

USINAGEM



Conceito

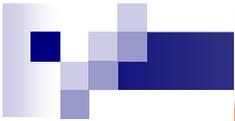
- O termo **usinagem** compreende todo processo mecânico onde a peça é o resultado de um processo de remoção de material (aparas de metal) .
- **segundo a DIN 8580**, aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco.
- **Usinagem** - operação que confere à peça *forma, dimensões ou acabamento*, ou ainda uma combinação qualquer desses três, através da remoção de material sob a forma de cavaco.



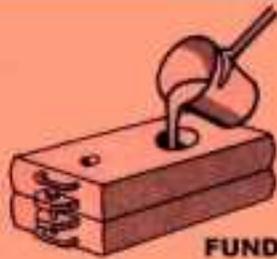
USINAGEM

A usinagem confere à peça uma precisão dimensional e um acabamento superficial que não podem ser obtidos por nenhum outro processo de fabricação.

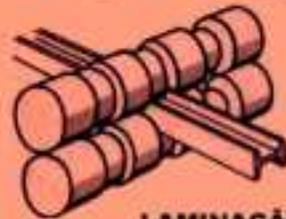
É por este motivo que a maioria das peças, mesmo quando obtidas através de outros processos, recebe seu formato final através de usinagem.



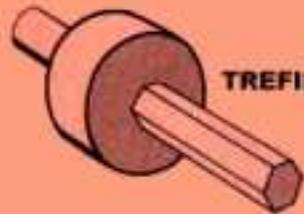
Processos sem a retirada de cavaco



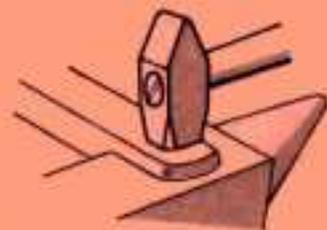
FUNDIÇÃO



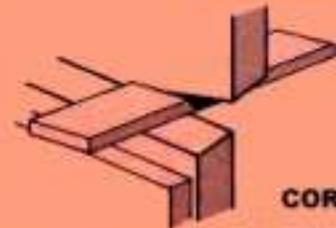
LAMINAÇÃO



TREFILAÇÃO

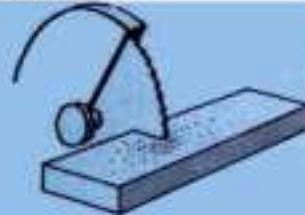


FORJAMENTO

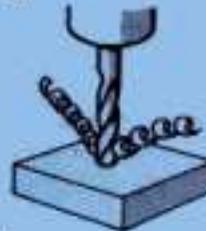


CORTE

Processos com a retirada de cavaco



SERRAGEM



FURAÇÃO



TORNEAMENTO



APLAINAMENTO



FRESAMENTO

A USINAGEM NO CONTEXTO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO



Principais processos de usinagem

- Serramento
- Aplainamento
- Torneamento
- Fresamento
- Furação
- Retificação
- Brochamento entre outros

Uma pequena história da Usinagem

- **A Pré-História compreende o período que vai desde o surgimento do homem até o aparecimento da escrita, sendo subdividida em:**
 - Idade da Pedra Lascada (Paleolítico- machado de pedra lascada)**
 - Idade da Pedra Polida (Neolítico- foice de osso)**
 - Idade dos Metais (pontas de armas)**

Observe que a usinagem evoluiu juntamente com o homem, sendo usada como parâmetro de subdivisão de um período.





A Usinagem na Pré-História

- **Surge o Princípio da Fabricação**

No Período Paleolítico, as facas, pontas de lanças e machados eram fabricados com lascas de grandes pedras.

- **No Período Neolítico, os artefatos eram obtidos com o desgaste e polimento da pedra (Princípio da Retificação).**



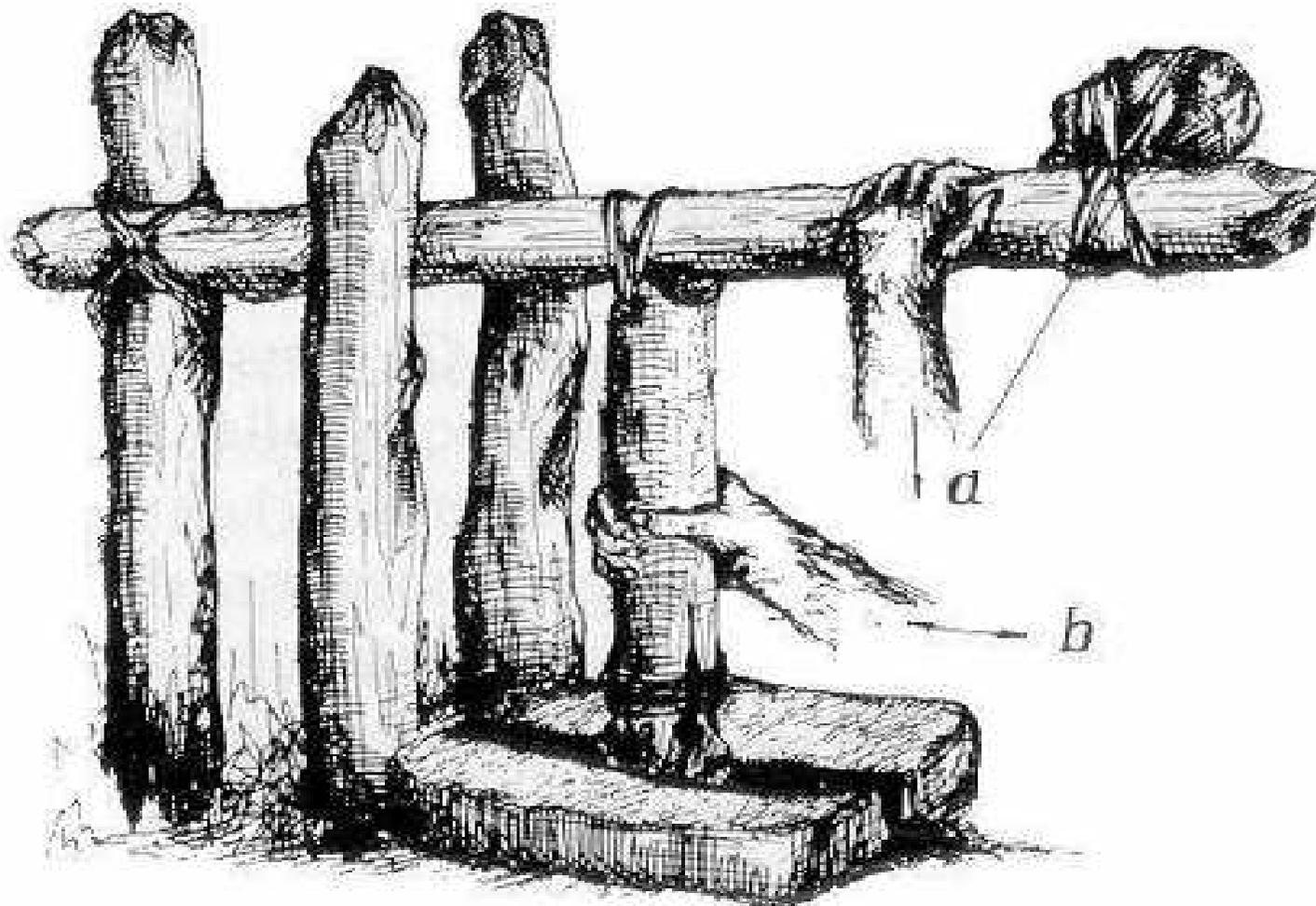
A Usinagem na Pré-História

- **Surge o Conhecimento de Novos Materiais**

O Homem passa a usar metais na fabricação de ferramentas e armas no fim da pré-história.

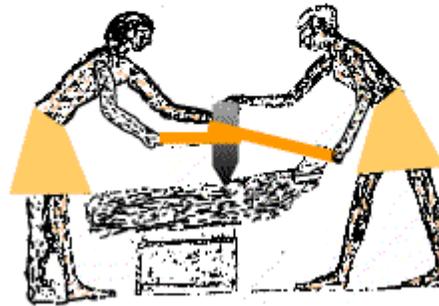
- **Os primeiros metais a serem conhecidos foram o cobre e o ouro, e, em escala menor, o estanho. O ferro foi o último metal que o homem passou a utilizar na fabricação de seus instrumentos.**

Evolução Histórica



Plaina Neolítica de 6000 A.C.

A Evolução da Usinagem

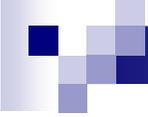


Um grande avanço nesse período foi a transformação do movimento de translação em movimento de rotação (com sentido de rotação invertido a cada ciclo). Este princípio foi aplicado em um dispositivo denominado **Furação de Corda Puxada**



A Evolução da Usinagem

- As primeiras formas usadas para motorizar máquinas foi a roda d'água.
- No século XVIII surgem as máquinas movidas a vapor (energia esta transmitida através da oficina por meio de eixos, correias e roldanas).
- Finalmente, no fim do século XIX, o vapor seria substituído pela energia elétrica. Foi após esta inovação que apareceram as máquinas modernas de usinagem, responsáveis em grande parte pelo crescimento da indústria de produtos de consumo.



Usinabilidade dos Materiais

- Na obtenção de peças pela retirada de cavacos verificamos que cada material tem um comportamento diferente.
- Enquanto uns podem ser trabalhados facilmente, outros apresentam problemas tais como: Empastamento, desgaste rápido da ferramenta, mau acabamento, necessidade de grande potência para o corte, etc. Isto varia de acordo com a usinabilidade do material
- **Podemos definir usinabilidade como sendo o grau de dificuldade que determinado material apresenta para ser usinado.**



Usinabilidade dos Materiais

- A usinabilidade não depende apenas das características do material, mas também, de outros parâmetros da usinagem, tais como: refrigeração, rigidez do sistema máquina-ferramenta, das características da ferramenta, tipo de operação, etc
- Assim, dependendo das condições de usinagem um mesmo material poderá ter variações em sua usinabilidade.



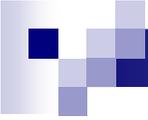
Critérios para a Determinação da Usinabilidade dos Materiais

- A usinabilidade normalmente é determinada por comparação e para determinada característica, tal como a vida da ferramenta.
- Neste caso pode-se determinar um índice de usinabilidade através da comparação com o desempenho previamente conhecido de um material padrão.



Determinação da Usinabilidade dos Materiais

- Os principais critérios, que são passíveis de serem expressos em valores numéricos, são:
 - · **Vida da ferramenta**
 - · **Força de corte**
 - · **Potência consumida**



Determinação da Usinabilidade dos Materiais

- Esses parâmetros servem, também, para definir o custo do trabalho de usinagem.
- Assim, a vida da ferramenta entre duas afiações sucessivas tem grande influência no custo de operação.
- A força e a potência limitam as dimensões máximas de corte e, portanto, o volume de material removido por hora-máquina.
- Além disso, a exigência de um acabamento de alta qualidade poderá influir, também, no custo de usinagem.



Determinação da Usinabilidade dos Materiais

- Baseadas principalmente nestes critérios é que são estabelecidas as tabelas e os gráficos que indicam o comportamento de cada material na usinagem. Embora seja impossível determinar-se com precisão um índice de usinabilidade para cada material, estas tabelas são de grande valor para estabelecer parâmetros iniciais de partida que, de acordo com as condições específicas de cada trabalho, poderão ser trazidos para valores mais adequados, através de ensaios e experimentações.

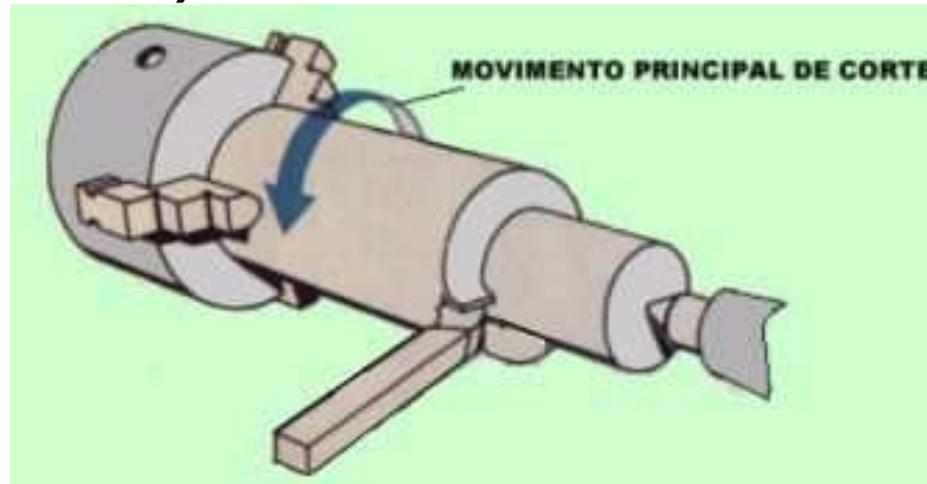


Propriedade dos Materiais que podem influenciar na Usinabilidade

- Dureza e resistência mecânica: Valores baixos geralmente favorecem a usinabilidade
- Ductibilidade: Valores baixos geralmente favorecem a usinabilidade
- Condutividade térmica: Valores elevados geralmente favorecem a usinabilidade
- Taxa de encruamento: Valores baixos geralmente favorecem a usinabilidade

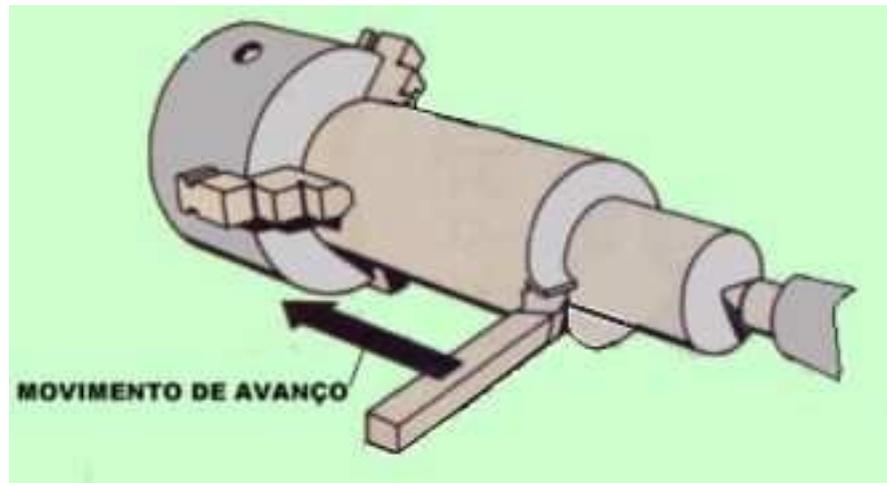
Movimentos na Usinagem

- **Movimento de corte:**
É o movimento entre a ferramenta e a peça que provoca remoção de cavaco durante uma única rotação ou um curso da ferramenta. Geralmente este movimento ocorre através da rotação da peça (torneamento) ou da ferramenta (fresamento).



Movimentos na Usinagem

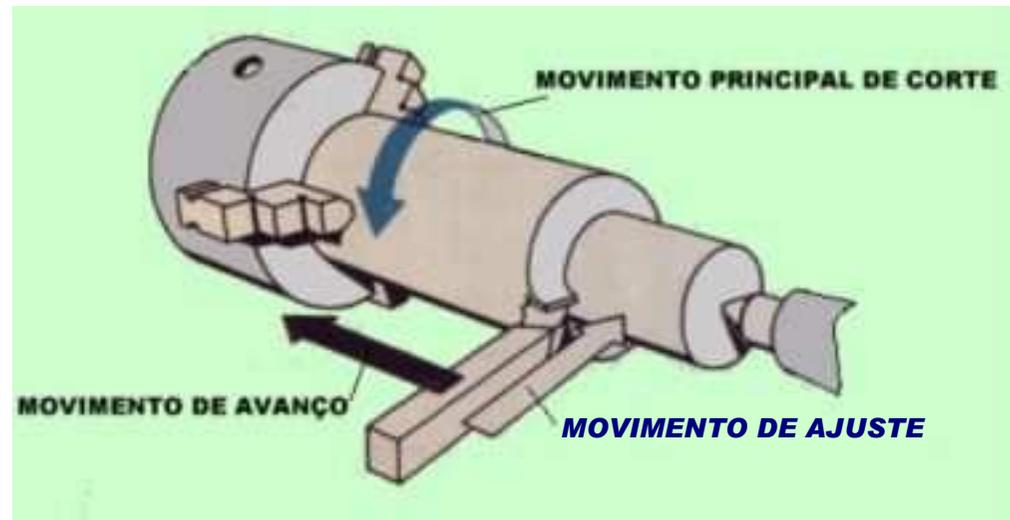
- **Movimento de avanço (f):**
É o movimento entre a ferramenta e a peça que, juntamente com o movimento de corte, possibilita uma remoção contínua do cavaco ao longo da peça.



Movimentos na Usinagem

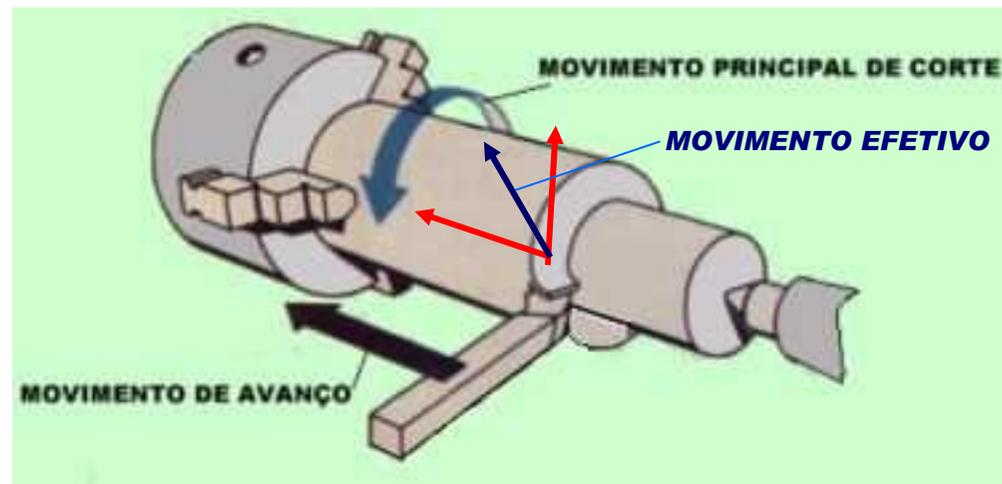
- Movimento de ajuste ou penetração (a_p):

É o movimento entre a ferramenta e a peça, no qual é predeterminada a espessura da camada de material a ser removida.

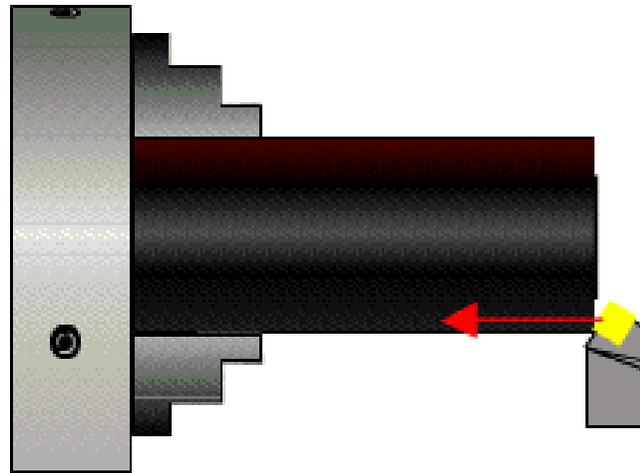


Movimentos na Usinagem

- **Movimento efetivo de corte:**
É o movimento entre a ferramenta e a peça, a partir do qual resulta o processo de usinagem. Quando o movimento de avanço é contínuo, o movimento efetivo é a resultante da composição dos movimentos de corte e de avanço.



Movimento Efetivo de Corte





Movimentos na Usinagem

➤ **Movimento de correção:**

É o movimento entre a ferramenta e a peça, empregado para compensar alterações de posicionamento devidas, por exemplo, pelo desgaste da ferramenta.



Movimentos na Usinagem

➤ **Movimento de aproximação:**

É o movimento da ferramenta em direção à peça, com a finalidade de posicioná-la para iniciar a usinagem.



Movimentos na Usinagem

➤ **Movimento de recuo:**

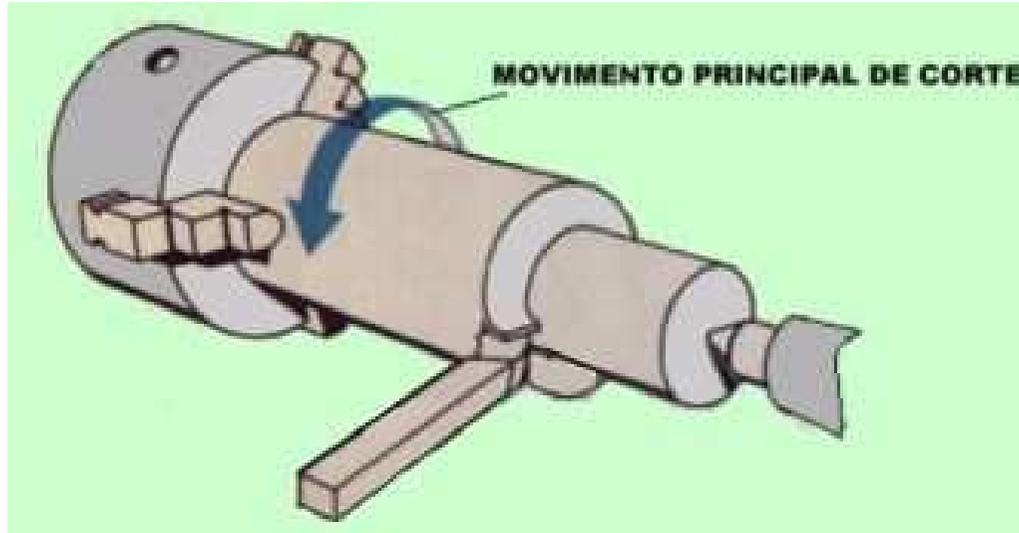
É o movimento da ferramenta pelo qual ela, após a usinagem, é afastada da peça



Movimentos na Usinagem

Tanto os movimentos ativos como passivos são importantes, pois eles estão associados a tempos que, somados, resultam no tempo total de fabricação.

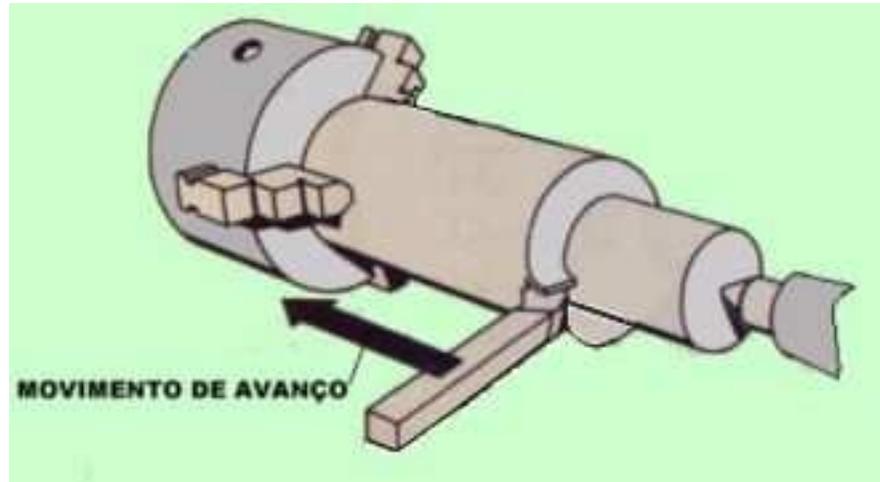
Cálculo da Velocidade de Corte



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

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

Cálculo da Velocidade de Avanço



$$v_f = f.n = \frac{1000.v_c}{\pi.d} . f$$

V_f = velocidade de avanço [mm/min]

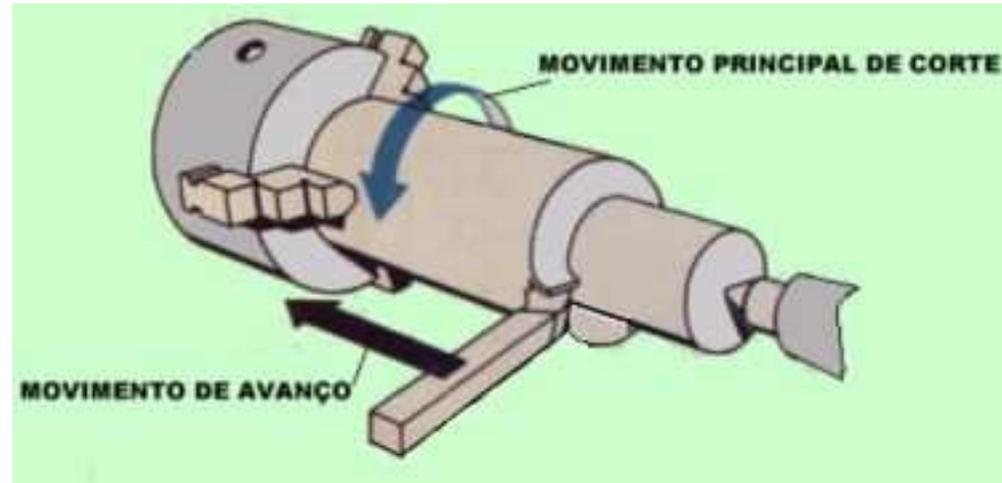
f = avanço [mm/rot]

n = rotação da peça (ferramenta) [rpm]

V_c = velocidade de corte [m/min]

d = diâmetro da peça (ferramenta) [mm]

Cálculo do Tempo de Corte (tempos ativos)



$$t_c = \frac{I_f}{v_f} = \frac{I_f}{f \cdot n} = \frac{\pi \cdot d \cdot I_f}{1000 \cdot f \cdot v_c}$$

t_c = tempo de corte [min]

I_f = percurso de avanço [mm]

v_f = velocidade de avanço [mm/min]



Cálculo dos Tempos Passivos

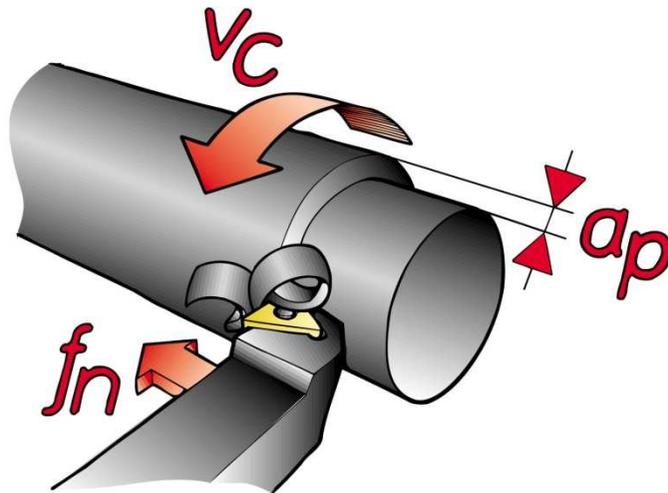
Os tempos passivos nem sempre podem ser calculados. Geralmente são estimados por técnicas específicas que estudam os movimentos e a cronometragem dos tempos a eles relacionados, estabelecendo os chamados tempos padrões.

Cálculo da Seção Transversal de Corte

$$A = a_p \cdot f$$

A= área da seção transversal de um cavaco a ser removido [mm²]

a_p= profundidade ou largura de usinagem, medida perpendicularmente ao plano de trabalho [mm]





Exercício

Dados de um torneamento cilíndrico:

- Comprimento a usinar: 500 mm.
- Diâmetro da peça: 80 mm
- Velocidade de corte recomendada: 32 m/min
- Avanço: 0,8 mm/rot
- Profundidade: 3 mm
- Rotações disponíveis no torno: 70 – 100 – 120 – 150 – 175-200

Calcular o tempo ativo de corte.



Mecanismo de formação do cavaco

A formação do cavaco influencia diversos fatores ligados a usinagem, tais como:

- Desgaste da ferramenta
- Esforços de corte
- Calor gerado na usinagem
- Penetração do fluido de corte, etc



Mecanismo de formação do cavaco

Assim estão envolvidos com o processo de formação de cavaco os seguintes aspectos:

- Econômicos
- Qualidade da peça
- Segurança do Operador
- Utilização adequada da máquina, etc



Etapas da formação do cavaco

- 1) recalque (deformação elástica)**
- 2) deformação plástica**
- 3) ruptura (cisalhamento)**
- 4) movimento sobre a superfície de saída**



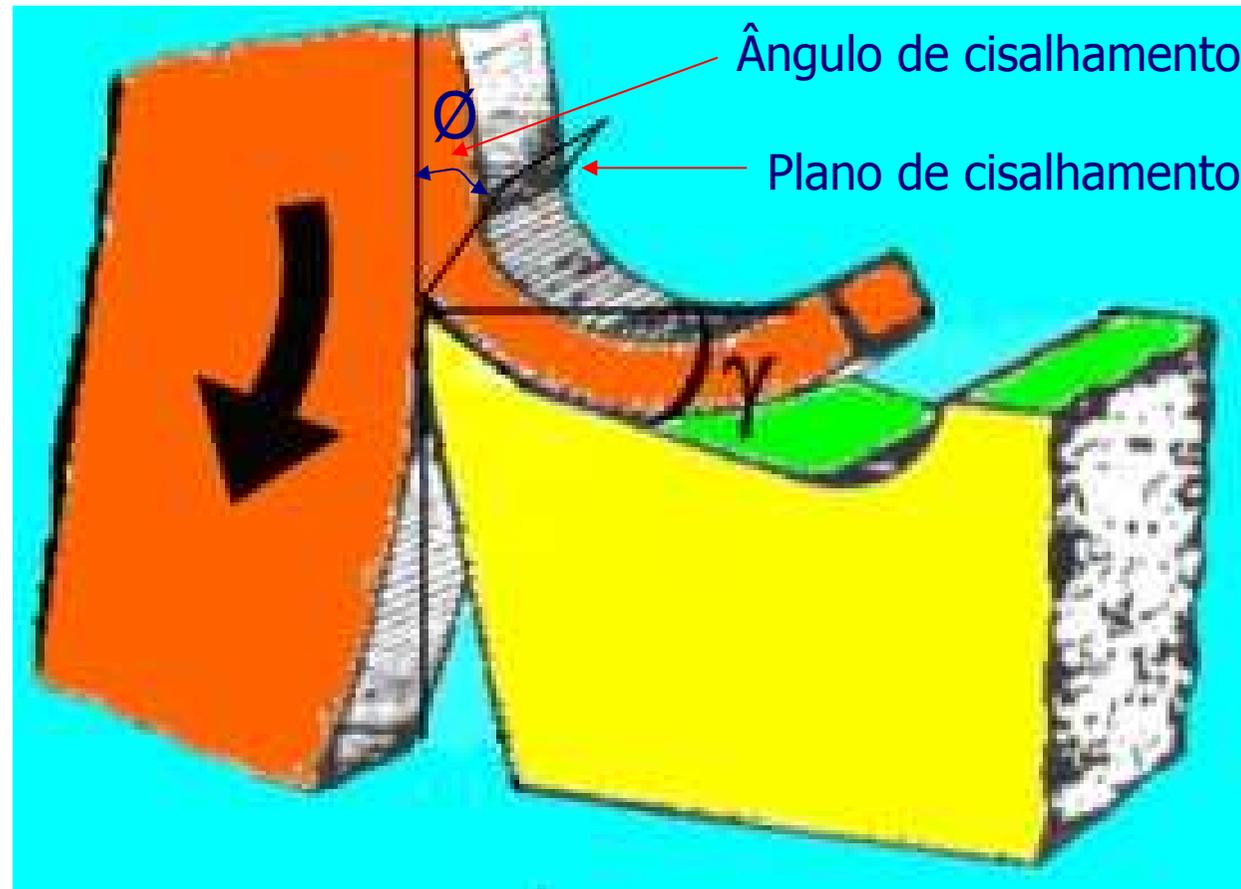
Mecanismo de formação do cavaco

O corte dos metais envolve o cisalhamento concentrado ao longo de um plano chamado plano de cisalhamento.

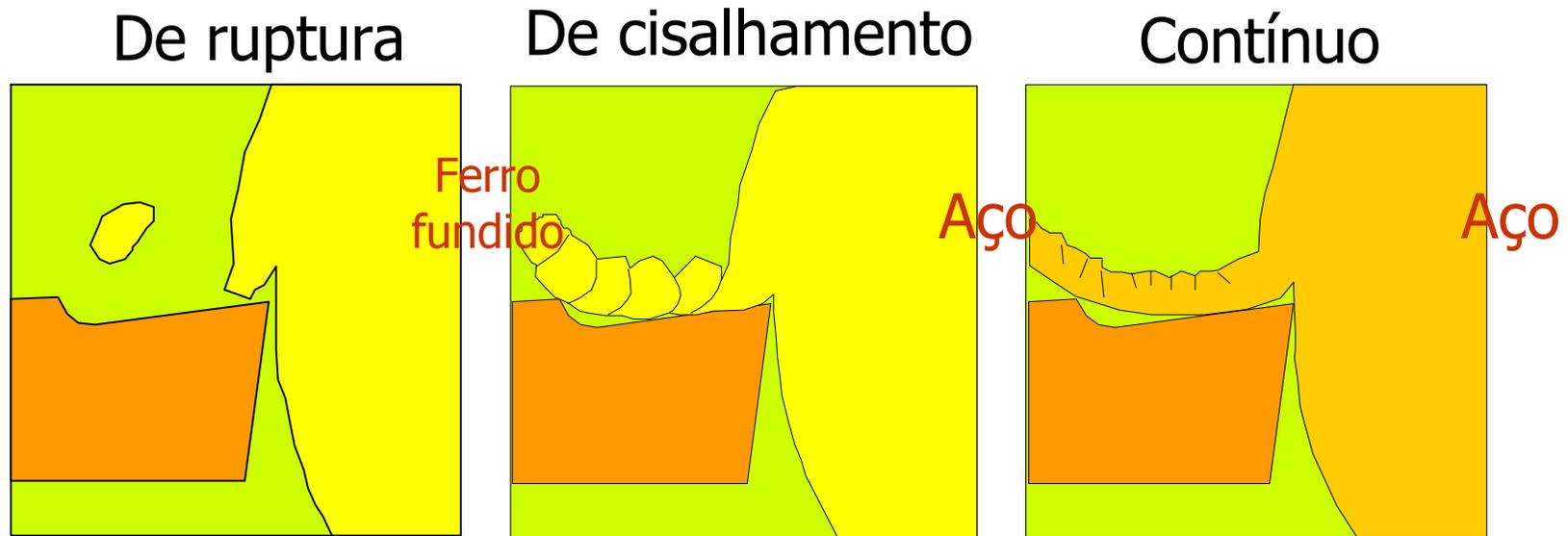
O ângulo entre o plano de cisalhamento e a direção de corte é chamado de ângulo de cisalhamento (ϕ).

Quanto maior a deformação do cavaco sendo formado, menor será ϕ e maior será o esforço de corte.

Mecanismo de formação do cavaco

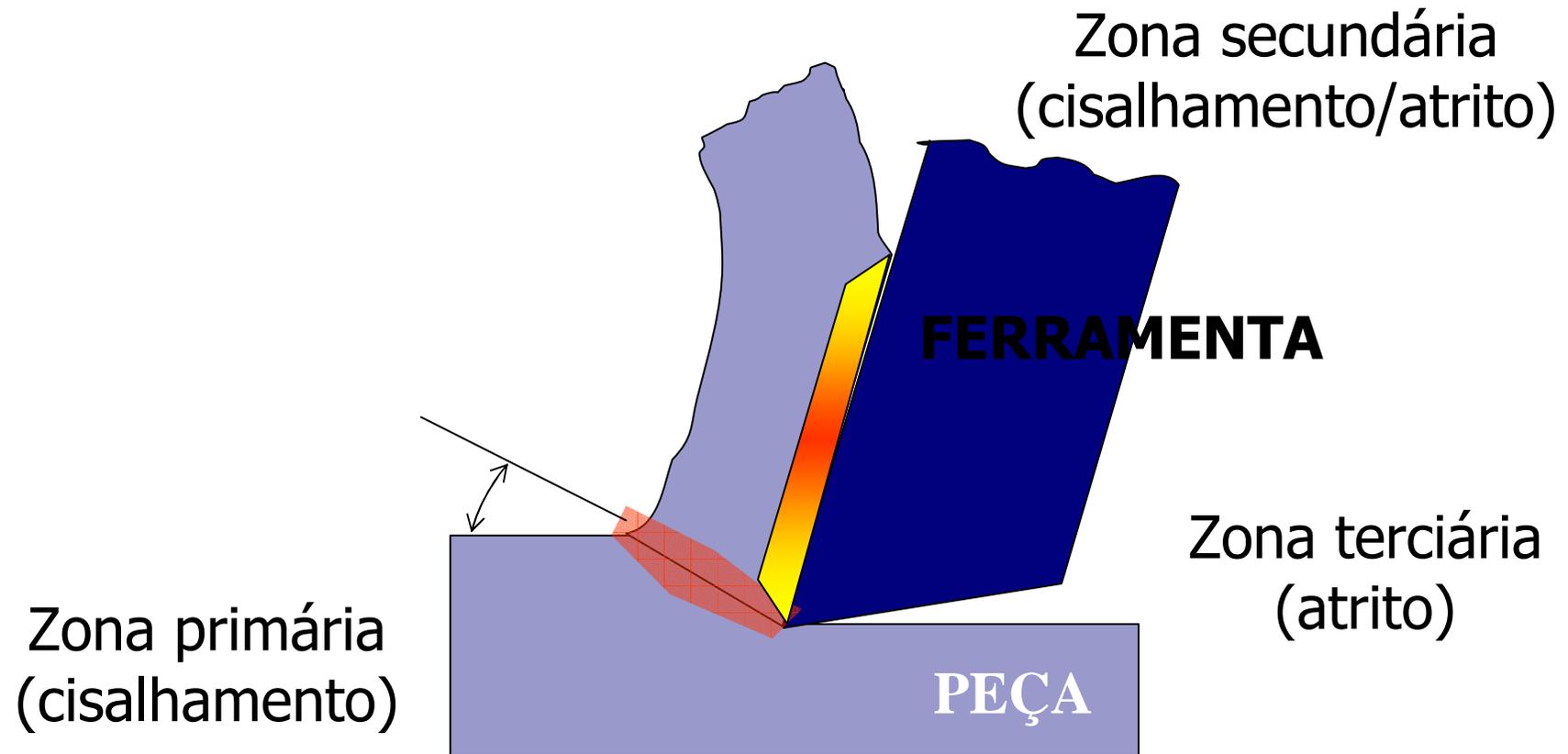


Tipos de cavaco

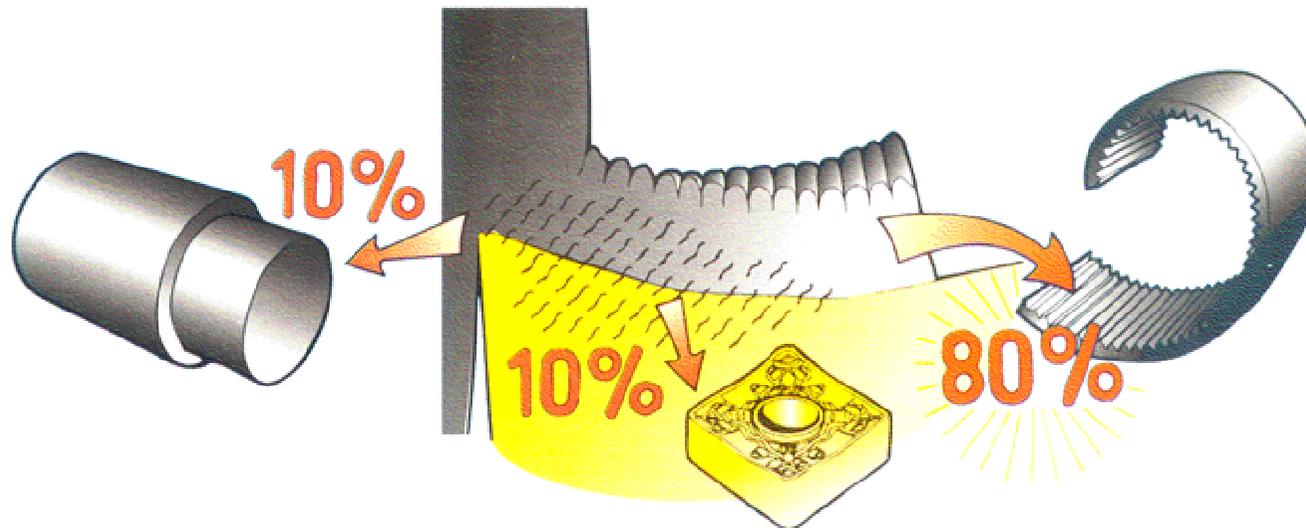
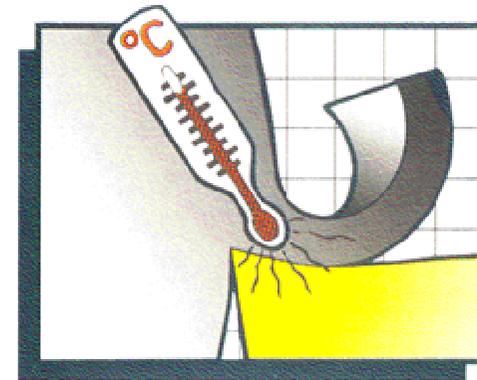
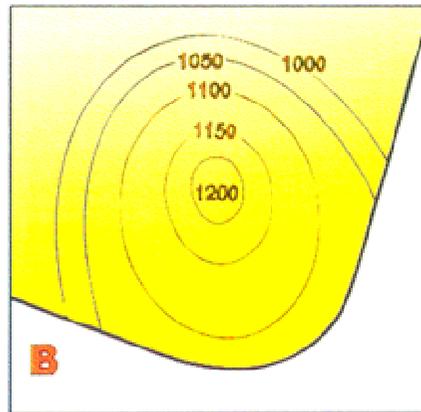
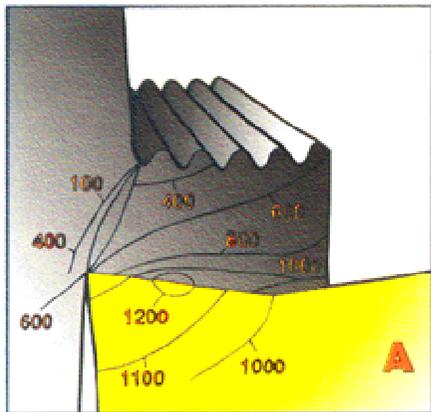


O fenômeno de formação do cavaco é periódico

Fontes de Calor



Distribuição de Calor





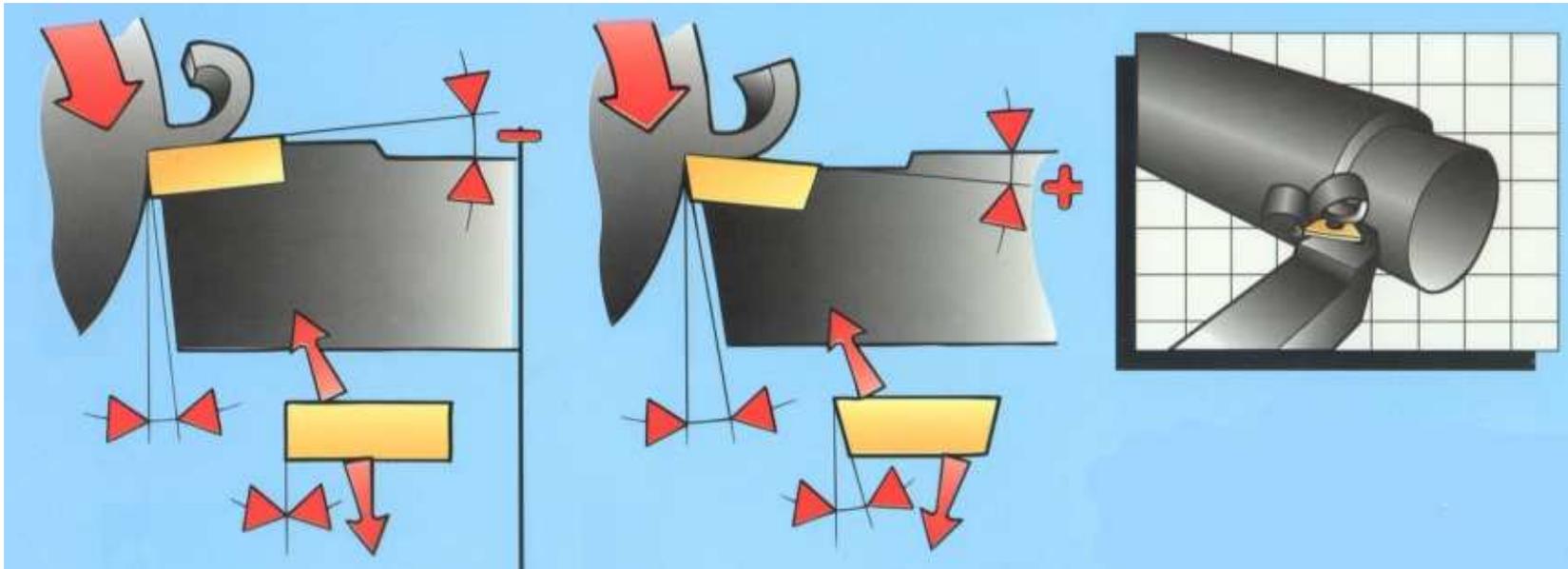
Mecanismo de formação do cavaco

Controle da Forma do Cavaco

Problemas relacionados à forma do cavaco:

- **Segurança do Operador**
- **Possíveis danos à ferramenta e à peça**
- **Dificuldades de manuseio e armazenagem do cavaco**
- **Forças de corte, temperatura e vida da ferramenta**

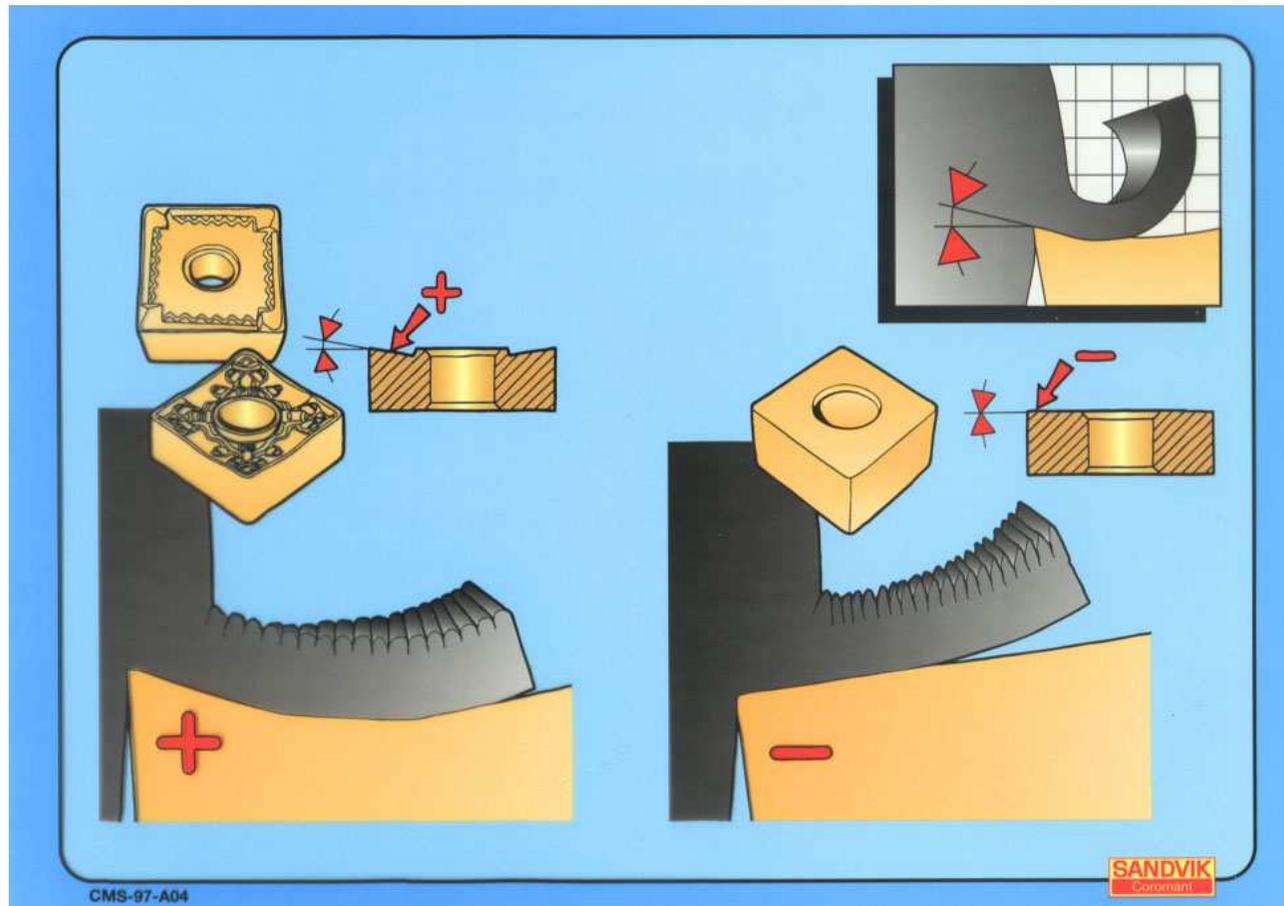
Ângulos de saída positivos e negativos



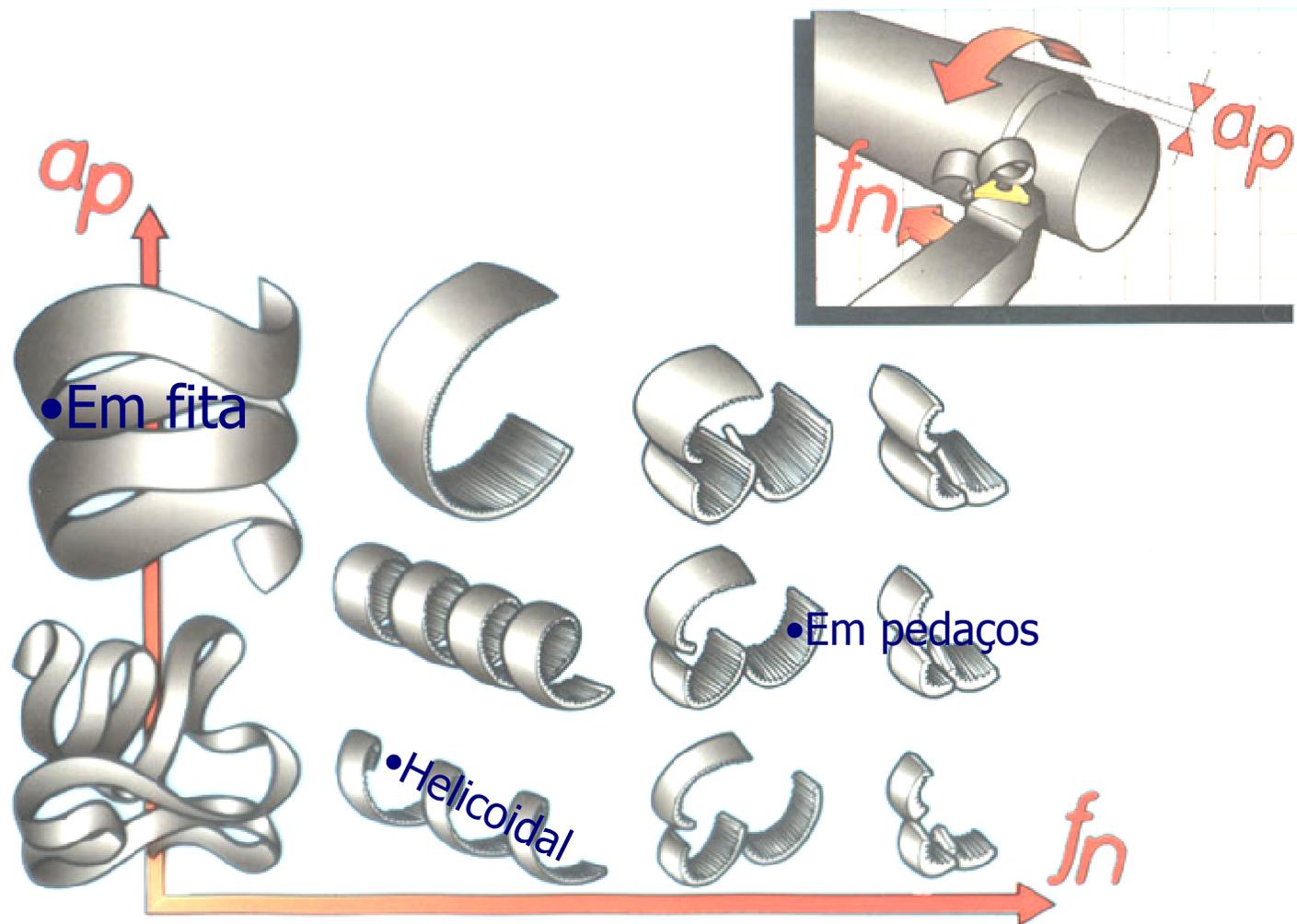
Mecanismo de formação do cavaco

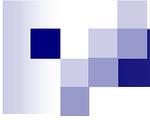
Contínuo: O ângulo de saída deve ser grande

De ruptura: O ângulo de saída deve ser baixo, nulo ou negativo.



Formas assumidas pelos cavacos



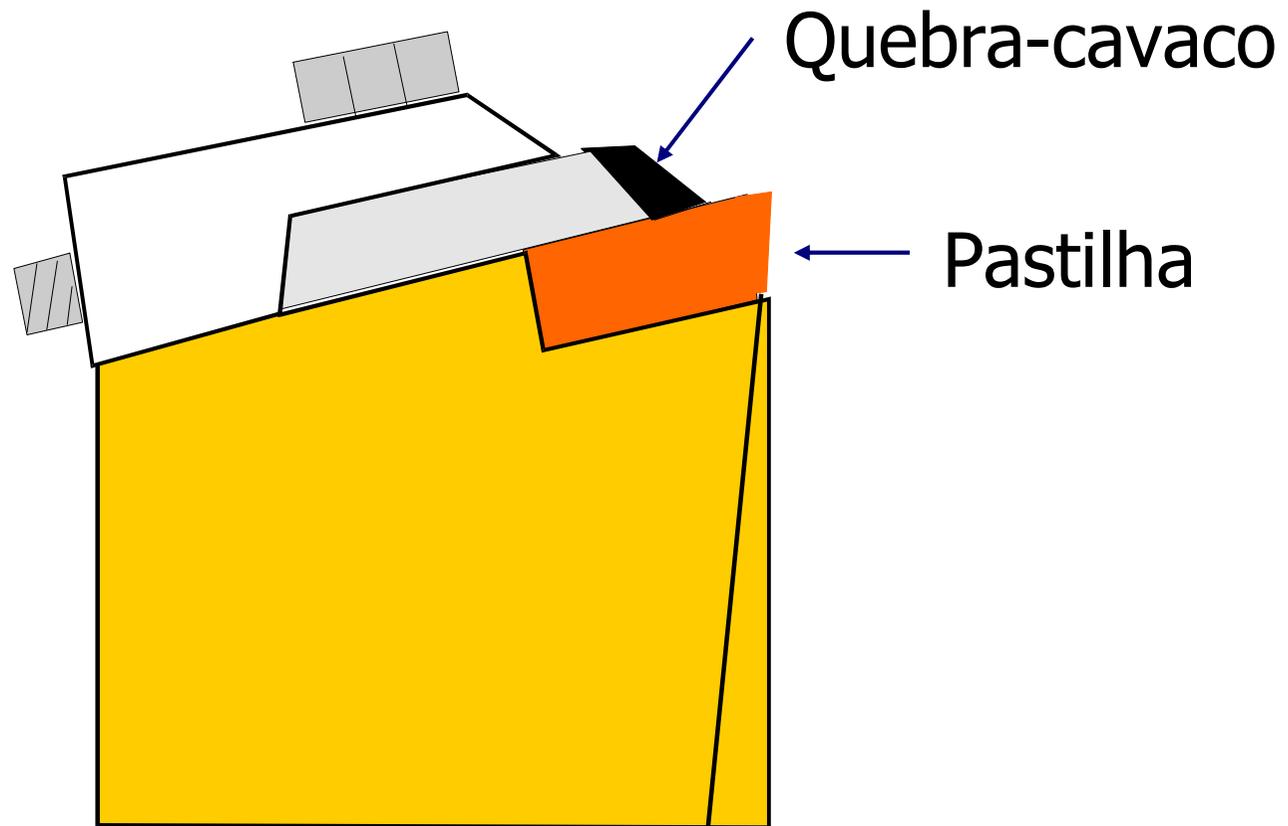


Mecanismo de ruptura do cavaco

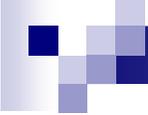
A melhor maneira de se promover a curvatura vertical do cavaco, para causar a sua ruptura é a colocação de um obstáculo no caminho do fluxo do cavaco, chamado de quebra-cavaco

A diminuição do ângulo de saída e/ou inclinação da ferramenta e o aumento do atrito cavaco-ferramenta, também promovem a curvatura vertical

Mecanismo de ruptura do cavaco



Os quebra-cavacos podem ser moldados na superfície de saída da ferramenta ou postigos



Influência da velocidade de corte na quebra do cavaco

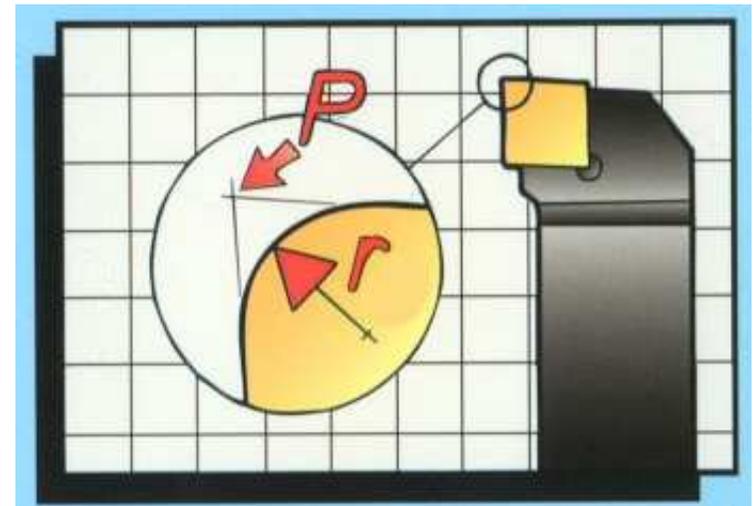
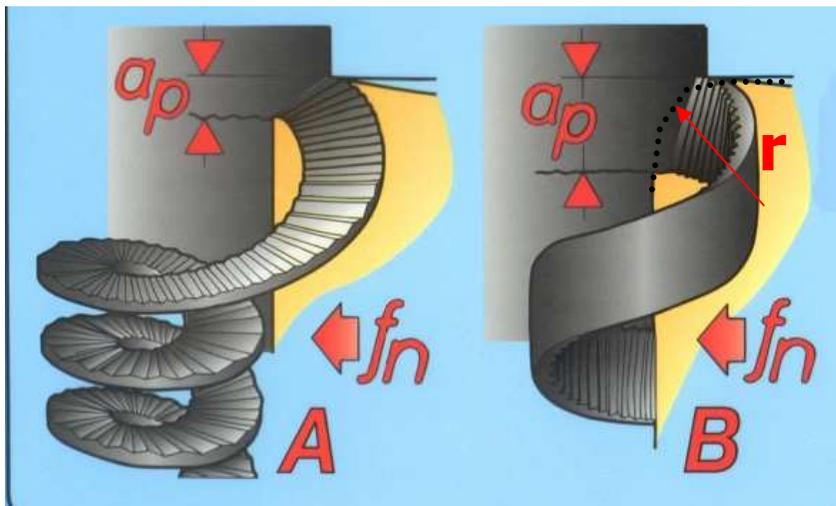
- Em baixas velocidades de corte os cavacos geralmente apresentam boa curvatura, quebrando com facilidade.
- Quando as velocidades aumentam, no caso de materiais dúcteis, pode haver maior dificuldade para a quebra.

Influência da profundidade de usinagem na quebra do cavaco

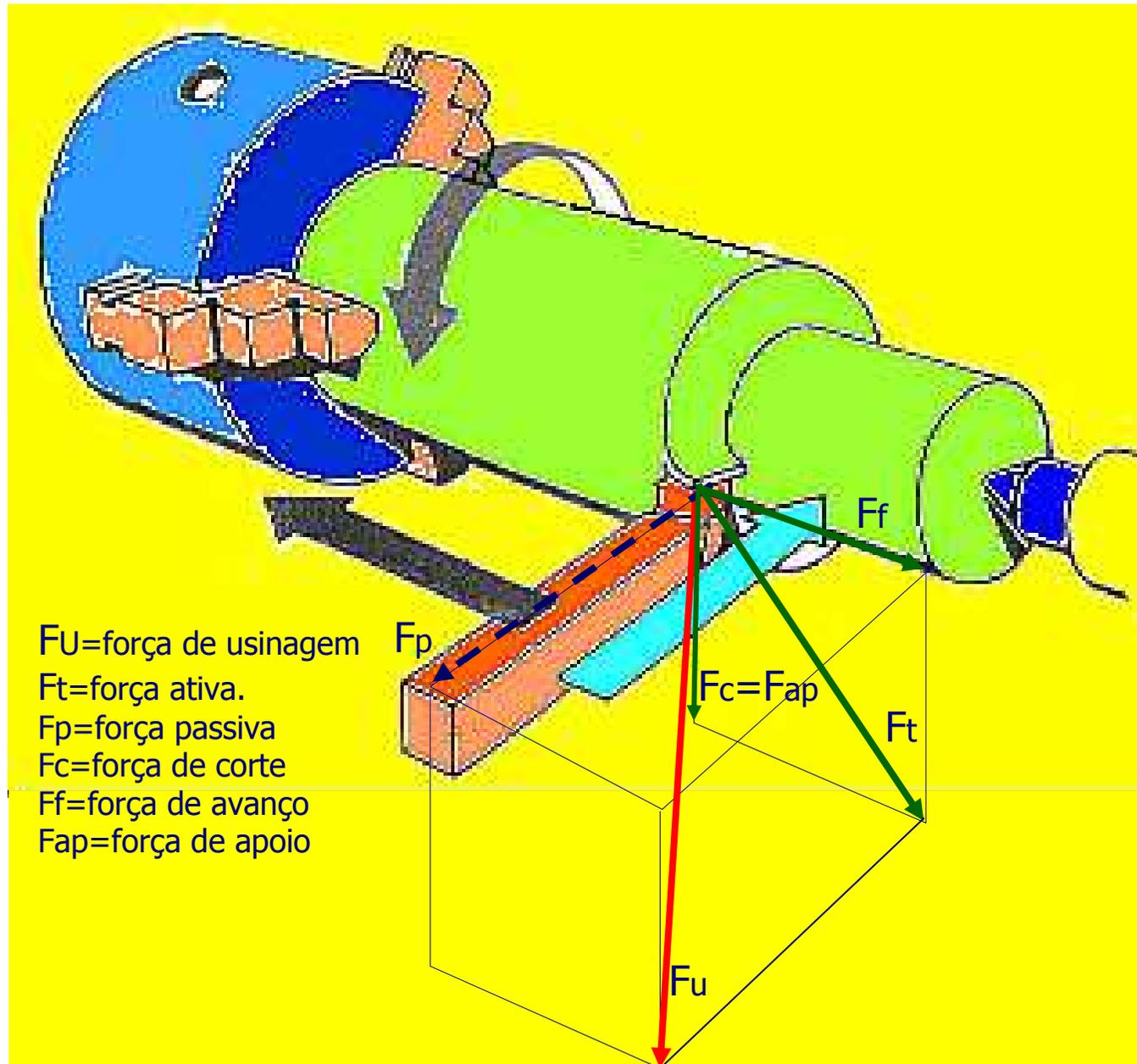
- Grandes profundidades de usinagem facilitam a quebra do cavaco.
- A relação entre o raio da ponta da ferramenta e a profundidade de usinagem influencia na quebra do cavaco:

a_p/r pequeno = dificuldade na quebra

a_p/r grande = facilidade na quebra



Forças de Usinagem





Potências de Usinagem

Potência de Corte

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

F_c [N] e V_c [m/min]



Potências de Usinagem

Potência de Avanço

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

F_f [N] e V_c [mm/min]



Potências de Usinagem

Como $N_f \ll N_c$ costuma-se dimensionar o motor da máquina operatriz apenas pela N_c

Potência fornecida pelo motor (N_m)

$$N_m = \frac{N_c}{\eta}$$

$\eta =$ 60% a 80% para máquinas convencionais e
90% para máquinas CNC



Potências de Usinagem

A força de corte pode ser expressa pela relação:

$$F_c = K_s \cdot A$$

K_s = Pressão específica de corte

$A = b \cdot h = a_p \cdot f =$ Área da seção de corte



Cálculo da pressão específica de corte - K_s

Segundo Kienzle K_s é função da espessura de corte h

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

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

Cálculo da pressão específica de corte - K_s

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