\sigma_f}{\bar{Y}} = \frac{(1+B)}{B} \left[ 1 - (1-r)^B \right] = 1$$

Exercício: Obtenha a redução máxima possível para os seguintes casos:

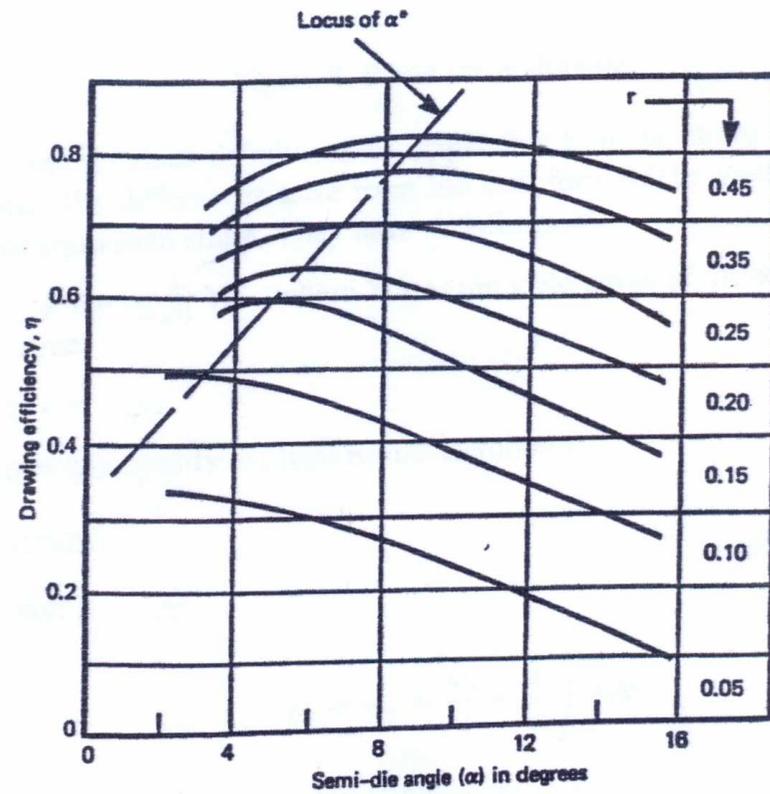
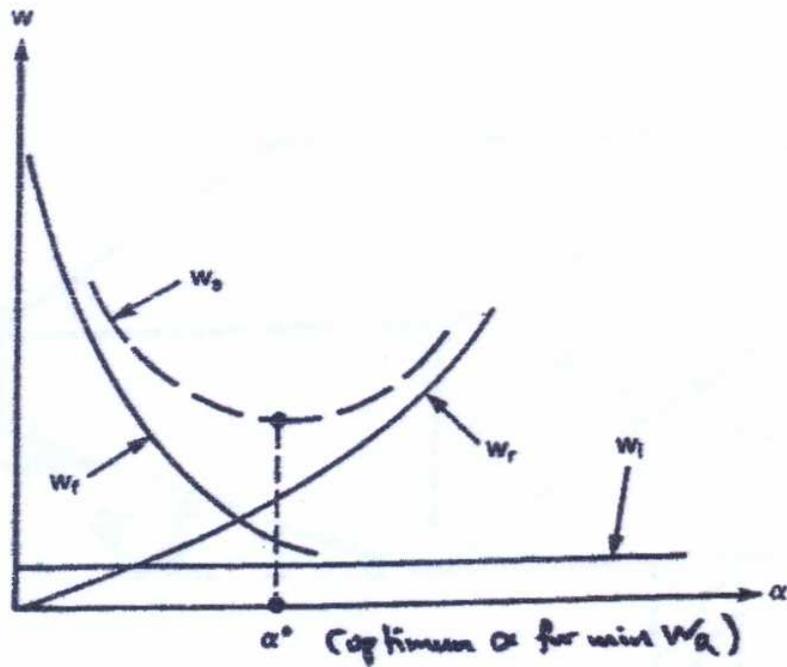
- a) Considerando somente o trabalho ideal (método da deformação homogênea);
- b) Admitindo  $\mu = 0,05$  e  $\alpha = 10^0$

## Eficiência $\eta$

$$W_R = W_i + W_f + W_r$$

$$\eta = \frac{W_i}{W_R}$$

Normalmente  $0,5 \leq \eta \leq 0,65$





## Exemplo 1

- Um material com uma curva tensão-deformação real representada por  $\bar{\sigma} = 10000\bar{\epsilon}^{0,5} \text{ psi}$  é usado em um processo de trefilação de fios. Pede-se:
  - (a) considerando somente a deformação homogênea calcule a força de trefilação para reduzir um fio desse material de 0,2 in para 0,15 in.
  - (b) Assumindo que o trabalho devido ao atrito mais o trabalho redundante corresponde a 40% do trabalho ideal de deformação, estime a força real para trefilar o fio do item (a); calcule a máxima redução em área possível num único passe;



## Exemplo 2

- a) Determine a força de trefilação necessária para produzir 20% de redução num fio de aço inox com 10 mm de diâmetro. Dado:  $\alpha = 6^\circ$  e  $\mu = 0,09$ ;  $\bar{\sigma} = 1300\bar{\epsilon}^{0,3} MPa$
- b) Se o fio é trefilado a uma velocidade de 0,5 m/s, determine a potência requerida para produzir a deformação.



## Referências Adicionais

-Dieter, G.E. Mechanical metallurgy, 1988, SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.

-Edwards, L. and Endean, M., Manufacturing with materials, 1990, Butterworth Heinemann, ISBN: 0-7506-2754-9.

-Beddoes, J. and Bibby M.J., Principles of metal manufacturing process, 1999, Arnold, ISBN: 0-470-35241-8.