



# SEM 0560 Fabricação Mecânica por Usinagem

Professor:

Alessandro Roger Rodrigues

Renato Goulart Jazinevicius



# FURAÇÃO

Por que fazer Furos?



# Furação

---

- Furos: montagem, união, fixação, etc.

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:

a) Uso em furos curtos e/ou profundos

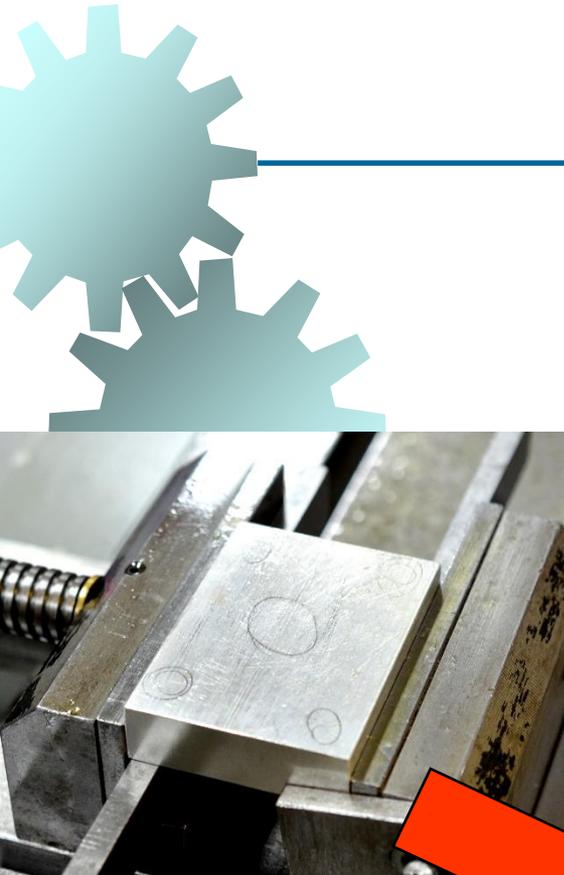
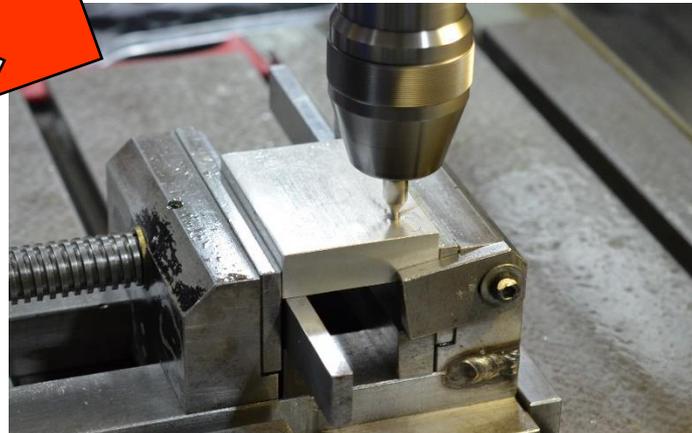
b) Uso na furação em cheio ou com pré-furo.

# Furação

Uso na furação em cheio

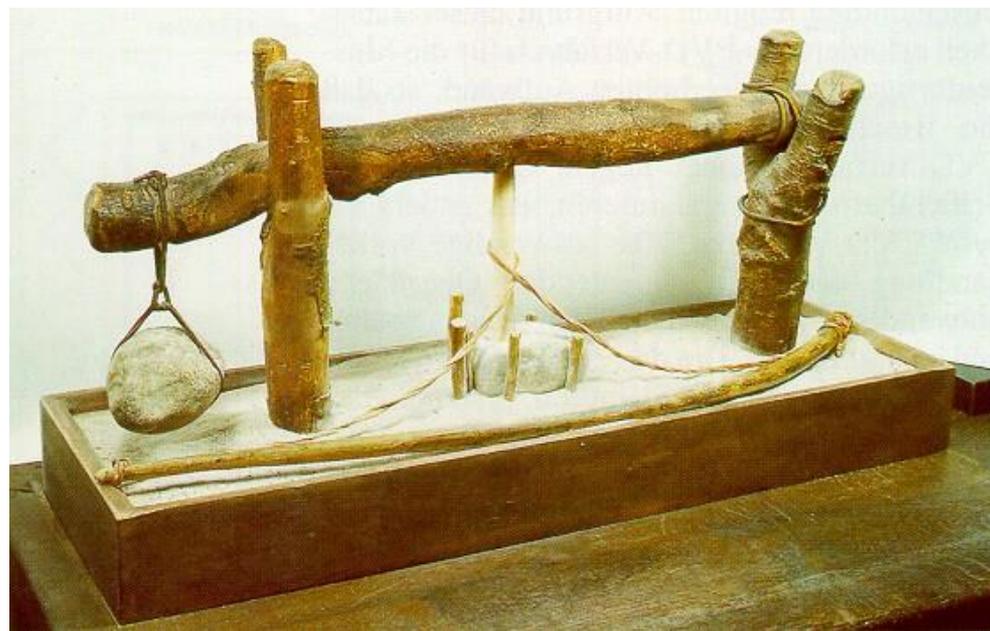
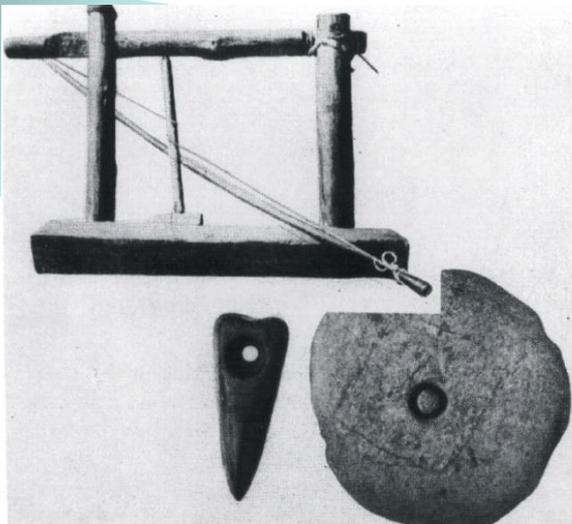


Uso na furação com pré-furo.



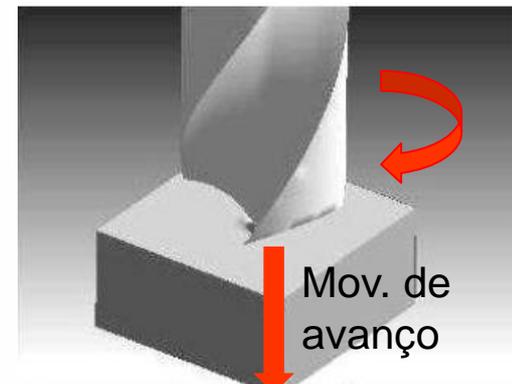
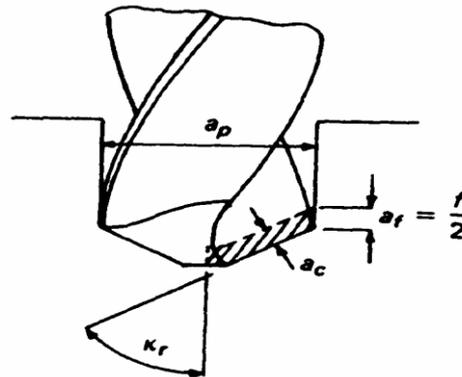
# FURAÇÃO - Definição

Furadeira com ferramenta e peça furada, 4000 a.c.



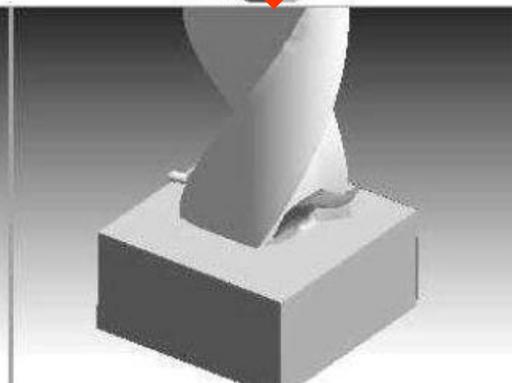
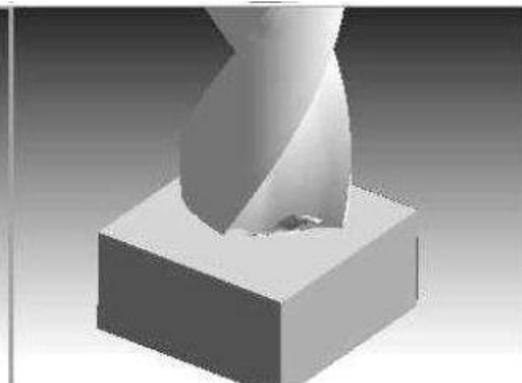
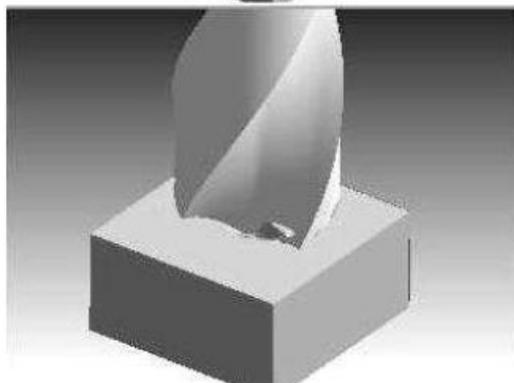
# FURAÇÃO - Definição

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



Mov. de Corte

Mov. de avanço



Simulação do processo de furação (www.deform.de)

# Rugosidade Média Ra dos Processos de Fabricação

Rugosidade média, Ra – micrometros, $\mu\text{m}$ (micropolegadas, $\mu\text{in.}$ )													
Processo	50 (2000)	25 (1000)	12.5 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.80 (32)	0.40 (16)	0.20 (8)	0.10 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (0.5)
Corte maçarico	[Barra cinza]												
Esmerilhamento rebarba	[Barra cinza]												
Serra	[Barra cinza]												
Plaina	[Barra cinza]												
<b>Furação</b>	[Barra cinza]												
Fresamento químico	[Barra cinza]												
Eletro erosão	[Barra cinza]												
Fresamento	[Barra cinza]												
<b>Brochamento</b>	[Barra cinza]												
<b>Alargamento</b>	[Barra cinza]												
Feixe de elétrons	[Barra cinza]												
Laser	[Barra cinza]												
Ataque eletroquímico	[Barra cinza]												
<b>Mandrillamento</b> , torno	[Barra cinza]												
Acabamento em tambor	[Barra cinza]												
Retífica eletrolítica	[Barra cinza]												
Brunimento cilíndrico	[Barra cinza]												
Retificação	[Barra cinza]												
Honing	[Barra cinza]												
Polimento eletrolítico	[Barra cinza]												
Polimento	[Barra cinza]												
Lapidação	[Barra cinza]												
Superacabamento	[Barra cinza]												
Fundição em areia	[Barra cinza]												
Laminação a quente	[Barra cinza]												
Forjamento	[Barra cinza]												
Fund. em molde fechado	[Barra cinza]												
Fund. por cera perdida	[Barra cinza]												
Extrusão	[Barra cinza]												
Lamina. a frio, trefilação	[Barra cinza]												
Fund. Sob pressão	[Barra cinza]												

As faixas apresentadas acima são típicas dos processos listados  Aplicação Média

Valores menores ou maiores podem ser obtidos sob condições especiais  Aplicação menos frequentes

**CARTA DE PROCESSOS VERSUS ACABAMENTOS**

# Tolerâncias dos Processos de Fabricação

± Tolerâncias

0,013 mm  
0,025 mm  
0,050 mm  
0,075 mm  
0,125 mm  
0,250 mm  
1,250 mm

	0,013 mm	0,025 mm	0,050 mm	0,075 mm	0,125 mm	0,250 mm	1,250 mm
<b>Torneamento, mandrilamento</b>							
Diâmetro , < 25,4 mm	█						
25,4 < Diâmetro < 50,8 mm			█				
Diâmetro > 50,8 mm				█			
<b>Furação</b>							
Diâmetro , < 0,254 mm			█				
2,54 ≤ Diâmetro < 6,35 mm				█			
6,35 ≤ Diâmetro < 12,7 mm					█		
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm						█	
Diâmetro > 25,4 mm							█
<b>Alargamento</b>							
Diâmetro , < 12,7 mm		█					
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm		█	█				
Diâmetro > 25,4 mm			█	█	█		
<b>Fresamento</b>		█	█				
<b>Periférico</b>		█	█				
<b>Face</b>			█	█			
<b>Topo ou Frontal</b>							
<b>Chavetamento</b>		█	█				
<b>Aplainamento</b>			█	█	█		
<b>Brochamento</b>	█	█					
<b>Serrar</b>							█

Tolerâncias de furação geralmente expressas como intervalos (por exemplo : +0,127/-0,0254).



# Tolerâncias dos Processos de Fabricação

<b>Processo</b>	<b>Tolerância ISO (valores médios) IT</b>	<b>Rugosidade Rt em <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Qualidade de acabamento</b>
Furo de Centro	12	80	Desbaste
Furação com escareado helicoidal	11	20	Acabamento
Rebaixamento ou escareamento cilíndrico com escareador chato	9	12	Acabamento
Alargamento	7	8	Acabamento fino
Mandrilhamento com ferramenta de mandrilhar ou barra de mandrilhar com múltiplas arestas	7	8	Acabamento fino
Mandrilhamento com arestas de corte de Metal Duro e área da seção do cavaco muito pequena	7	4	Acabamento fino

# Furação - Generalidades



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

$$r \rightarrow 0 ; V_c \rightarrow 0 ; r \rightarrow r_{\max} ; V_c \rightarrow V_{c \max}$$

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



# Furação - Generalidades

---

**Operação de usinagem extensivamente usada na indústria aeroespacial**

**Em uma aplicação aeroespacial típica, os custos de com M.O. em montagem e submontagem são da ordem de 50% dos custos totais de manufatura das estruturas (airframes) mais comuns<sup>1</sup>.**

**Um caça possui entre 250.000 a 400.000 furos**

**Um cargueiro ou bombardeiro entre 1.000.000 e 2.000.000 furos.**

**Dessa forma os custos com usinagem tornou-se um dos principais fatores de custos de produção em aplicações aeroespaciais<sup>1</sup>.**

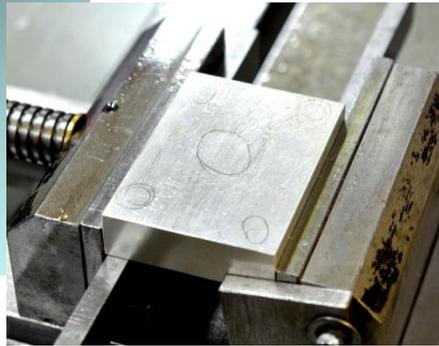
**Um asa de uma aeronave comum pode ter até 500 furos<sup>2</sup>.**

1. Micillo, C., Huber, J., Innovative manufacturing for automated drilling operations, Proc. Autofact West, 2, 253, 1980.

2. Kline, G. M., Ultrasonic drilling of boron fiber composites, Modern plastics, 52, 88, June 1974

# Sequência de operação de furação

Marcar a peça



Posicionar e fazer pré furo com broca de centro

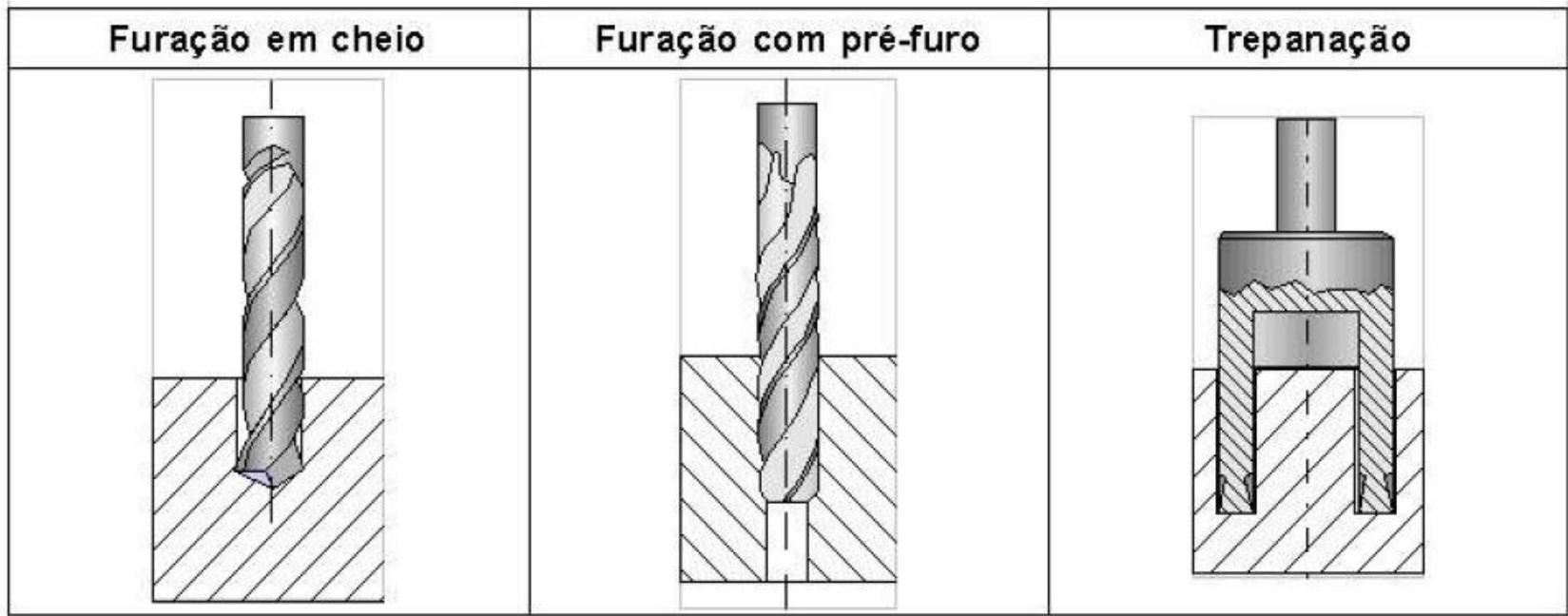


Fluido de corte



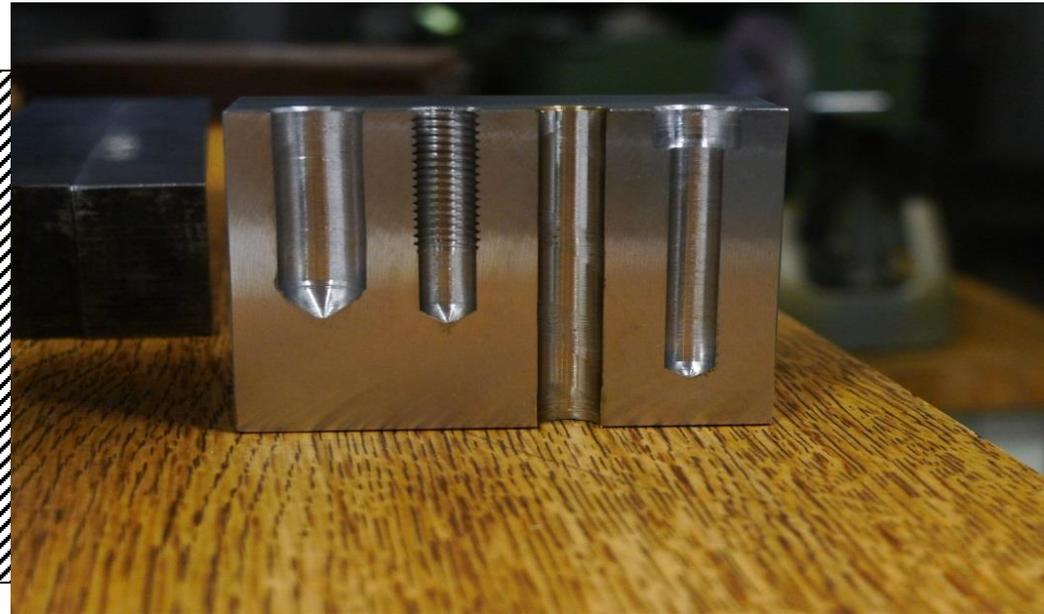
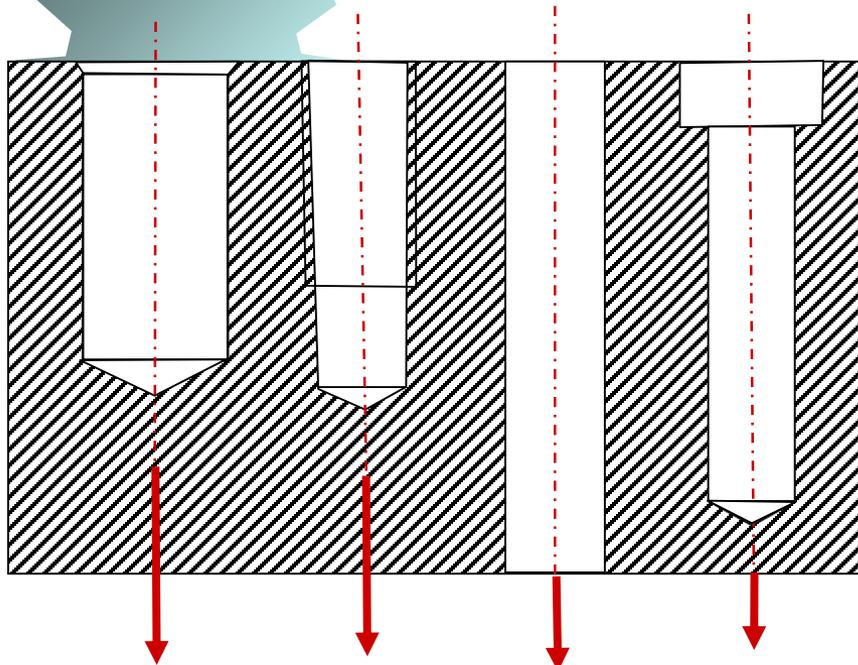
# Furação - Generalidades

## Tipos de Operações



# Furação - Generalidades

## Tipos de Operações



Furo em cheio

Furo em cheio  
com rosca

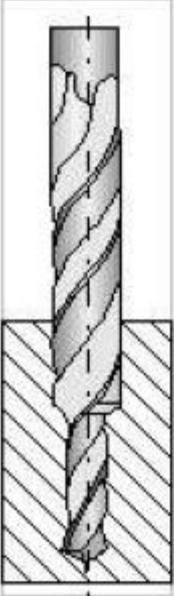
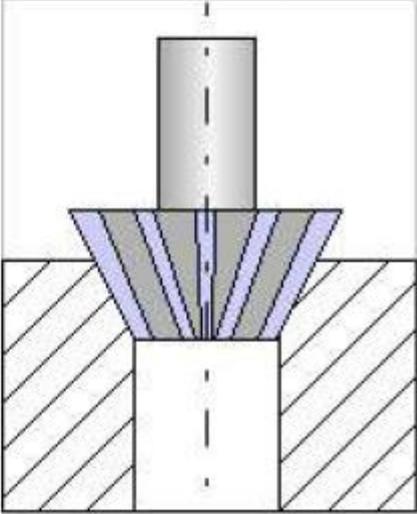
Furo passante  
alagado

Furo em cheio  
escareado e rebaiço

Seqüência de Fabricação

# Furação - Generalidades

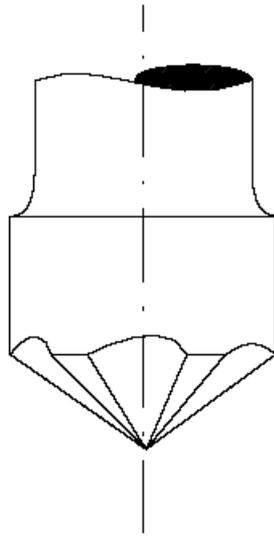
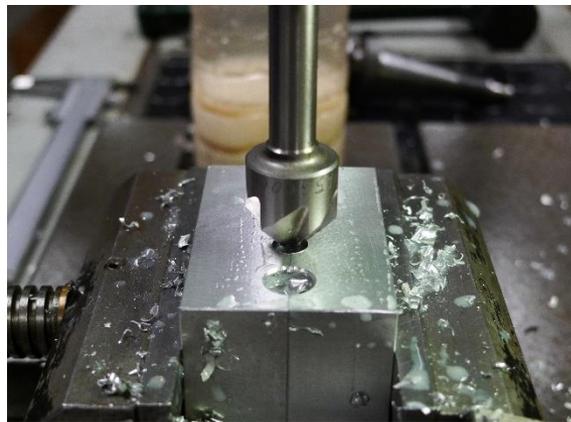
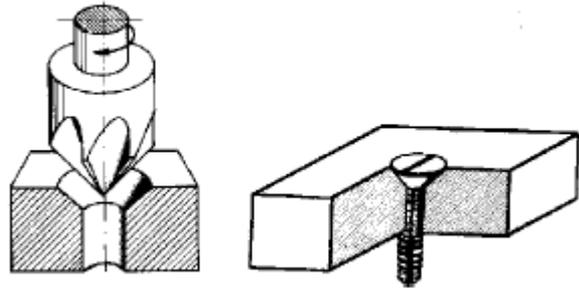
## Tipos de operação

Furação de perfil em cheio	Rebaixo de perfil
 <p>The diagram shows a standard double-flute drill bit with a central cutting edge. It is shown in a cross-sectional view drilling into a workpiece, with a hole being formed. The bit is shaded to show its three-dimensional form.</p>	 <p>The diagram shows a cylindrical tool with a conical cutting edge (chamfer bit) being used to finish the edge of a hole. The workpiece is shown in cross-section with hatching. The chamfered surface is shaded in light blue.</p> <p data-bbox="1089 1136 1392 1175">Furo escareado</p>

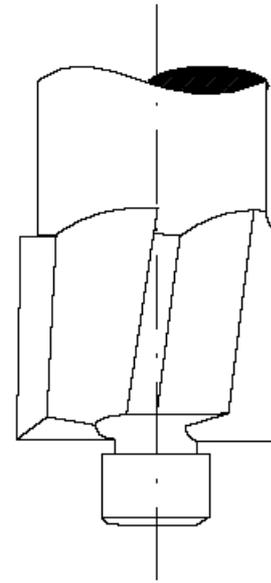


# Furação - Generalidades

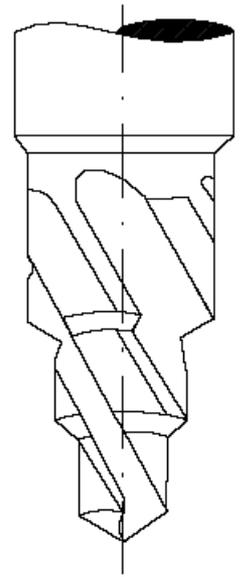
## Rebaixamento Ferramentas



Rebaixador com ponta  
ou escareador



Rebaixador com guia

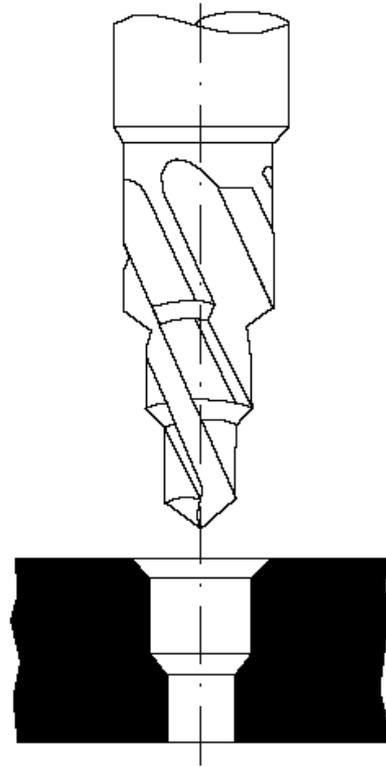


Rebaixador escalonado

# Furação - Generalidades

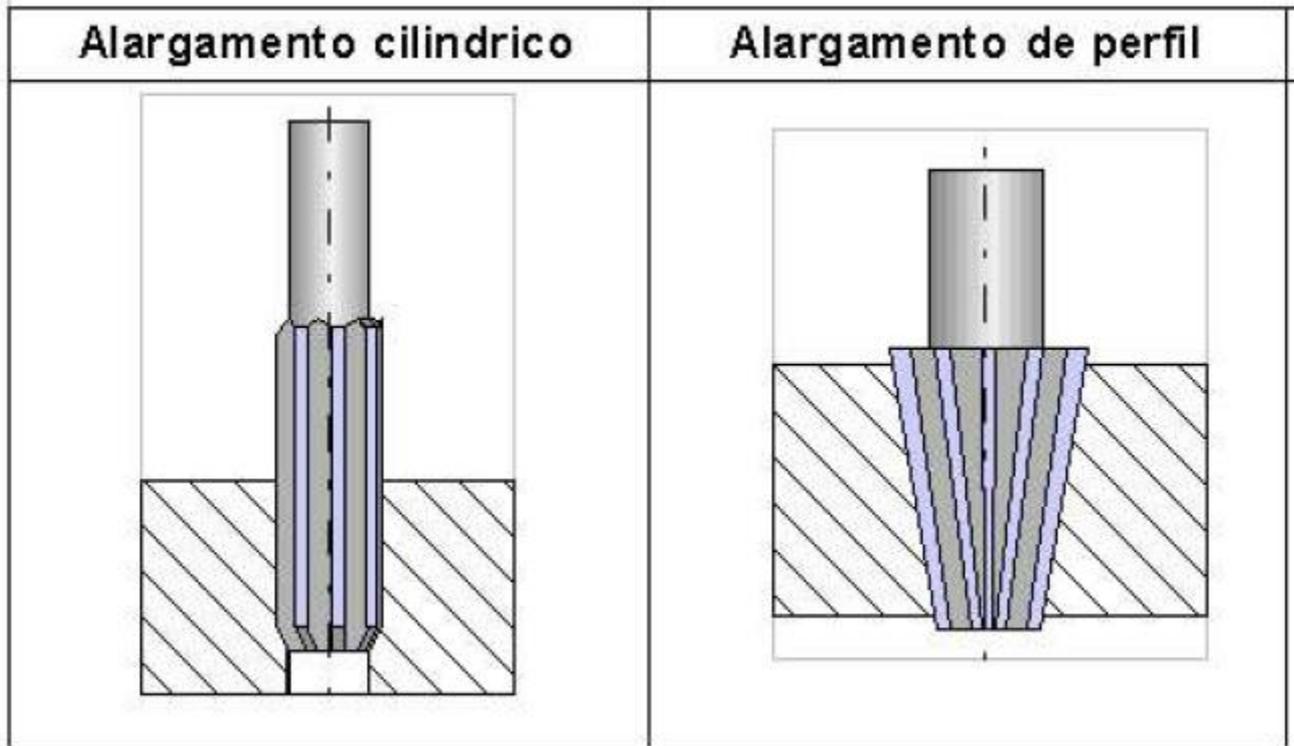
---

## Variações no processo de furação - Rebaixamento



# Furação - Generalidades

## Tipos de Furação



# Furação – Tipos de Brocas

Tipo N

**Materiais convencionais**

**Ex.: Aço e Ferro Fundido**

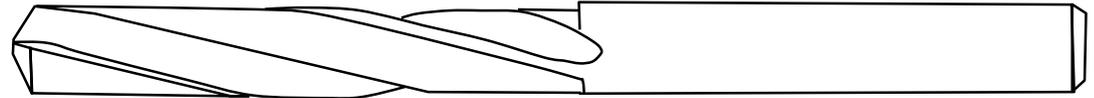
$\sigma = 118^\circ$   $\phi = 20^\circ - 30^\circ$



Tipo H

**Ex.: Materiais duros, Plástico e ligas de Mg**

$\sigma = 118^\circ$   $\phi = 10^\circ - 20^\circ$



Tipo W

**Materiais muito dúcteis**

**Ex.: Alumínio, Cu e bronze**

$\sigma = 140^\circ$   $\phi = 30^\circ - 40^\circ$



# Tipos de Brocas e Aplicações

Table 9.8 Drill types and their ranges of application

Tool type	Material	Strength N/mm <sup>2</sup>	Tool side rake $\gamma_x$	Point angle $\pm 3^\circ$
N	Unalloyed steel for example C 10–C 35, Ck 10–Ck 35, S 275 JR	up to 700	20–30	118
	Unalloyed steel, alloyed steel for example C45, 34Cr4, 22NiCr14, 25CrMo5, 45S20, 20Mn5, 20MnMo4	> 700 up to 1000		
	Grey cast iron GJL 150–GJL 400 malleable cast iron brass (CuZn 37) Al alloys with more than 11% Si			
	Alloyed steels for example 36CrNiMo4 stainless steels for example X 10Cr13 heat resistant steels for example X 210Cr12		20–30	130
H	Magnesium alloys for exam- ple MgAl 6Zn3 soft plastics (thermo plastics) for example ultramide, polyamide, Mn-steels and brittle Ms		10–20	118
W	Copper, unalloyed lowgrade Al alloy Al- up to 10% Si-alloyed pressed materials, for example type 31 with phenolic resin		30–40	140

# Furação – Tipos de Broca

## Tipos de Brocas

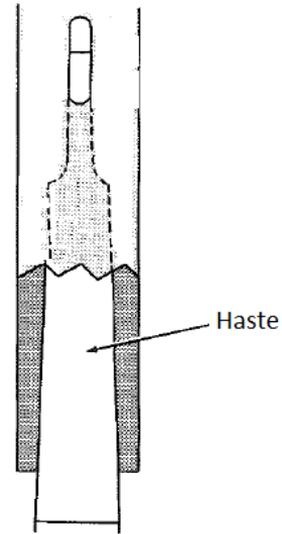
Broca canal reto com haste cilíndrica



Broca helicoidal com haste cilíndrica

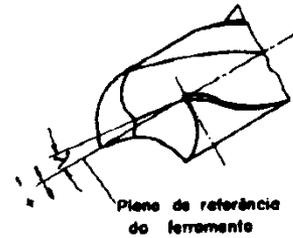


Broca helicoidais com cone Morse

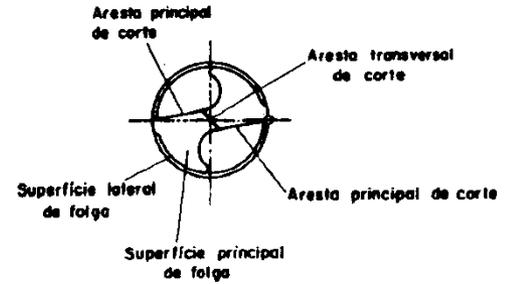


# Furação – Terminologia – ângulos da broca

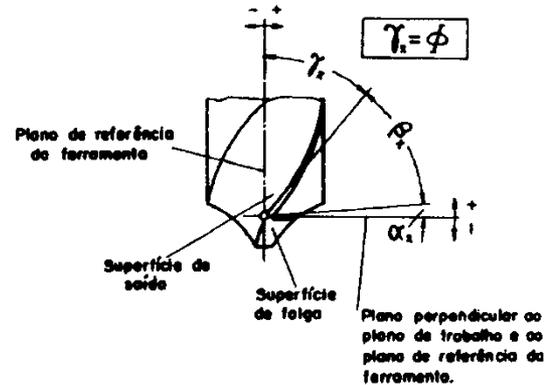
**VISTA W**  
(Plano de corte da ferramenta)



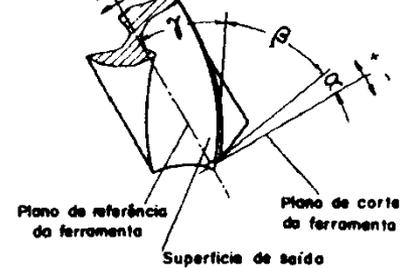
**VISTA Y**



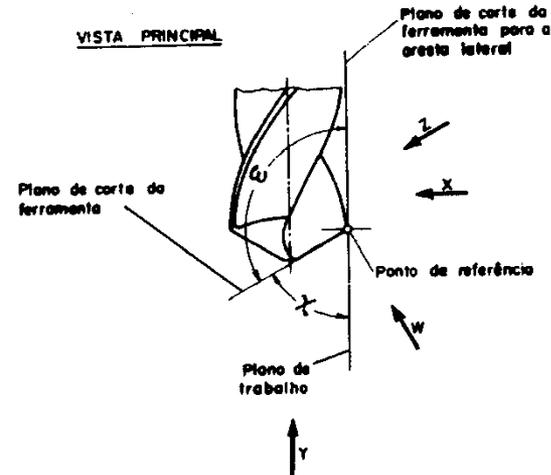
**VISTA X**  
(Plano de trabalho)



**VISTA Z**  
(Plano de medida)



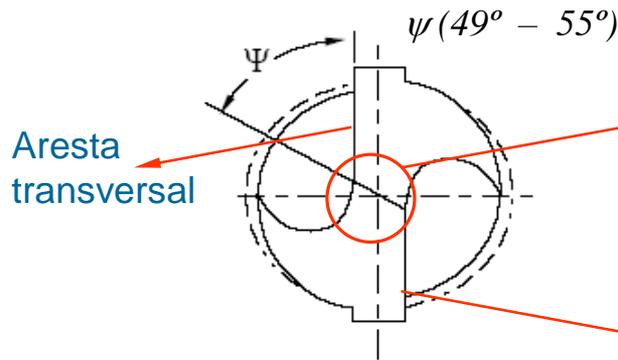
**VISTA PRINCIPAL**



Plano da vista principal = Plano de referência da ferramenta

# Geometria de brocas helicoidais

- $\alpha$  = ângulo de folga
- $\beta$  = ângulo de cunha
- $\gamma$  = ângulo de saída
- $r_\epsilon$  = raio de quina
- $\epsilon$  = ângulo de quina
- $\sigma$  = ângulo de ponta
- $\Psi$  = Ângulo da aresta transversal

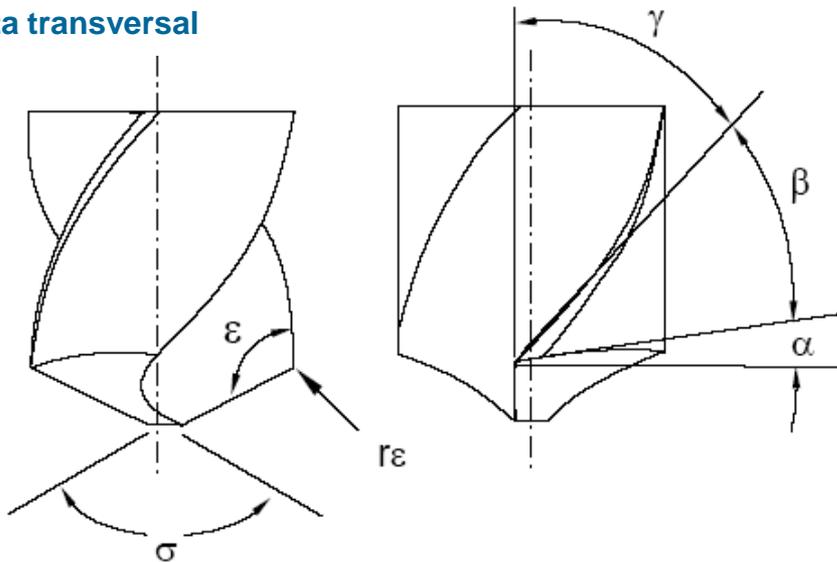


A aresta transversal é parte integrante do aresta principal, e tem como função extrudar material na direção da aresta principal

A aresta principal é a aresta cortante e direciona 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 da aresta principal

$\gamma$  tem valor máximo na quina da broca e diminui no sentido do centro da broca, tornando-se negativo na passagem para aresta transversal.



# Brocas - Geometria

Ângulo de ponta  $\sigma$

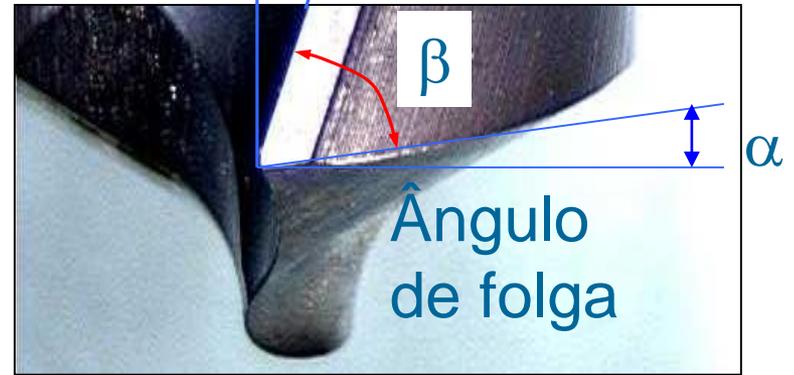
$$\chi = \frac{\sigma}{2}$$

Ângulo de hélice (Ângulo de saída  $\gamma$ )



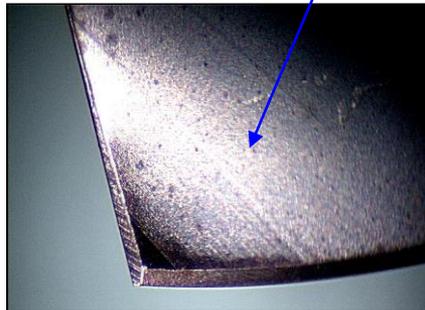
Canal

Superfície lateral de folga

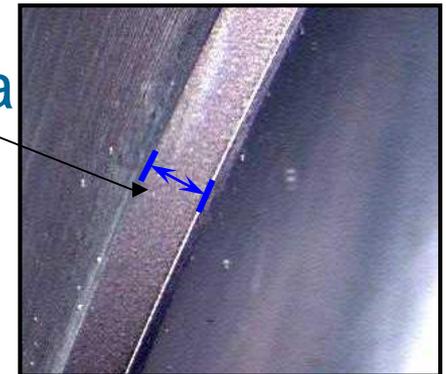


Ângulo de folga

Superfície de saída

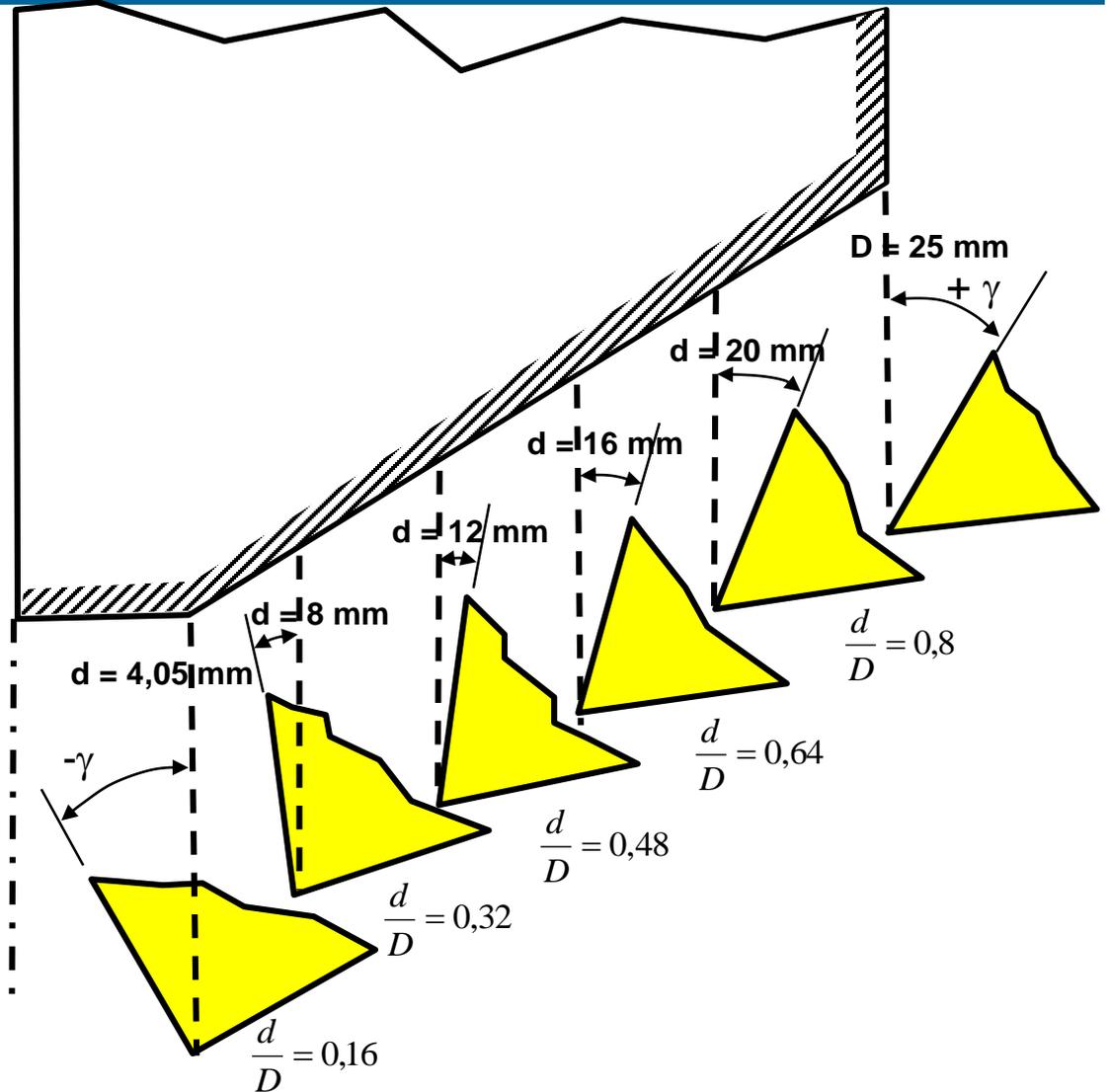
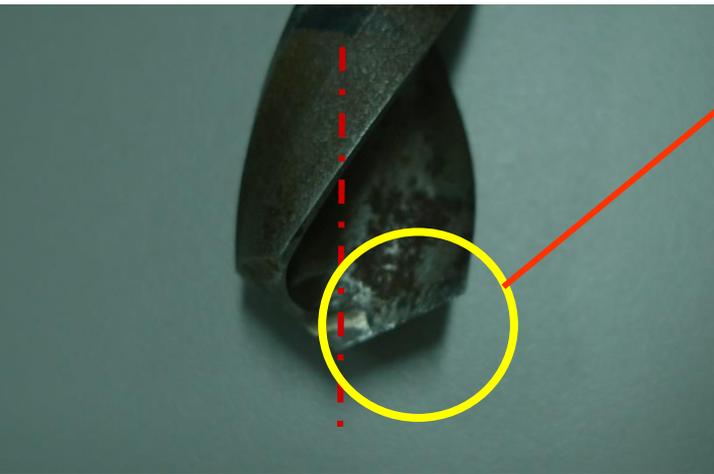


Largura da guia

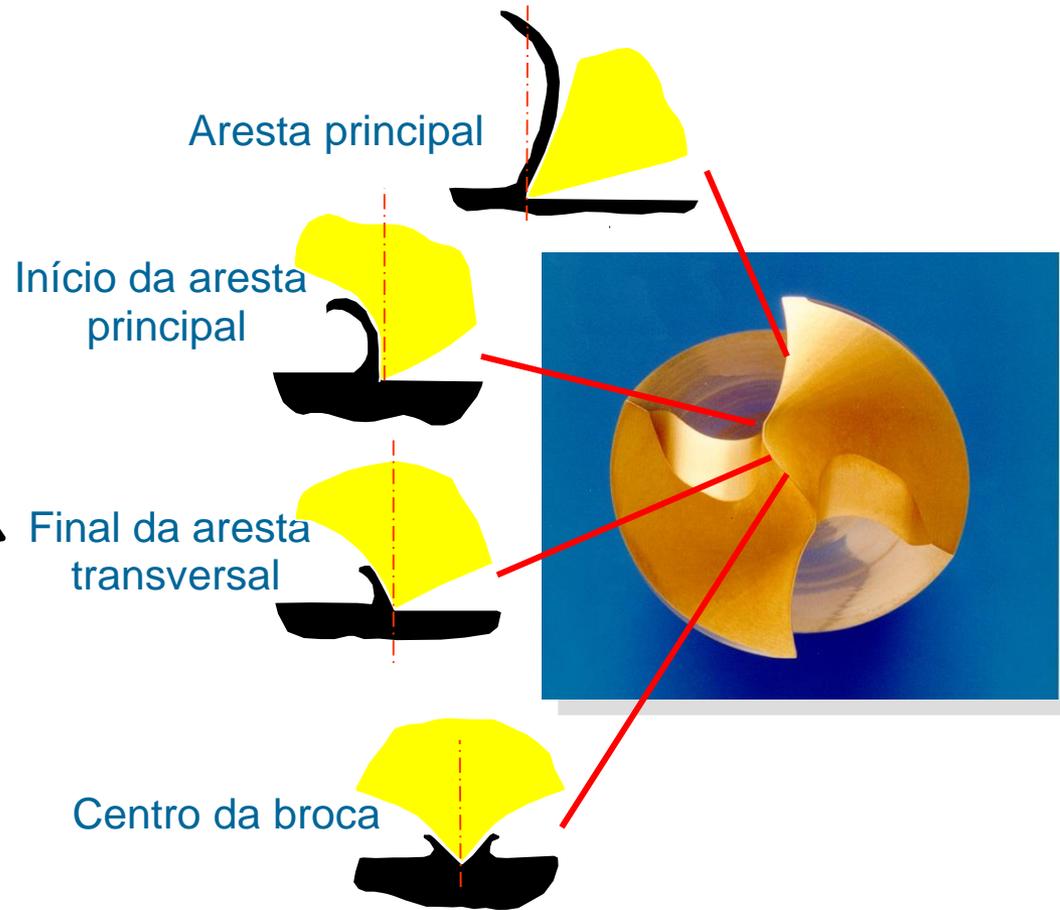
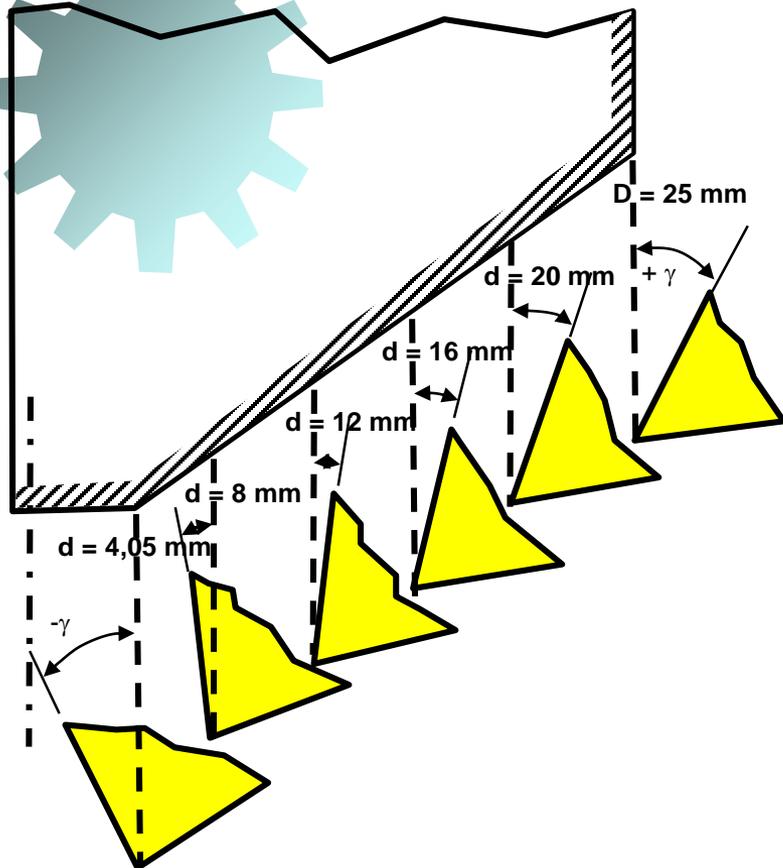


# ÂNGULO SAÍDA

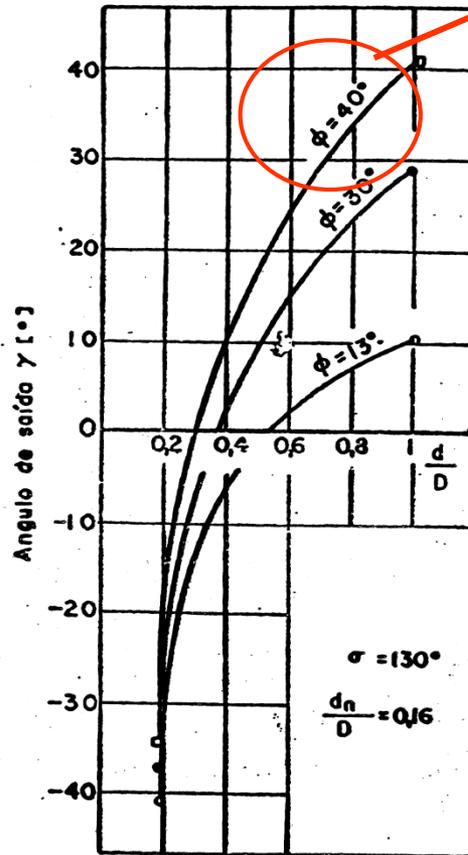
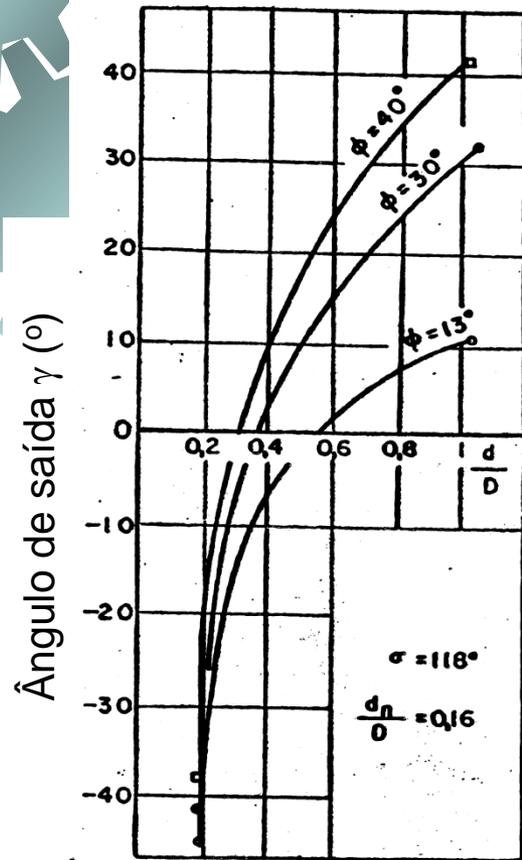
$\gamma$  (e conseqüentemente ângulo de ponta  $\sigma$ ) são variados de acordo com as características do material a ser usinado



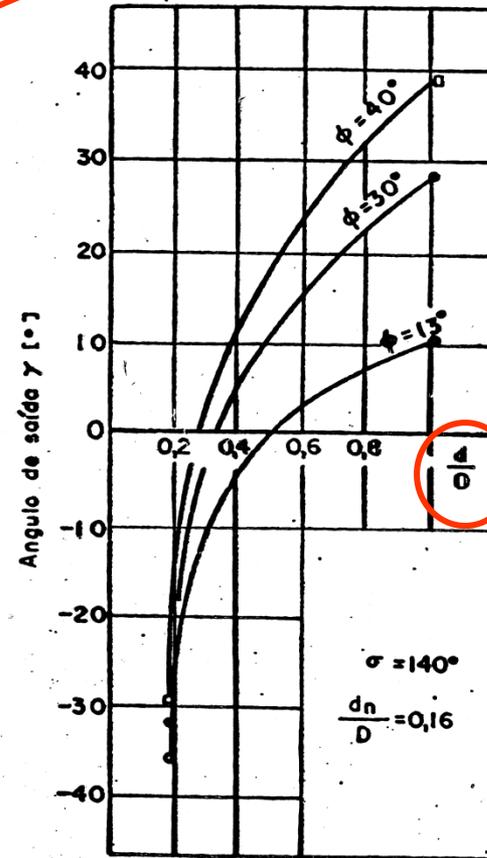
# Variação do ângulo de saída e a formação do cavaco



# VARIAÇÃO ÂNGULO SAÍDA

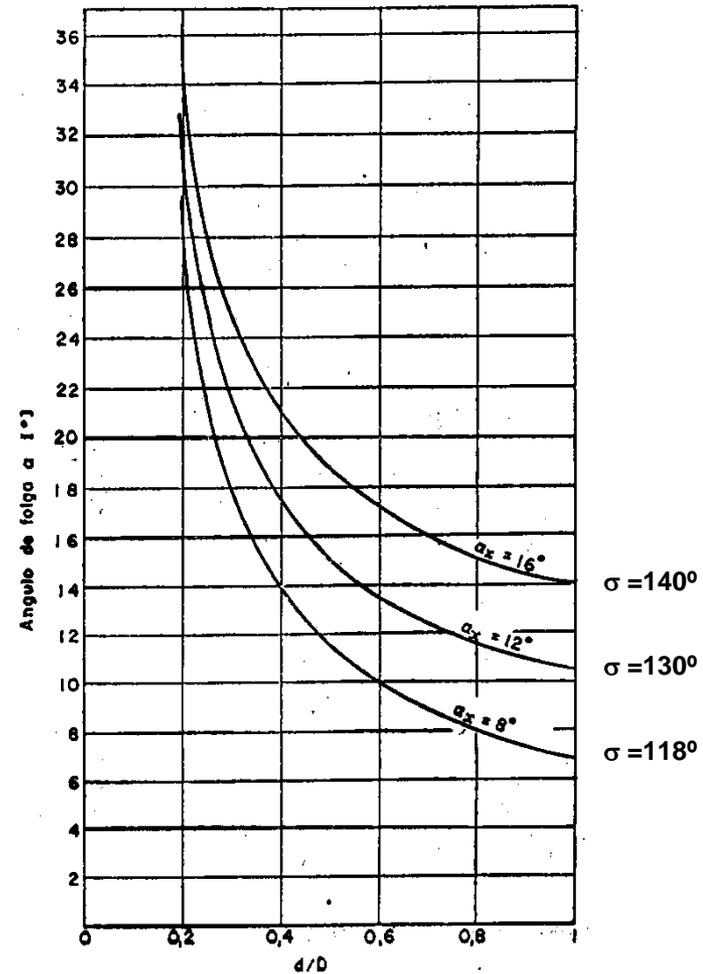
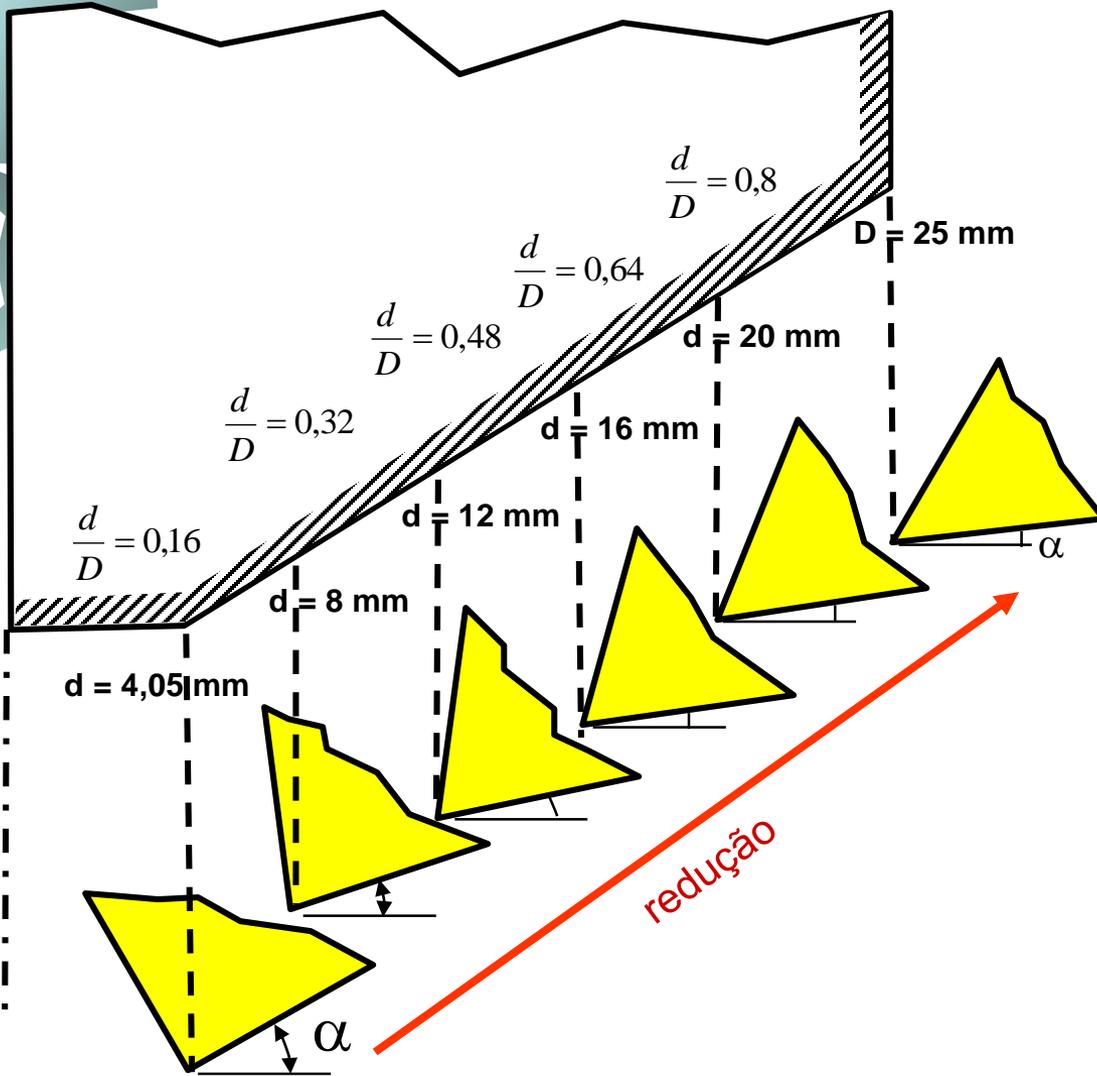


Ângulo de Hélice

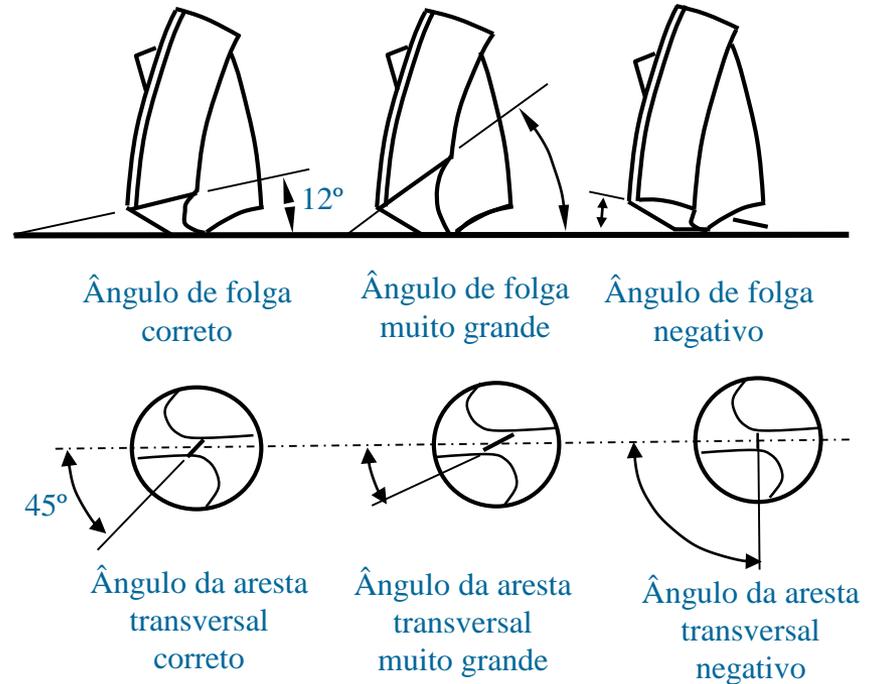
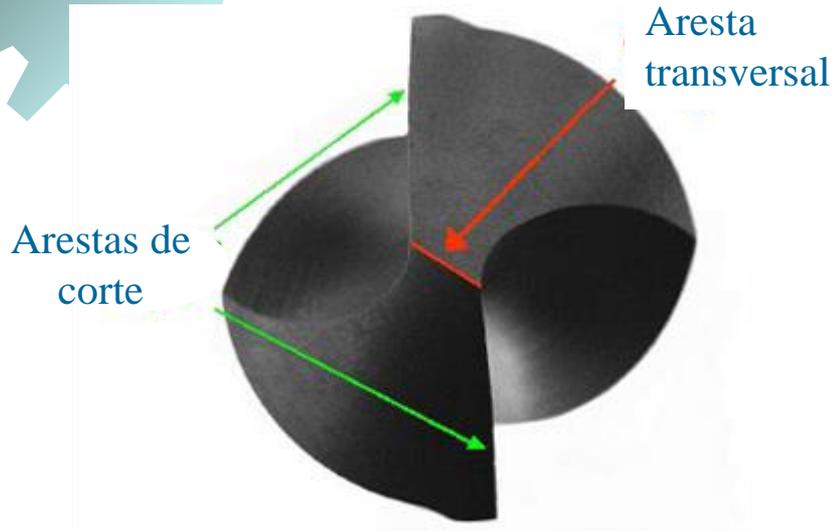


$\frac{d}{D}$

# Variação ângulo de folga



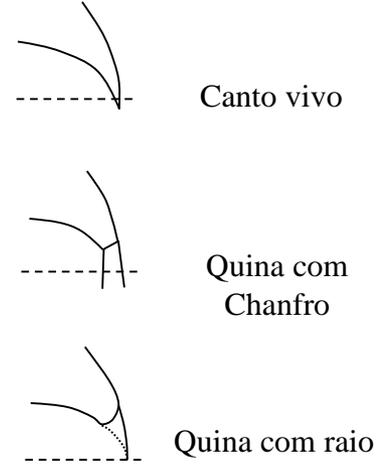
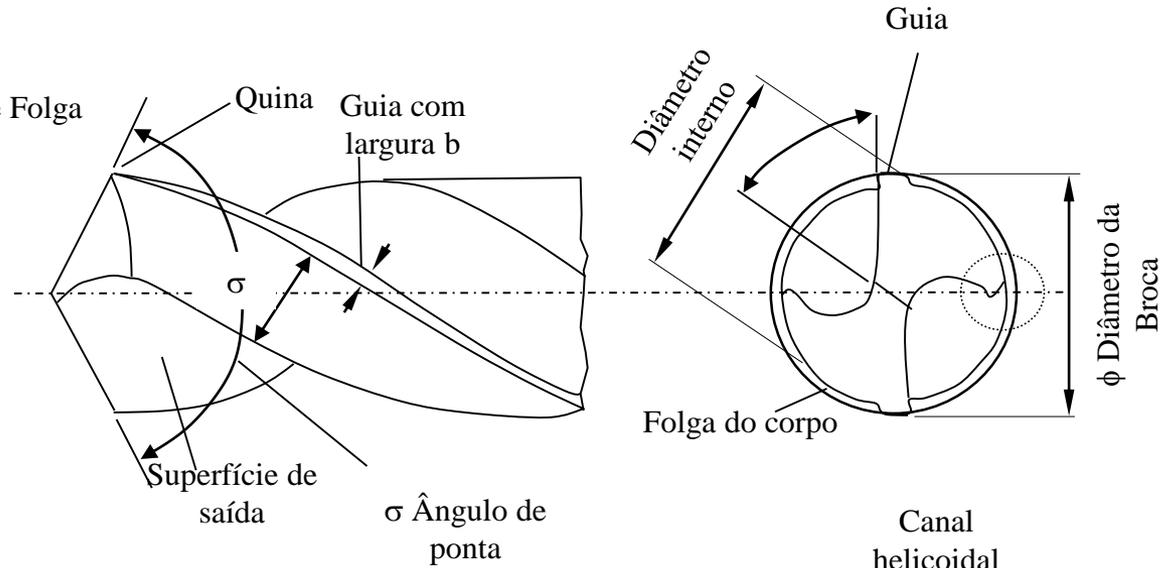
# Variação ângulo de folga



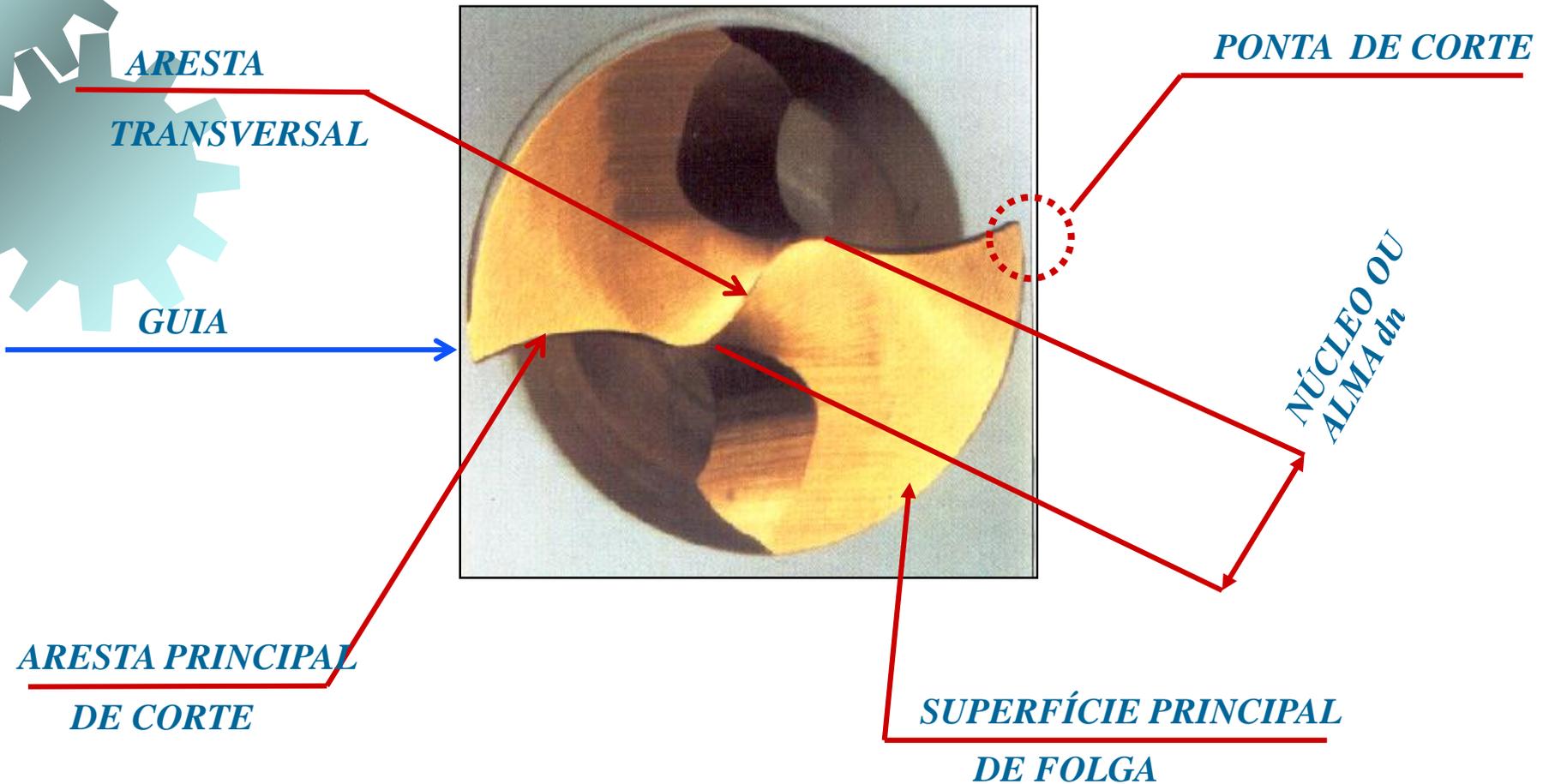
# Brocas - Geometria

## Geometria de brocas helicoidais

Face de Folga



# Furação – Geometria



# Função da Aresta Transversal

O comprimento da aresta transversal depende do diâmetro da alma (núcleo da broca):

$d_n = (0,12-0,20) \cdot D$  para brocas acima de 10 mm

$d_n = (0,20-0,30) \cdot D$  para brocas até 10 mm de diâmetro

Seção Normal através da Aresta Transversal da Broca



Material deformado

Aresta Transversal

Função : extrudar material na direção da aresta principal

Na aresta transversal existe grande deformação e escoamento

# Brocas – Geometria



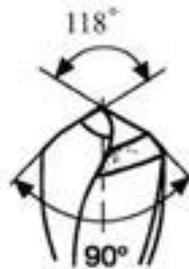
Point : A



Point : B



Point : C



Point : D



Point : DX



Point : Cam Relief



Point : Maximiza  
(3-flute Bore-Drill)



Point : ALPHA 2  
/ ALPHA 4



Point : 4-Fac



Point : 2-Facet



Point : Form UV



Point : Form U

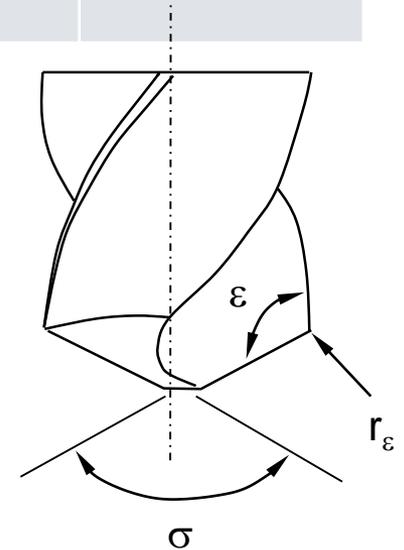
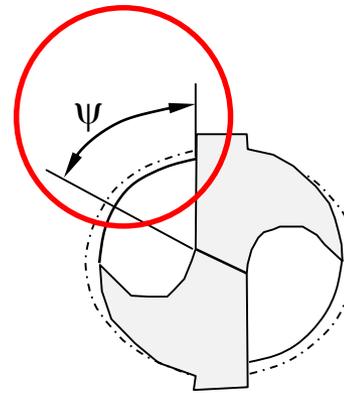
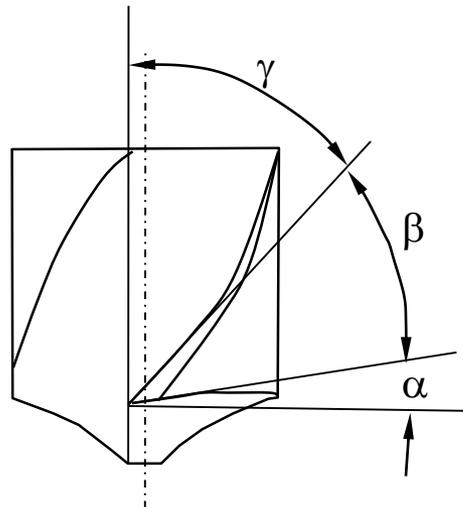


# Geometria

Valores do ângulo da aresta transversal  $\psi$  (Fig.) é o ângulo entre a aresta principal e a aresta transversal. Ele varia de  $49$  a  $55^\circ$ . A ordem de magnitude dos ângulos com uma função do diâmetro da broca é mostrado na Tabela

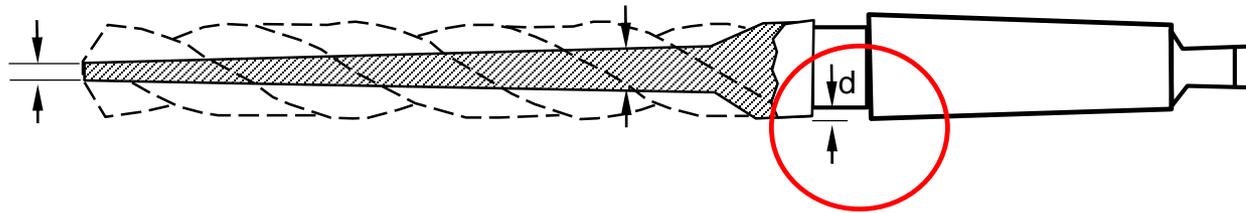
Tabela Valores essenciais dos principais ângulos de brocas helicoidais com  $\sigma = 118^\circ$

$\phi$ Broca em mm	Ângulo de Folga ( $\alpha_x \pm 1^\circ$ )	Ângulo de saída ( $\gamma_x \pm 3^\circ$ )	Ângulo da aresta transversal ( $\psi$ )	Ângulo de Ponta ( $\sigma \pm 3^\circ$ )
2,51 – 6,3	12	22	52	118°
6,31 - 10	10	25	52	
> 10	8	30	55	



# Brocas – Geometria

A alma de brocas é a medida entre as duas hélices. A alma com superfície chanfrada (inclinada) da ponta até a haste torna a broca mais estável. Na ponta da broca a espessura da alma equivale ao comprimento da aresta transversal



Valores de espessura da alma de brocas helicoidais tipo N (exceto as da Norma DIN1414)

<b><math>\phi</math> Broca em mm</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>
Espessura da alma em mm	1,8	2,5	3,5	5,2

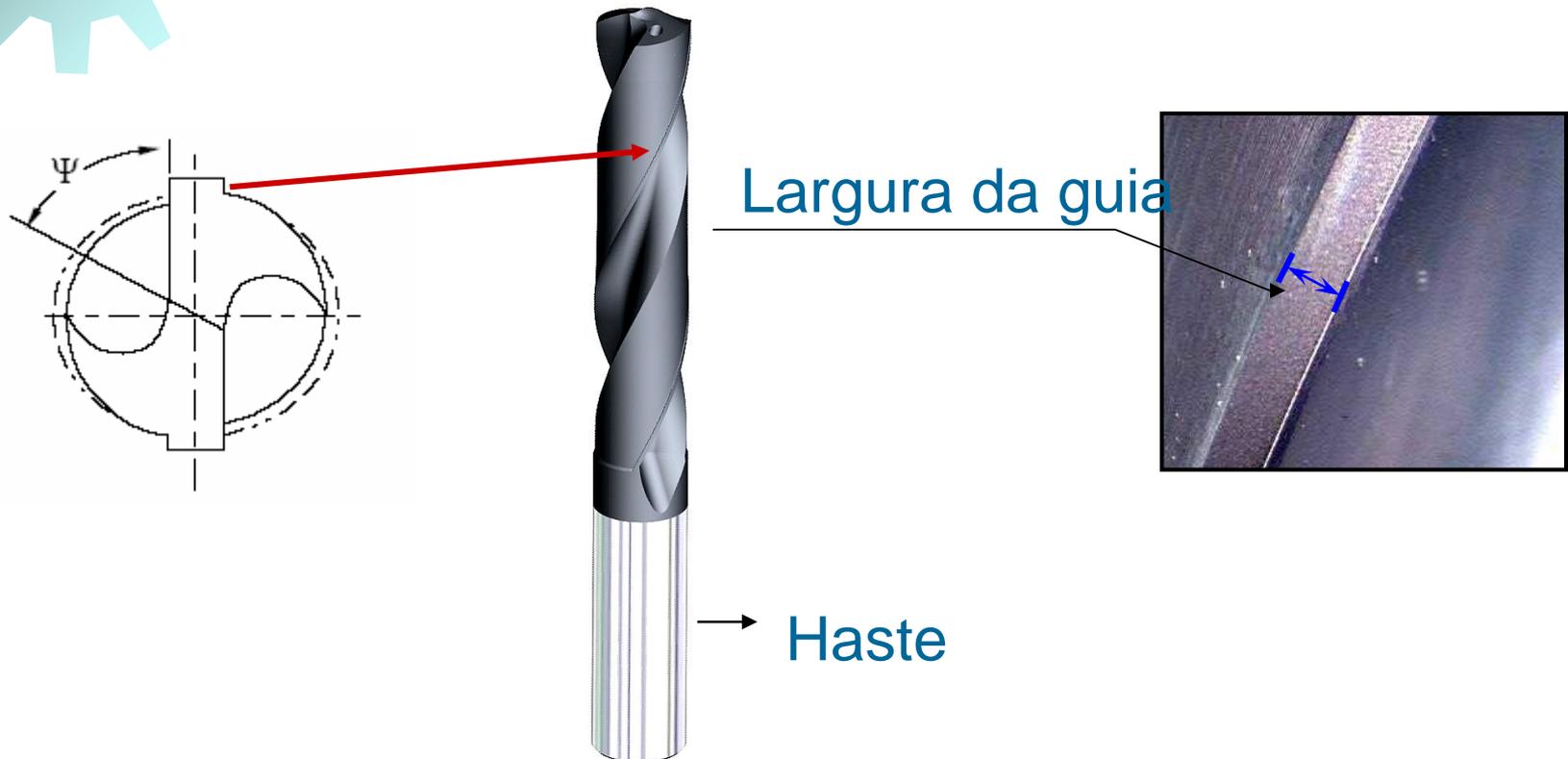
Valores do alívio d no diâmetro final da helicoides de brocas helicoidais. (DIN 1414)

<b><math>\phi</math> Broca em mm</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>
Alívio d em mm	0,8	1,5	1,7	2,5

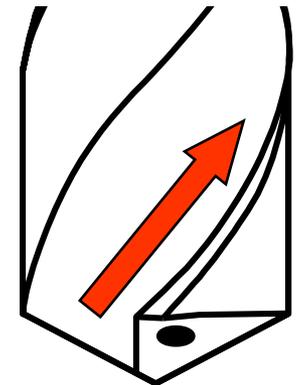
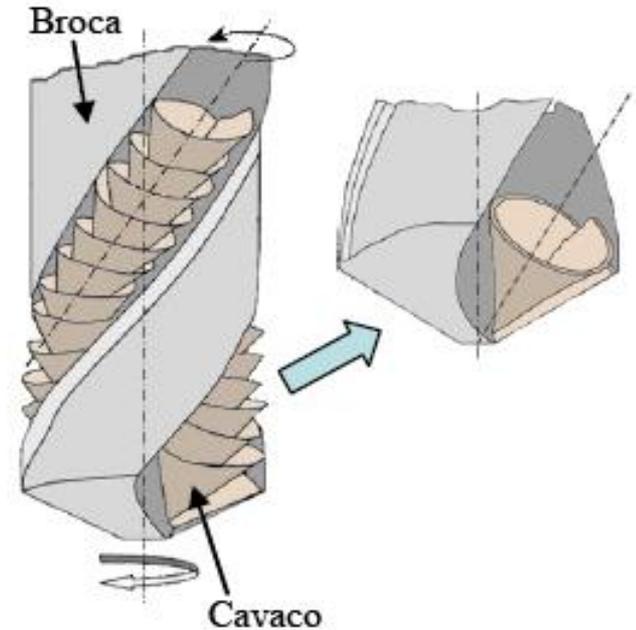
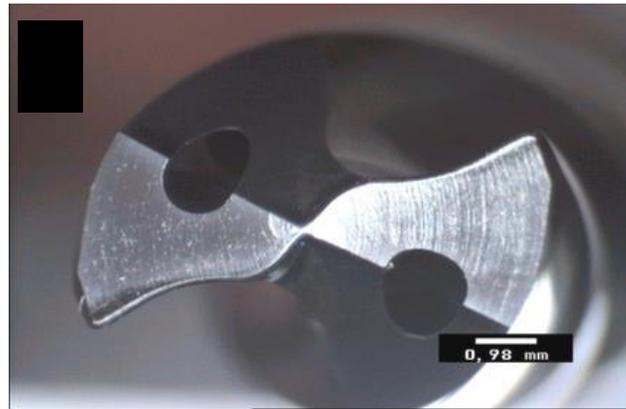
# Geometria de brocas – Função

## Geometria de brocas helicoidais

- Guia reduz atrito com as paredes e direciona a broca
- Haste: fixação na máquina

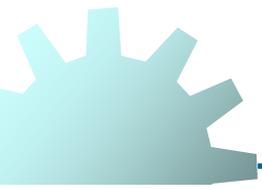


# Escoamento do cavaco em função do tipo de canal



Escoamento dos cavacos :  
pela refrigeração  
e/ou pela hélice

# Escoamento do cavaco em função do tipo de canal

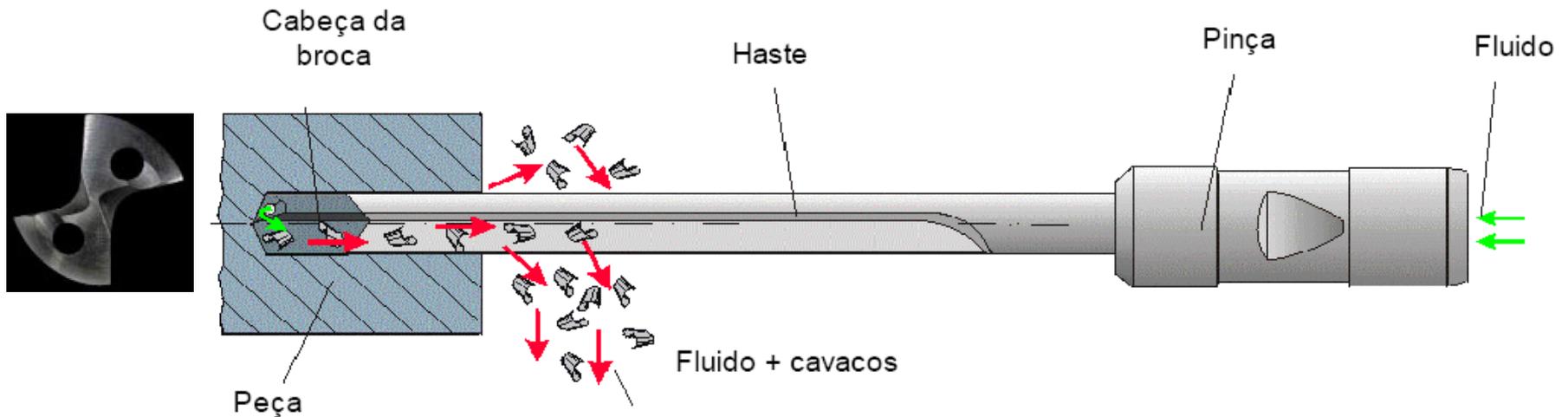
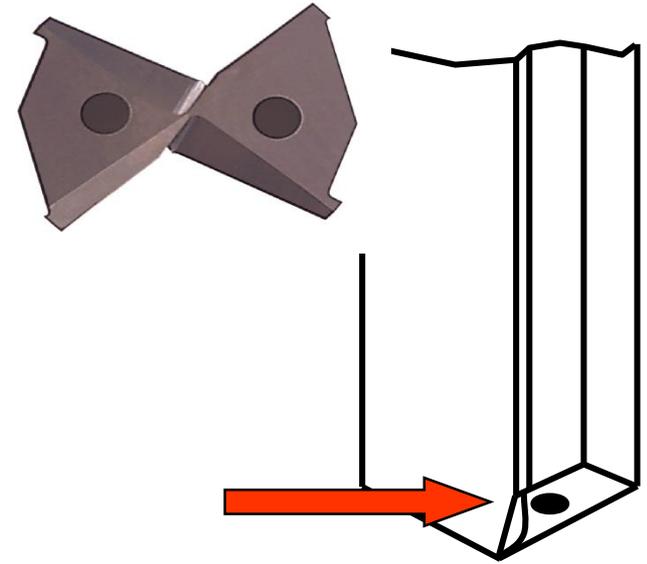


Exemplo: broca com canal reto

e retirada de cavaco

Canal interno: alimentação do fluido

lubri-refrigerante





# Furação – Material da Ferramenta

---

## Materiais para brocas

### Requisitos para materiais de brocas

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



# Furação – Material da Ferramenta

---

## Materiais para brocas

### Aço ferramenta

- Muito pouco empregado em aplicações industriais
- Brocas para *hobby*
- Brocas de baixo custo para aplicações simples
- Brocas para materiais de fácil usinagem, tais como alumínio, plásticos e madeira.



# Furação – Material da Ferramenta

---

## Metal duro

- Homogeneidade, elevada dureza, resistência à compressão e ao desgaste à quente
- As velocidades de corte podem ser até 3 vezes maiores que as utilizadas com ferramentas de aço rápido: até 250 m/min para aço e FoFo e até 1000 m/min para ligas de Al.
- Aplicação de ferramentas de metal duro exige máquinas com características de velocidade, potência, refrigeração e rigidez adequadas
- Brocas podem ser maciças (maior aceitação) ou com insertos intercambiáveis – com ou sem revestimento



# Furação – Material da Ferramenta

---

## **Outras Vantagens das Brocas de Metal duro**

- Brocas de metal duro com revestimento são usadas para furos com profundidades de  $10xD$  (máximo  $30xD$ )
- A furação pode ser feita sem pré-furo;
- Grandes espaços para cavacos, grande remoção de cavacos;
- Furos com maior exatidão gerando valores de tolerâncias IT7, tornando desnecessário a operação de alargamento.

# Furação – Material da Ferramenta



Broca MD uso geral



Broca MD Inox e Titânio



Broca MD de difícil  
usinabilidade



Broca MD para FoFo



Broca MD que geral altas  
Temperaturas



Broca MD com três cortes  
para FoFo

# Furação – Formas Construtivas

---

## Materiais para brocas

### Formas construtivas de brocas em função do material

- Broca com ponta de MD soldada



- Broca Integral de MD



- Broca com inserto de MD



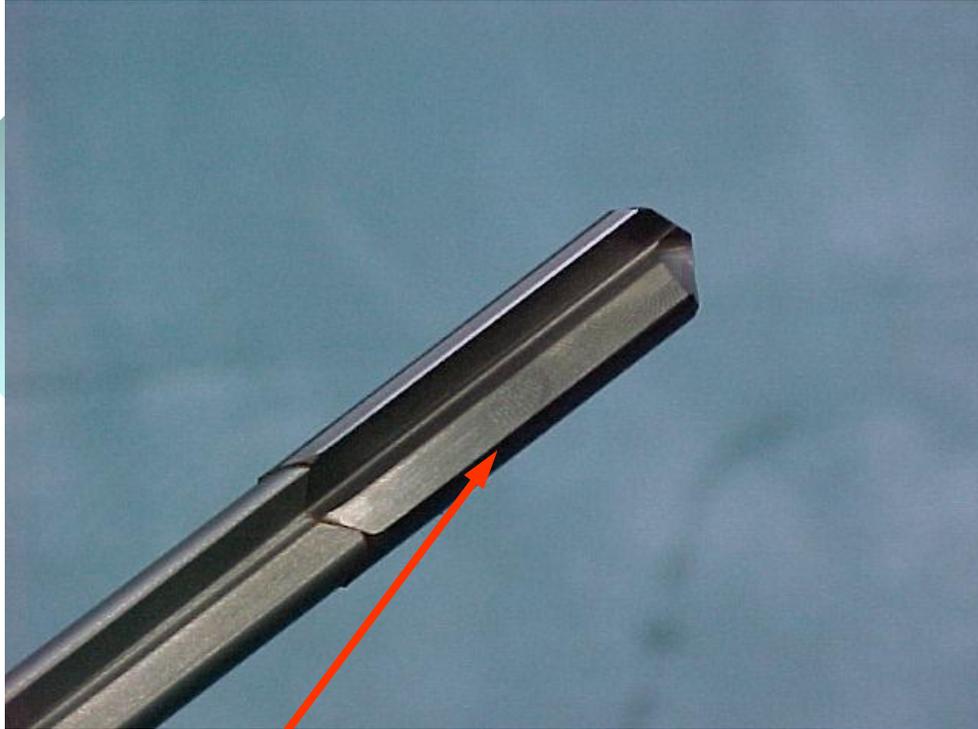
# Furação – Formas Construtivas

---

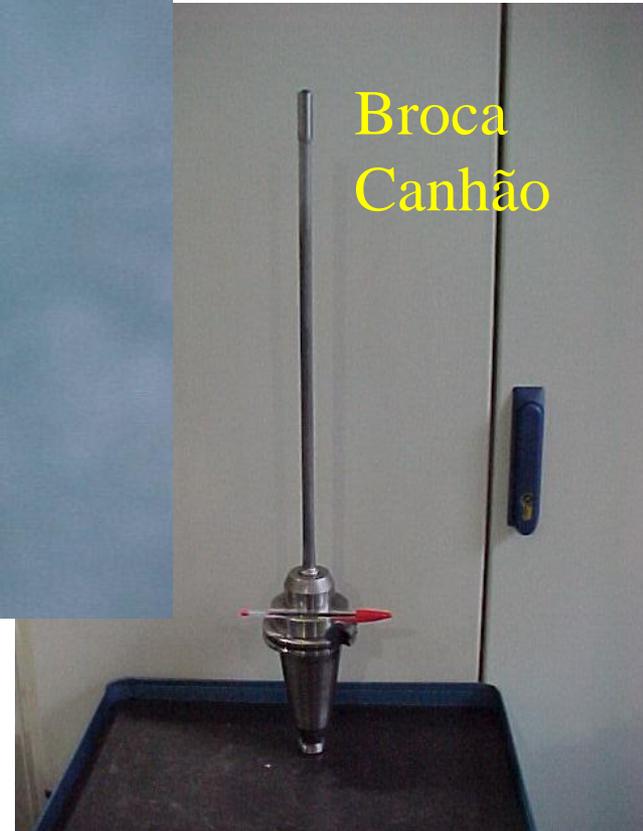
- Broca com ponta de MD soldada: para brocas com diâmetros maiores que 8mm, além das vantagens destacadas, elas ainda apresentam maior tenacidade em função da haste de aço rápido.



# Furação – Formas Construtivas

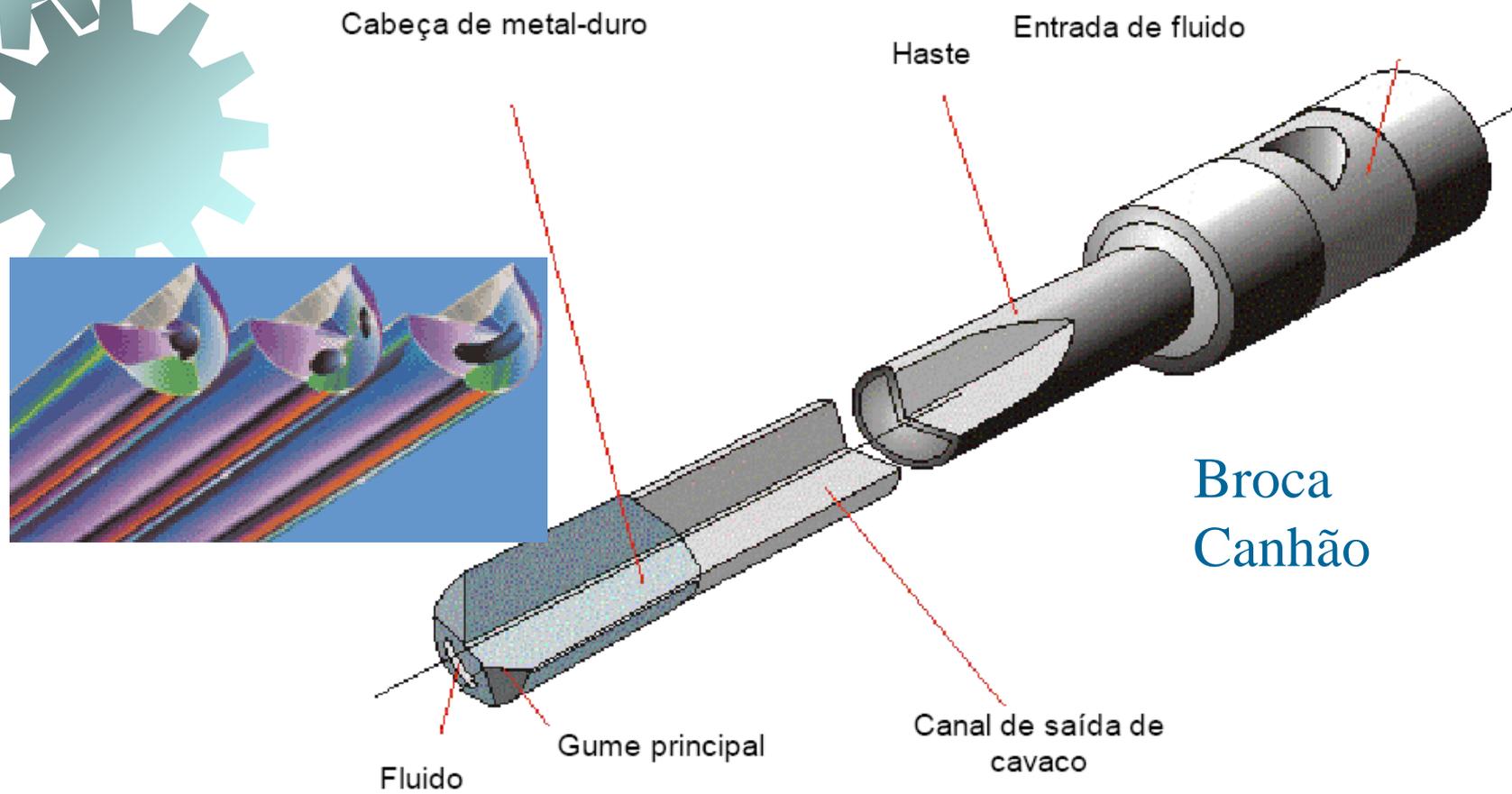


Broca com inserto DE METAL DURO  
soldado na ponta



Pressões de 6 bar ( 1 bar = 10 MPa) e volumes de fluido de 3 l/min

# Furação – Formas Construtivas



# Furação – Formas Construtivas

Broca com inserto de MD, ou PCD: usadas a partir de furos maiores que 16 mm.

- broca auto centrante devido a alma de Metal duro juntamente com dois insertos simetricamente posicionados.

- Alta tenacidade devido ao corpo de HSS – com centro em MD



Barra com porta  
inserto

# Furação – Formas Construtivas



Broca com inserto intercambiável

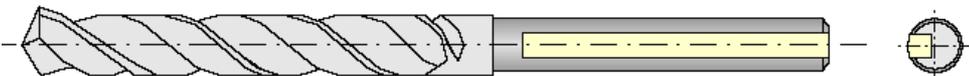
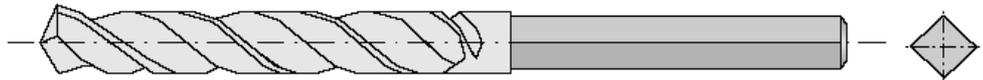
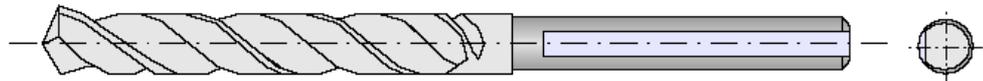


# Furação – Formas Construtivas

## Fixação de ferramentas na furação

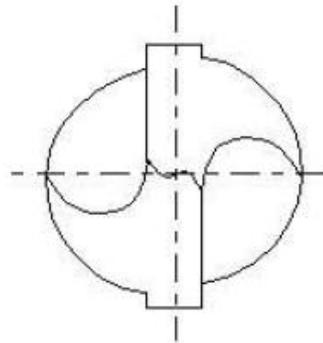
Brocas com variações nas haste retas, tais como:

- ferramentas com haste aplainada (chanfrada),
- em meia-cana,
- quadrada,
- roscas,
- entalhes
- Luvas e buchas

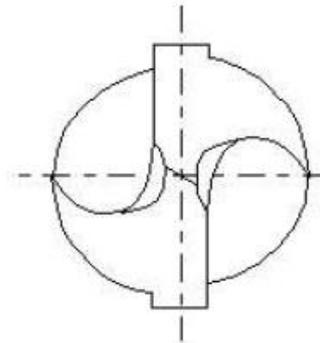


# Construção de Broca- Afição

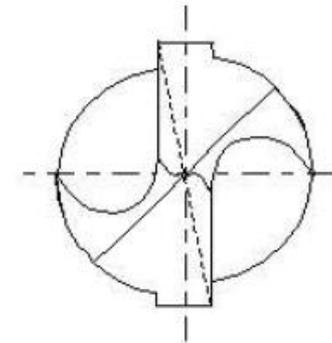
Existem aproximadamente 150 formas de afiações e uma série de perfis específicos



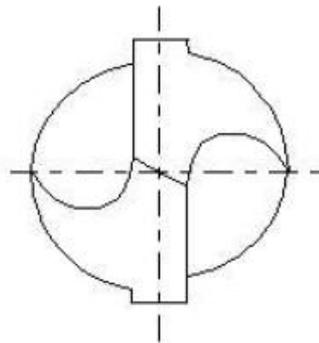
Afição padrão  
- ponta esférica -



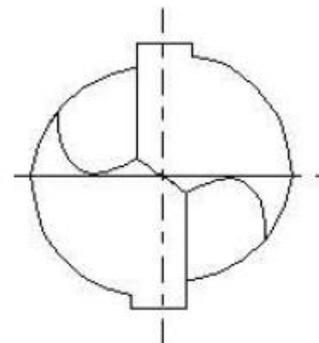
Afição gume transversal



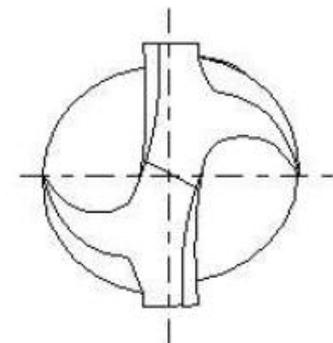
Afição gume transversal  
com correção do ângulo  
de saída



Afição padrão



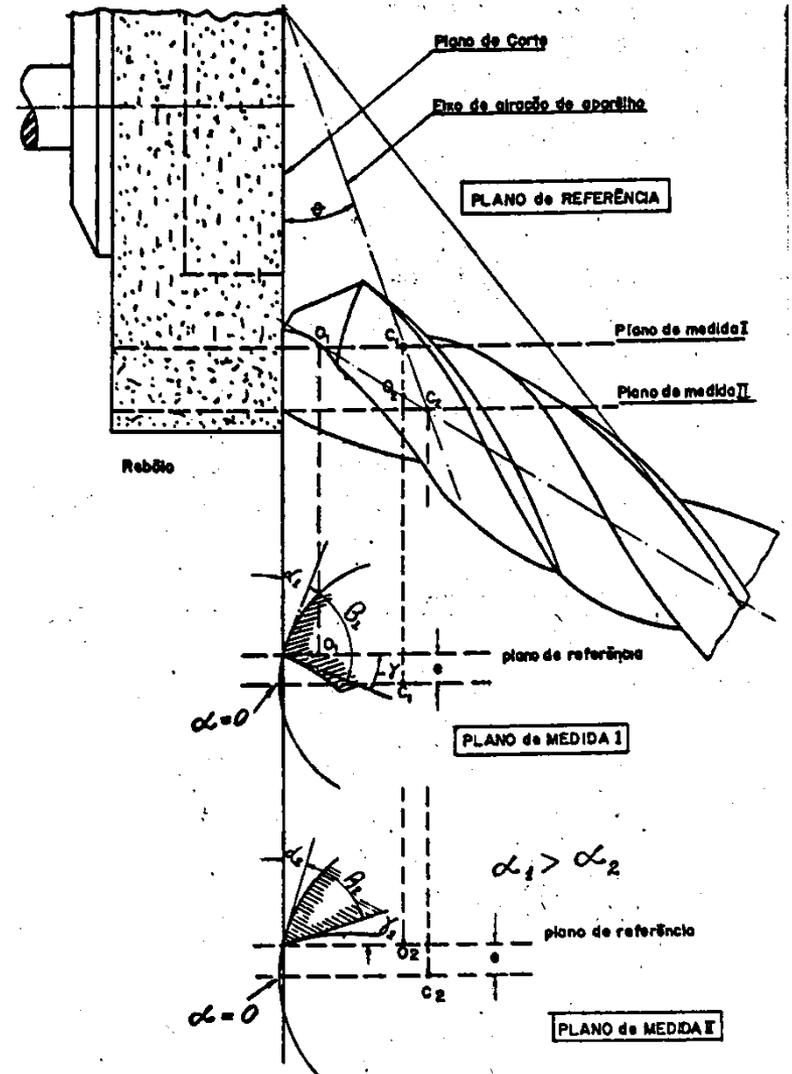
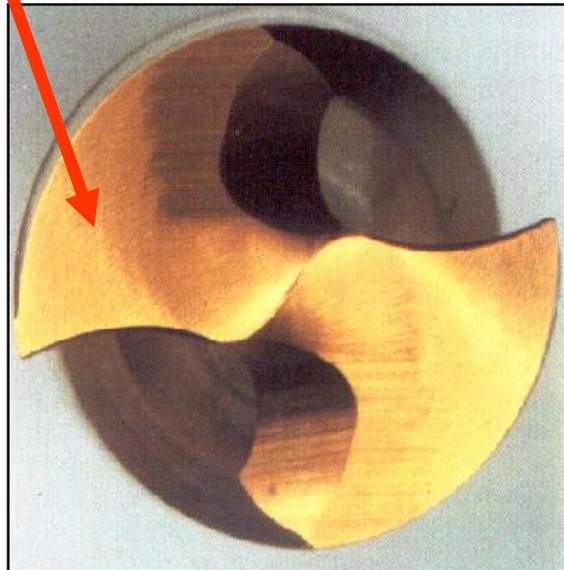
Afição cruzada



Afição gume transversal  
com quinas faceadas

# Construção de Broca- Afição

A afiação é feita somente na superfície de folga



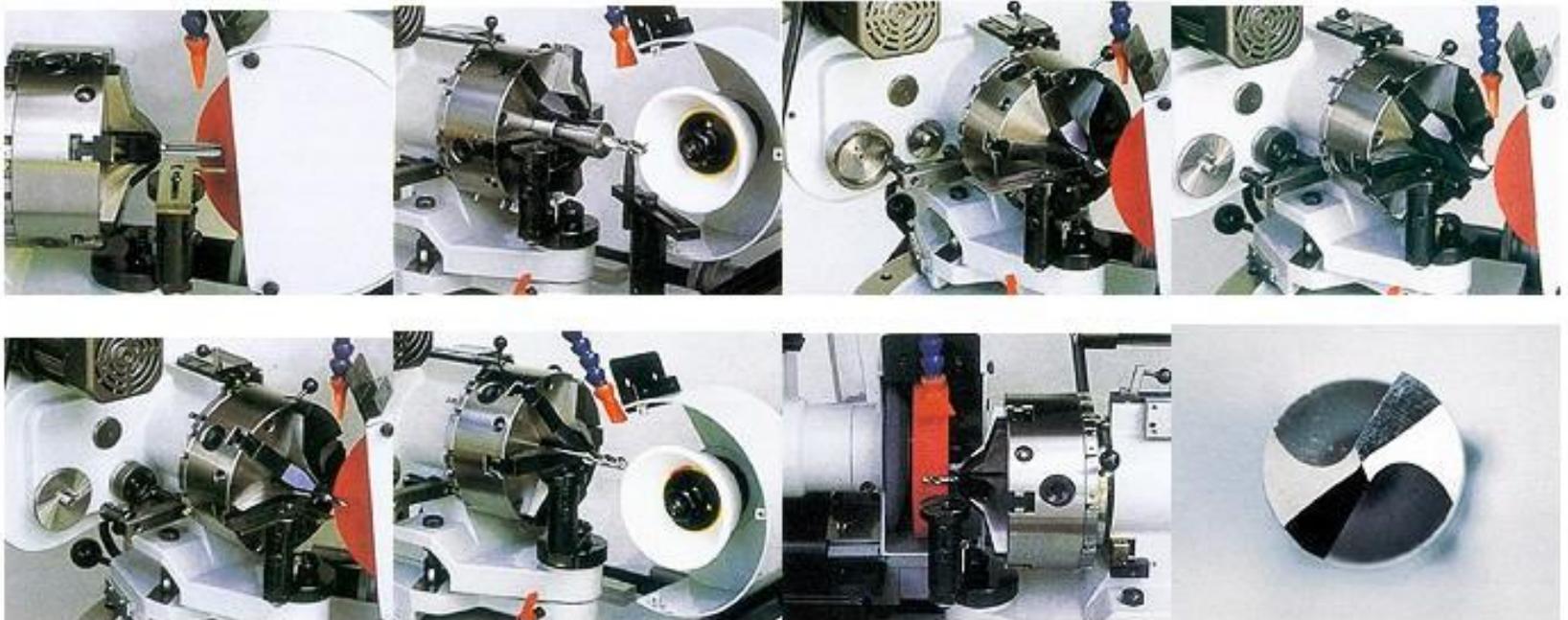
# AFIAÇÃO DA BROCA

---

## Afiadora Universal de BROCA



# AFIAÇÃO DA BROCA



# AFIAÇÃO DA BROCA



## Afiadora 5 eixos CNC



切削錐

雙平面鑽尖

銑刀端齒

銅板鑽

球頭銑刀

錐面鑽尖

階梯鑽



# Furação

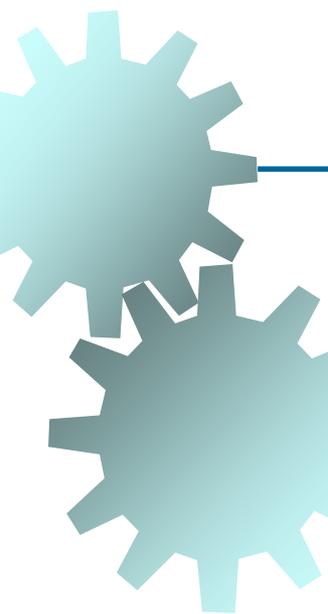
---

## **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**



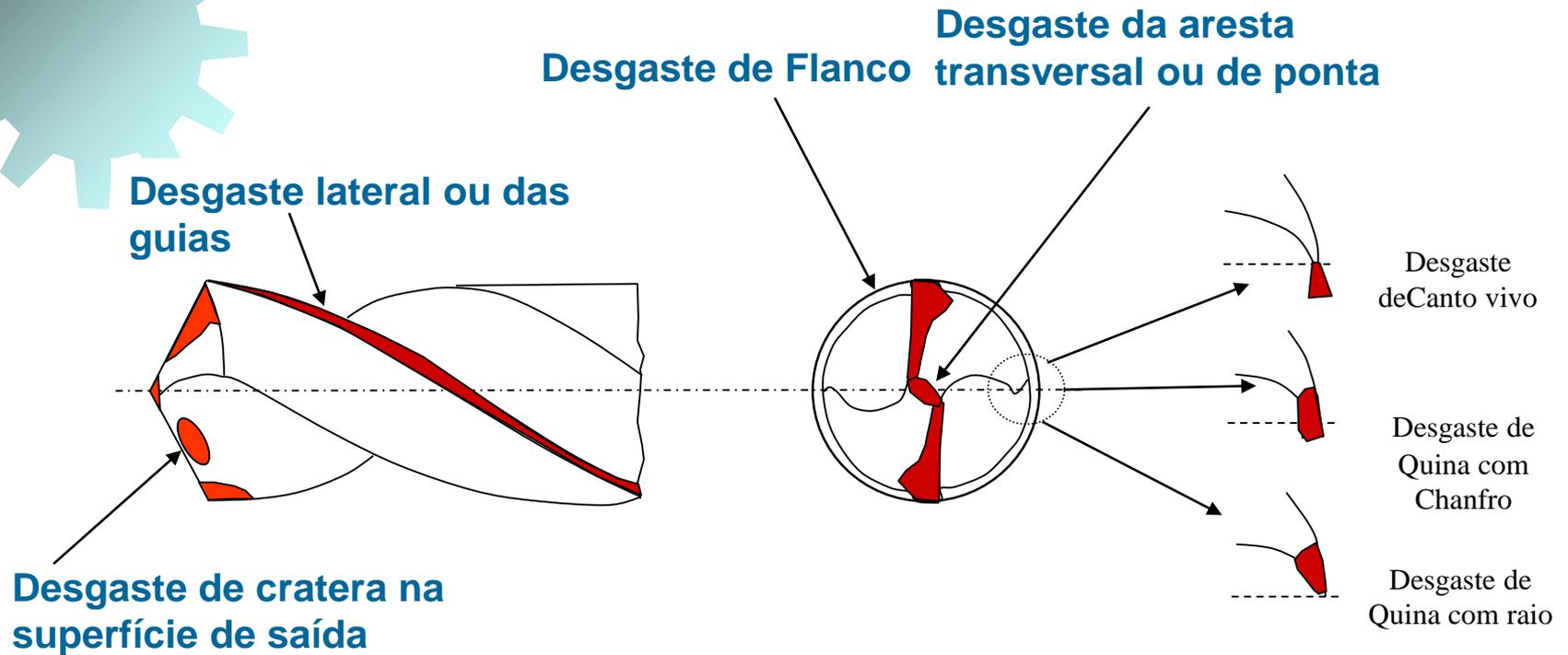
# Desgaste e avarias de Brocas

---

## Tipos de Desgaste e Avarias em Broca Helicoidais

- **Desgaste de flanco ( $V_B$ )** - baixa qualidade, imprecisão e aumento do atrito
- **Desgaste nas guias** - não gera aumento no momento
- **Desgaste da aresta transversal** - arredondamento e possível lascamento das zonas de transição
- **Desgaste de cratera** - remoção de material por abrasão e difusão
- **Aresta postiça** - adesão do material da peça encruado na ferramenta
- **Fratura** - fim catastrófico

# Desgaste e avarias de Brocas





# Critérios de fim de vida em Brocas

---

## **Critérios de fim de vida utilizados na prática**

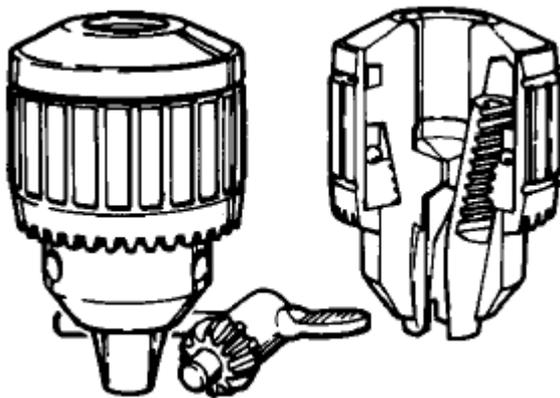
- **Tempo de máquina**
- **Tempo efetivo de corte**
- **Volume de metal removido**
- **Número de peças usinadas**

# Furação – Fixação de Broca

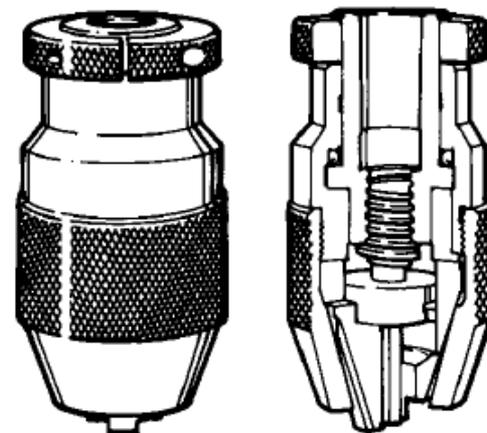
Fixação de ferramentas na furação de brocas com haste cilíndricas

Mandril:

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



3 Castanhas



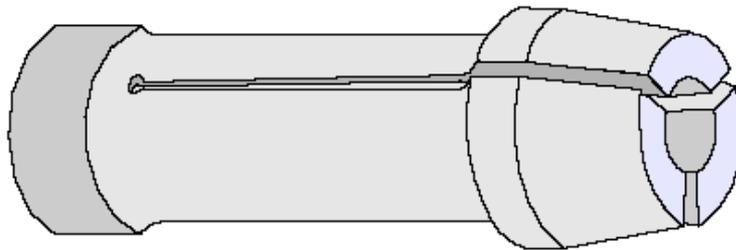
Aperto Manual

# Furação – Fixação de Broca

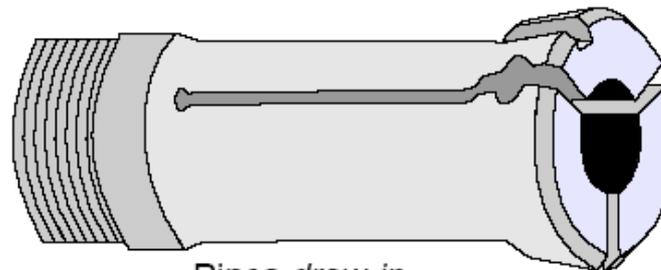
## Pinças



pinça estacionária



Pinça *push out*



Pinça *draw-in*



# Furação

---

## **Fatores que influenciam a qualidade e precisão do furo:**

- Processo
- Material da Peça
- Ferramenta
- Máquina
- Parâmetros
- Rigidez do sistema de fixação

# Furação

## Precisão média de furos produzidos com brocas helicoidais

<i>Diâmetro do furo</i>		<b>3 - 6</b>		<b>6 - 19</b>		<b>19 - 38</b>	
condição	Erro [mm]	tamanho	posição	tamanho	posição	tamanho	posição
Sem furo de centro e sem bucha		0,08	0,18	0,15	0,20	0,20	0,23
Com furo de centro e sem bucha		0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,13
Com bucha		0,05	0,05	0,08	0,05	0,10	0,08

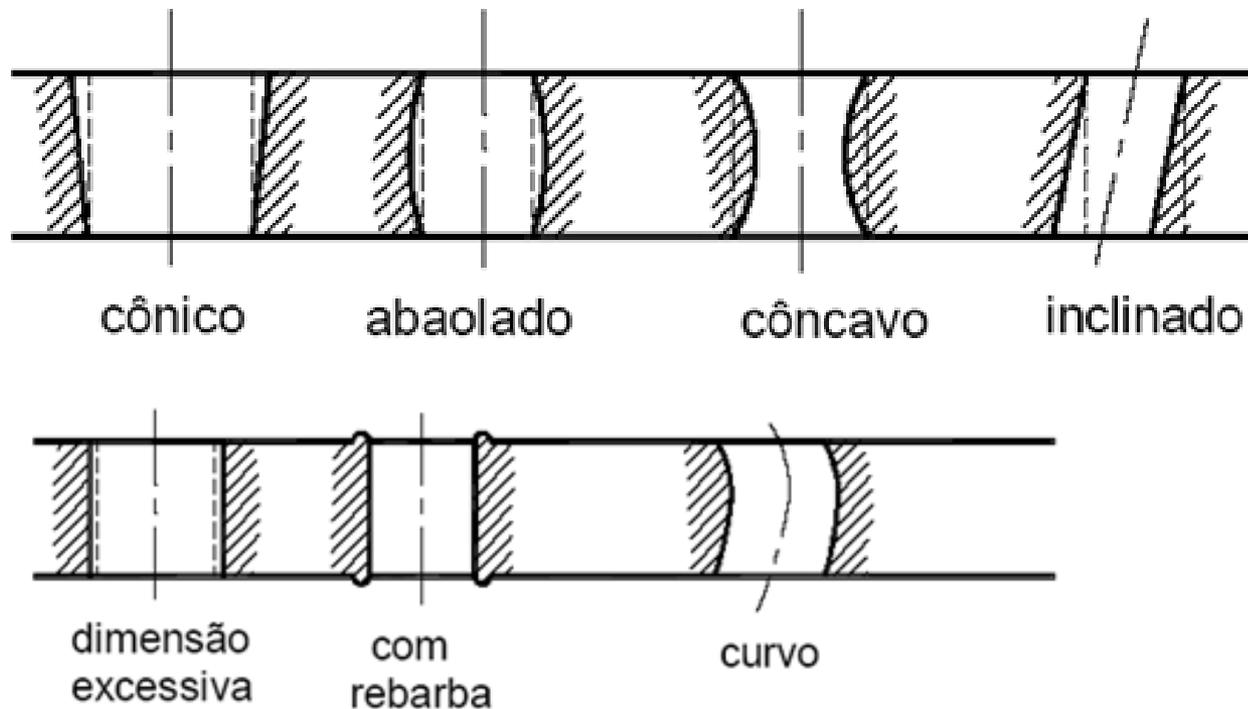


<https://www.youtube.com/watch?v=Vh9XfaouOf4>

# Furação

## Erros comuns na geometria do furo

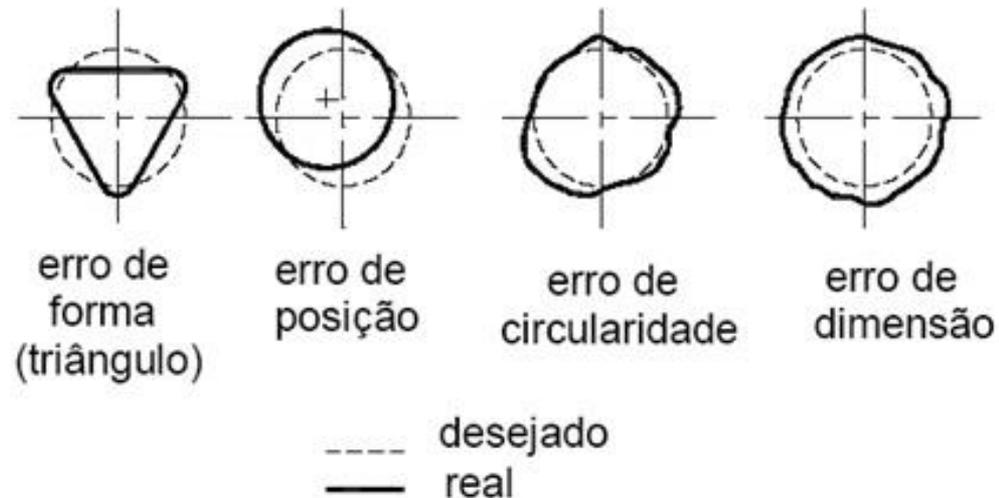
- Erros de forma: diâmetro não uniforme
- Rebarba: rebarba na entrada ou saída do furo



# Furação

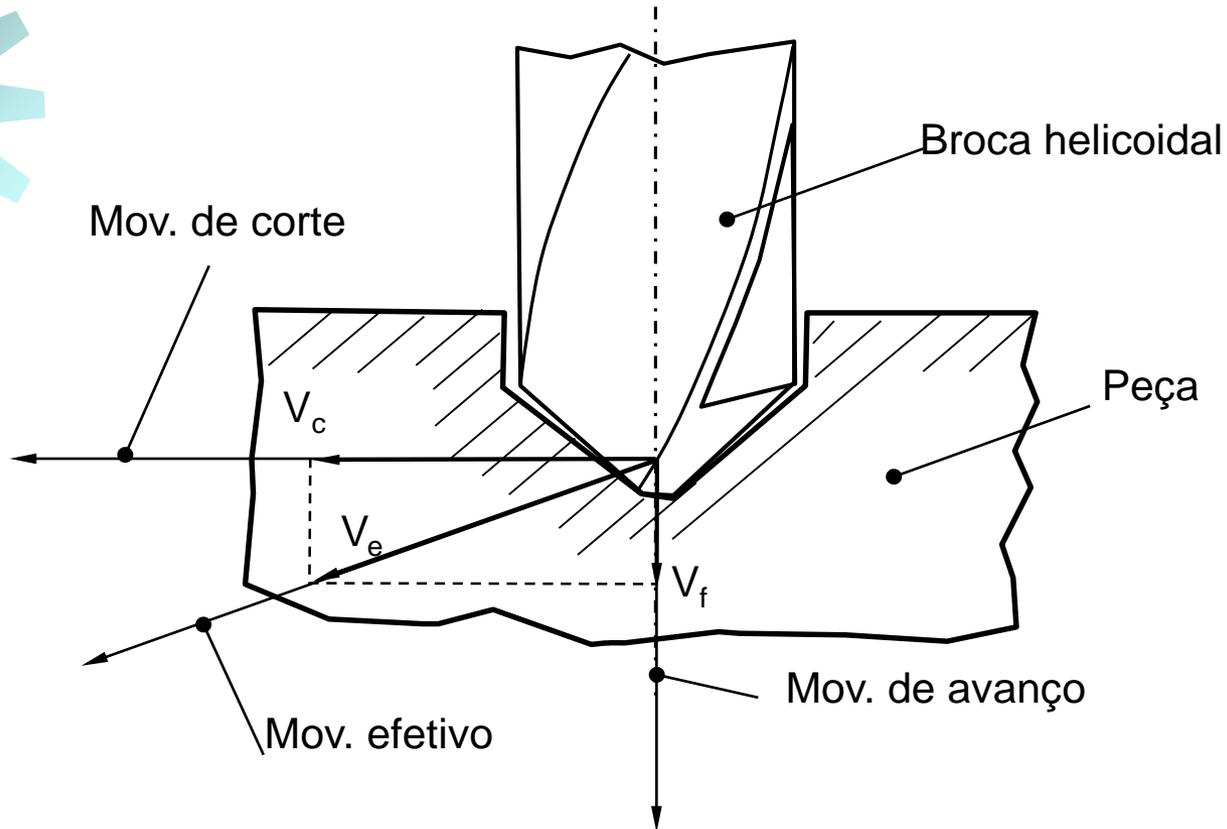
## Erros comuns na geometria do furo

- Erros de posicionamento: deslocamento do centro do furo
- Erros de circularidade: seção circular distorcida
- Erros de dimensão: diâmetro resultante diferente da broca

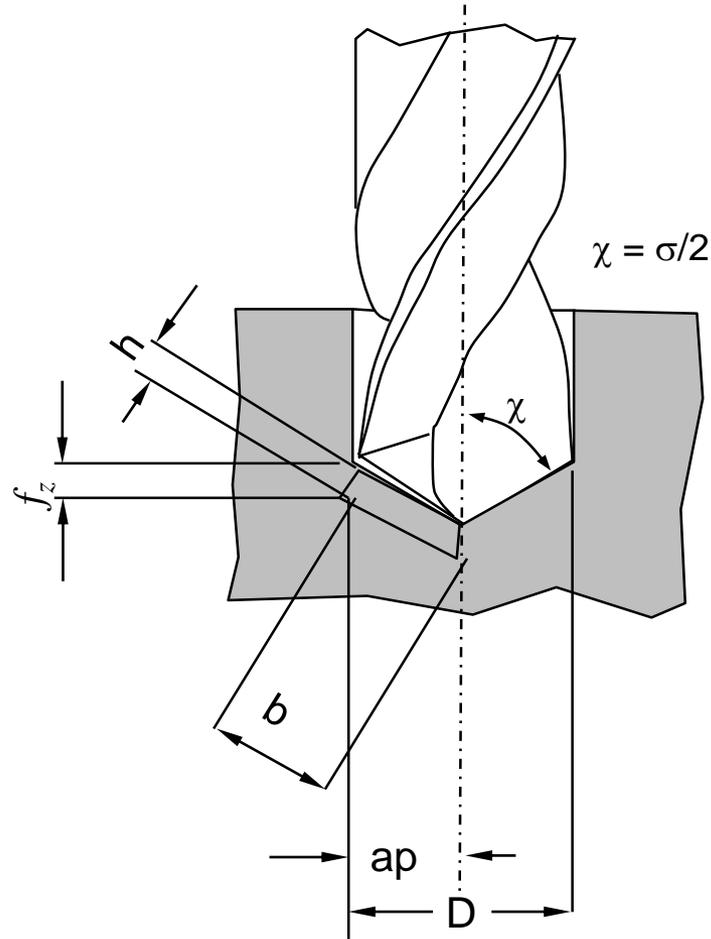


# Cinemática do Processo

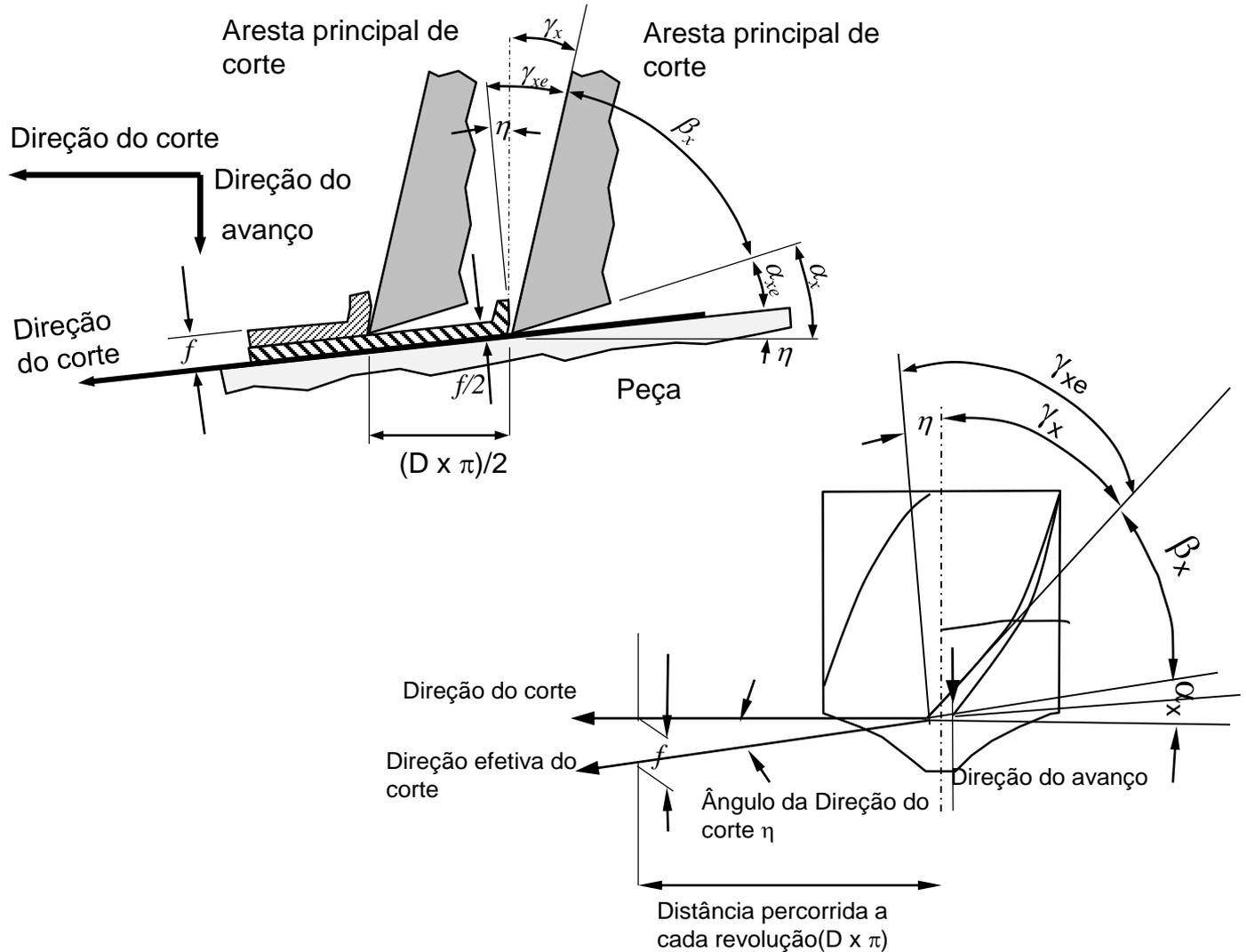
## Cinemática do Processo



# Cinemática do Processo



# Cinemática do Processo



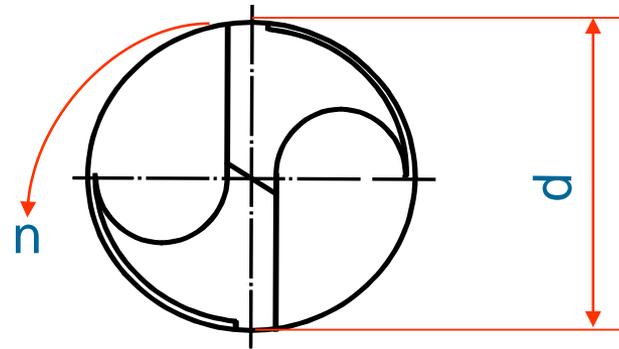
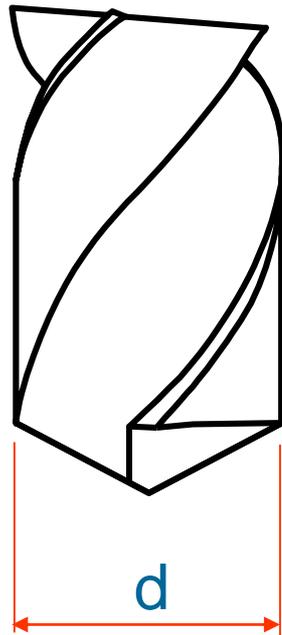
# Cinemática do Processo

Velocidade de corte na furação é definida como a velocidade periférica da broca

Fórmulas:

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

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



Onde:

$V_c$  = Velocidade de corte (m/min)

$n$  = Rotações por minuto (rpm)

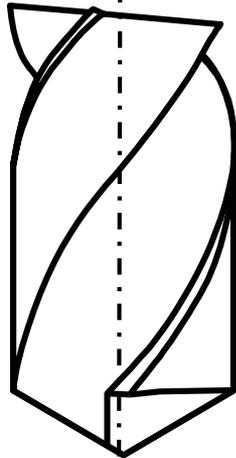
$d$  = Diâmetro da broca (mm)

$\pi$  = Constante (3,1416)

# Cinemática do processo

“Velocidade de avanço na furação é definida como a velocidade de penetração da da broca”

$$v_f = f \times n$$

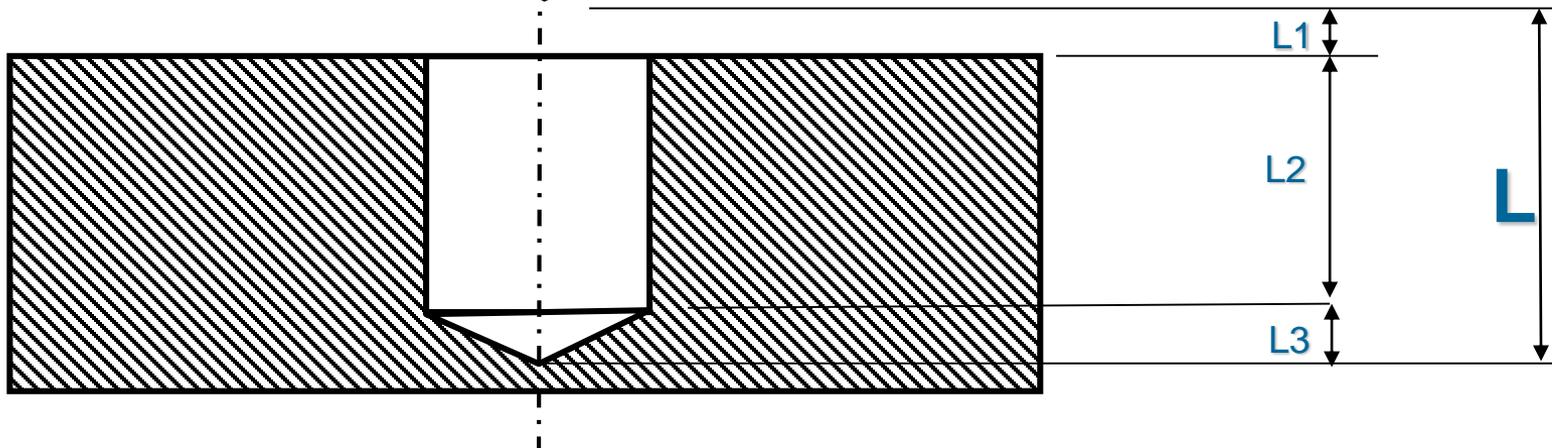


Onde:

$v_f$  = Velocidade de avanço (mm/min)

$n$  = Rotações por minuto (rpm)

$f$  = avanço da broca (mm)



# TEMPO DE FURAÇÃO

$$L = L1 + L2 + L3 + L4$$

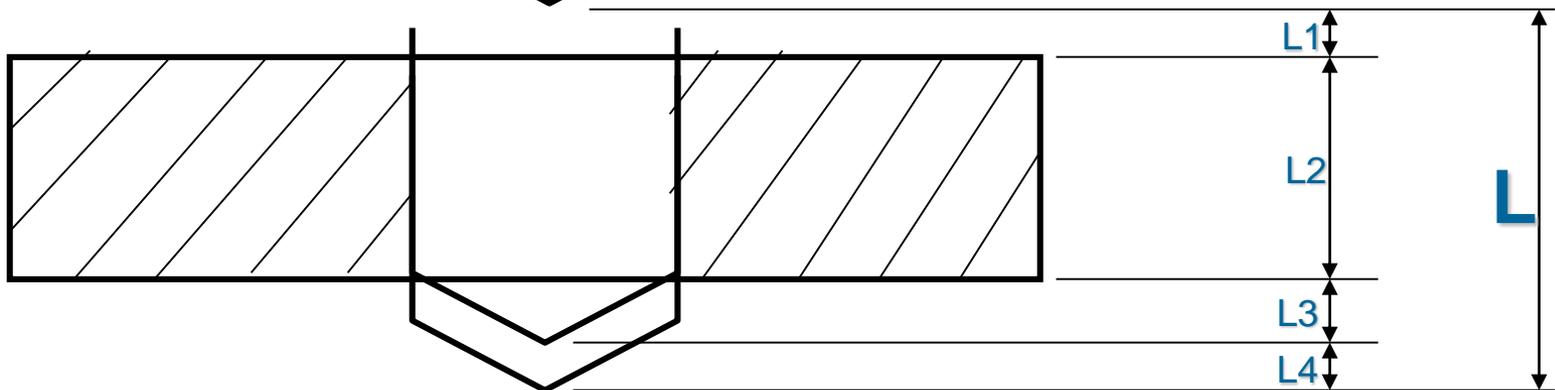
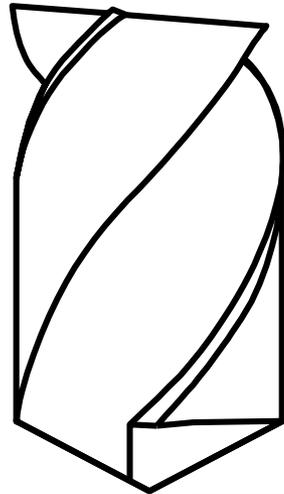
Onde:

L1 = Posicionamento

L2 = Espessura da peça

L3 = Ponta da Broca (aprox. 0,2 x Diâm.)

L4 = Espaço percorrido antes do retorno.



# TEMPO DE FURAÇÃO



Tempo de furção é o tempo gasto para a confecção de um furo.

Como o movimento de avanço é retilíneo e uniforme, vale a relação:

$$t_c = \frac{L}{V_f} = \frac{L}{f \cdot n}$$

Onde:

$L$  = Comprimento de operação (mm)

$V_f$  = Velocidade de avanço (mm/min.)

$V_f$  = avanço por rotação (mm/rot) x rotações por minuto (rpm) =  $f \times n$

# Exemplo

Diâmetro da broca = 15 mm,  $V_a = 265$  mm/min e  $\sigma = 118^\circ$

$$L_3 = R / \operatorname{tg}(\sigma/2) = 7,5 / \operatorname{tg}(118/2) = 4,5$$

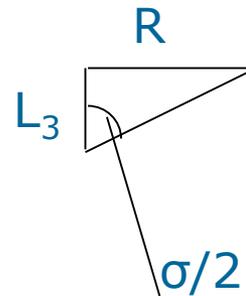
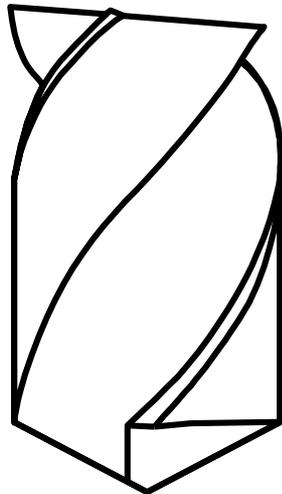
$L_1 = 3$  mm

$L_2 = 30$  mm

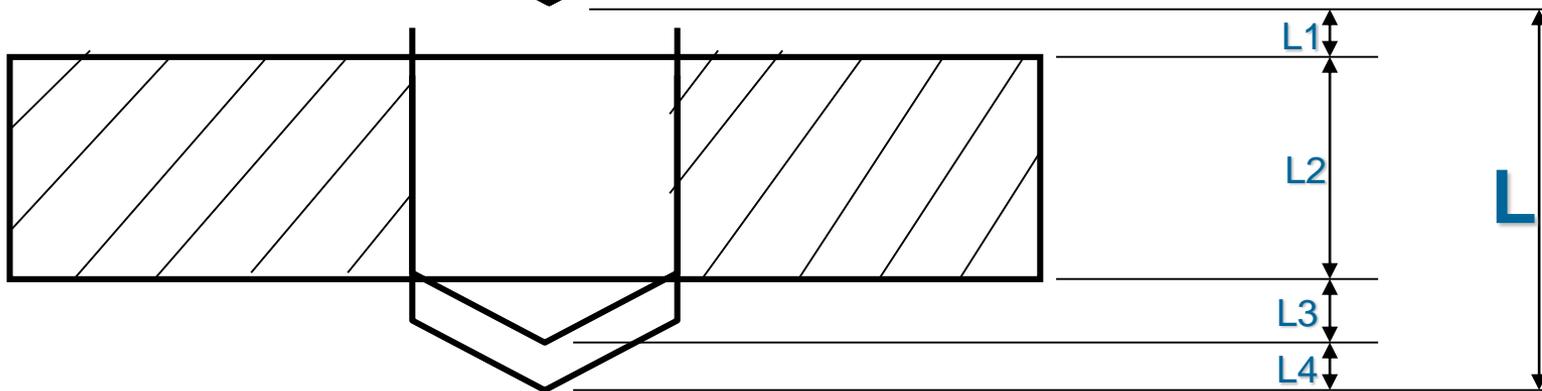
$L_3 = 4,5$  mm

$L_4 = 3$  mm

$L = 40,5$  mm



$$T_c = \frac{L}{V_a} = \frac{40,5}{265} = 0,153 \text{ min}$$



### Resistências ao corte na furação:

- ➔ Resistência devido ao corte do material nas duas arestas principais de corte ( $M_{ta}$  e  $F_{aa}$ )
- ➔ Resistência devido ao corte e extrusão do material na aresta transversal de corte ( $M_{tb}$  e  $F_{ab}$ )
- ➔ Atrito nas guias e atrito entre a superfície de saída da broca e o cavaco ( $M_{tc}$  e  $F_{ac}$ )

## Sistema de Forças

---


$$M = M_{ta} + M_{tb} + M_{tc}$$

MOMENTO TORÇÃO

$$F_a = F_{aa} + F_{ab} + F_{ac}$$

FORÇA DE AVANÇO



# Sistema de Forças - Contribuição

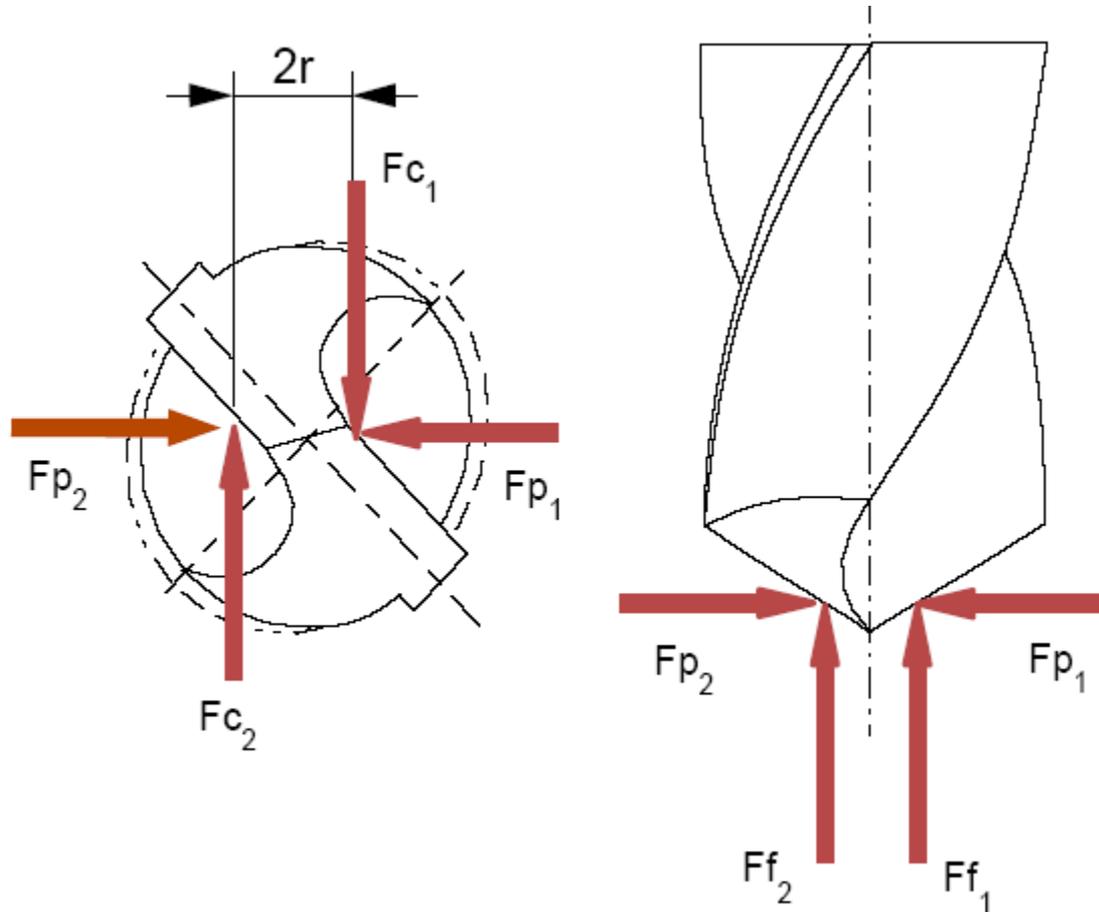
---

	ARESTAS PRINCIPAIS	ARESTA TRANSVERSAL	ATRITO
MOMENTO $M_t$	77 – 90%	3 – 10%	3 – 13%
FORÇA DE AVANÇO $F_a$	39 – 59%	40 – 58%	2 – 5%

---

# Furação

## Sistema de Forças em Broca Helicoidais

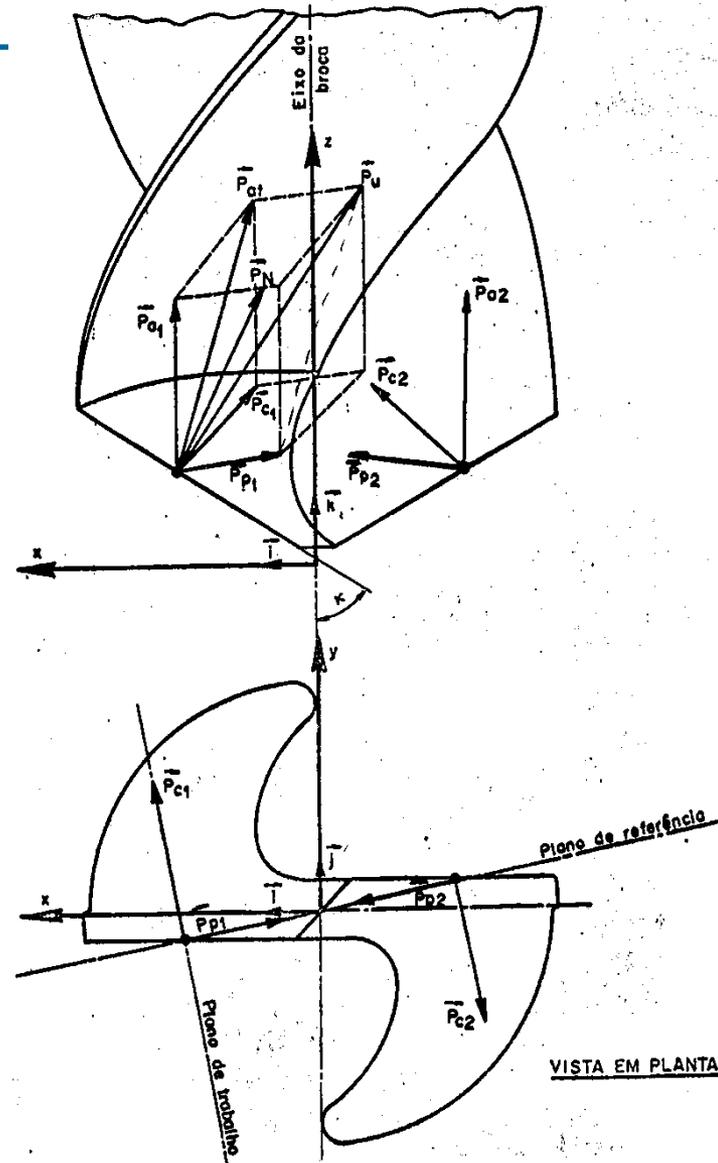


# Furação

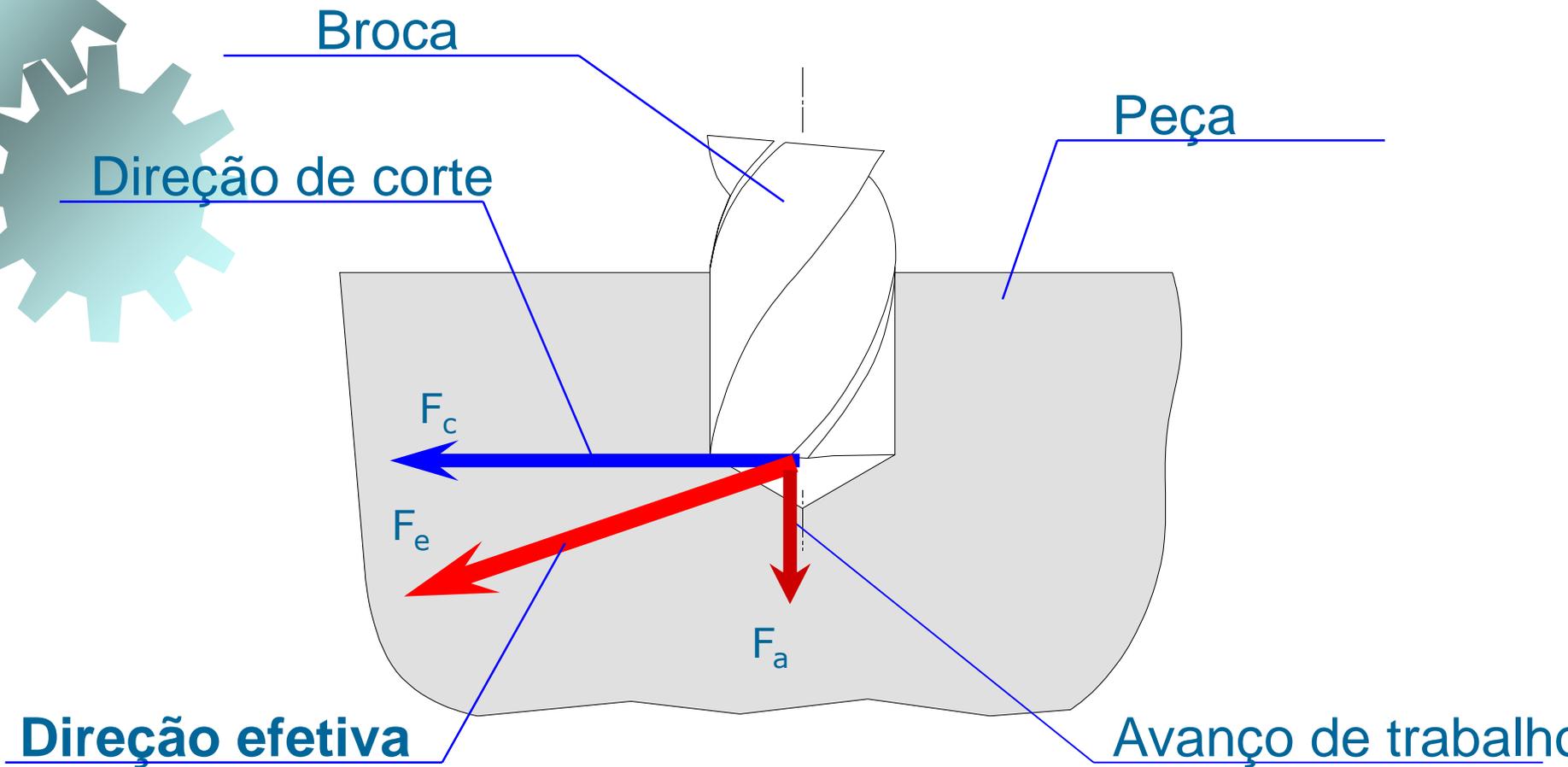
## Sistema de Forças

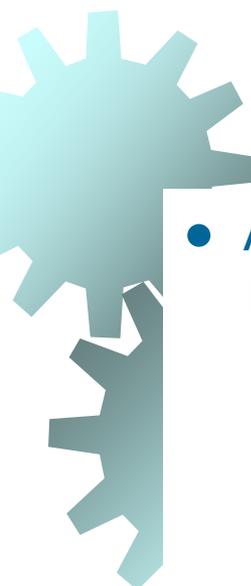
$F_c$  = Força de corte

$F_a$  = Força de avanço



# Sistema de Forças em Broca Helicoidais

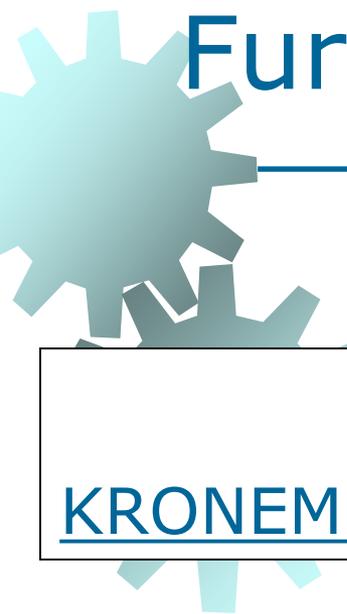




# Sistema de Forças em Broca Helicoidais

---

- As forças também podem ser determinadas através de equações. Essas dependem basicamente do:
  - a) diâmetro da broca ( $a_p$ ),
  - b) do avanço ( $f = f_z \times Z$ ) e;
  - c) do material da peça ( $k_{s1}$ ).
- Também contribuem as características do tipo de broca ou condições externas que exercem influência secundária sob a determinação destas constantes, como:
  - a) ângulo de ponta ( $\chi = \sigma/2$ ),
  - b) ângulo de hélice ( $\gamma$ ),
  - c) qualidade da afiação da ferramenta (desgaste) e,
  - d) fluido de corte empregado.



# Furação – Momento de Torção

---

KRONEMBERG:

$$M_t = C_1 \cdot D^x \cdot f^y$$

SHAW E OXFORD:

$$M_t = 0,087 \cdot HB \cdot f^{0,8} \cdot D^{1,8}$$

KIENZLE:

$$M_t = K_{s1} b h^{1-z} D/2$$



# Furação

---

## Sistema de Forças em Broca Helicoidais

- Formula de Kronenberg para a determinação do Momento de Torsão na furação em cheio

$$M_t = C_1 \cdot D^{x_1} \cdot f^{y_1}$$

$D$  = Diâmetro da Broca [mm]

$f$  = avanço [mm/volta]

$C_1$ ,  $x_1$  e  $y_1$  = constantes empíricas do material da peça.

# Furação

## Sistema de Forças em Broca Helicoidais

$$M_t = C_1 \cdot D^{x1} \cdot f^{y1}$$

<i>Aço</i>	<i>C1</i>	<i>x1</i>	<i>y1</i>
<b>1085</b>	30,2 ± 0,5	2,05	0,86
<b>1020</b>	15,1 ± 0,4	2,22	0,76
<b>1065</b>	24,3 ± 0,9	2,05	0,83
<b>1055</b>	21,9 ± 0,3	2,01	0,77
<b>1025</b>	37,9 ± 0,6	1,87	0,77
<b>52100</b>	46,8 ± 0,9	1,97	0,77
<b>VM20</b>	48,6 ± 1,2	1,77	0,72
<b>VND</b>	26,2 ± 0,8	2,13	0,78
<b>VS60</b>	10,9 ± 0,8	2,33	0,70

# Furação

Formula de H. Daar para a determinação do da força de avanço na furação em cheio

$$F_f = C_2 \cdot D^{x2} \cdot f^{y2}$$

<i>Aço</i>	<i>C2</i>	<i>x2</i>	<i>y2</i>
<b>1085</b>	161 ± 8	1,02	0,79
<b>1020</b>	32,5 ± 0,4	1,32	0,65
<b>1065</b>	49,6 ± 0,8	1,07	0,54
<b>1055</b>	22,0 ± 0,5	1,32	0,54
<b>1025</b>	33,4 ± 0,8	1,21	0,60
<b>52100</b>	41,9 ± 0,8	1,41	0,66
<b>VM20</b>	27,3 ± 0,6	1,3	0,59
<b>VND</b>	55,1 ± 1,4	1,29	0,72
<b>VS60</b>	42,7 ± 1,0	1,35	0,70

# Furação – Parâmetros Kienzle



Furação em cheio

Barra nº	Aço ABNT/SAE ou Villares	$\sigma_r$ kgf/mm <sup>2</sup>	Pressão unitária de corte kgf/mm <sup>2</sup>		(1-z)
			média $\bar{k}_{s1}$	Lim.sup.95% $k_{s1}$	
10	1085	88,5	245 ± 5	270	0,86 ± 0,04
13	1020	38,5	191 ± 7	234	0,77 ± 0,08
31	1065	83,2	200 ± 7	243	0,84 ± 0,07
32	1055	78,3	148 ± 2	160	0,77 ± 0,03
37	1025	45,0	158 ± 3	177	0,75 ± 0,04
8	52100	64,0	281 ± 6	313	0,77 ± 0,05
46	VM20	64,9	154 ± 6	186	0,72 ± 0,07
47	VND	74,4	240 ± 8	288	0,76 ± 0,08
48	VS60	96,0	154 ± 11	220	0,68 ± 0,17
49	VW 3	71,7	250 ± 8	300	0,81 ± 0,07
50	VMO	73,0	284 ± 7	326	0,87 ± 0,05
51	VCO	82,6	347 ± 8	391	0,92 ± 0,05



# Exemplo

---

Broca de Aço Rápido de diâmetro igual a 15 mm

Condições de corte:  $v_c = 25$  m/min e  $f = 0,5$  mm/rev

Material da peça : Aço ABNT 1020

Profundidade do furo (passante) = 30 mm

**Calcular  $M_t$ ,  $P_c$  e  $F_a$**

Segundo Kronenberg:  $M_t = C_1 \cdot D^x \cdot a^y$

Da tabela V:  $C_1 = 15,1$ ;  $x = 2,22$  e  $y = 0,76$

$$M_t = 15,1 \cdot (15)^{2,22} \cdot (0,5)^{0,76} = 3640 \text{ Kgf} \cdot \text{m}$$

$$P_c = \frac{2M_t V_c}{60 \times 75 \times D} = \frac{2 \times 3640 \times 25}{60 \times 75 \times 15} = 2,7 \text{ CV}$$



# Exemplo

---

Broca de Aço Rápido de diâmetro igual a 15 mm

Condições de corte:  $V_c = 25$  m/min e  $f = 0,5$  mm/rev

Material da peça : Aço ABNT 1020

Profundidade do furo (passante) = 30 mm

**Calcular  $M_t$ ,  $P_c$  e  $F_a$**

Cálculo de  $F_a$

Segundo H. Daar:  $F_a = C_2 \cdot D^{x_2} \cdot f^{y_2}$

Da tabela VIII:  $C_2 = 32,5$ ;  $x = 1,32$  e  $y = 0,65$

$$F_a = 32,5 \cdot (15)^{1,32} \cdot (0,5)^{0,65} = 739 \text{ Kgf}$$



# Exemplo

---

**SEGUNDO A  
KENNAMETAL**

# Exemplo - Kenametal



Potência de Acionamento:

$$P_c = \frac{z * d^2 * \pi * n * k_{c1.1} * (f / z)^{(1-mc)}}{240.000.000} \quad (\text{kW})$$

Onde:

Z = número de cortes da broca (para brocas c/ insertos interc. Z = 1)

d = diâmetro da broca

n = rotação da broca ou peça

$k_{c1.1}$  = força específica de corte (tabela)

f = avanço por volta

1-mc = constante (tabela)



# Exemplo

---

## Torque ou Momento de Torsão:

$$M_t = z * (d^2 / 8) * k_{c1.1} * (f / z)^{(1-mc)} \quad (\text{Nm})$$

Onde:

$Z$  = número de cortes da broca (brocas c/ insertos interc. = 1)

$d$  = diâmetro da broca

$k_{c1.1}$  = força específica de corte (tabela)

$f$  = avanço por volta

$1-mc$  = constante (tabela)



# Exemplo

---

## Força de Avanço:

$$F_a = z * d / 2 * k_{f1.1} ( f / z )^{(1 - mf)} \quad (\text{N})$$

Onde:

Z = número de cortes da broca (para brocas c/ insertos interc. Z = 1)

d = diâmetro da broca

$k_{f1.1}$  = força específica de avanço (tabela)

f = avanço por volta

1-mf = constante (tabela)

# Exemplo

Material Grupo No.	Forças de Corte p/ Brocas c/ Insertos Intercamb.				Forças de Corte p/ Brocas Inteiriças de M. Duro			
	kc1.1	1-mc	kf 1.1	1-mf	kc1.1	1-mc	kf 1.1	1-mf
1.1	1,361	0.832	303	0.379	1,537	0.773	531	0.568
1.2	1,268	0.885	265	0.573	1,433	0.823	464	0.859
2.1	1,495	0.724	352	0.257	1,690	0.673	617	0.386
2.2	1,431	0.827	227	0.345	1,616	0.769	396	0.517
3	1,596	0.757	324	0.262	1,803	0.704	566	0.393
4	1,573	0.754	302	0.246	1,778	0.701	529	0.369
5	1,662	0.767	337	0.288	1,878	0.713	590	0.432
6	1,518	0.747	350	0.307	1,746	0.777	699	0.553
7	1,630	0.765	335	0.315	1,842	0.734	670	0.568
8	1,626	0.781	285	0.288	1,837	0.750	570	0.518
9	1,726	0.781	320	0.328	1,657	0.718	640	0.590
10	1,654	0.714	352	0.340	1,588	0.657	704	0.612
11	1,972	0.792	503	0.601	1,893	0.728	1,006	1.082
12	1,445	0.728	333	0.276	1,387	0.670	666	0.496
13	1,699	0.823	339	0.380	1,631	0.757	678	0.684
14.1	1,437	0.736	403	0.371	2,106	0.801	986	0.612
14.2	1,477	0.685	292	0.174	2,156	0.685	642	0.304
15	826	0.668	224	0.371	1,033	0.768	525	0.501
16	899	0.586	170	0.087	1,159	0.762	861	0.593
17	1,026	0.749	316	0.496	1,330	0.847	970	0.974
18	1,026	0.699	316	0.446	1,252	0.731	650	0.650
22	549	0.739	91	0.495	745	0.714	349	0.461
23	477	0.756	63	0.235	956	0.989	569	0.868
25	402	0.731	52	0.264	956	0.989	569	0.868
32	1,864	0.741	485	0.403	2,274	0.748	1,067	0.705
33	2,493	0.746	958	0.523	3,041	0.753	2,108	0.914
34	2,239	0.755	445	0.347	2,732	0.763	979	0.607
37	1,456	0.839	218	0.654	585	0.414	416	0.363

# Conversão

---



Para converter:	em:	Dividir por:
kW	CV	0,7360
kW	hp	0,7463
Nm	kgfm	9,8066
Nm	libraspol.	0,1130
N	libras	4,4498

# Exemplo - Comparação



Broca de Aço Rápido de diâmetro igual a 15 mm

Condições de corte:  $V_c = 25$  m/min e  $f = 0,5$  mm/rot

Material da peça : Aço ABNT 1020

Profundidade do furo (passante) = 30 mm

**Calcular  $M_t$ ,  $P_c$  e  $F_a$**

Segundo Kennametal:  $K_{c1.1} = 1361$ ;  $1-m_c = 0,832$

$K_{f1.1} = 303$ ;  $1-m_f = 0,379$

$$M_t = 2465 \text{ Kgfm}$$

$$P_c = 1,82 \text{ CV}$$

$$F_a = 268,7 \text{ Kgf}$$

Resultados Kronenberg/Daar

$$M_t = 3640 \text{ Kgfm}$$

$$P_c = 2,7 \text{ CV}$$

$$F_a = 739 \text{ Kgf}$$

# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

---

Furadeira Manual ou Hobby



# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira de Bancada



# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

---

Furadeira e Roscadeira de Bancada de duplo fuso



# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

---

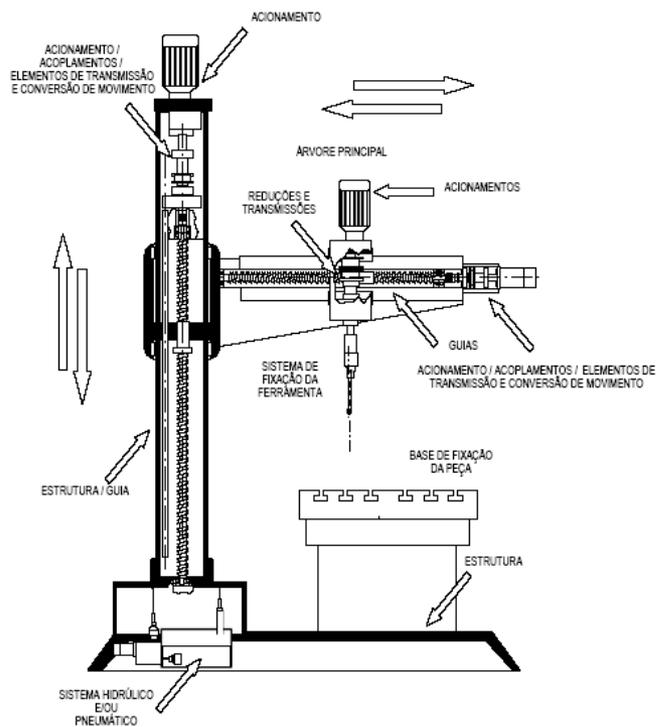
## Furadeira de Coluna



# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

## Furadeira Radial

Constituintes de uma furadeira



# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

## Furadeiras em Série (“gang drilling”)



# Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeiras em Série (“gang drilling”) com Cabeçote multifuso



Cabeçote multifuso

