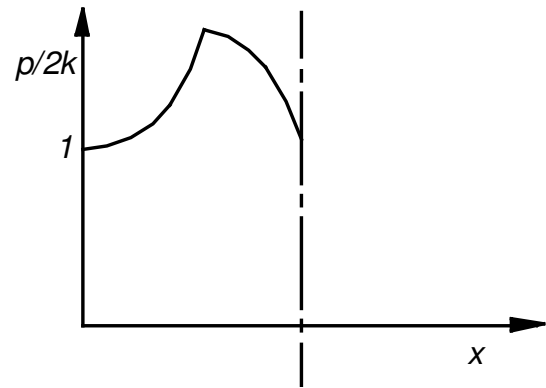
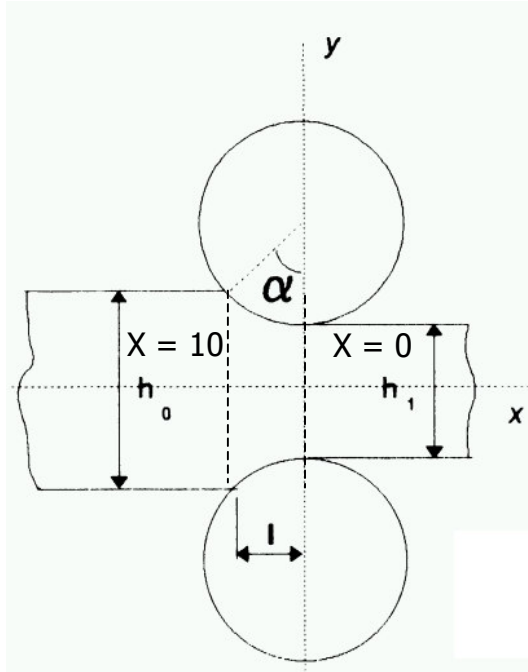


Considere o processo de laminação mostrado a seguir.

São dados:  $h_0 = 20 \text{ mm}$      $h_1 = 16 \text{ mm}$      $l = 10 \text{ mm}$      $k = 100 \text{ MPa}$   
 **$p$  – pressão de laminação**



Adotando  $\mu$  igual a 0.1, 0.2 e 0.4 e utilizando as expressões a seguir, responda como a posição do ponto neutro é alterada pelo coeficiente de atrito (ponto neutro: ponto onde ocorre a máxima pressão de laminação)

$$p = 2k \left\{ \left[ 1 + \frac{2}{m^2} (1 - mu_0) \right] e^{m(u_0 - u)} - \frac{2}{m^2} (1 - mu) \right\}$$

para a região de movimento para trás e,

$$p = 2k \left[ \left( 1 + \frac{2}{m^2} \right) e^{mu} - \frac{2}{m^2} (1 + mu) \right]$$

para a região de movimento para frente.

Nas expressões acima, tem-se:

$$m = \frac{2\mu l}{\sqrt{h_1 \Delta h}} \quad u_0 = \tan^{-1} \sqrt{\frac{\Delta h}{h_1}} \quad \text{e,} \quad u = \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{\Delta h}{h_1}} \frac{x}{l} \right)$$

## Solução

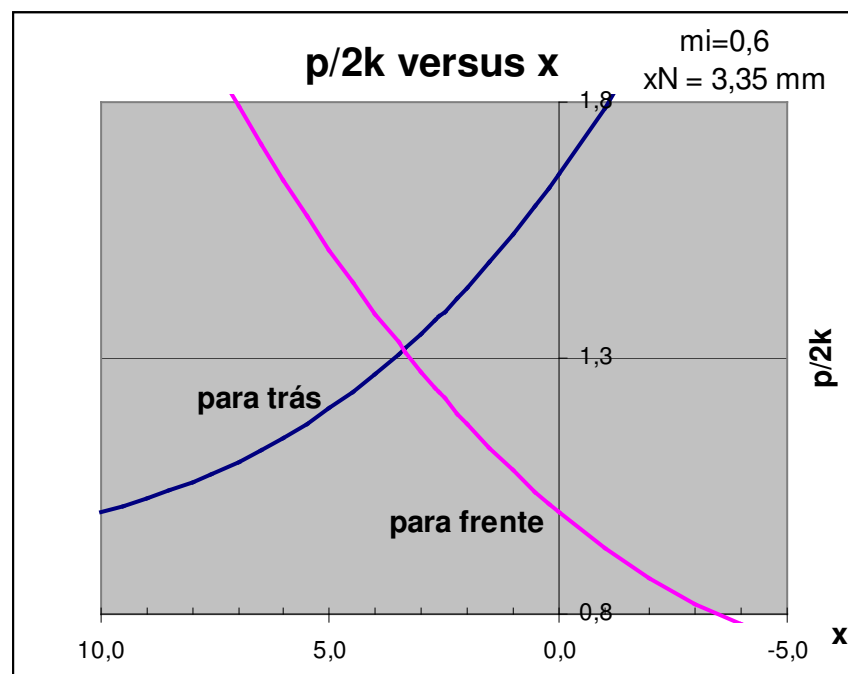
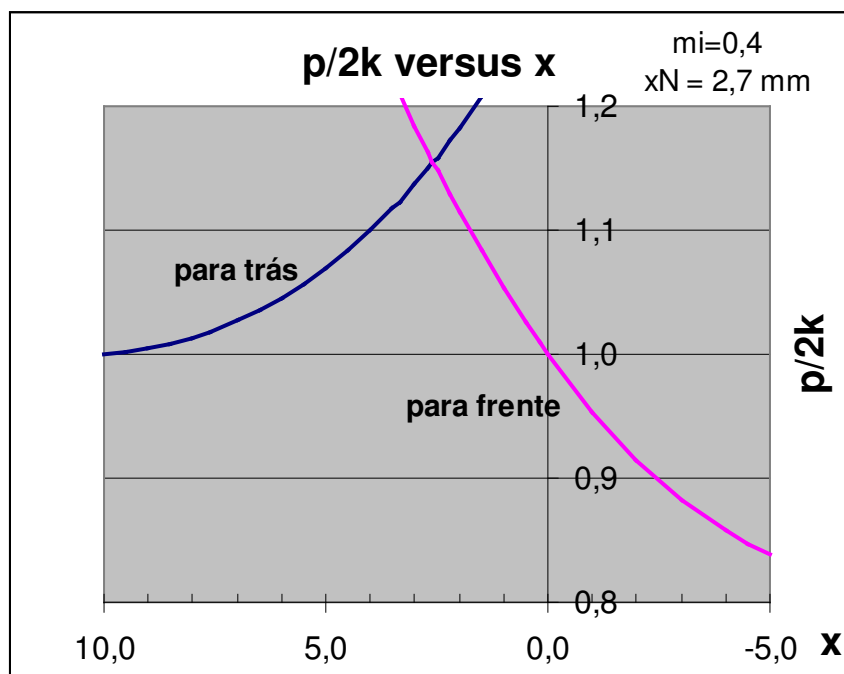
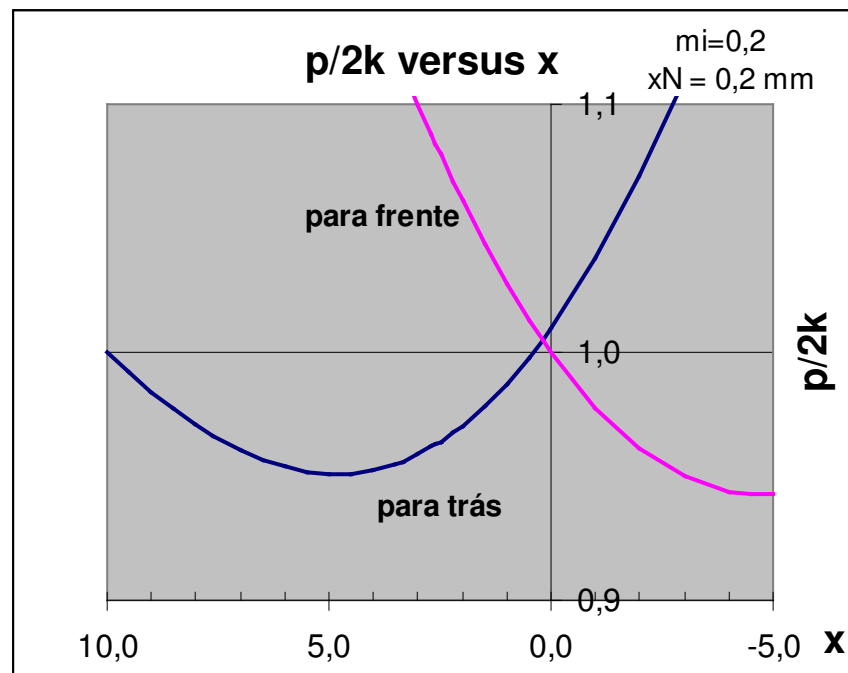
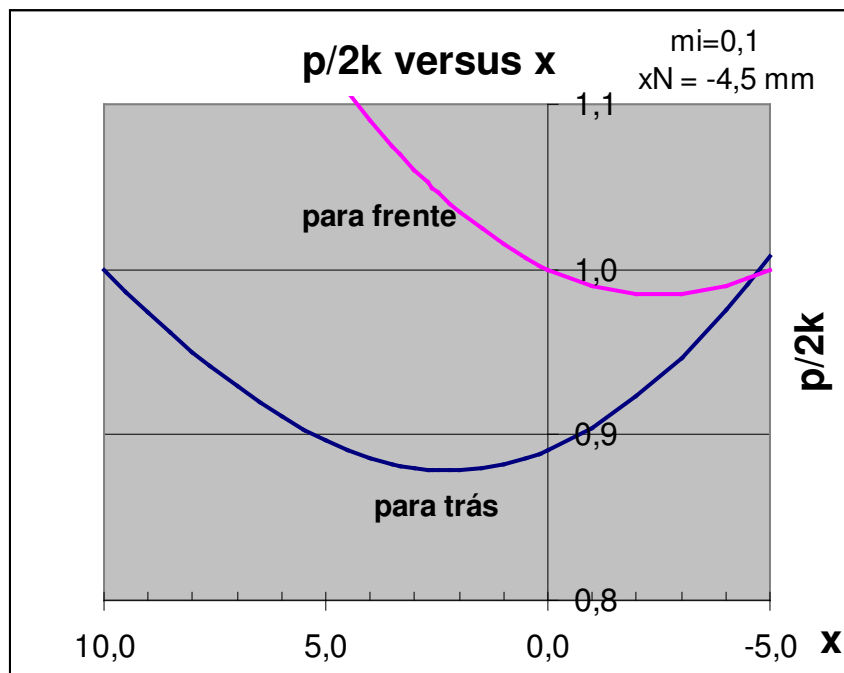
Os gráficos a seguir mostram as curvas de  $p/2k$  em função de  $x$ .

Como discutido na aula o aumento do coeficiente de atrito  $\mu$  causa um deslocamento do ponto neutro  $x_N$  em direção à entrada dos cilindros laminadores, ou seja mais próximo de  $h = h_0$ .

O que deve ser corrigido em relação ao que foi apresentado em aula, é que o eixo dos  $x$  é tomado a partir da saída dos cilindros (para  $h = h_1 \rightarrow x = 0$  e para  $h = h_0 \rightarrow x = 10 \text{ mm}$ ).

De todo modo, as expressões estão corretas e os resultados obtidos deveriam ser idênticos aos mostrados nos gráficos.

Observem que para o caso de  $\mu = 0,1$  o ponto neutro  $x_N$  encontra-se além da saída dos laminadores. Ou seja, o atrito é tão baixo que nessas condições de redução de seção não ocorrerá laminação, a placa patinará na frente dos cilindros.



- qual o número de passes necessários?
- qual o número de recozimentos intermediários?

$$\sigma_{tref} = \sigma_0 \left( \frac{1+X}{X} \right) (1 - R^X)$$

onde:  $R$  = área final do passe/área inicial do estágio

$$D_i = 3 \text{ mm} \quad D_f = 1 \text{ mm}$$

$$X = \mu \cdot \cotg(\alpha) \quad \text{com } \mu = 0,05$$

$\alpha$  = semi-ângulo de conicidade da matriz =  $10^\circ$

$$\sigma_0 = 600 * \epsilon^{0,2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_{res} = 750 * \epsilon^{0,1} \quad (\text{N/mm}^2)$$

**Crítérios:**

1) a máxima redução de seção por passe é definida pelo critério:

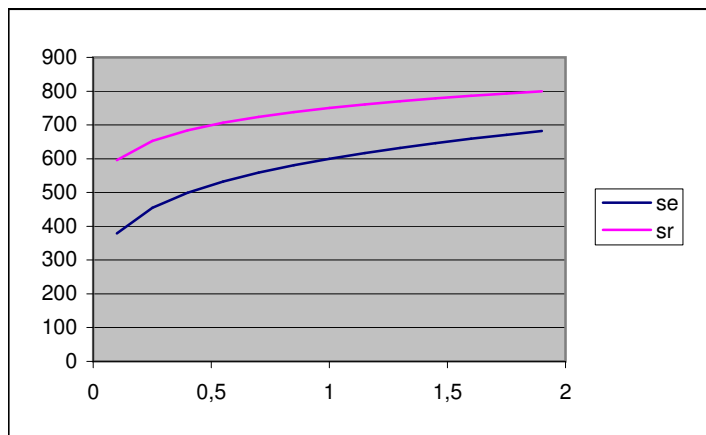
$$\sigma_{tref} < 0,9 * \sigma_{0-produto}$$

Ou seja, a tensão de trefilação num passe não deve chegar a valores próximos do limite de escoamento do produto obtido, para evitar-se sua falha por estrição na frente da fiação;

2) o material deve ser recozido quando o limite de escoamento do produto estiver muito próximo de seu limite de resistência:

$$\sigma_{0-produto} < 0,9 * \sigma_{res-produto}$$

$\varepsilon$	R (%)	$\sigma_e$	$\sigma_r$	$\sigma_e/\sigma_r$
0,1	10	379	596	0,64
0,25	22	455	653	0,70
0,4	33	500	684	0,73
0,55	42	532	706	0,75
0,7	50	559	724	0,77
0,85	57	581	738	0,79
1	63	600	750	0,80
1,15	68	617	761	0,81
1,3	73	632	770	0,82
1,45	77	646	778	0,83
1,6	80	659	786	0,84
1,75	83	671	793	0,85
1,9	85	682	800	0,85



$D_i = 3$   
 $D_f = 1$   
 $\alpha = 10$   
 $\mu = 0,05$

$X = 0,28$   
 $R_{max} = 46$   
 $R_{total} = 89$