



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203 - Introdução à Manufatura Mecânica

- Usinagem



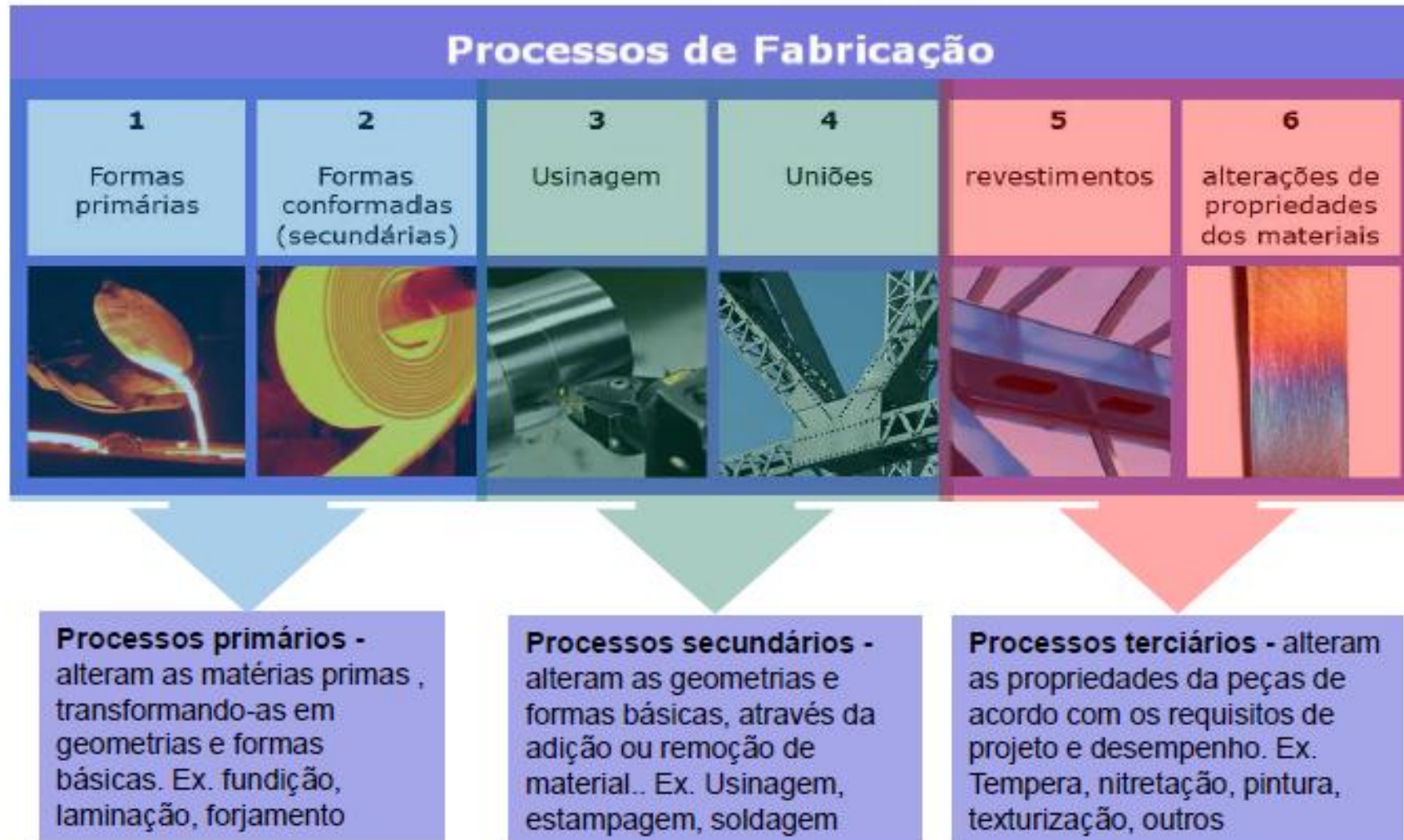
Tópicos da aula 04

✓ Fundamentos da usinagem

Torneamento



Divisão dos processos de fabricação - DIN8580 -





Introdução



Definição - segundo a norma DIN 8580, o termo usinagem aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco.



Processos de usinagem

Usinagem - operação que confere à peça forma, dimensões ou acabamento, ou ainda uma combinação qualquer desses três, através da remoção de material sob a forma de cavaco.





Processos de usinagem

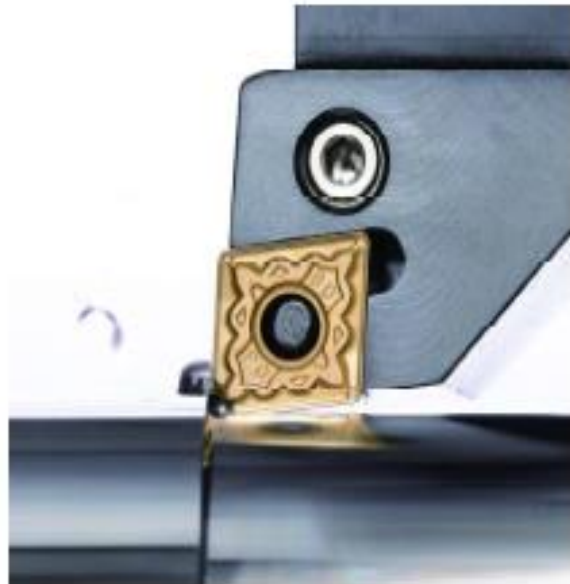
Princípio – com exceção dos processos não convencionais de usinagem, a remoção de material ocorre através da interferência entre ferramenta e peça. A ferramenta é constituída de um material de dureza e resistência muito superior ao material da peça





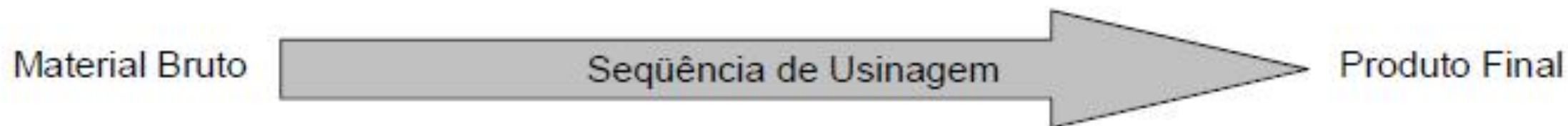
Processos de usinagem

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

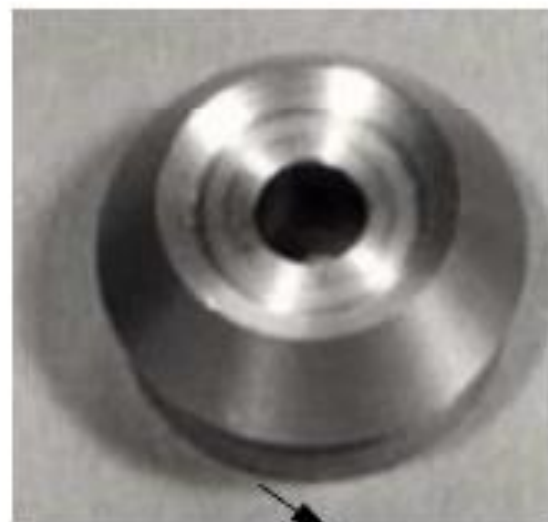




Processos de usinagem



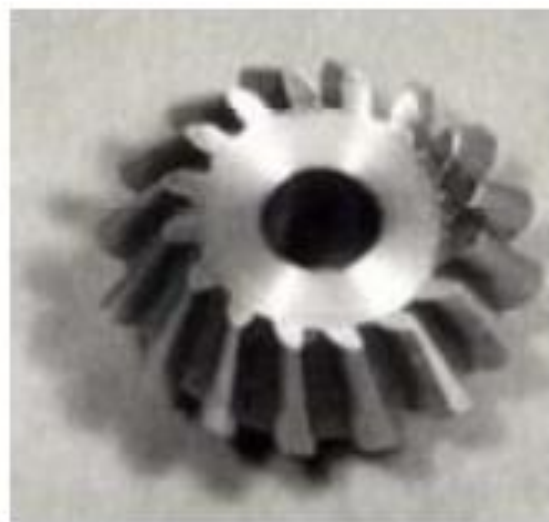
Remoção de cavaco



Remoção de cavaco



Remoção de cavaco





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Divisão dos processos de fabricação



Usinagem com
ferramentas de
Geometria definida



Usinagem com
ferramentas de
Geometria NÃO definida



Processos Não
convencionais de
usinagem





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida



Tornear



Fresar

Furar



Rosquear

Alargar

Brochar



Serrar

Plainar

outros





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem com Ferramentas de Geometria não Definida



Retificar

Brunir

Lapidar

Lixar

Polir

Jatear

Tamborear, outros





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem por Processos Não Convencionais



Remoção térmica

Remoção Química

Remoção Eletroquímica

Remoção por ultrassom

Remoção por jato d'água

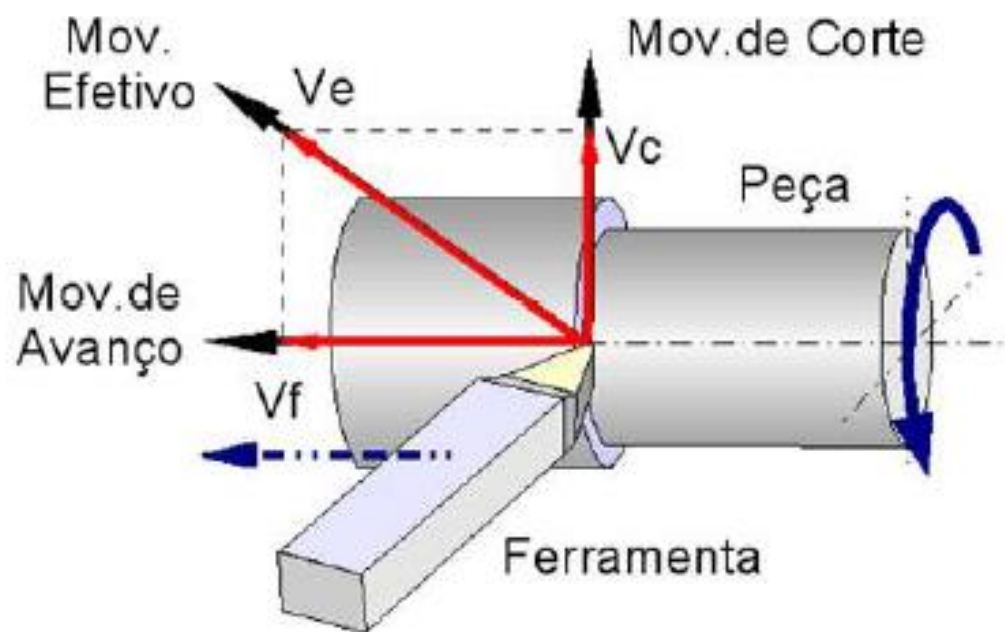
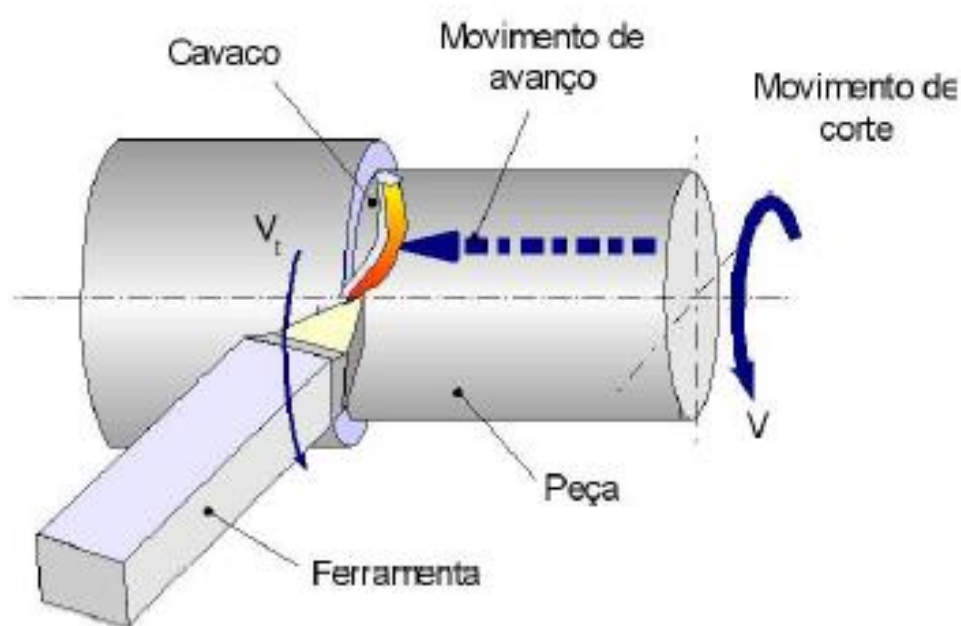
outros





Cinemática Geral dos Processos de Usinagem

Os processos de usinagem necessitam de um movimento relativo entre peça e ferramenta.





Grandezas do processo de usinagem

→ Velocidade de Corte (**V_c**)

$V_c = f$ (material peça, material ferramenta, do processo (torneamento, fresamento, retificação, etc.), da operação (desbaste ou acabamento))

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

P/ torneamento

(Eq. 1)

→ Velocidade de Avanço (**V_f**)

→ Velocidade efetiva de corte (**V_e**)



Grandezas do processo de usinagem

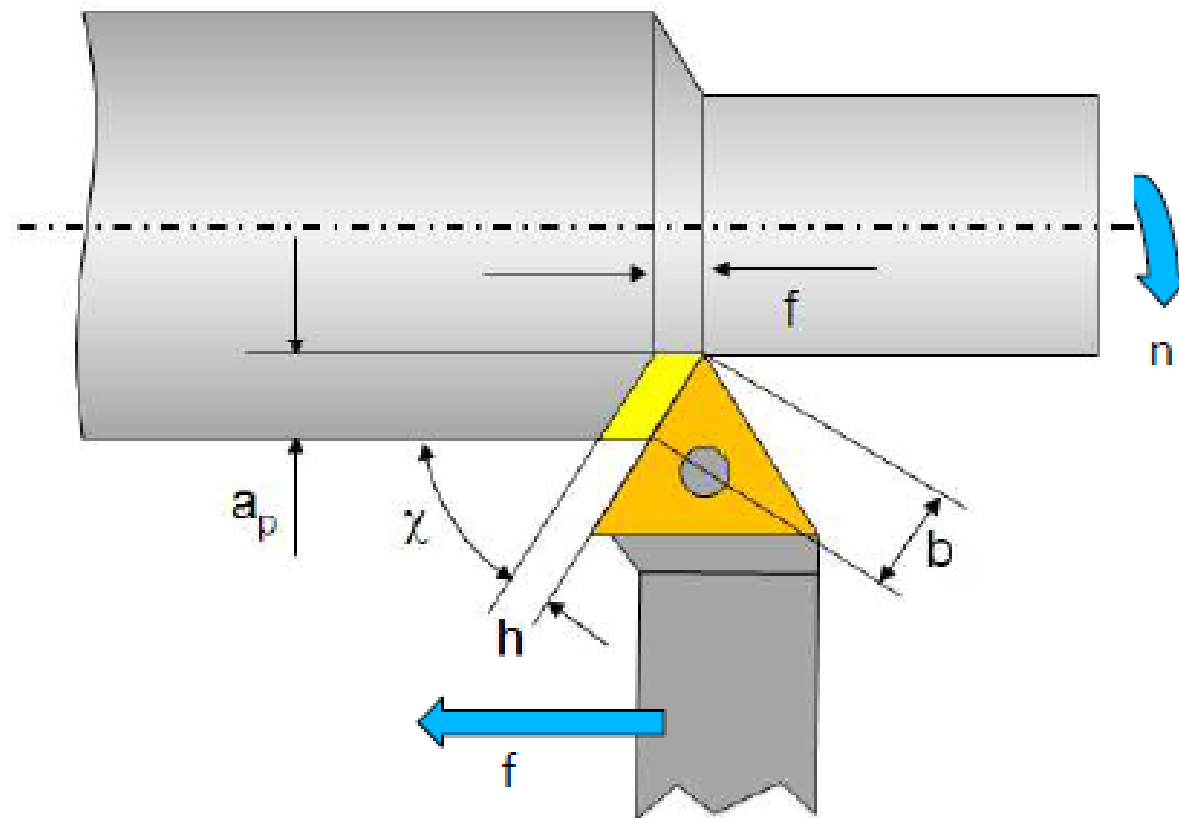
Velocidade de Corte (V_c)

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

- ⇒ ^{"ideal"} V_c é um valor obtido experimentalmente
(depende do par: ferramenta de corte ↔ material a ser usinado)
- ⇒ Valor encontrado em tabelas
- ⇒ Valores encontrados em tabelas também são função da vida da ferramenta.
- ⇒ As tabelas apresentam faixas de valores e podem variar de acordo com a fonte
- ⇒ V_c ainda depende da máquina-ferramenta, da geometria da peça, do tipo de dispositivo de fixação e da experiência do operador ou programador



Grandezas do processo de usinagem

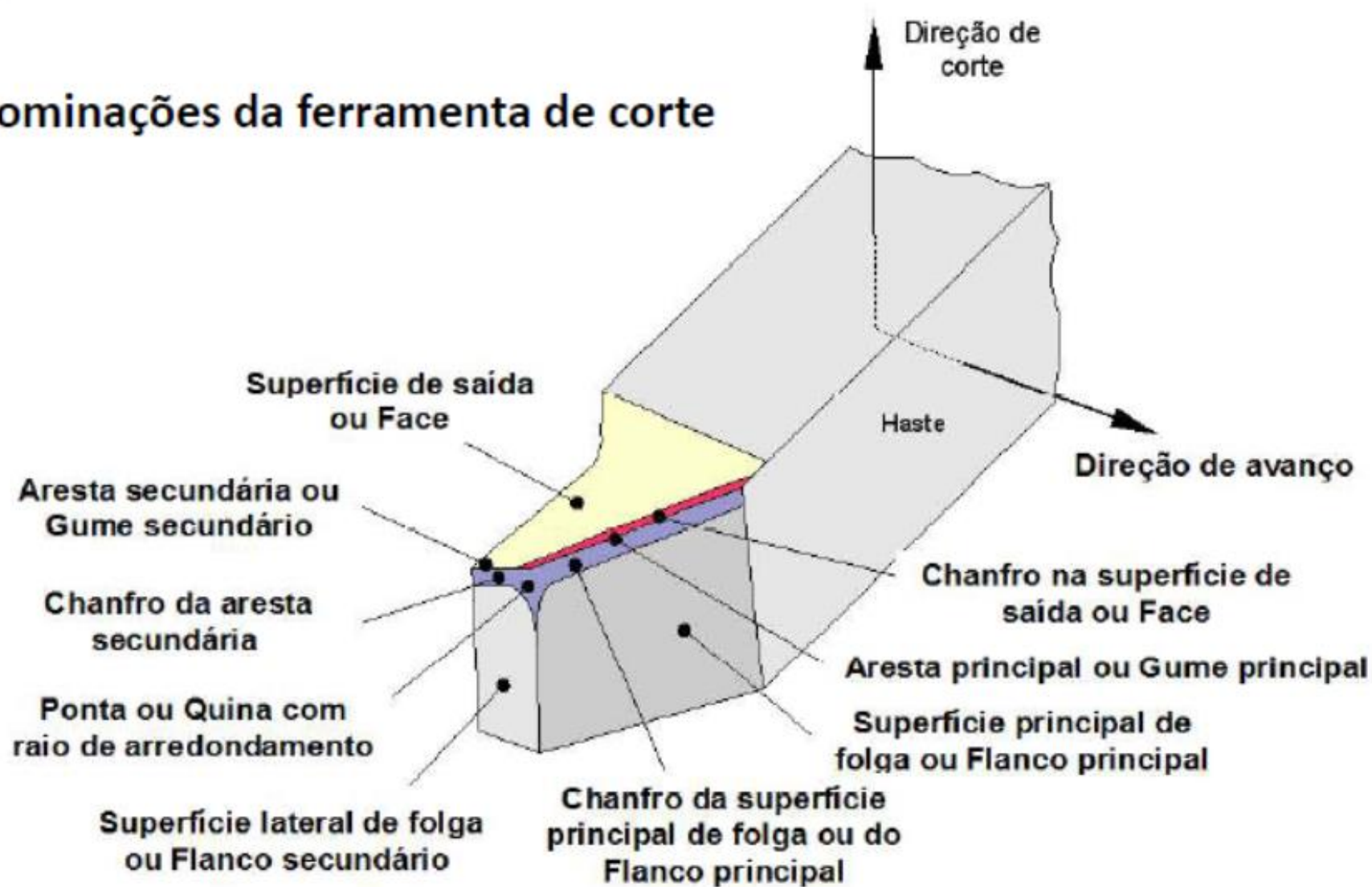


Onde:

- a_p – profundidade de corte
- f – avanço por revolução
- b – largura de usinagem
- h – espessura de usinagem
- Seção de usinagem $a_p * f$
- Seção de usinagem $b * h$

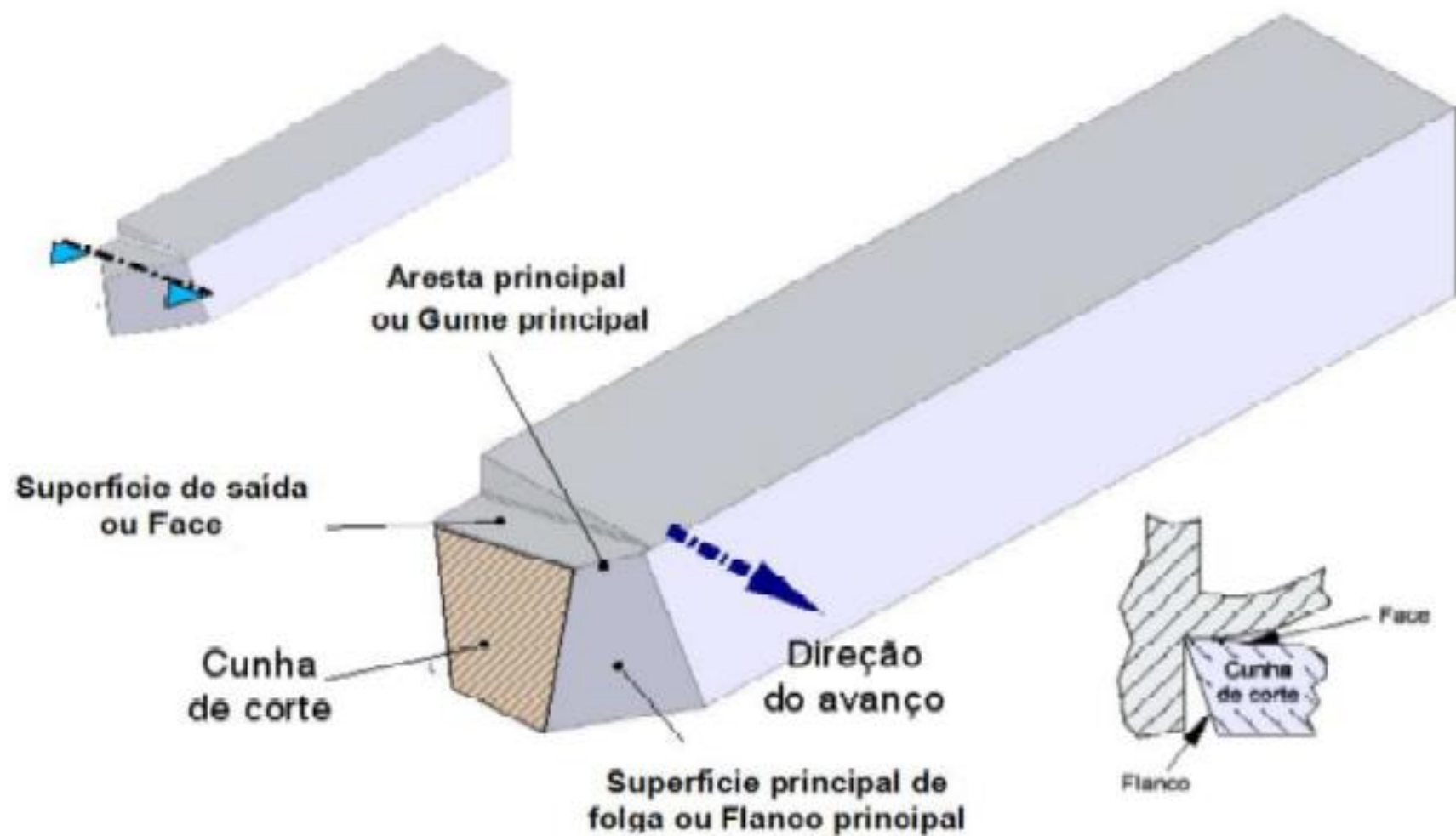


Denominações da ferramenta de corte





Cunha de corte





Geometria da Cunha de Corte

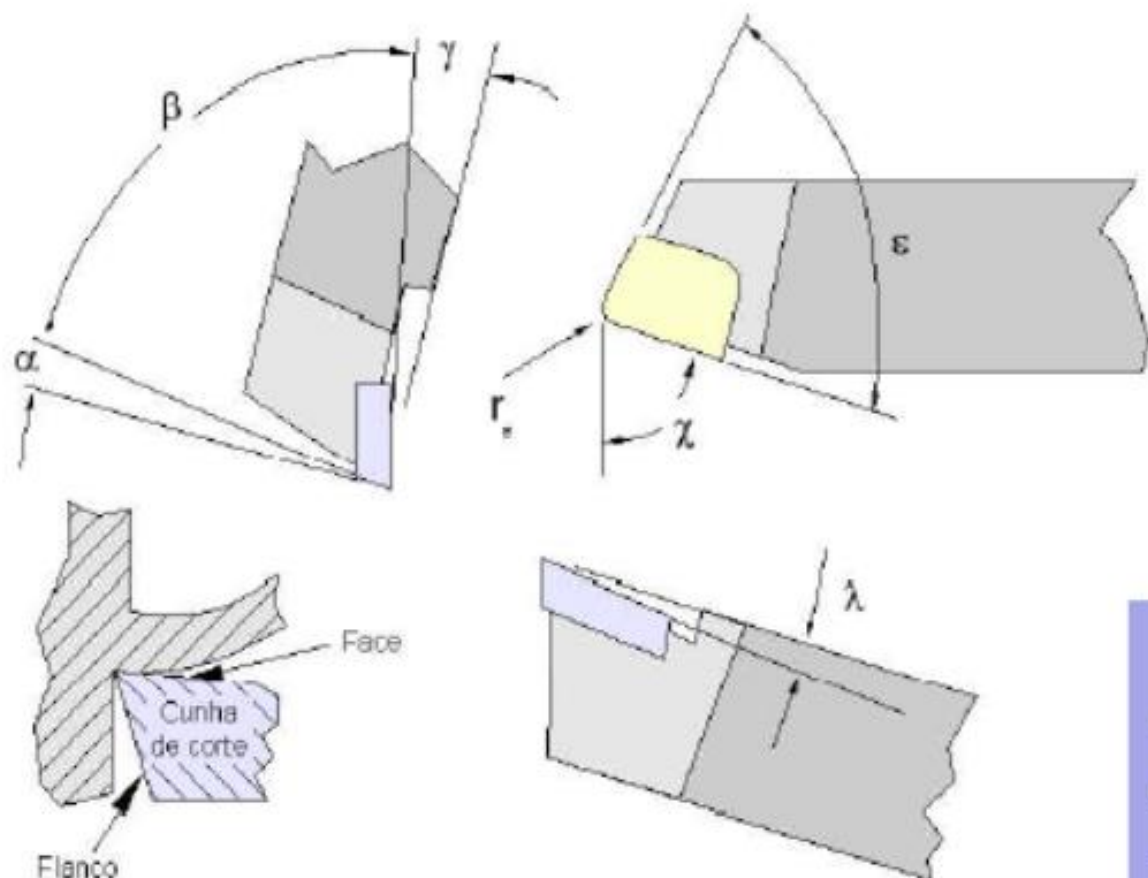
→ Para cada par material de ferramenta / material de peça têm uma geometria de corte apropriada ou ótima

A geometria da ferramenta influencia na:

- Formação do cavaco
- Saída do cavaco
- Forças de corte
- Desgaste da ferramenta
- Qualidade final do trabalho



Geometria da ferramenta de torneiar



α = ângulo de folga ou incidência

β = ângulo de cunha

γ = ângulo de saída

ε = ângulo de ponta ou quina

χ = ângulo de direção

λ = ângulo de inclinação

r_ε = raio de ponta ou quina

Escolha da geometria da ferramenta

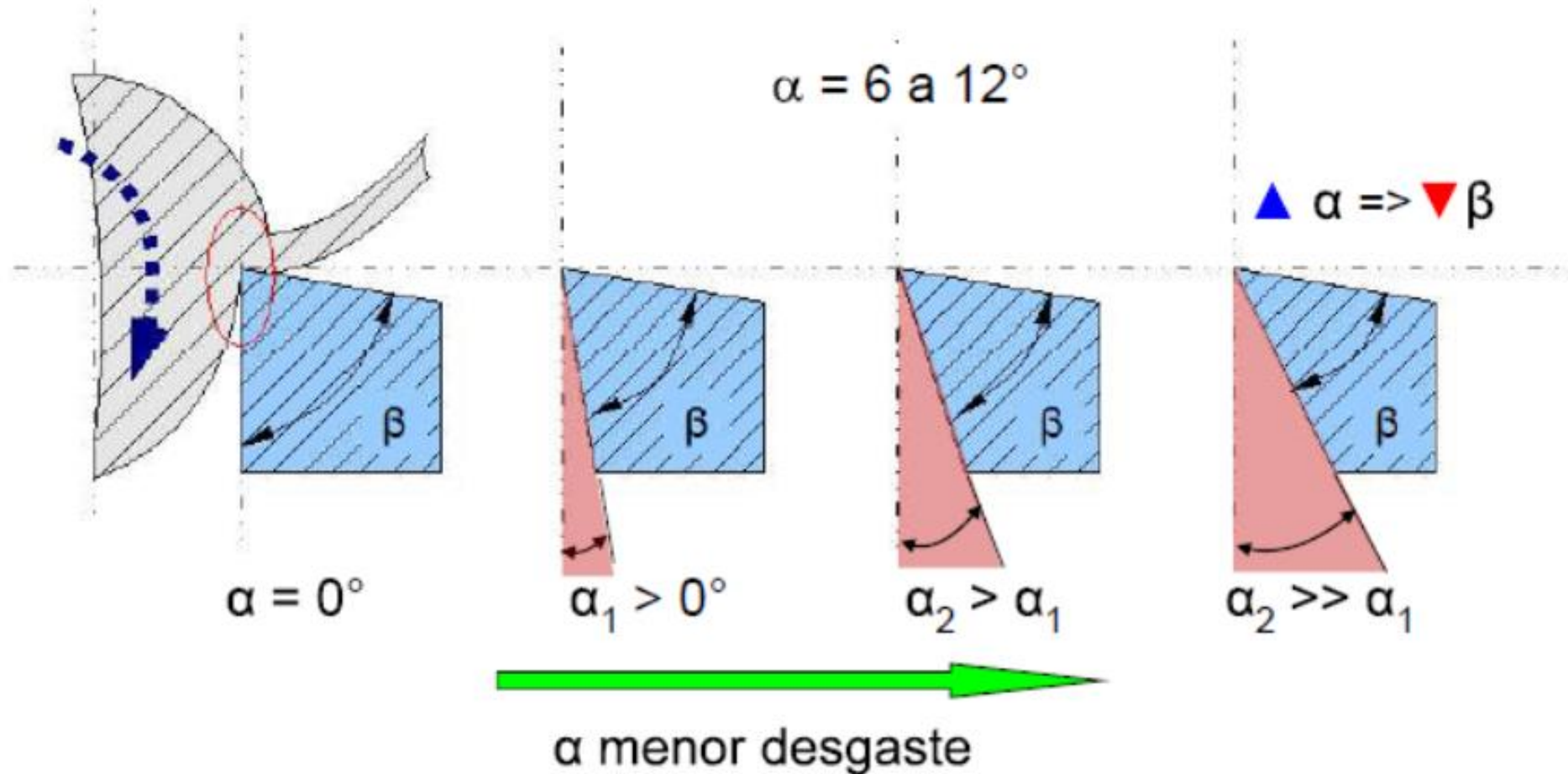
- Material da ferramenta
- Material da peça
- Condições de corte
- Geometria da peça



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Influências da Geometria da ferramenta de tornear

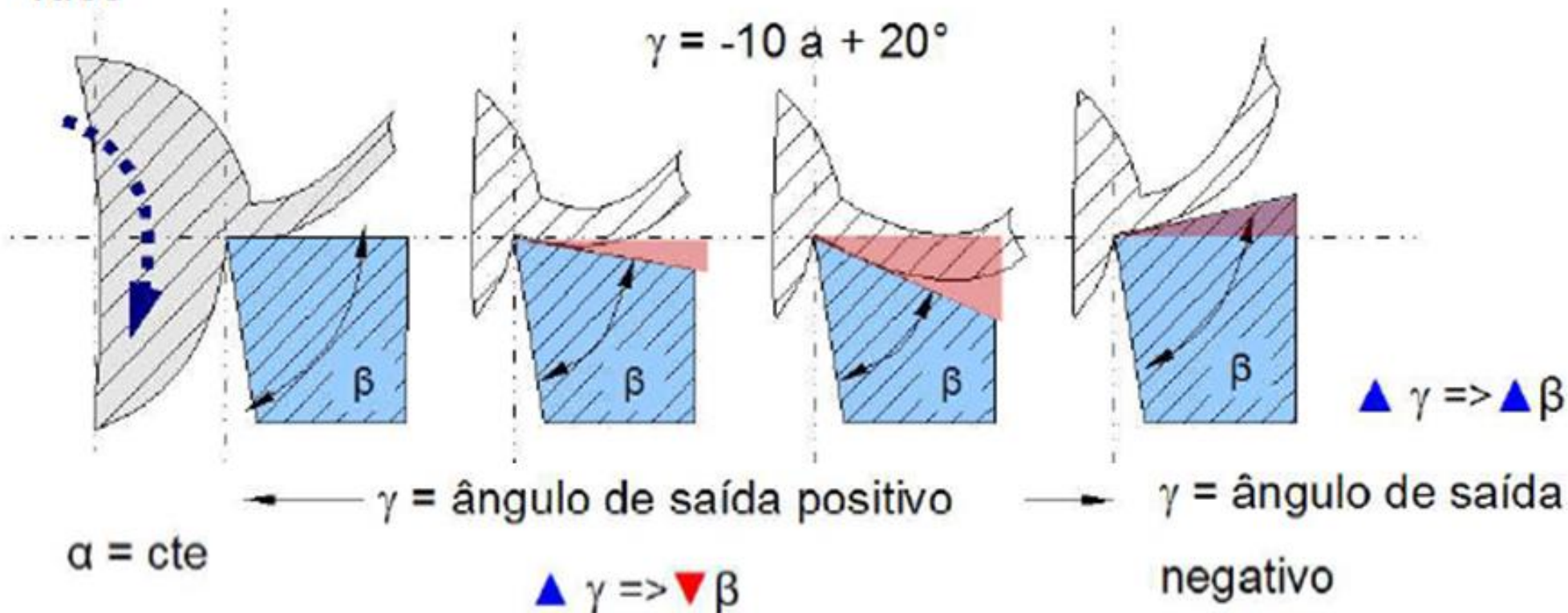
α = ângulo de folga ou incidência, reduz o atrito entre a superfície de folga e a peça e melhora a estabilidade da aresta de corte





Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

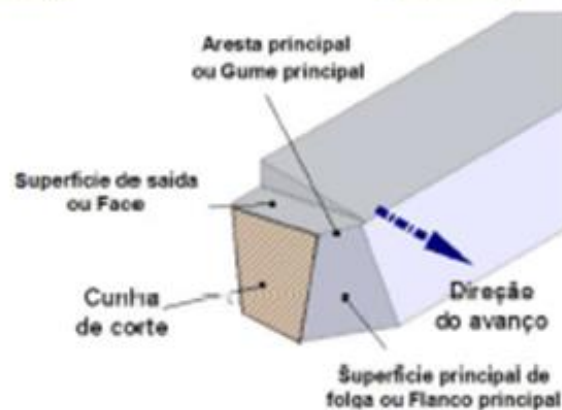
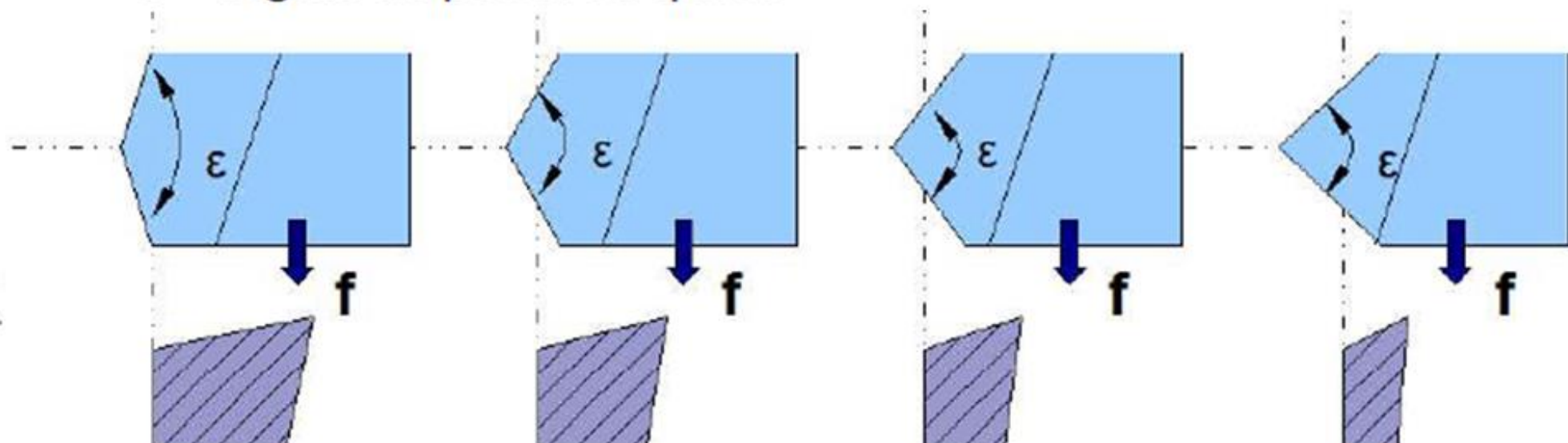
γ = ângulo de saída, melhora a formação do cavaco, melhora a superfície gerada na peça, reduz a força de corte (trabalho de dobramento do cavaco), facilita o escoamento do cavaco sobre a face





Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

ϵ = ângulo de ponta ou quina

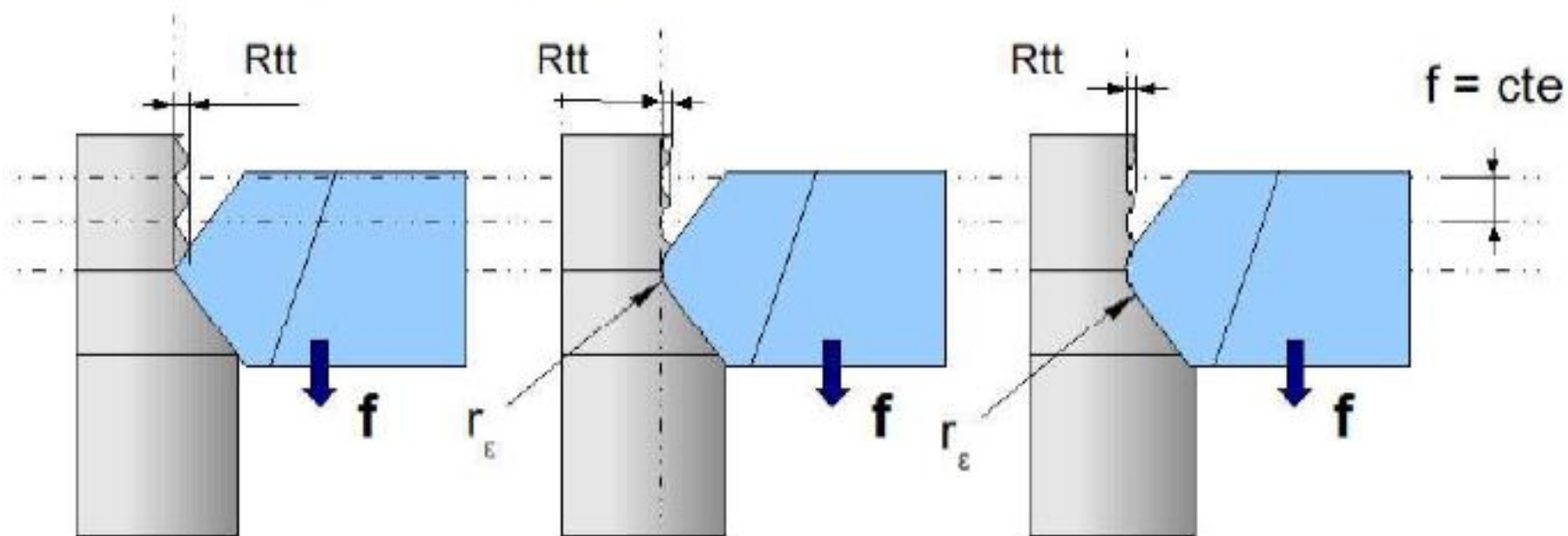


$\downarrow \epsilon \Rightarrow \downarrow$ resistência da cunha



Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

r_ϵ = raio de ponta ou quina



▲ r_ϵ = melhora na qualidade superficial

▲ r_ϵ = aumento do atrito

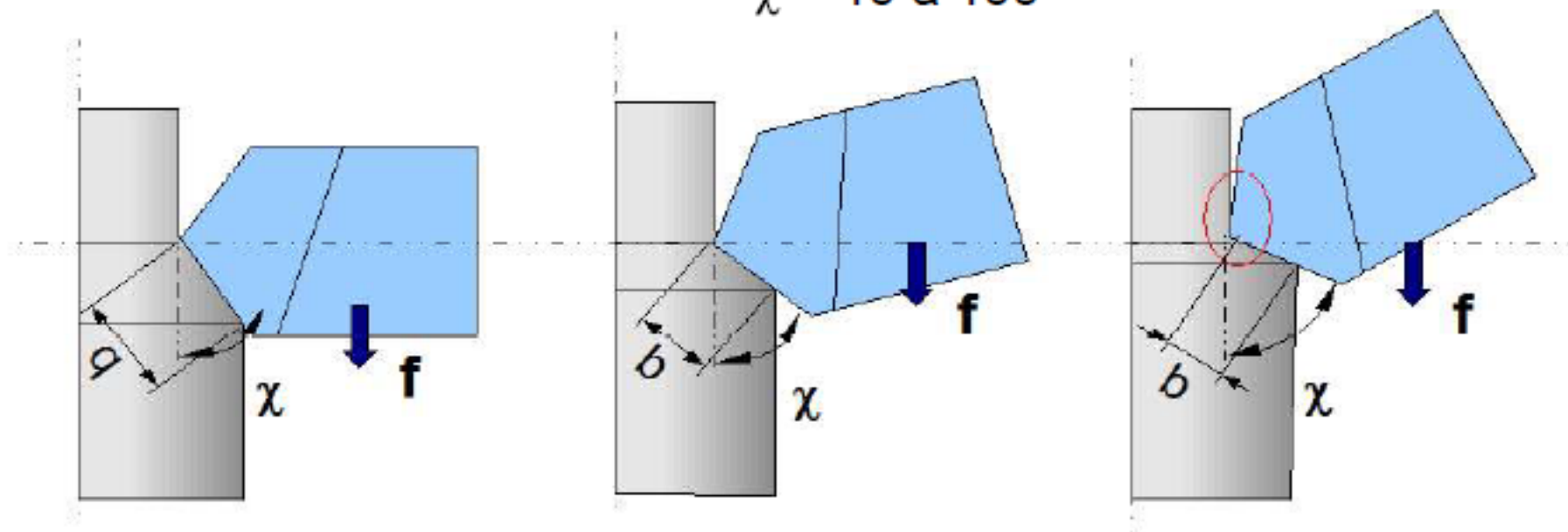
▲ r_ϵ = aumento das vibrações



Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

χ = ângulo de direção

$\chi = 10^\circ$ a 100°



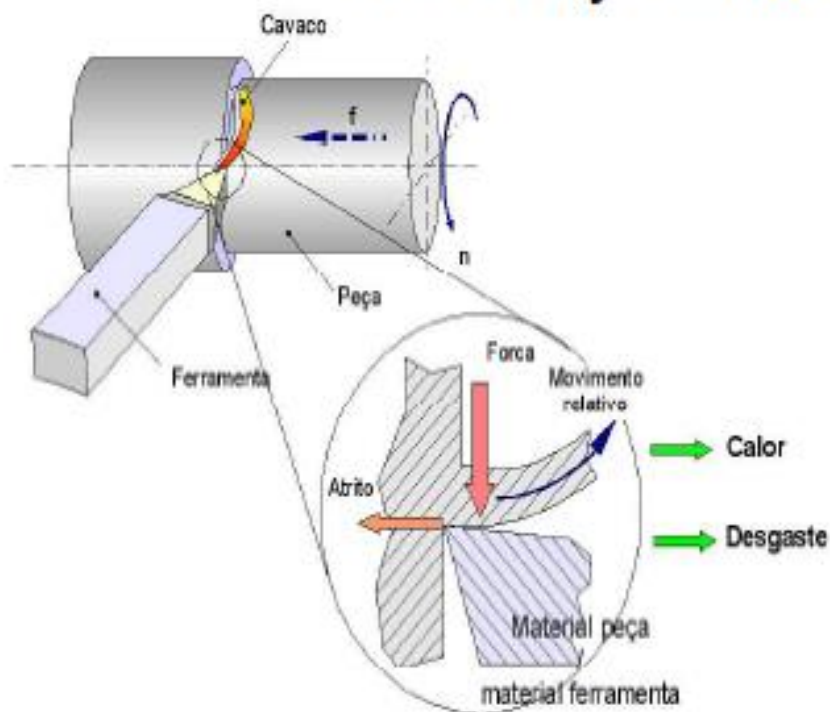
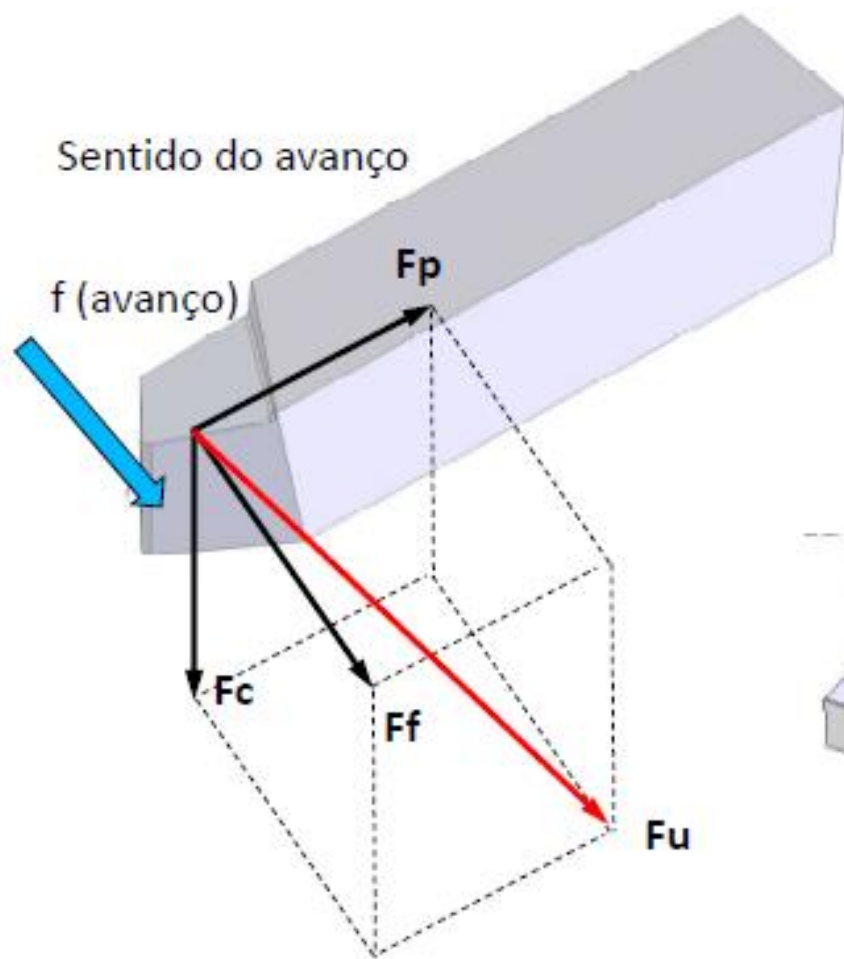
- ▲ $\chi \Rightarrow$ ▲ largura de usinagem – seção de usinagem
- ▲ $\chi \Rightarrow$ atrito do gume secundário contra a superfície gerada
- ▲ $\chi \Rightarrow$ redução de vibrações
- ▲ $\chi \Rightarrow$ redução de forças



Forças na usinagem

Onde:

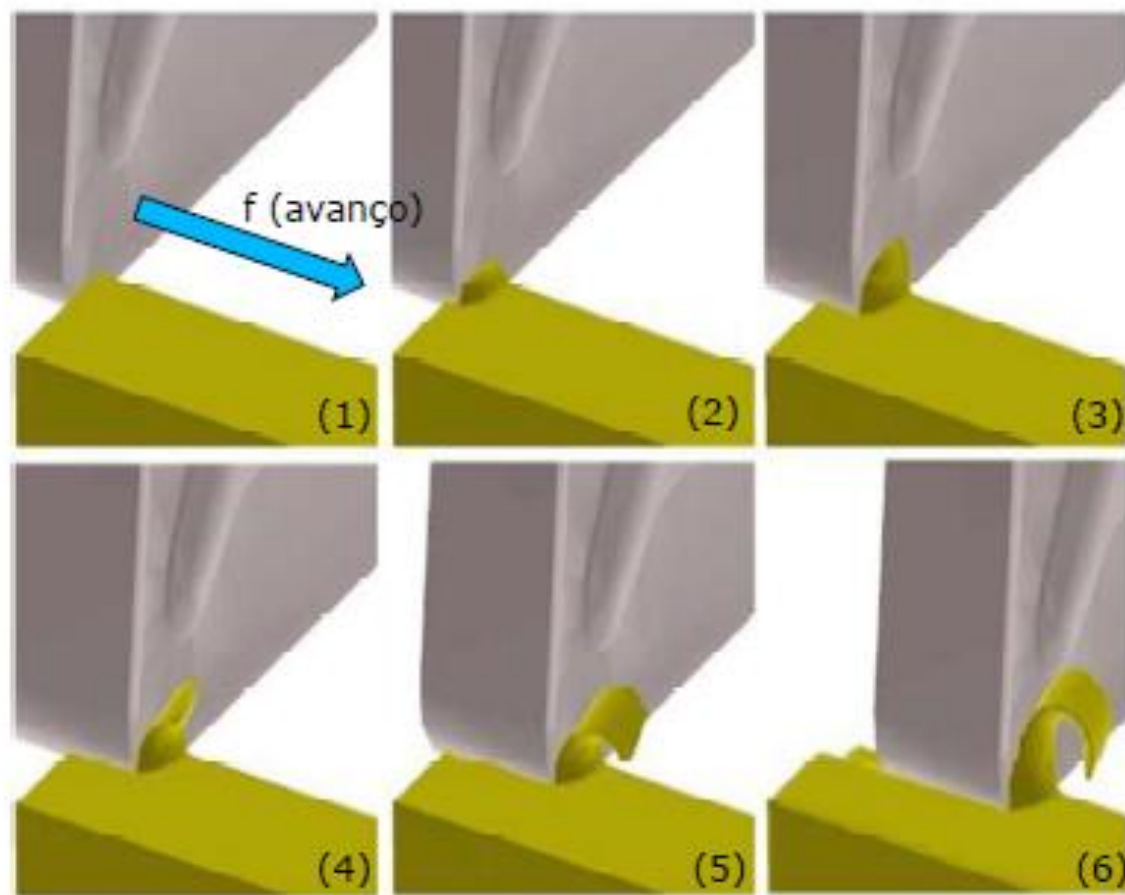
- F_p = Forças passiva
- F_c = Forças de corte
- F_f = Forças de avanço
- F_u = Força efetiva de usinagem



Coffee-break



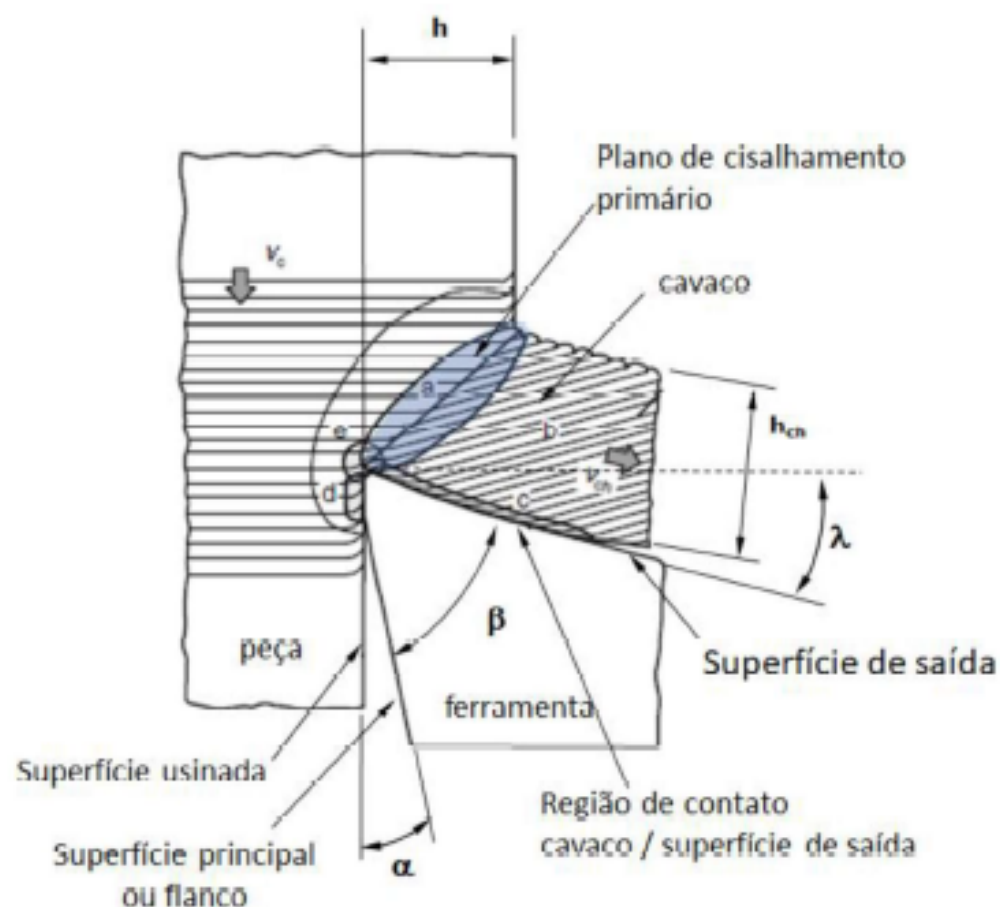
Formação do cavaco



- 1) Contato inicial ferramenta/peça
- 2) Deformação elástica e plástica
- 3) Deformação plástica além do limite de escoamento, início da ruptura
- 4) Formação de frente de cisalhamento
- 5) e 6) cavaco plenamente desenvolvido



Formação do cavaco



Onde:

α - ângulo de incidência

β - ângulo de cunha

γ - ângulo de saída

h - espessura de usinagem

h_{ch} - espessura do cavaco ou de corte

λ - índice de esbeltes do cavaco

V_c - velocidade de corte

V_{ch} - velocidade de saída do cavaco

a) Zona de cisalhamento primaria

b) Estrutura do cavaco

c) Separação cavaco/superfície de saída

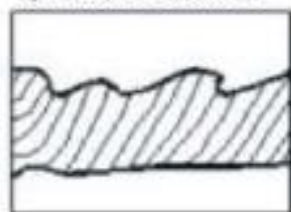
d) Região de deformação na aresta de corte

e) região de cisalhamento na aresta de corte

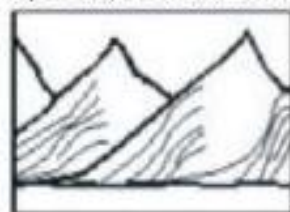


Relação ente propriedades dos materiais e cavaco

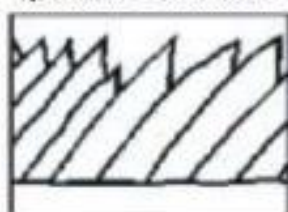
1) Cavaco contínuo



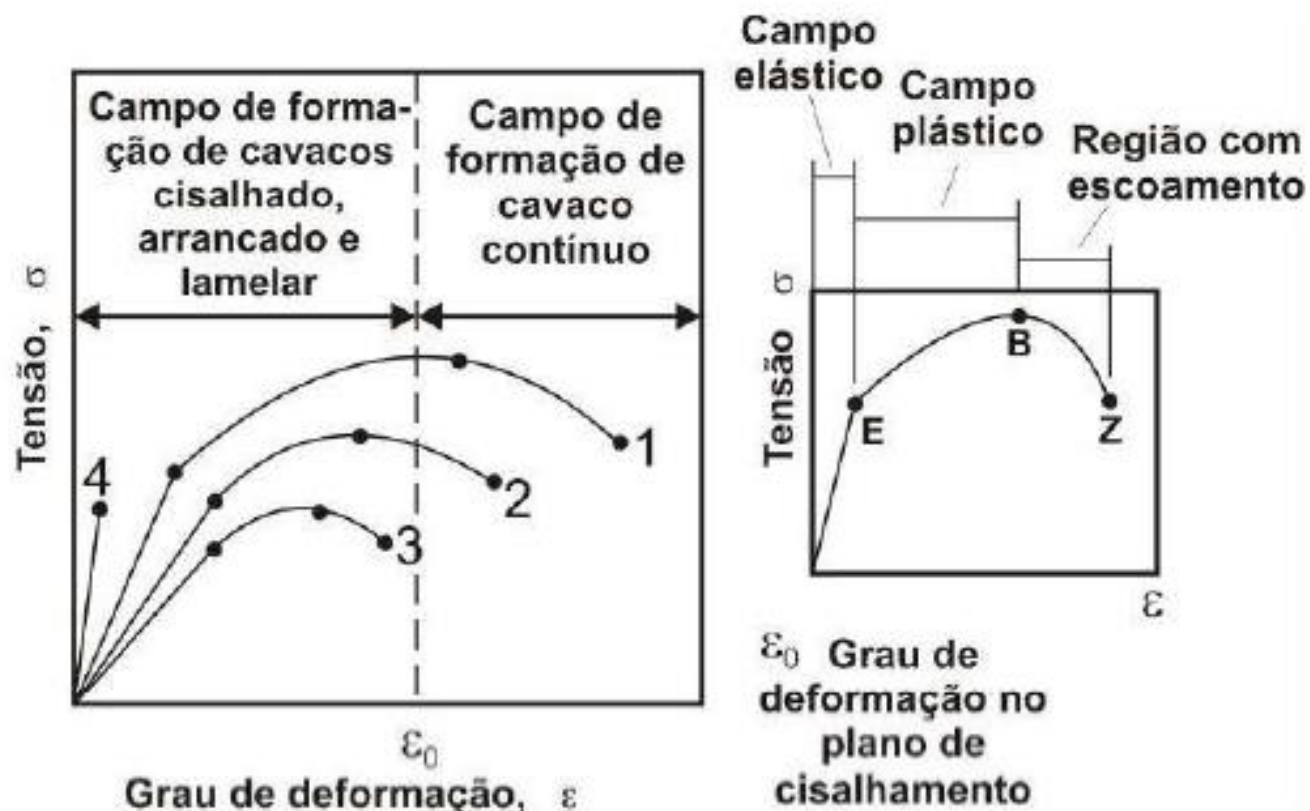
2) Cavaco em lamelas



3) Cavaco cisalhado

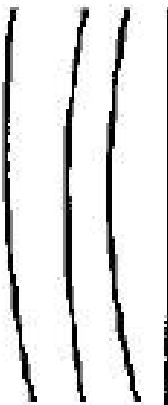
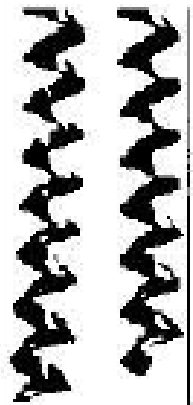
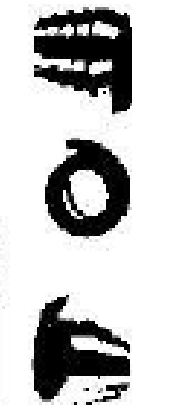
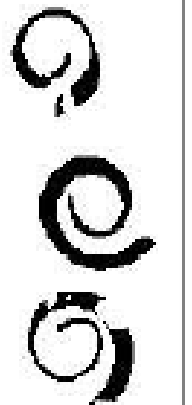
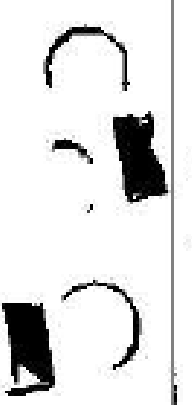


4) Cavaco arrancado





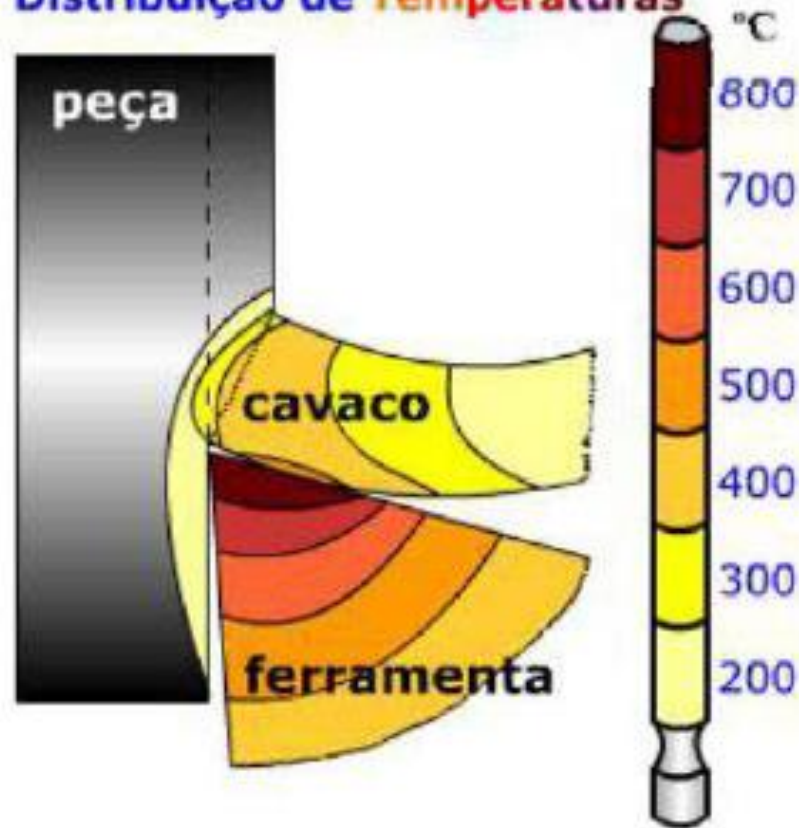
Classificação dos cavacos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMARANHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLÍQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCADOS
									
desfavorável		médio		favorável			médio		

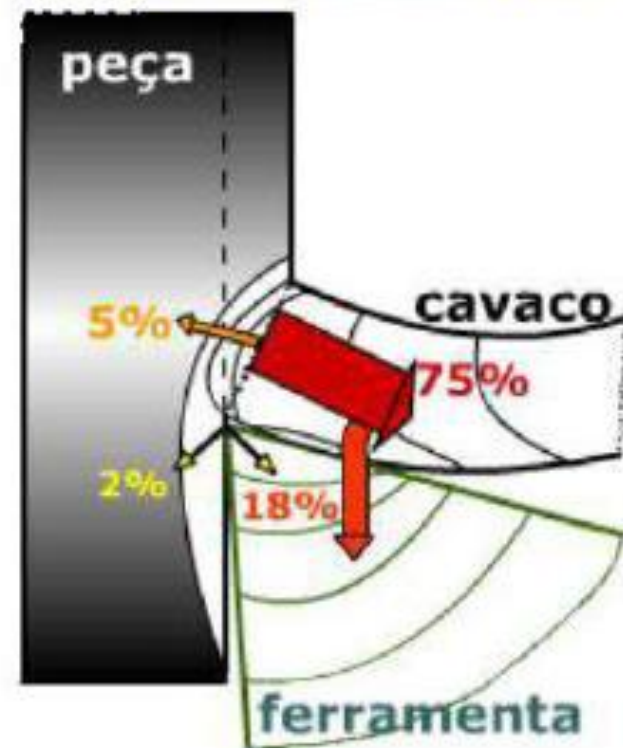


Distribuição de calor e temperatura no cavaco

Distribuição de **Temperaturas**



Distribuição do **CALOR** gerado





Materiais de ferramentas de corte





Requisitos para materiais de ferramentas

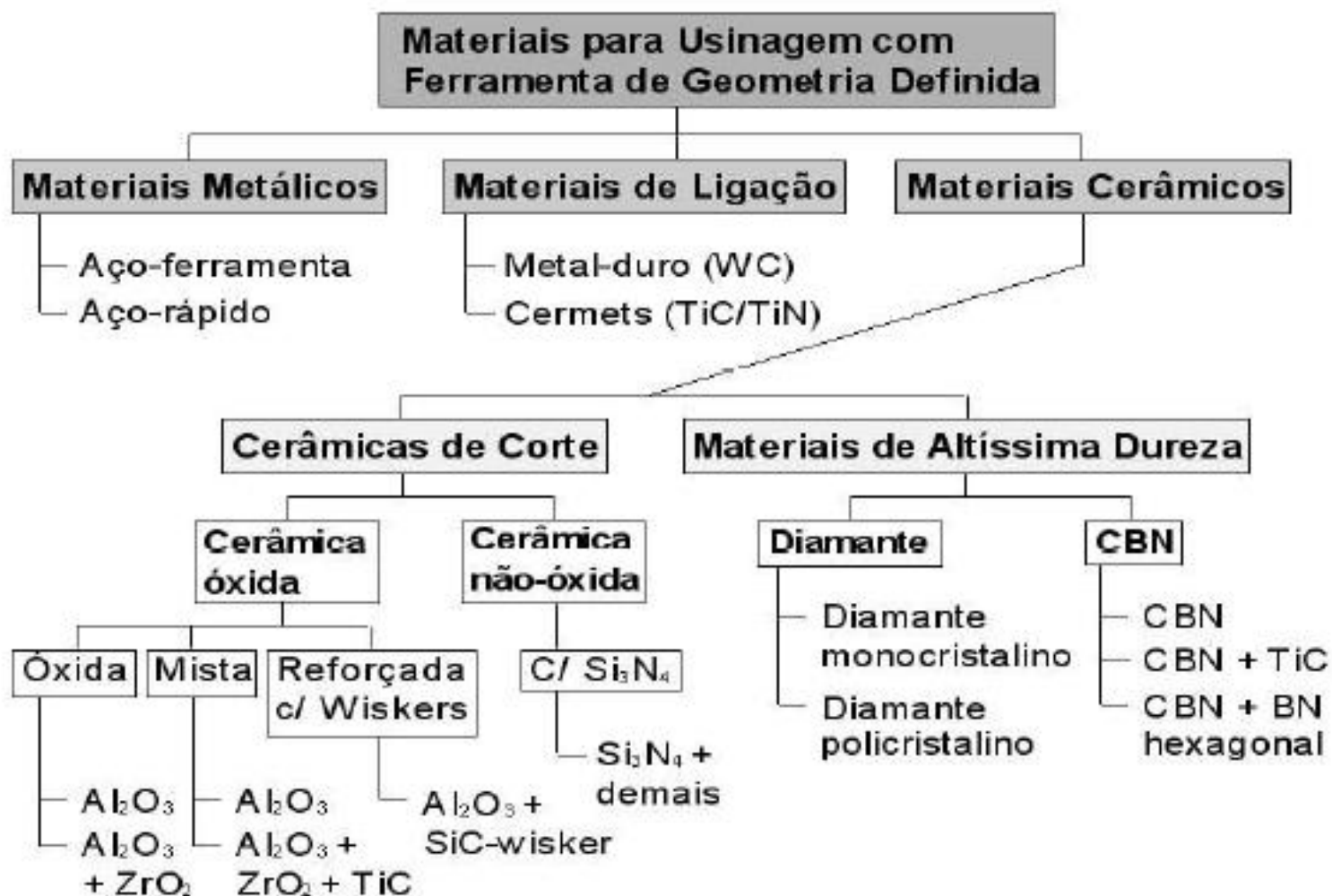
- ferramentas de corte
- Resistência à compressão
- Dureza
- Resistência à flexão e tenacidade
- Resistência do gume
- Resistência interna de ligação
- Resistência a quente
- Resistência à oxidação
- Pequena tendência à fusão e caldeamento
- Resistência à abrasão
- Condutibilidade térmica, calor específico e expansão térmica



Nenhum material de
ferramenta
possui todas estas
características

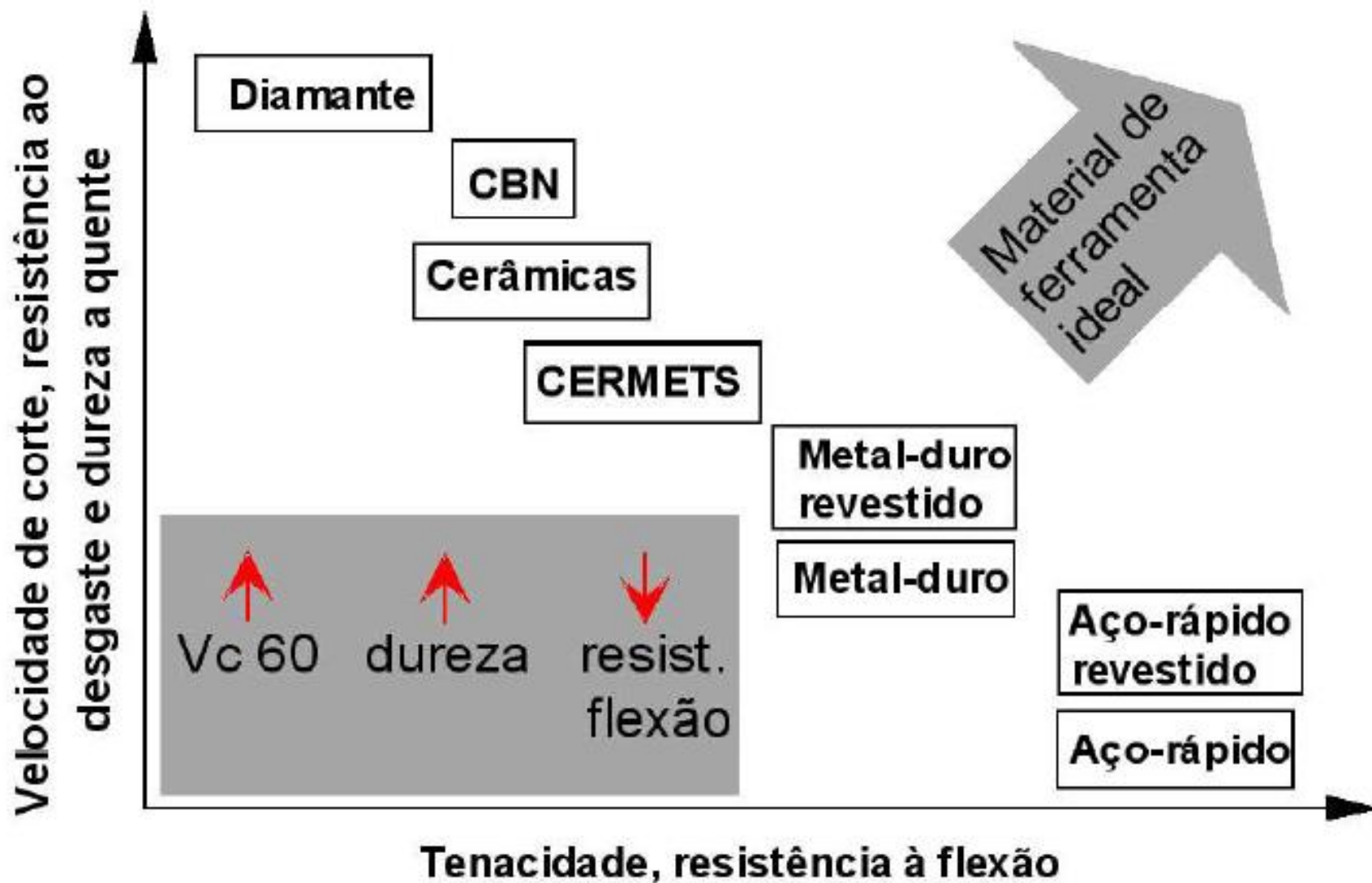


Classificação dos materiais de ferramentas de usinagem



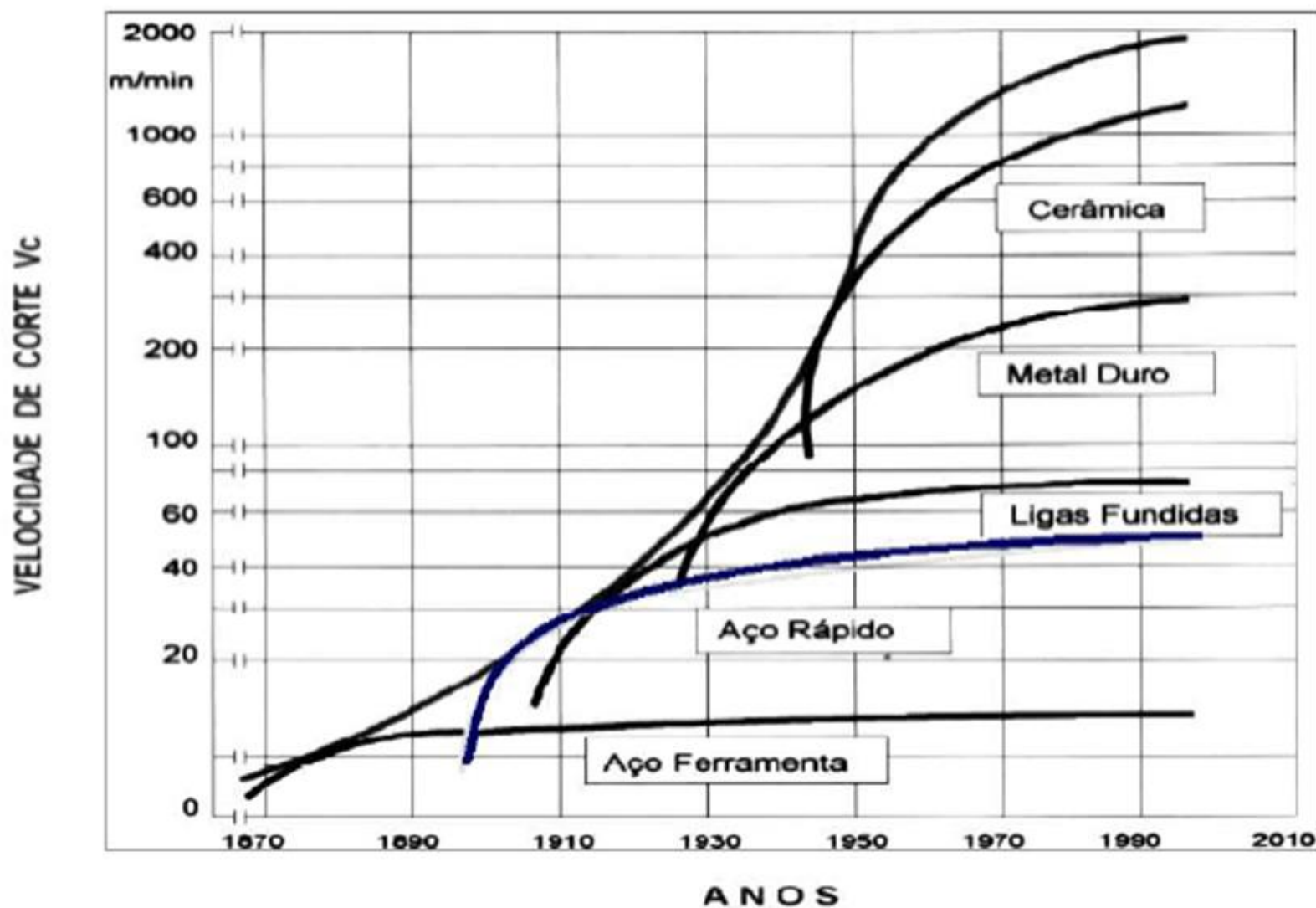


Propriedades dos materiais de ferramentas





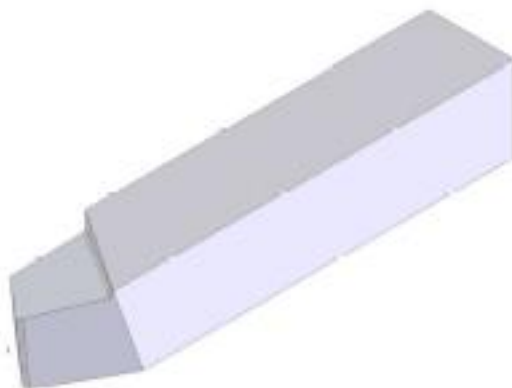
Evolução dos materiais para ferramentas



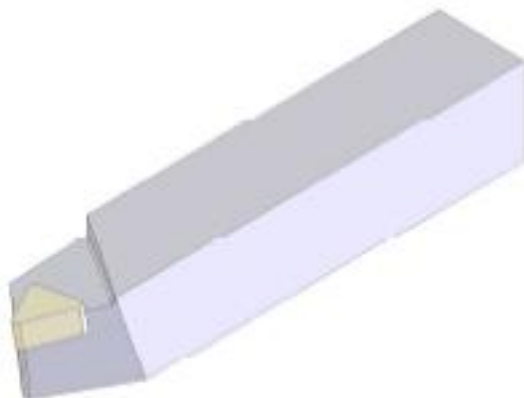


Formas usuais das ferramentas

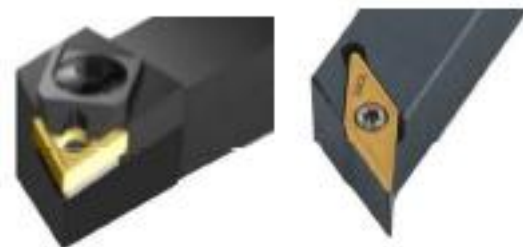
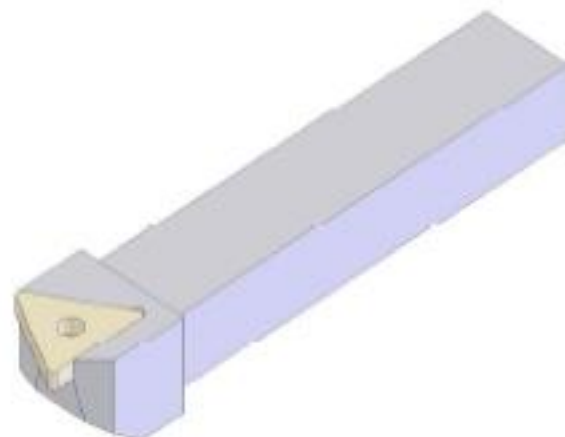
Integrais



Insertos brasados



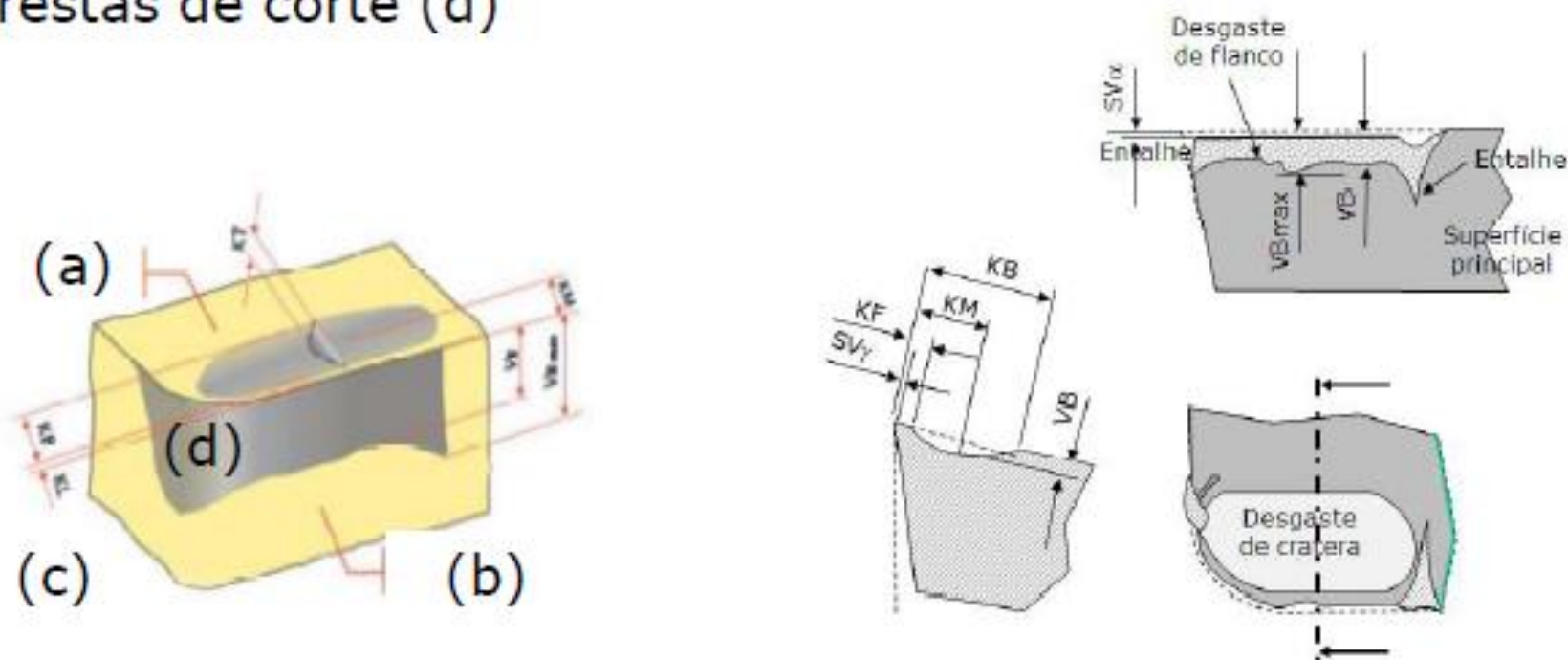
Insertos intercambiáveis





Desgaste das ferramentas de corte

O desgaste pode ser observado na superfície de saída (a), nas superfícies principal (b) e secundária (c), na ponta e nas arestas de corte (d)





Critérios de fim de vida

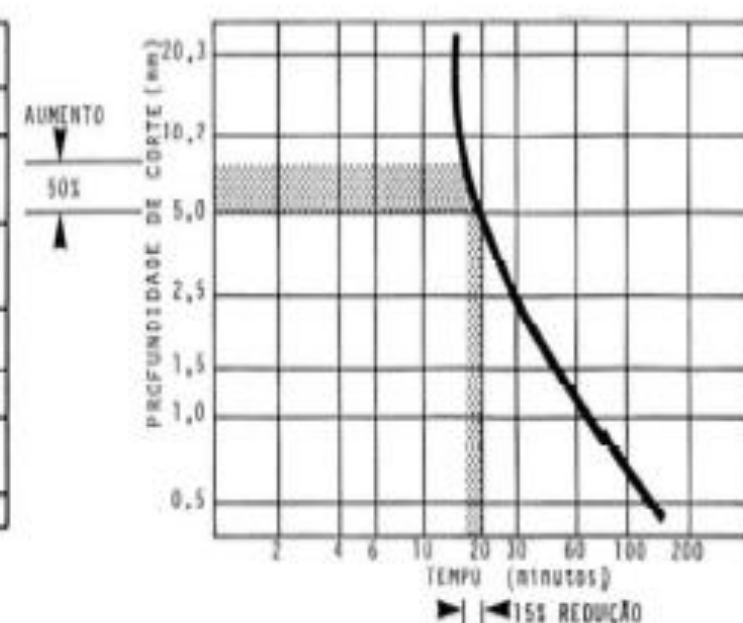
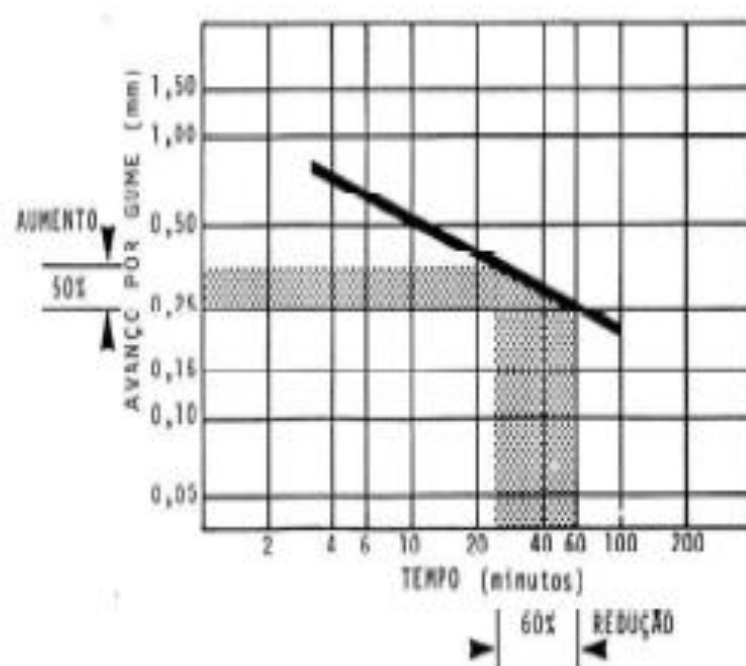
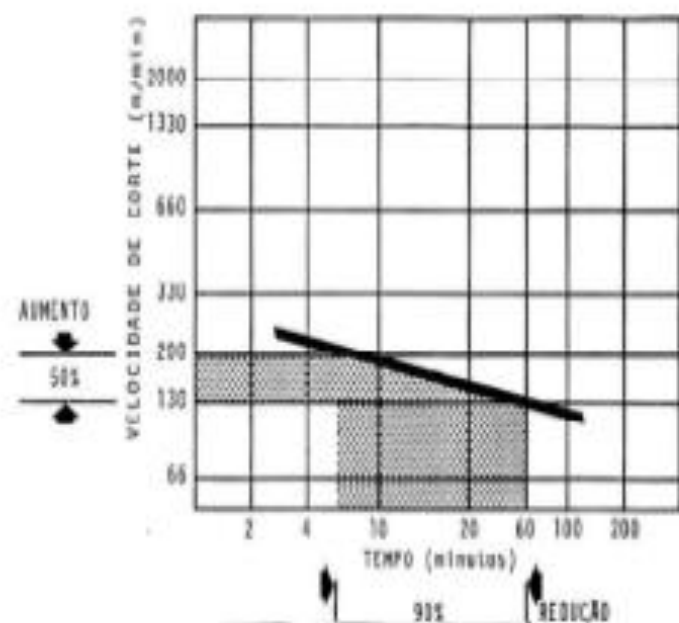
São critérios que são utilizados para determinar quando uma ferramenta deve ser substituída no processo.

Esses critérios é relacionado ao nível de desgaste na ferramenta, e suas consequências diretas :

- desvios nas tolerâncias dimensionais
- desvios nas tolerâncias geométricas
- perda de qualidade superficial da peça
- aumento no nível de vibrações no processo
- aumento no nível de esforços no processo
- aumento do custo de reafiação da ferramenta



Influência dos parâmetros de corte na Vida da Ferramenta





Usinabilidade

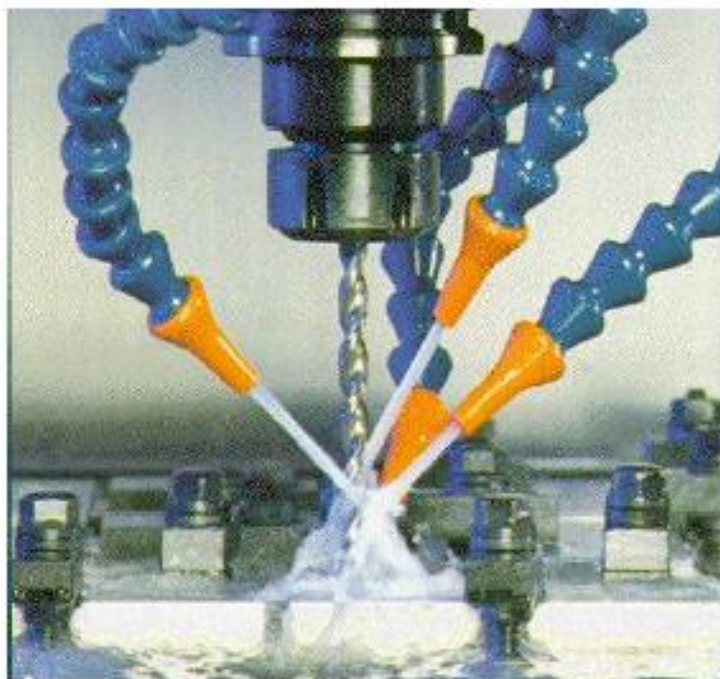
“Na usinagem com remoção de cavacos verifica-se que os diversos materiais se comportam de modo distinto, sendo que alguns podem ser trabalhados com grande facilidade, enquanto que outros oferecem uma série de problemas ao operador”

Definição: Usinabilidade pode ser definida como sendo a capacidade dos materiais de peça em se deixarem usinar

Descreve todas as dificuldades que um material apresenta na sua usinagem, compreendendo todas as propriedades do material que têm influência sobre o processo de usinagem.



Fluidos de Corte



Principais Fluidos de Corte

- Óleos de corte
- Emulsões: combinação de óleo em água, com cerca de 4 a 12% de concentração de óleo.



Fluidos de corte

Função dos fluidos de corte:

- Redução do atrito entre ferramenta e cavaco
- Expulsão dos cavacos gerados
- Refrigeração da ferramenta
- Refrigeração da peça
- Melhoria do acabamento da superfície usinada
- Refrigeração da máquina-ferramenta

Sob o ponto de vista econômico o uso de fluido de corte proporciona

- Redução do consumo de energia
- Redução dos custos de ferramenta
- Diminuição ou eliminação da corrosão na peça



Critérios para seleção dos fluidos de corte

Fatores que influenciam na escolha:

- Material;
- Economia;
- Prazo;
- Baixa geração de espuma;
- Fácil descarte;
- Não agredir o meio ambiente;
- Não dissolver a pintura ou corroer partes da máquina;
- Não agredir a saúde e garantir a segurança do operador;



Tendências no uso de Fluidos de Corte



FIM



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

Laboratório 2

Metrologia

Experimentos

2023.1



Tolerâncias geométricas mais comuns

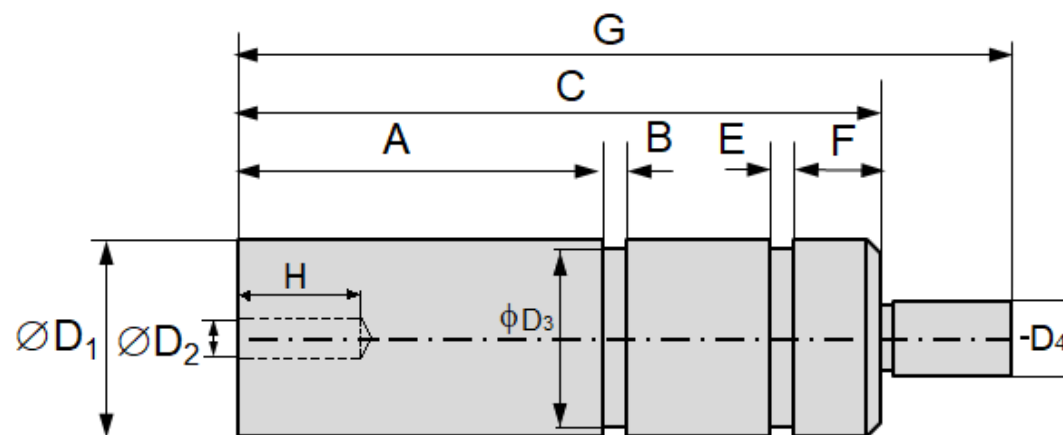
	TIPO DE TOLERÂNCIA	CARACTERÍSTICA	SIMBOLO
FEATURES INDIVIDUAIS	FORMA	Linearidade	
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
FEATURES RELATIVAS	PERFIL	Perfil de uma linha	
		Perfil de uma superfície	
FEATURES RELACIONADAS	ORIENTAÇÃO	Inclinação	
		Perpendicularismo	
		Paralelismo	
	BATI- MENTO	Batimento circular	
		Batimento total inclinação	
	LOCALIZAÇÃO	Posição	
		Concentricidade	
		Simetria	



Experimento - 1

Determinação de Medidas Lineares

Neste experimento o grupo deverá obter as dimensões da peça apresentada na figura abaixo, utilizando paquímetro e micrometro, e realizando as medições conforme os procedimentos apresentados na parte teórica.



Medir: A, B, G, H, D1, D2, D3 e D4



Experimento - 1

Determinação de Medidas Lineares

Antes de iniciar o processo de medição o grupo deverá verificar os instrumentos efetuando uma aferição utilizando blocos padrão.





Experimento - 1

Determinação de Medidas Lineares

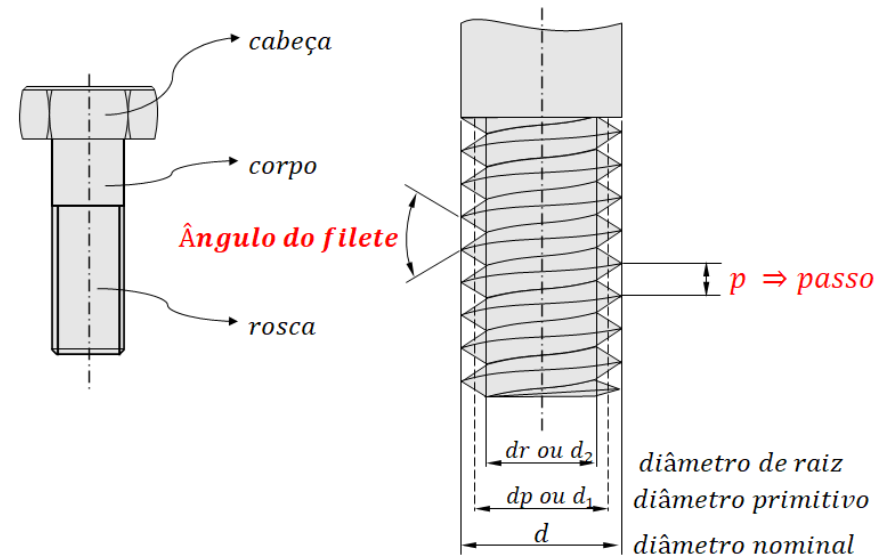
Os diâmetros das superfícies cilíndricas externas deverão ser medidas com os micrômetros e as demais com o paquímetro. Deverão ser apresentadas tantas casas decimais quanto a precisão dos aparelhos permitirem. Para a anotação das medidas o grupo deverá fazer um esboço no papel de rascunho, que deverá ser anexado ao relatório. Inicialmente com o intuito de relembrar o procedimento de utilização do micrômetro, o grupo deverá verificar a sua calibração, efetuando a medida de um padrão.



Experimento - 2

Utilização do Projetor Óptico

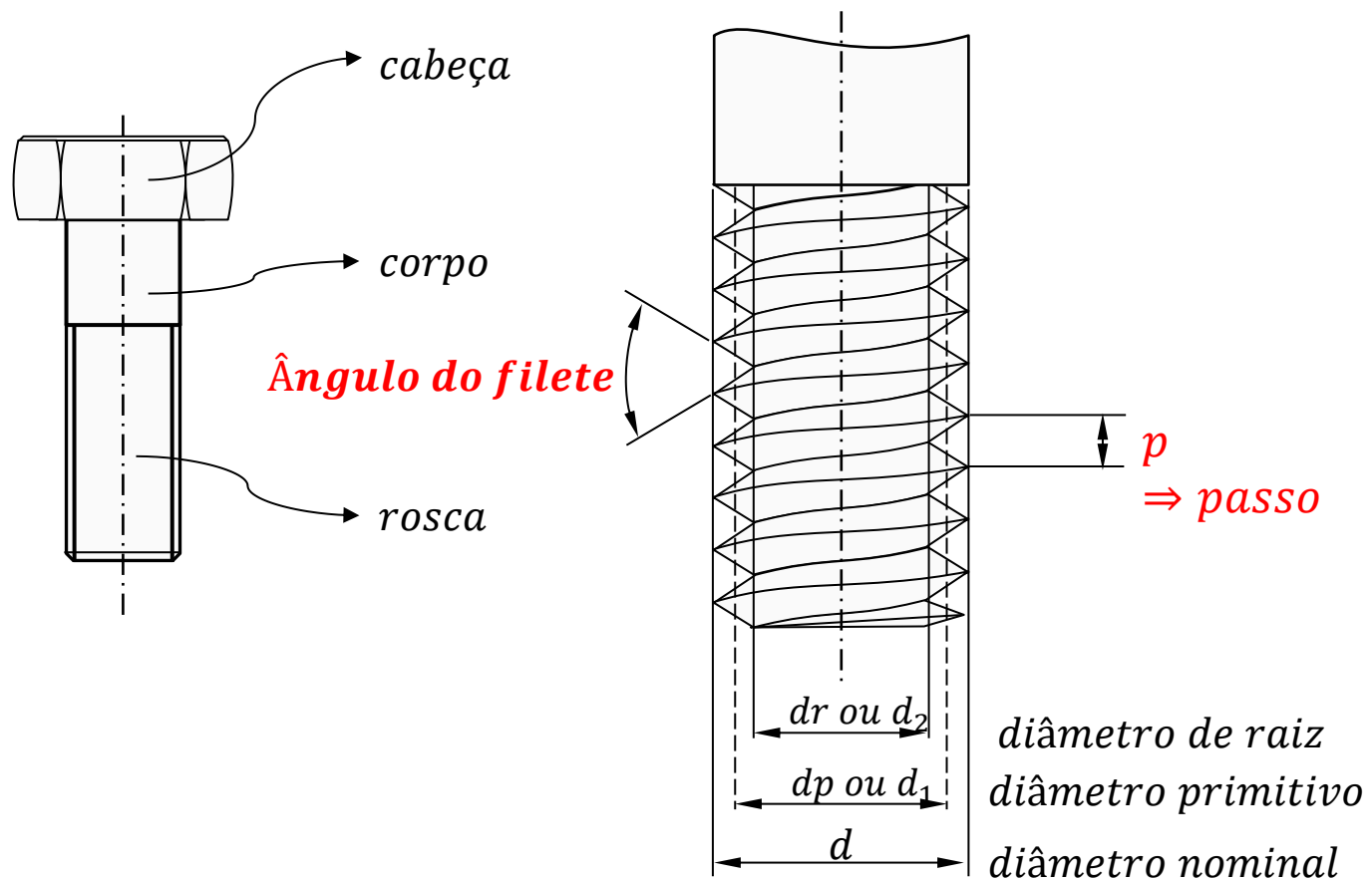
Neste experimento utilizará um projetor óptico, ou de perfil, para determinar o passo, a profundidade e o ângulo de filete da rosca do parafuso apresentado na foto abaixo. O objetivo da experiência é de apresentar os procedimentos básicos de operação de projetores óticos.





Experimento - 2

Utilização do Projetor Óptico

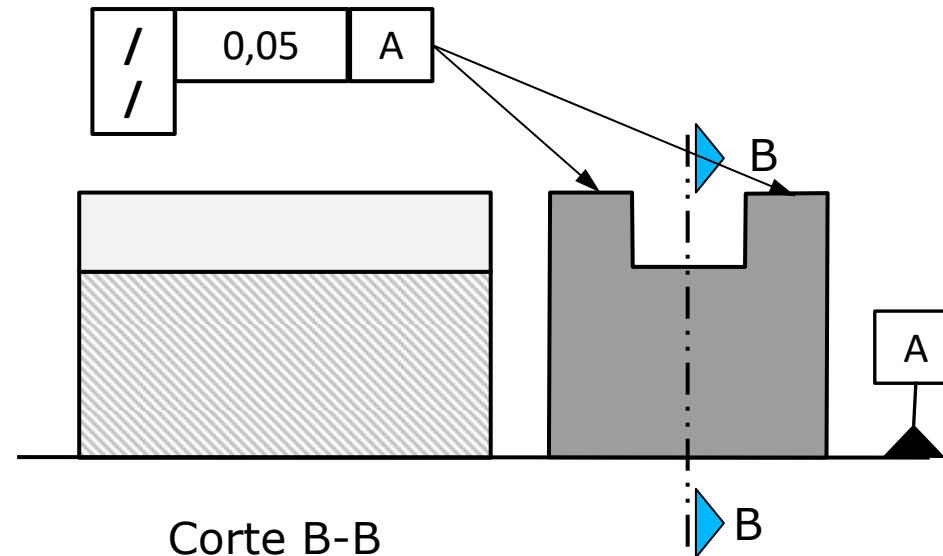




Experimento - 3

Tolerância de Paralelismo

Nesse experimento a superfície de referência deve ser apoiada em um e a superfície a ser verificada deve ser varrida pelo relógio comparador. A diferença entre a maior e a menor leitura corresponde à distância entre os planos paralelos, este valor da diferença é o erro de paralelismo.

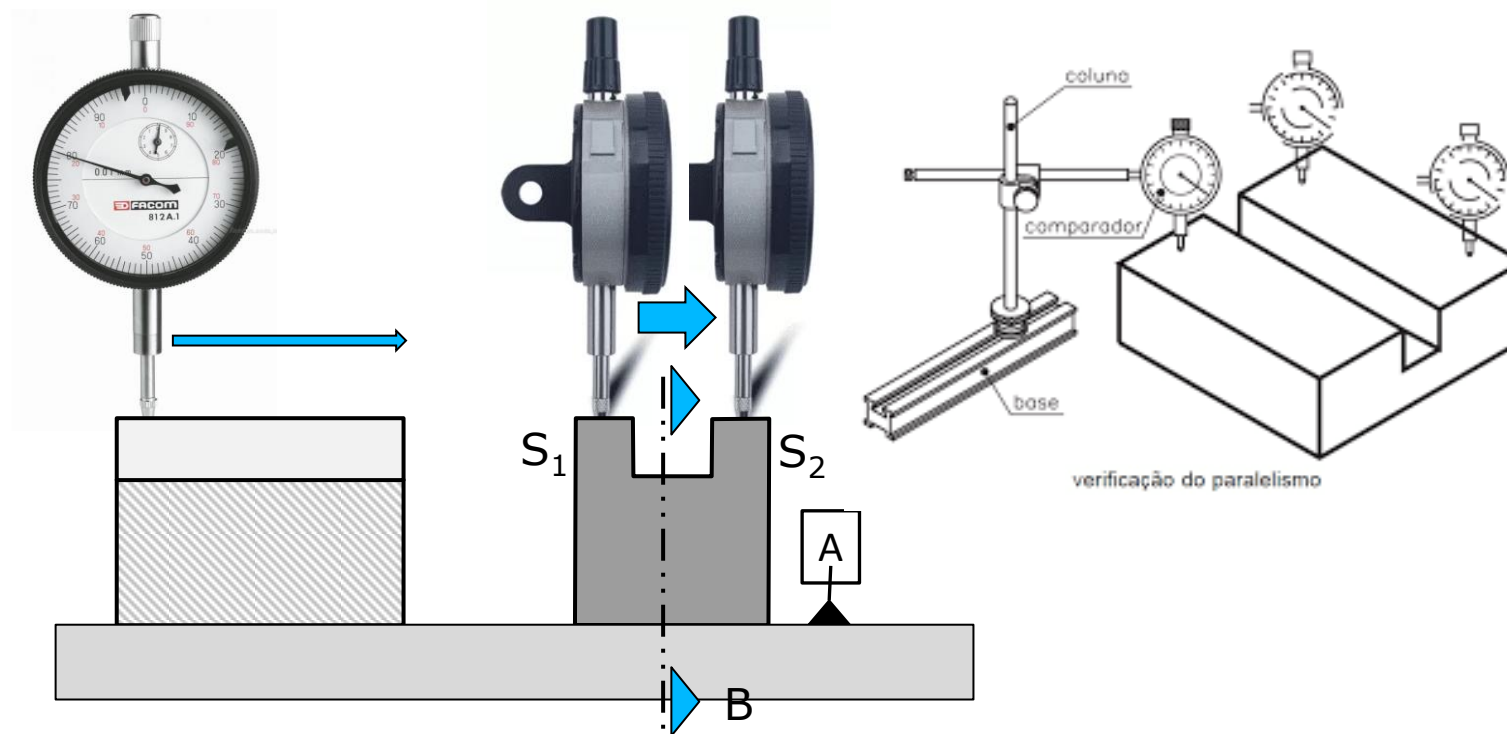




Experimento - 3

Tolerância de Paralelismo

Utilizando a montagem disponível no laboratório, semelhante ao do desenho abaixo, o grupo deve avaliar o erro de paralelismo das duas superfícies laterais ao rebaixo da peça apresentada na foto abaixo.

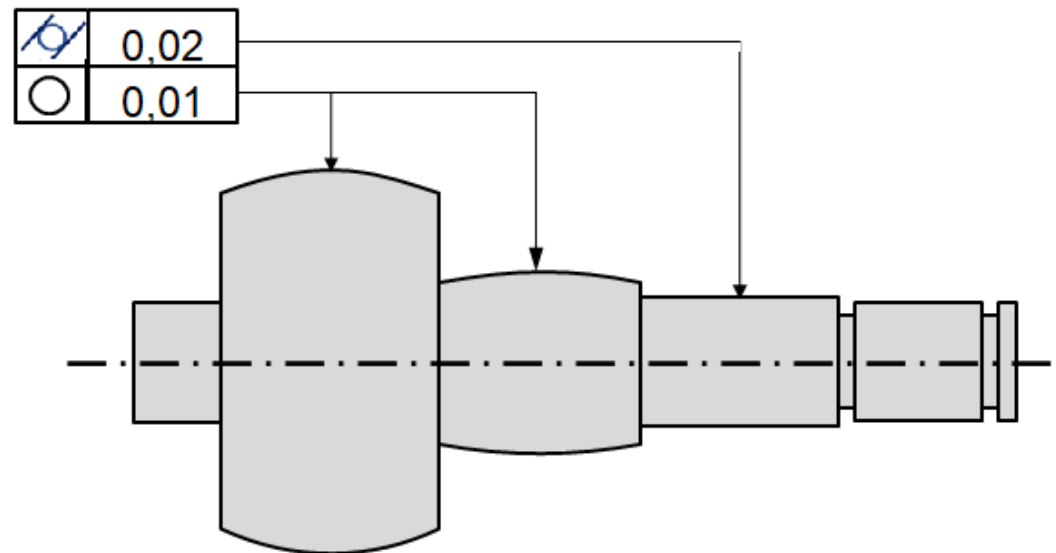




Experimento - 4

Tolerância de Circularidade e Cilindricidade

Nesse experimento a circularidade pode ser verificada centrando-se a seção circular a ser medida e a seguir posiciona-se um relógio comparador sobre a superfície e gira-se a peça, a diferença entre o maior e menor valor indicados é a distância radial entre o maior e o menor círculo concêntrico.

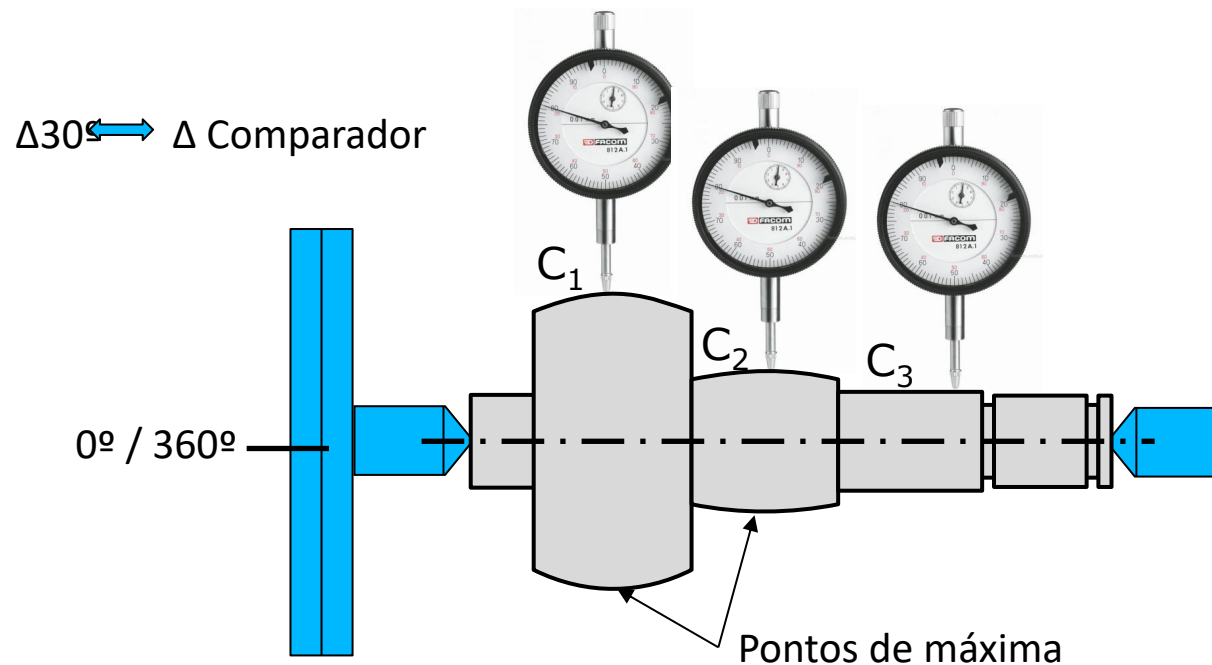




Experimento - 4

Tolerância de Circularidade e Cilindricidade

Utilizando o sistema disponível no laboratório, já montado com a peça mostrada na foto abaixo, o grupo deve avaliar os erros de circularidade C1 e C2 e desvio de cilindridade na superfície C3.

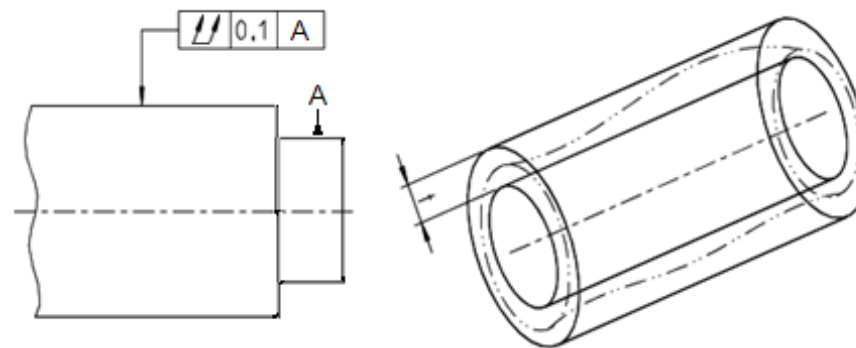
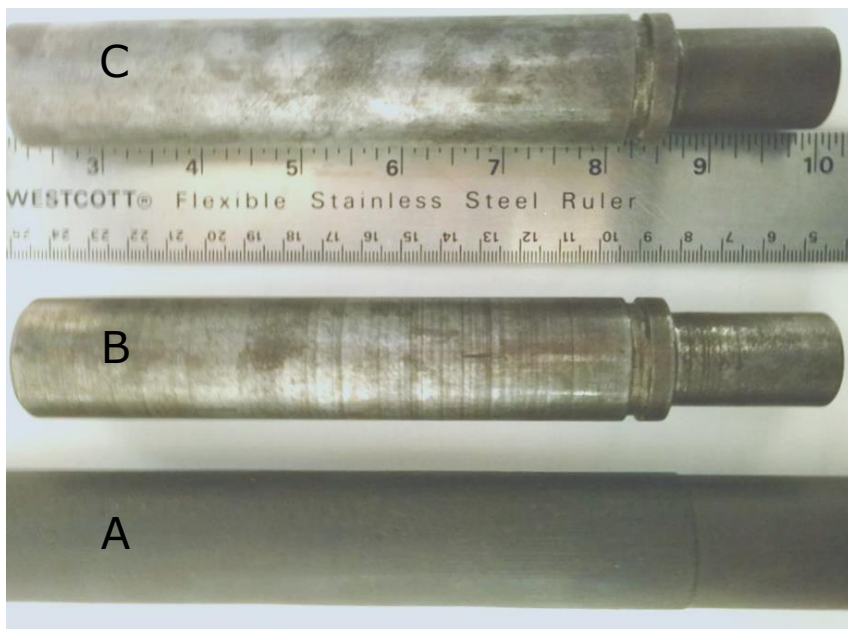




Experimento - 5

Inspeção de Batimento Circular e Batimento Total

Esse experimento tem como objetivo comparar os desvios de batimento radial (ou circular) e batimento total de três barras cilíndricas fabricadas por processos diferentes, A: laminada, B: torneada e C: retificada, conforme a foto abaixo





A diferença entre o menor e maior valor indicados no relógio comparador pode ser comparada a tolerância de batimento especificada. Analisar e comparar os erros de batimentos das três peças (A: laminada, B: torneada e C: retificada) produzidas por processos diferentes.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

Laboratório 2

Metrologia

2021.1



Métodos de medições

Método direto

Neste a quantidade a ser medida é diretamente comparada com um padrão que tem as mesmas dimensões físicas



Método indireto

Neste a quantidade a ser medida não é quantificada de forma direta, mas é obtida por uma quantidade intermediária proporcional a grandeza a ser medida





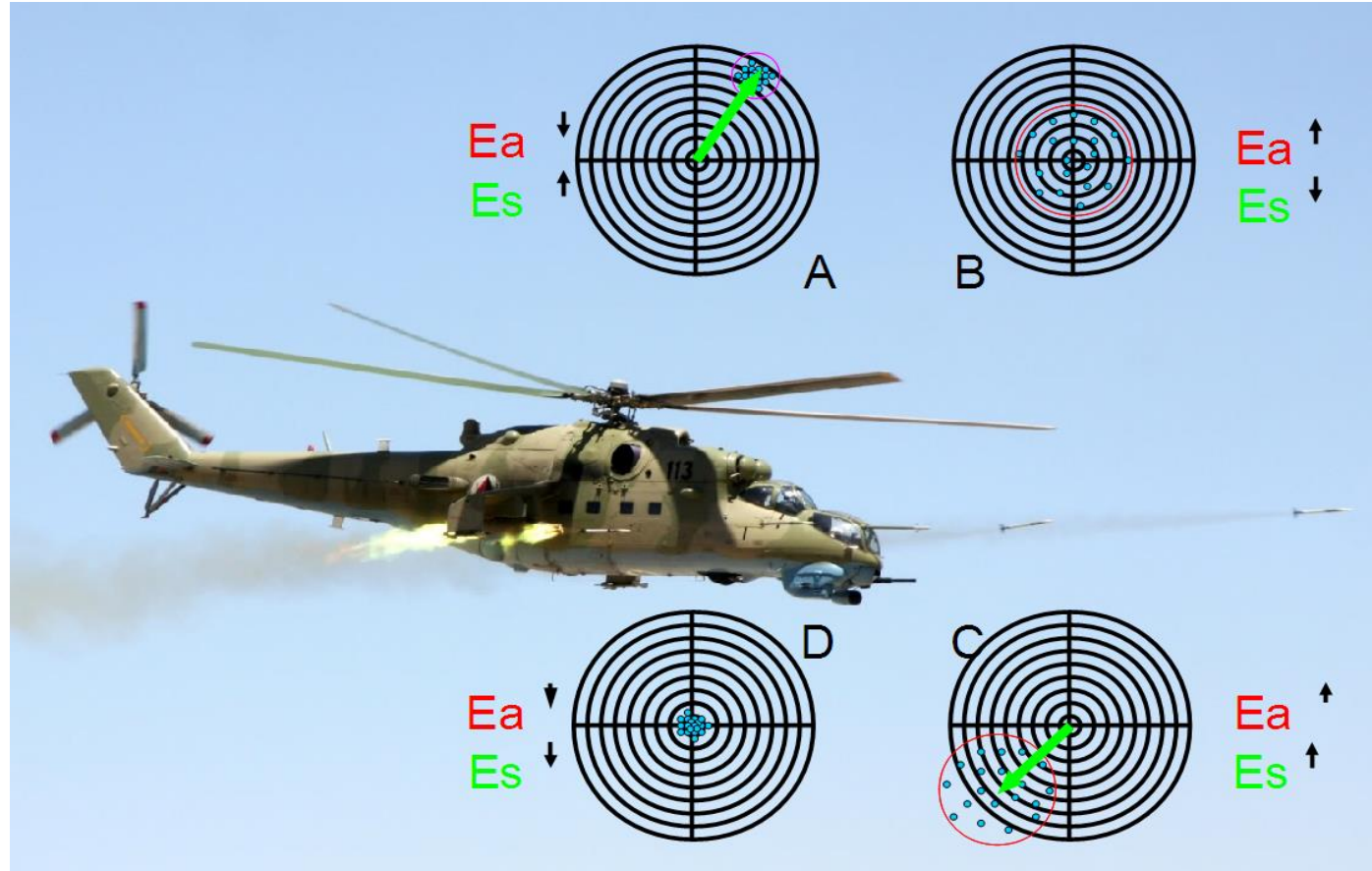
Incerteza e erros de medições

- **Erro máximo** - é o maior valor em módulo do erro que pode ser cometido pelo sistema de medição nas condições em que foi avaliado.
- **Erro de medição** - é o número que resulta da diferença entre a indicação de um sistema de medição e o valor verdadeiro do mensurando.
- **Incerteza de medição** - é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a faixa dos valores que podem fundamentadamente ser atribuídos ao mensurando.
- **Erro sistemático**: é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- **Erro aleatório**: é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações.



Exatidão e precisão

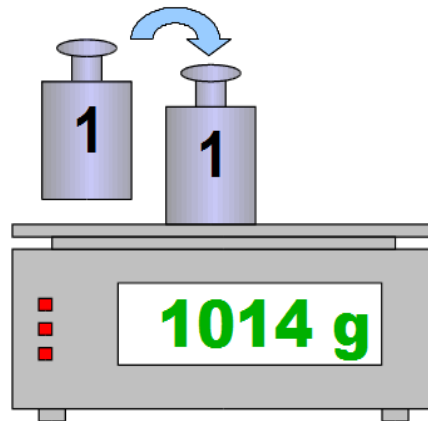
- São parâmetros qualitativos associados ao desempenho de um sistema.
- Um sistema com ótima precisão repete bem, com pequena dispersão.
- Um sistema com excelente exatidão praticamente não apresenta erros.





Erros de medição

$(1000,00 \pm 0,01) \text{ g}$



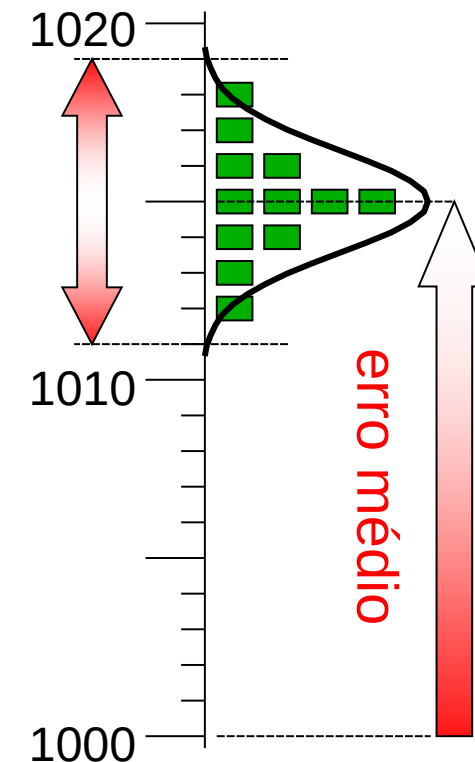
$$E = I - VVC$$

$$E = 1014 - 1000$$

$$E = +14 \text{ g}$$

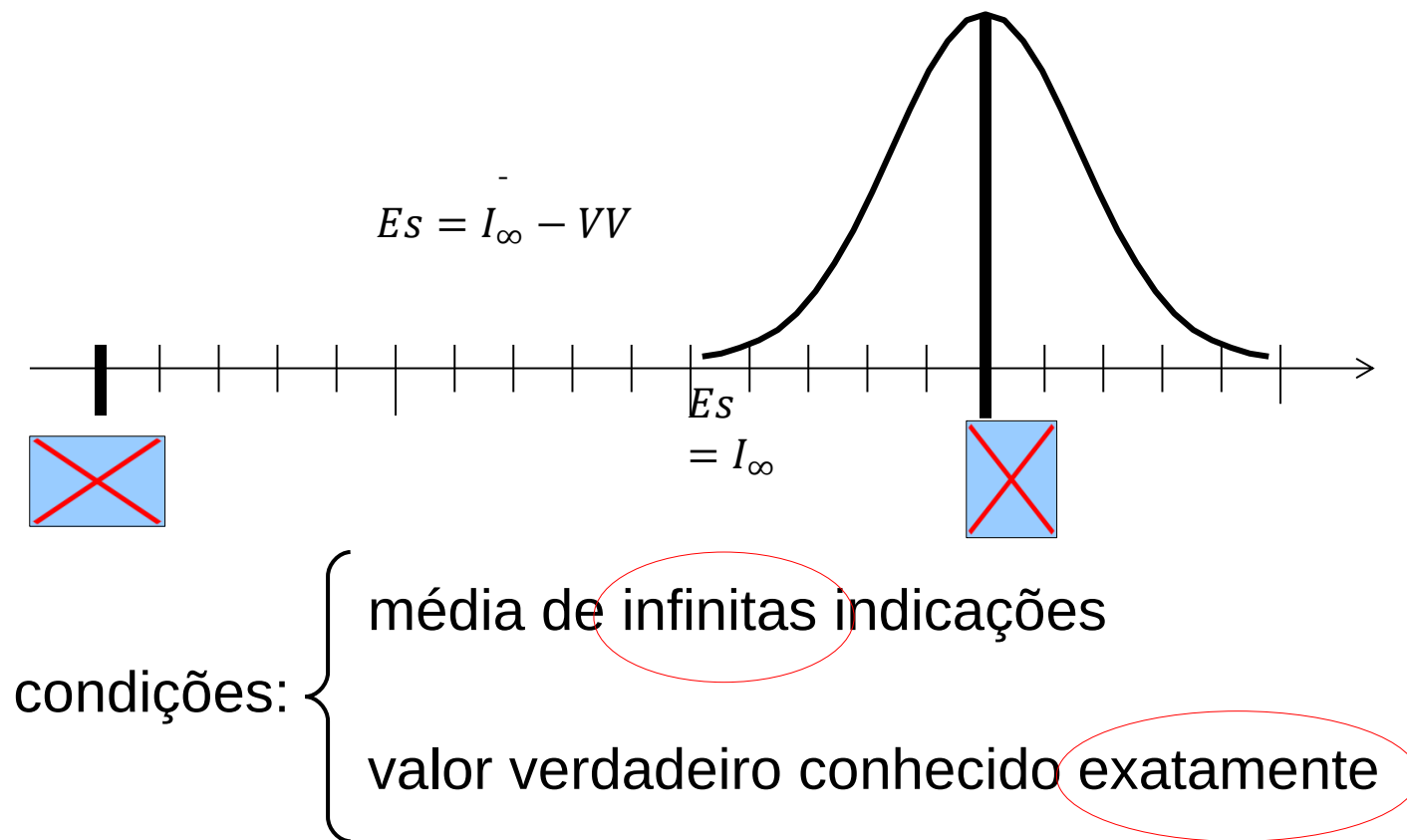
O sistema de Medição
(balança) Indica a mais do
que deveria!

1014 g
1015 g
1017 g
1012 g
1015 g
1018 g
1014 g
1015 g
1016 g
1013 g
1016 g
1015 g



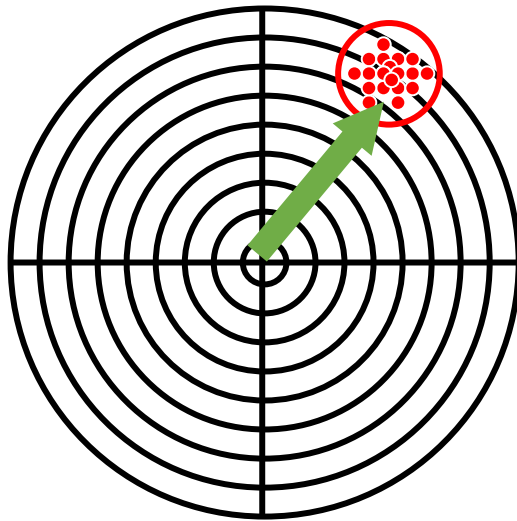


Determinação do erro sistemático

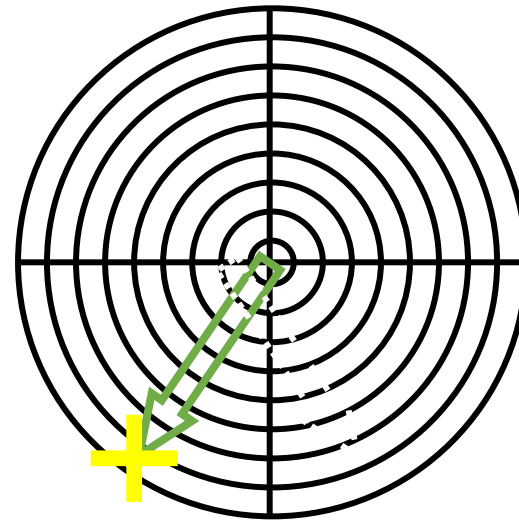




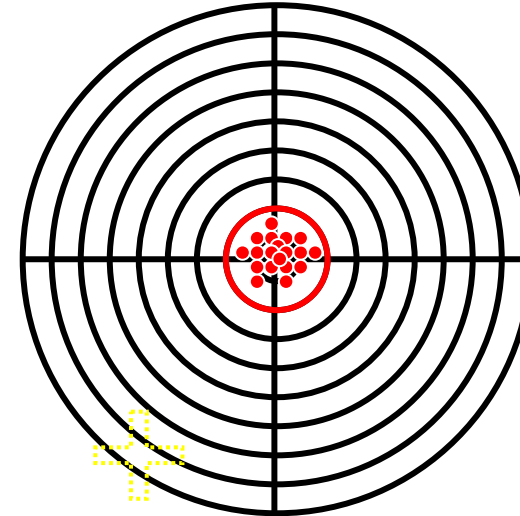
Correções dos erros sistemáticos



T_d



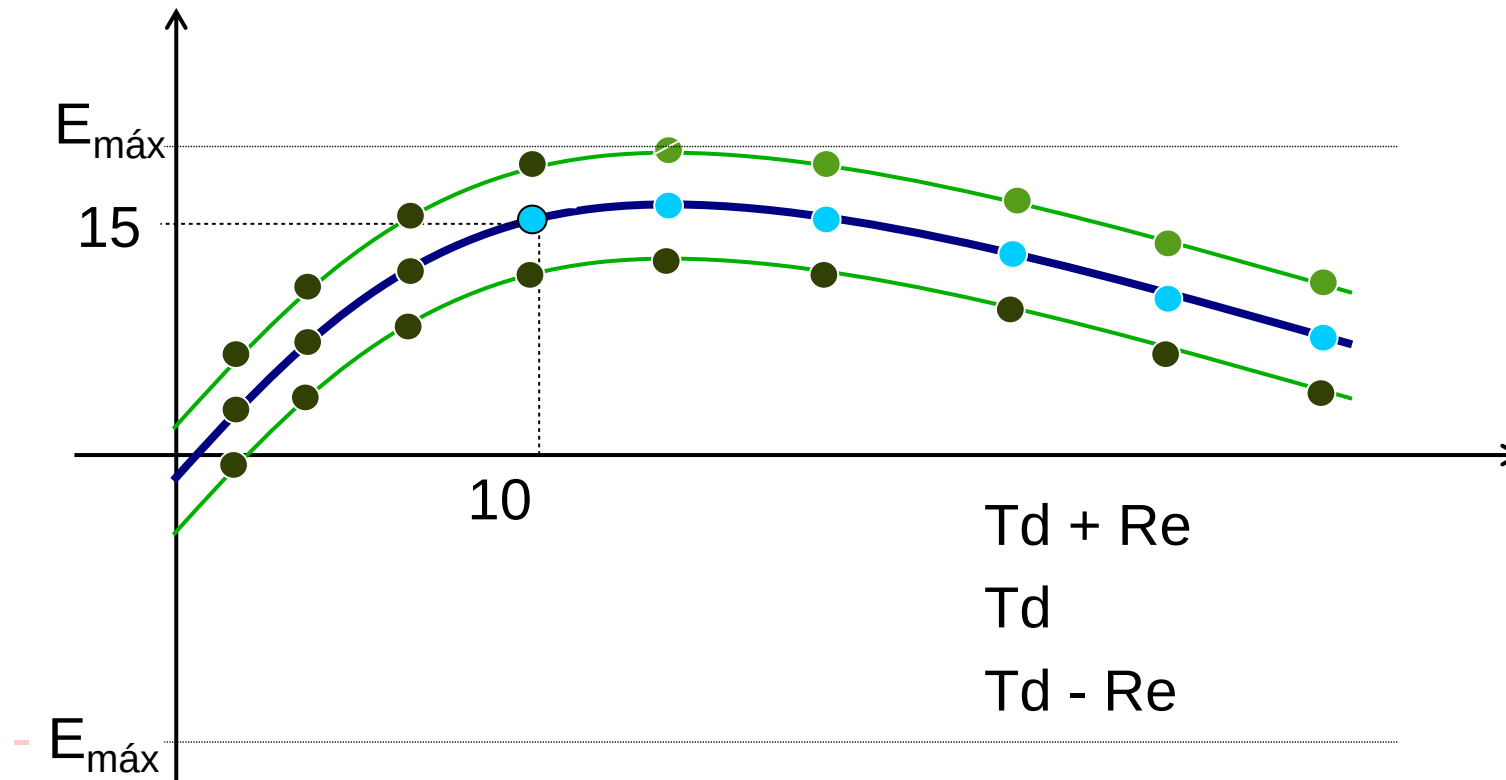
$C = -T_d$





Curva de erros

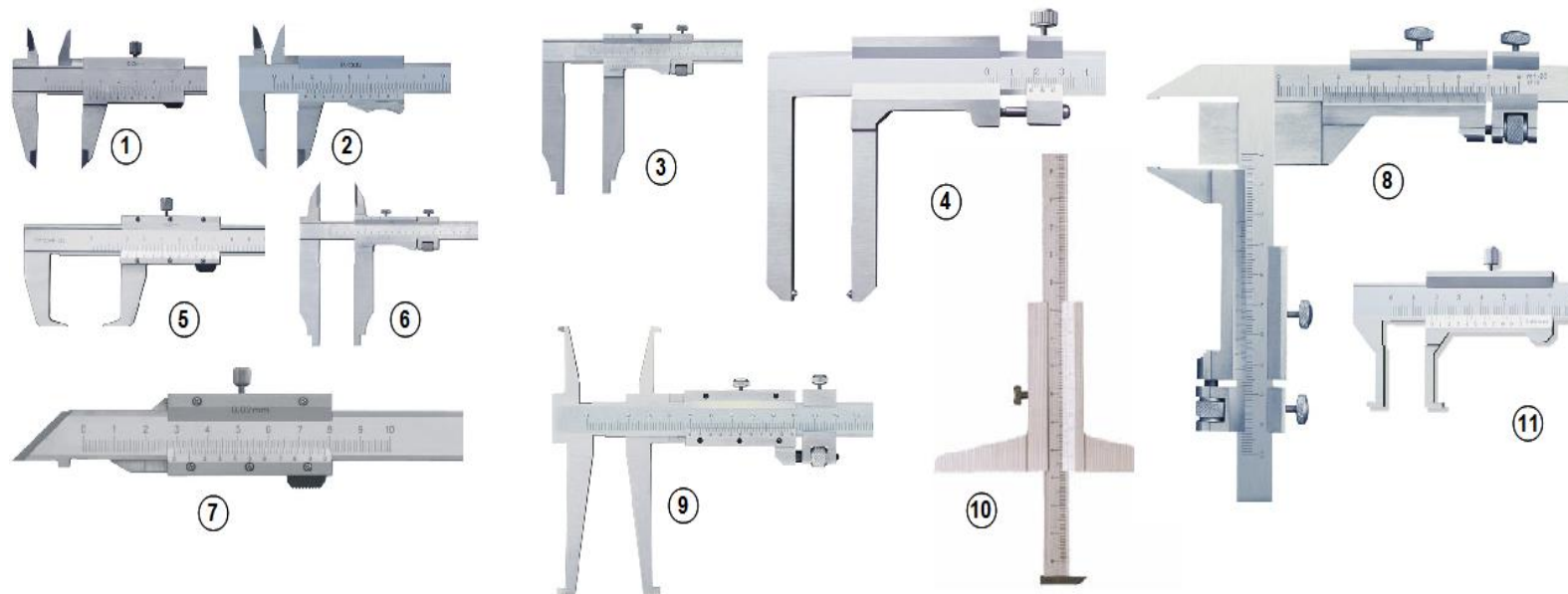
→ É o gráfico que representa a distribuição dos erros sistemáticos e aleatórios ao longo da faixa de medição.





Instrumentos básicos da metrologia industrial

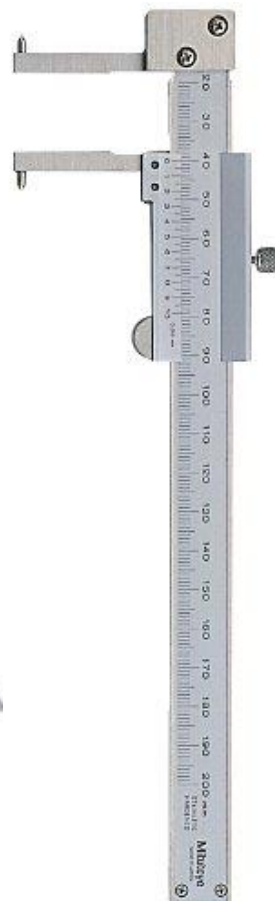
→ Paquímetros - Tipos



- | | |
|--|---|
| 1. Paquímetro universal com trava superior | 2. Paquímetro universal com trava |
| 3. Paquímetro de bico longo | 4. Paquímetro para medição de chapas com ajuste |
| 5. Paquímetro para medição de chapas | 6. Paquímetro de bicos planos. |
| 7. Paquímetro com 45º estrutura aberta | 8. Paquímetro para dentes |
| engrenagens | |
| 9. Paquímetro tipo faca para ranhuras internas | 10. Paquímetro para profundidade |
| | 11. Paquímetro para ranhuras internas |



Instrumentos básicos da metrologia industrial

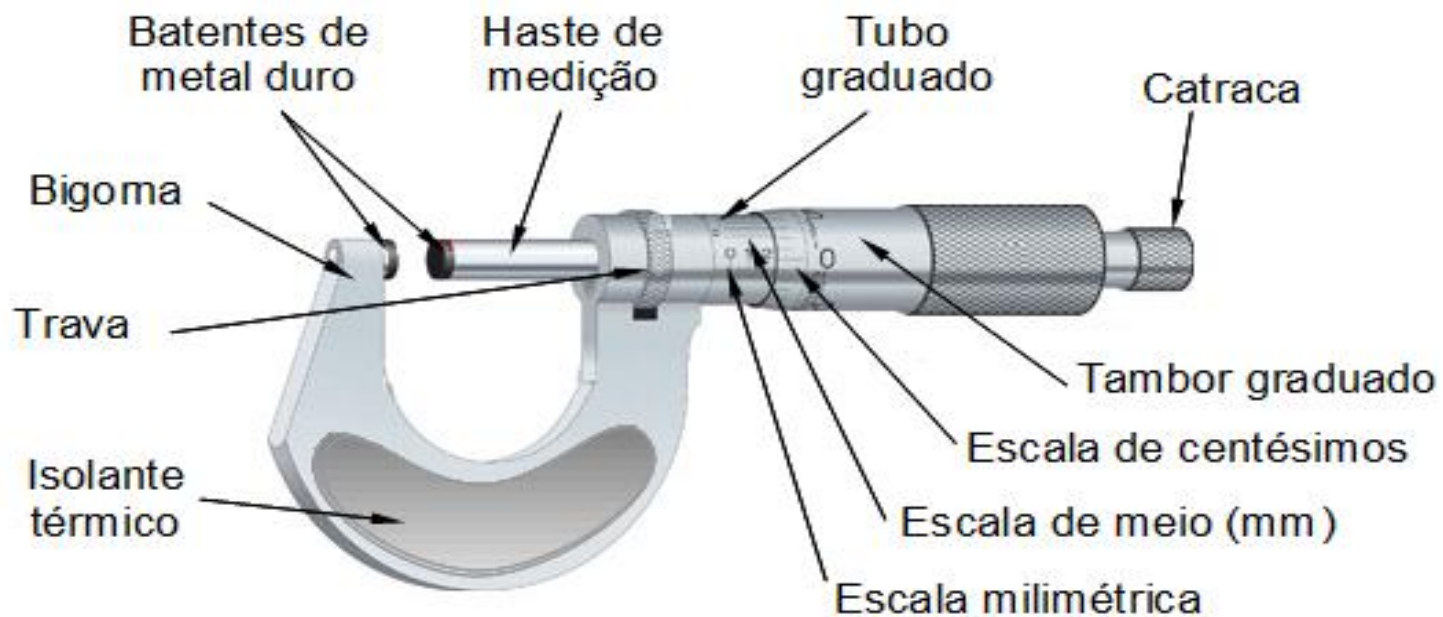




Instrumentos básicos da metrologia industrial

Micrômetros

Características construtivas

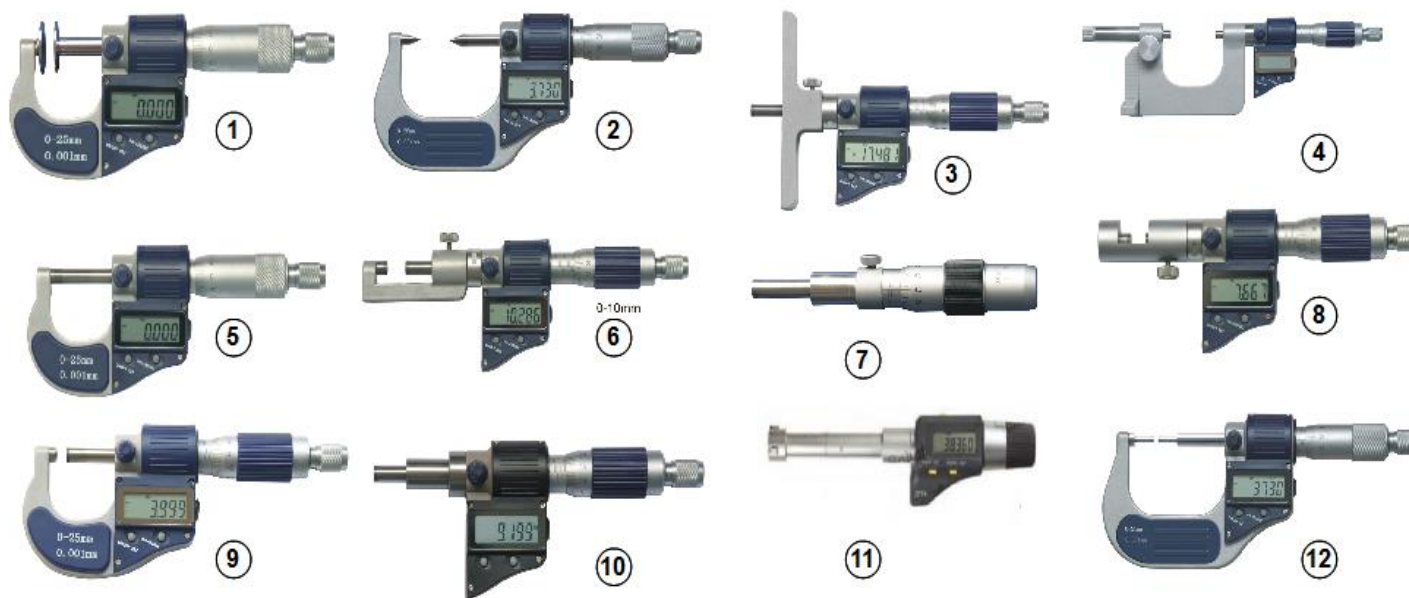




Instrumentos básicos da metrologia industrial

Micrômetros

Tipos



1. Micrômetro para módulo de engrenagens
2. Micrômetro com pontas
3. Micrômetro para profundidade
4. Micrômetro com ajuste da faixa de operação
5. Micrômetro universal
6. Micrômetro para mancais

7. Parafuso micrométrico
8. Micrômetro para medição de fios
9. Micrômetro para tubos
10. Parafuso micrométrico digital
11. Micrômetro interno
12. Micrômetro para peças frágeis

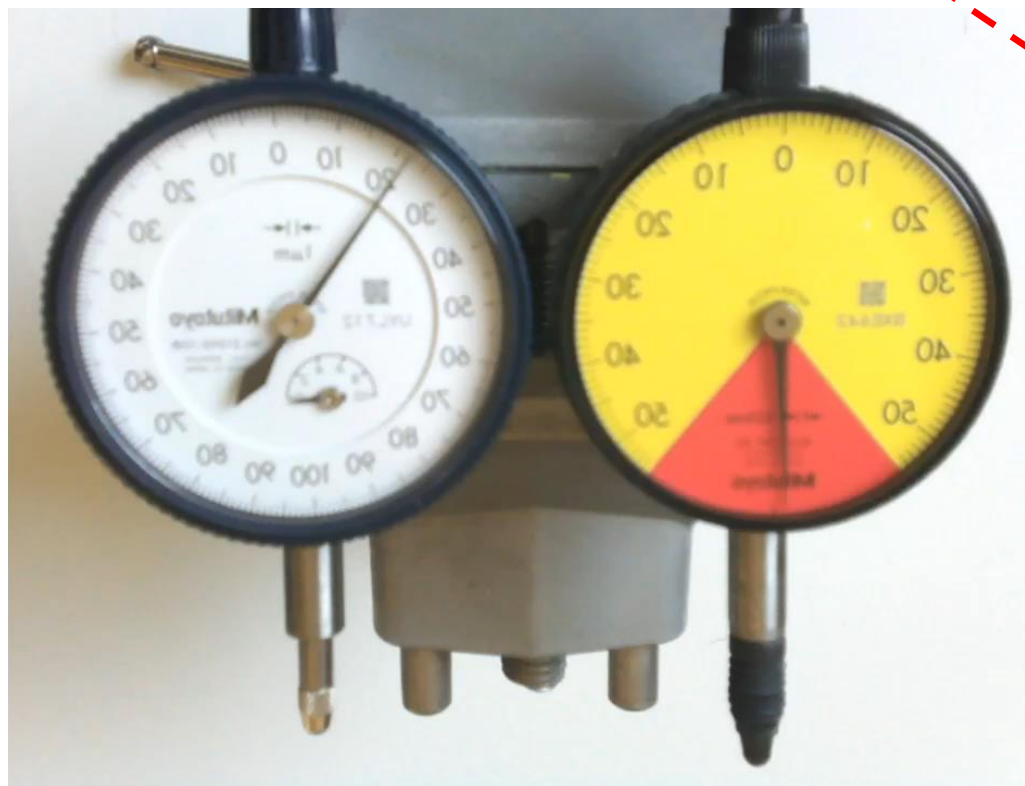


This image displays a variety of precision measuring instruments. In the top left is a micrometer with a black frame and a silver barrel, marked 'BAKER 0.01 mm'. To its right is a vernier caliper with a silver frame and a black base, marked '0.01mm 0-25mm'. Further right is a large, curved vernier caliper with a silver frame and a black base, marked '0.01mm 0-25mm'. Below the black-framed micrometer is a Mitutoyo depth gauge with a silver frame and a black base, marked '5-20'. To its right is a Mitutoyo vernier caliper with a green frame and a silver barrel, marked 'Mitutoyo 0.01mm 0-25mm'. Below the depth gauge is a Mitutoyo gauge block with a silver frame and a black base, marked '129-110'. To its right is a Mitutoyo gauge block with a silver frame and a black base, marked 'Mitutoyo 0.01mm 0-25mm'. At the bottom left are two long, thin rods with black handles. At the bottom right is a blue-framed vernier caliper with a silver barrel, marked '0.01mm 0-25mm'.



Instrumentos básicos da metrologia industrial

Relógios comparadores



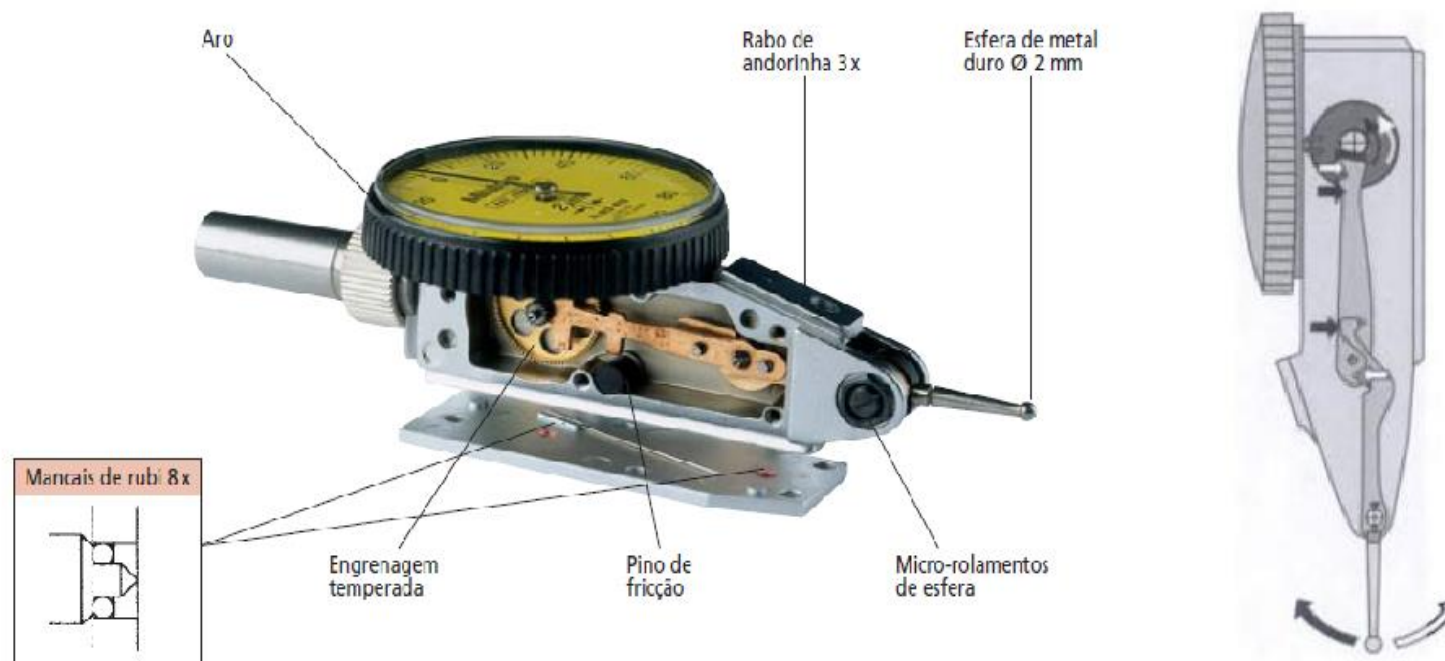
Vídeo



Instrumentos básicos da metrologia industrial

Relógios comparadores

Características construtivas

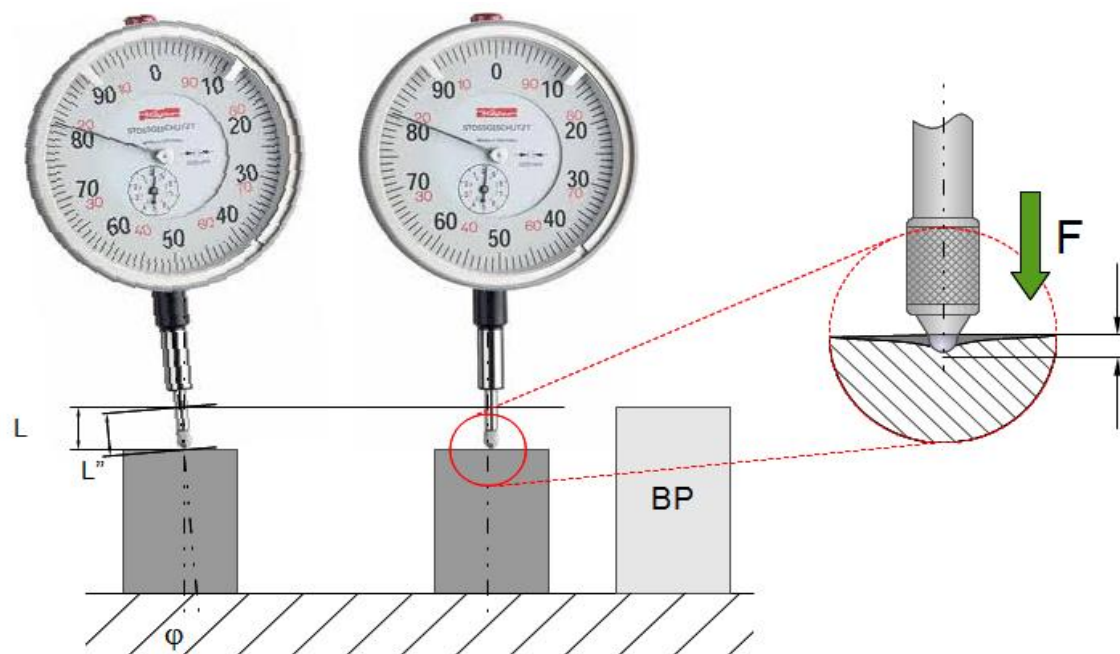




Instrumentos básicos da metrologia industrial

Relógios comparadores

→ Erros em relógios comparadores



$$\Delta L = L' - L = \frac{\phi}{2}$$

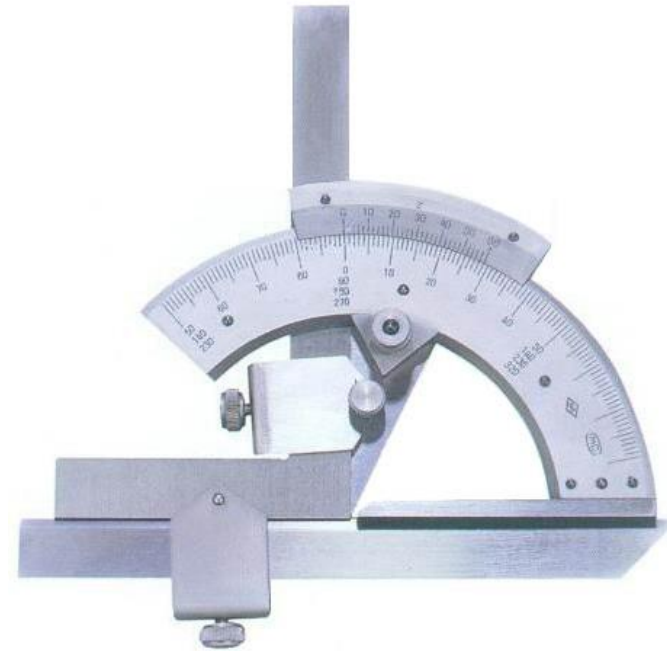


www.ted-kyte.com



Instrumentos básicos da metrologia industrial

Medidores de ângulos





Seleção dos equipamentos de medição

REQUISITOS

- faixa de operação
- Incerteza de medição
- aplicabilidade
- capacidade
- adaptabilidade a produção
- custo
- outros



SELEÇÃO