



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

## **Usinagem com Ferramentas de Geometria Definida**

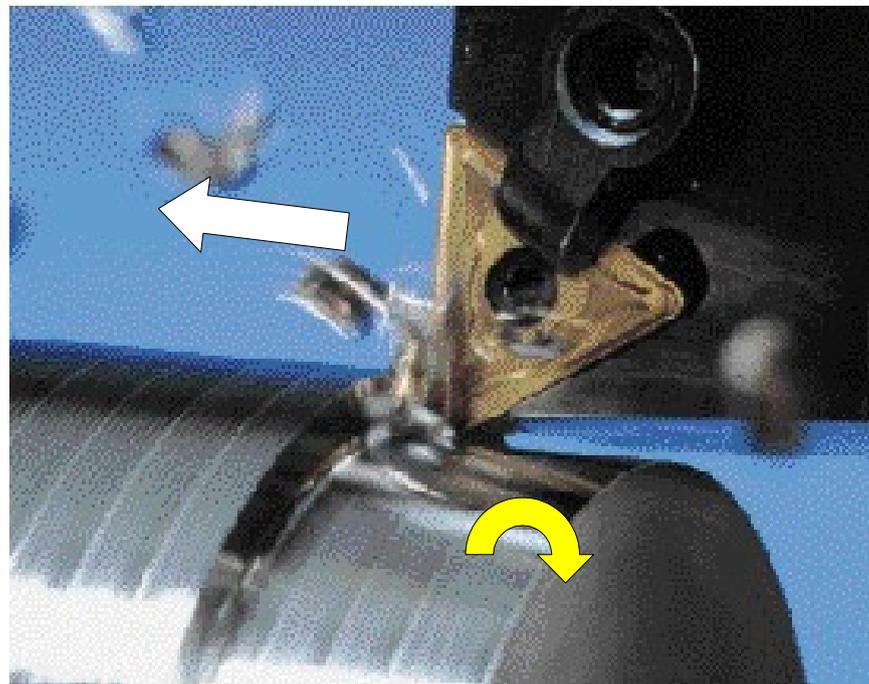
- Torneamento**
- Fresamento**
- Furação**
- Alargamento**
- Rosqueamento**
- Brochamento**



## Processo de Torneamento

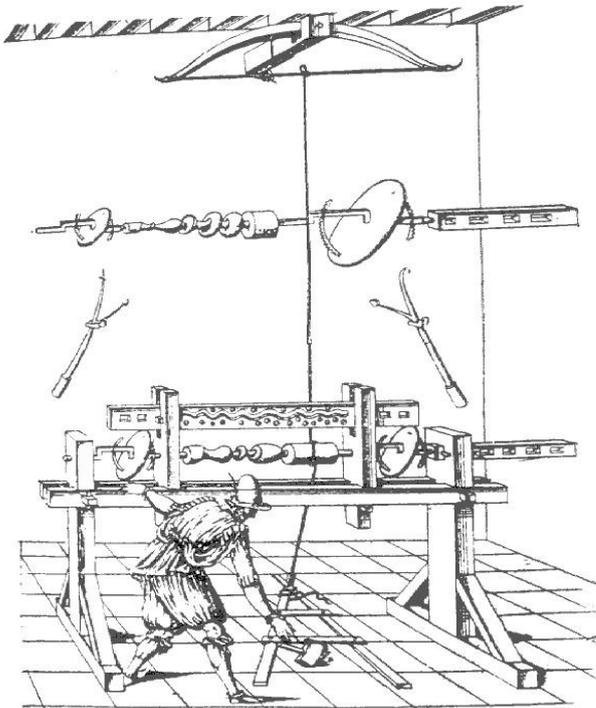
**Definição:** Processo de usinagem onde a peça executa o movimento de corte rotativo e a ferramenta o movimento de translativo de avanço.

Geralmente utilizado na fabricação de peças simétricas de revolução

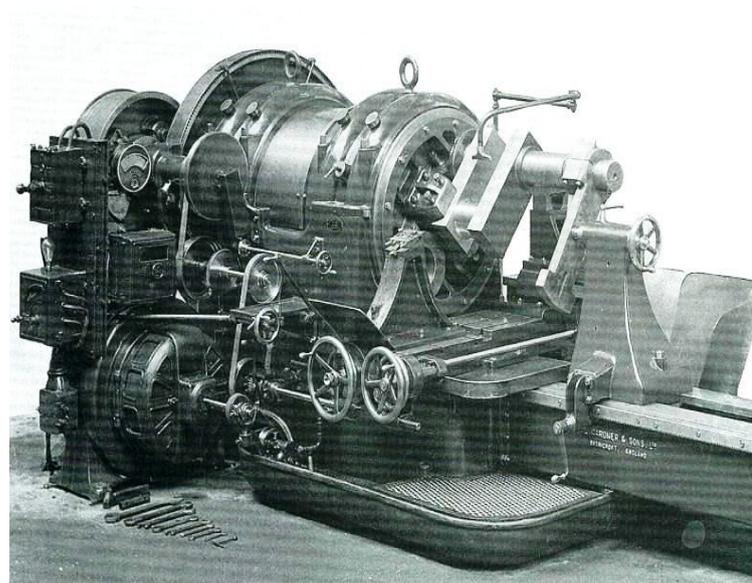




## Evolução do processo



1504



1906



1998



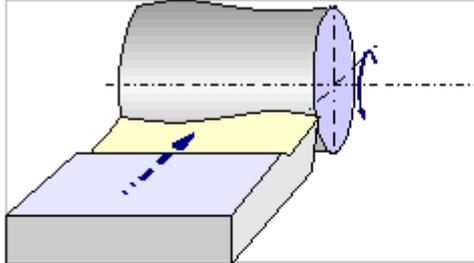
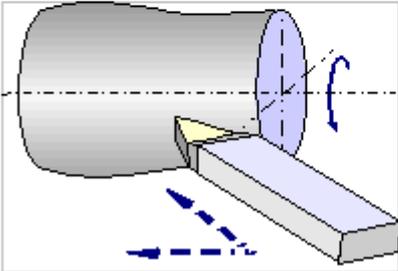


## Principais operações no torneamento - DIN 8589

<i>Operação de torneamento</i>	<i>Externo</i>	<i>Interno</i>
Longitudinal		
	<i>Faceamento</i>	<i>Sangramento</i>
Plano ou transversal		
Helicoidal		



## Principais operações no torneamento - DIN 8589

<i>Operação de torneamento</i>	<i>Externo</i>	<i>Interno</i>
de forma		
de perfil		
de geração		



## **Ferramentas de corte para torneamento**

- A maioria dos processos de torneamento fazem uso de ferramentas simples
- Todas as ferramentas de torneamento tem basicamente forma semelhante
- São compostas de uma parte cortante e de uma haste para fixação
- Ferramentas podem ser integrais, ou com insertos
- Os insertos podem ser fixados à haste mecanicamente ou por brasagem
- Insertos intercambiáveis têm hoje a mais ampla aplicação no torneamento



## Ferramentas de corte para torneamento

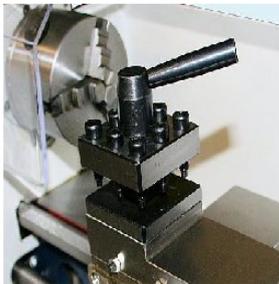


Exemplo de ferramentas para torneamento



## Fixação das ferramentas de torneamento

Castelo



Fixação das  
ferramentas no  
torneamento



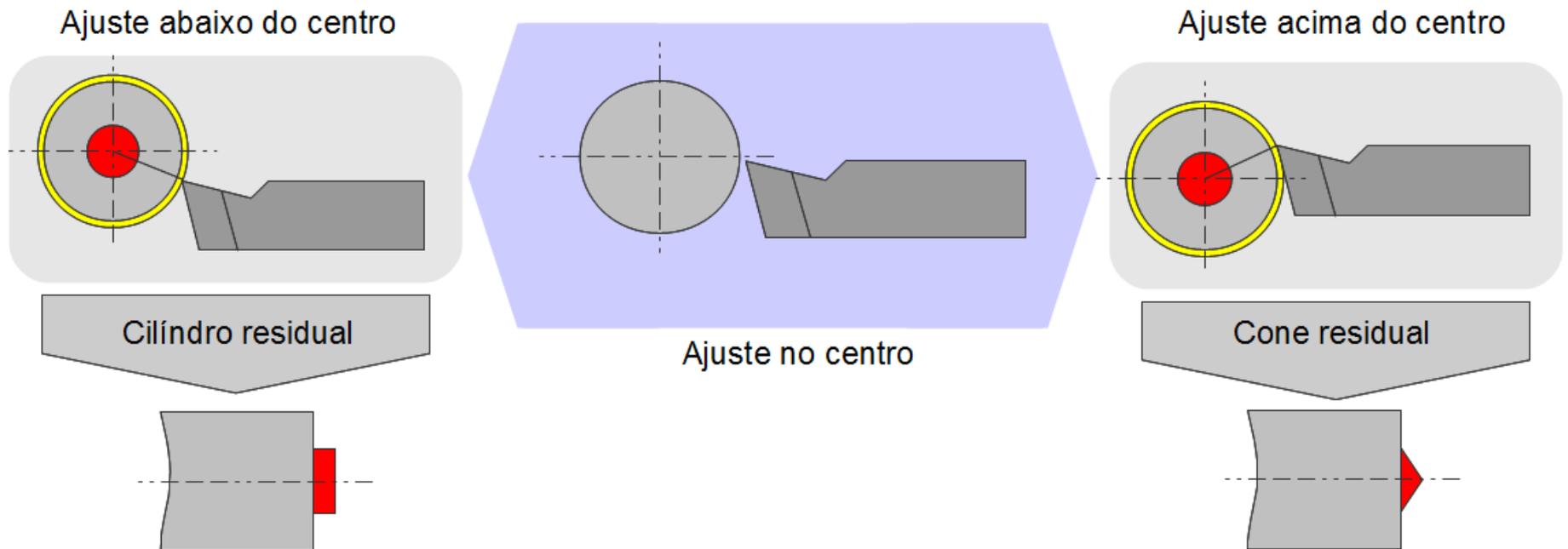
Gang



Torre ou revolver



## Ajuste das ferramentas de torneamento

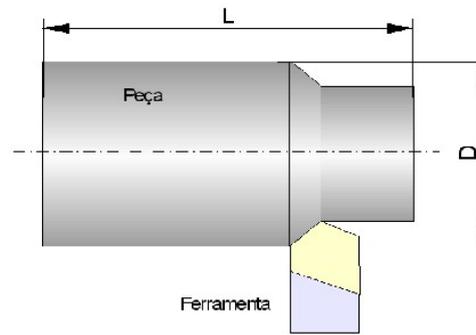
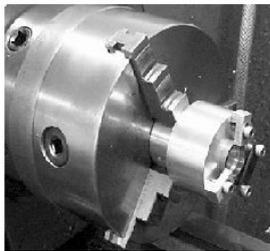




## Torneamento cilíndrico externo

### Relação L/D

**Em balanço**  
 $L/D \leq 1,5$



**Contra-pontas**  
 $L/D > 1,5$



**Contra ponta e  
luneta**  
 $L/D \gg 5$



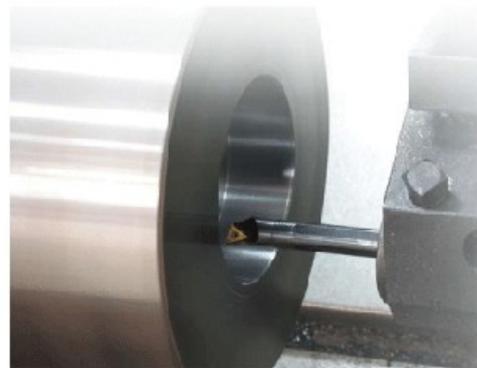


## Torneamento cilíndrico interno

### Problemas

Refrigeração

Saída dos  
cavacos



Vibrações

Visualização do  
processo



## Torneamento cilíndrico interno

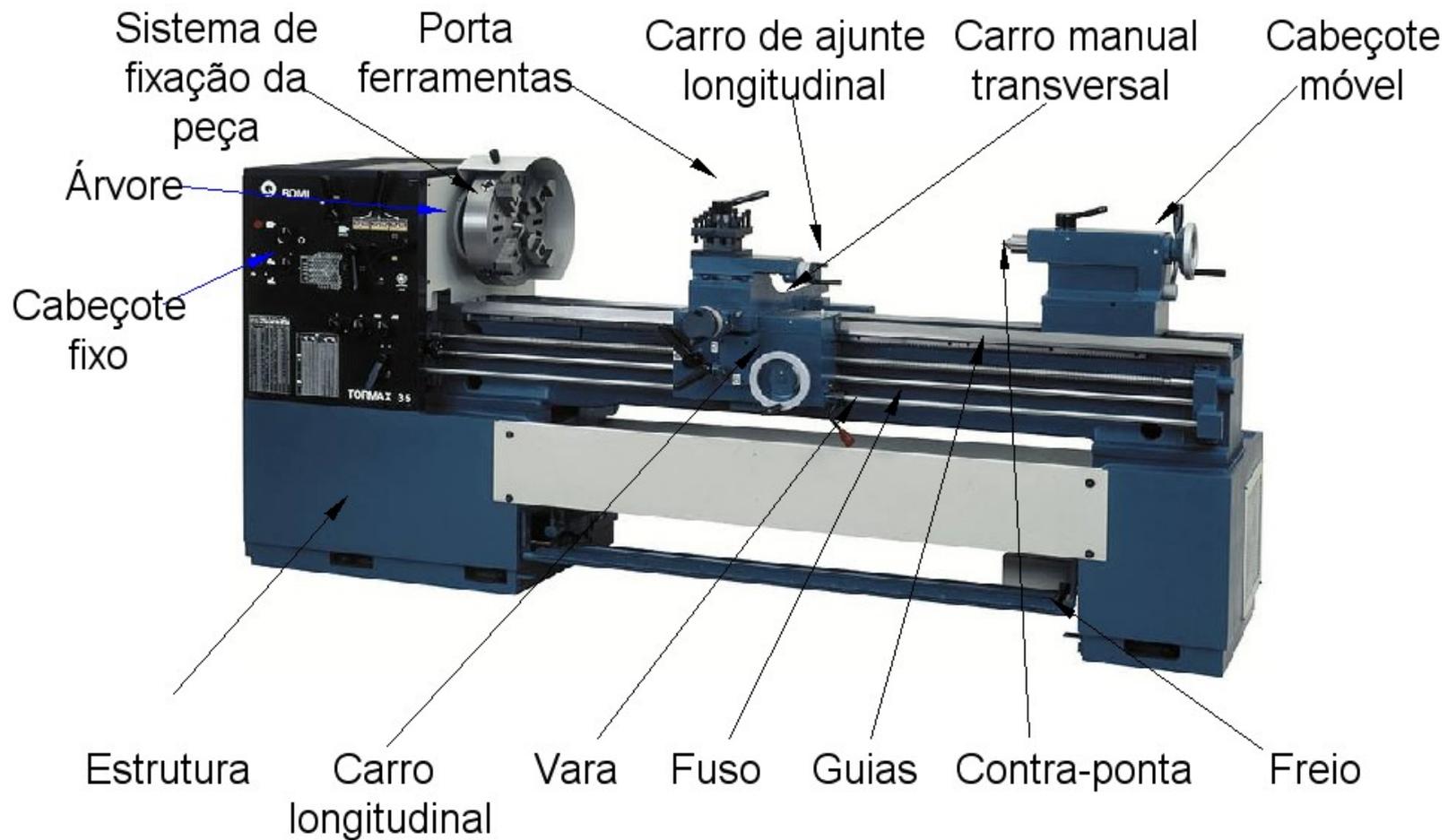


Exemplo de ferramentas para torneamento interno



## Máquinas-ferramentas para o torneamento

### Constituintes de um torno convencional





## Tipos de tornos

Velocidades, avanços, automação

**Universal**



**Revolver**



**Copiador**





## Tipos de tornos

Velocidades, avanços, automatização

**Automático  
convencional**



**Automático  
CNC**



**CNC**





## Tipos de tornos

**Verticais**



**Ultraprecisão**



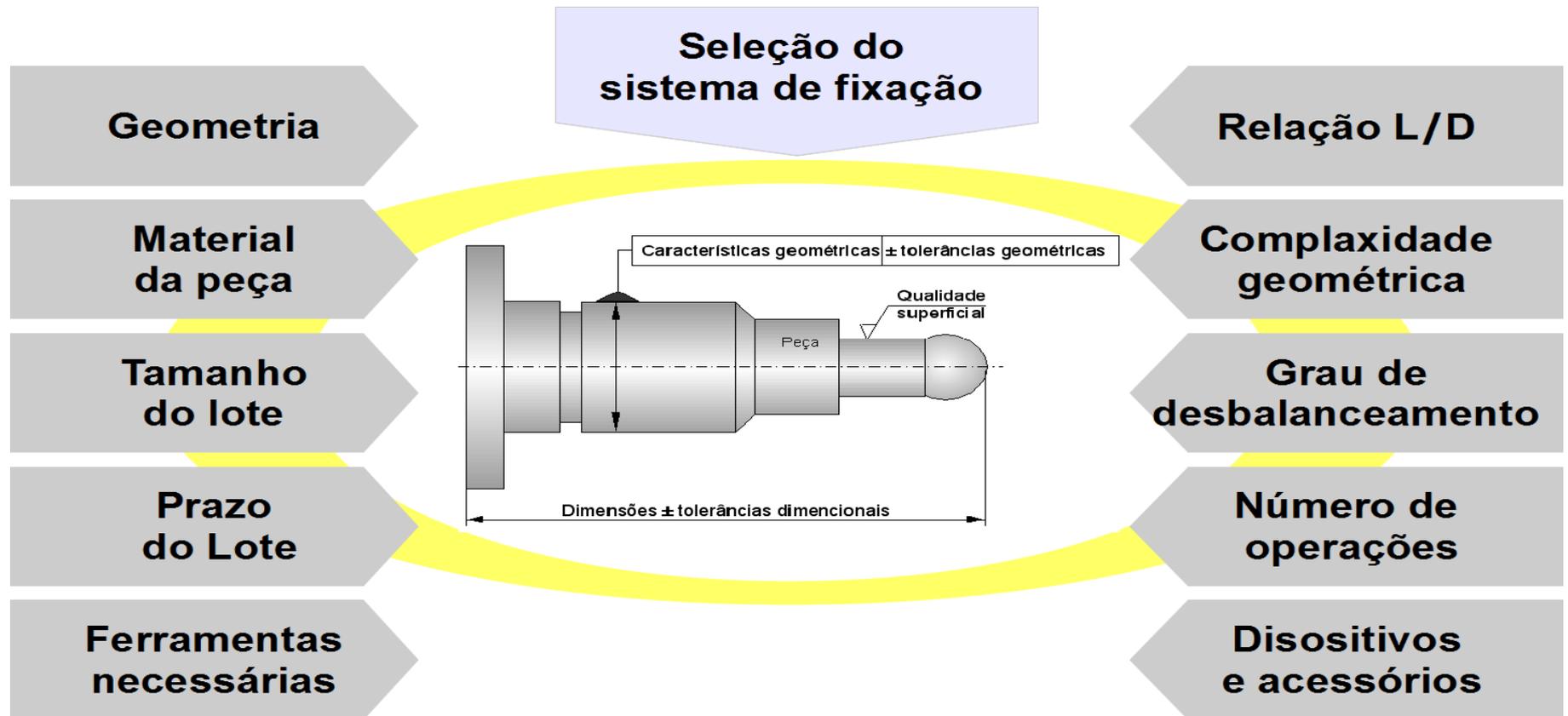
**Especiais**



Velocidades, avanços, automação



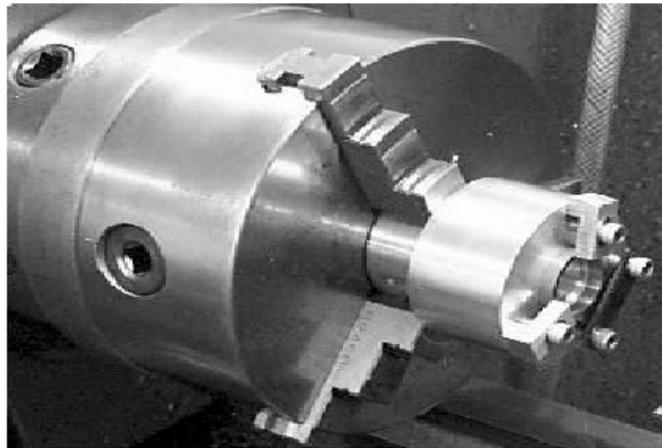
## Fatores que definem a escolha de um torno





## Fixação de peças no torneamento

**Segura**



**Sem perda  
de protência**

**Rápida**

**Precisa**



## Fixação de peças no torneamento

- Força necessária para uma fixação segura depende da geometria da peça, do material da peça, da geometria da ferramenta, dos parâmetros de corte, e não deve deixar marcas ou provocar deformações na peça
- Velocidade segura depende do tamanho da peça, da geometria da peça, das tolerâncias de forma e dimensional, do acabamento desejado, da rigidez do *setup*, do tipo de fixação, do tipo de operação e da ferramenta



## Fixação de peças no torneamento





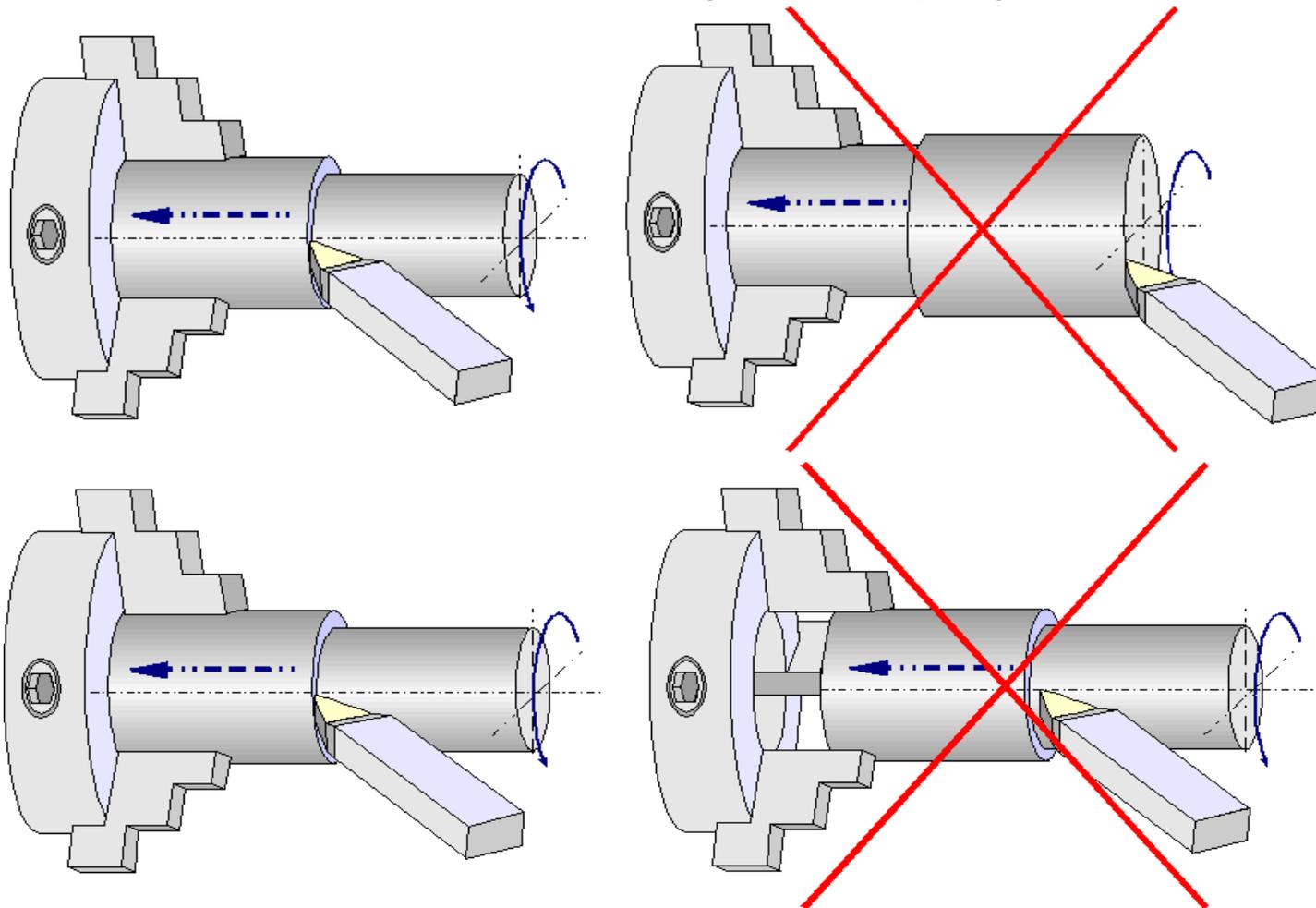
## Escolha do sistema de fixação

- A peça, o torno e as ferramentas determinam o sistema de fixação a ser utilizado
- A seleção criteriosa do sistema de fixação garante a obtenção de melhores resultados
- A peça deve ser presa pelo seu maior diâmetro prático, para suportar o torque durante o corte mais facilmente
- As peças devem ser fixadas o mais perto das faces das placas possível



## Escolha do sistema de fixação

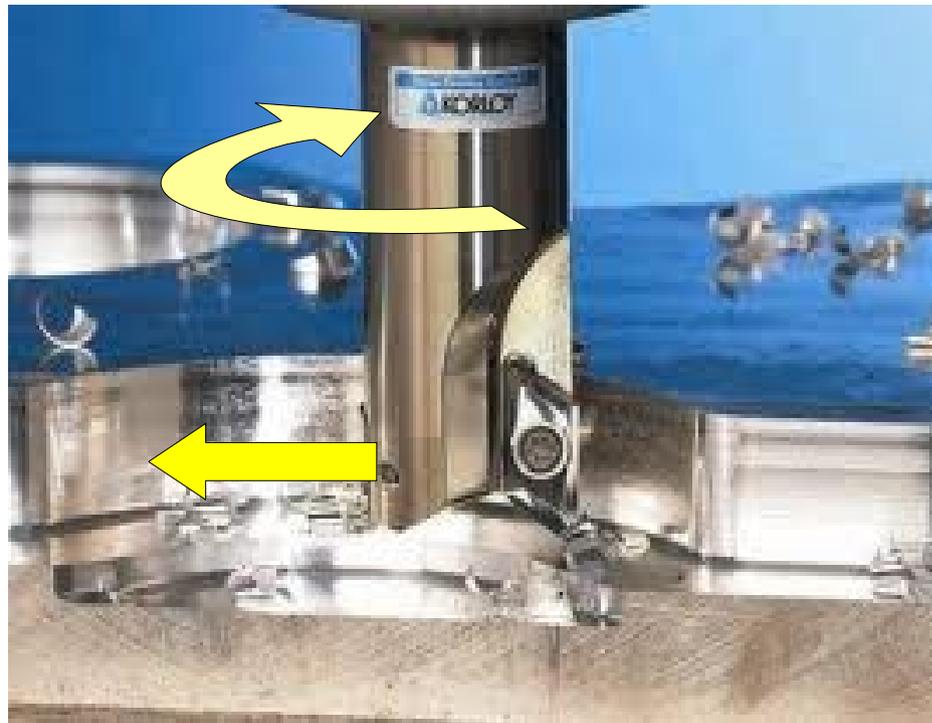
→ Formas correta e errada de fixação de peças no torneamento





## Processo de Fresagem

**Definição:** A fresagem ou fresamento é um processo de usinagem onde a remoção é realizada através do movimento de corte circular é realizado pela ferramenta, e o movimento (relativo) de avanço é realizado pela peça.





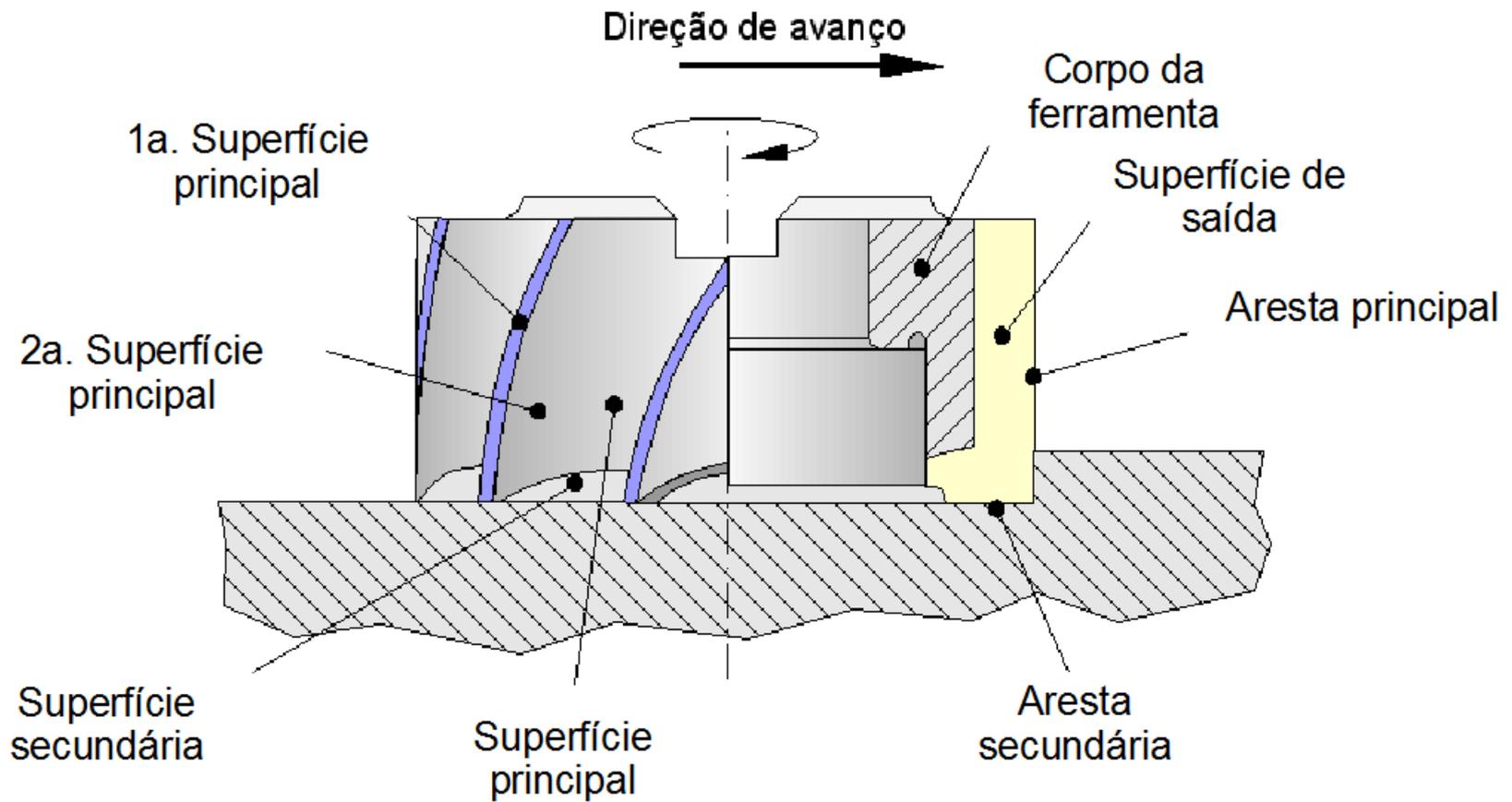
## Processo de Fresagem

### Generalidades do processo de fresamento

- Ferramenta com uma ou várias arestas atuando simultaneamente para a geração de superfícies
- Processo utilizado na geração de superfícies que **não** são de revolução, como as produzidas no torneamento
- O movimento de corte transcorre de forma normal ou oblíqua à direção de rotação da ferramenta.



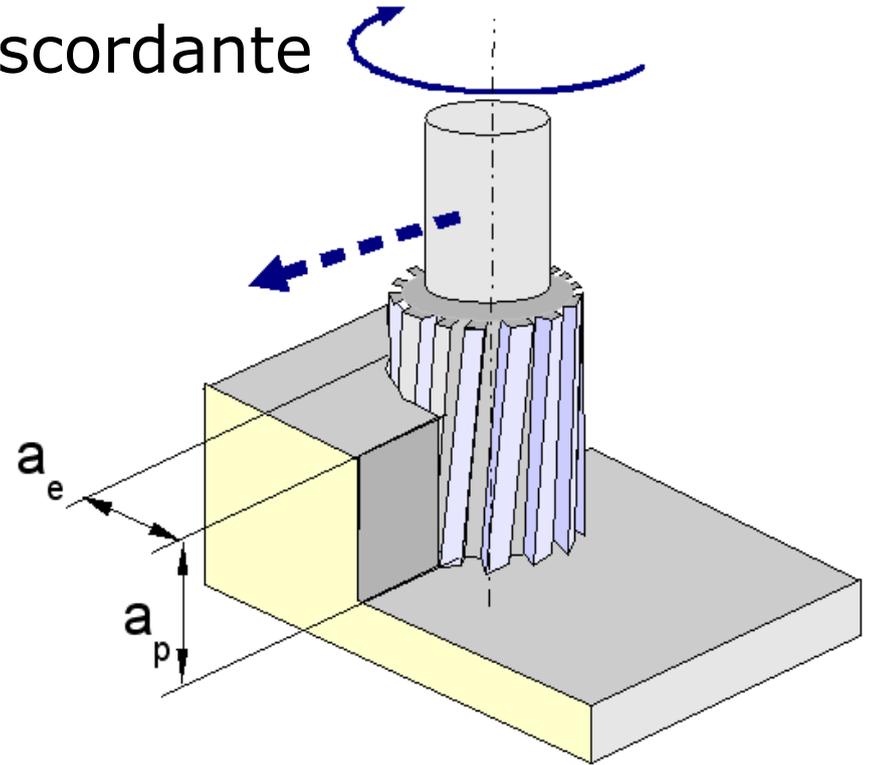
## Características da fresa





## Parâmetros de usinagem no fresamento

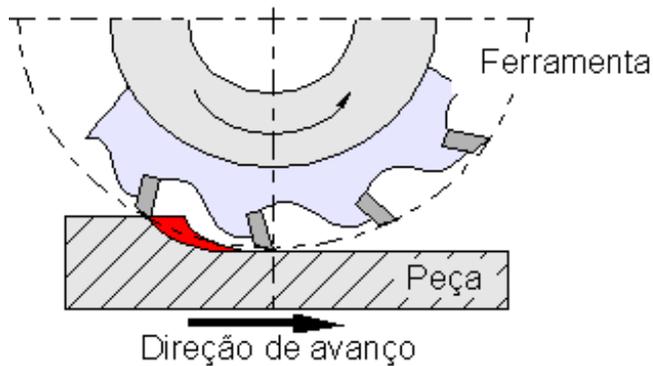
- Informações gerais ( $v_c$ ,  $f$ ,  $a_p$ , etc)
- Fresamento concordante / discordante
- Diâmetro da fresa
- Número de dentes ( $Z$ )
- Penetração de trabalho ( $a_e$ )
- Avanço por dente ( $f_z$ )
- Ângulo de engajamento (definido por  $j_E$  e  $j_A$ )



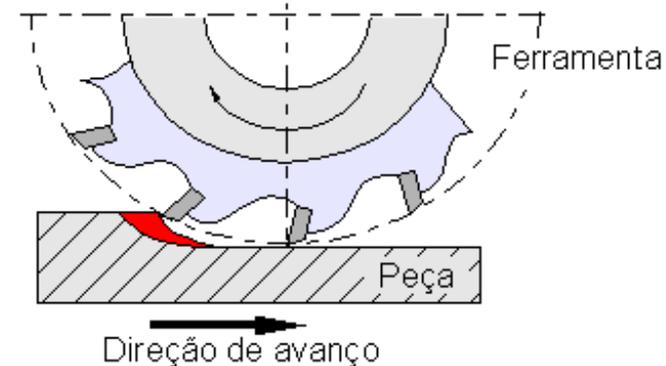


## Fresamento concordante / discordante

Fresamento Concordante



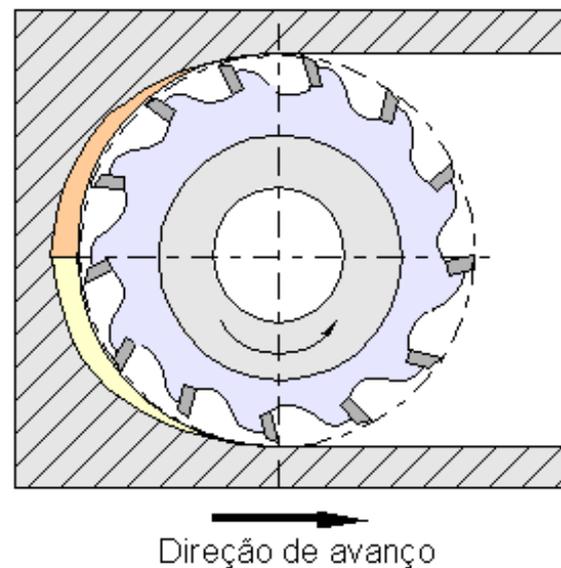
Fresamento Discordante



Fresamento Concordante / Discordante

Parte Concordante

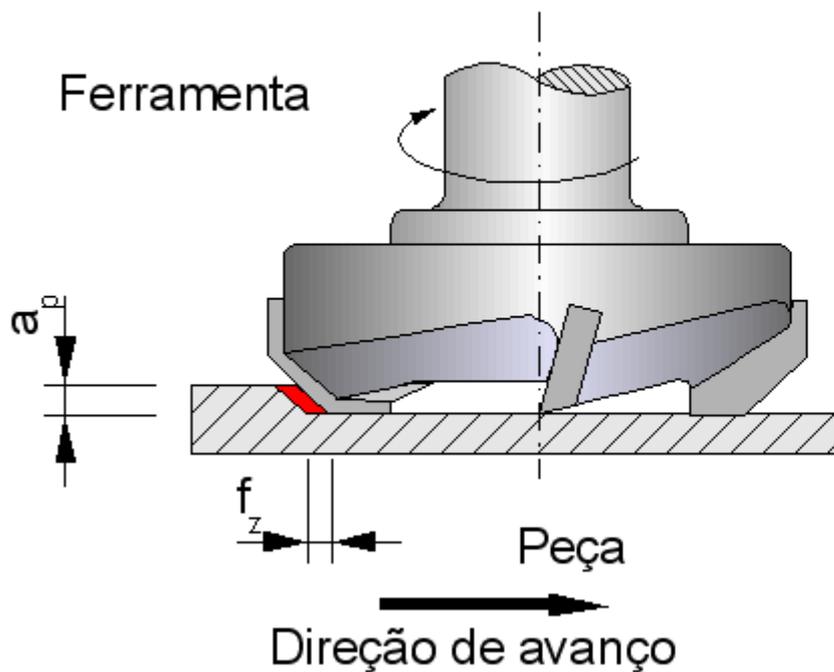
Parte Discordante



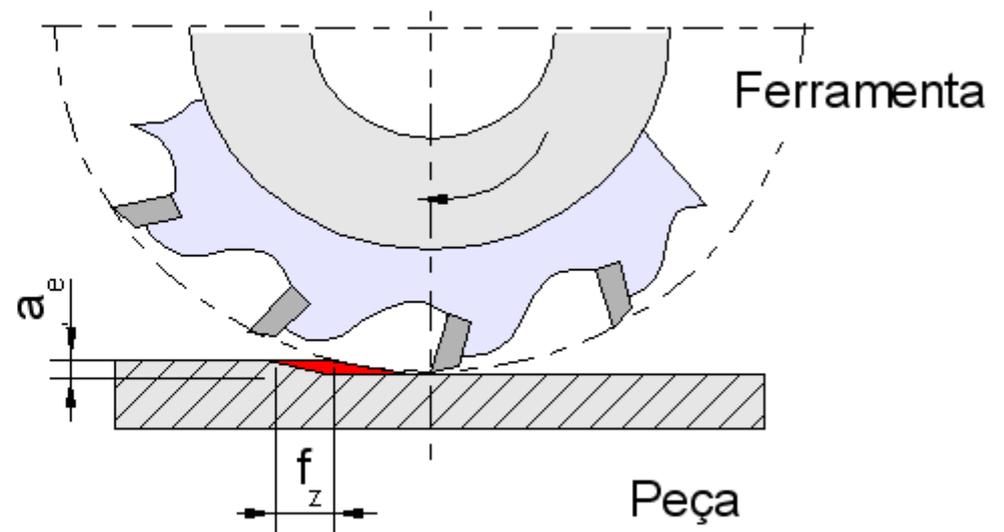


## Fresamento segundo a posição da ferramenta

Fresamento Frontal

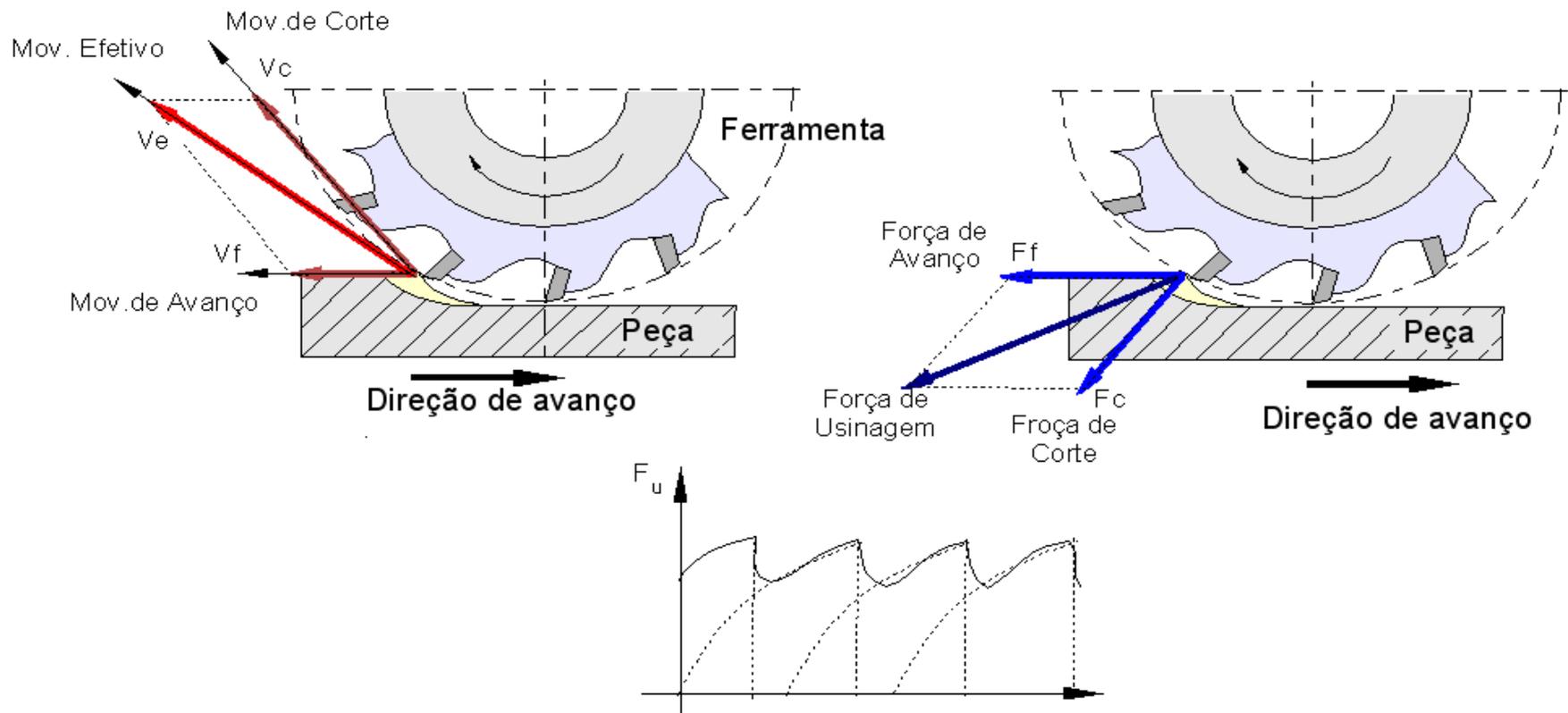


Fresamento Periférico





## Movimentos e Forças no Fresamento





## Divisão do processo de fresamento - DIN 8589

**Fresamento plano**



**Fresamento de geração**



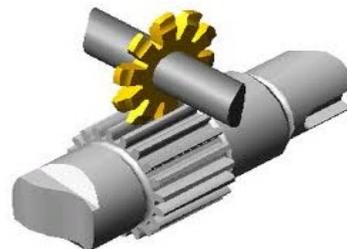
**Fresamento circular**



**Fresamento de perfil**



**Fresamento de forma**



**Fresamento de perfil Roscas**





## Tipo de Fresas

Quanto a estrutura



Fresas inteiriças



Fresas com insertos



Fresas com dentes postiços



## Tipo de Fresas

Quanto a forma geométrica



Fresas cilíndricas



Fresas disco



Fresas angular



Fresas detalonadas



Fresas topo



## Variações do processo e características específicas

### Fresamento frontal ou faceamento





## Fresamento frontal

- Processo utilizado para usinagem de grandes superfícies
- grande importância devido à possibilidade crescente do trabalho completo em apenas uma máquina
- A remoção é feita pela aresta principal e a superfície da peça é gerada pela aresta secundária
- $a_e$  consideravelmente maior que  $a_p$
- Fresamento combinado - arestas de desgaste de acabamento



## Variações do processo e características específicas

### Fresamento Tangencial



- $a_p$  consideravelmente maior que  $a_e$
- Superfície da peça gerada pela aresta principal
- Em geral é empregado fresamento tangencial discordante
- Dentes retos - alta solicitação dinâmica
- Dentes helicoidais - menor solicitação dinâmica
- Força axial que pode levar ao deslocamento da peça e / ou da ferramenta



## Variações do processo Fresamento de topo



- Processo de fresamento contínuo frontal e periférico
- Usinagem de formas complexas – ex. matrizes, rasgos etc.
- Dependendo da aplicação, as ferramentas tem índice de esbeltez elevado ( $l/D = 5$  a  $10$ ) - problema de vibrações
- Vibrações implicam em desgaste acentuado, lascamentos das arestas, erros de forma e dimensionais



## Fresamento de topo



Exemplos de fresas de topo



## Fresamento de topo

### Classificação quanto a forma construtiva de fresas

Campo de aplicação	Ferramenta
Fresas de topo inteiriças	
Fresas de topo com insertos	



## Fresamento de topo

Tipo de fresa	Aplicação
	Fresa para ranhuras com haste cilíndrica
	Fresa de topo com haste cilíndrica com corte a direita e hélice a direita
	Fresa de topo com cone morse
	Fresa de topo semi-esférica com haste cilíndrica
	Fresa topo cônica para matrizaria,



## Fresamento de geração





## Fresamento de geração

- Processo de fresamento onde a fresa reproduz a cinemática do engrenamento, gerando geometrias corretas no perfil dos dentes da engrenagem fabricada
- Interferência variáveis entre ferramenta e peça - formação de cavacos de espessuras e formas distintas
- O perfil evolvente do dente é obtido devido ao movimento entre a ferramenta e a peça nos cortes sucessivos
- Cada dente da ferramenta retira cavacos sempre com a mesma forma geométrica



## Fresamento de geração

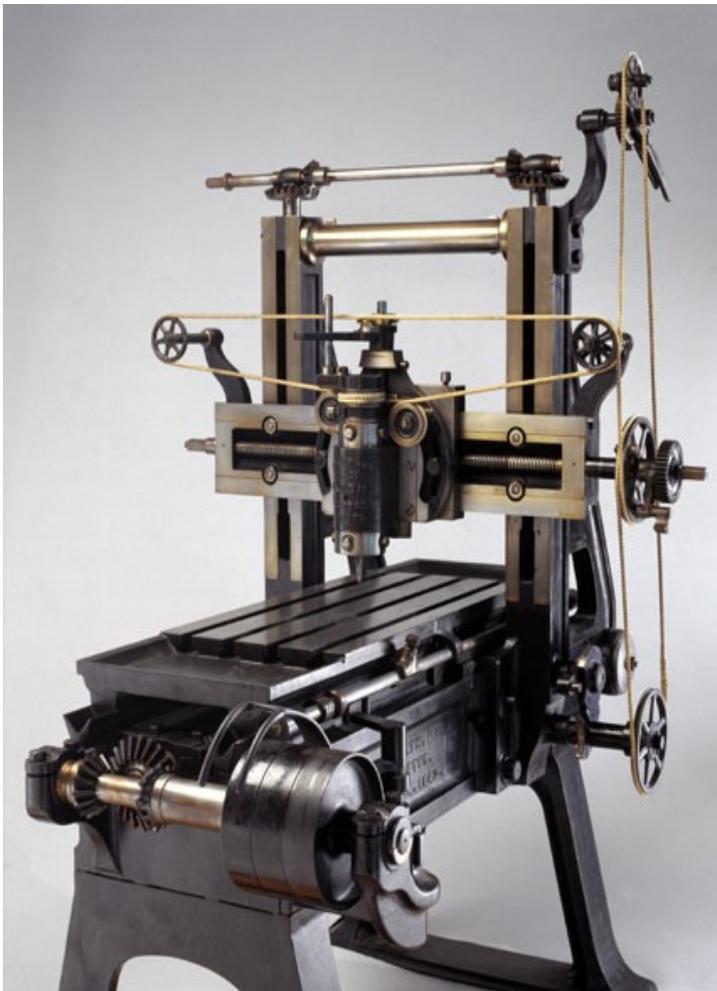


## Exemplo de fresas de geração



## Fresadoras

### Requisitos gerais de fresadoras



- As máquinas devem ser projetadas para altas solicitações estáticas e dinâmicas
- O posicionamento da árvore deve ser radial ou axial sem folgas
- O acionamento da árvore deve ser contínuo e sem folgas para evitar vibrações
- Fresamento sincronizado necessita de cuidados no acionamento e no avanço da mesa e dos carros
- Facilidade na operação, aplicação de comando numérico



## Tipos de Fresadoras

**horizontal**



**vertical**





## Tipos de Fresadoras

**copiadora**



**universal**





## Tipos de Fresadoras

**portal ou  
Gantry**

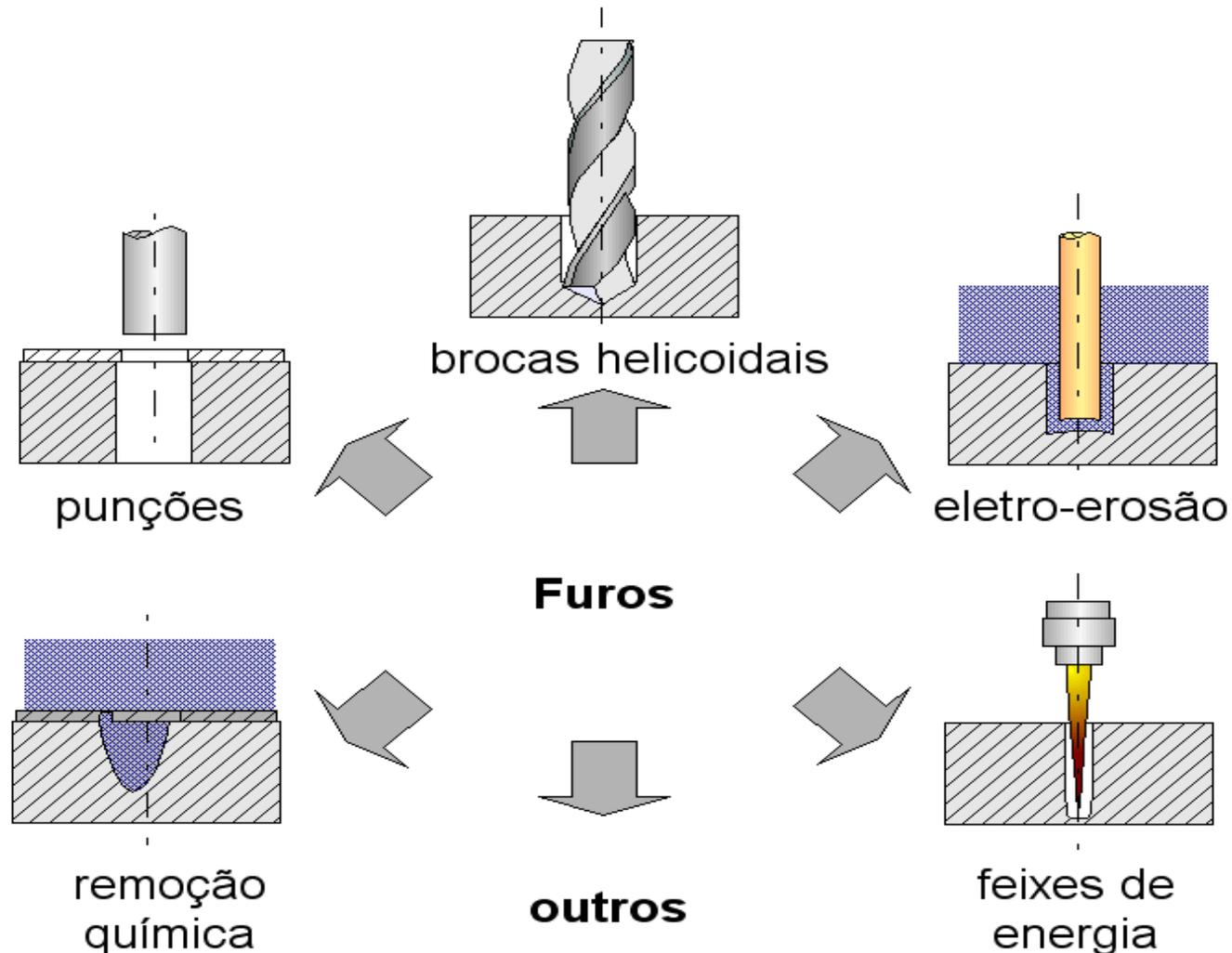


**cinemática  
paralela  
ou hexapod**





## Processos de Furação, Alargamento e Rosquamento





## Processo de furação com brocas

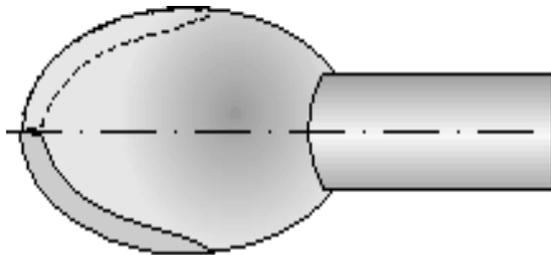
- Processo de usinagem onde movimento de corte é principal rotativo, e o movimento de avanço é na direção do eixo



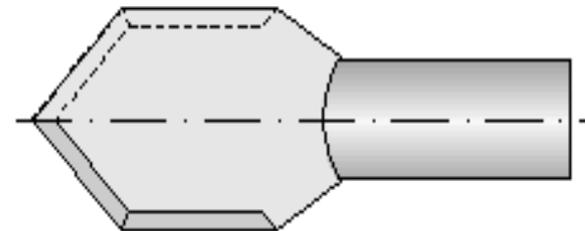


## Generalidades

- 1800 - primeiras publicações sobre furação de metais
- 1884 - Morse - Twist Drill and Machine Company
- 1891 - Primeiros testes de furação



Broca colher

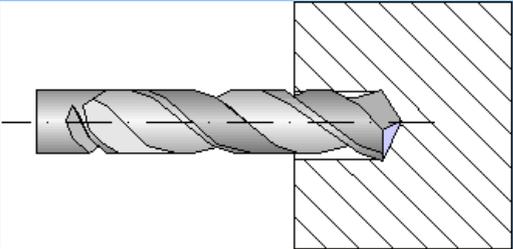
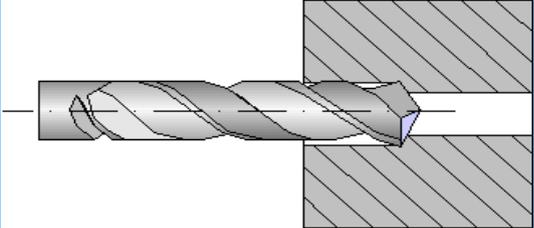
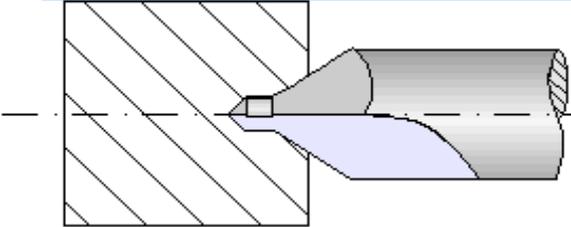
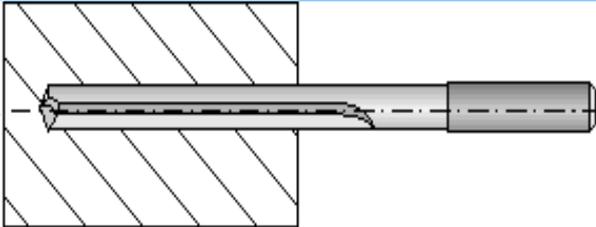
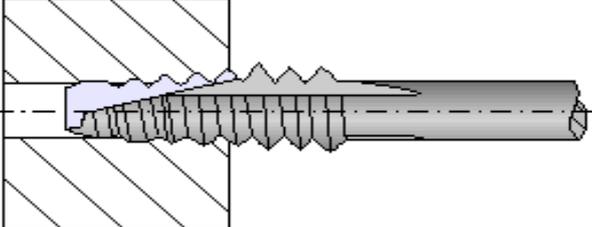


Broca plana



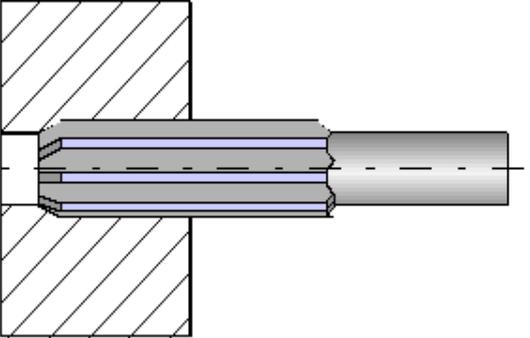
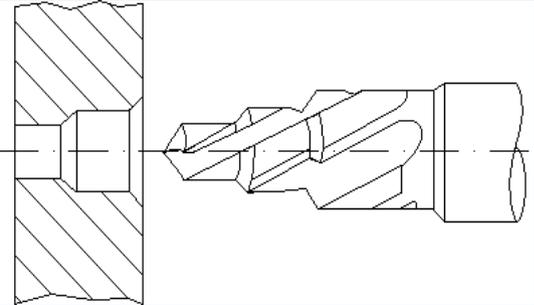
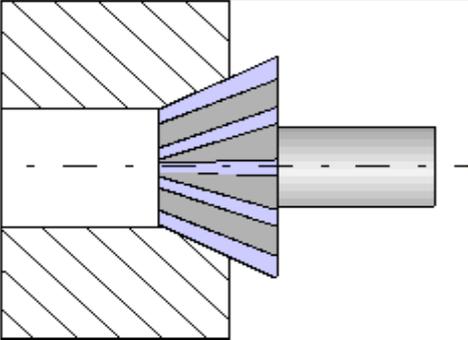
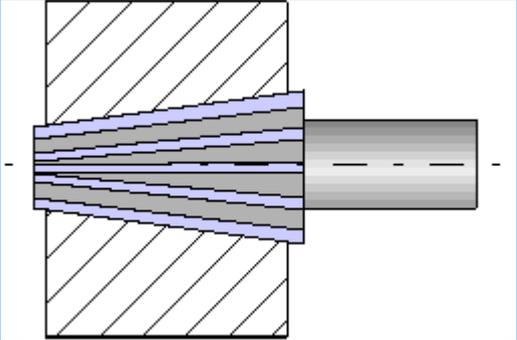


## Variações do processo de furação com brocas

Furação em cheio	Furação com pré-furo	Trepanação
		
Furação de centro	Furação profunda	Rosqueamento
		



## Variações do processo de furação com brocas

<b>Alargamento cilíndrico</b>		<b>Furação descentrada</b>
		
<b>Furação de perfil</b>	<b>Rebaixo de perfil</b>	<b>Alargamento de perfil</b>
		



## Furação com brocas helicoidais

- Processo de maior importância - 20 a 25% do total de aplicações dos processos de usinagem
- A broca helicoidal é a ferramenta mais fabricada e mais difundida para usinagem
- Existem aproximadamente 150 formas de afiações e uma série de perfis específicos
- Utilização em furos curtos ou profundos
- Utilização na furação em cheios ou com pré-furo



## Particularidades do processo

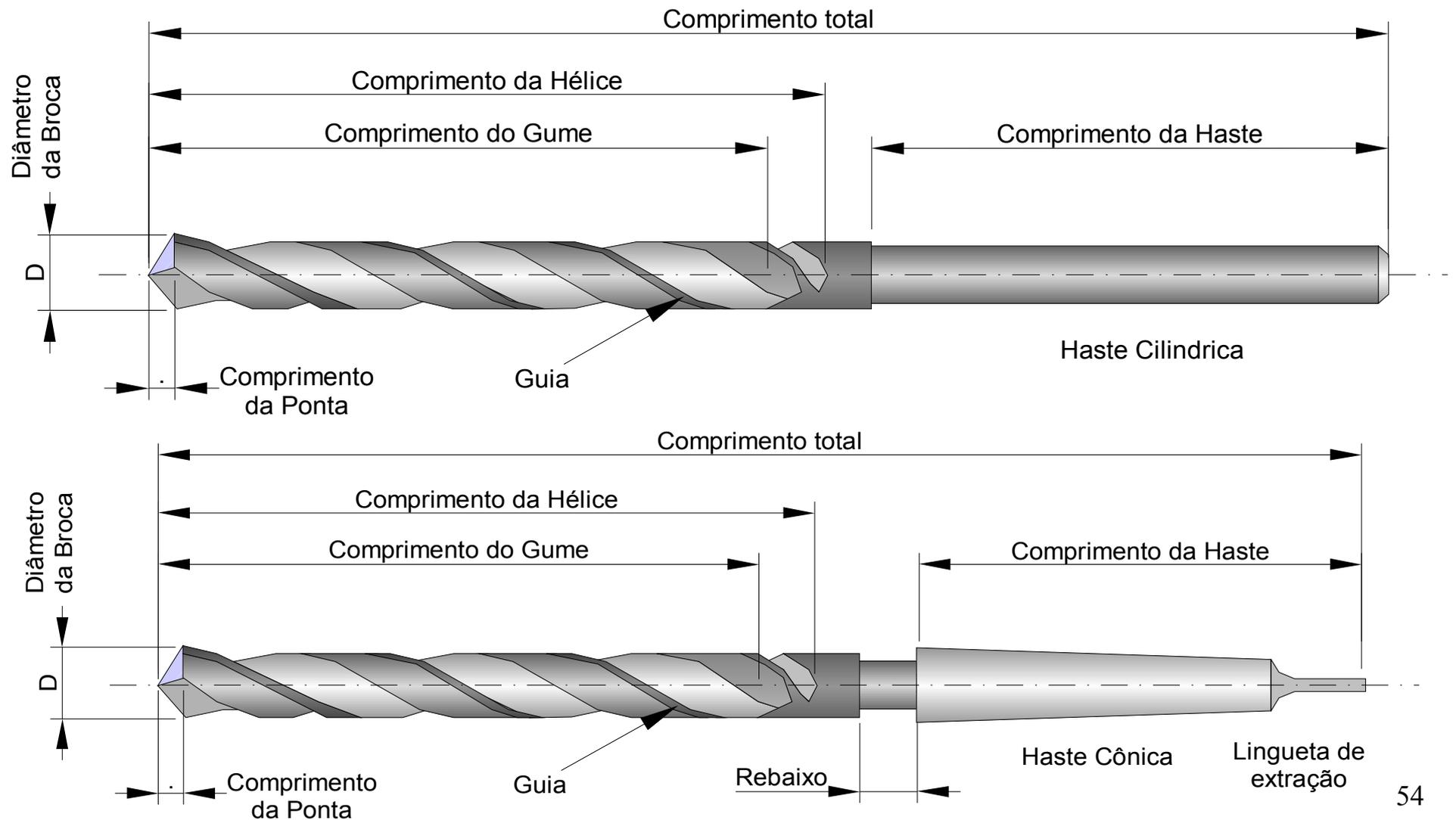
- A velocidade de corte vai de um valor máximo na periferia da broca até o valor zero no seu centro

$$r = 0 \quad v_c = 0; \quad r = r \quad v_c = v_c \text{ max}$$

- Dificuldade no transporte dos cavacos para fora da região do corte
- Distribuição não adequada de calor na região do corte
- Desgaste acentuado nas quinas com canto vivo
- Atrito das guias nas paredes do furo

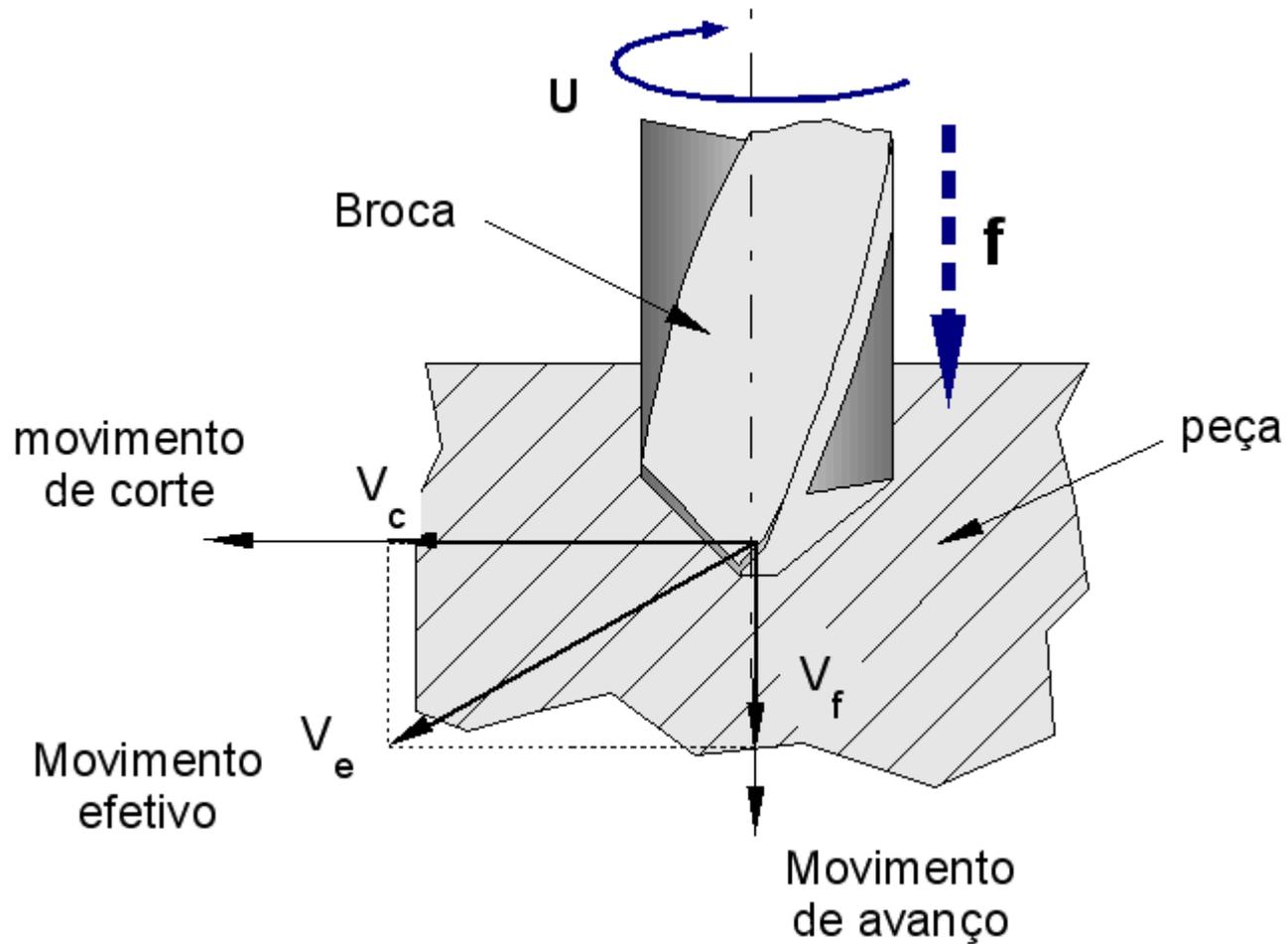


## Denominações em brocas helicoidais



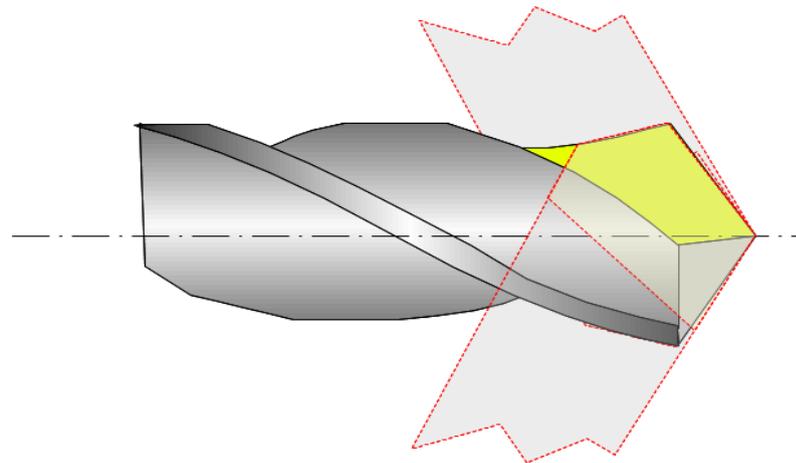
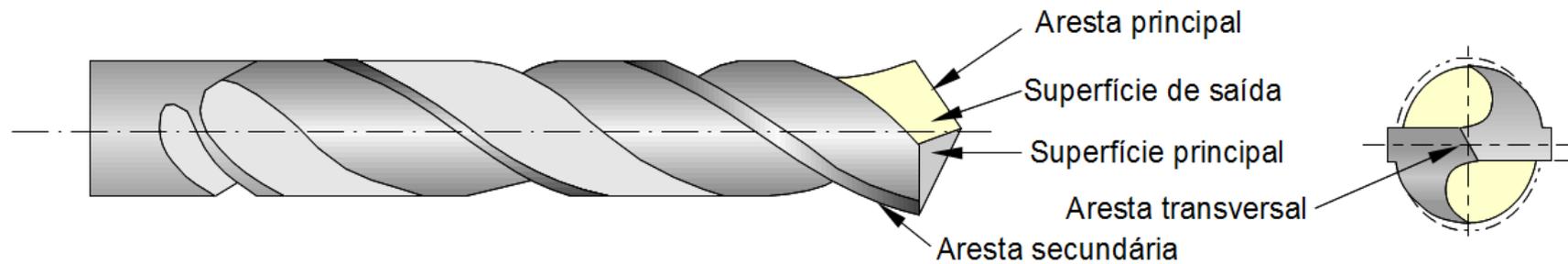


## Cinemática do processo





## Denominações em brocas helicoidais





## Geometria das brocas helicoidais

$\alpha$  = ângulo de incidência

$\beta$  = ângulo de cunha

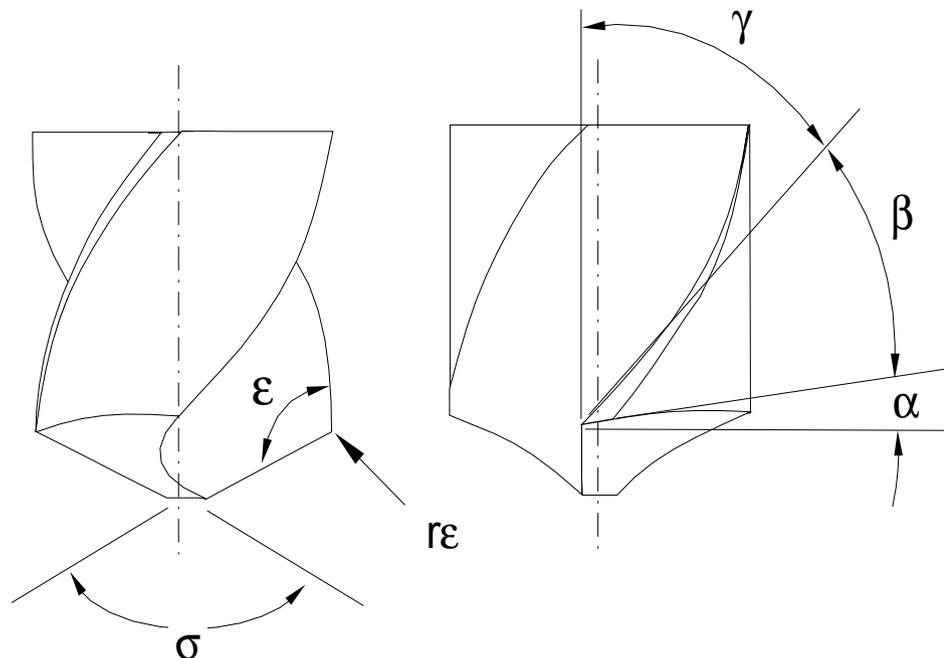
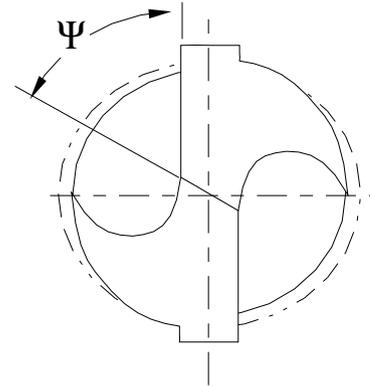
$\gamma$  = ângulo de saída

$\sigma$  = ângulo de ponta

$\Psi$  = ângulo do gume transversal

$\varepsilon$  = ângulo de quina

$r\varepsilon$  = raio de quina



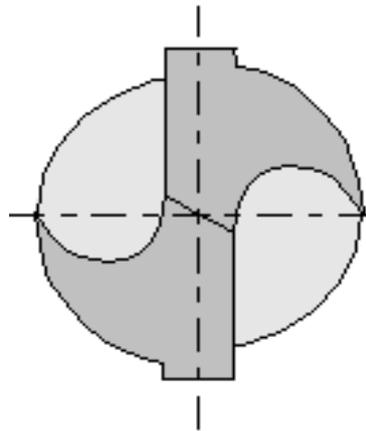


## Geometria da cunha de corte

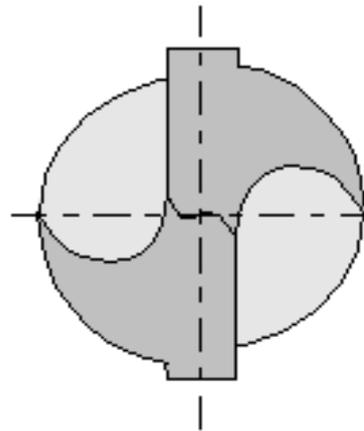
- A aresta transversal é parte integrante da aresta principal, e tem como função estrudar material na direção do gume principal
- A aresta principal é a parte cortante e aponta no sentido de corte
- A forma e o ângulo de hélice da broca definem o ângulo de saída  $\gamma$ , que não é constante ao longo do gume principal
- $\gamma$  tem valor máximo na quina da broca e diminui no sentido de centro da broca, tornando-se negativo na passagem para o gume transversal.
- $\gamma$  (e conseqüentemente  $\delta$ ) são variados de acordo com as características do material a ser usinado
- Guia reduz atrito com as paredes e direciona a broca
- Haste: fixação na máquina
- Canal: retirada de cavaco
- Canal interno: alimentação do fluido de corte



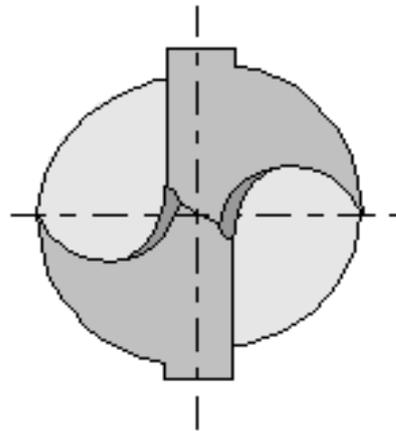
## Afiações especiais de brocas helicoidais



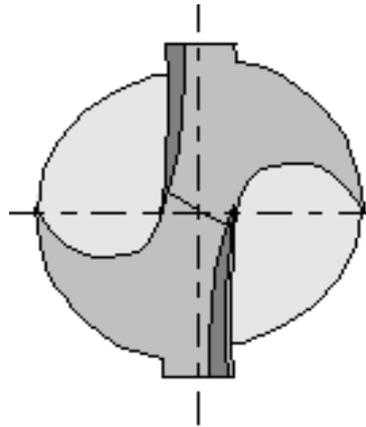
Afiação padrão



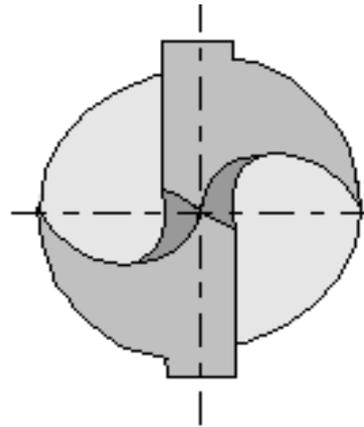
duplo tronco de cone de cone



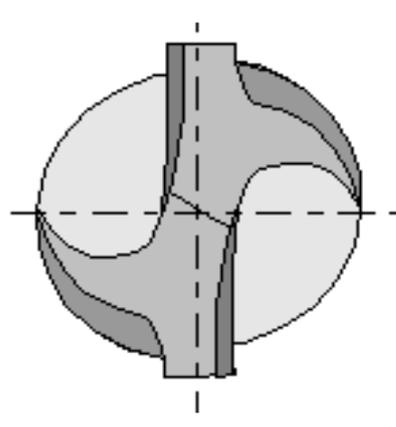
duplo tronco de cone com redução do gume transversal



redução de cone transversal e quina chanfrada



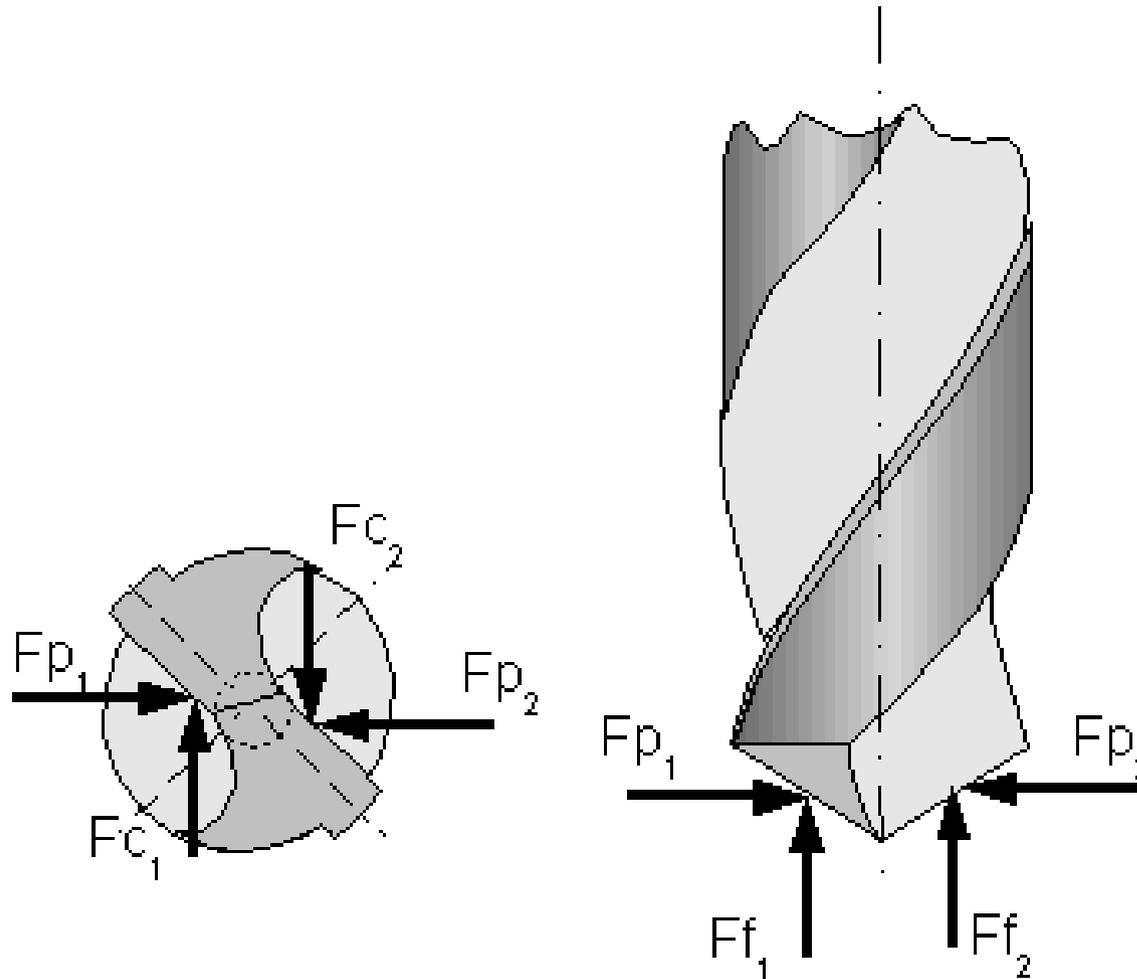
Afiação cruzada



duplo tronco de cone com redução de cone transversal e quina chanfrada



## Forças na furação com brocas helicoidais





## **Materiais para brocas**

### **Requisitos para materiais de brocas**

- Tenacidade
- Resistência a compressão
- Resistência a abrasão
- Resistência térmica
- Resistência ao choque e a fadiga

### **Principais materiais**

- Aço rápido
- Metal duro, ferramentas integradas ou com inserto<sup>61</sup>

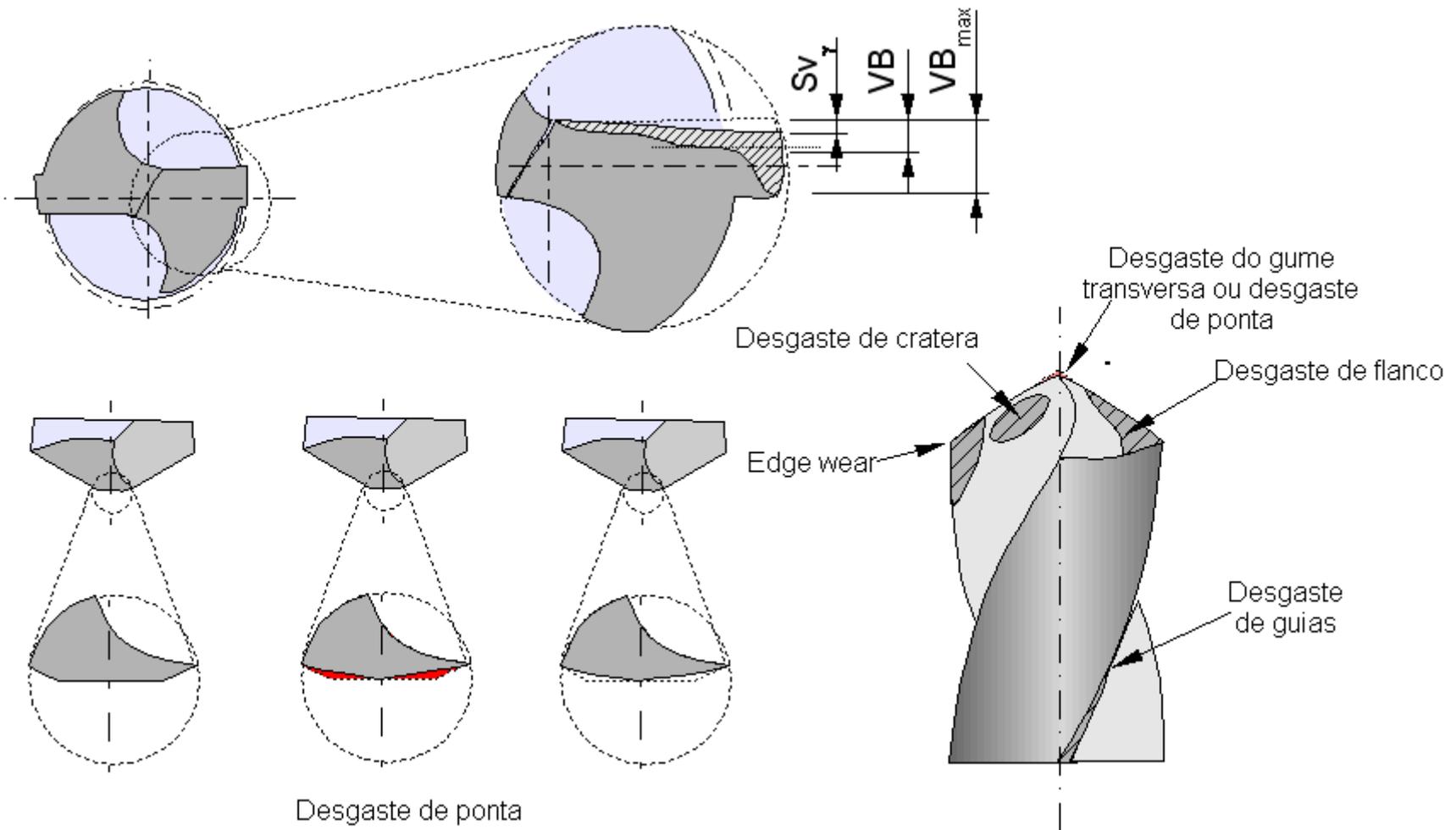


## Desgaste em Broca Helicoidais

- Desgaste de flanco ( $V_b$ ) - baixa qualidade, imprecisões e aumento do atrito
- Desgaste nas guias - não gera aumento no momento
- Desgaste do gume transversal - arredondamento e possível lascamento das zonas de transição
- Desgaste de cratera - remoção de material por abrasão e difusão
- Gume postiço - adesão do material da peça encruado na ferramenta
- Fratura - fim catastrófico

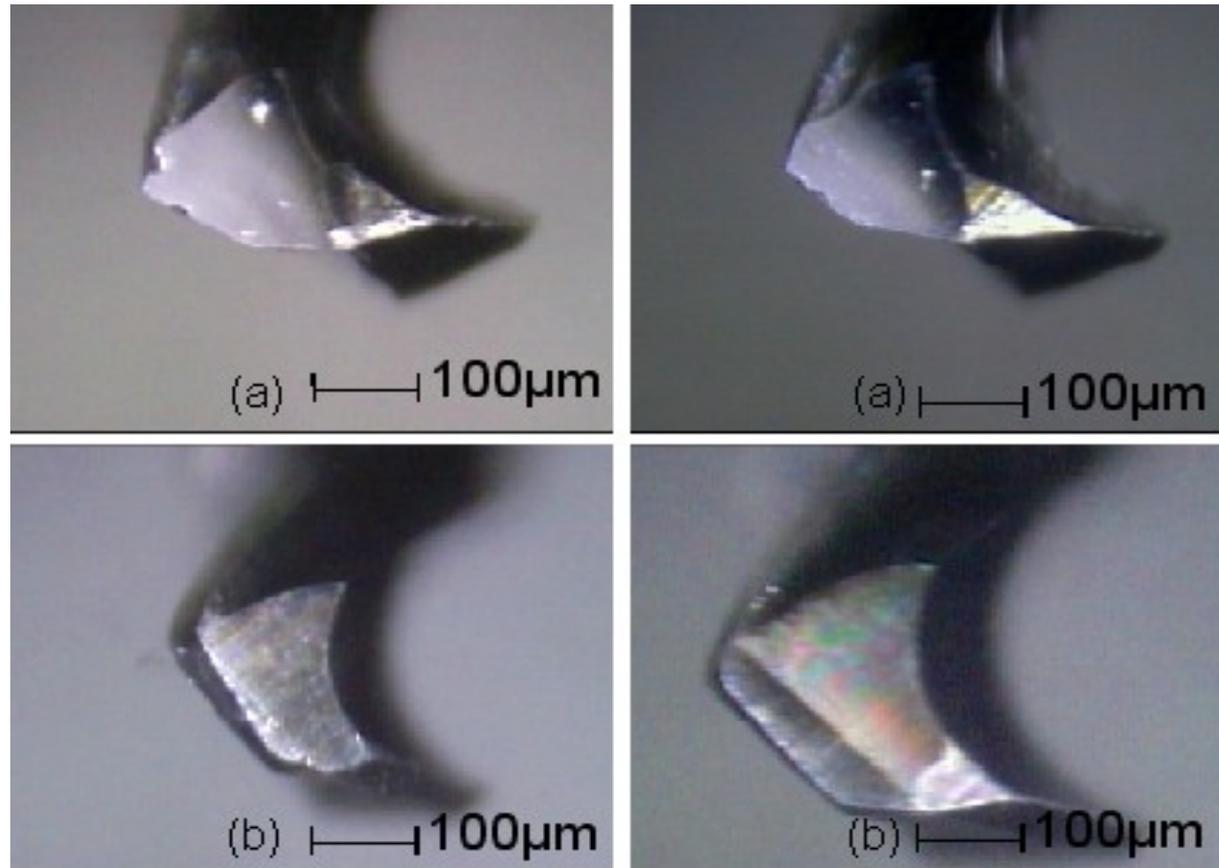


## Desgaste em Broca Helicoidais





## Exemplos de desgaste em brocas



(a) lascamento de gume (b) desgase abrasivo



## **Critério de fim de vida em furação**

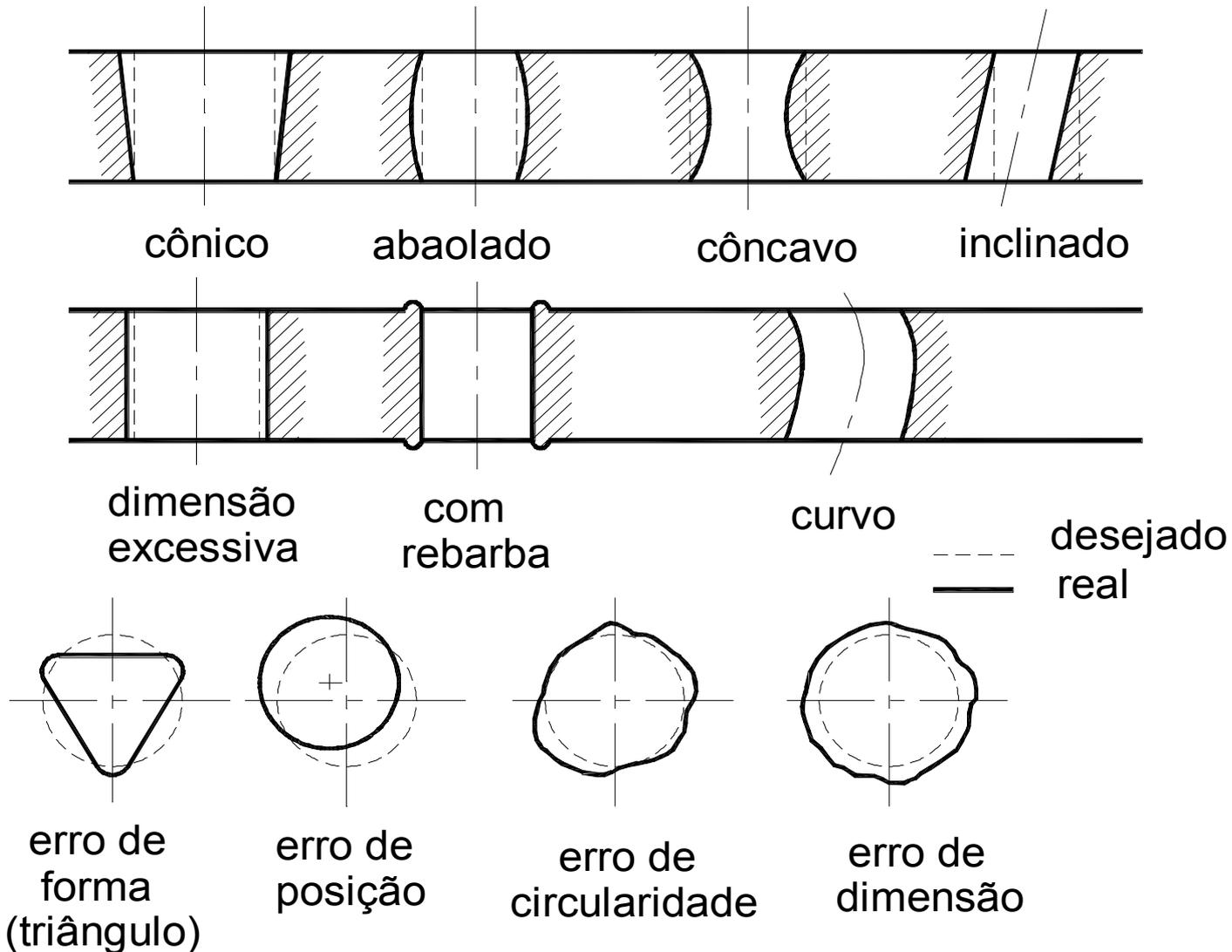
**Definição:** perda do controle sobre os cavacos ou iminência de uma quebra rápida

### **Fatores considerados**

- Textura superficial
- Exatidão dimensional e geométrica
- Estado da ferramenta
- Formação do cavaco
- Vida restante da ferramenta



## Erros comuns na geometria do furo





## Tipos de Furadeiras





## Fixação de ferramentas na furação

Brocas com haste cilíndricas

→ Mandril

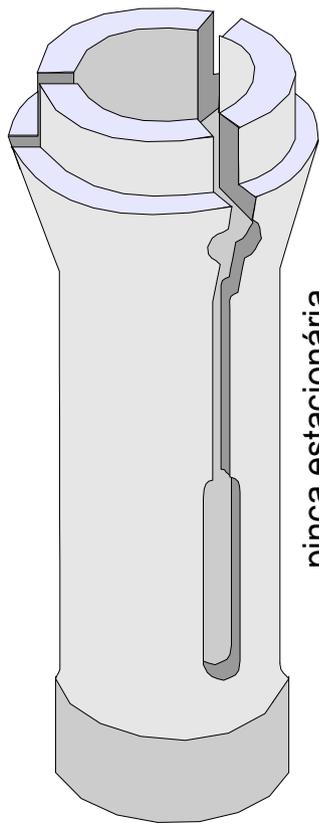
- Os de três castanhas são os mais utilizados
- Aperto manual ou com chave



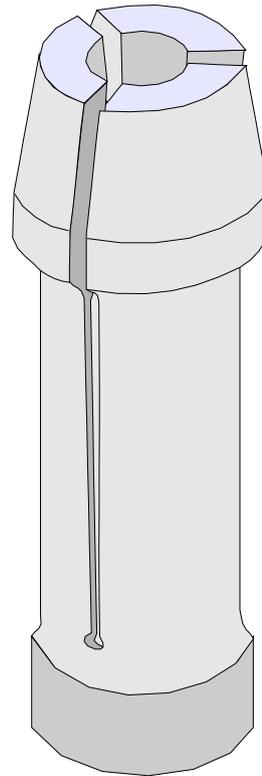


## Fixação de ferramentas na furação

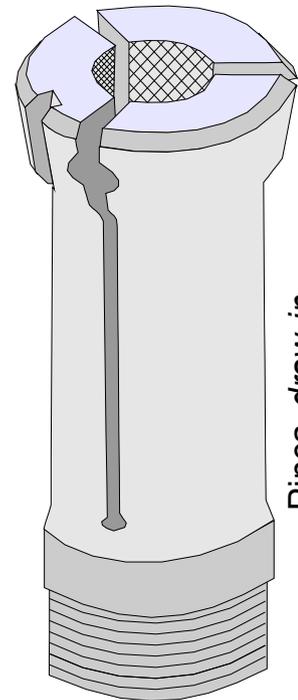
Exemplos de pinças



pinça estacionária



Pinça push out



Pinça draw-in





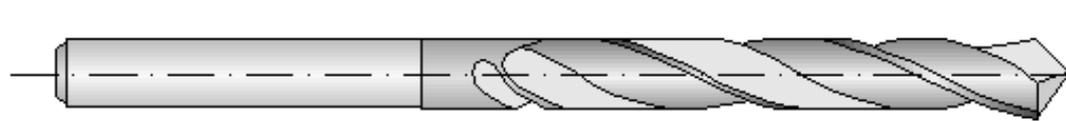
## Furação profunda

### Relações profundidade/diâmetro (L/D)

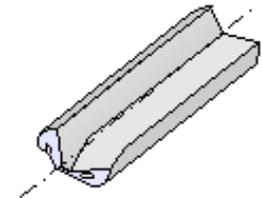
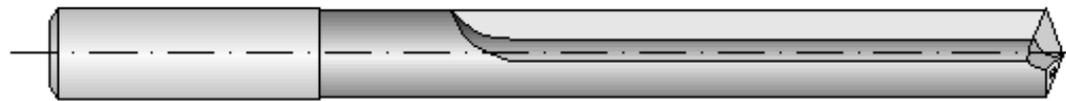
- Relações  $L/D > 20$  até 150: com frequência  $L/D < 20$  já é considerado furação profunda
- $3 < L/D < 5$ : uso de brocas helicoidais convencionais com furação contínua
- $L/D > 5$ : uso de brocas helicoidais convencionais, com furação em ciclos
- $L/D \gg 5$ : processos específicos, empregando brocas de canais retos, brocas canhão, brocas de gume único, brocas BTA e *Ejektor*.



## Ferramentas utilizadas na furação profunda



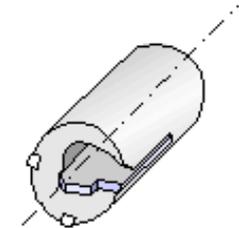
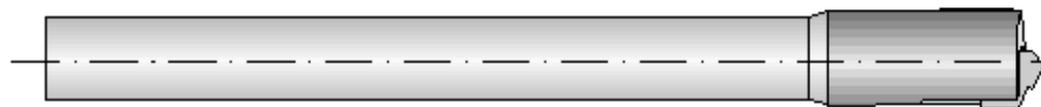
Broca helicoidal



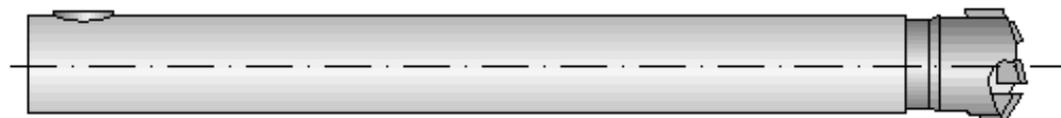
Broca de canal reto



Broca canhão ou de gume único



Broca BTA



Broca Ejektor



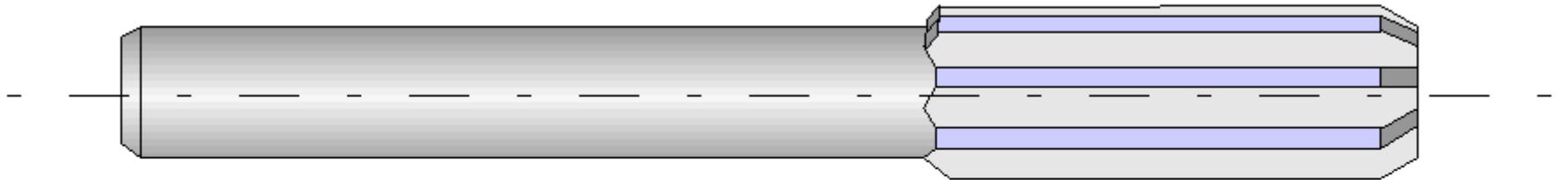
## Alargamento

**Definição:** Processo de usinagem em geral utilizado para produzir furos com alta definição geométrica, dimensional e qualidade superficial.

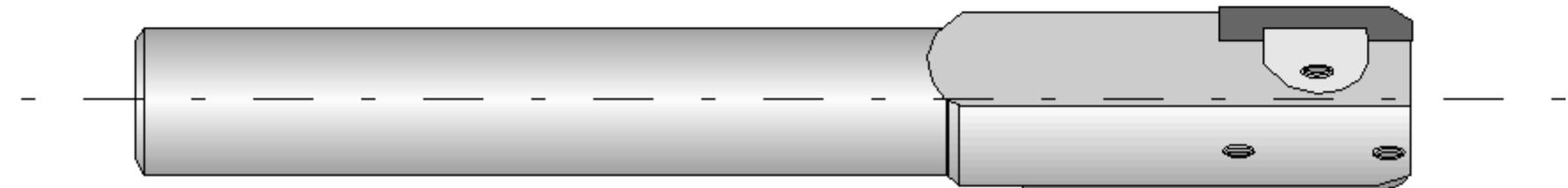


## Tipos de alargadores

Alargador de múltiplos gumes



Alargador de gume único





## Tipos de alagadores





## Tipos de alagadores





## **Classificação dos alargadores**

### **Quanto ao tipo de operação**

#### **De desbaste**

Usados para aumentar diâmetros de furos em bruto

#### **De acabamento**

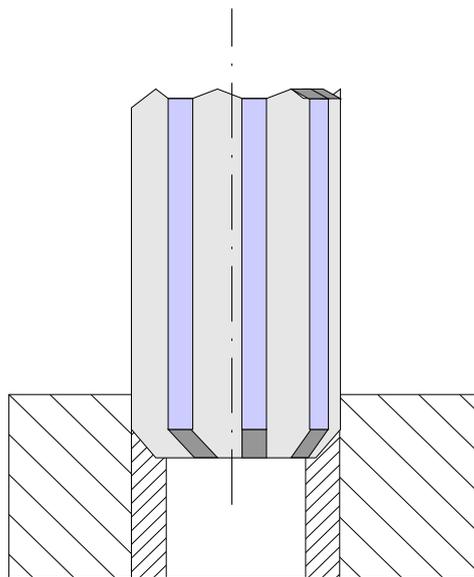
Usados para a obtenção de furos calibrados, com exigências quanto ao acabamento e precisão



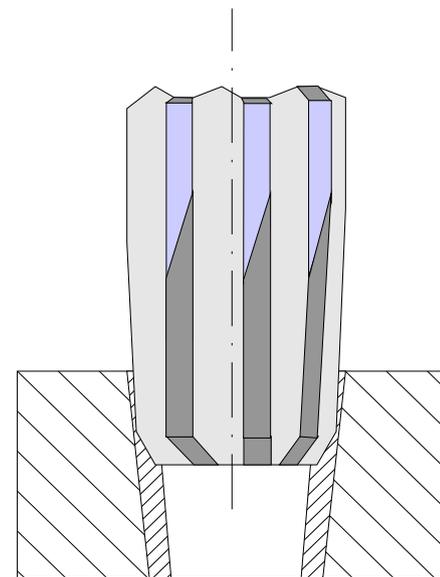
## Classificação dos alargadores

### Quanto ao uso

- Alargadores manuais os manuais tem chanfro na entrada maior e de menor inclinação
- Alargadores máquina



Alargador máquina



Alargador manual



## Rosqueamento

**Definição: processo de usinagem cujo a função é produzir rocas internas e externas**

- É um dos processos mais complexos de usinagem

### **Velocidade de corte**

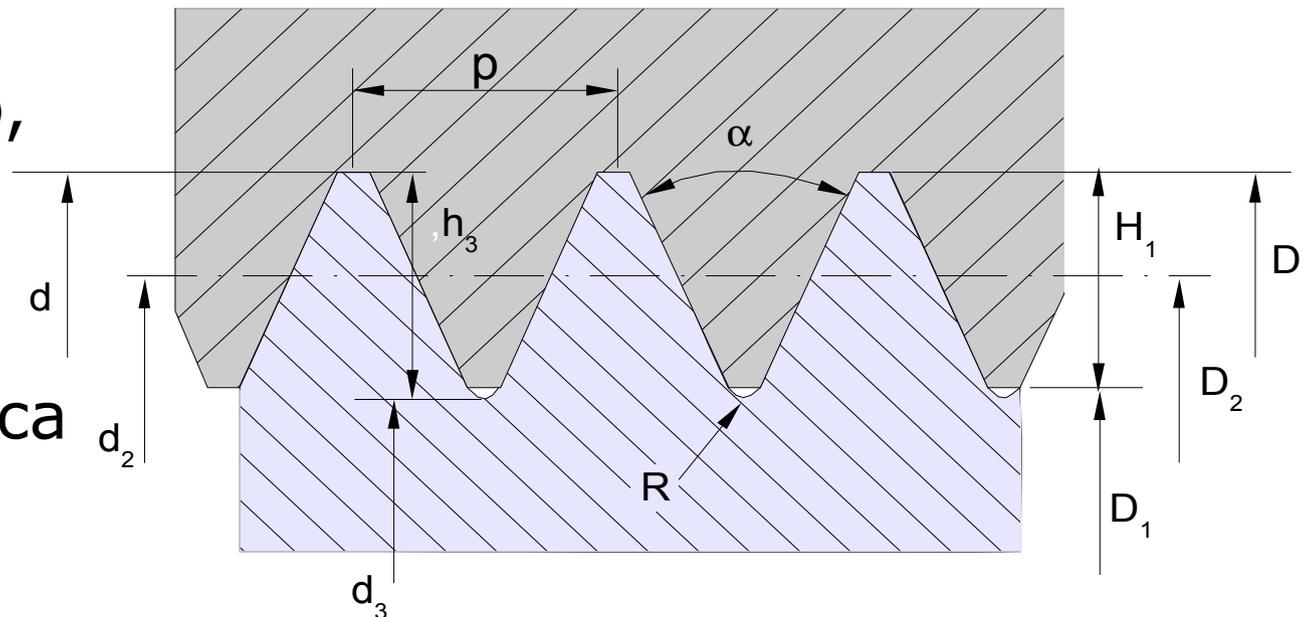
- Em tornos paralelos com ferramentas de aço rápido -  $v_c < 1/2 v_c$  de torneamento
- Ferramentas de materiais cerâmicos -  $v_c \sim 1500$  m/min
- Ferramentas de metal duro



## Problemas da fabricação de roscas

### Existem diversas classes de ajuste e precisão

- Pelo menos cinco medidas que devem ajustar entre si:
- diâmetros maior,
- menor e efetivo,
- passo
- e ângulo de rosca





## **Problemas da fabricação de roscas**

### **Existem vários de roscas**

- Rosca métrica – normal (DIN 13-1), fina (DIN 13-2...10)
- Rosca métrica cônica (DIN 158-1)
- Rosca Whitworth (não recomendada)
- Rosca GAS (DIN ISO 228-1)
- Rosca ISO trapezoidal (DIN 103-1)
- Rosca de dente de serra (DIN 513)
- Roscas UNF (EUA+Inglaterra)
- Roscas Edson
- Roscas especiais



## Formas de Fabricação

### Usinagem

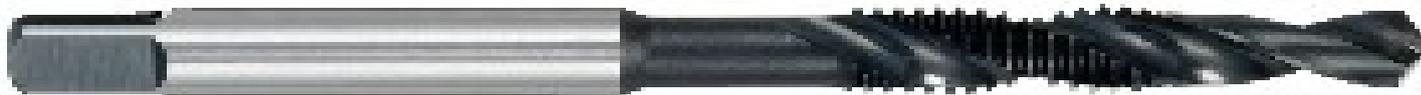
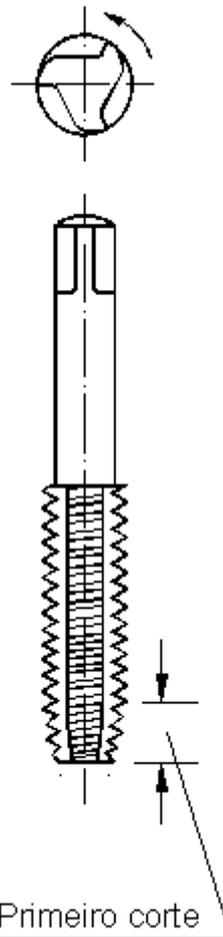
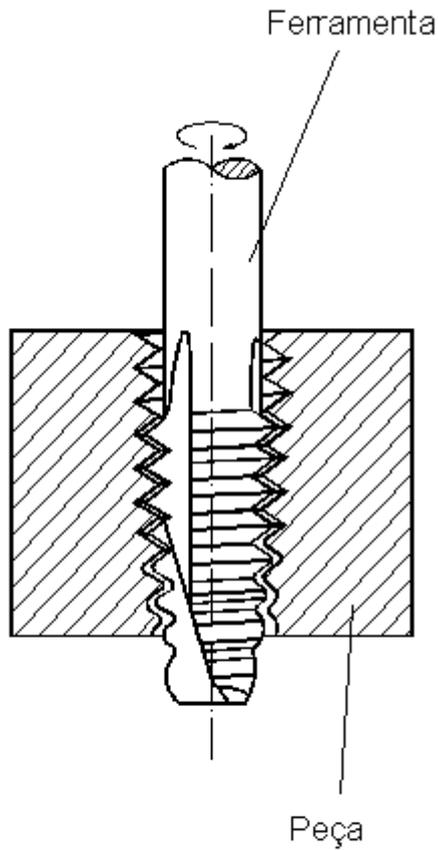
- Torneamento com ferramenta simples ou múltipla
- Cabeçotes automáticos com pentes, tangenciais radiais ou circulares
- Turbilhonamento
- Com machos e cossinetes
- Fresagem com fresas simples e múltiplas
- Retificação com rebolos de perfil simples ou múltiplo

### Conformação

- Laminação entre rolos ou entre placas planas



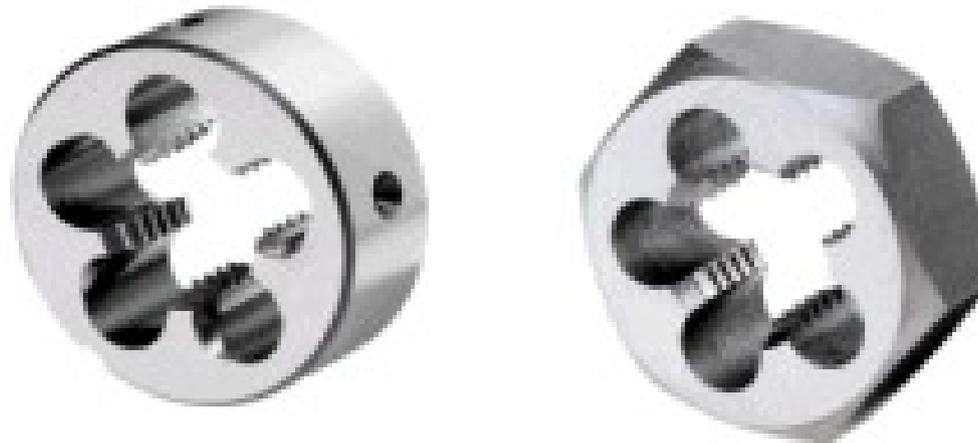
## Exemplo de macho de roscar





## Cossinetes

- Ferramentas multicortantes utilizadas no corte de roscas externas
- Trabalhos de manutenção, reparos, máquinas de roscar com exigências limitadas de precisão e acabamento
- Inversão da rotação para a retirada da peça (pode causar danos nos filetes da rosca e desgastar a ferramenta)





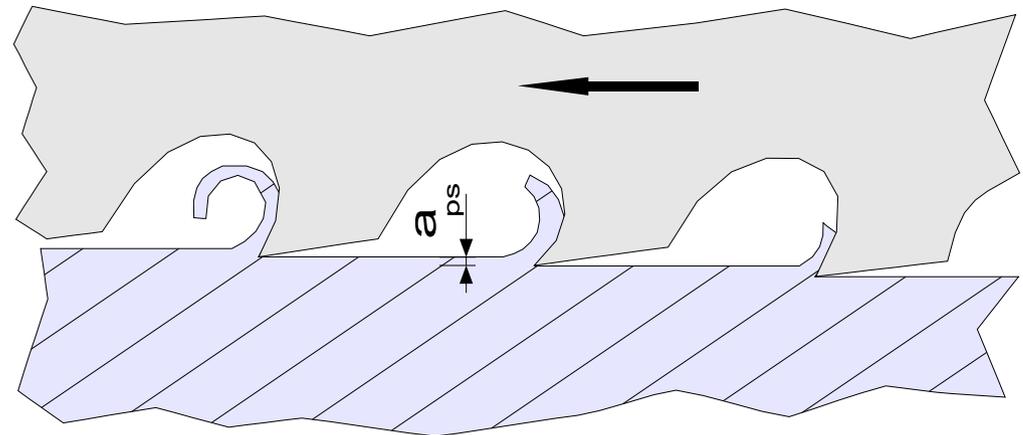
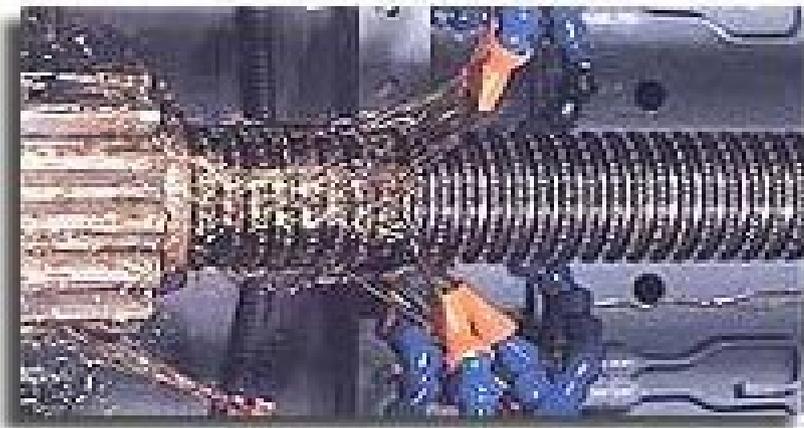
## Cossinetes

- Pequeno diâmetro - uso em máquinas com espaço limitado
- Metais de resistência média - roscas de até 24 mm
- Metais leves - roscas de até 30mm
- O sobrematerial para acabamento não deve ser pequeno
- O sobrematerial de mais - desgaste excessivo, trancamento e quebra



## Processo de brochamento

Brochamento, brochaemento ou brochagem: processo de usinagem onde a remoção de material da peça ocorre de forma progressiva, pela ação ordenada de arestas de corte dispostas em série, e em uma profundidade de corte escalonada em ferramentas multicortantes.



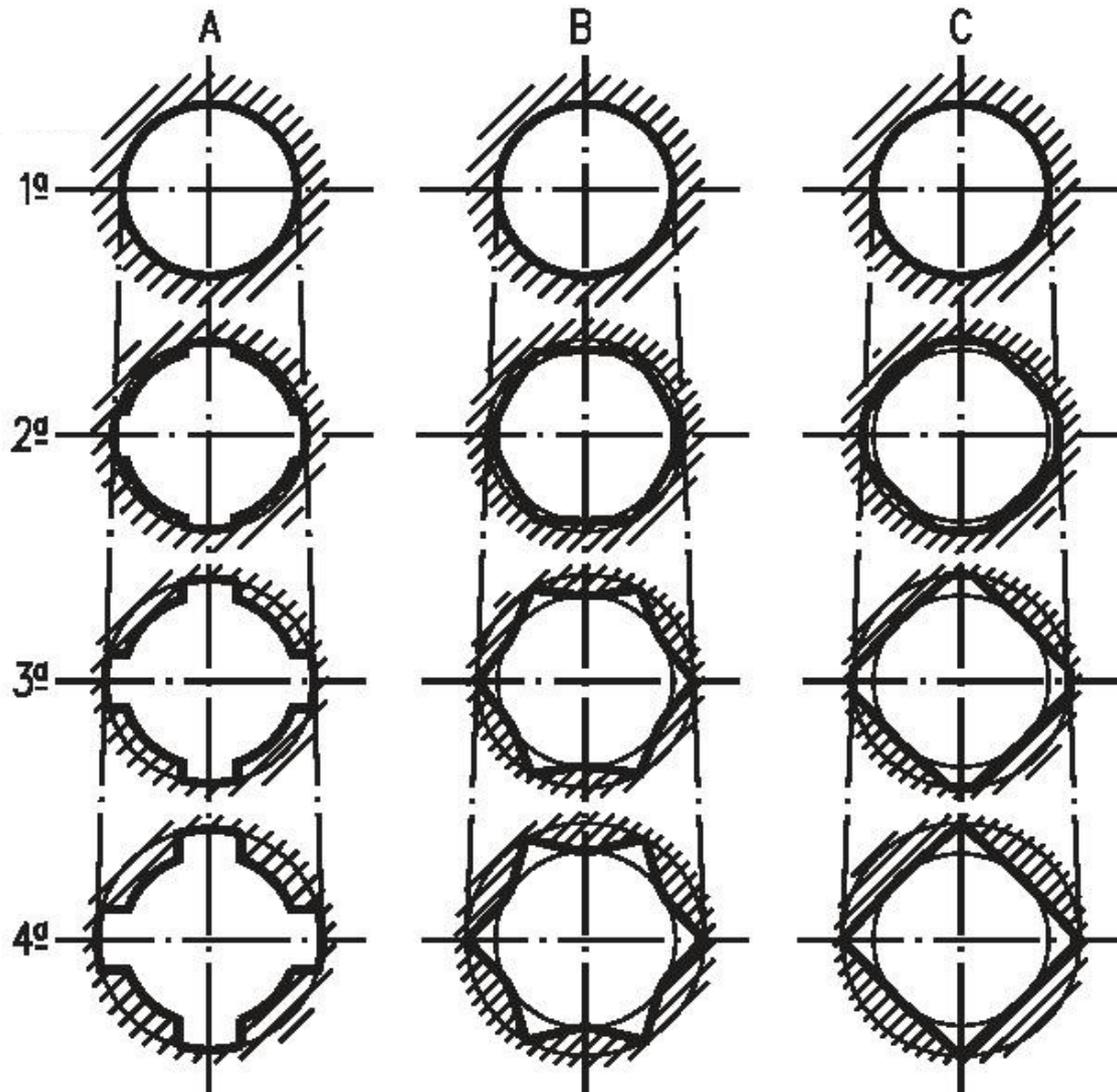


## Generalidades

- A transformação de um perfil é feita de forma gradativa, na seqüência de ação de cada um dos elementos de corte da brocha
- Cada elemento cortante promovem um incremento na profundidade de corte ( $a_{ps}$ ) ao longo de seu comprimento da brocha
- As brochas podem realizar uma operação completa de usinagem, desde o desbaste grosseiro até o acabamento
- O brochamento permite obter bom acabamento nas peças trabalhadas, geralmente dispensando, operações de usinagem posteriores
- A profundidade de corte ( $a_{ps}$ ) podem variar na ordem de 0,06 a 0,15 mm de modo que a necessidade de se remover grandes quantidades de material resultam em um número elevado de dentes, o que leva a necessidade de máquinas com um curso longo

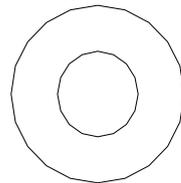


## Exemplos de fases da transformação

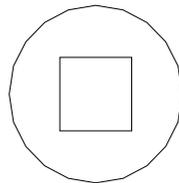




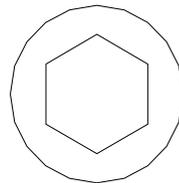
## Exemplos de geometrias geradas pelo brochamento



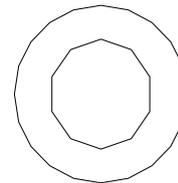
(a)



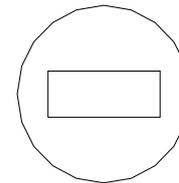
(b)



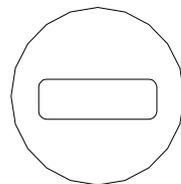
(c)



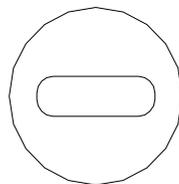
(d)



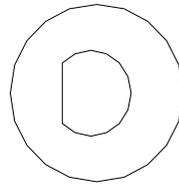
(e)



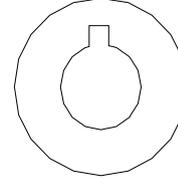
(f)



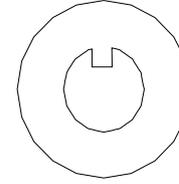
(g)



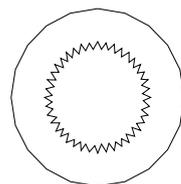
(h)



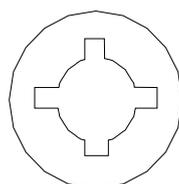
(i)



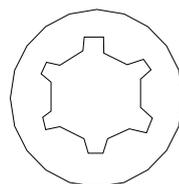
(j)



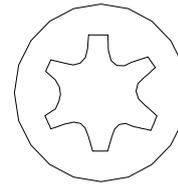
(k)



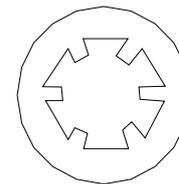
(l)



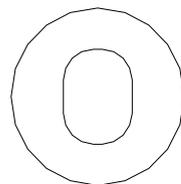
(m)



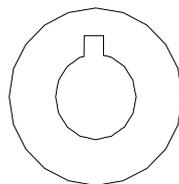
(n)



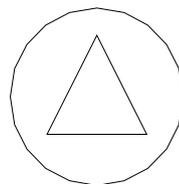
(o)



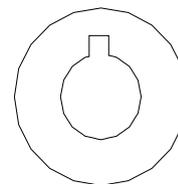
(p)



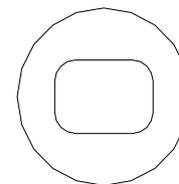
(q)



(r)



(s)



(t)

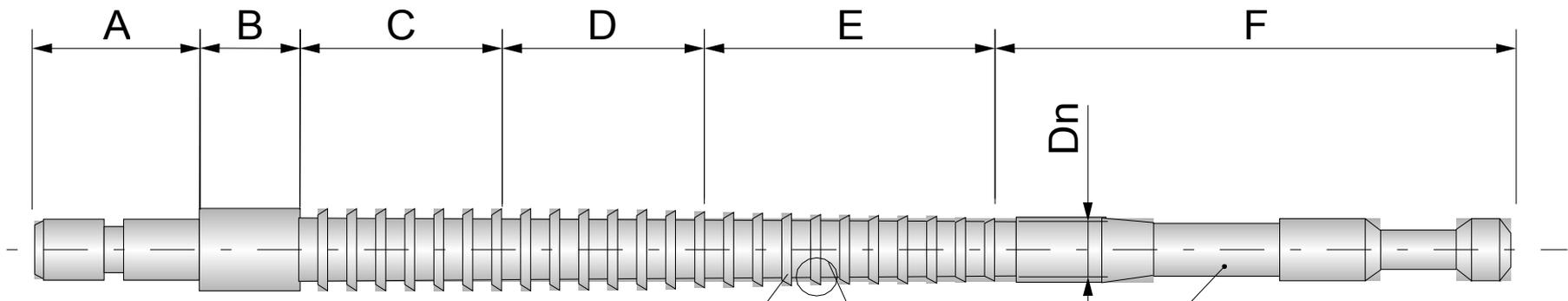


## Tipos de brochamento

- **Brochamento externo:** quando a operação é feita sobre a superfície externa da peça, dando acabamento ou semi-acabamento a seus perfis
- **Brochamento interno:** quando a operação é feita internamente a peça, permitindo modificar a geometria de um furo vazado



## Elementos de uma Brocha



Onde: A – Suporte

B – Guia

F – Cabo

H – Tirante de fixação

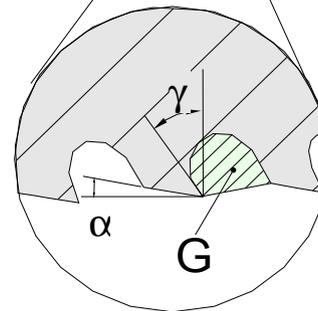
C – Dentes de calibração – comprimento cilíndrico

D – Dentes de acabamento – comprimento cônico

E – Dentes de desbaste – comprimento cônico

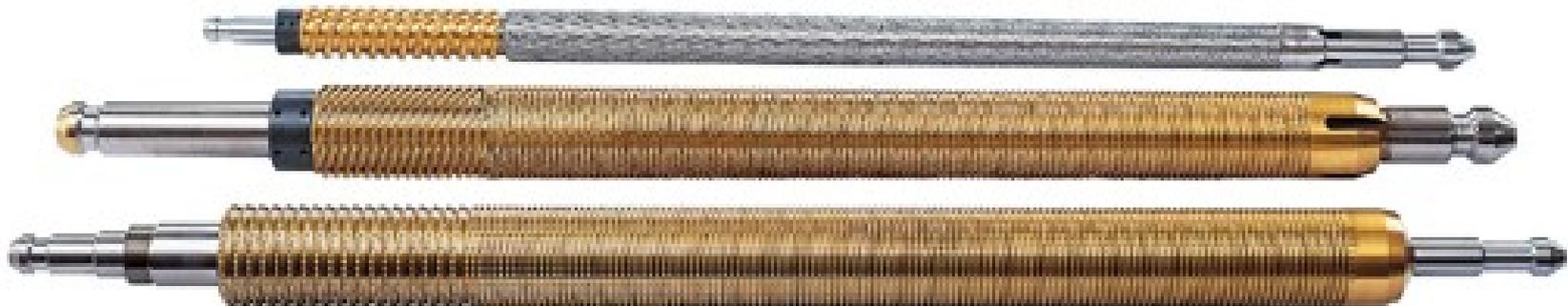
G – Área de absorção de cavaco ou bolsa de cavacos

Dn – Diâmetro do núcleo





## Exemplos de brochas





## Vantagens do brochamento

- Tolerâncias estreitas de usinagem
- Bom acabamento superficial
- Capacidade de produzir formas variadas e complexas externas e internas
- Vida longa da ferramenta, a produção pode atingir 2.000 a 10.000 peças entre afiações.
- Produção econômica, o custo da ferramenta é alto porém o custo por peça é baixo.
- Alta produtividade. a remoção do cavaco é bem rápida pois varios dentes atuam ao mesmo tempo em sequencia continua
- Operações podem ser realizadas em uma só passada realizando desbaste e acabamento

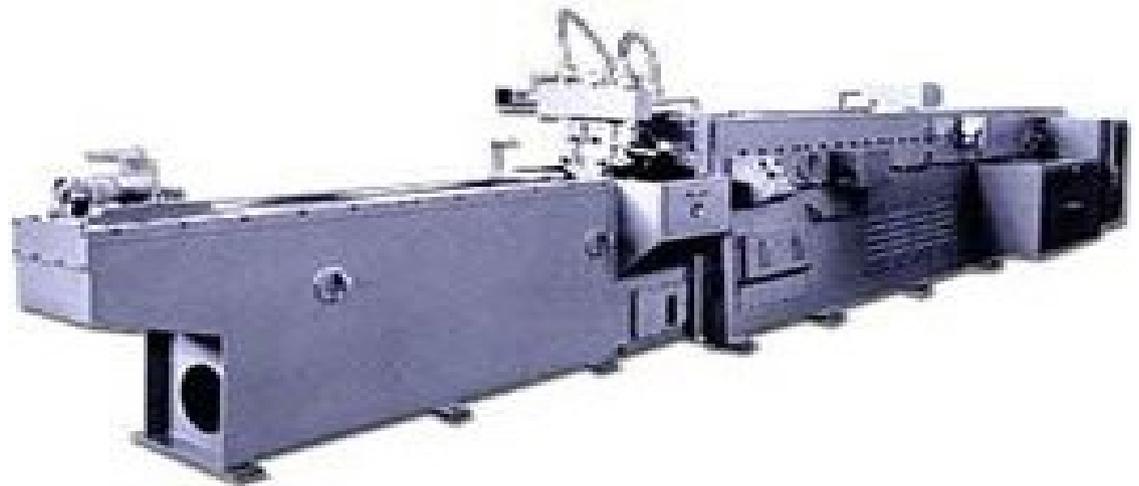
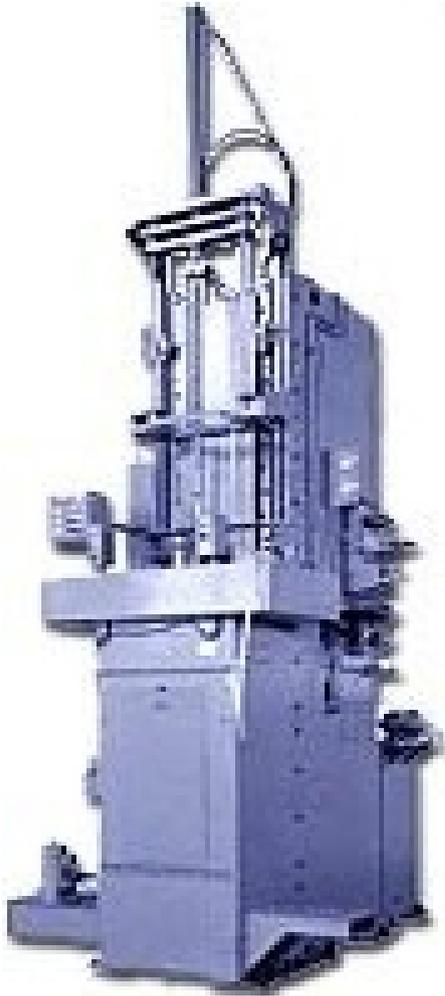


## Desvantagens do brochamento

- Custo da ferramenta
- Necessidade de máquinas específicas
- Reafiação complexa da ferramenta
- Perda de um elemento cortante pode levar a perda de toda a ferramenta

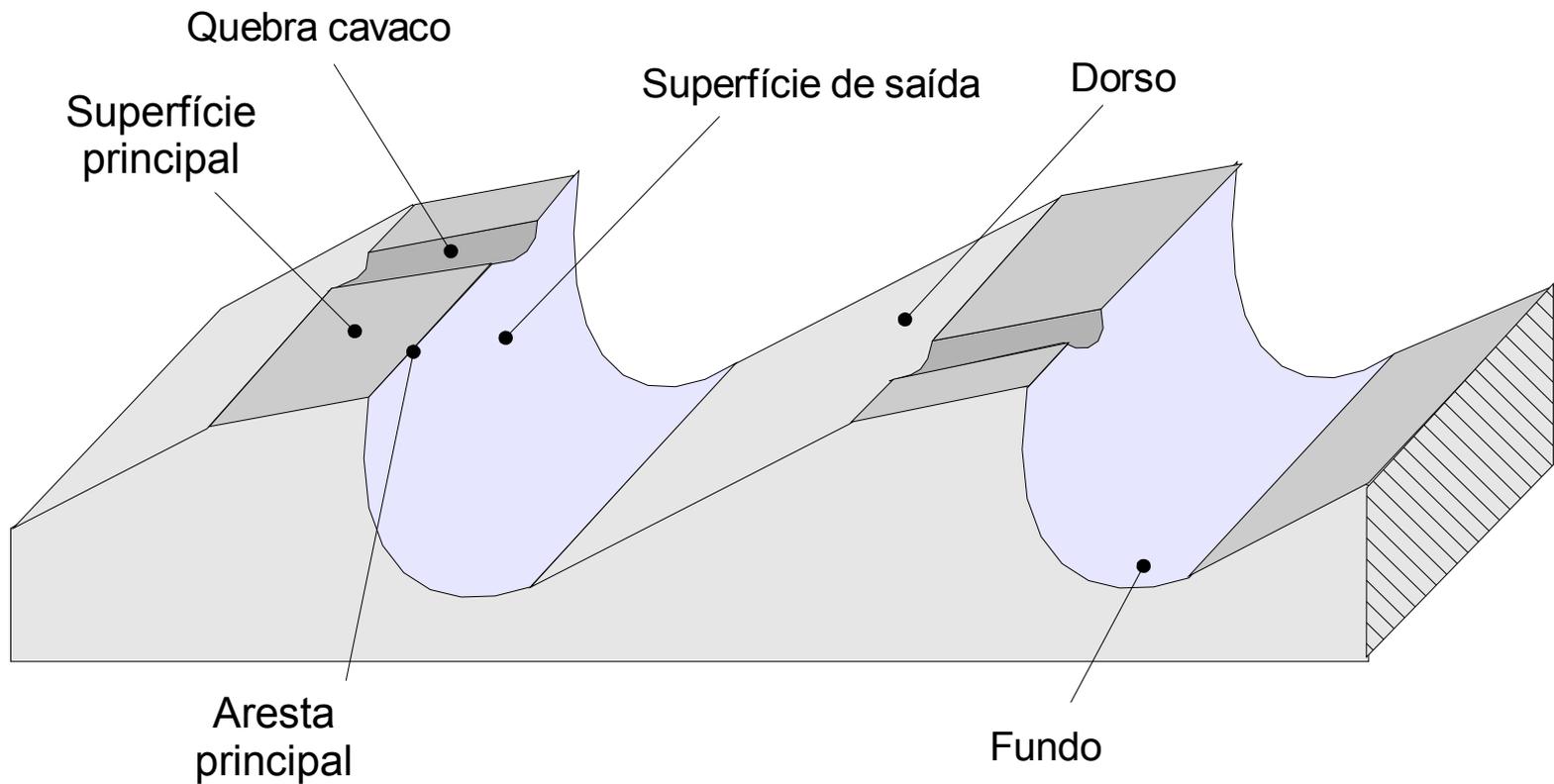


## Brochadeiras



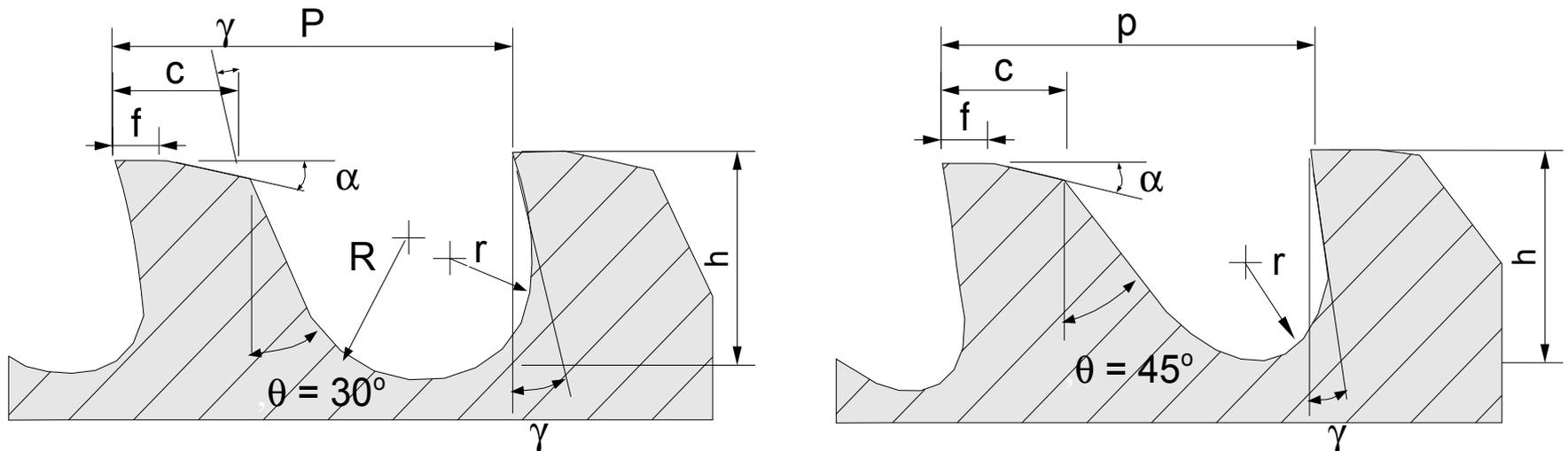


## Geometria dos dentes das brochas





## Geometria dos dentes das brochas



Recomendações de ângulos de incidência  $\alpha$

Recomendações de ângulos de incidência $\alpha$		
<i>Material</i>	<i>Dentes de desbaste</i>	<i>Dentes de acabamento</i>
Aço	1,5° : 3°	0,5° : 1°
Ferro-Fundido	2° : 4°	0,5° : 1°
Bronze e Latão	1° : 2°	0,25° : 0,5°
Alumínio	2° : 3°	1° : 2°



## Parâmetros para brochamento

**Velocidade de corte** - A velocidade de corte no brochamento é função do perfil do par material da peça e material da ferramenta, da forma do gume principal, dos ângulos de incidência e saída, da profundidade de corte etc.

Velocidades de corte para brochas de aço rápido

<b>MATERIAL</b>	<b>VELOCIDADE DE CORTE</b>
Aço de 500 a 700N/mm <sup>2</sup>	5 – 8 m/min
Aço de 700 a 800N/mm <sup>2</sup>	3 – 6 m/min
Aço de 800 a 900N/mm <sup>2</sup>	1 – 3 m/min
Ferro maleável	5 – 9 m/min
Ferro fundido	6 – 9 m/min
Latão, bronze	8 – 12 m/min
Alumínio	10 – 14 m/min
Zinco (fundido sob pressão)	20 – 30 m/min
Magnésio	20 – 30 m/min



## Filmes



**Fim da Aula 02/03**