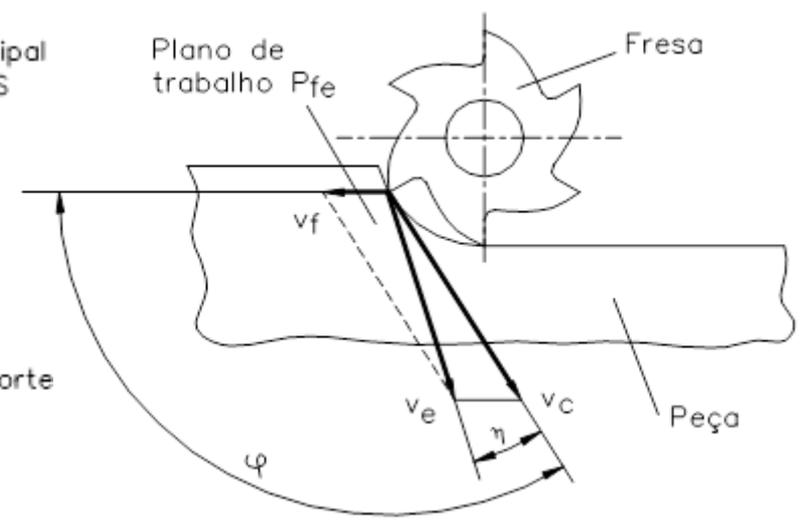
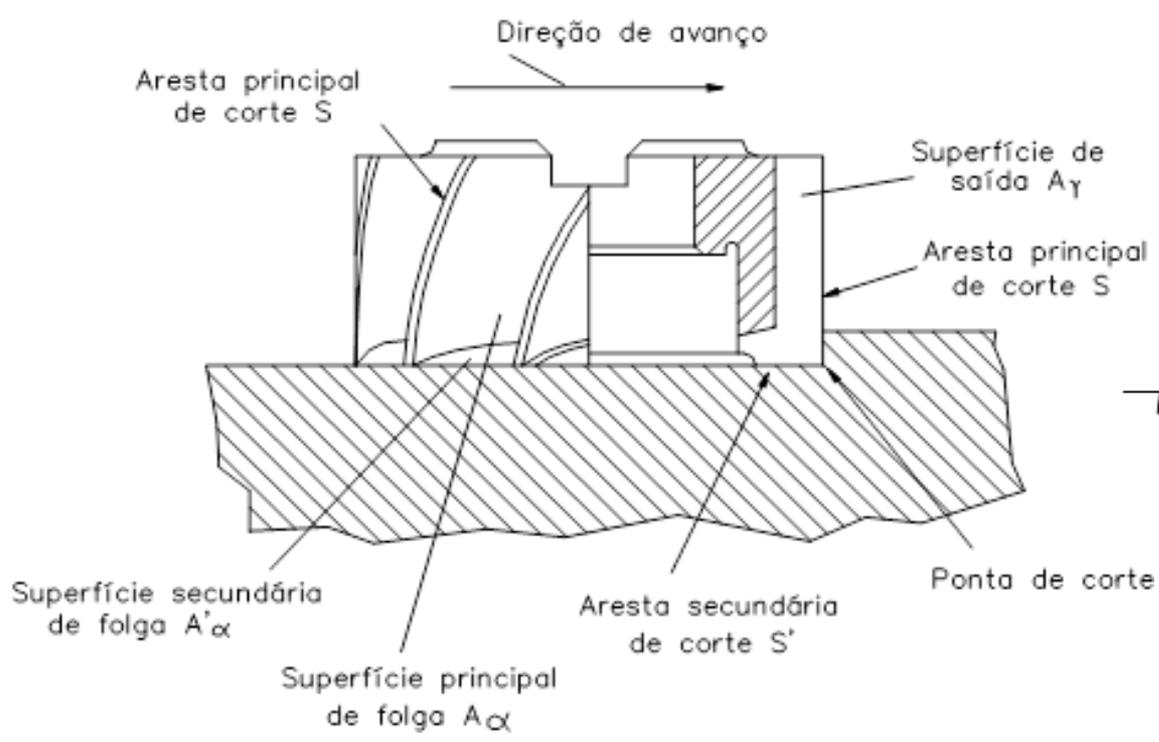
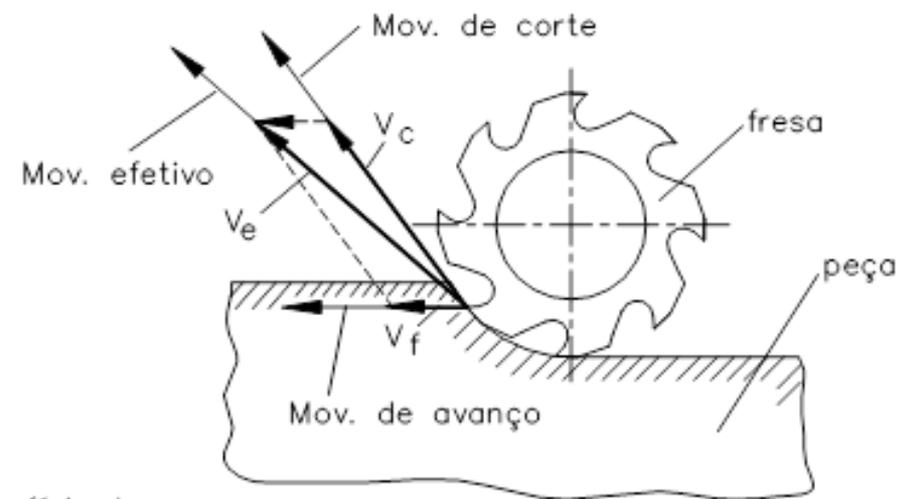


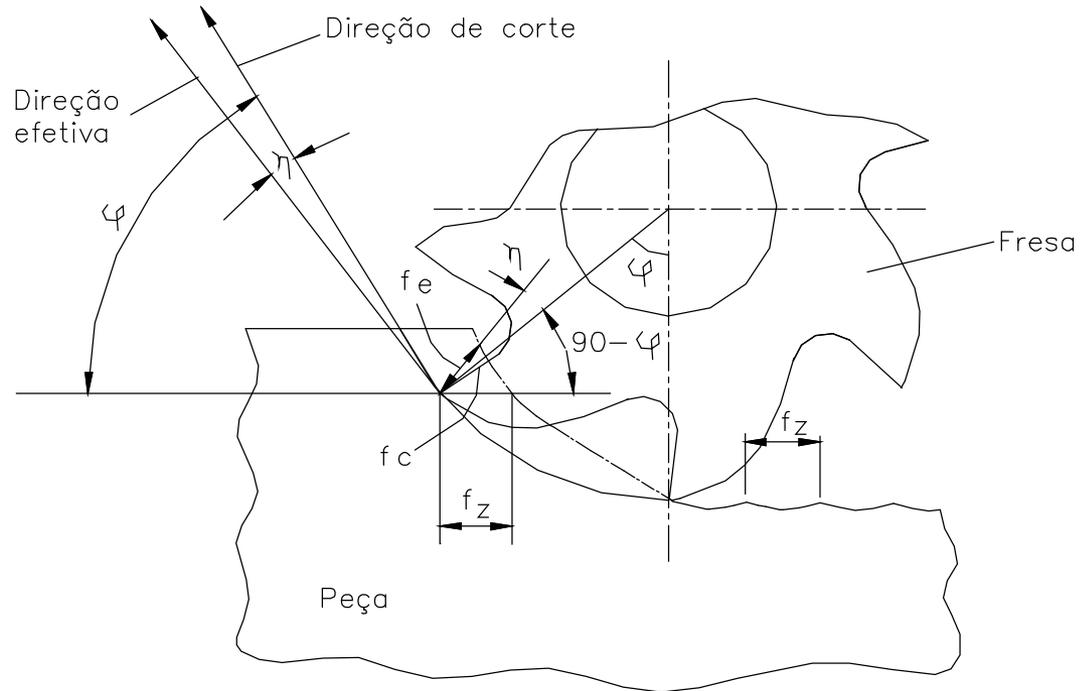
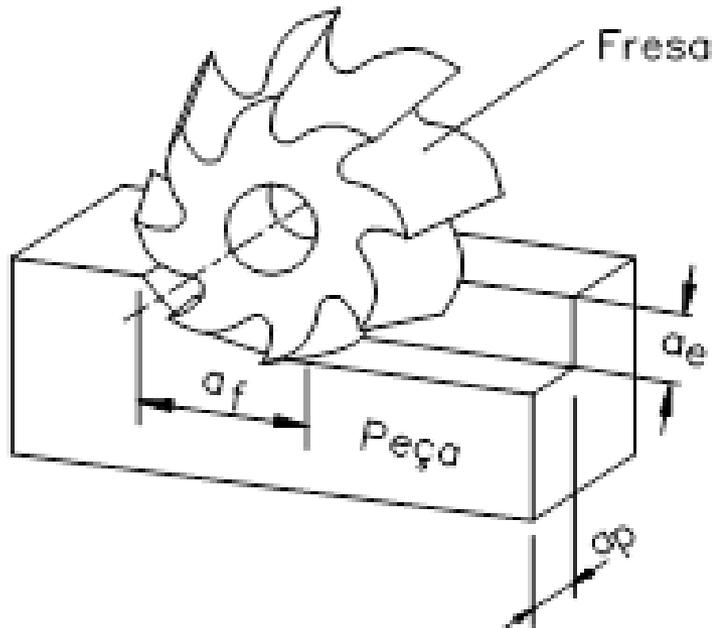
FRESAMENTO - GRANDEZAS

Movimentos de corte



FRESAMENTO - GRANDEZAS

Movimentos de corte



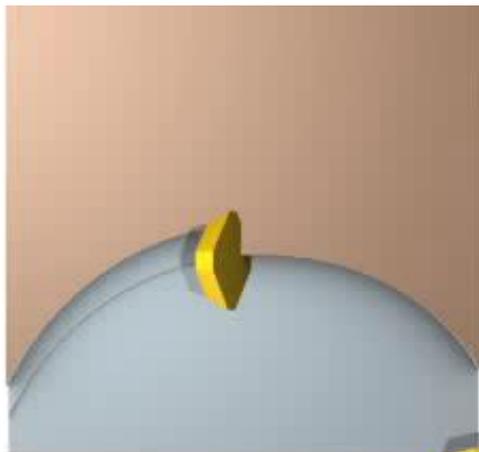
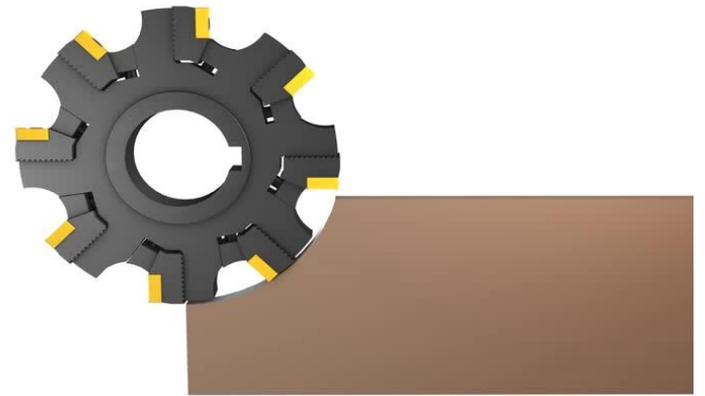
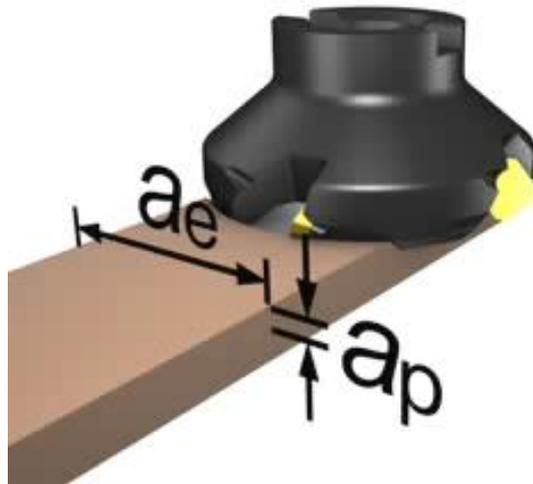
$$f_c = f_z \cdot \text{sen} \varphi \quad [\text{mm/dente}]$$

$$f_e = f_z \cdot \text{sen}(\varphi - \eta) \quad [\text{mm/dente}]$$

$$v_f = f \cdot n$$

FRESAMENTO - GRANDEZAS

Movimentos de corte



FRESAMENTO - GRANDEZAS

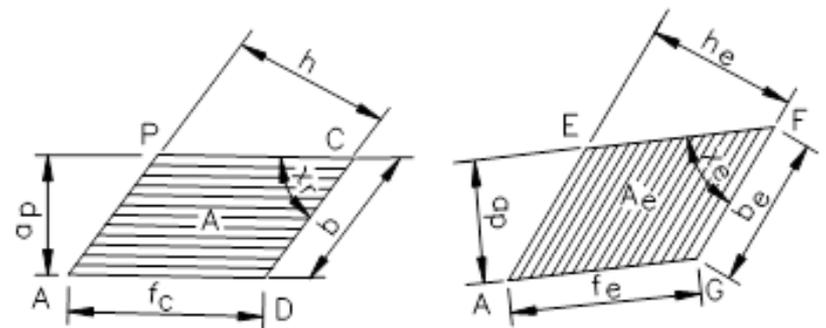
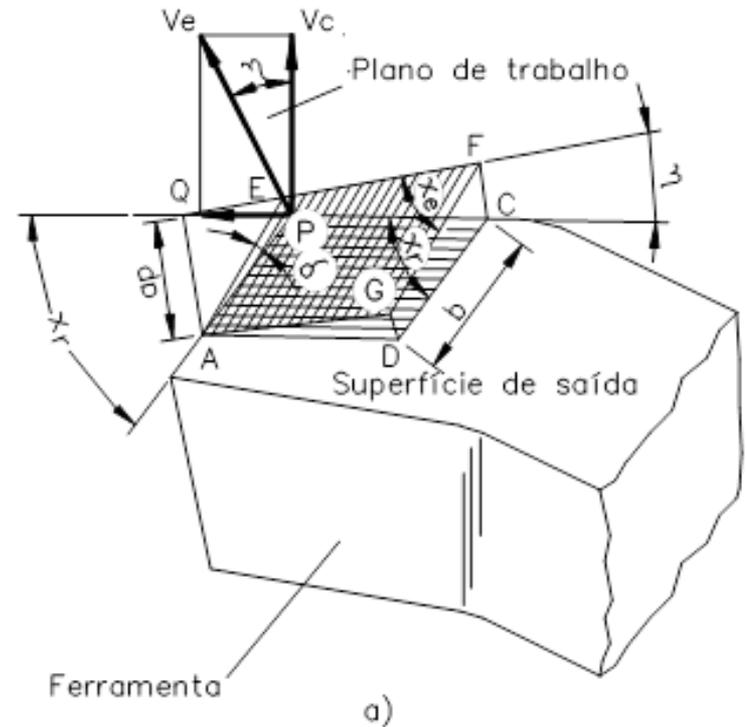
Movimentos de corte

$$b = \frac{a_p}{\text{sen}\chi_r}$$

$$h = f_c \cdot \text{sen}\chi_r$$

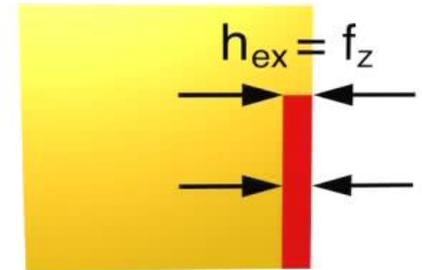
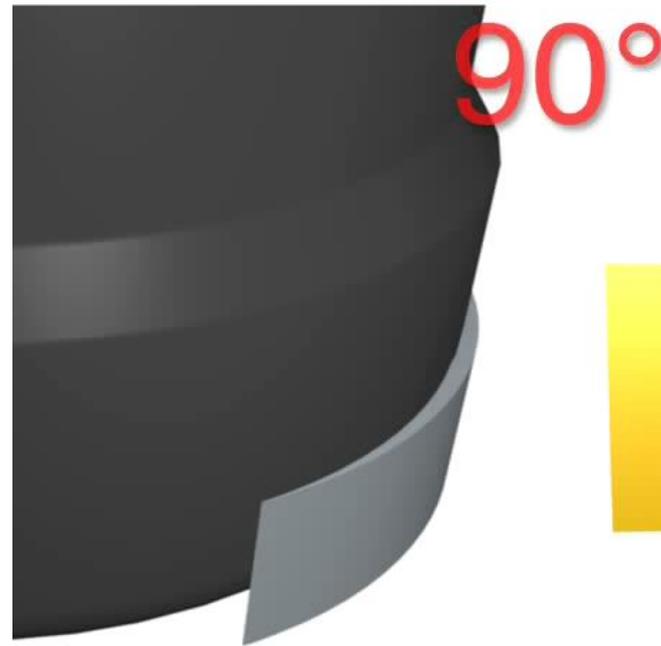
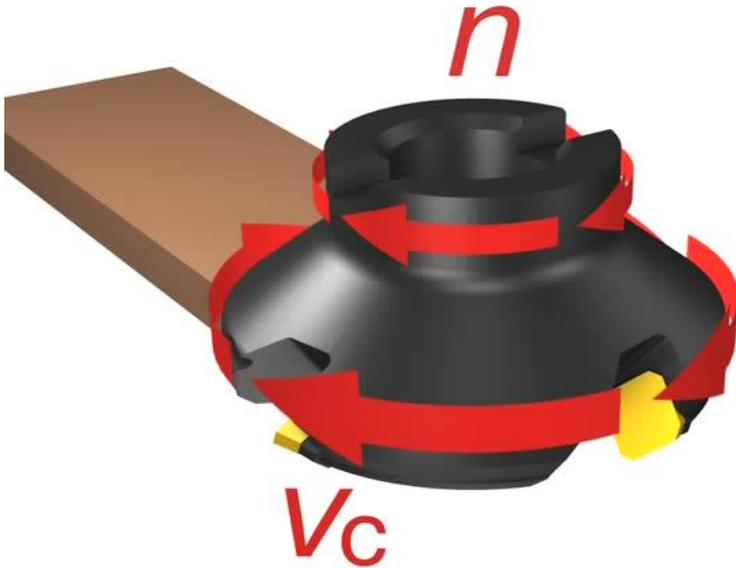
$$A = a_p \cdot f_c$$

$$A = b \cdot h$$



FRESAMENTO - GRANDEZAS

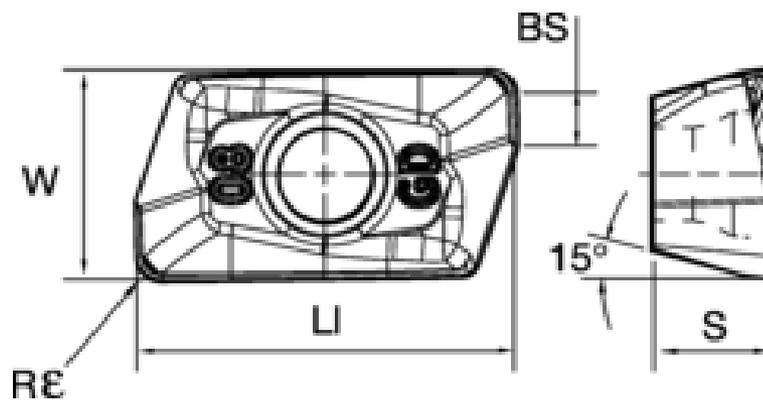
Velocidade de corte



$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [m/min]$$

FRESAMENTO - FERRAMENTAS

GEOMETRIA EXTERNA

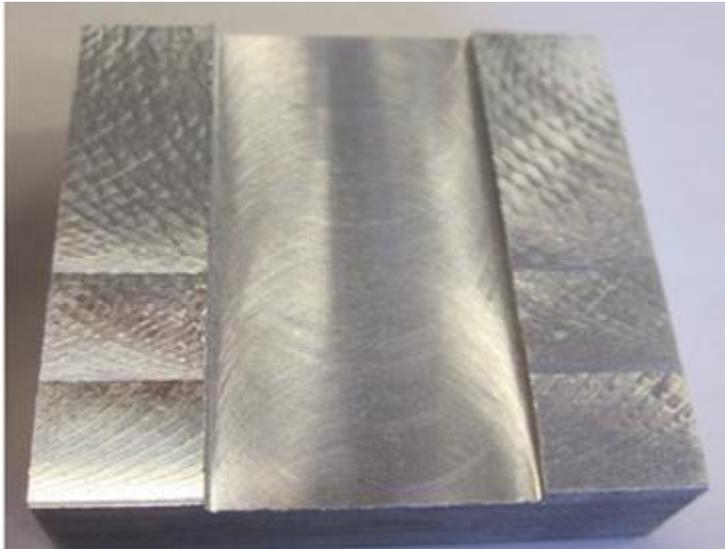


FRESAMENTO - FERRAMENTAS

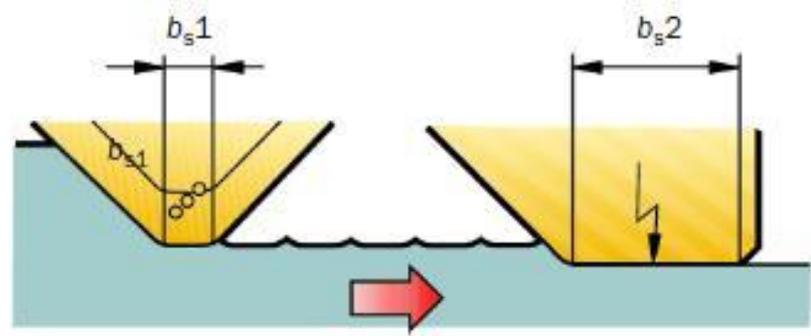
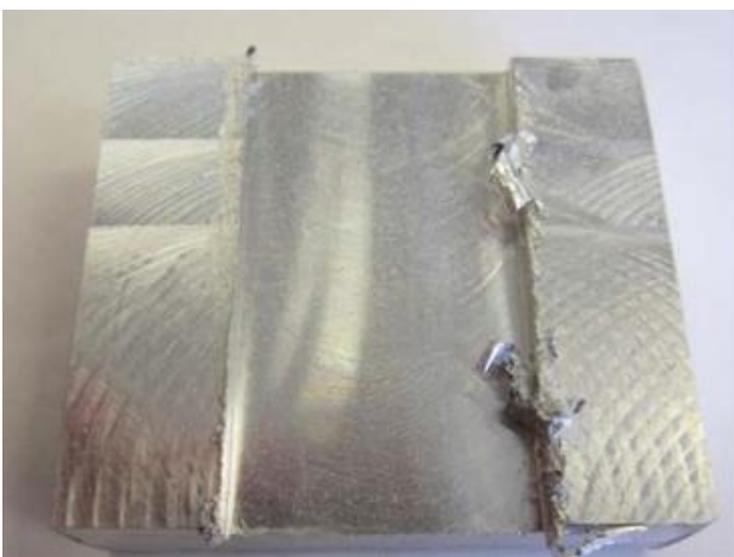
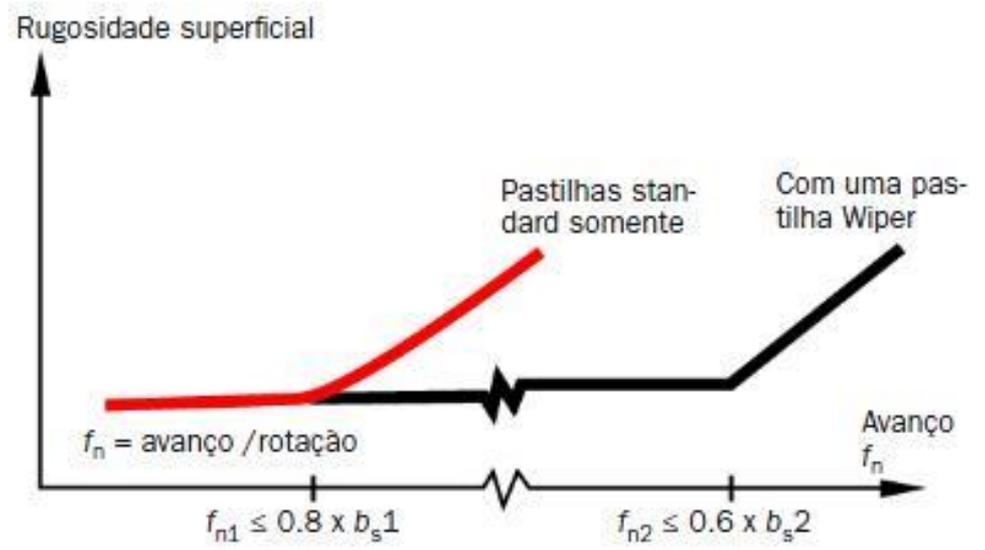
GEOMETRIA EXTERNA



FRESAMENTO - FERRAMENTAS



Rugosidade



FRESAMENTO - Parâmetros

Condições de corte em fresamento

Material peça + Material ferramenta = v_c

Rugosidade = f_z

Força e potência = a_p, a_e

Adicionalmente observar: recomendações de f_z, v_c, a_p e a_e fabricante da ferramenta, rigidez e fixação da peça, etc.

FRESAMENTO - Parâmetros

Tabela 3.2 – Valores recomendados de velocidade de corte v_c para fresamento

MATERIAL	Resistência σ_t [kg*/mm ²] ou dureza HB	Fresas de t \hat{o} po (para facear)		Demais tipos de fresas	
		AR	MD	AR	MD
Aço Carbono	< 50	21 - 30	90 - 200	17 - 24	100 - 150
	50 - 70	20 - 28	80 - 160	16 - 24	80 - 120
	70 - 90	15 - 23	60 - 110	15 - 20	60 - 100
	90 - 110	12 - 19	50 - 100	11 - 18	50 - 80
Aço liga	-	12 - 20	45 - 80	13 - 17	60 - 100
Aço Fundido	38 - 52	15 - 25	50 - 90	13 - 19	40 - 70
FoFo Cinzento	< 200 HB	19 - 26	65 - 100	14 - 19	50 - 80
	> 200 HB	14 - 25	40 - 70	10 - 16	40 - 60
FoFo nodular	-	-	-	10 - 20	50 - 100
FoFo maleável	-	18 - 28	80 - 120	16 - 22	50 - 80
Ligas de Alumínio	-	180 - 270	300 - 1000	200 - 300	200 - 600
Latao	-	50 - 70	120 - 240	34 - 48	80 - 120
Bronze	-	40 - 65	100 - 200	30 - 40	80 - 120
Plásticos	-	60 - 80	80 - 120	30 - 50	80 - 100
CÓDIGO:		OBSERVAÇÃO:			
AR - AÇO RÁPIDO		- Quando existir crosta de fundição e laminação ou outros defeitos superficiais a velocidade de corte deve ser reduzida.			
MD - METAL DURO					

FRESAMENTO - Parâmetros

Tabela 3.1 – Valores recomendados de avanço por dente f_z para fresamento

MATERIAL	Resistência σ_t [kg*/mm ²] ou dureza HB	Tangen- ciais		Tang. Frontais		Disco		Topo c/ haste		Forma		Frontais (com insertos)	
		AR	MD	AR	MD	AR	MD	AR	MD	AR	MD	AR	MD
Aço Carbono	até 50	0,20	0,25	0,25	0,28	0,07	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	0,15 - 0,25	0,10 - 0,25
	50 - 70	0,15	0,20	0,20	0,25	0,06	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,15 - 0,20	0,10 - 0,25
	70 - 90	0,10	0,15	0,15	0,22	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,12 - 0,15	0,08 - 0,20
	90 - 110	0,08	0,15	0,10	0,22	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,12 - 0,15	0,08 - 0,20
Aço liga	-	0,08	0,15	0,10	0,22	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,10 - 0,12	0,10 - 0,20
Aço Fundido	38 - 52	0,15	0,15	0,15	0,22	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,12 - 0,20	0,10 - 0,30
FoFo	< 200 HB	0,20	0,20	0,20	0,25	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,10 - 0,30	0,10 - 0,35
Cinzeno	> 200 HB	0,10	0,20	0,15	0,22	0,05	0,07	0,03	0,05	0,02	0,04	0,10 - 0,20	0,10 - 0,30
Ferro nodular	-	0,20	0,20	0,20	0,22	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	- - -	- - -
FoFo maleável	-	0,20	0,20	0,20	0,25	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,10 - 0,30	0,15 - 0,30
Ligas de Al.	-	0,15	0,10	0,10	0,15	0,07	0,07	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10 - 0,20	0,10 - 0,25
Latão	-	0,20	0,25	0,20	0,30	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,10 - 0,25	0,10 - 0,30
Bronze	-	0,15	0,25	0,15	0,30	0,06	0,07	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10 - 0,25	0,10 - 0,25
Plásticos	-	0,15	0,25	0,20	0,30	0,10	0,10	0,06	0,07	0,04	0,06	0,10 - 0,20	0,10 - 0,20

OBSERVAÇÕES:

CÓDIGO:

AR - AÇO RÁPIDO

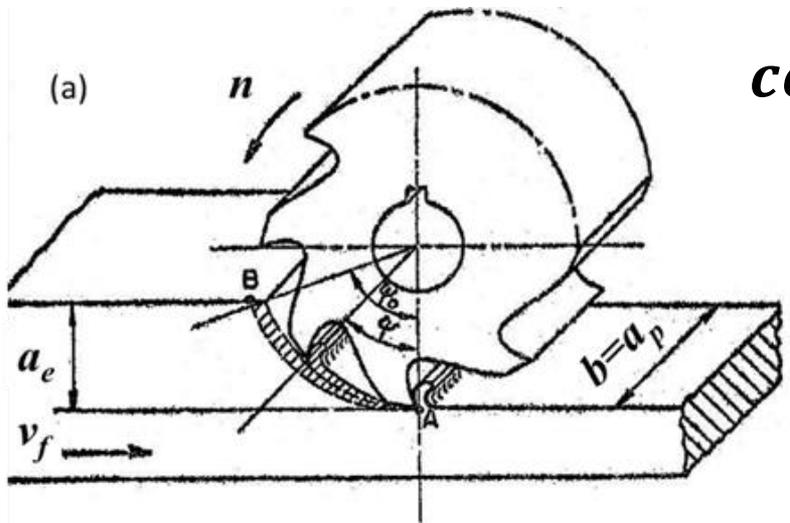
MD - METAL DURO

a) Os valores indicados correspondem a uma espessura de penetração de 3,0 a 5,0 mm. no fresamento cilíndrico tangencial e a uma profundidade de corte de 3,0 a 5,0 no fresamento frontal.

b) Entende-se como fresas frontais aquelas utilizadas para o faceamento.

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

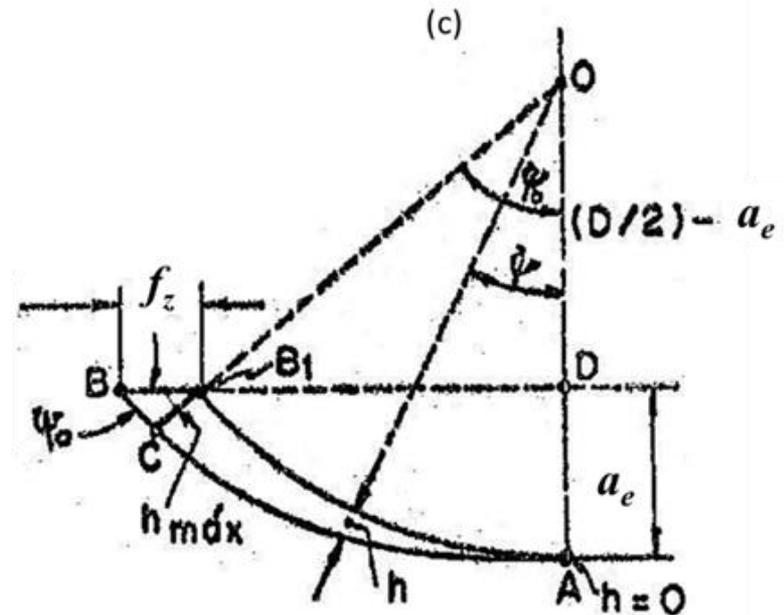
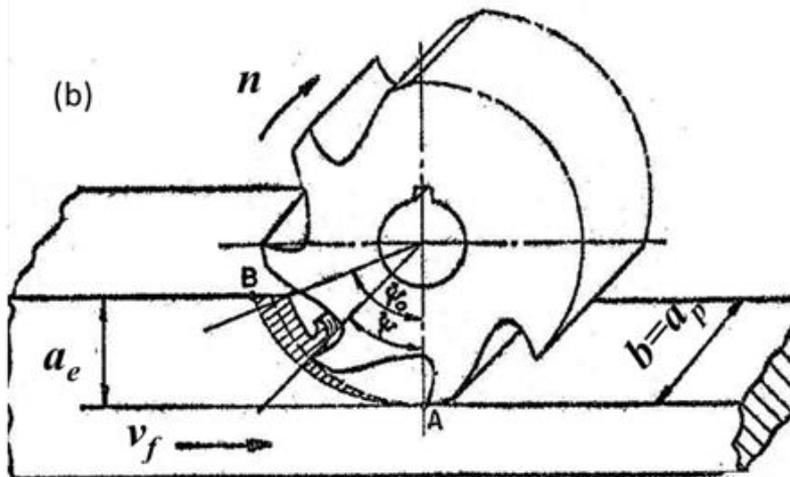
Fresamento tangencial



$$\cos(\Psi_0) = (D - 2a_e)/D = 1 - 2(a_e/D)$$

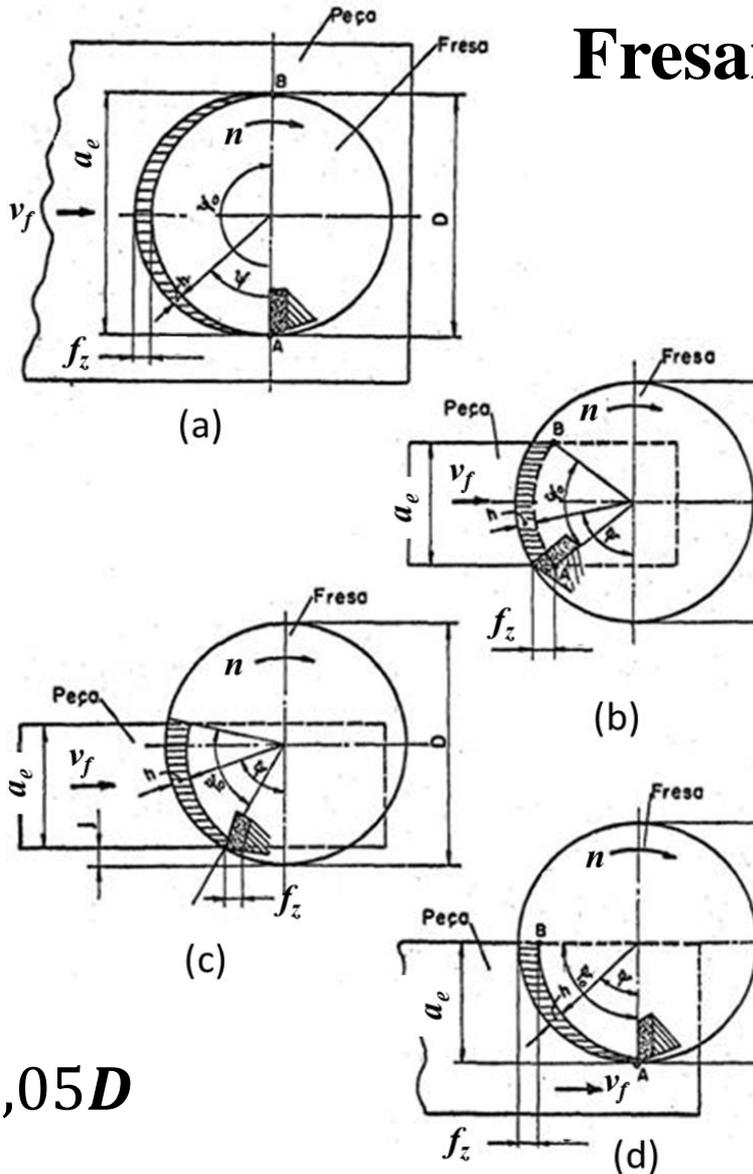
$$h_{max} = f_z \text{sen} \Psi_0$$

$$h_{max} = 2f_z \sqrt{\frac{a_e}{D} - \left(\frac{a_e}{D}\right)^2}$$



FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento tangencial



$$h_{max} = f_z \text{sen} \Psi_0$$

$$h_{max} = 2f_z \sqrt{\frac{a_e}{D} - \left(\frac{a_e}{D}\right)^2}$$

$$h_{max} = f_z$$

$$S = h \cdot a = h \cdot a_p$$

$$S_{max} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \text{sen} \Psi_0$$

$$j = 0,05D$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento tangencial

$$S_{max} = a_p \cdot h_{max} = 2a_p \cdot f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D} - \left(\frac{a_e}{D}\right)^2}$$

A seção média é dada por:

$$S_m = (a_p/2) \cdot h_{max} = (f_z/2) \cdot a_d \cdot \text{sen}\Psi_o$$

O volume de material removido é:

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f \quad \text{Ou:} \quad Q = 1000 \cdot v_c \cdot S_m$$

Substituindo-se Q

$$a_p \cdot a_e \cdot v_f = 1000 \cdot v_c \cdot S_m \quad \text{Ou:} \quad S_m = (a_p \cdot a_e \cdot v_f) / 1000 \cdot v_c$$

$$v_f = f_z \cdot Z \cdot n \quad v_c = \pi \cdot D \cdot n / 1000$$

$$S_m = (a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot Z) / \pi \cdot D$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento tangencial

$$F_c = k_s \cdot h \cdot b$$

$$h = f_z \cdot \text{sen} \Psi \quad h = \frac{v_f}{n \cdot Z} \cdot \text{sen} \Psi$$

$$F_c = k_s \cdot \frac{v_f \cdot b}{Z \cdot n} \cdot \text{sen} \Psi$$

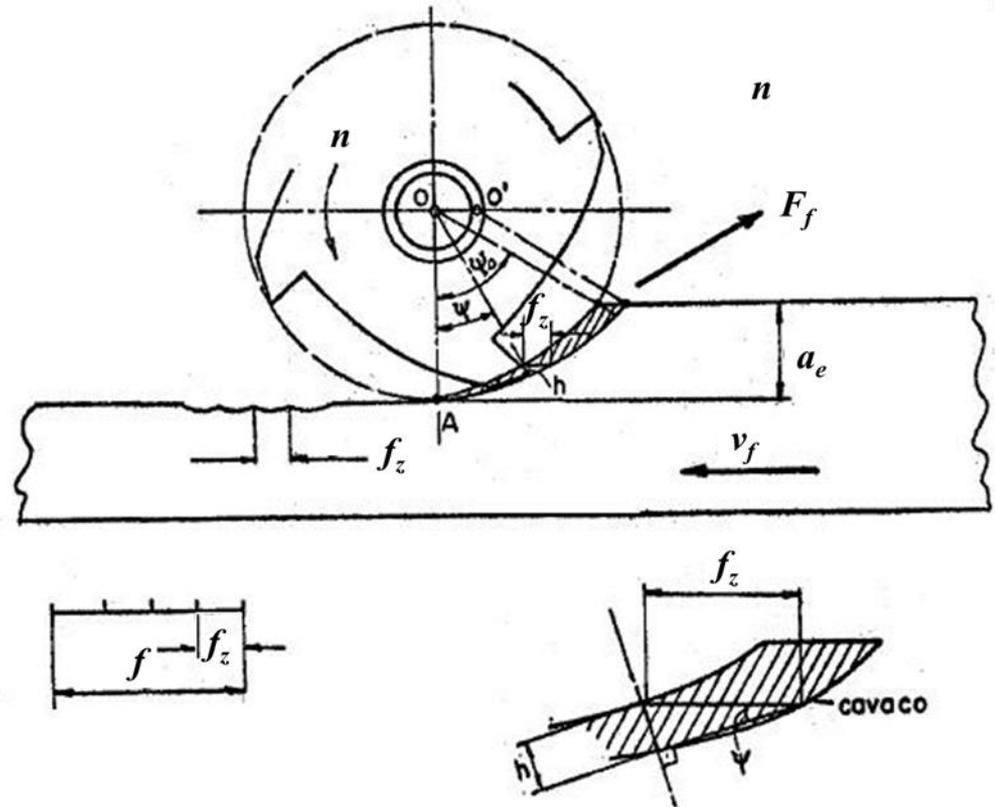
mas $h = f(\Psi)$

Segundo Kienzle

$$k_s = k_{s1} \cdot h^{-z}$$

$$F_c = k_s \cdot h \cdot b = k_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$$

$$k_s = k_{s1} \cdot b \cdot \left(\frac{v_f}{n \cdot Z} \right)^{1-z} \cdot \text{sen}^{1-z} \Psi$$



FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento tangencial

$$k_m = k_s(h_m)$$

$$h_m = h(\Psi_m) \quad \text{sendo} \quad \Psi_m = \frac{1}{2} \Psi_o$$

$$F_c = k_m \frac{v_f \cdot b}{Z \cdot n} \text{sen} \Psi$$

O trabalho elementar por dente e por volta é:

$$dW = F_c \cdot \frac{D}{Z} \cdot d\Psi \cdot \frac{1}{1000}$$

$$W = \int_0^{\Psi_o} \left[k_m \cdot \frac{v_f \cdot b}{Z \cdot n} \cdot D \cdot \text{sen} \Psi \cdot \frac{1}{2000} \right] d\Psi$$

$$W = k_m \cdot \frac{v_f \cdot b \cdot D}{2000 \cdot Z \cdot n} (1 - \cos \Psi_o)$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento tangencial

$$\cos\Psi_0 = \frac{\frac{D}{2} - a_e}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2a_e}{D}$$

$$W = k_m \cdot \frac{v_f \cdot b \cdot a_e}{1000 \cdot Z \cdot n} (1 - \cos\Psi_0)$$

A potência média total de corte será:

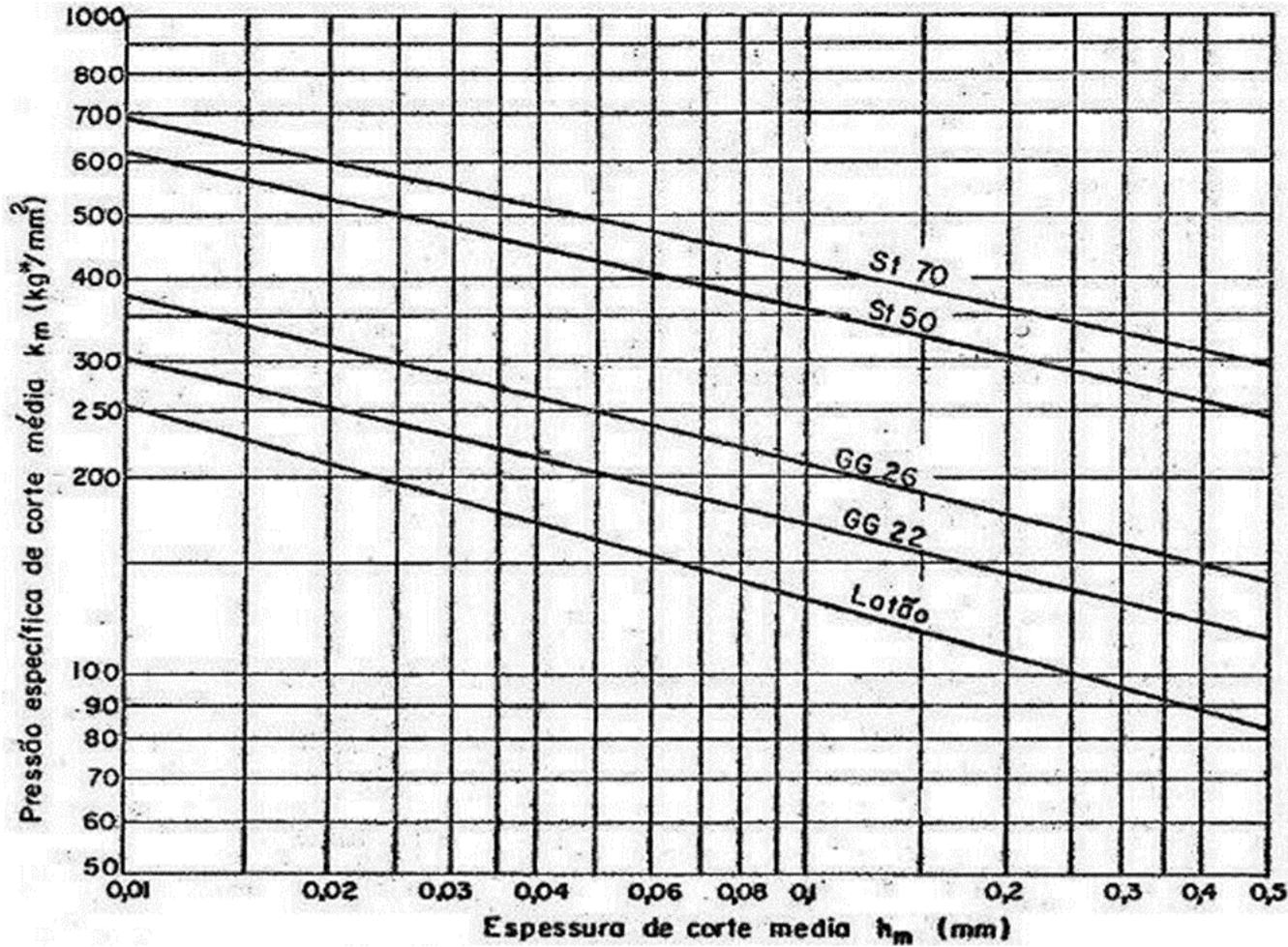
$$P_c = \frac{W \cdot Z \cdot n}{60.75} = \frac{k_m \cdot v_f \cdot b \cdot a_e}{60.75 \cdot 1000} = 2,22 \times 10^{-7} k_m \cdot b \cdot a_e \cdot v_f \quad [\text{CV}]$$

O valor de k_m pode ser encontrado pela Figura 2.2 e na Tabela 2.1.

A potência média de avanço será:

$$P_f = \frac{F_{fm} \cdot v_f}{60.75 \cdot 1000}$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

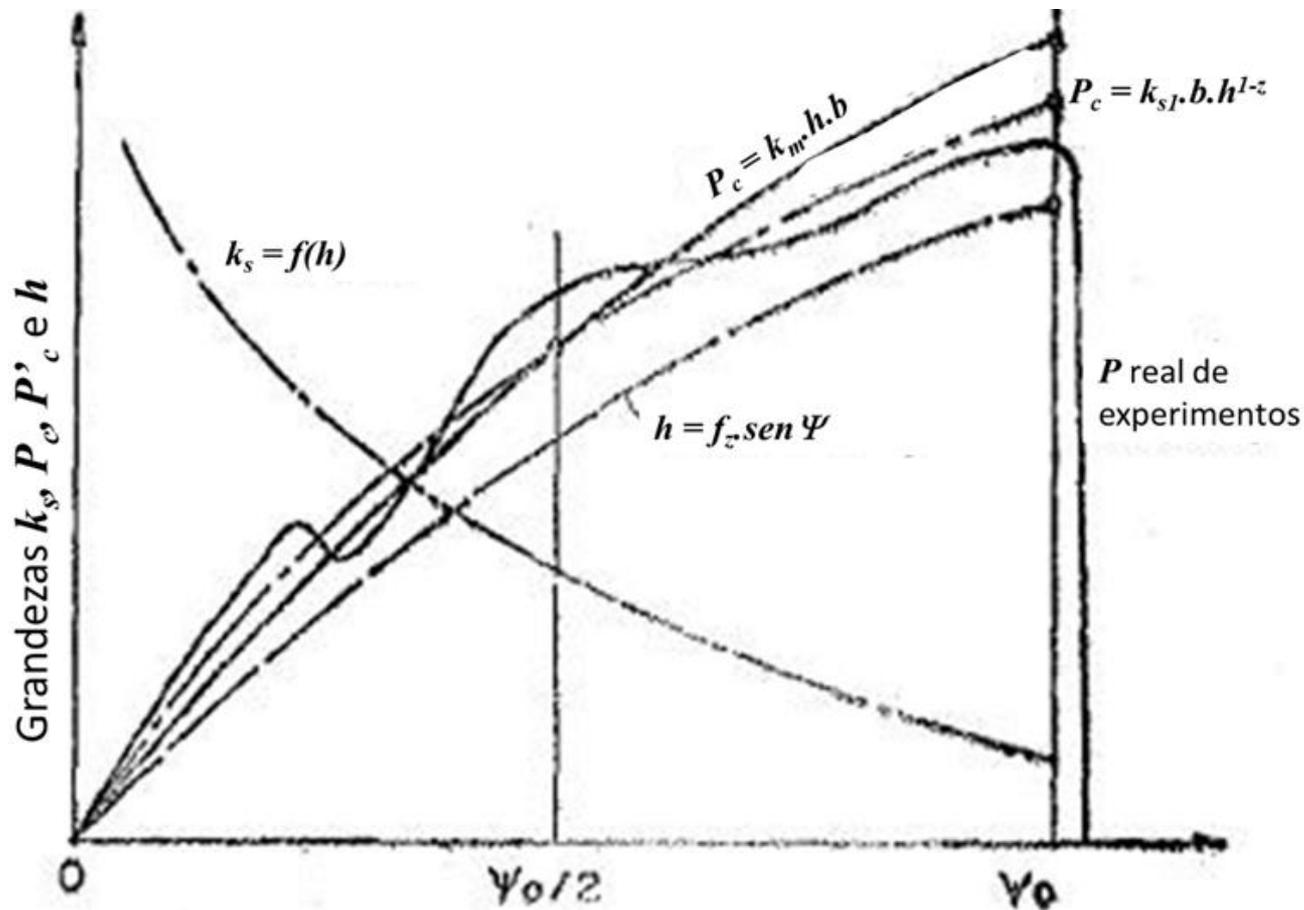


Equivalência aproximada dos	
DIN	ABNT
St50	1030 - 1035
St70	1050 - 1060
GG22	FF20
GG26	FF25

$$h_m = f_z \cdot \text{sen} \frac{\Psi_0}{2} \cdot \frac{v_f}{Z \cdot n} \cdot \text{sen} \frac{\Psi_0}{2} = \frac{v_f}{Z \cdot n} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos \Psi_0}{2}}$$

$$h_m = \frac{v_f}{Z \cdot n} \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}}$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

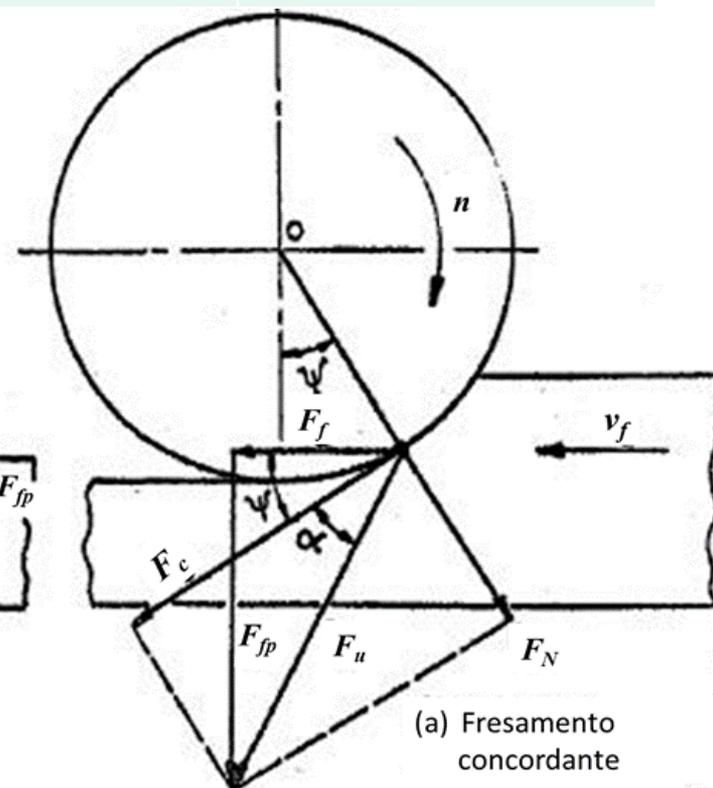
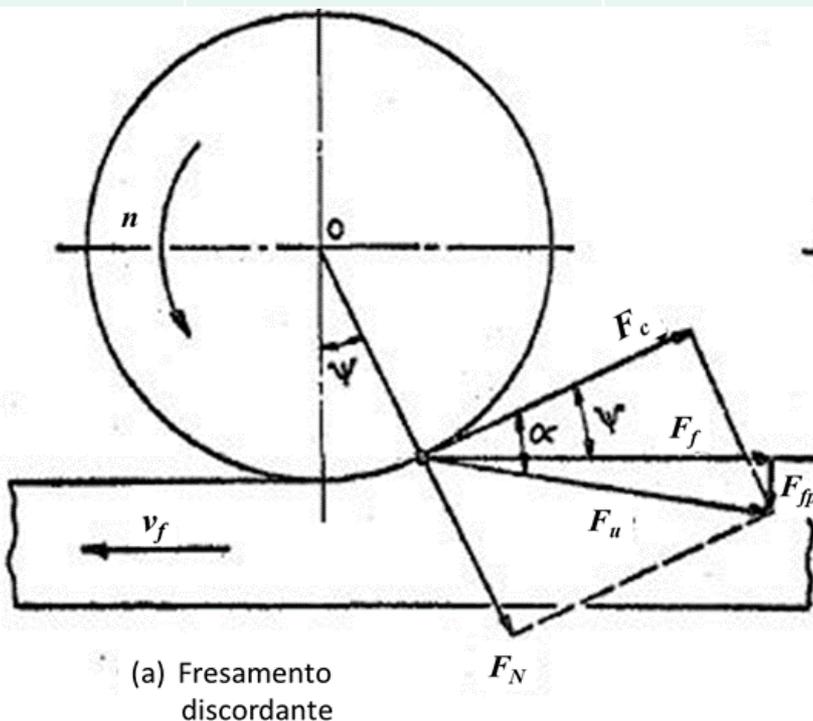


Fresamento tangencial

$$F_{cmax} = k_{s1} \cdot b \cdot \left(\frac{v_f}{n \cdot Z} \right)^{1-z} \cdot \text{sen}^{1-z} \Psi_0$$

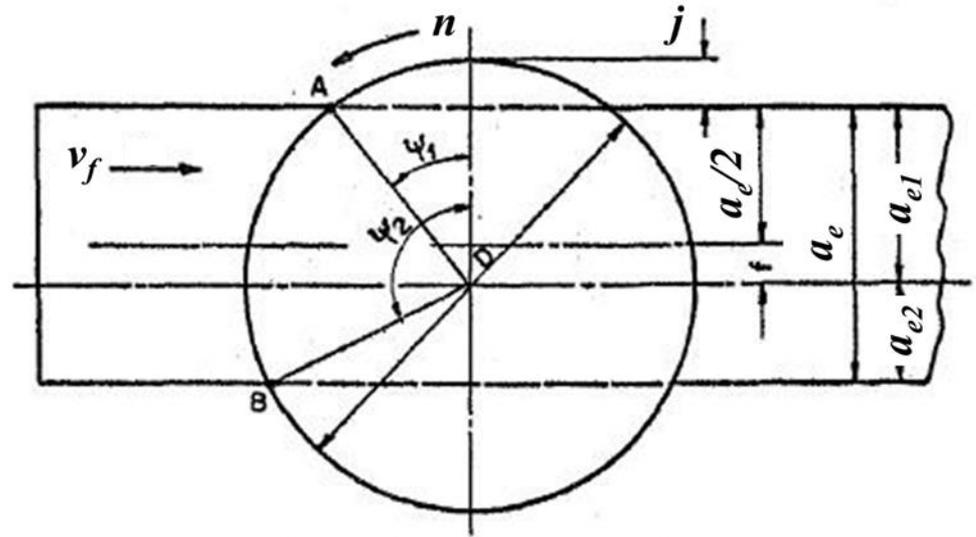
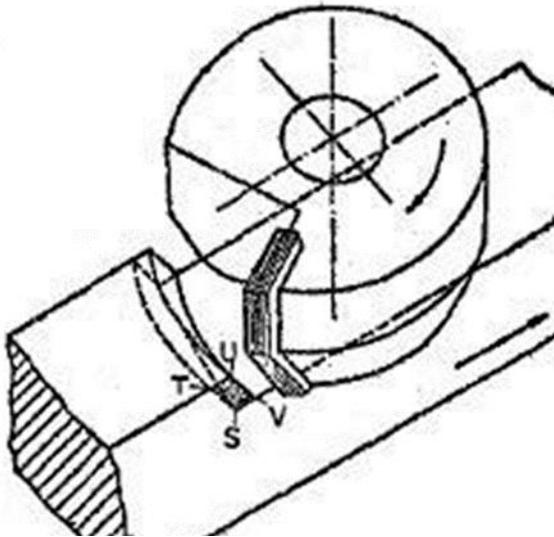
FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Tipo de fresamento	Relação			Fresamento tangencial
	F_{Rm}/F_{tm}	F_{fm}/F_{tm}	F_{pm}/F_{tm}	
Concordante	0,35 – 0,40	0,80 – 0,90	0,75 – 0,80	
Discordante	0,35 – 0,40	1,00 -1,20	0,20 -0,30	



FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento Frontal



$a_e \cong 0,75D$ em ferro e aço fundido

e

$a_e \cong 0,60D$ em aço

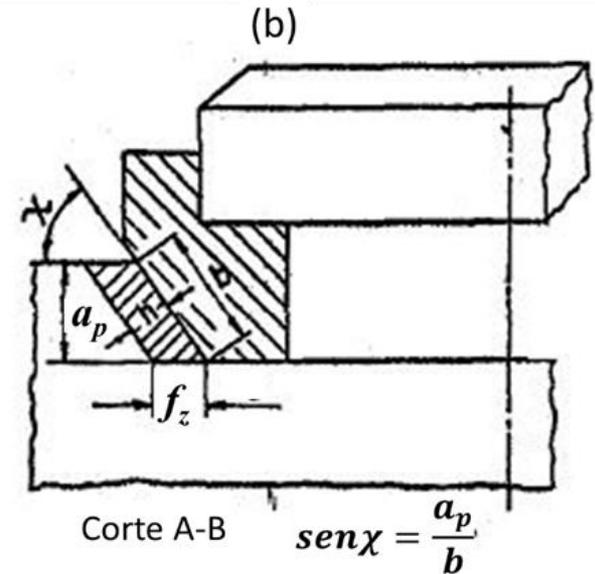
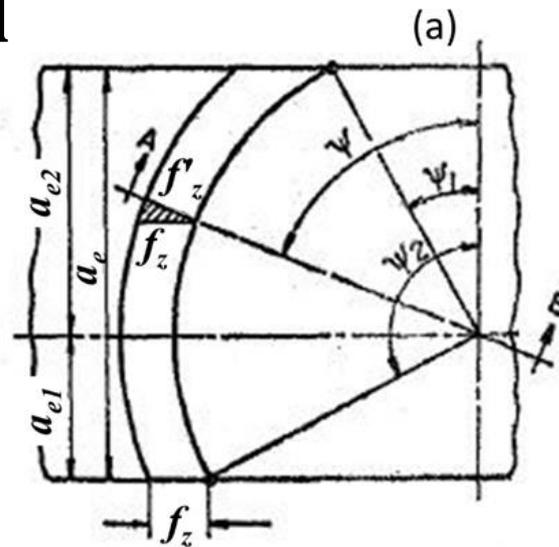
FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento Frontal

$$h = \acute{f}_z \cdot \text{sen} \chi$$

$$\acute{f}_z = f_z \cdot \text{sen} \Psi$$

$$h = f_z \cdot \text{sen} \Psi \cdot \text{sen} \chi$$



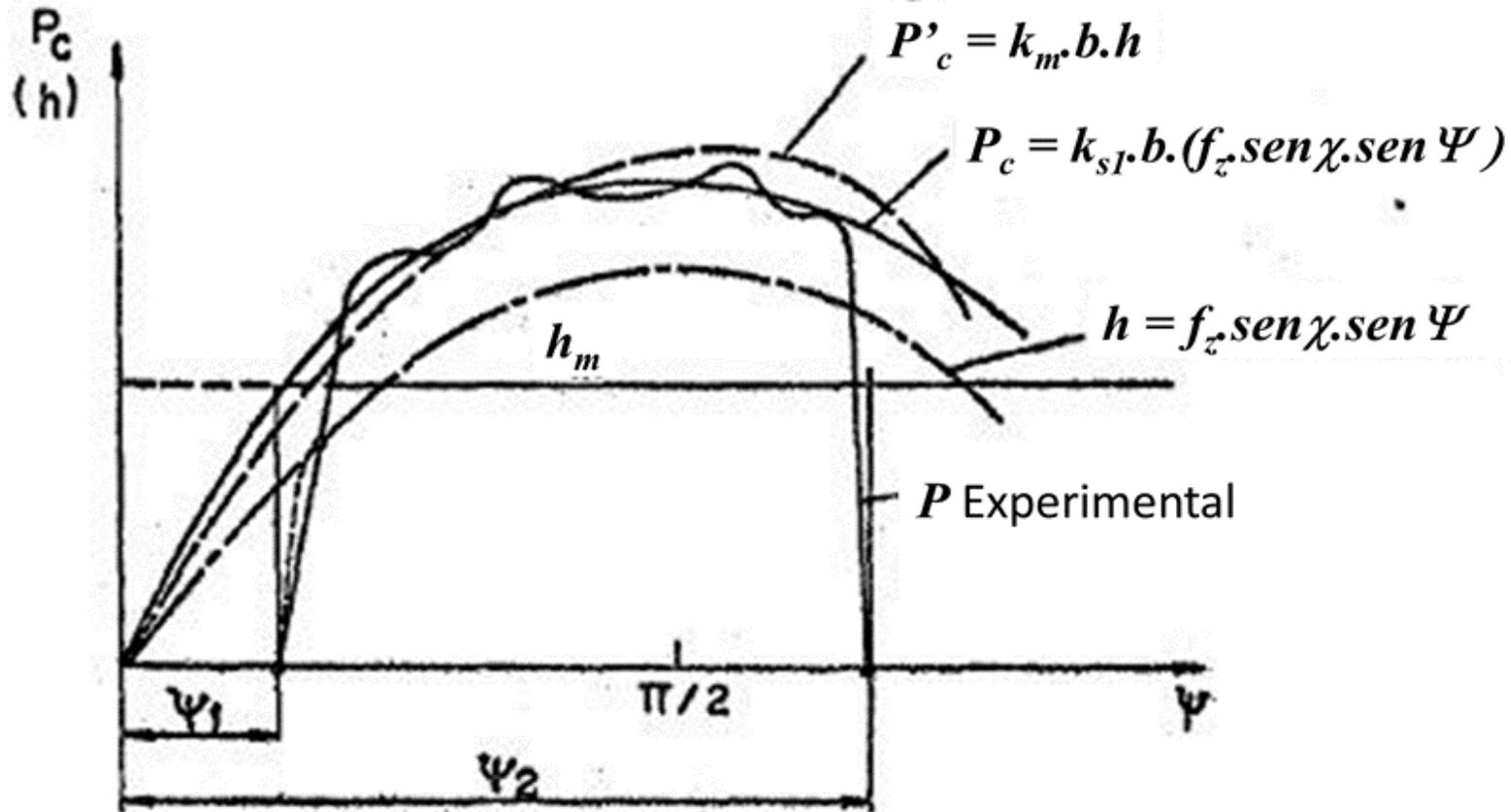
$$F_c = k_s \cdot h \cdot b$$

$$F_c = k_s \cdot a_p \cdot \acute{f}_z = k_s \cdot a_p \cdot f_z \cdot \text{sen} \Psi$$

$$h_m = \frac{1}{\Psi_2 - \Psi_1} \cdot f_z \cdot \text{sen} \chi \cdot (\cos \Psi_1 - \cos \Psi_2)$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Fresamento Frontal



$$P_c = \frac{k_m \cdot f_z \cdot a_e \cdot a_p \cdot n \cdot Z}{60.75.1000} \quad [\text{CV}]$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Cálculo aproximado pelo volume removido

$$V_d = \int_0^{\Psi_0} b \cdot h \cdot \frac{D}{2} \cdot d\Psi x = \frac{b \cdot D}{2} \cdot f_z \cdot \int_0^{\Psi_0} \text{sen} \Psi \cdot d\Psi$$

$$V_d = \frac{b \cdot D}{2} \cdot f_z \cdot (1 - \cos \Psi_0)$$

$$V_d = \frac{b \cdot D}{2} \cdot f_z \cdot \left(1 - \frac{\frac{D}{2} - a_e}{\frac{D}{2}} \right) = b \cdot a_e \cdot f_z$$

O volume total arrancado por minuto para Z dentes e n voltas será:

$$V = b \cdot a_e \cdot a_d \cdot n \cdot Z = b \cdot a_e \cdot v_f \quad [\text{mm}^3/\text{min}]$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Cálculo aproximado pelo volume removido

TOOL ENGINEERS HANDBOOK	V' $\left \frac{10^3 \cdot \text{mm}^3}{\text{HP} \cdot \text{min}} \right $	KEARNEY & TRECKER	V' $\left \frac{10^3 \cdot \text{mm}^3}{\text{HP} \cdot \text{min}} \right $	CINCINNATI MILLING	V' $\left \frac{10^3 \cdot \text{mm}^3}{\text{HP} \cdot \text{min}} \right $
Alumínio e Magnésio	41,0-65,5	Alumínio	37,4	Alumínio fundido	32,8
Bronze e latão, mole	27,9-41,0	Latão, mole	32,8	Magnésio	41,0
Bronze e latão, médio	16,4-22,9	Bronze, duro	22,9	Latão	29,5
Bronze e latão, duro	9,8-16,4	Bronze, muito duro	10,6	Ferro fundido	20,5
Ferro fundido, mole	24,6	FoFo, mole	22,1	Ferro Fundido mal.	20,5
Ferro fundido, médio	13,1-16,4	FoFo, duro	13,9	Aço 100 HB	13,1
Ferro fundido, duro	9,8-13,1	FoFo, coquilhado	10,6	Aço 150 HB	11,5
FoFo mal. e Aço Tref. SAE 6140	14,7	FoFo, maleável	14,7	Aço 200 HB	10,6
Aço Tref. SAE 1112, 1120 e 1315	16,4	Aço, mole	13,9	Aço 250 HB	9,8
Forjados e aços liga SAE 3120, 1020, 2320 e 2345, c/150-300HB	10,3-14,3	Aço, médio	10,6	Aço 300 HB	9,0
Aços liga 300-400 HB	8,2	Aço, duro	7,9	Aço 400 HB	8,2
Aço inox. de corte livre AISI 416	18,0				
Aço inox. austenítico de corte livre AISI 303	13,6				
Aço inox. austenítico, AISI 304	11,8				
Metal monel	9,0				
Cobre, recozido	13,8				
Aço ferramenta	8,3				
Níquel	8,6				
Titânio	12,3				

$$P_c = \frac{V'}{V}$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Cálculo aproximado pelo volume removido

Material	Resistência σ_t [kg*/mm ²] ou dureza	Fresa cilíndrica [mm ³ /KW.min.]	Fresa Frontal [mm ³ /KW.min.]
Aço Carbono	50 - 60	13000	16000
	60 - 70	12000	14000
	70 - 85	10000	12000
Aço - liga	70 - 85	9000	11000
	85 - 100	8000	9000
	100 - 140	7000	8000
Aço fundido	30 - 50	11000	14000
	50 - 70	9000	12000
Ferro fundido cinzento	até 200 HB	30000	36000
	200 - 250 HB	25000	30000
	250 - 400 HB	18000	22000
Ferro Fundido Duro	GTW-35	14000	20000
Cobre		30000	40000
Latão		40000	50000
Alumínio		50000	70000
Duralumínio		45000	55000
Bronze GSnbz 14		20000	25000

$$P_c = \frac{V'}{V}$$

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Potência dos motores de acionamento

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

Potência do motor [HP]	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50
Rendimento [%]	40	48	52	52	55	60	65	70	75	80
Potência disponível no eixo árvore	1,2	2,4	3,9	5,2	8,2	12	16,3	21	30	40

FRESAMENTO – Força e Potência de corte

Calcular as forças de Corte, avanço, passiva e a potência de corte. Use também o método aproximado

Operação: Fresamento frontal

$$\chi = 45^\circ,$$

Metal duro (MD),

$$a_p = 2,0 \text{ mm},$$

$$a_e = 20,0 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,5 \text{ mm/dente},$$

ABNT 1045,

$$v_c = 250 \text{ m/min.}$$

