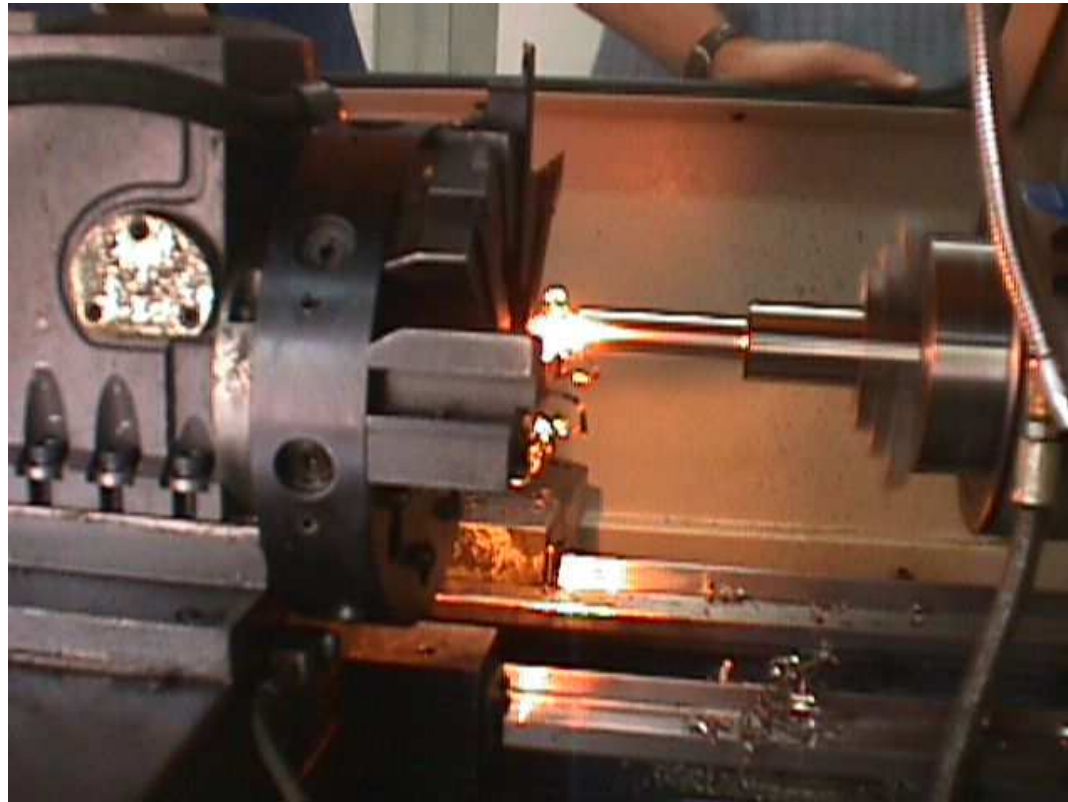


FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM



FORÇAS NA USINAGEM

- A força necessária para formar o cavaco, é dependente da tensão de cisalhamento do material da peça, das condições de usinagem e da área do plano de cisalhamento
- **Força de usinagem:** força total resultante que atua durante a usinagem sobre a cunha cortante.

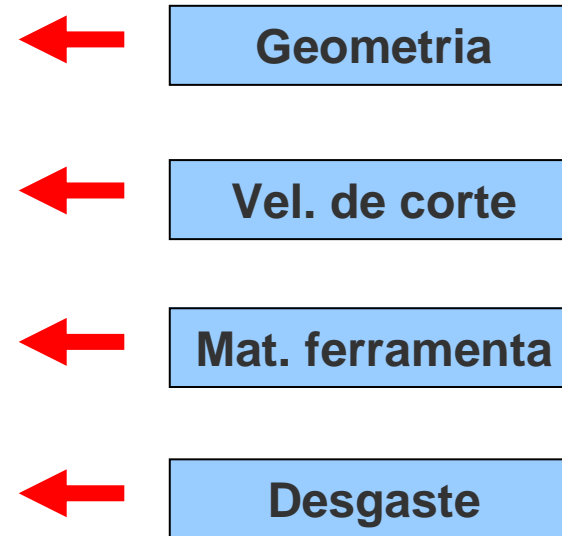
FORÇAS NA USINAGEM

Influências básicas



Força de usinagem

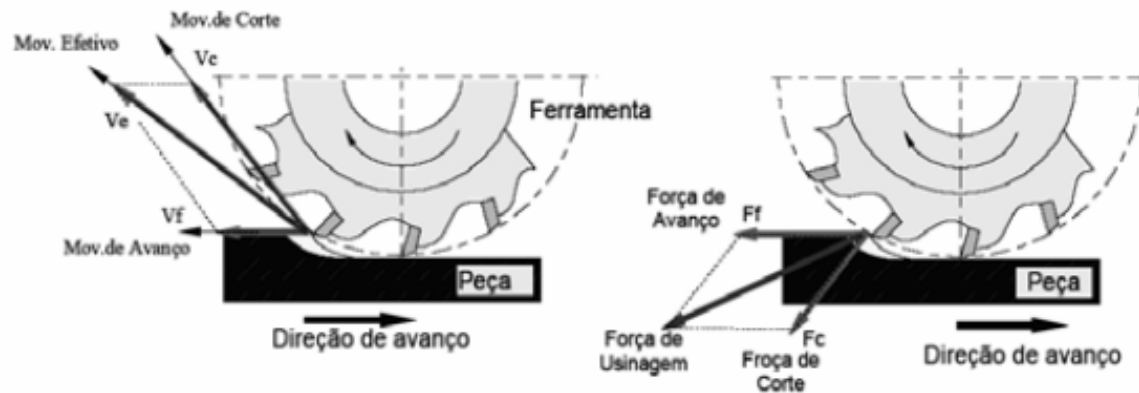
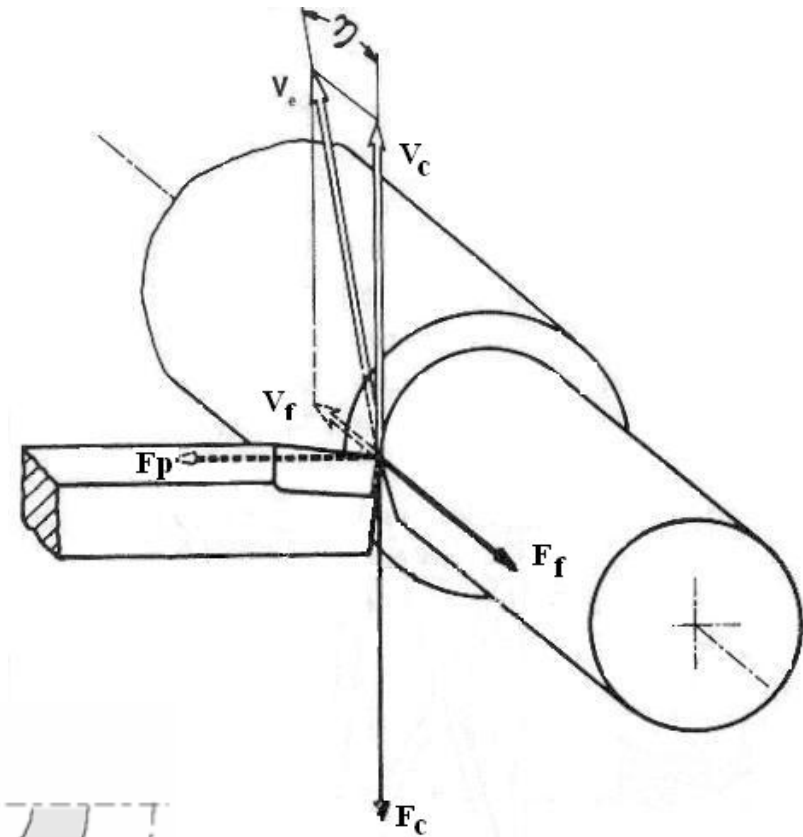
Influências corrigíveis



FORÇAS NA USINAGEM

Componentes:

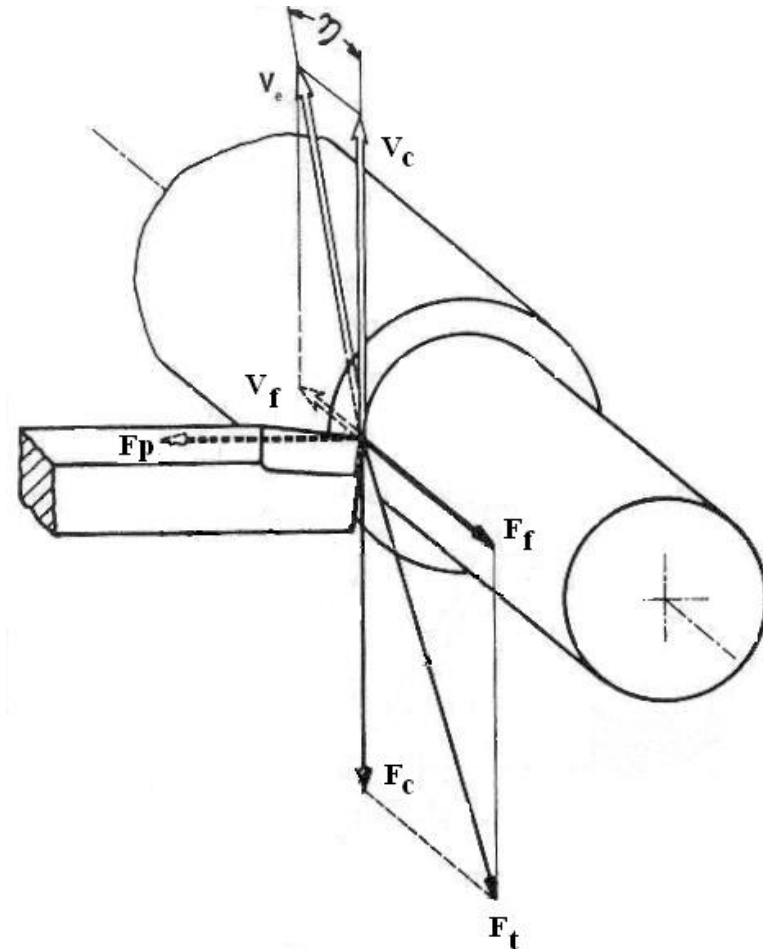
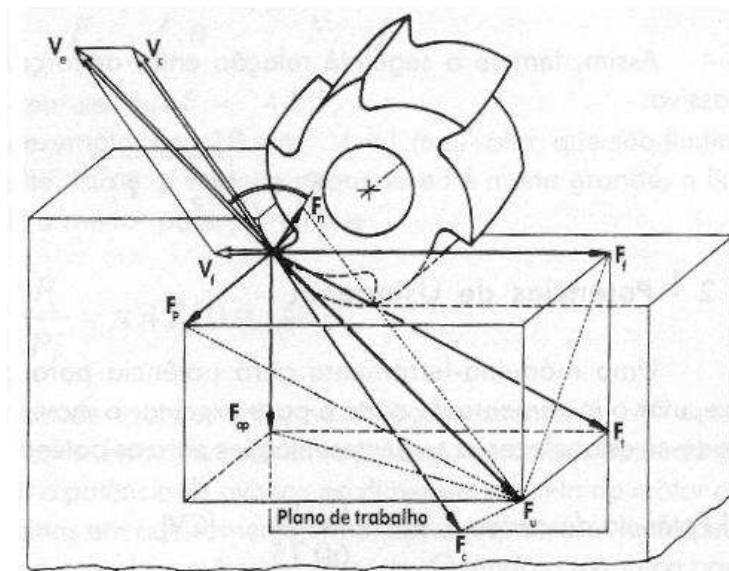
- Força de corte (F_c)
- Força de avanço (F_f)
- Força de profundidade (F_p)
- Força de apoio (F_{ap})



FORÇAS NA USINAGEM

Força ativa (F_t):

- Força de corte (F_c)
- Força de avanço (F_f)
- Força de apoio (F_{ap})



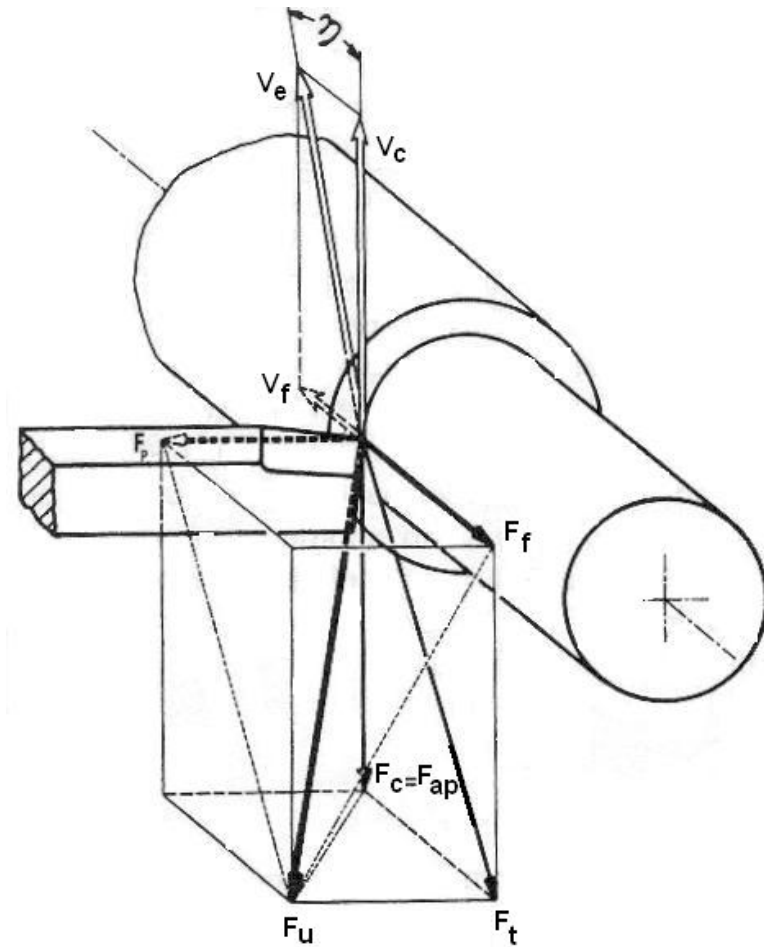
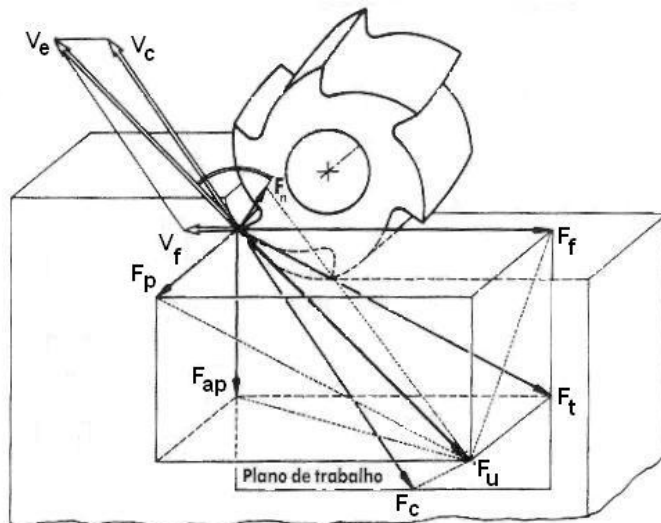
$$F_t = \sqrt{F_{ap}^2 + F_f^2}$$

FORÇAS NA USINAGEM

Força de usinagem (F_u)

- Força ativa (F_t)
- Força de profundidade (F_p)

$$F_u = \sqrt{F_p^2 + F_t^2}$$

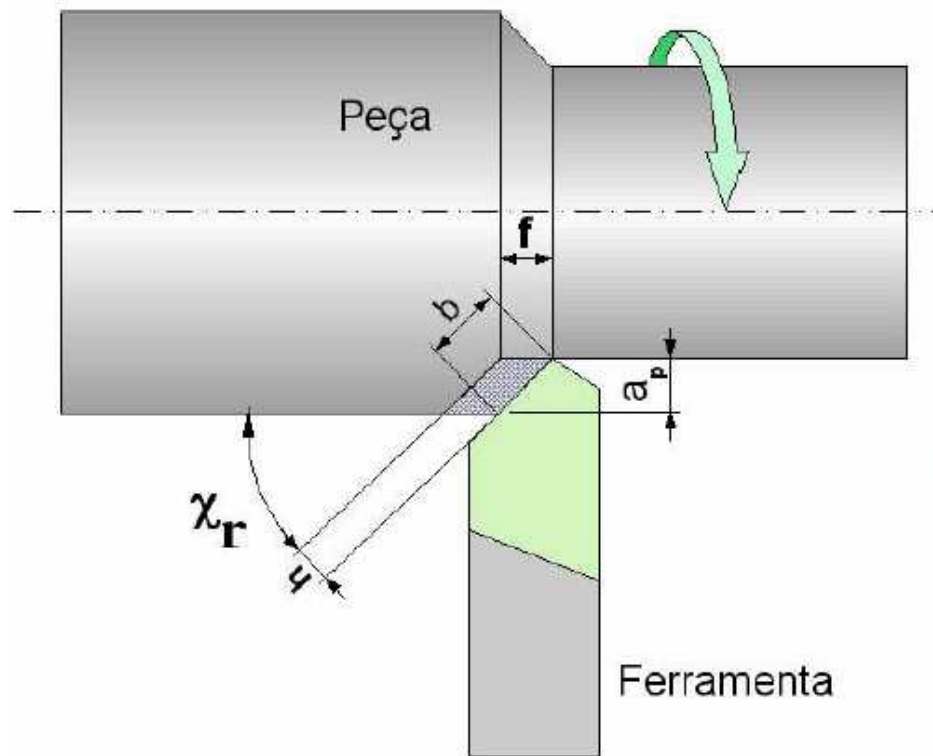


FORÇAS E AS CONDIÇÕES DE CORTE

- Introduzindo-se um fator de proporcionalidade, obtém uma relação entre as componentes da força de usinagem e a área da seção de corte.
- O fator de proporcionalidade (K_s) é denominado *força específica de corte*.

Força e potência de corte

Grandezas do processo de usinagem



Onde:

χ_r = ângulo de direção do gume

a_p = Profundidade de corte

f = Avanço

b = largura de usinagem

h = Espessura de usinagem

Seção de usinagem - A

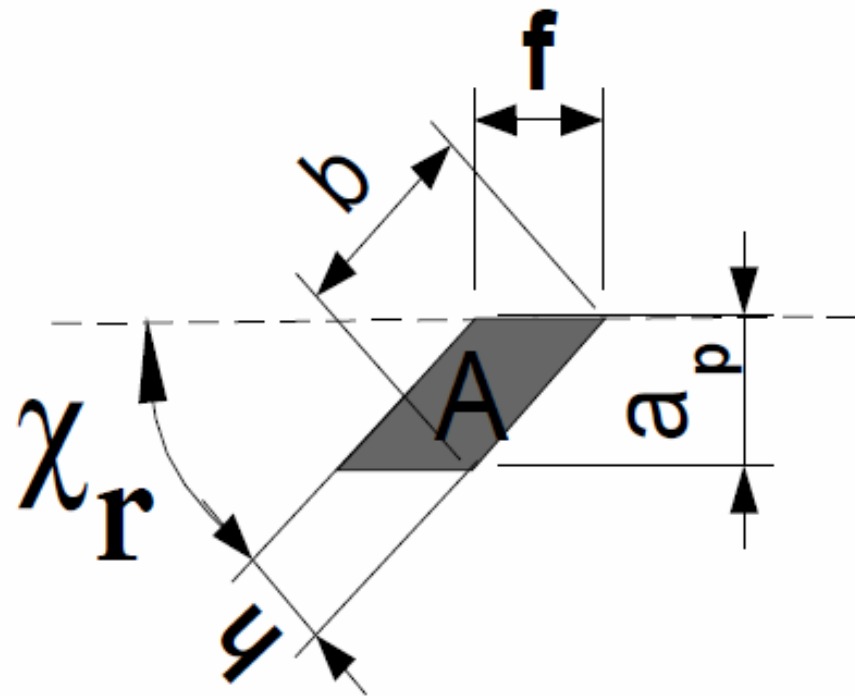
$$F_c = A * K_c$$

$$A = b * h$$

$$A = a_p * f$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi_r}$$

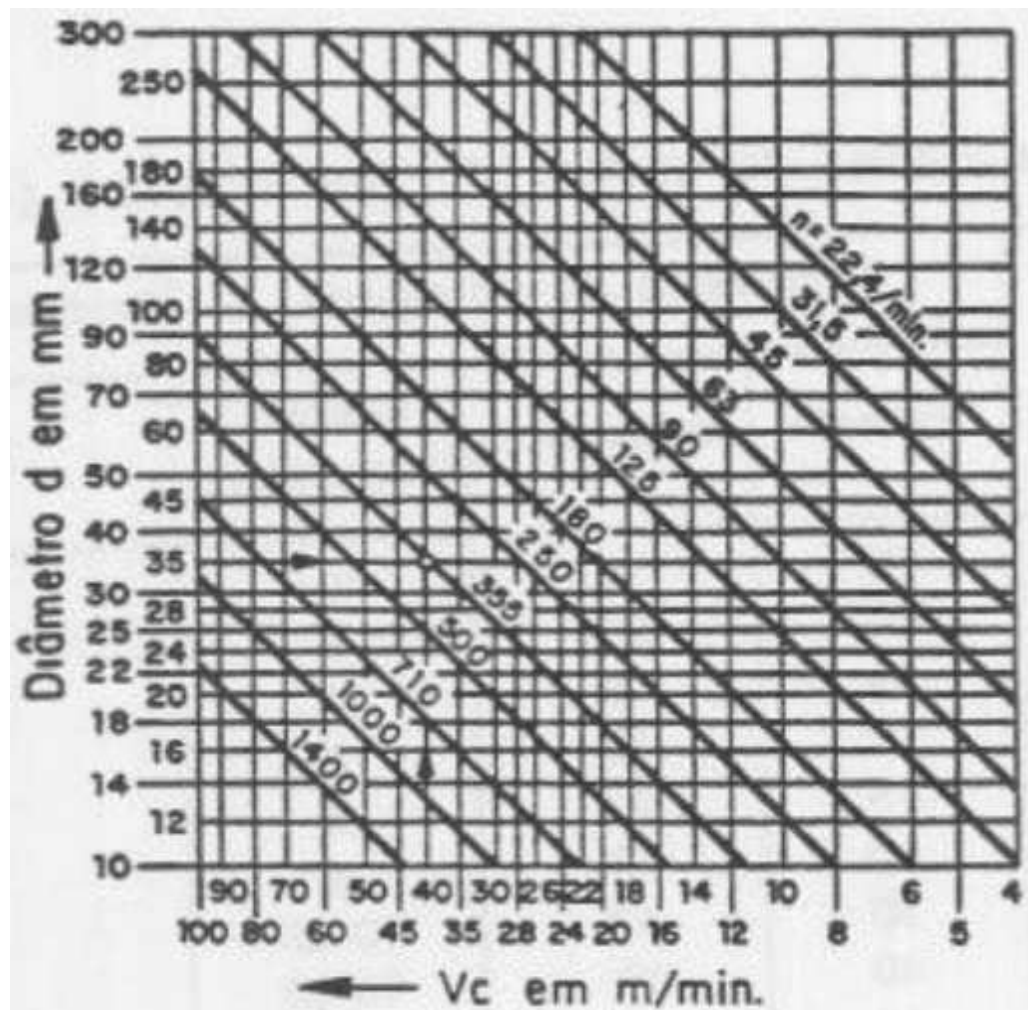
$$h = f * \sin \chi_r$$



Força específica de corte k_s em N/mm^2 de secção de cavaco

Material conforme norma DIN	Espessura h do cavaco em mm ($h = f \cdot \text{Sen } \chi$)											
	0,10	0,125	0,16	0,20	0,25	0,315	0,40	0,50	0,63	0,80	1,25	1,6
St 42	3 090	2 920	2 750	2 600	2 450	2 320	2 190	2 060	1 950	1 830	1 640	1 540
St 50	3 550	3 360	3 140	2 960	2 800	2 640	2 480	2 330	2 200	2 070	1 840	1 730
St 60	3 060	2 940	2 830	2 710	2 620	2 520	2 420	2 330	2 240	2 150	1 990	1 900
St 70	3 440	3 330	3 200	3 080	2 970	2 860	2 760	2 620	2 570	2 470	2 300	2 200
C 22	2 550	2 460	2 360	2 290	2 210	2 130	2 040	1 970	1 900	1 830	1 700	1 640
C 45	2 700	2 560	2 400	2 280	2 150	2 030	1 910	1 800	1 710	1 610	1 440	1 350
gS 20	1 970	1 930	1 880	1 840	1 810	1 770	1 720	1 680	1 650	1 610	1 530	1 500
34 Cr 4	3 930	3 640	3 340	3 080	2 850	2 630	2 420	2 240	2 060	1 900	1 630	1 490
GG-20	1 800	1 700	1 600	1 510	1 430	1 340	1 280	1 200	1 140	1 070	950	900
GG-30	2 210	2 070	1 920	1 800	1 680	1 680	1 460	1 360	1 280	1 190	1 040	960
GTW-35	1 910	1 820	1 730	1 650	1 580	1 500	1 420	1 360	1 290	1 240	1 130	1 070
GS-45	2 320	2 240	2 140	2 060	1 990	1 910	1 840	1 770	1 700	1 630	1 510	1 450
Cu Zn 40	1 010	930	840	770	720	660	600	550	500	460	390	350
Cu Sn 8	1 430	1 350	1 280	1 210	1 140	1 070	1 010	960	900	850	770	720
Al Mg 5	640	620	590	570	550	530	510	490	470	460	420	410
Mg Al g	520	480	440	400	370	350	320	290	270	260	220	200

VELOCIDADE DE CORTE



$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

V_c = velocidade de corte [m/min]
 d = diâmetro da peça (ferramenta) [mm]
 n = rotação da peça (ferramenta) [rpm]

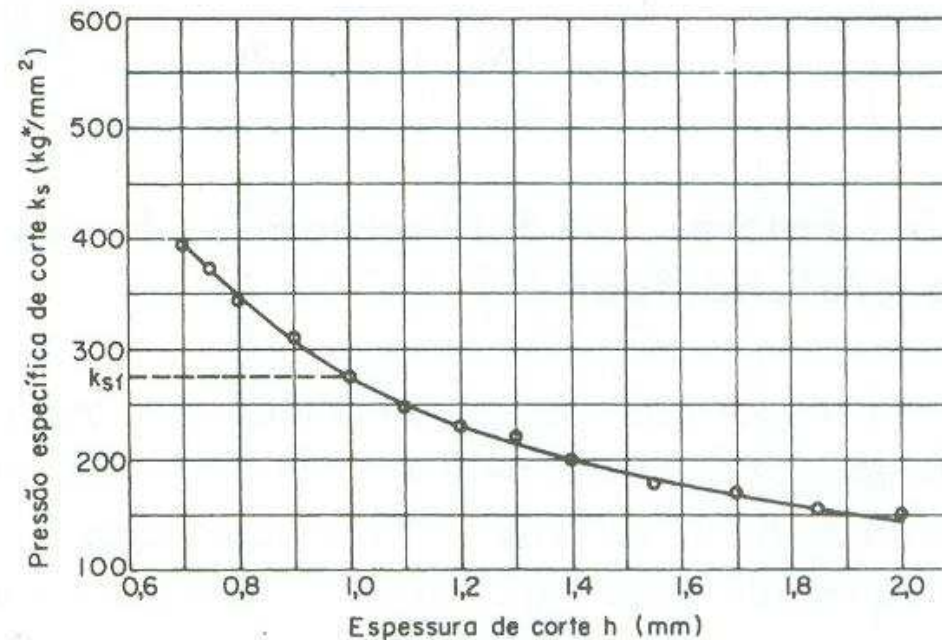
Velocidades de corte (V_c) para torno (em metros por minuto)

Materiais	Ferramentas de aço rápido			Ferramentas de carboneto-metálico	
	Desbaste	Acabamento	Roscar Recartilhar	Desbaste	Acabamento
Aço 0,35%C	25	30	10	200	300
Aço 0,45%C	15	20	8	120	160
Aço extra-duro	12	16	6	40	60
Ferro fundido maleável	20	25	8	70	85
Ferro fundido gris	15	20	8	65	95
Ferro fundido duro	10	15	6	30	50
Bronze	30	40	10-25	300	380
Latão e cobre	40	50	10-25	350	400
Alumínio	60	90	15-35	500	700
Fibra e ebonite	25	40	10-20	120	150

FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

Cálculo do K_s

- Propostas: Taylor, ASME, AWF, Kronenberg e **Kienzle**.
- Kienzle $\rightarrow K_s = f(h)$



CÁLCULO DE K_s

$$K_s = K_{s1} \cdot h^{-z}$$

K_{s1} e $z \rightarrow$ constantes do material

$$F_c = K_s \cdot b \cdot h \qquad F_c = K_{s1} \cdot b \cdot h^{1-z}$$

$K_{s1} \rightarrow$ tabelado para algumas condições

Cálculo da pressão específica de corte - Ks

Material	σ_t [N/mm ²]	1-z	K _{s1}
Aço 1030	520	0,74	1990
1040	620	0,83	2110
1050	720	0,70	2260
1045	670	0,86	2220
1060	770	0,82	2130
8620	770	0,74	2100
4320	630	0,70	2260
4140	730	0,74	2500
4137	600	0,79	2240
6150	600	0,74	2220
Fofo	HRC = 46	0,81	2060

POTÊNCIAS NA USINAGEM

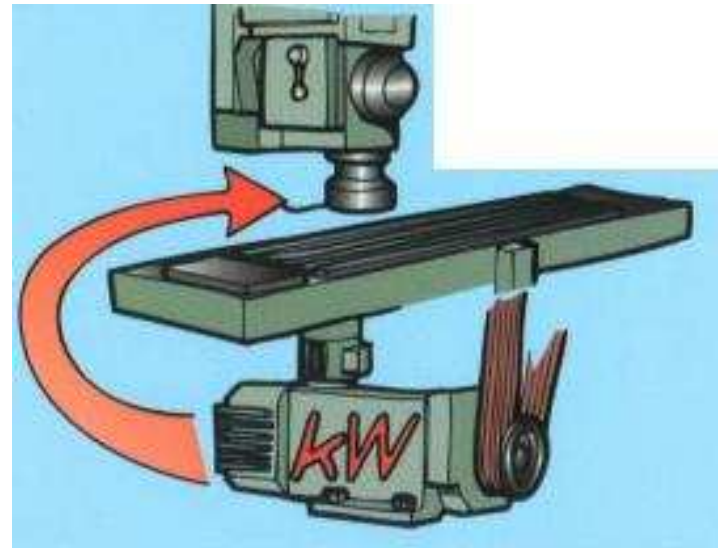
- Uma máquina-ferramenta gera potência para girar seu eixo-árvore, executar o movimento de corte e para executar o movimento de avanço.

$$P_c = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 10^3} [kW]$$

F_c [N] e V_c [m/min]

$$P_f = \frac{F_f \cdot V_f}{60 \cdot 10^6} [kW]$$

F_f [N] e V_c [mm/min]



POTÊNCIAS NA USINAGEM

- A potência de Avanço (P_f) é normalmente muitas vezes menor que a de corte (P_c), chegando até a 140 vezes.
- É possível então desprezar a potência de avanço no dimensionamento do motor da máquina, nas que somente um motor é responsável tanto pelo movimento de avanço, quanto pelo movimento de corte.

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

η = rendimento da máquina:

- 60 a 80% em máquinas convencionais
- Maior que 90% em máquinas CNC

FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

Fatores que influenciam o K_s :

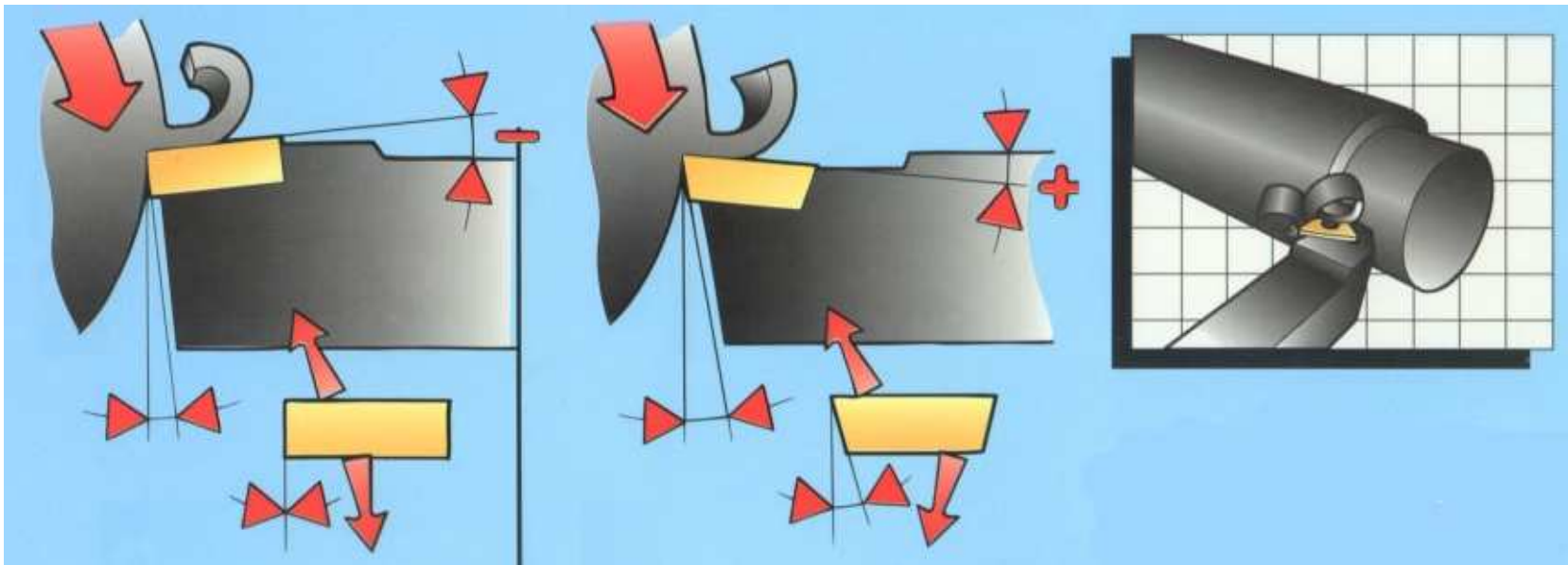
- Material da peça

FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

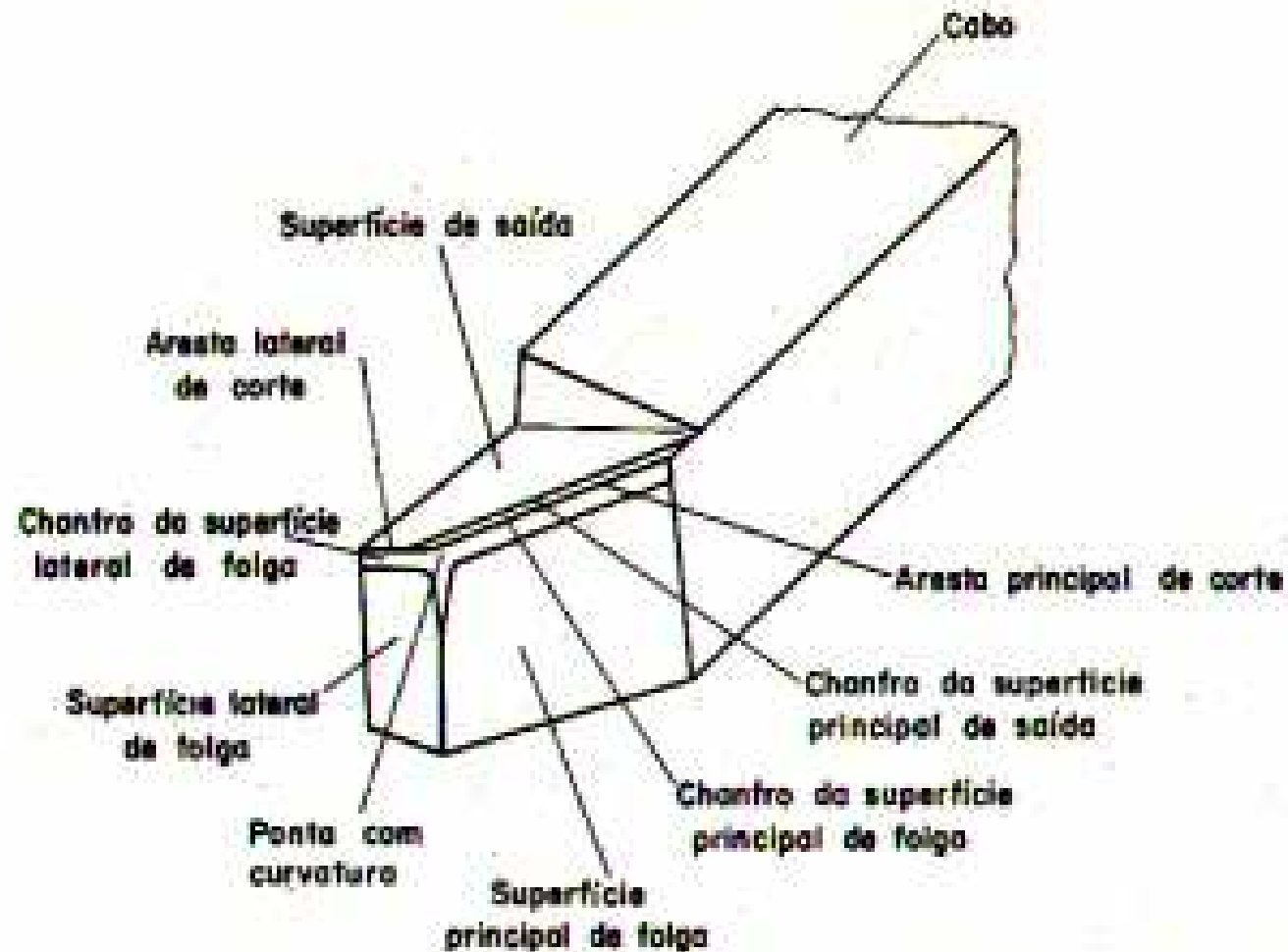
Fatores que influenciam o K_s :

- Material da peça
- Material e geometria da ferramenta

Ângulos de saída positivos e negativos



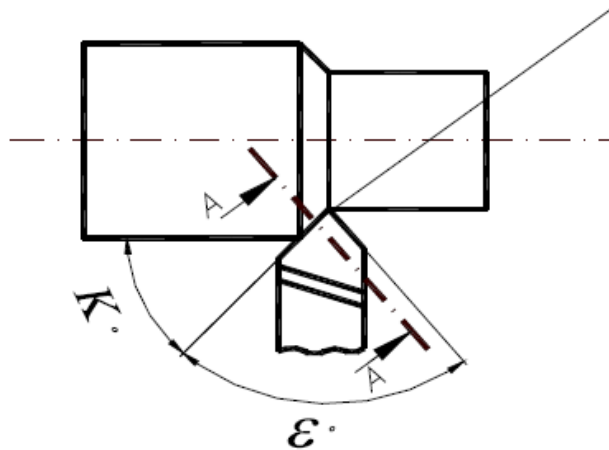
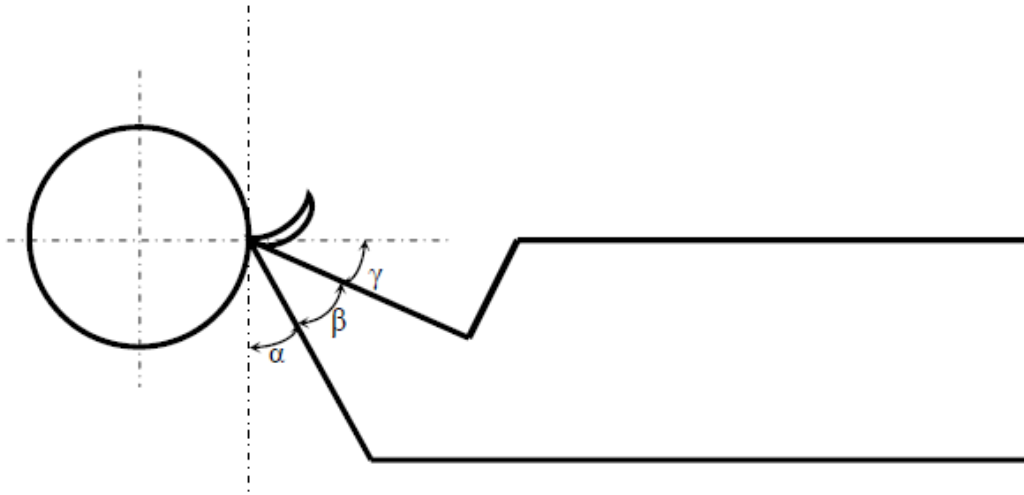
FERRAMENTA DE CORTE



Superfícies, arestas e ponta de corte de uma ferramenta de barra.

Ângulos de folga (α), de cunha (β) e de saída (γ)

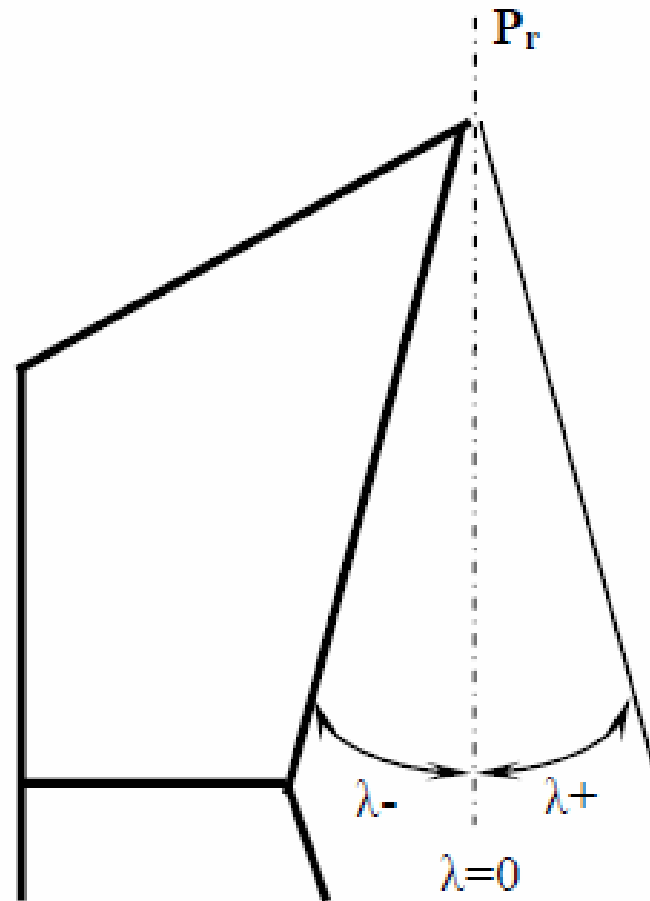
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$



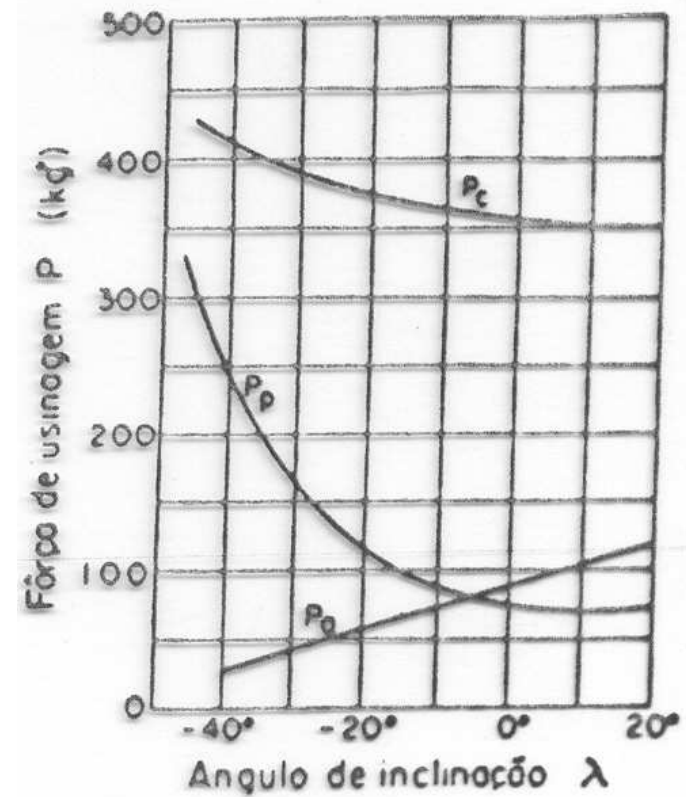
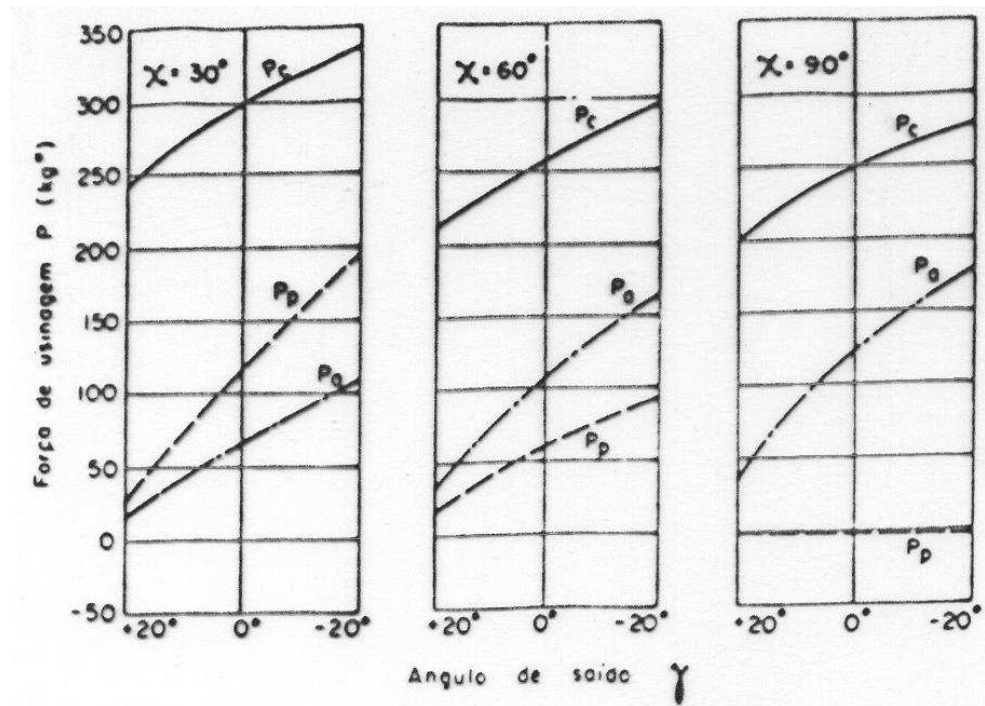
κ = (capa) Ângulo de posição
 ϵ = (epsolon) Ângulo de ponta

Ângulo de inclinação “ λ ”

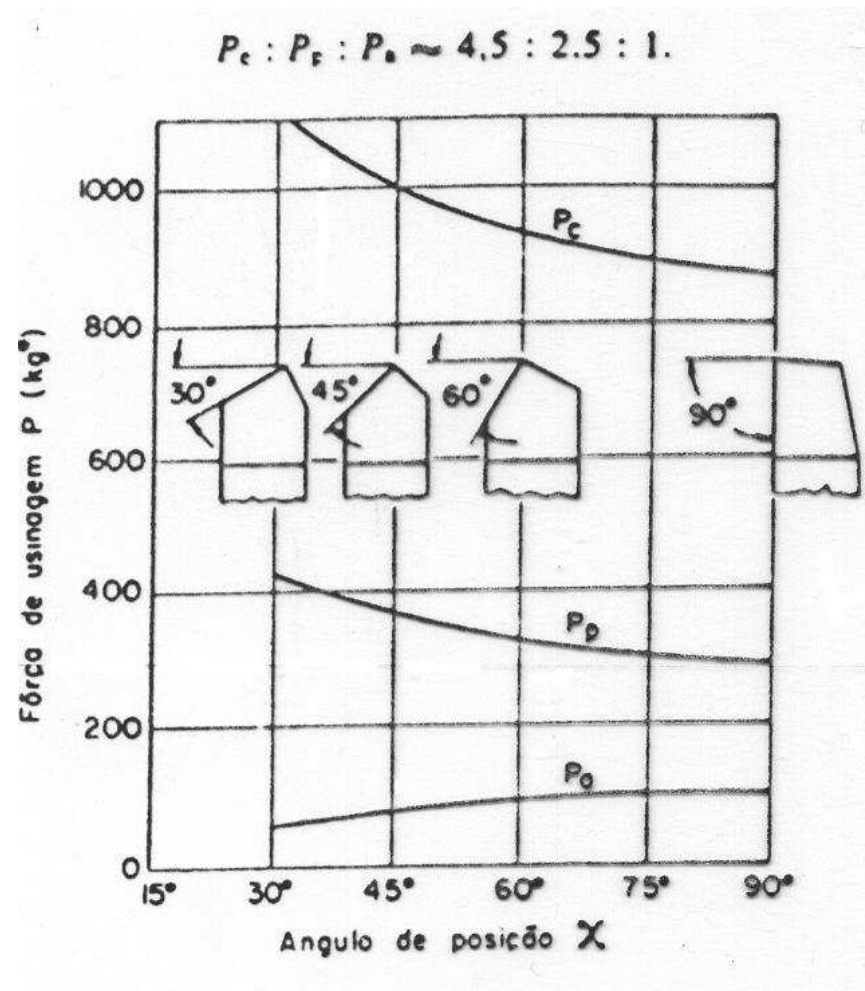
Plano de corte (P_s): plano da folha



FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM



FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

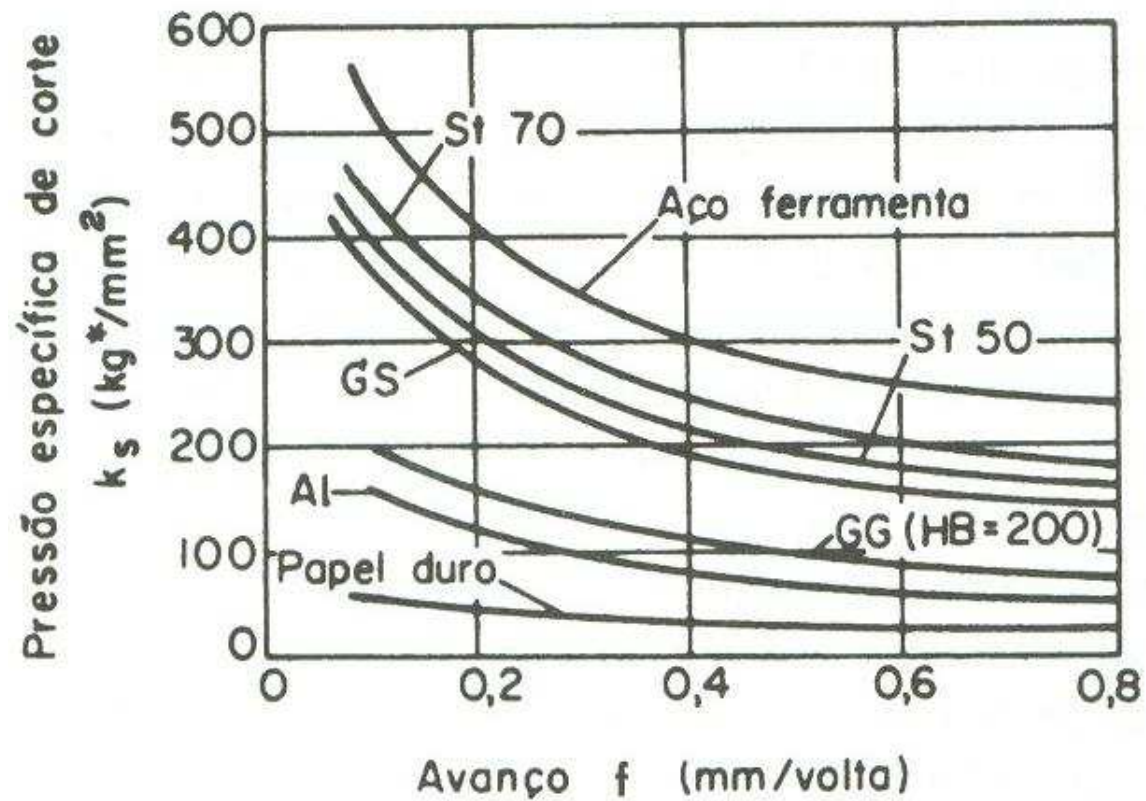


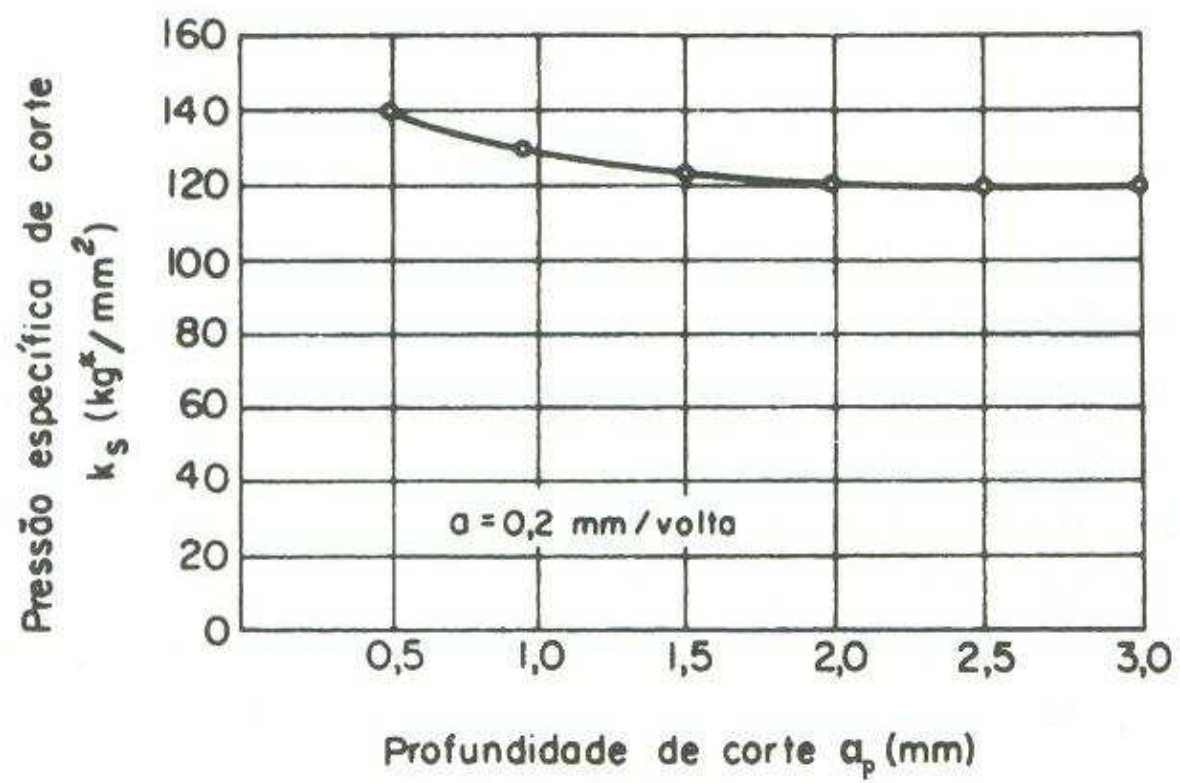
FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

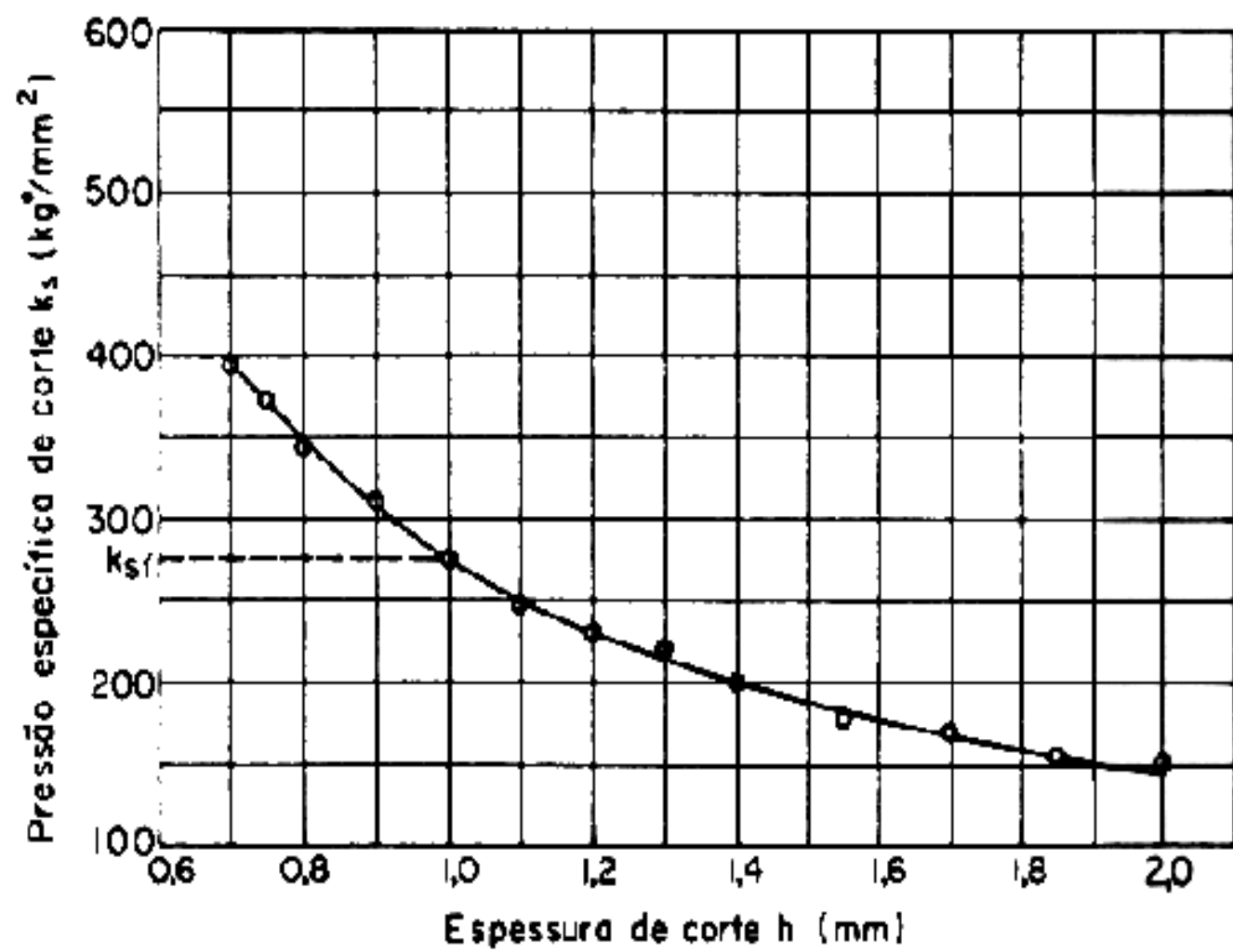
Fatores que influenciam o K_s :

- Material da peça
- Material e geometria da ferramenta
- Seção de corte

FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM





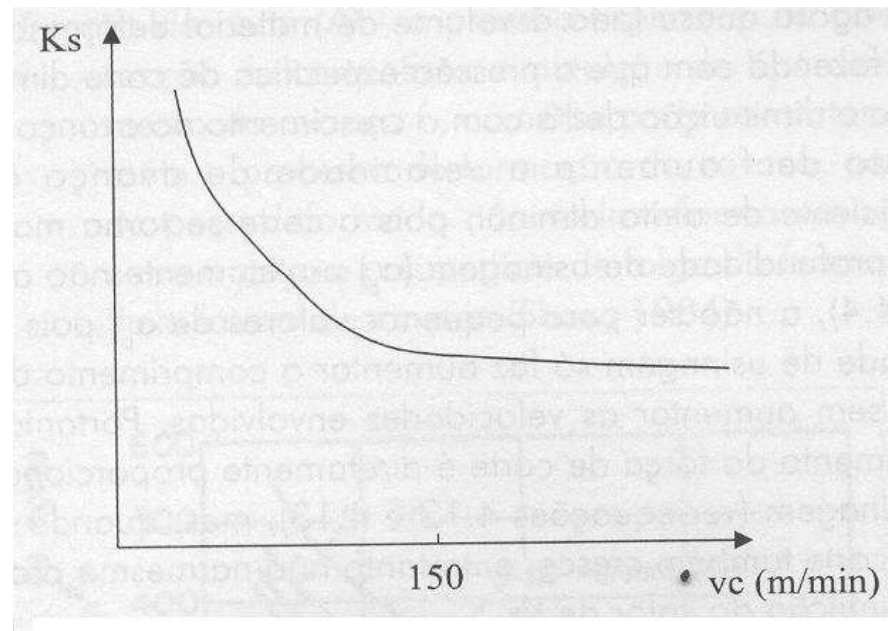


FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

Fatores que influenciam o K_s :

- Material da peça
- Material e geometria da ferramenta
- Seção de corte
- Velocidade de corte

FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM



FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

Fatores que influenciam o K_s :

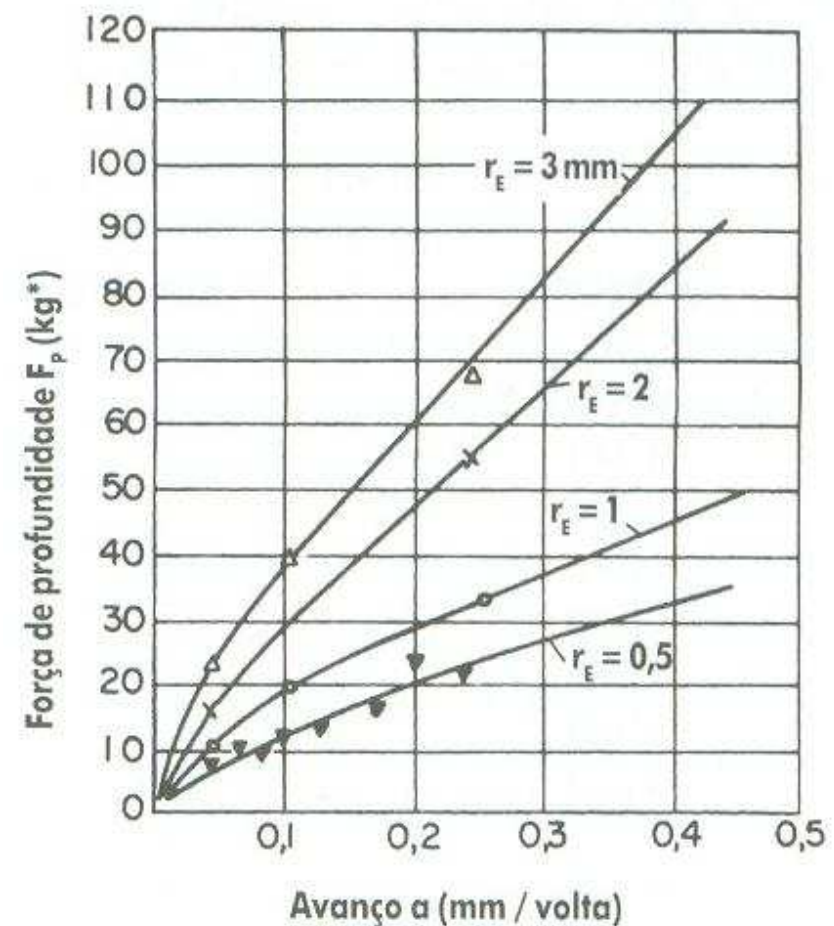
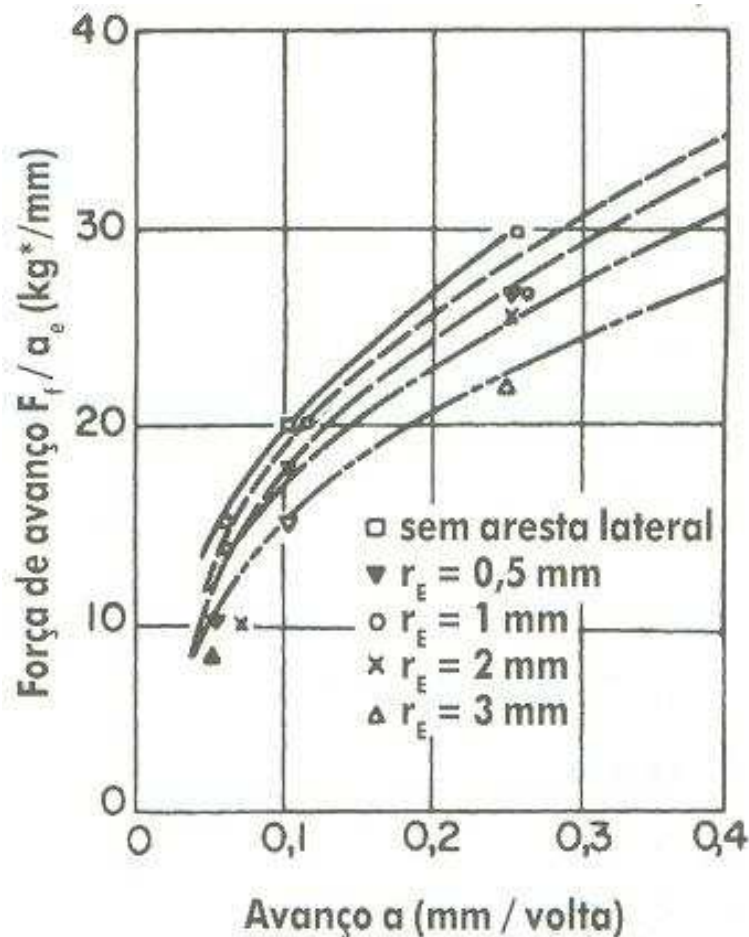
- Material da peça
- Material e geometria da ferramenta
- Seção de corte
- Velocidade de corte
- Estado de afiação da ferramenta
- Condições de lubrificação e refrigeração

FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

- Muitos dos fatores que influenciam os valores da força de corte, também influenciam as forças de avanço e profundidade.
- Porém alguns fatores como o raio de ponta da ferramenta, os ângulos de posição e de inclinação tem uma influência mais marcante nestas componentes da força de usinagem.

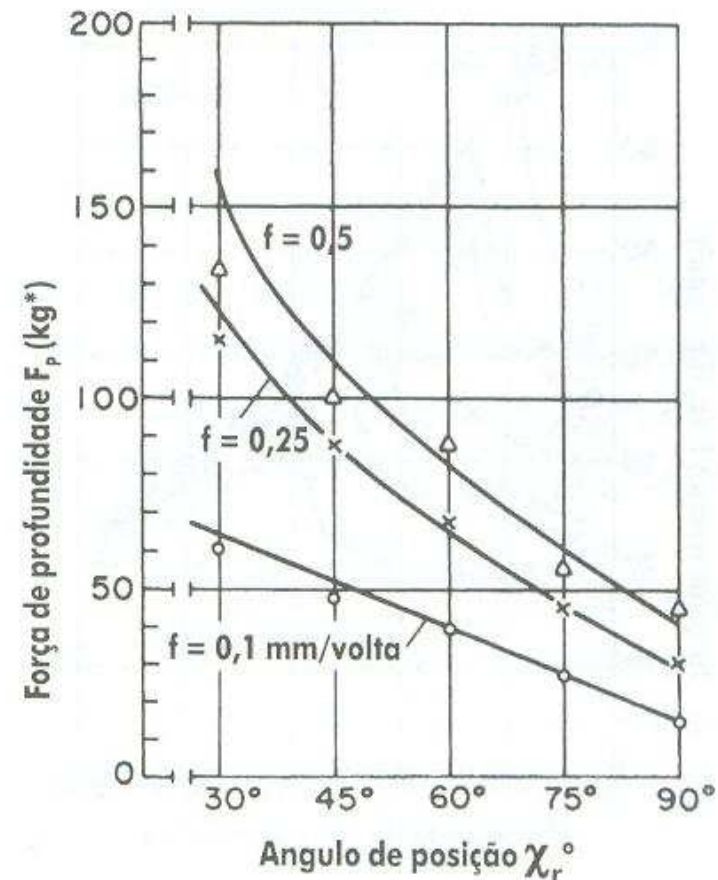
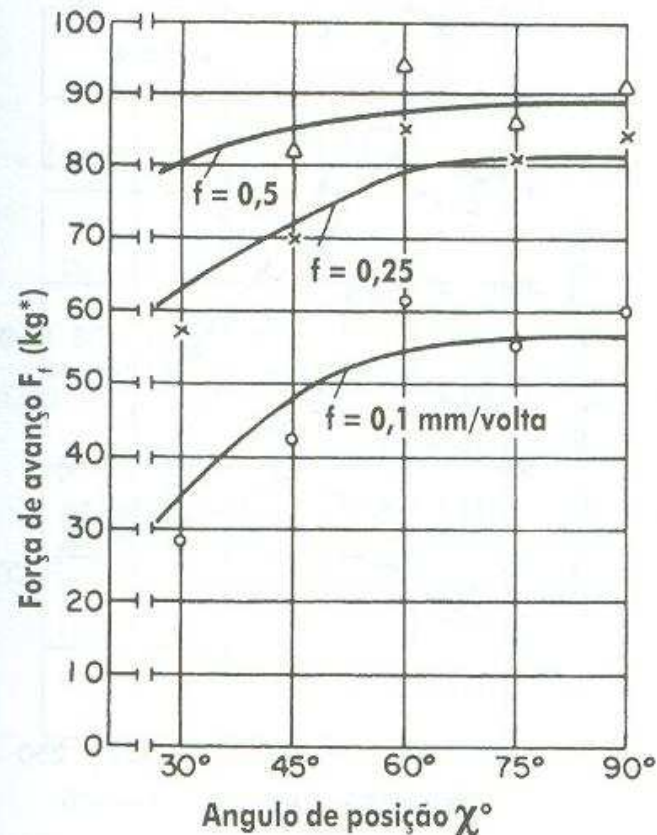
FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

- A medida que o raio de ponta cresce a força de profundidade aumenta e a de avanço diminui.



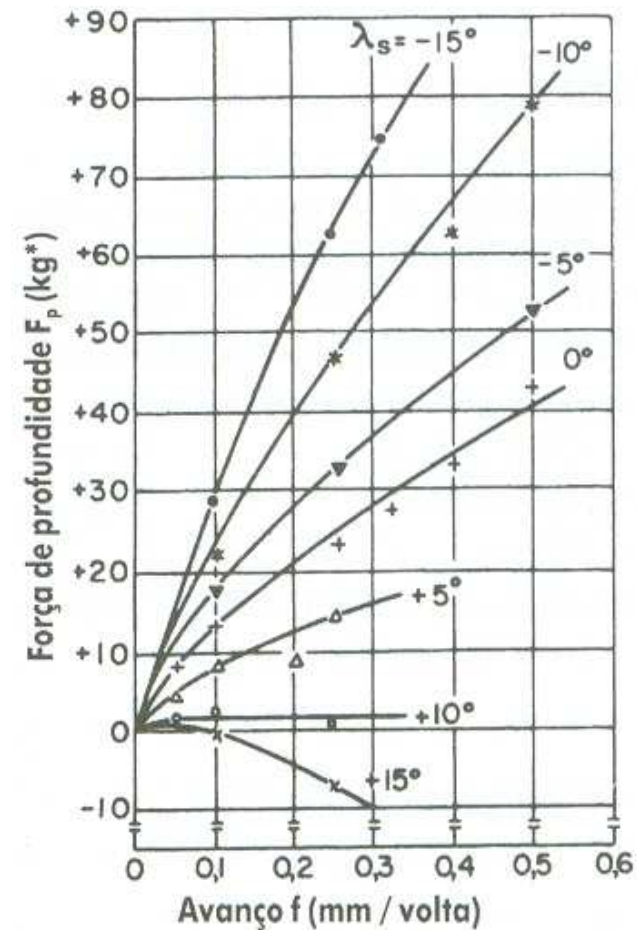
FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

- Com o crescimento do ângulo de posição há um aumento da força de avanço e diminuição na de profundidade



FORÇAS E POTÊNCIAS NA USINAGEM

- Com a diminuição do ângulo de inclinação há um aumento da força de profundidade



Exemplo 1

A Força de Corte, em uma ferramenta para tornear é de 600N e a Velocidade de Corte $V_c = 40\text{m/min}$. Calcular: a) Potência de Corte; b) Potência Induzida (motor), quando o rendimento $\eta = 0,70$.

Exemplo 2

Um eixo de aço com resistência mecânica de 600 N/mm^2 (St60) é usinado no torno com a velocidade de corte $V_C = 16 \text{ m/min}$. Calcule a Potência de corte e a Potência induzida.

Dados:

Avanço $f = 1,13 \text{ mm}$

Profundidade $a_p = 8 \text{ mm}$

Ângulo da Ferramenta $\chi = 45^\circ$

Rendimento da máquina $\eta = 0,70$

Exemplo 3

Determinar a potência do motor de um torno universal que deve fazer um torneamento cilíndrico em uma barra de aço 8620 com diâmetro 50 mm.

Parâmetros de corte: $V_c = 110 \text{ m/min}$, $a_p = 1,4 \text{ mm}$ e $f = 0,4 \text{ mm/rot.}$

Ângulo da Ferramenta $\chi = 90^\circ$

Rendimento mecânico da transmissão do motor à árvore principal: 70%.