



PROCESSOS DE USINAGEM

AULA 1

Movimentos e Grandezas no Processo de Usinagem

Professor: Dr. Paulo Sergio Olivio Filho

INTRODUÇÃO A PROCESSOS DE USINAGEM

A Usinagem é baseada na mecânica (cinemática, atrito e deformação), na termodinâmica (geração e propagação de calor) e nas propriedades dos materiais.

É uma operação que confere à peça: forma, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através da remoção de material sob a forma de cavaco.



INTRODUÇÃO A PROCESSOS DE USINAGEM



Cavaco é a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular.

A remoção de material ocorre através da interferência entre ferramenta e peça, sendo a ferramenta constituída de um material de dureza e resistência muito superior à do material da peça.

SEQUÊNCIA DE USINAGEM

Material Bruto

Sequência de Usinagem

Produto Final

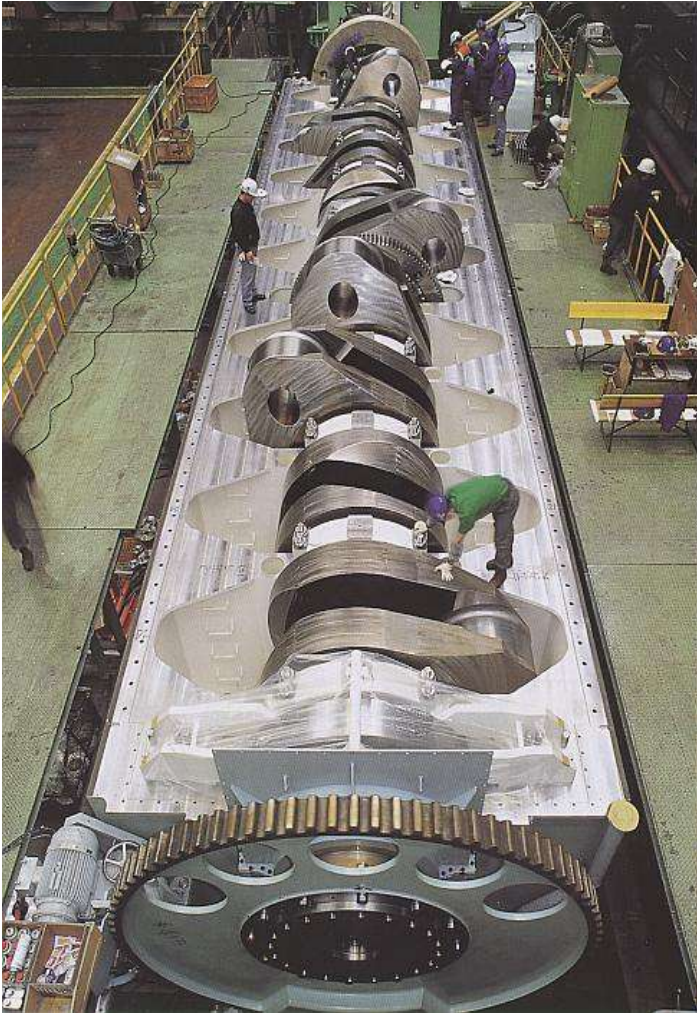


Remoção de cavaco

Remoção de cavaco

Remoção de cavaco

IMPORTÂNCIA DA USINAGEM NA INDÚSTRIA

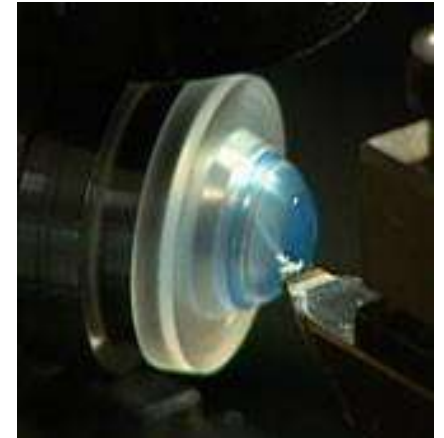
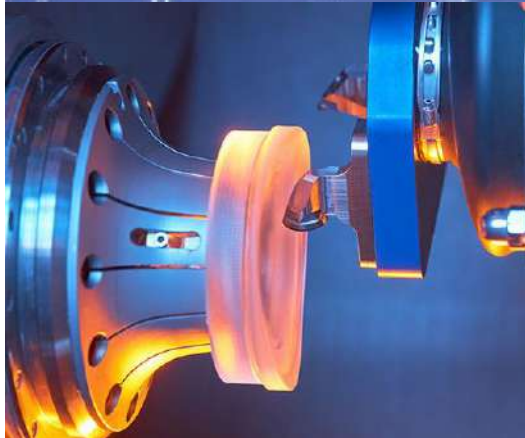


- 80% dos furos são realizados por usinagem
- 100% dos processos de melhoria da qualidade superficial são feitos por usinagem
- O comércio de máquinas-ferramentas representa uma das grandes fatias da riqueza mundial
- 70% das engrenagem para transmissão de potência
- 90% dos componentes da indústria aeroespacial
- 100% dos pinos médico-odontológicos

IMPORTÂNCIA DA USINAGEM NA INDÚSTRIA

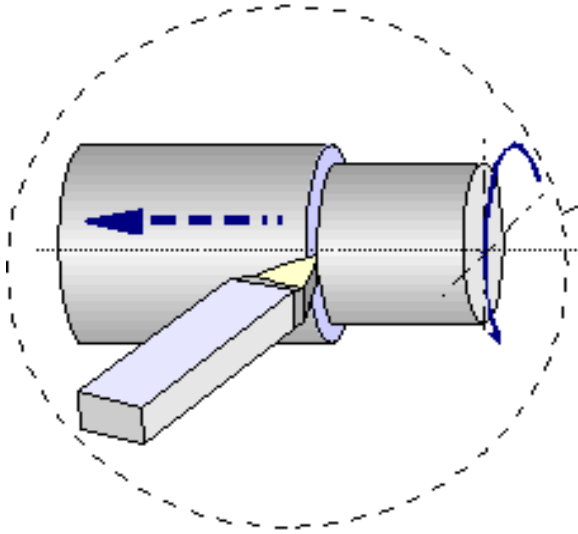


- Outros produtos usinados
- 70% das lentes de contatos extraoculares
- 100% das lentes de contatos intraoculares
- Óculos
- Matrizes para forjamento e estampo
- Motores

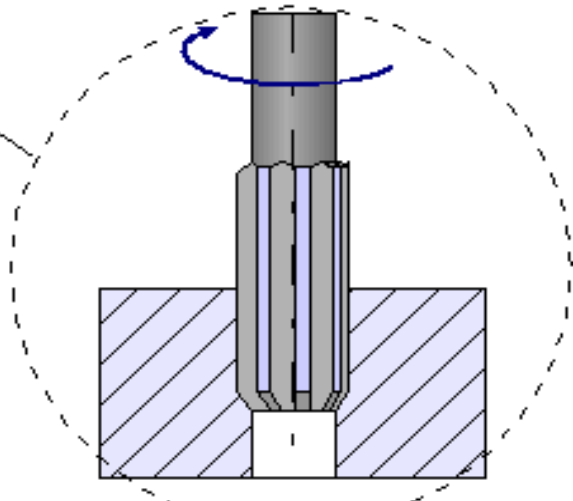
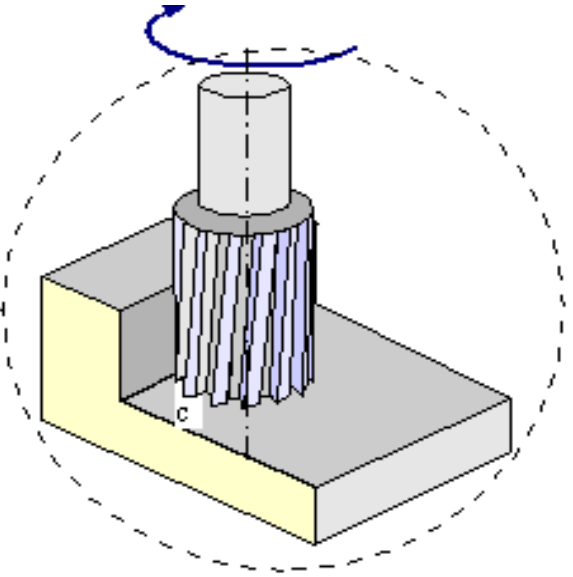
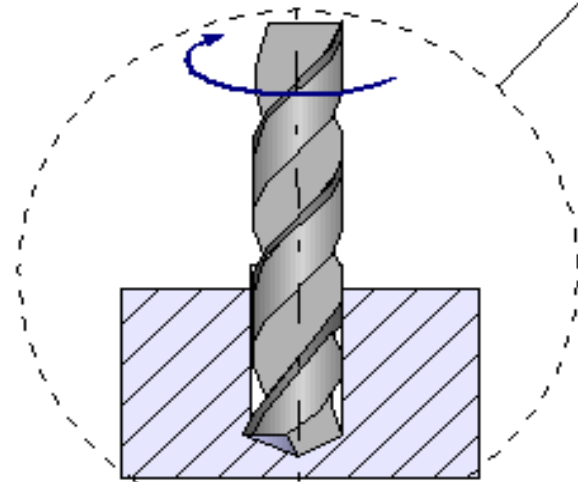


USINAGEM CONVENCIONAL

Ferramenta de Geometria Definida



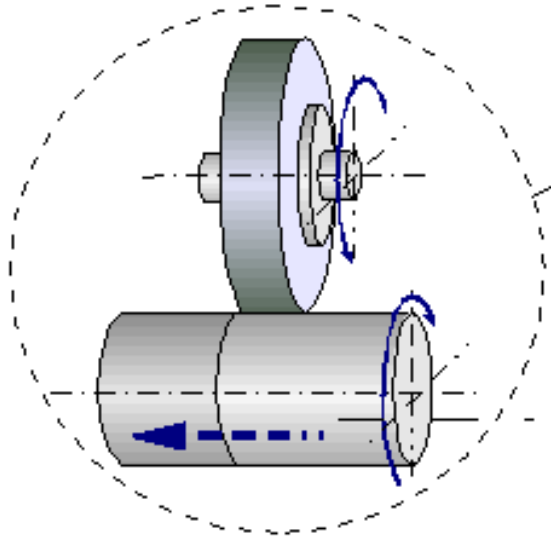
Tornear
Fresar
Furar
Rosquar
Alargar
Brochar
Serrar
Plainar
Outros...



Ferramenta de Geometria Definida

USINAGEM CONVENCIONAL

Ferramenta de Geometria Não Definida



Retificar

Brunir

Lapidar

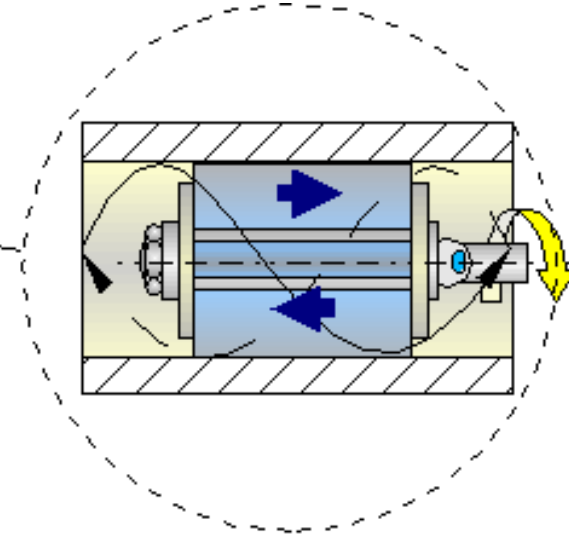
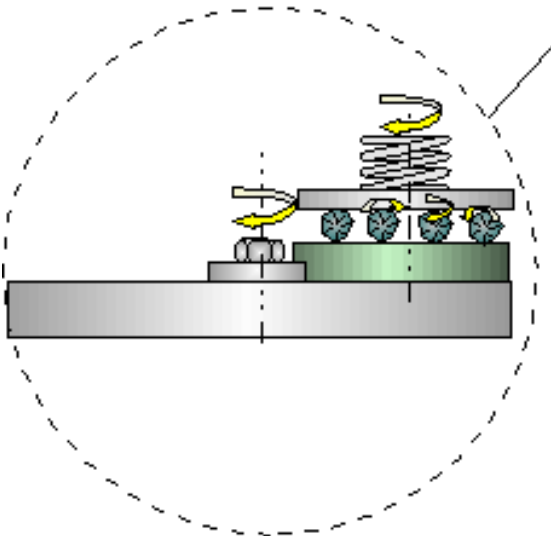
Lixar

Polir

Jatear

Tamborear

Outros...



Ferramenta de Geometria Não Definida

USINAGEM NÃO CONVENCIONAL



Usinagem Não convencional

Remoção térmica

- Por corte a Plasma
- Por Laser
- Por Feixe de Ions
- Por Eletroerosão



Remoção Mecânica

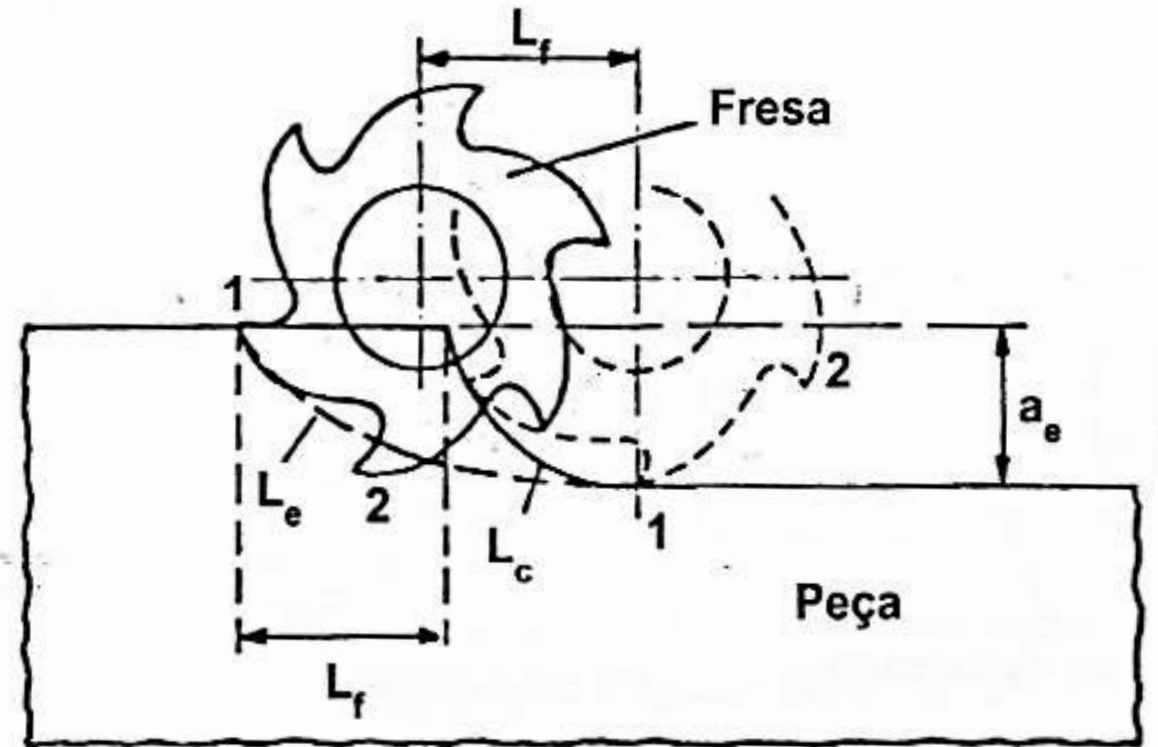
- Por ultra-som
- Por jato d'água



Remoção Química
Remoção Eletroquímica



- ❖ **Direção:** direção instantânea do movimento.
- ❖ **Velocidades:** velocidade instantânea do movimento.
- ❖ **Percurso:** espaço percorrido sobre a peça, segundo a direção de avanço durante um determinado tempo.



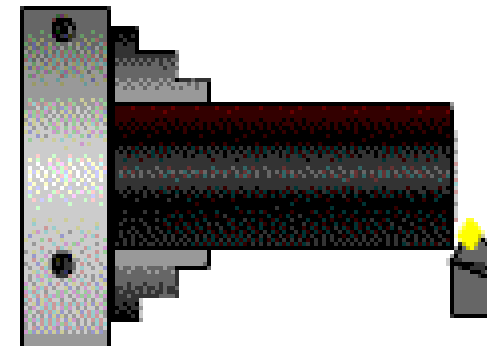
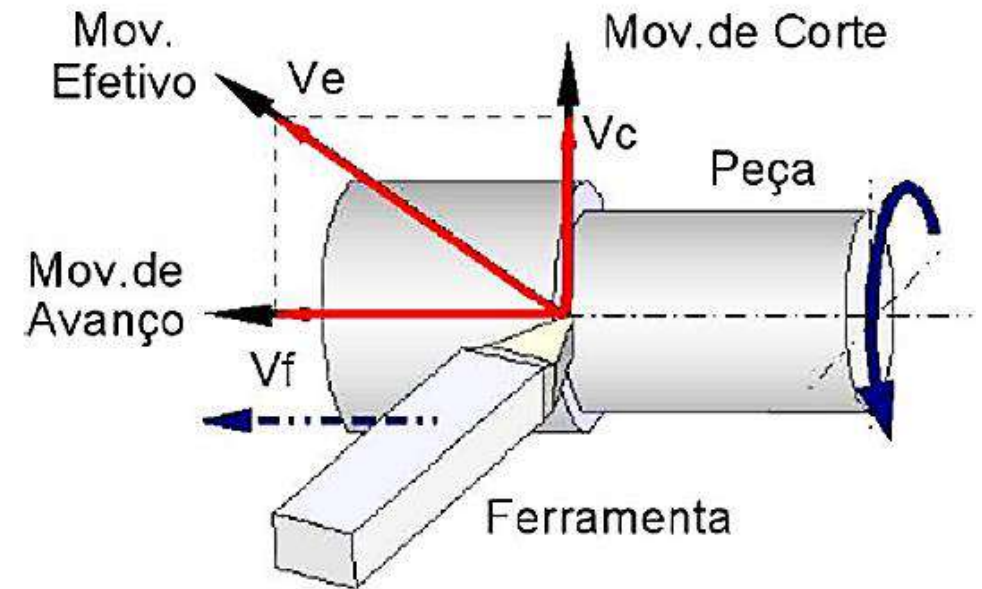
DIREÇÃO DOS MOVIMENTOS

- Direção de corte, Velocidade de corte (V_c), Percurso de corte (l_c)
- Direção de avanço, Veloc. de avanço (V_f), Percurso de avanço (l_f)
- Direção efetiva de corte, Veloc. efetiva de corte (V_e), Percurso efetivo de corte (l_e)

MOVIMENTOS ATIVOS

ATIVOS - Movimento com Retirada de Cavaco

- **Movimento de corte:** é o movimento entre a ferramenta e a peça que provoca remoção de cavaco durante um único curso ou rotações da ferramenta sobre a peça.
- **Movimento de avanço:** é o movimento entre a ferramenta e a peça que possibilita uma remoção contínua ou repetitiva do cavaco durante várias rotações ou cursos da ferramenta.
- **Movimento efetivo de corte:** é o movimento entre a ferramenta e a peça a partir do qual resulta o processo de usinagem, sendo composto pela combinação dos movimentos de corte e avanço.



MOVIMENTOS NA USINAGEM

Torneamento

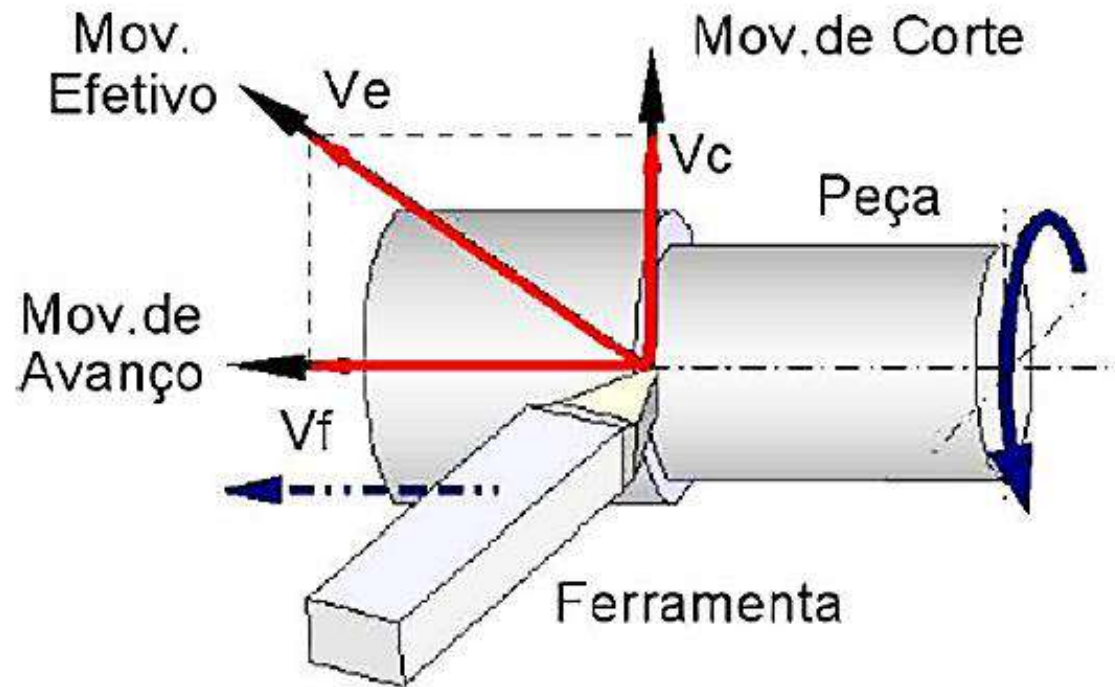
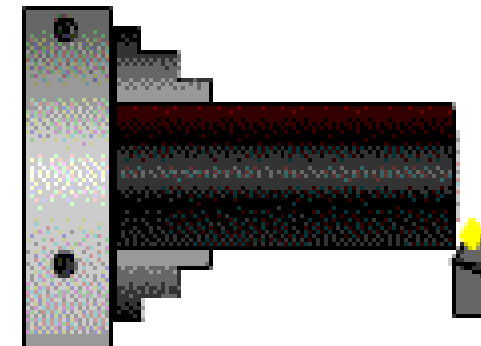
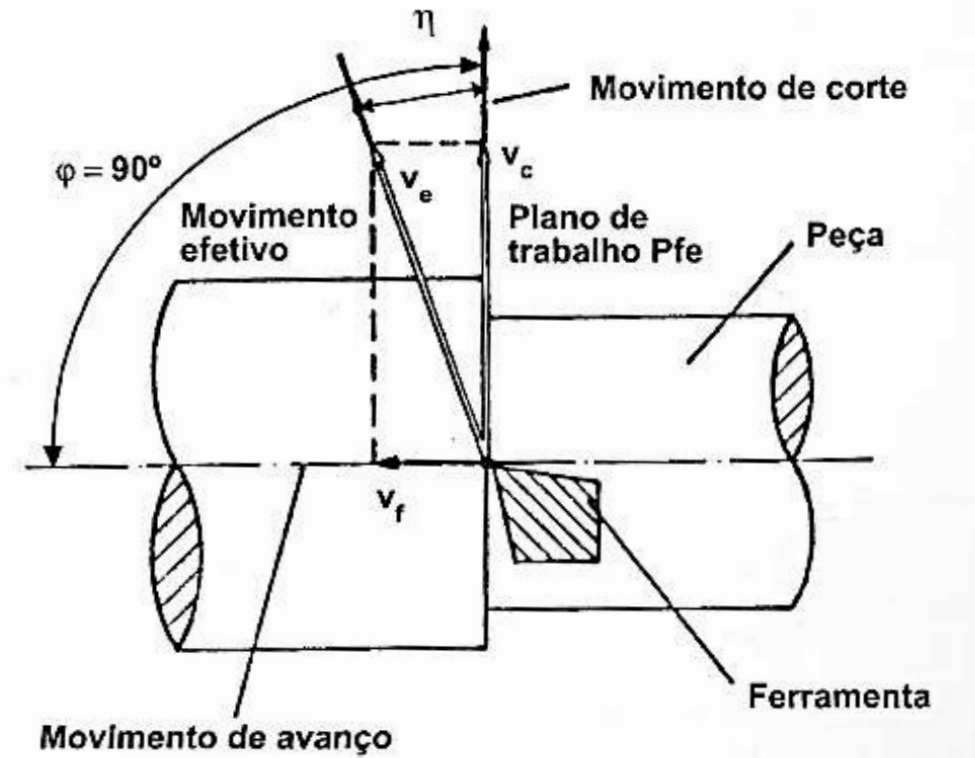


Ilustração dos percursos de corte



MOVIMENTOS NA USINAGEM

Retificação

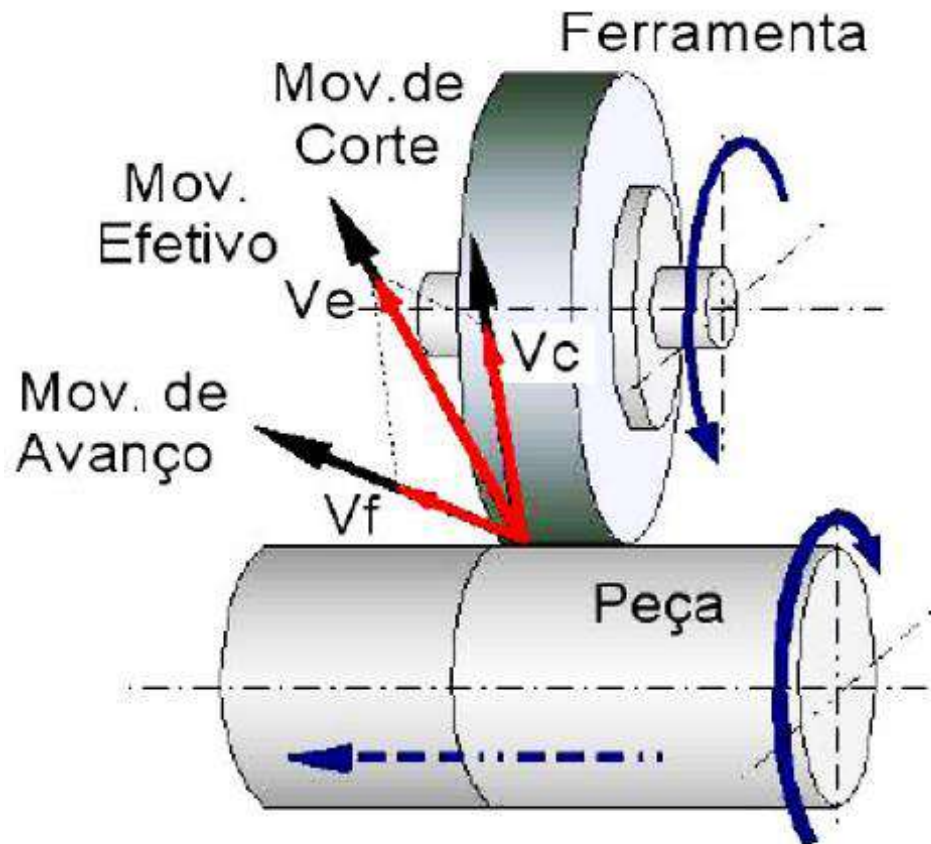
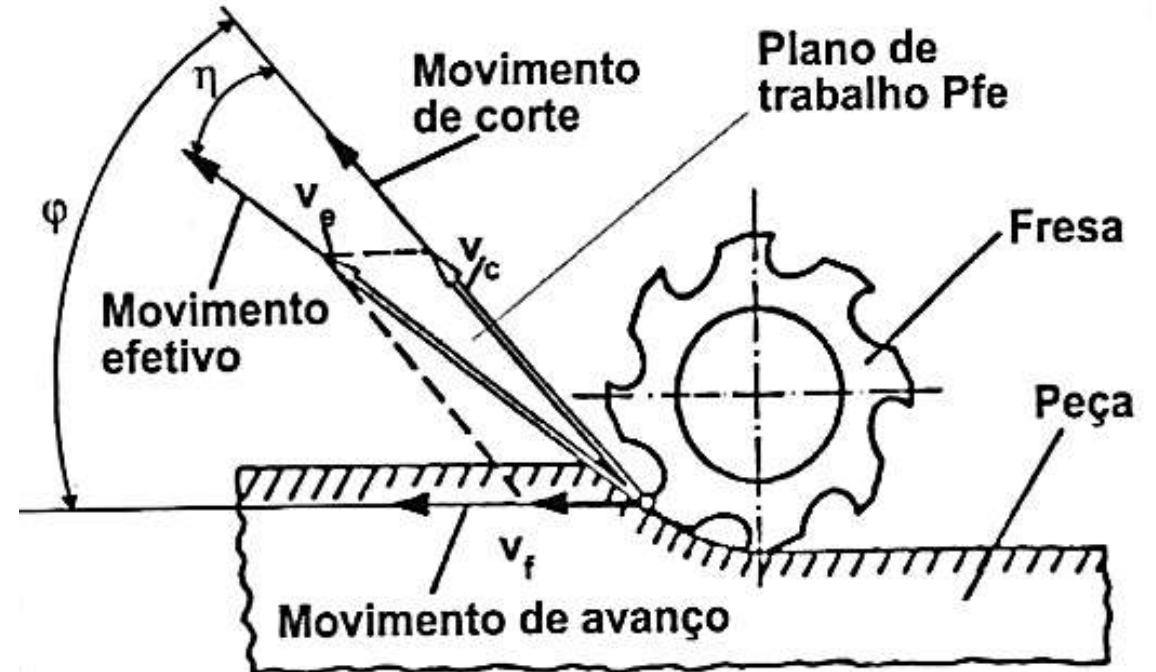
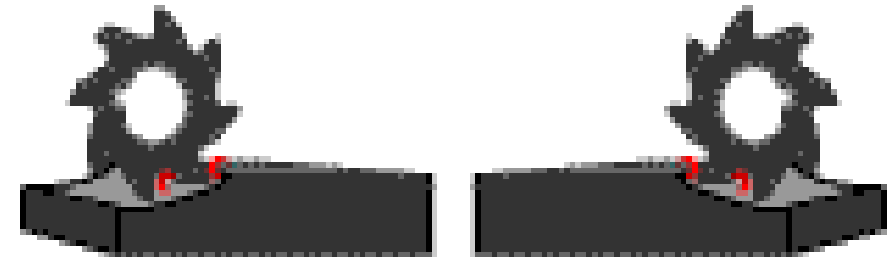


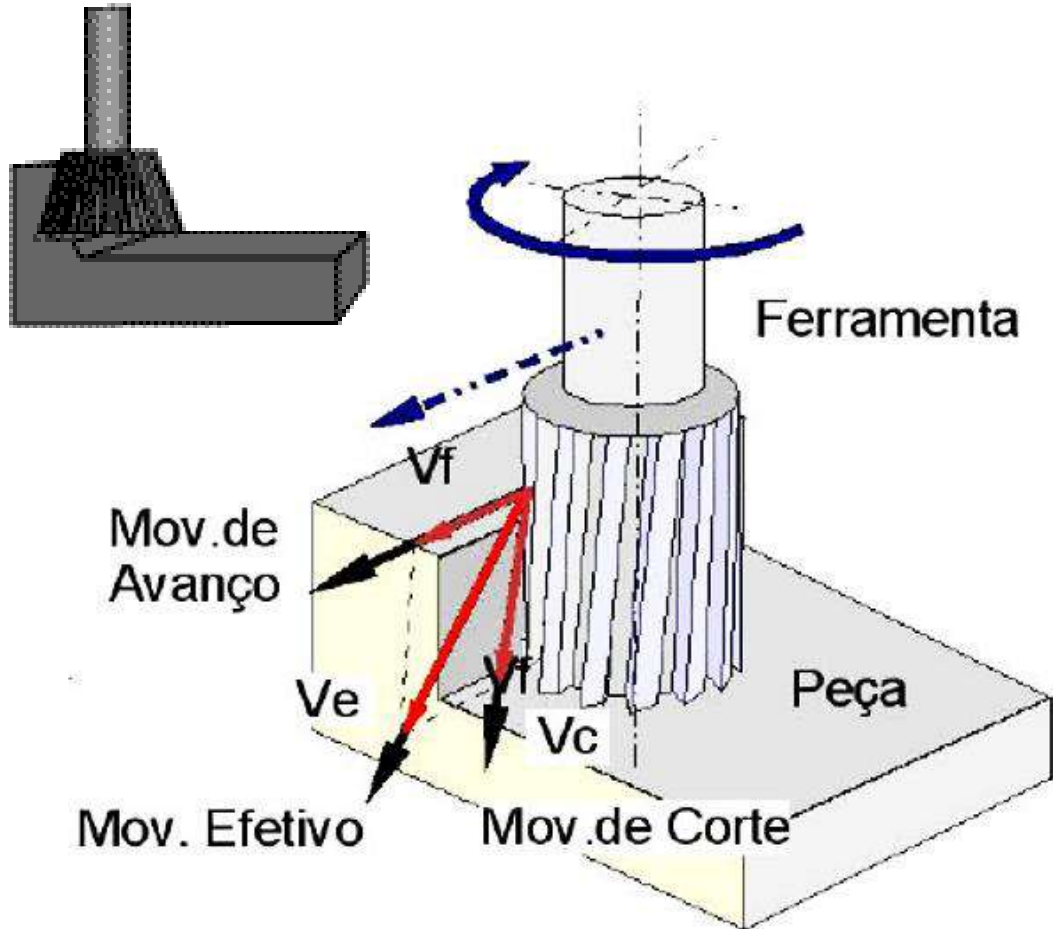
Ilustração dos percursos de corte

Fresamento periférico ou tangencial



MOVIMENTOS NA USINAGEM

Fresamento frontal



Retificação Plana / Frontal

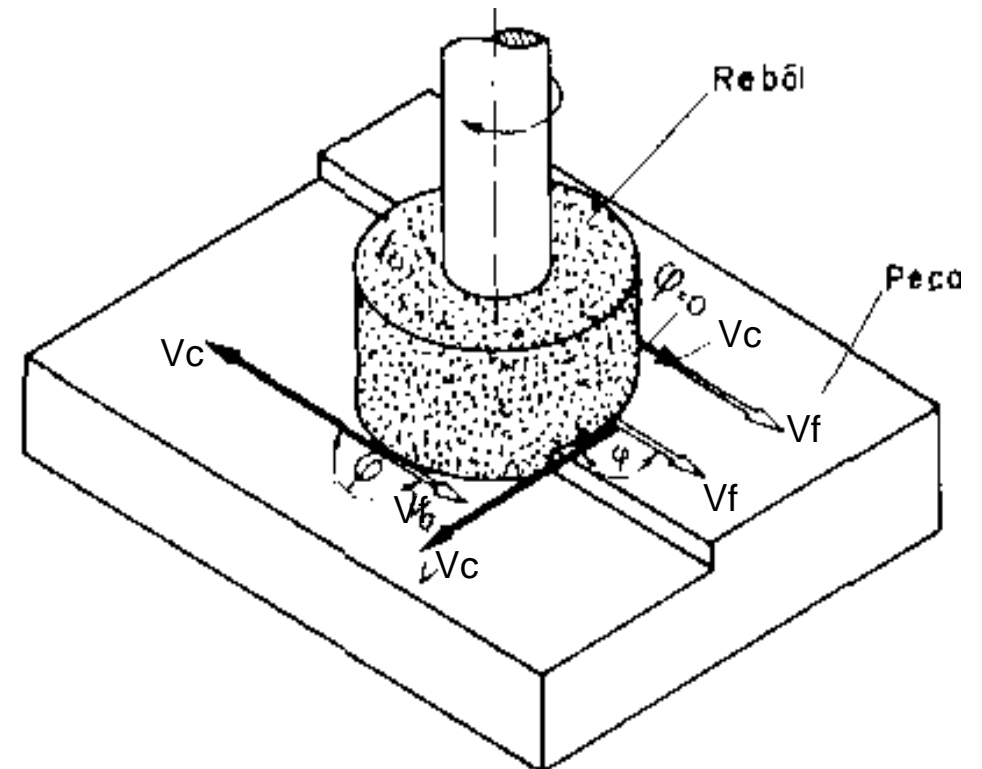


Ilustração dos percursos de corte

MOVIMENTOS NA USINAGEM

Furação

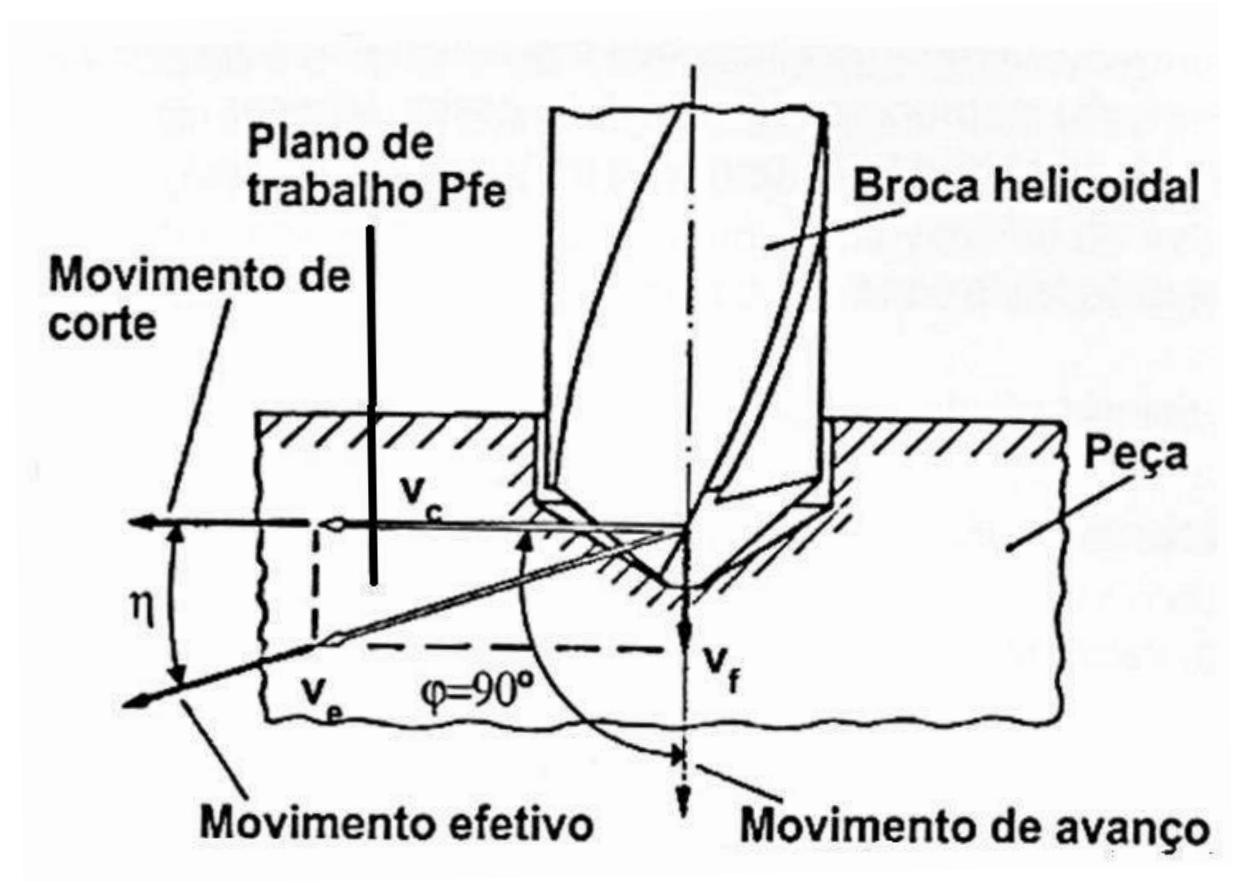
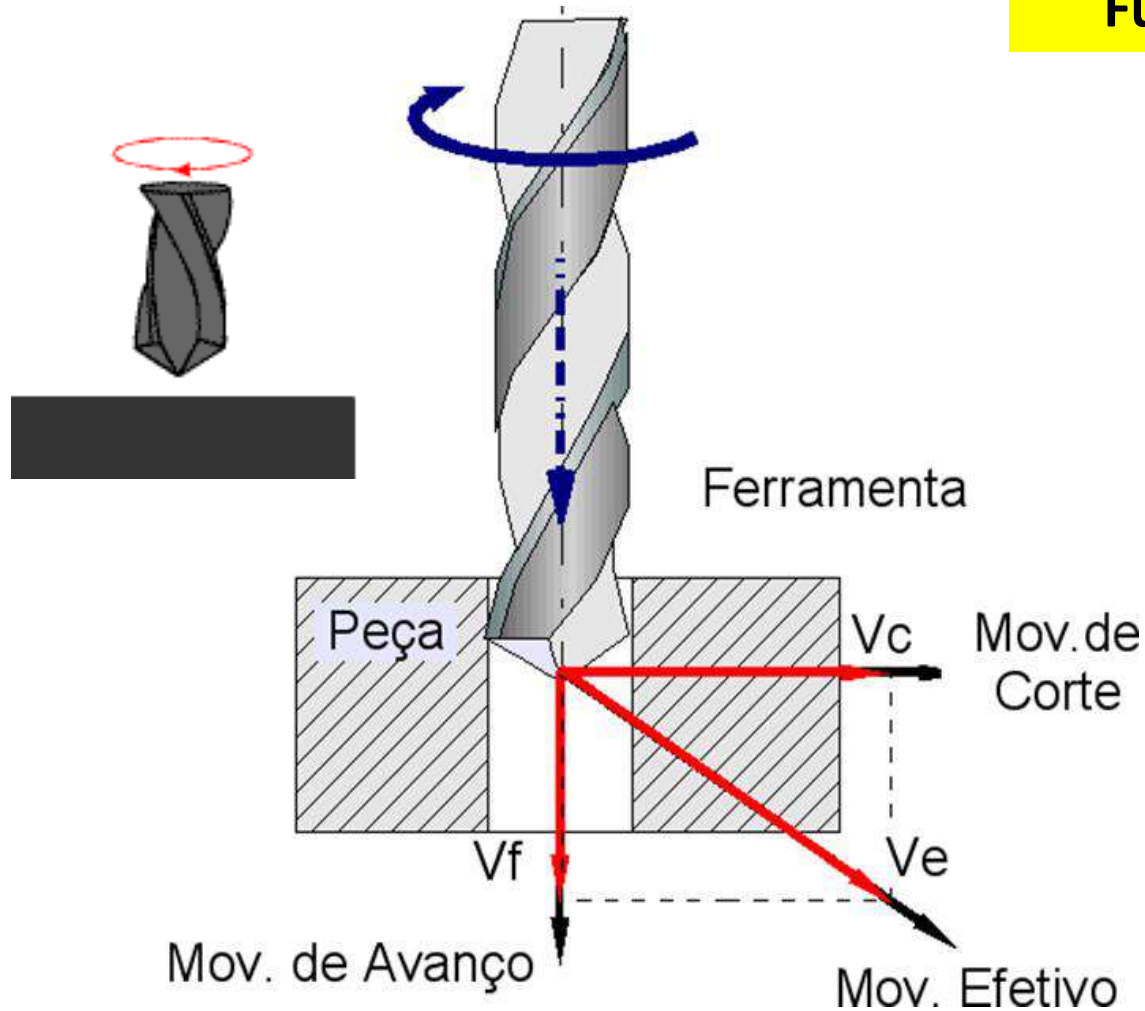


Ilustração dos percursos de corte

MOVIMENTOS PASSIVOS

- **Movimento de aproximação:** é o movimento de aproximação da ferramenta em direção à peça.
- Direção de aproximação, Veloc. de aproximação (V_a), Percurso de aproximação (l_a)
- **Movimento de recuo:** é o movimento de retorno da ferramenta em direção à máquina.
- Direção de recuo, Veloc. de recuo (V_r), Percurso de recuo (l_r)

ÁREA DE SEGURANÇA



PASSIVOS - Movimento sem Retirada de Cavaco

MOVIMENTOS PASSIVOS

- **Movimento de correção:** é o movimento entre a peça e a ferramenta empregado para compensar alterações de posicionamento **devido a desgaste de ferramenta, deformações plásticas e variações de temperatura.**
- Direção de correção, Veloc. de correção (V_n), Percurso de correção (I_n)



Correção do percurso antes da retirada de cavaco

PASSIVOS - Movimento sem Retirada de Cavaco

MOVIMENTOS PASSIVOS

- **Movimento de ajuste/profundidade:** é o movimento entre a ferramenta e a peça no qual a espessura da camada de material a ser removida é (pre)determinada. (obs: não acontece nos processos de sangramento, furação e brochamento, pois é definida pela geometria da ferramenta).
- Direção de ajuste, Velocidade de ajuste (V_z), Percurso de ajuste (l_z)



PASSIVOS - Movimento sem Retirada de Cavaco

Velocidade de corte: velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta em torno da peça nas operações de torneamento, furação, fresamento, retificação, etc.

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

Sendo:

V_c = velocidade de corte (m/min)

d = diâmetro da ferramenta ou peça (mm)

n = rotação da ferramenta (rpm)

- A **V_c** é um valor obtido experimentalmente encontrado em tabelas de fabricantes de ferramenta.
- Os valores encontrados em tabelas também são função da vida da ferramenta.
- A **V_c** ainda depende da máquina-ferramenta, da geometria da peça, do tipo de dispositivo de fixação e da experiência do operador ou programador

GRANDEZAS NO PROCESSOS DE USINAGEM

Exemplos de tabela de Velocidade de Corte (V_c)

Table 9.13 GARANT external turning 0° and 7° (finish-machining)



Material group	Material designation	Strength	v _c [m/min]			f [mm/rev.]			a _p [mm]			Recommendation WSP				Cooling lubricant						
												0°		7°								
		[N/mm²]	Min.	Start	Max.	Min.	Start	Max.	Min.	Start	Max.	Type	Chip breaker	Type	Chip breaker							
13.0	Stainless steel, sulphured	< 700	180	–	220	–	260	0.10	–	0.20	–	0.30	1.50	–	2.20	–	3.00	HB 7120	VS			dry
			140	–	180	–	220	0.15	–	0.25	–	0.30	1.50	–	2.20	–	3.00	HB 7135	VS	HB 7135	VM	dry
13.1	Stainless steel, austenitic	< 700	180	–	220	–	260	0.10	–	0.20	–	0.30	1.50	–	2.20	–	3.00	HB 7120	VS			dry
			140	–	180	–	220	0.15	–	0.25	–	0.30	1.50	–	2.20	–	3.00	HB 7135	VS	HB 7135	VM	dry
13.2	Stainless steel, austenitic	< 850	140	–	180	–	220	0.10	–	0.20	–	0.30	1.20	–	1.80	–	3.00	HB 7120	VS			Emulsion
			120	–	150	–	200	0.15	–	0.25	–	0.30	1.50	–	2.20	–	3.00	HB 7135	VS	HB 7135	VM	Emulsion
13.3	Stainless steel, martensitic	< 1100	140	–	180	–	220	0.10	–	0.20	–	0.30	1.20	–	1.80	–	3.00	HB 7120	VS			Emulsion
			120	–	150	–	200	0.15	–	0.25	–	0.30	1.50	–	2.20	–	3.00	HB 7135	VS	HB 7135	VM	Emulsion
14.0	Special alloys	< 1200	30	–	50	–	80	0.10	–	0.20	–	0.30	0.70	–	1.50	–	2.00	HB 7120	VS	HB 7135	VM	Emulsion
			20	–	30	–	40	0.15	–	0.18	–	0.22	1.50	–	2.00	–	2.50			HU 70AL	ALX	Emulsion
15.0	Cast iron (GG)	< 180 HB	200	–	250	–	320	0.12	–	0.20	–	0.30	0.50	–	1.50	–	2.20	CU 7033	SS	CU 7033	SS	dry
			300	–	400	–	700	0.05	–	0.15	–	0.30	0.05	–	0.15	–	0.50	CBN 725	G			dry
15.1	Cast iron (GG)	> 180 HB	170	–	200	–	280	0.12	–	0.20	–	0.30	0.50	–	1.50	–	2.20	CU 7033	SS	CU 7033	SS	dry
			300	–	400	–	700	0.05	–	0.15	–	0.30	0.05	–	0.15	–	0.50	CBN 725	G			dry
15.2	Cast iron (GGG, GT)	> 180 HB	170	–	200	–	280	0.12	–	0.20	–	0.30	0.50	–	1.50	–	2.20	CU 7033	SS	CU 7033	SS	dry
			300	–	400	–	700	0.05	–	0.15	–	0.30	0.05	–	0.15	–	0.50	CBN 725	G			dry
15.3	Cast iron (GGG, GT)	> 260 HB	150	–	180	–	250	0.12	–	0.20	–	0.30	0.50	–	1.50	–	2.20	CU 7033	SS	CU 7033	SS	dry
			300	–	400	–	700	0.05	–	0.15	–	0.30	0.05	–	0.15	–	0.50	CBN 725	G			dry

GRANDEZAS NO PROCESSOS DE USINAGEM

Velocidade de avanço: produto do avanço pela rotação da ferramenta.

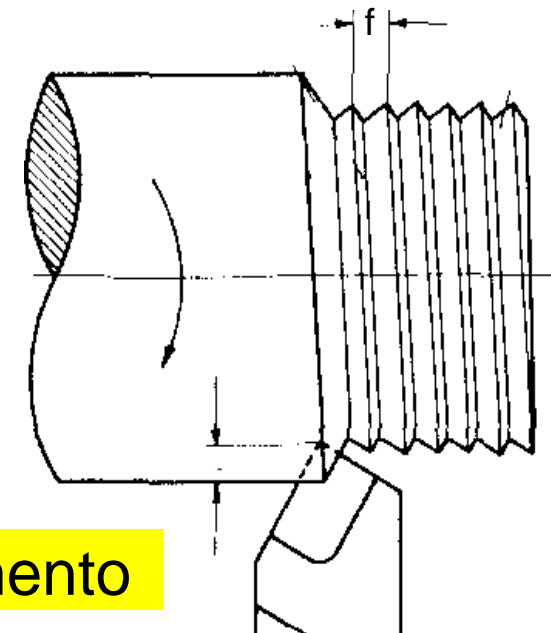
$$V_f = f \times n = \frac{1000 \times V_c \times f}{\pi \times d}$$

Sendo:

V_f = veloc. de avanço (mm/min)

f = avanço (mm/volta)

Avanço (f): é o percurso de avanço em cada volta ou curso.



Torneamento

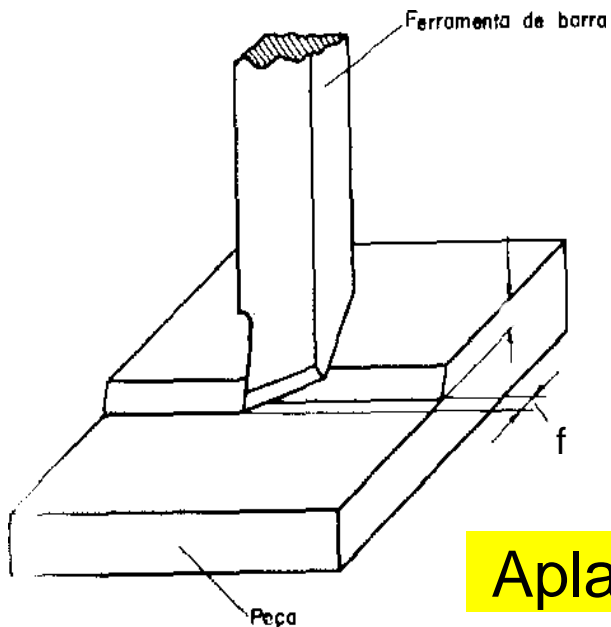
GRANDEZAS NO PROCESSOS DE USINAGEM

Avanço por dente (f_z): é o percurso de avanço de cada dente, medido na direção de avanço da ferramenta.

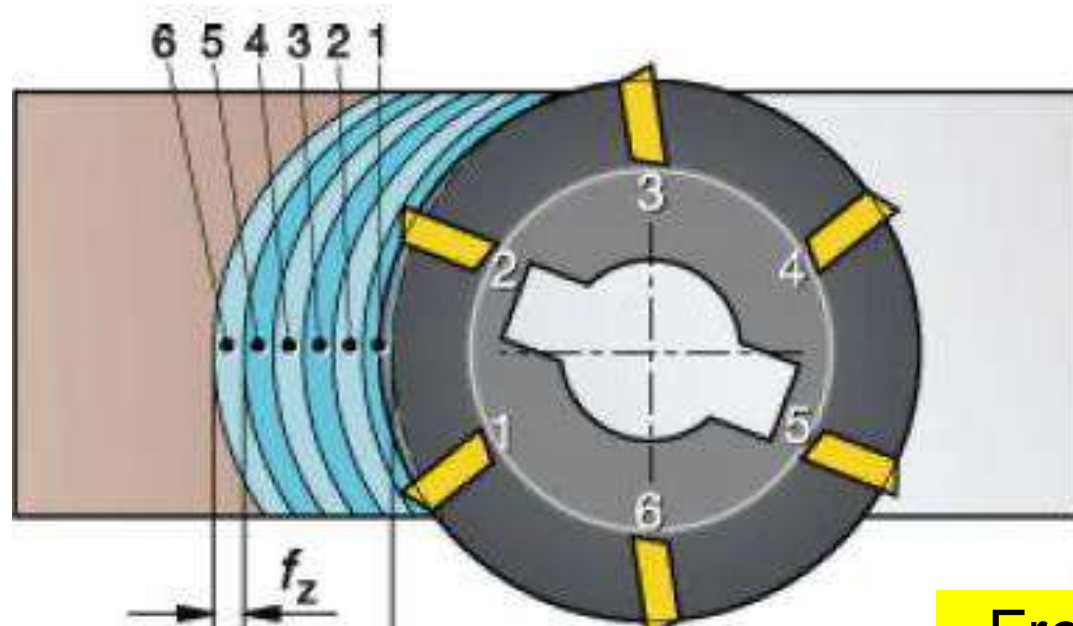
$$f_z = \frac{f}{Z}$$

Sendo:

Z = número de dentes ou arestas de corte



Aplainamento



Fresamento

Tempo de corte (ativo): tempo em que o movimento de usinagem está efetivamente ocorrente (remoção de cavaco).

$$T_c = \frac{l_f}{V_f} = \frac{l_f}{f \times n} = \frac{\pi \times d \times l_f}{1000 \times f \times V_c}$$

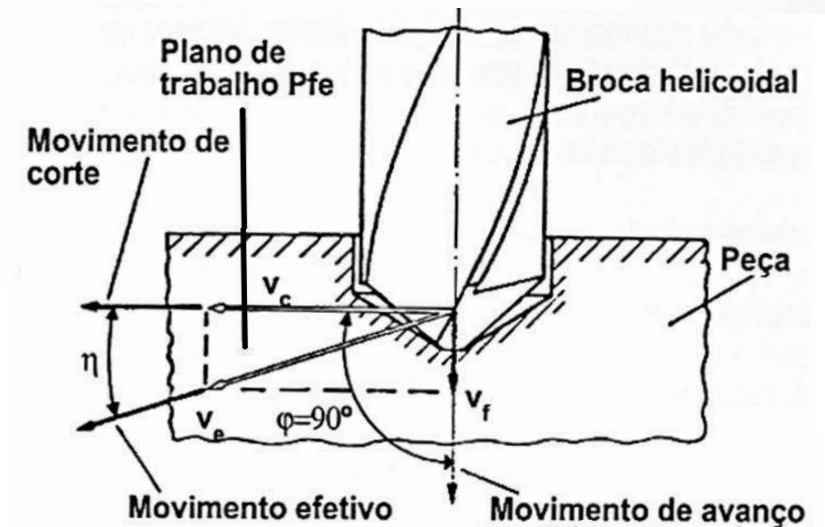
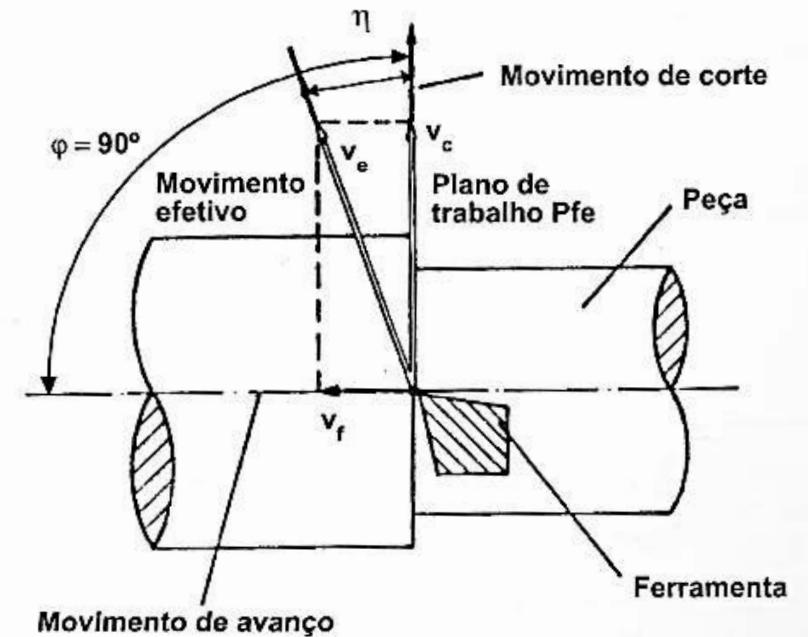
Sendo:
 T_c = tempo de corte (min)
 l_f = percurso de avanço (mm)

Tempo passivo: somatório dos demais tempos relacionados aos movimentos de usinagem. Ex: zeramento, correção de plano, troca de ferramenta, reposicionamento.

CONCEITOS AUXILIARES

Plano de trabalho: é o plano que contém as direções de corte e de avanço (passando pelo ponto de referência da ferramenta). É neste plano que se realizam todos os movimentos que tomam parte na formação do cavaco.

Ângulo da direção de avanço (ϕ): é o ângulo entre a direção de avanço e a direção de corte. Pode ser constante (torneamento: $\phi=90^\circ$) ou variável durante o corte (fresamento).



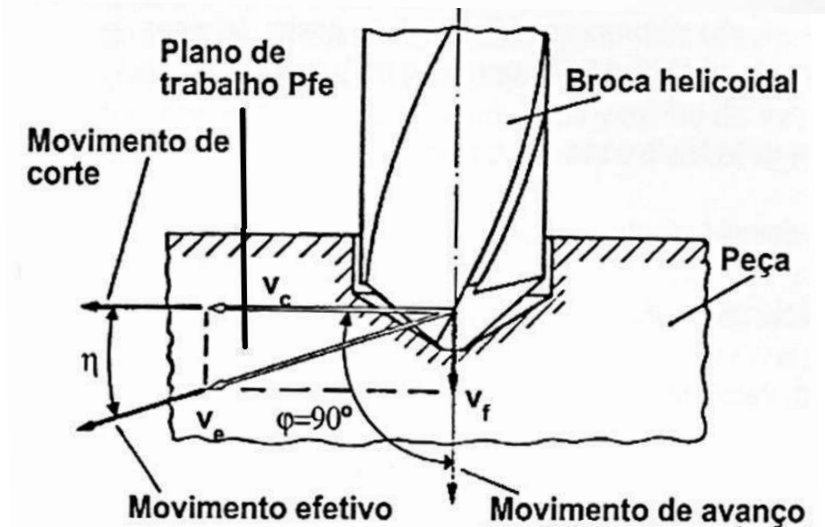
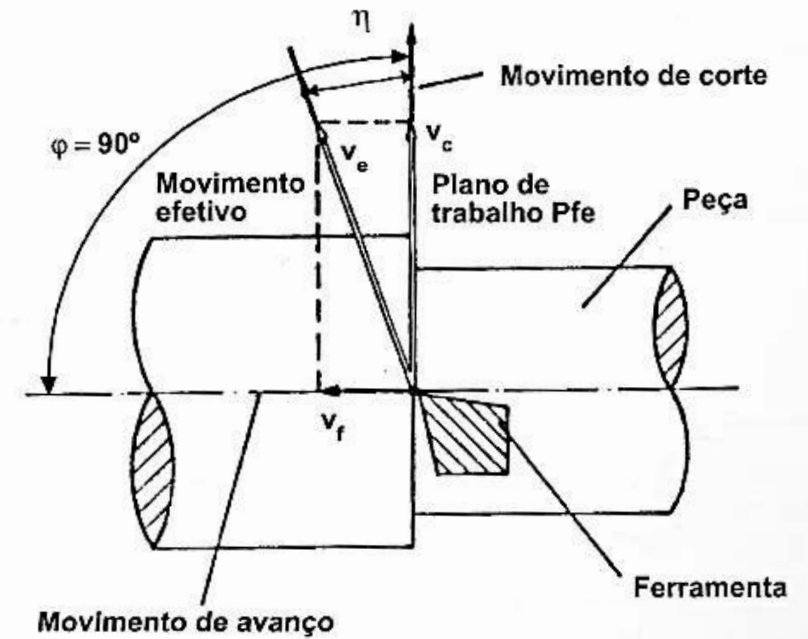
CONCEITOS AUXILIARES

Ângulo da direção efetiva de corte (η): é o ângulo entre a direção de efetiva de corte e a direção de corte. Este ângulo pode ser considerado desprezível na maioria dos casos ($h \sim 0$).

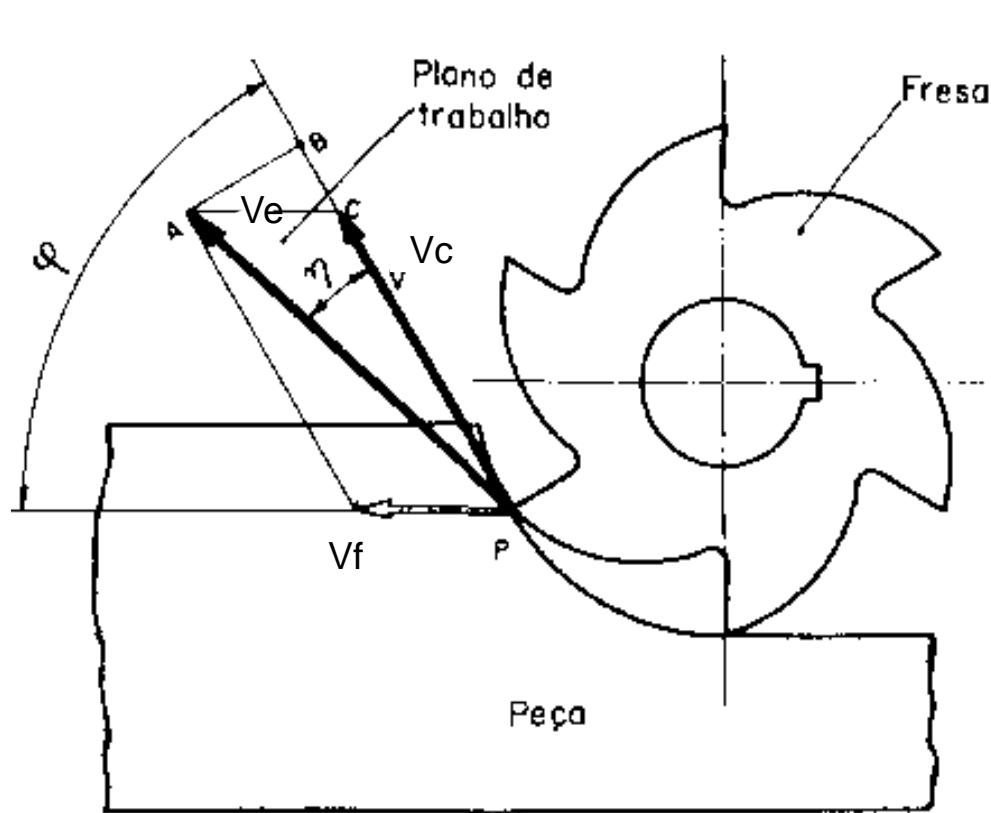
$$\tan(\eta) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi) + \frac{V_c}{V_f}}$$

Em torneamento e furação: $\eta = 90^\circ$

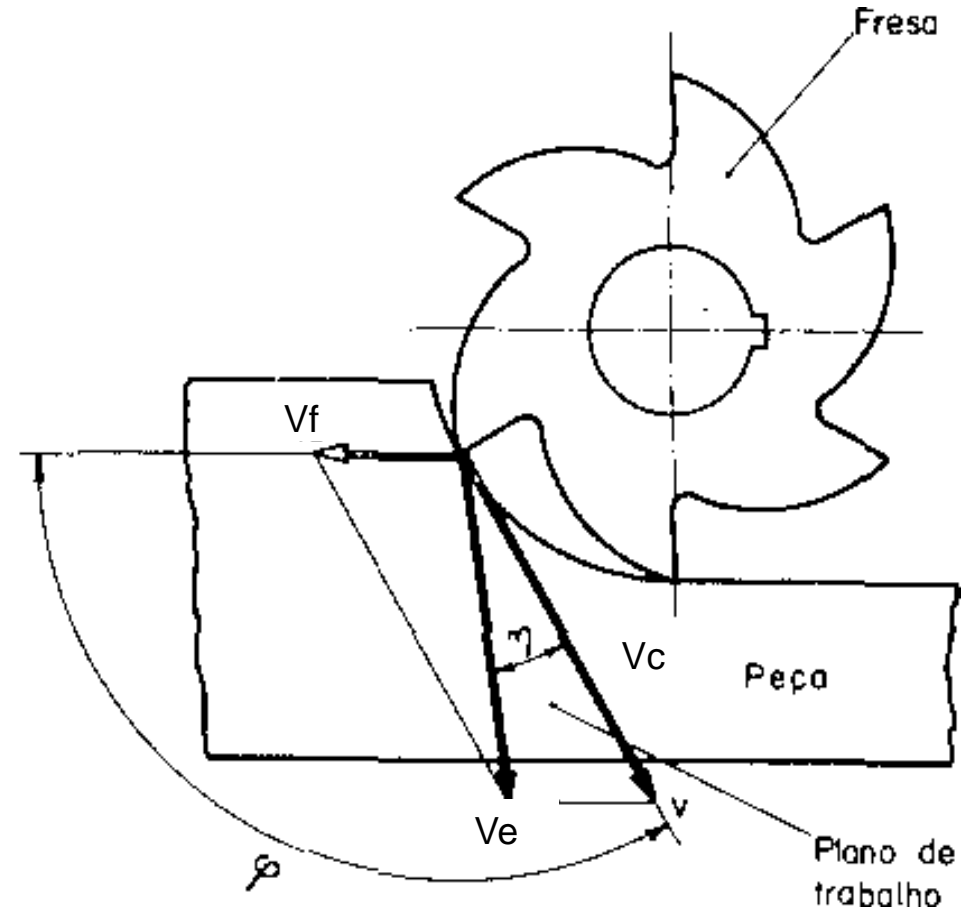
$$\tan(\eta) = \frac{V_f}{V_c}$$



CONCEITOS AUXILIARES EM FRESAMENTO



Fresamento tangencial
discordante



Fresamento tangencial
concordante

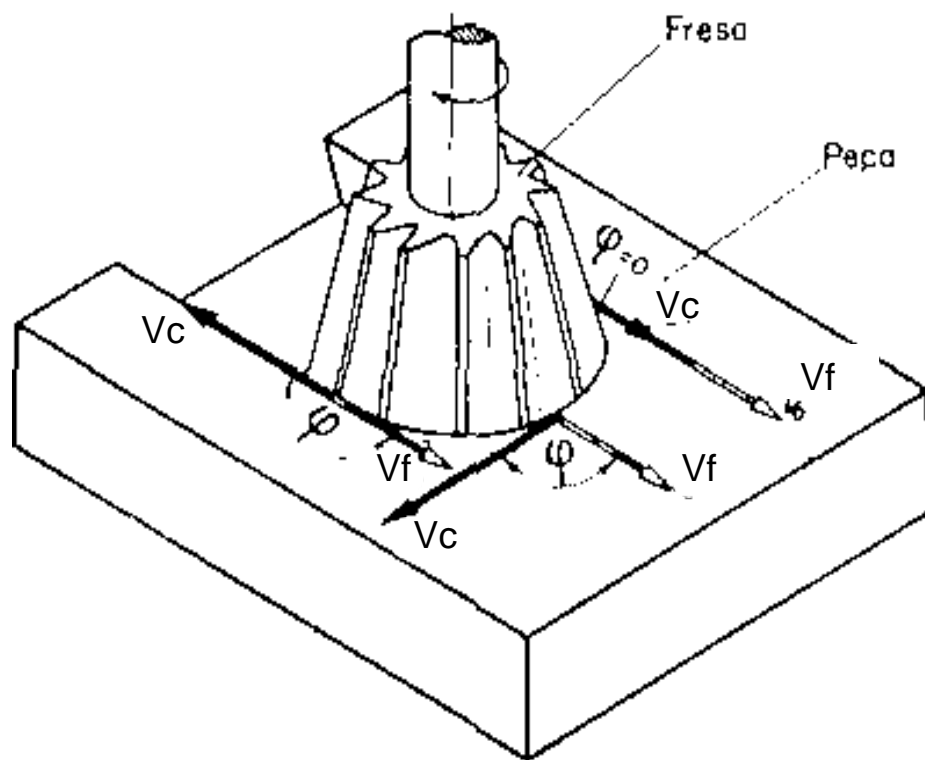
PROFUNDIDADE E PENETRAÇÃO

- **Profundidade ou largura de corte (a_p):** profundidade ou largura de penetração da ferramenta numa **direção perpendicular ao plano de trabalho**.
 - Profundidade de corte: torneamento, aplainamento, fresamento frontal / retificação frontal
 - Largura de corte: fresamento tangencial / retificação tangencial

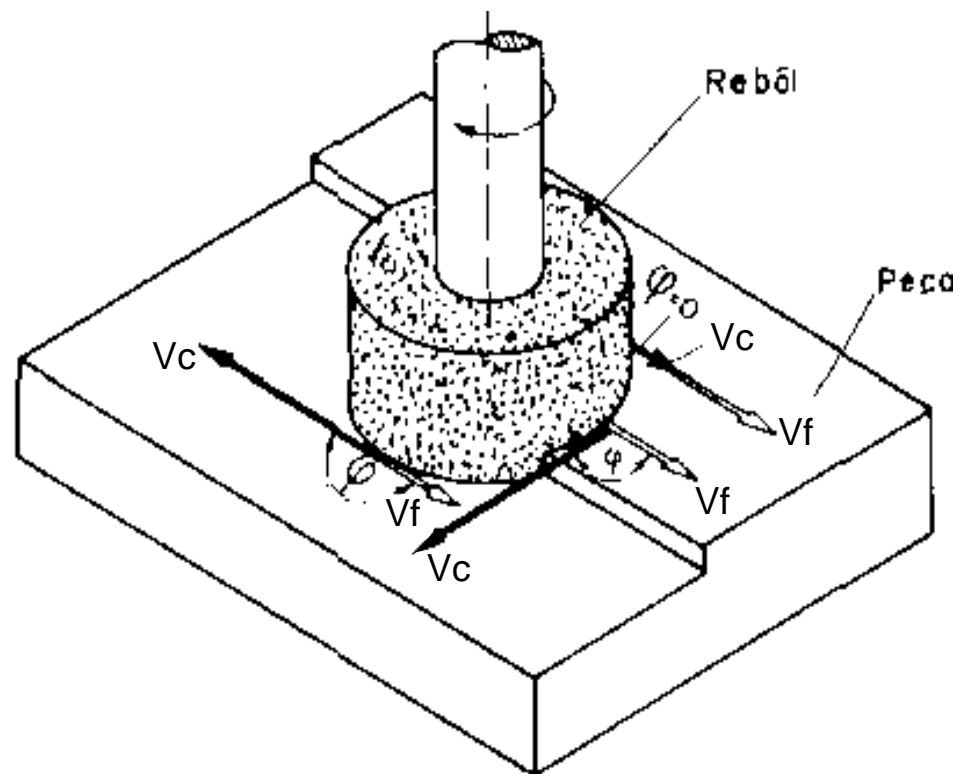
Obs: Na furação, a largura de corte $a_p = d/2$.

- **Penetração de Trabalho ou espessura de penetração (a_e):** espessura de corte em cada curso ou revolução, medida no plano de trabalho e numa direção **perpendicular à direção de avanço**. É de importância predominante no fresamento e na retificação.

PROFUNDIDADE E PENETRAÇÃO

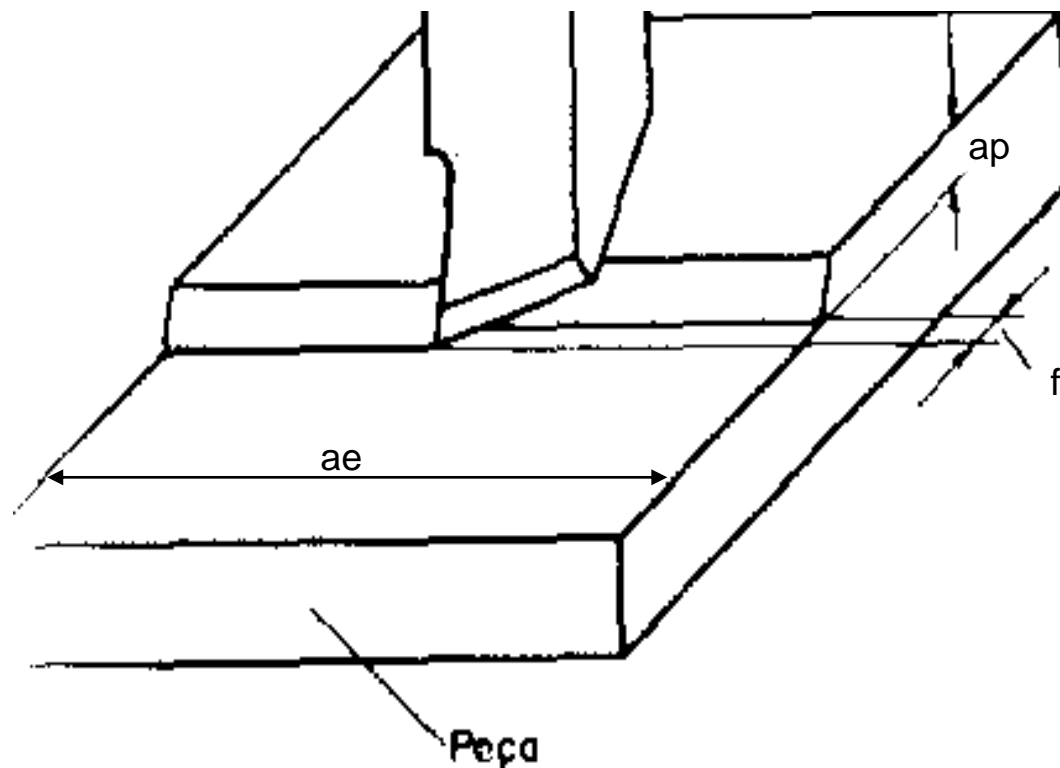


Conceitos auxiliares
em fresamento frontal

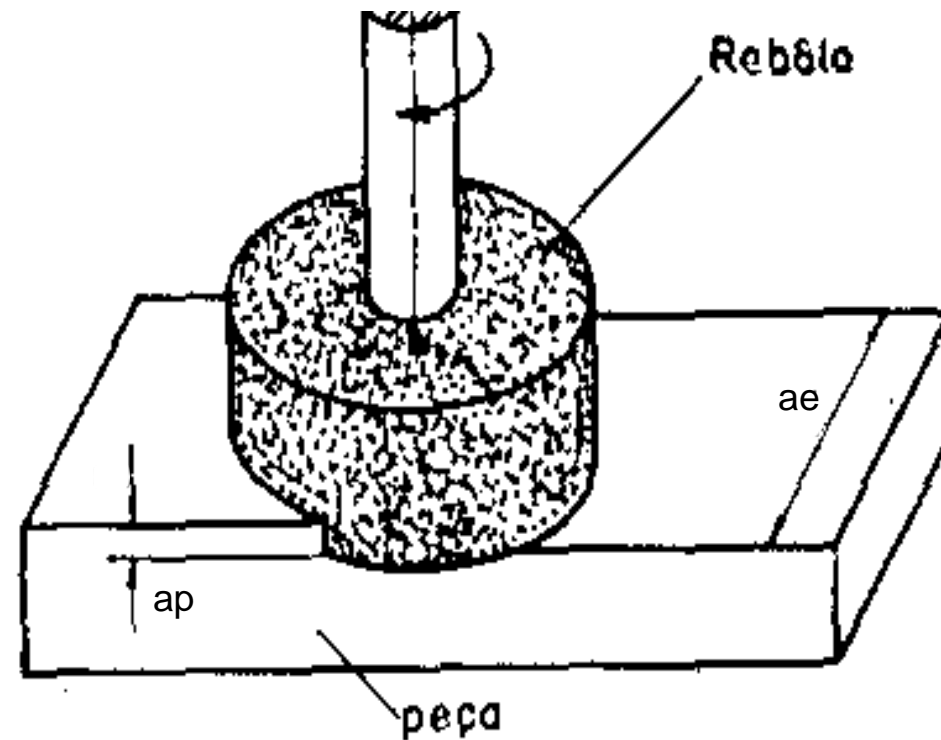


Conceitos auxiliares em
retificação plana frontal

PROFUNDIDADE E PENETRAÇÃO

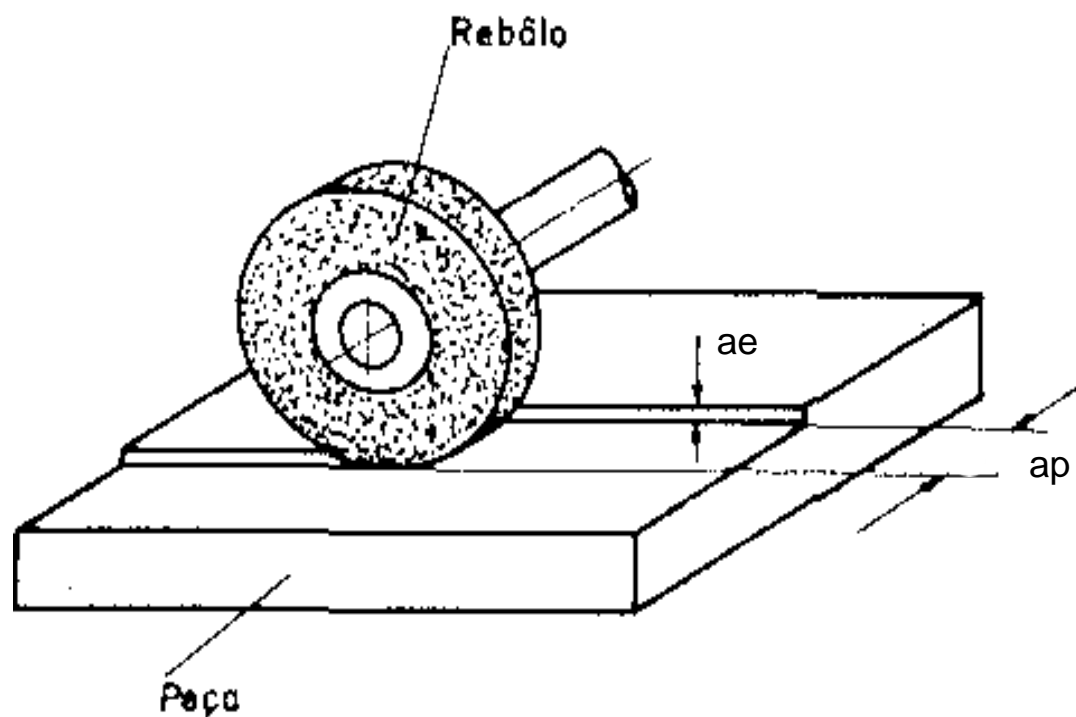


Aplainamento.

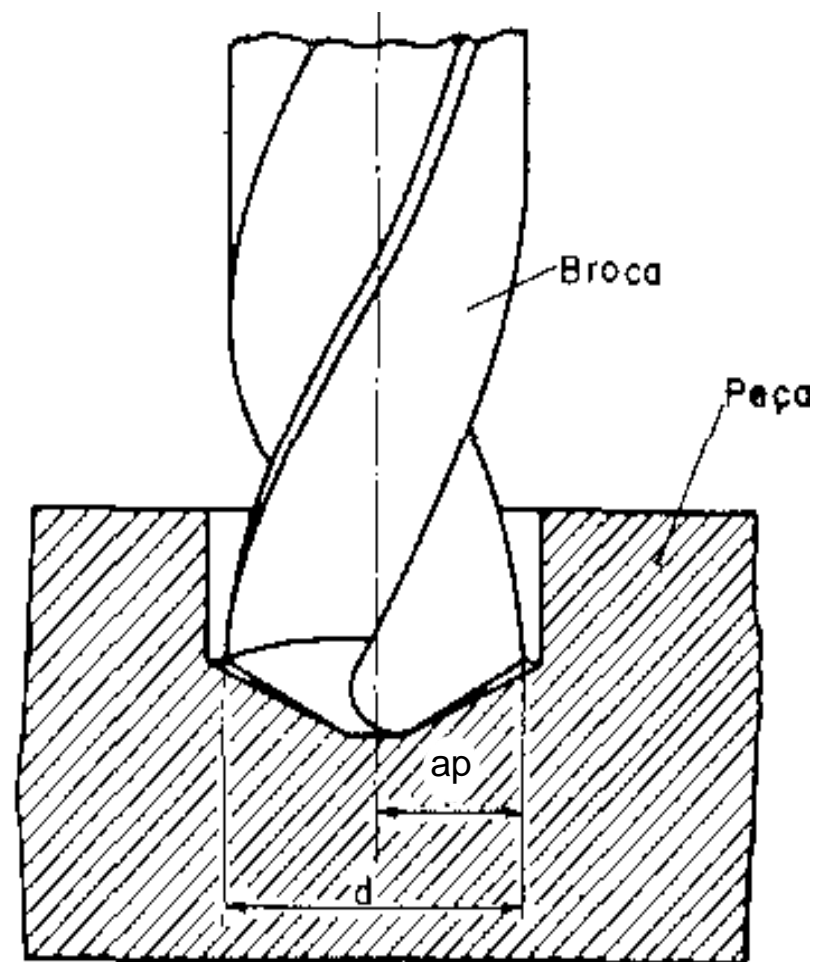


Retífica plana frontal.

PROFUNDIDADE E PENETRAÇÃO



Retífica plana tangencial.

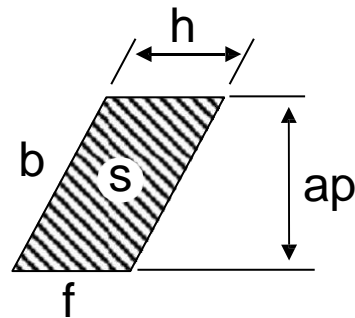


Furação.

COMPRIMENTO E ESPESSURA DO CAVACO

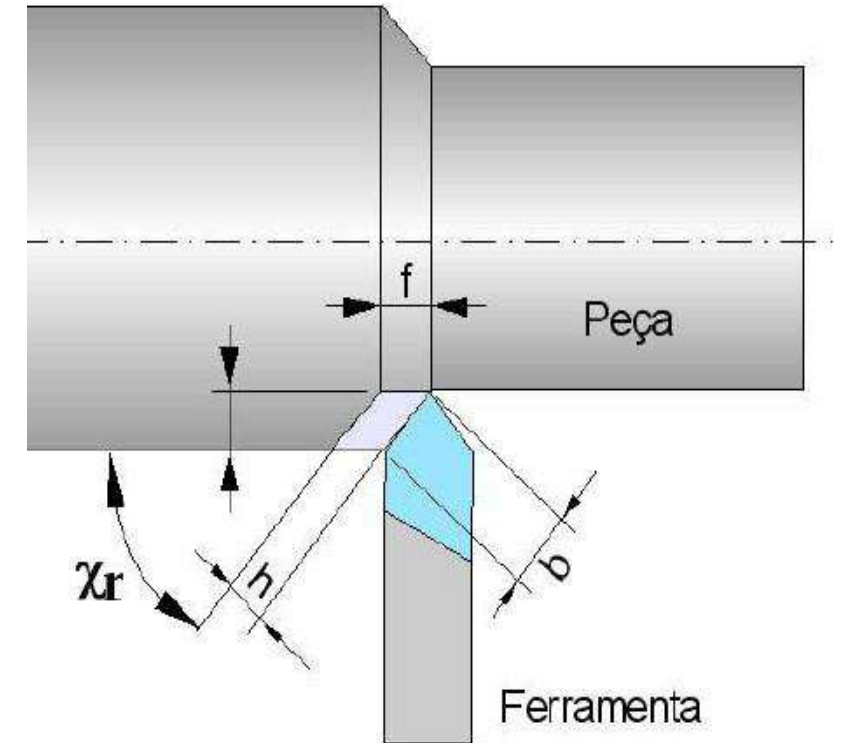
Comprimento de corte (b): é o comprimento do cavaco a ser retirado, medido na superfície de corte e normal à direção de corte.

$$b = \frac{ap}{\sin(\chi_r)}$$



Sendo:

χ_r = ângulo de posição da aresta de corte



Situação idealmente simples:

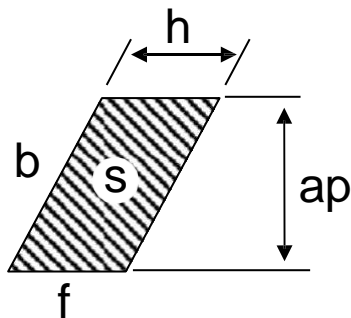
- Aresta de corte retilínea
- Ponta de corte de canto vivo

COMPRIMENTO E ESPESSURA DO CAVACO

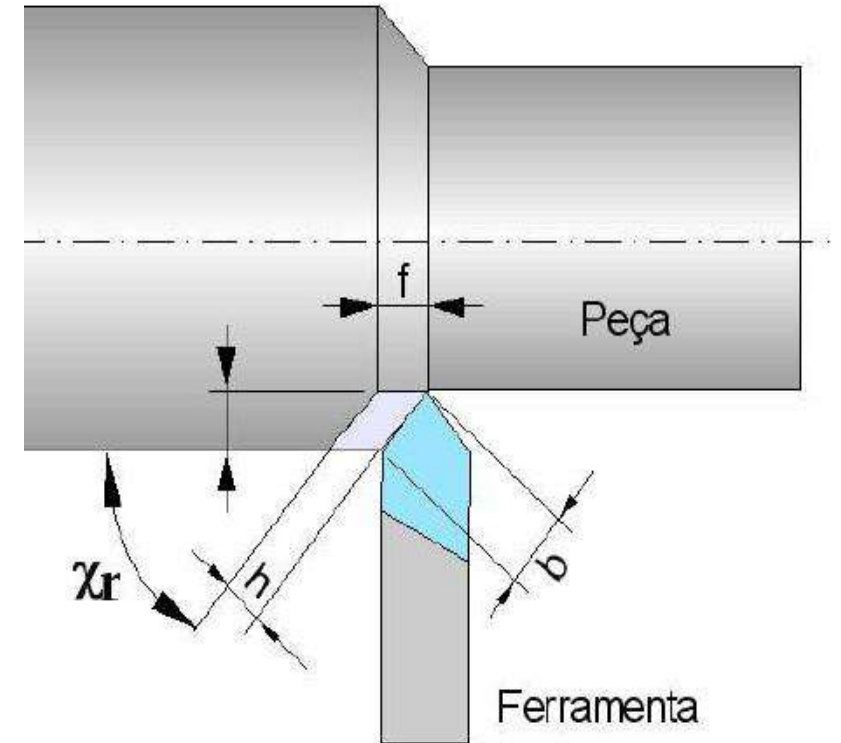
Espessura de corte (h): é a espessura *calculada* do cavaco a ser retirado, medida normalmente à superfície de corte e segundo a direção perpendicular à direção de corte.

$$h = f \cdot \sin(\chi_r)$$

Área de seção de corte (s): é a área *calculada* da seção do cavaco a ser retirado.



$$s = b \cdot h = a_p \cdot f$$



Situação idealmente simples:

- Aresta de corte retilínea
- Ponta de corte de canto vivo

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- MACHADO, Álisson Rocha et al. Teoria da usinagem dos materiais. . São Paulo: Edgard Blücher. . Acesso em: 20 ago. 2023. , 2009
- FERRARESI, D. –Fundamentos da Usinagem dos Metais. –São Paulo: MM Editora, 1995
- ANSELMO, E. D.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N.L.–Tecnologia da Usinagem dos Materiais –6ªedição, Editora ArtLiber.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); NBR 6175: “A importância dos Processos mecânicos de usinagem”, Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); NBR 6162 – “Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais”, Rio de Janeiro, 1989.

LINK PARA AS ATIVIDADES

<https://pauloolivio.github.io/Site/>