

Fundamentos dos Processos de Usinagem

Destribuição do tópico usinagem na disciplina PMR

2202 Aula 01 - Fundamentos da usinagem

**Aula 02 - Processos de Usinagem com Ferramentas de
geometria definida**

**Aula 03 - Processos de Usinagem com Ferramentas de
geometria não definida**

Fundamento da usinagem

- Introdução
- Fundamentos
 - Cinemática do processo
 - Parâmetros de corte
 - Geometria de cunha de corte
 - Forças na usinagem
- Cavacos
- Desgaste nas ferramentas de corte
- Fluidos de corte

PMR-2202

Introdução

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

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

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

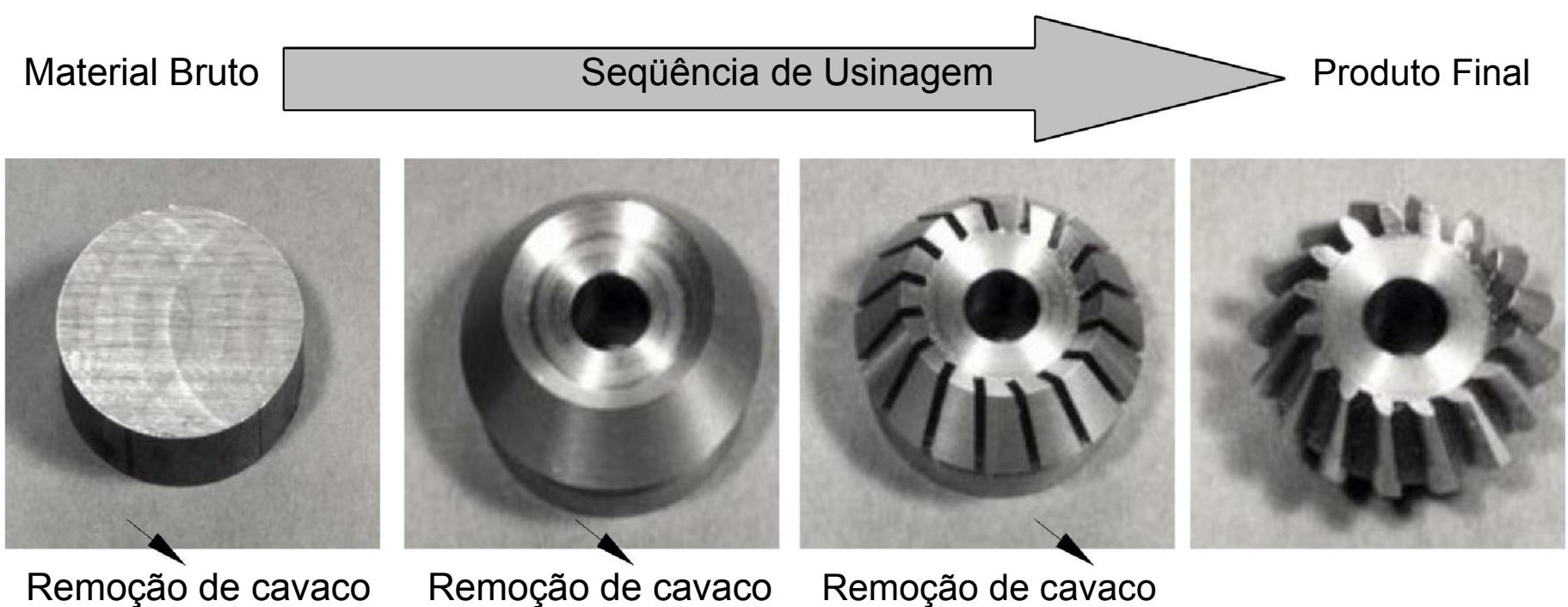
Introdução

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

Usinagem - O Estudo da usinagem é baseado na mecânica (cinemática, atrito e deformação), na termodinâmica (geração e propagação de calor) e nas propriedades dos materiais.

Introdução

Usinagem

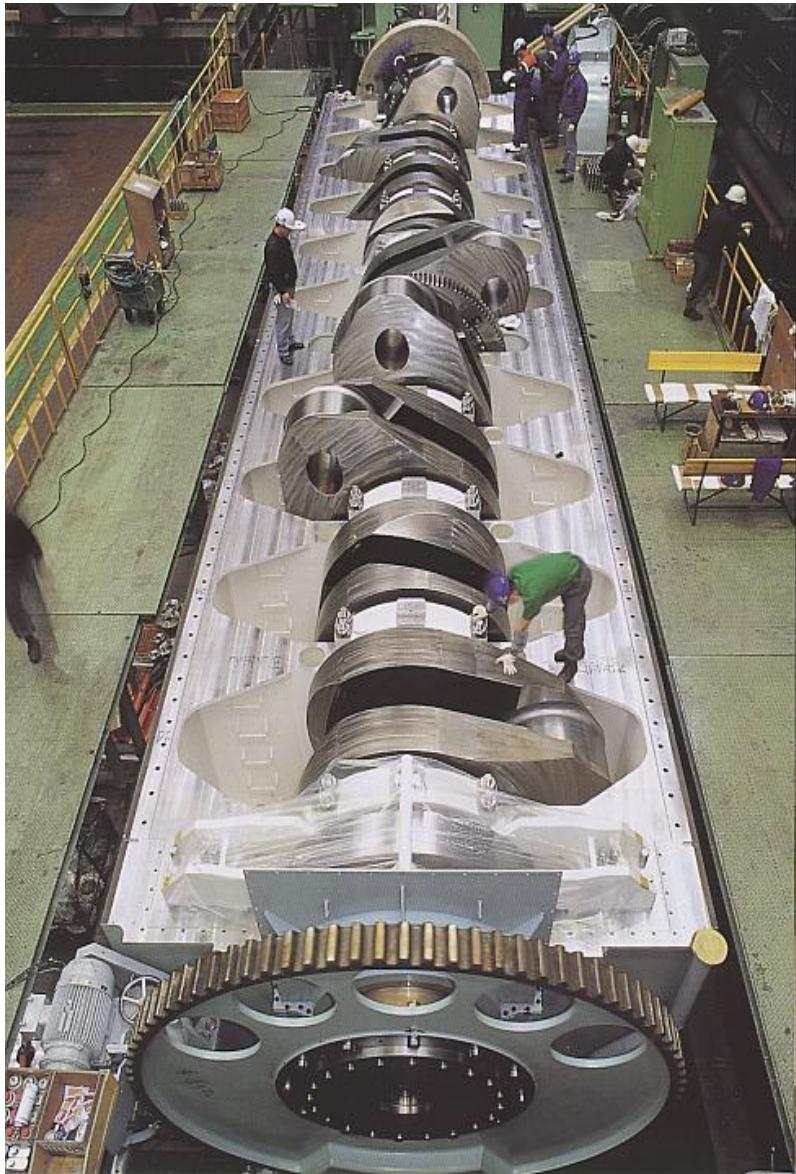


Importância da usinagem na industria metal mecânica



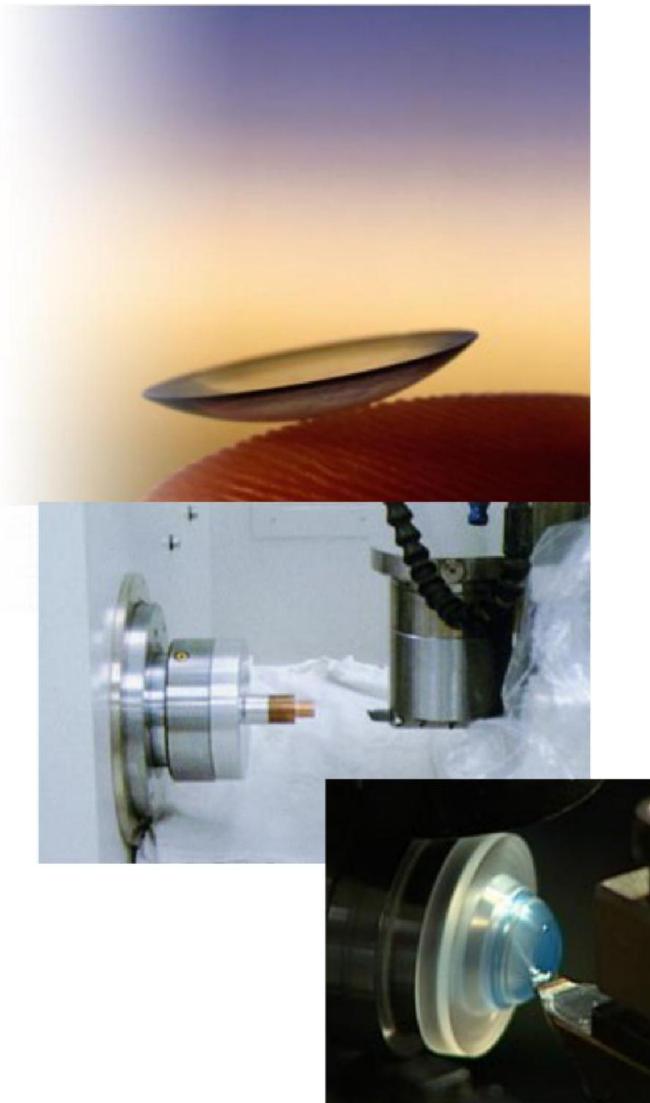
A maior parte de todos os produtos industrializados em alguma de suas etapas de produção sofre algum processo de usinagem⁷

Importância da usinagem na industria metal mecânica



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

Importância da usinagem na industria metal mecânica

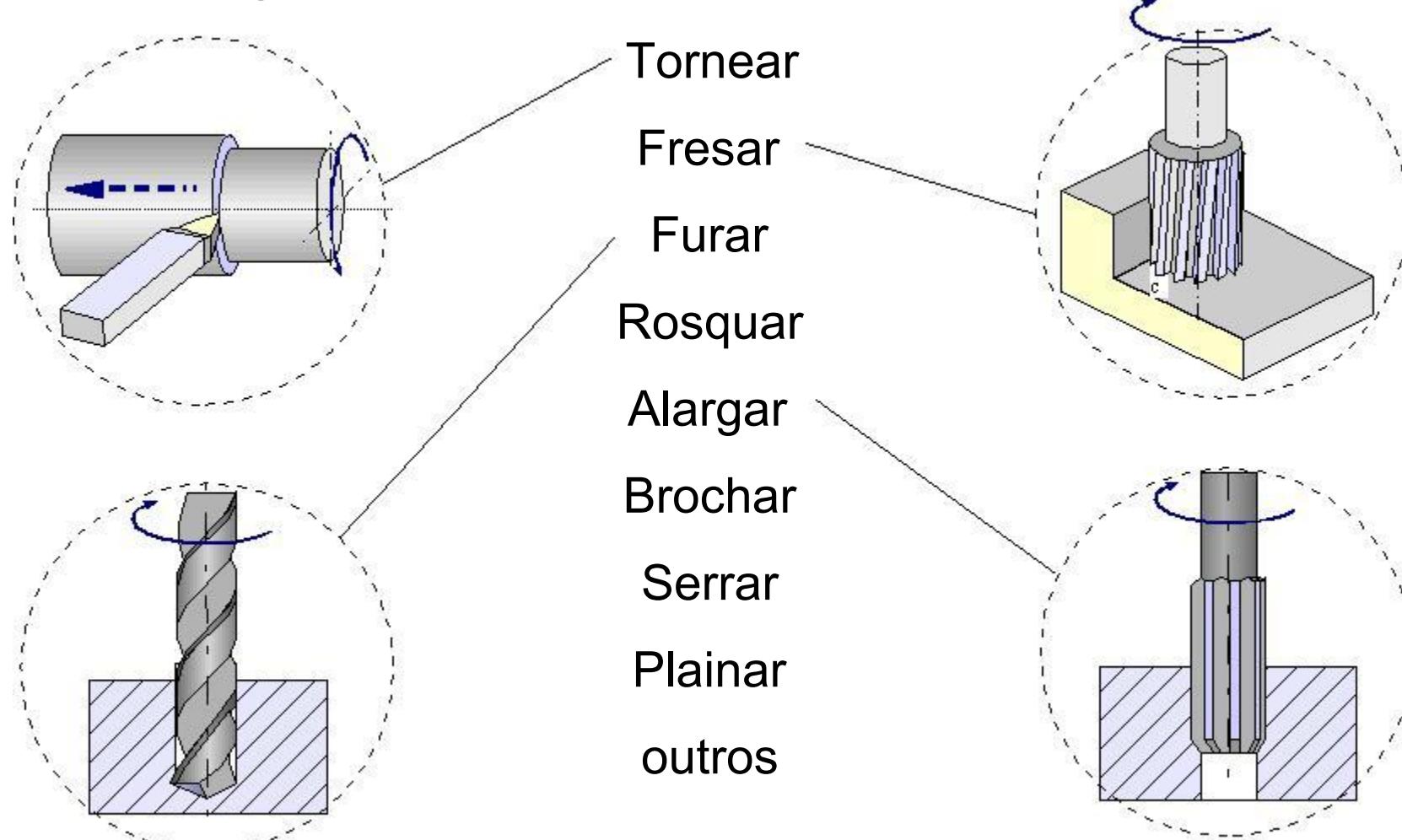


Outros produtos usinados

- 70% das lentes de contatos extraoculares
- 100% das lentes de contatos intraoculares
- Lentes para CD player ou suas matrizes

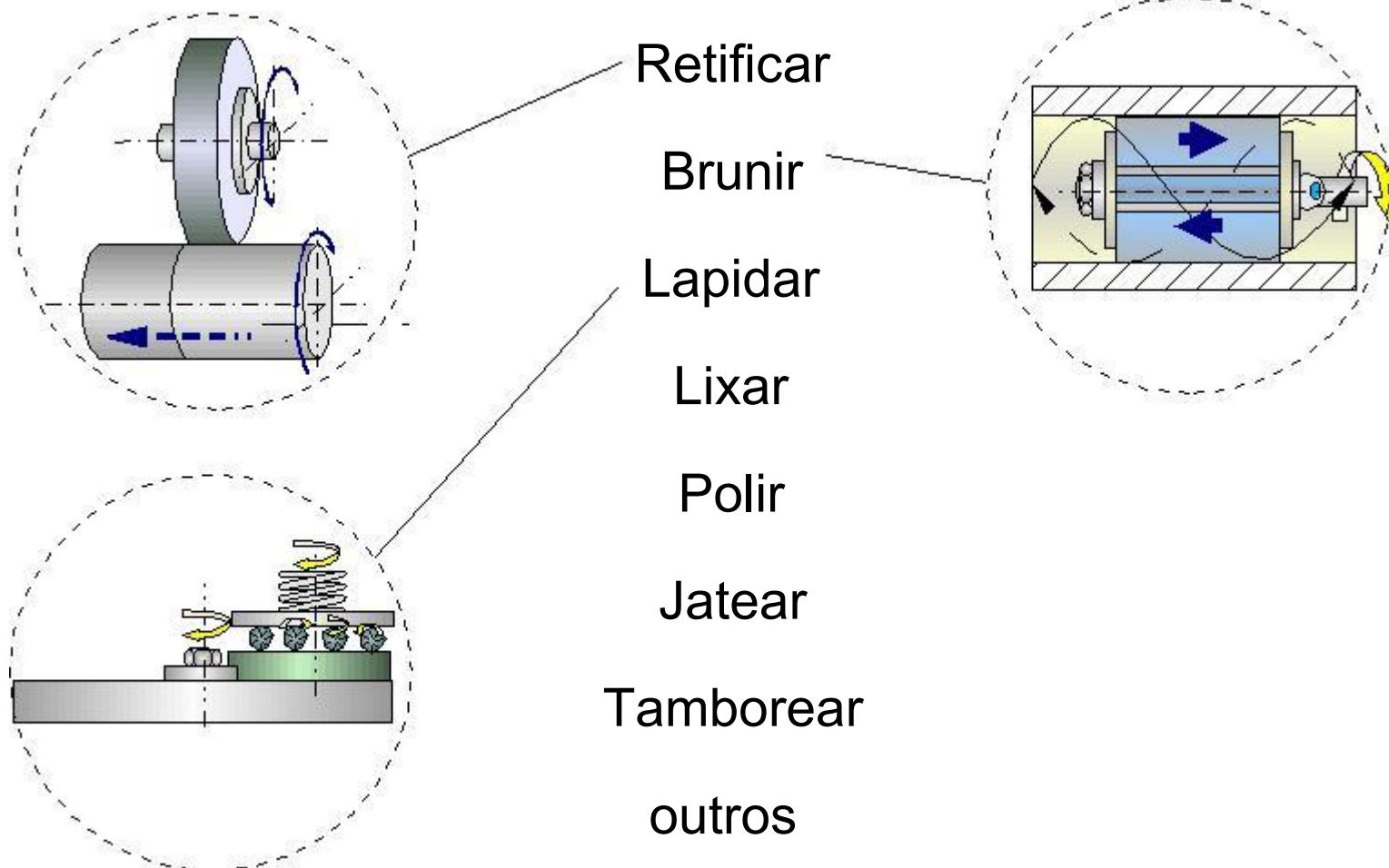
Classificação dos processos de usinagem

Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida



Classificação dos processos de usinagem

Usinagem com Ferramenta de Geometria Não Definida



Classificação dos processos de usinagem

Usinagem Não convencional

Remoção térmica

Remoção Química

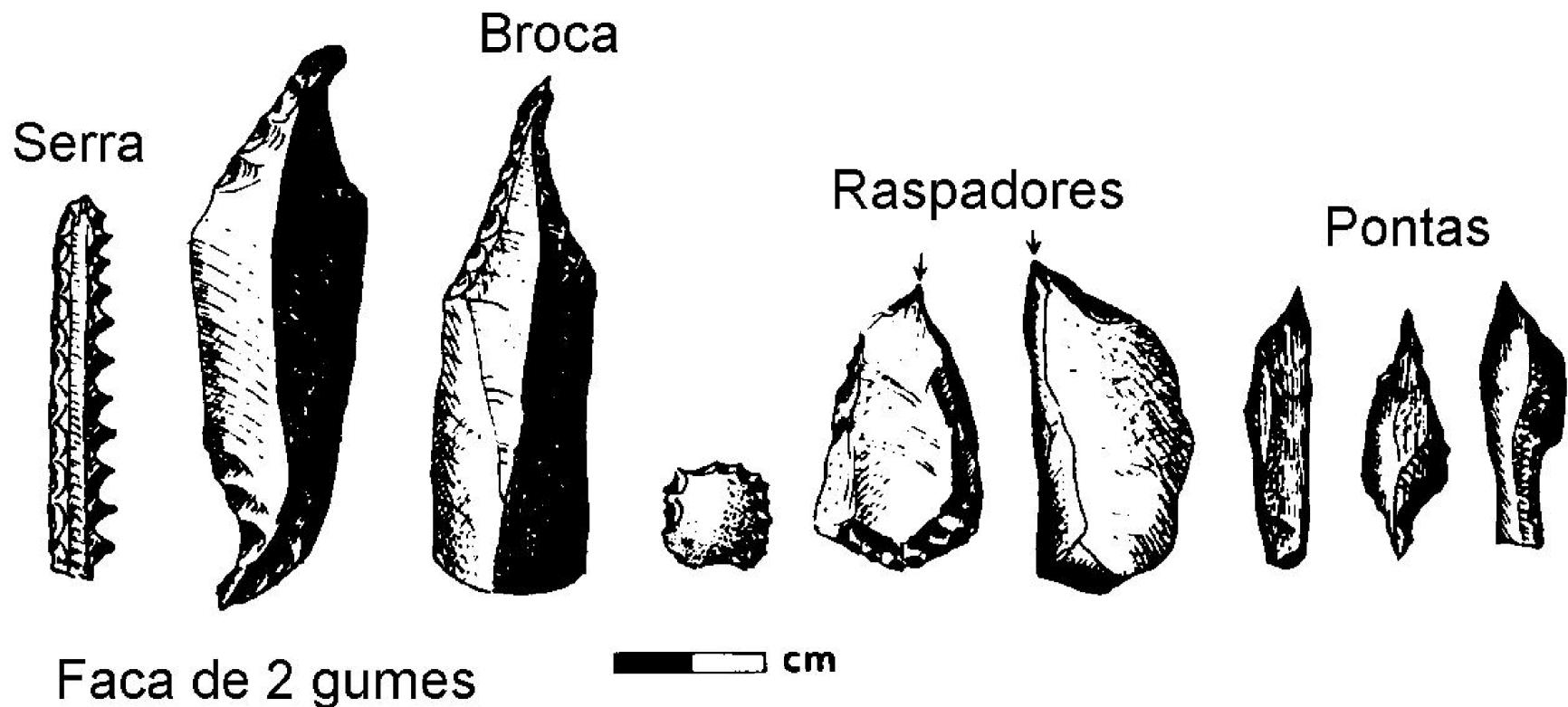
Remoção Eletroquímica

Remoção por ultra-som

Remoção por jato

d'água outros

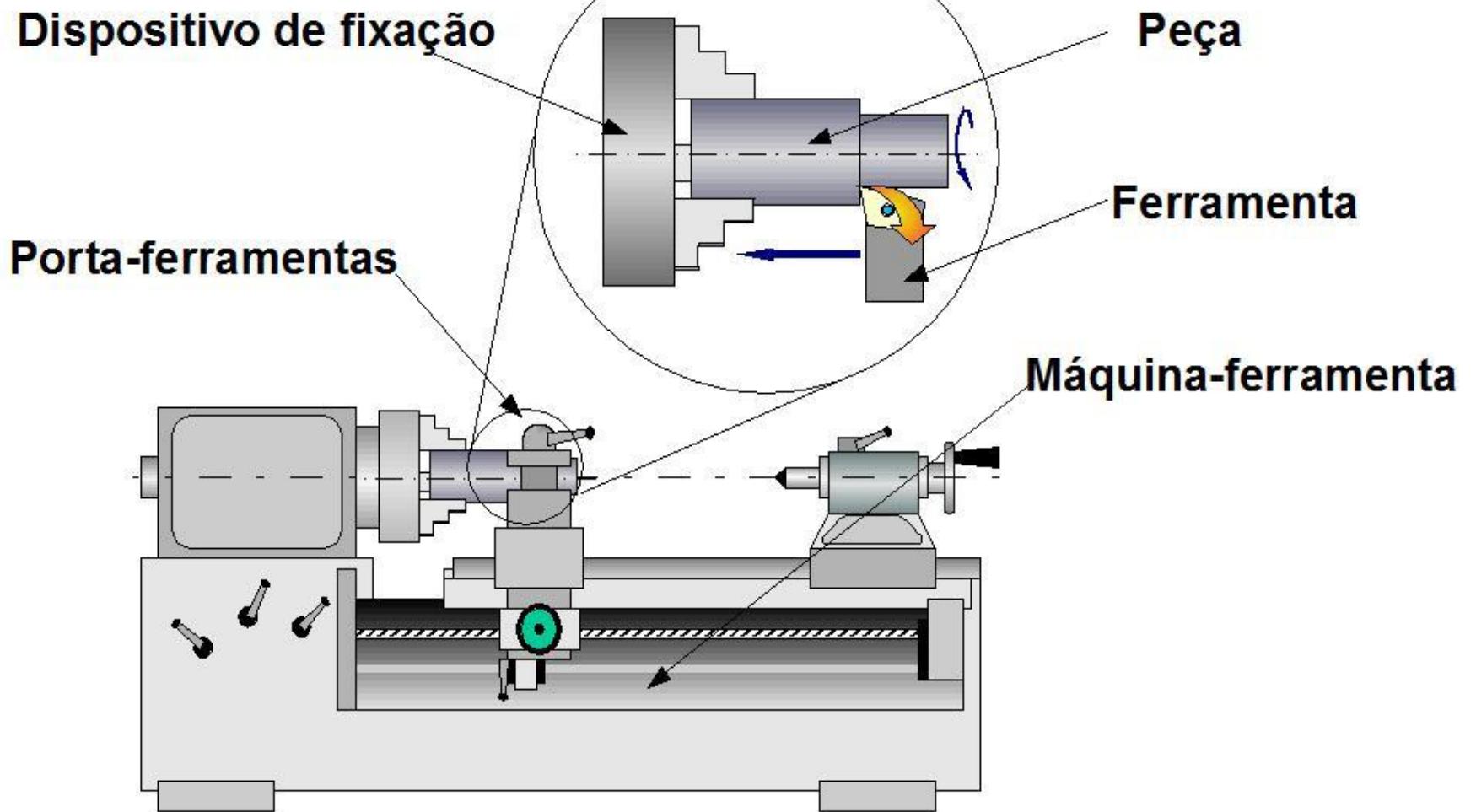
Evolução Histórica



Ferramentas de pedras para remoção

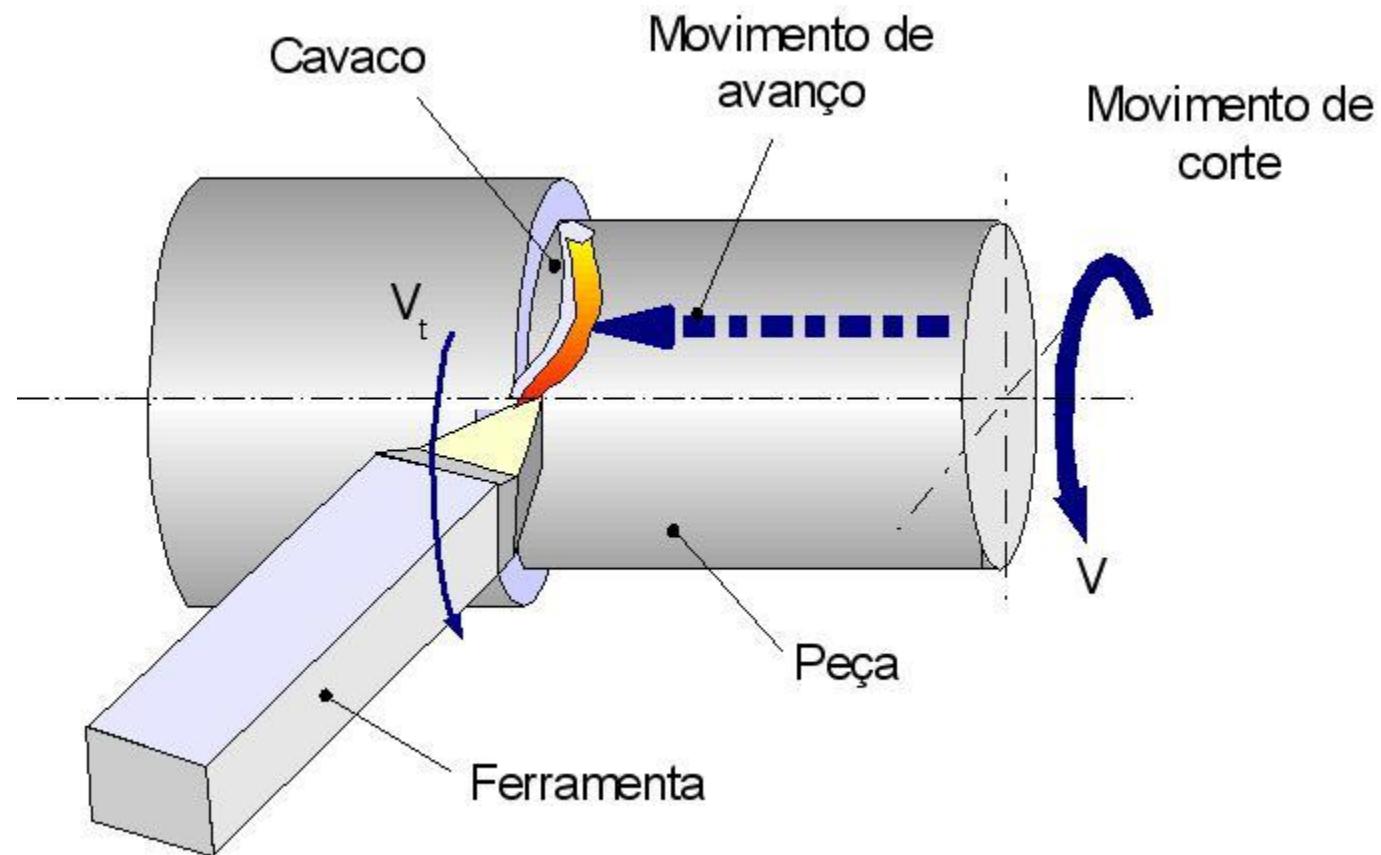
Fundamentos da usinagem dos materiais

Grandezas do Processo



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 (Vc)

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

$$V_c = \frac{*d*n}{1000} \quad (\text{Eq. 1})$$

→ Velocidade de Avanço (Vf)

→ Velocidade efetiva de corte (Ve)

Velocidade de Corte (Vc)

$$V = *_{d*n}$$

- Vc é um valor obtido experimentalmente c 1000
 - 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
 - Vc ainda depende da máquina-ferramenta, da geometria da peça, do tipo de dispositivo de fixação e da experiência do operador ou programador

Exemplos de tabela de Velocidade de Corte (Vc)

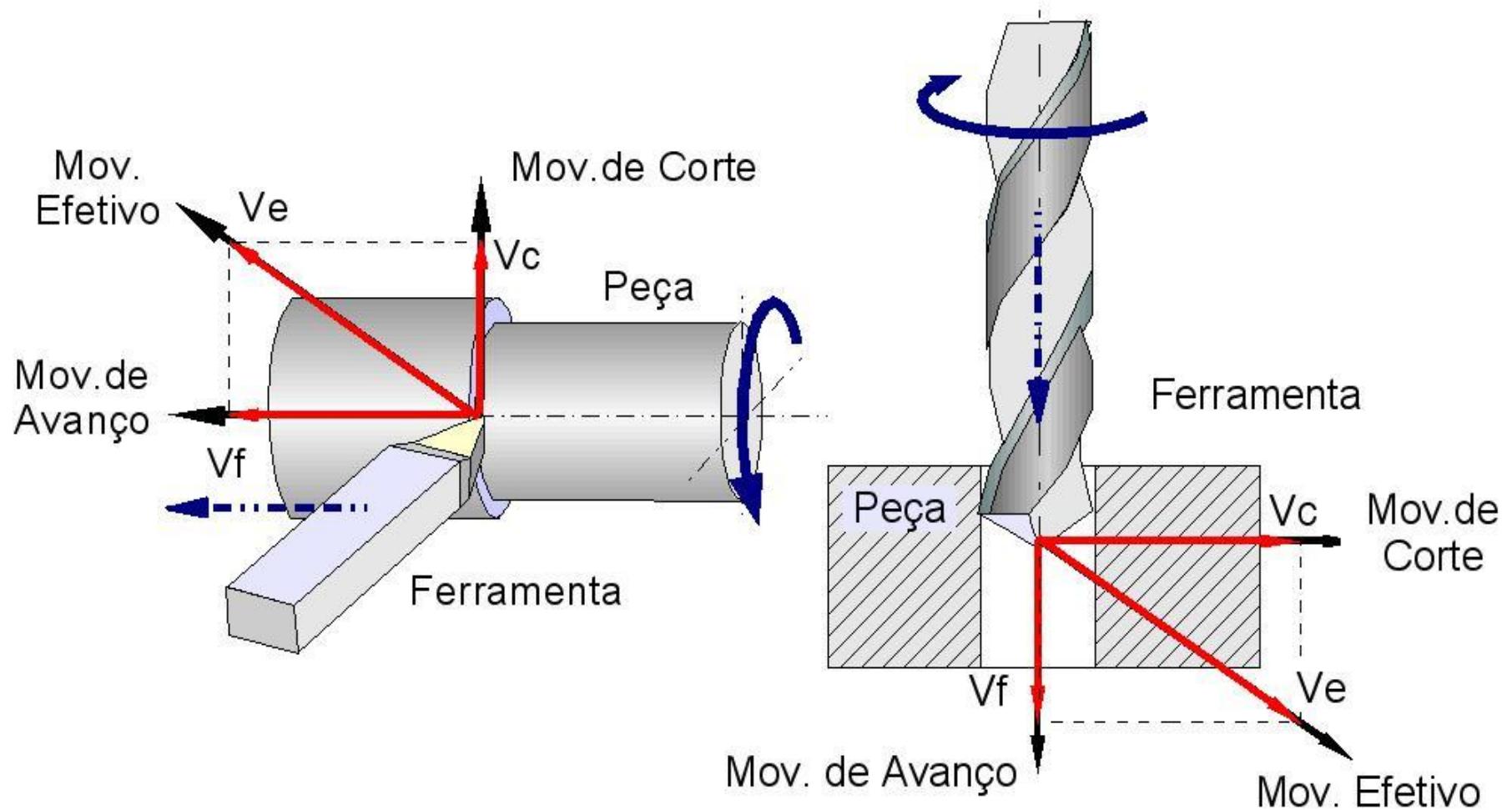
Table 9.13 GARANT external turning 0° and 7° (finish-machining)



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

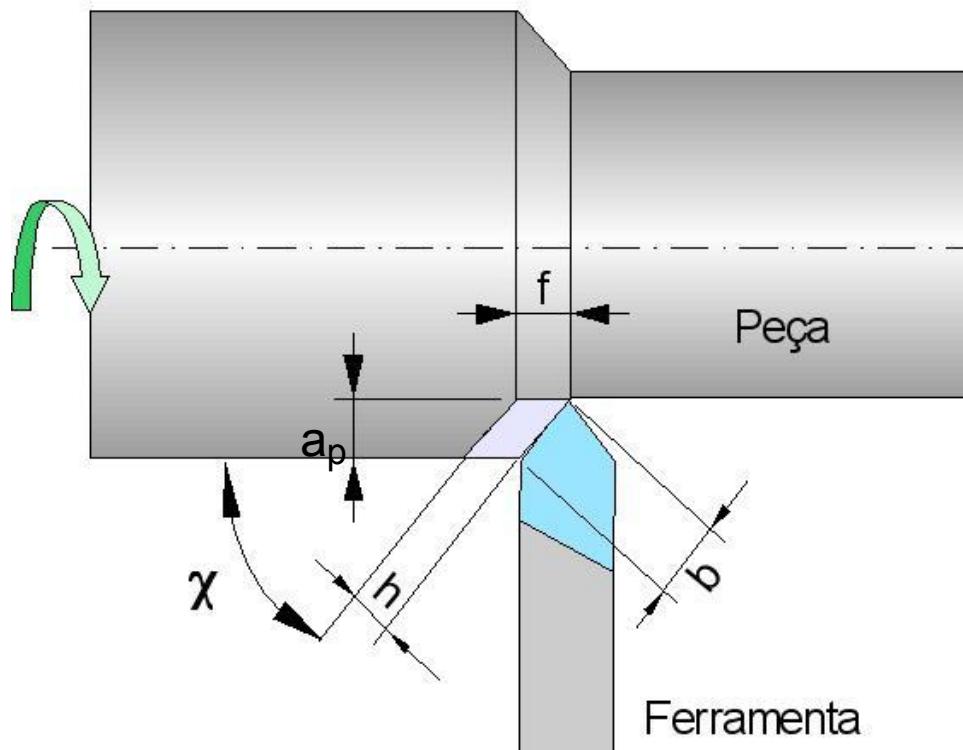
Cinemática Geral dos Processos de Usinagem

Movimentos nos processos de usinagem



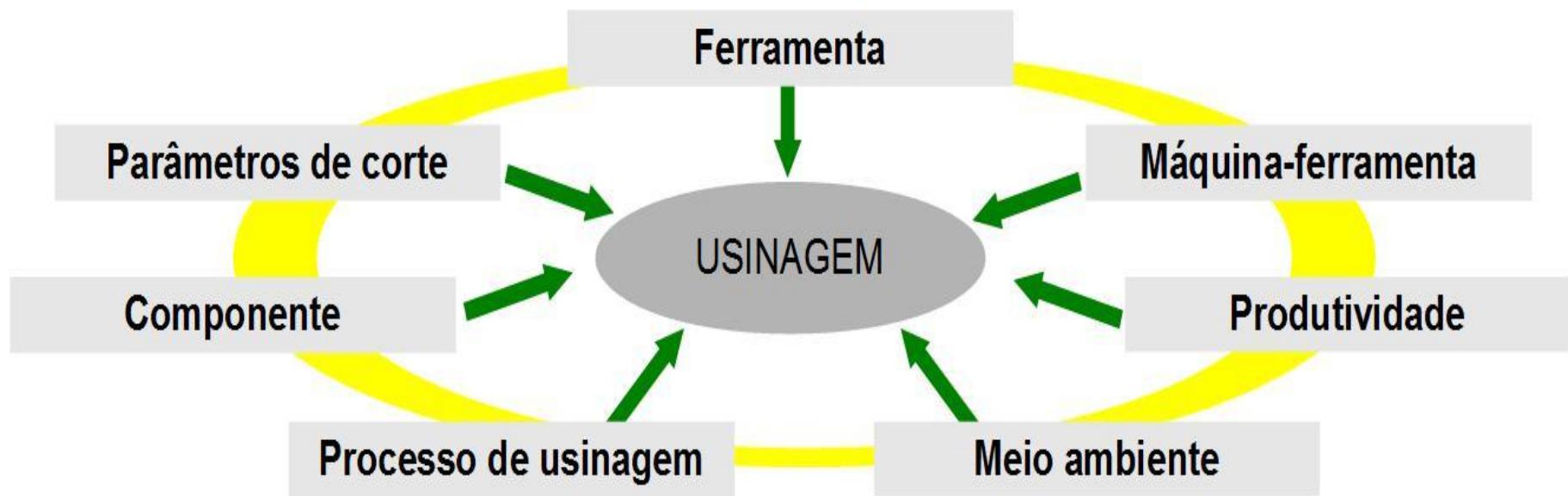
Grandezas do processo de usinagem

Onde:

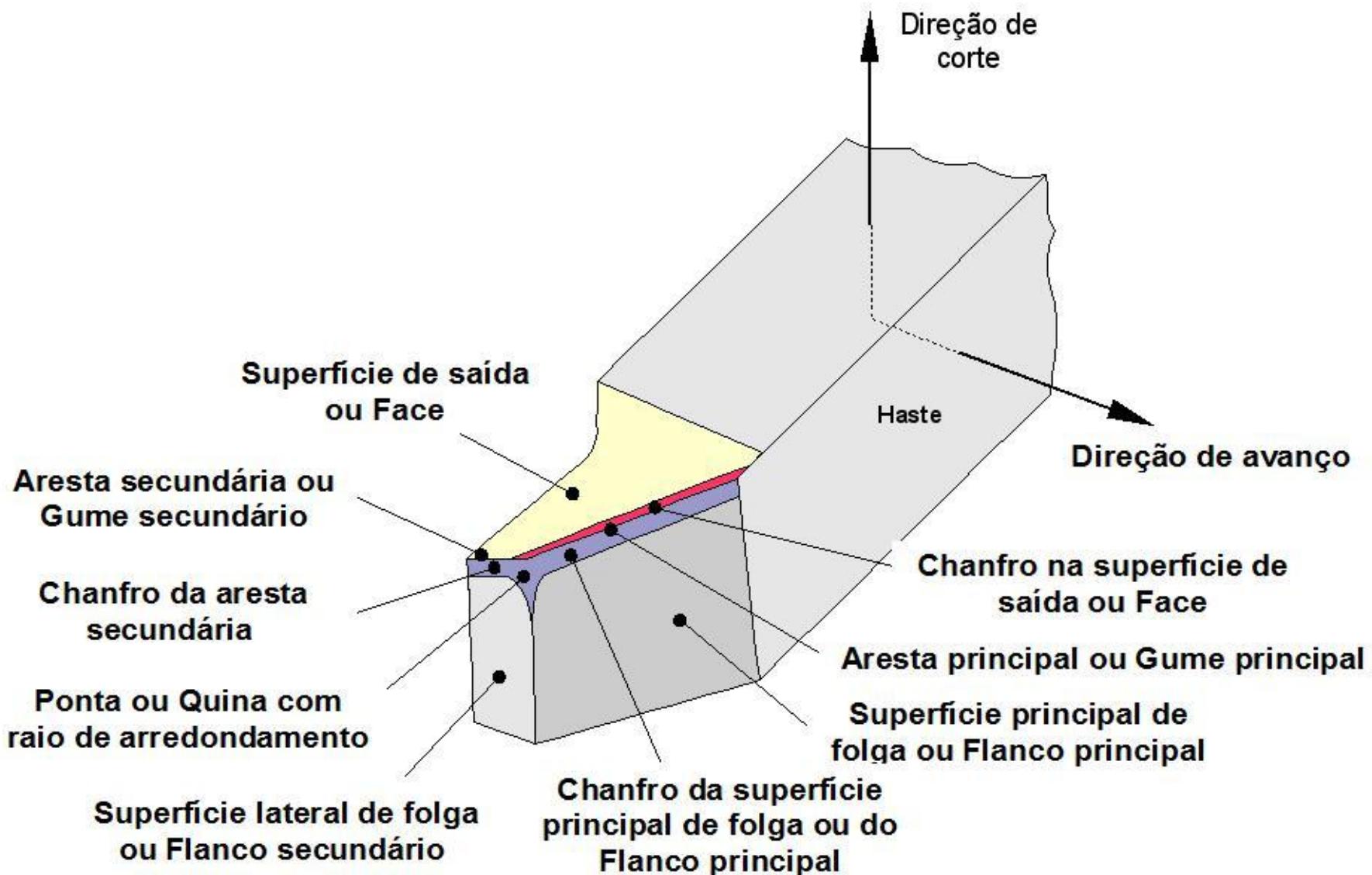


- a_p – profundidade de corte
- f – avanço por revolução
- b – largura de usinagem
- h – espessura de usinagem
- Seção de usinagem $a_p * f$
- Seção de usinagem $b * h$

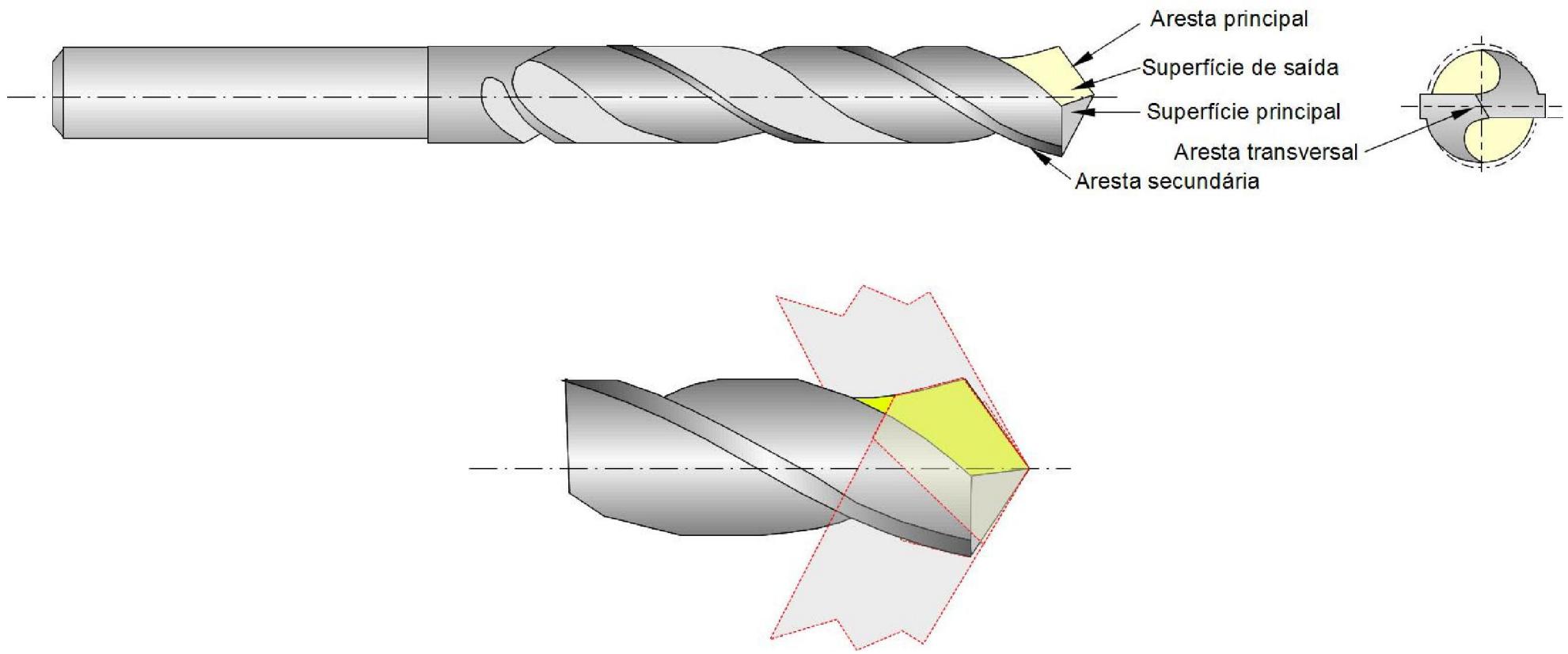
Relações que envolvem a usinagem



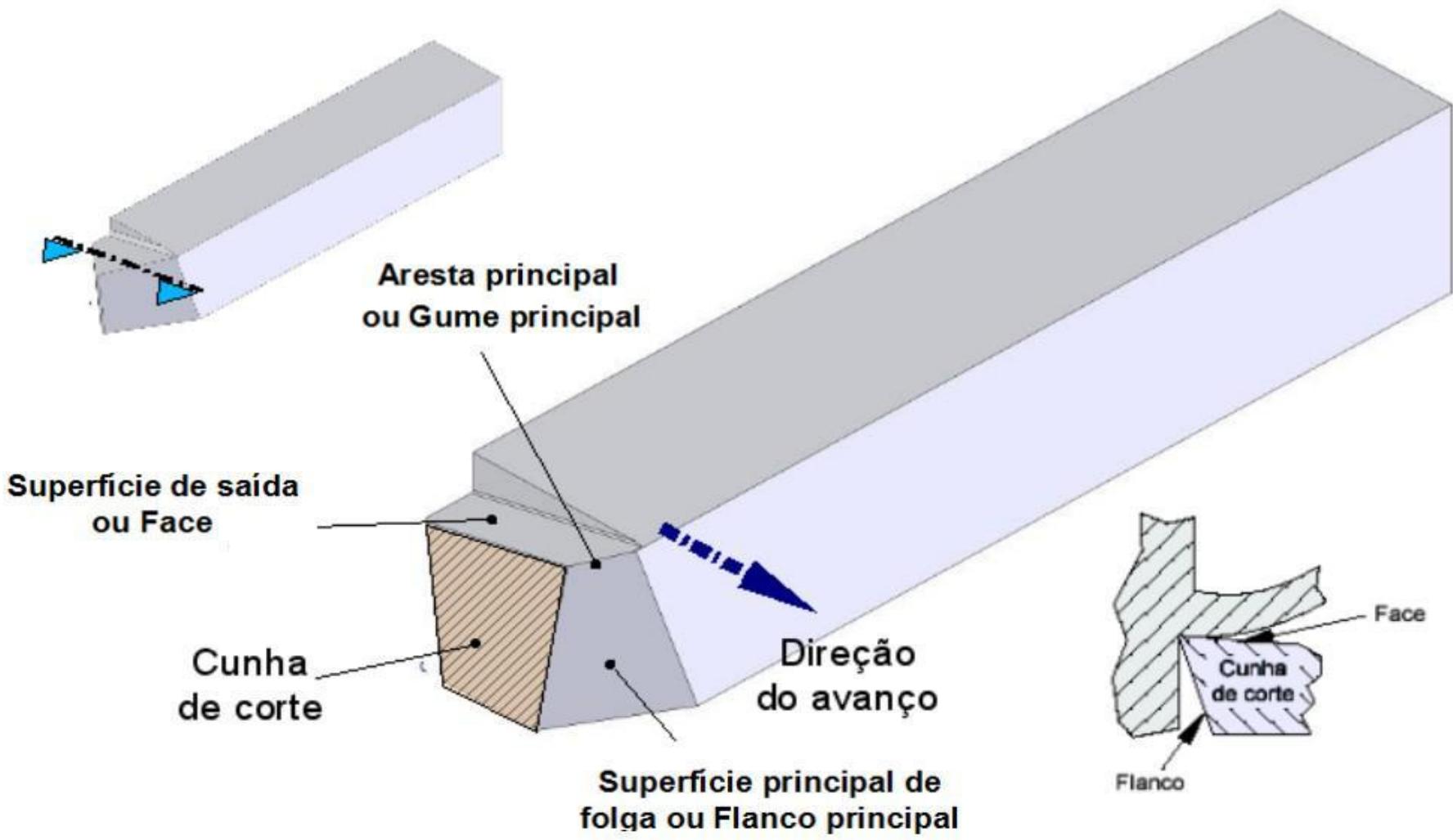
Denominações da ferramenta de corte



Denominações da ferramenta de corte



Cunha de corte



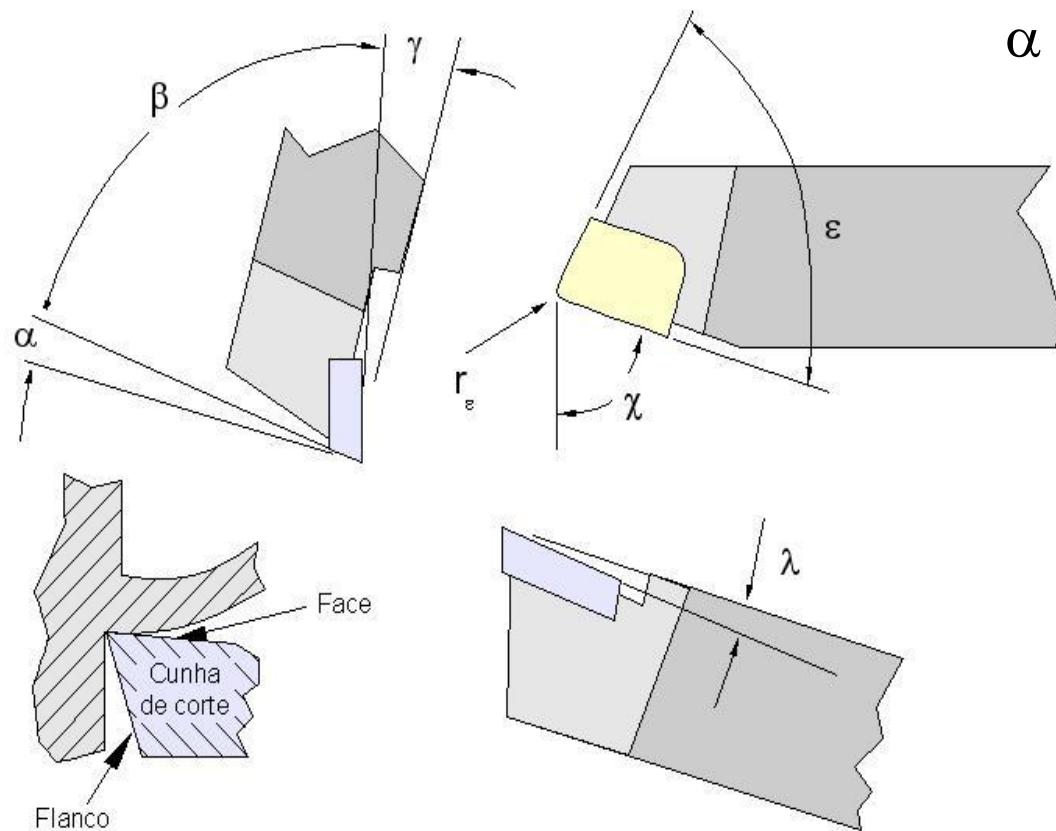
Geometria da Cunha de Corte

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

A geometria da ferramenta influênci na:

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

Geometria da ferramenta de tornear



α = ângulo de folga ou incidência

β = ângulo de cunha

γ = ângulo de saída

ε = ângulo de ponta ou quina

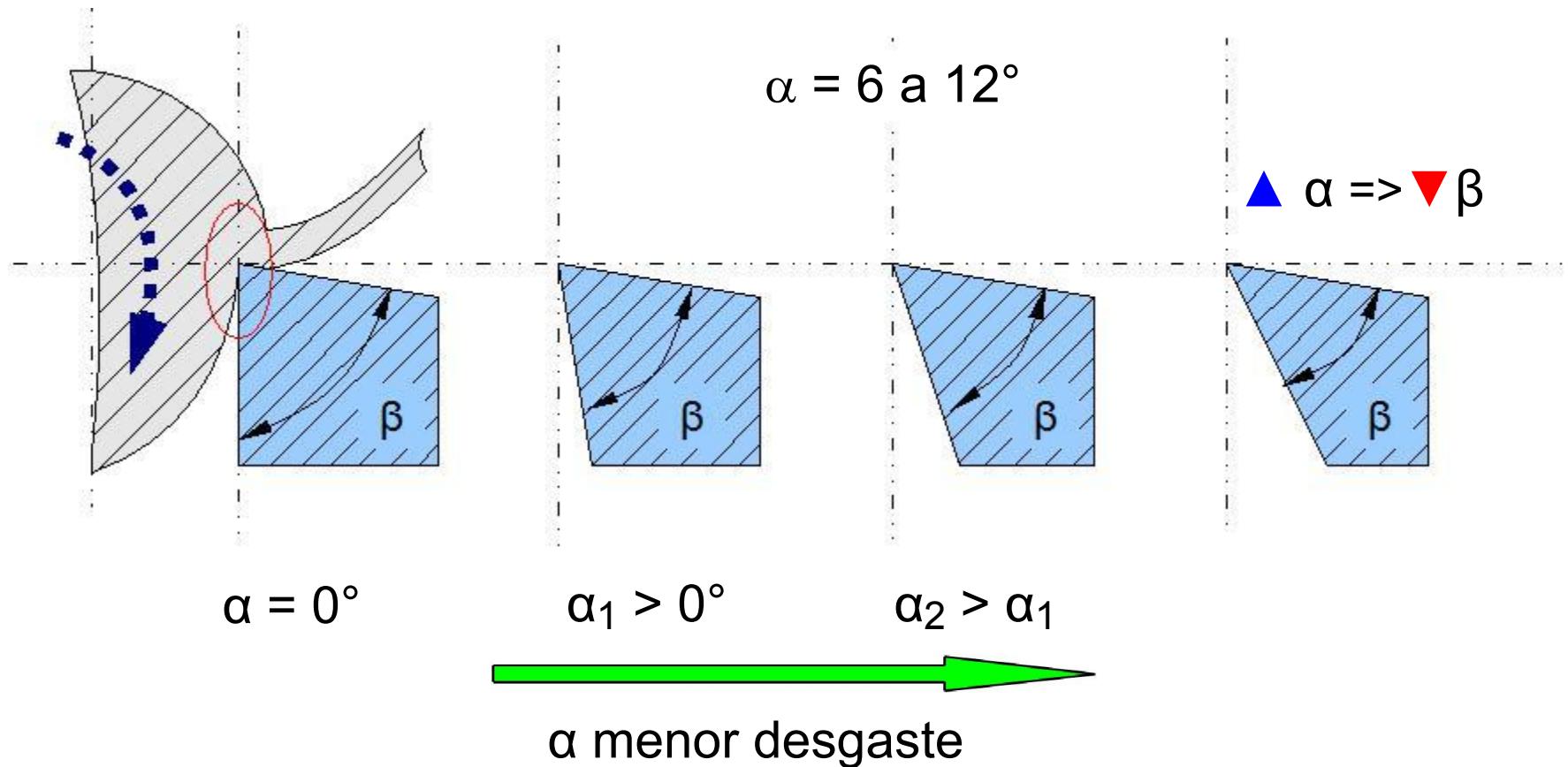
χ = ângulo de direção

λ = ângulo de inclinação r_ε

= raio de ponta ou quina

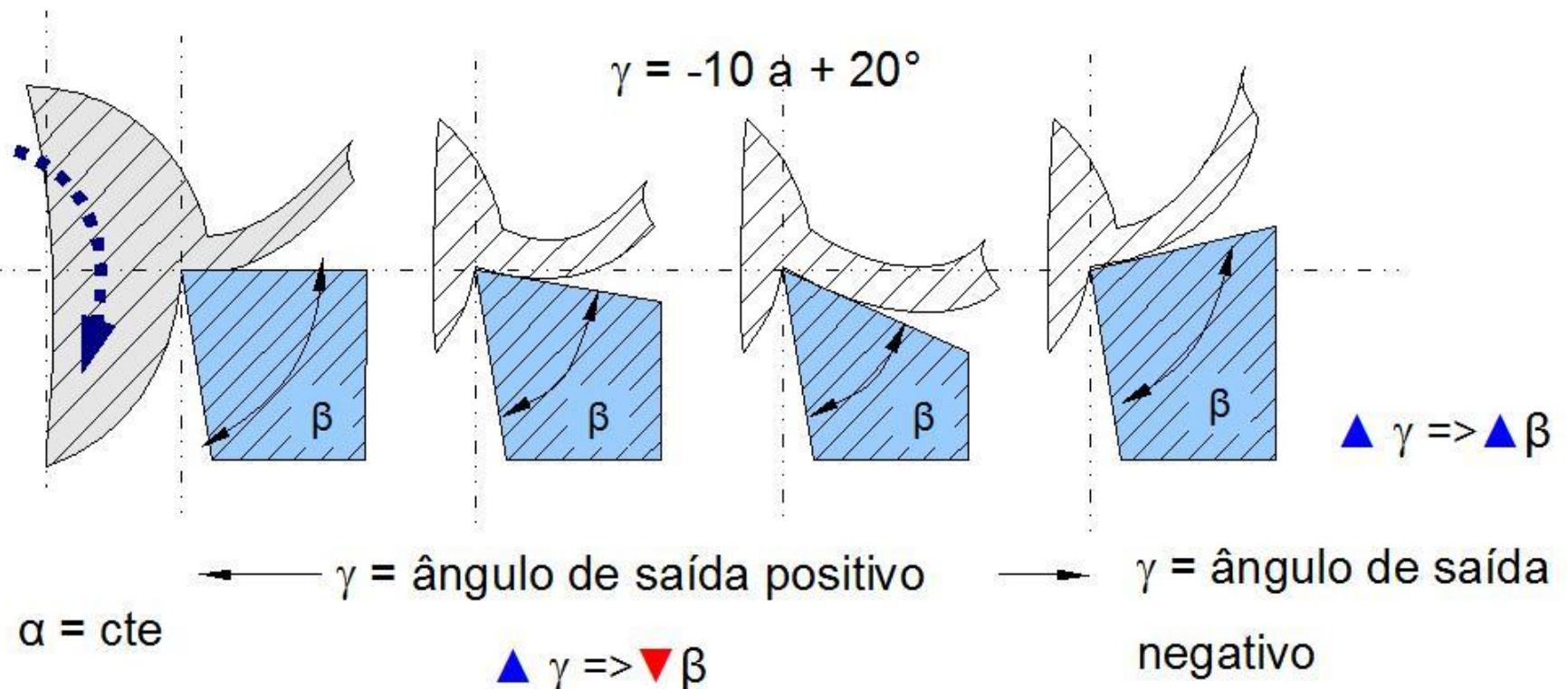
Influências da Geometria da ferramenta de tornear

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



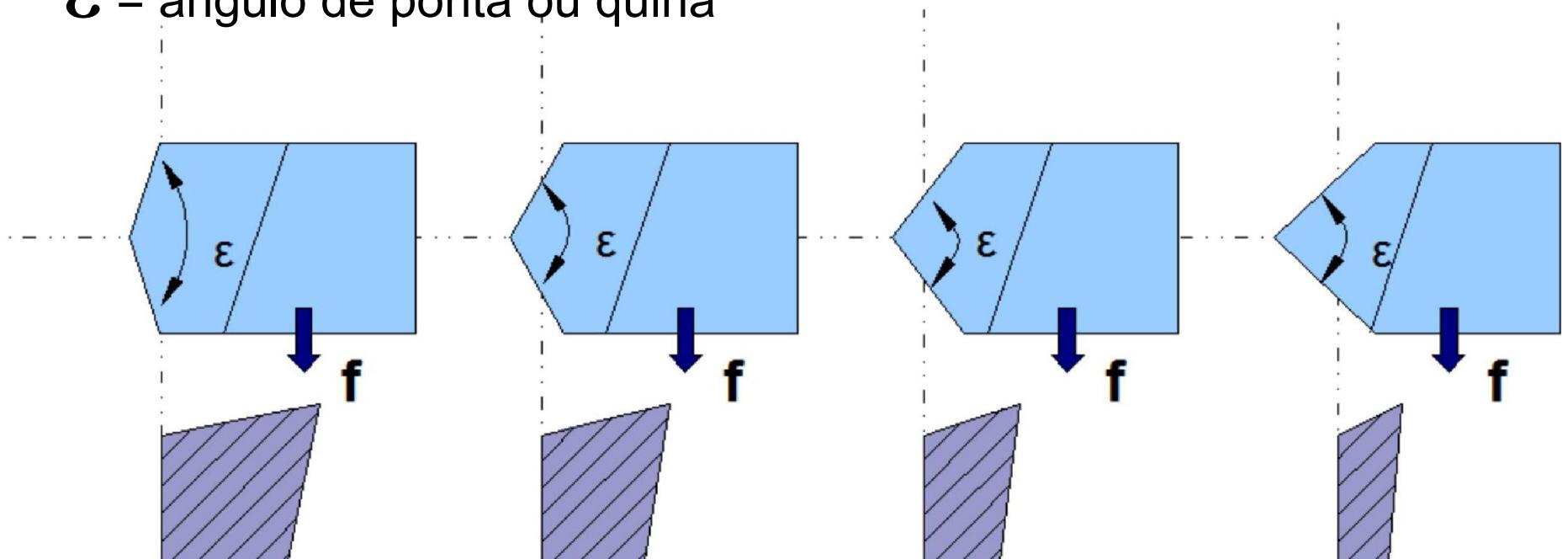
Influências da Geometria da ferramenta de tornear

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

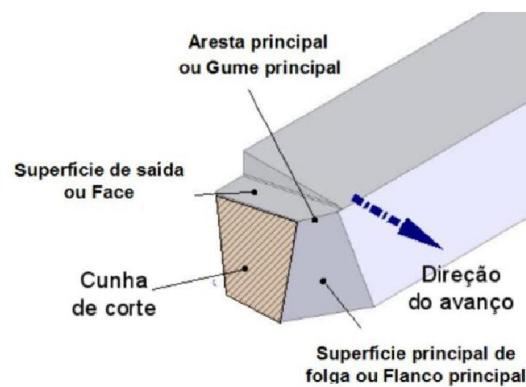


Influências da Geometria da ferramenta de tornear

ε = ângulo de ponta ou quina

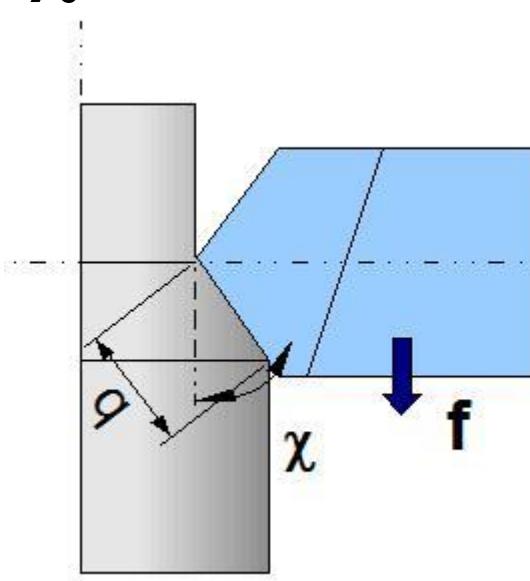


▲ $\varepsilon \Rightarrow \downarrow$ resistência da cunha

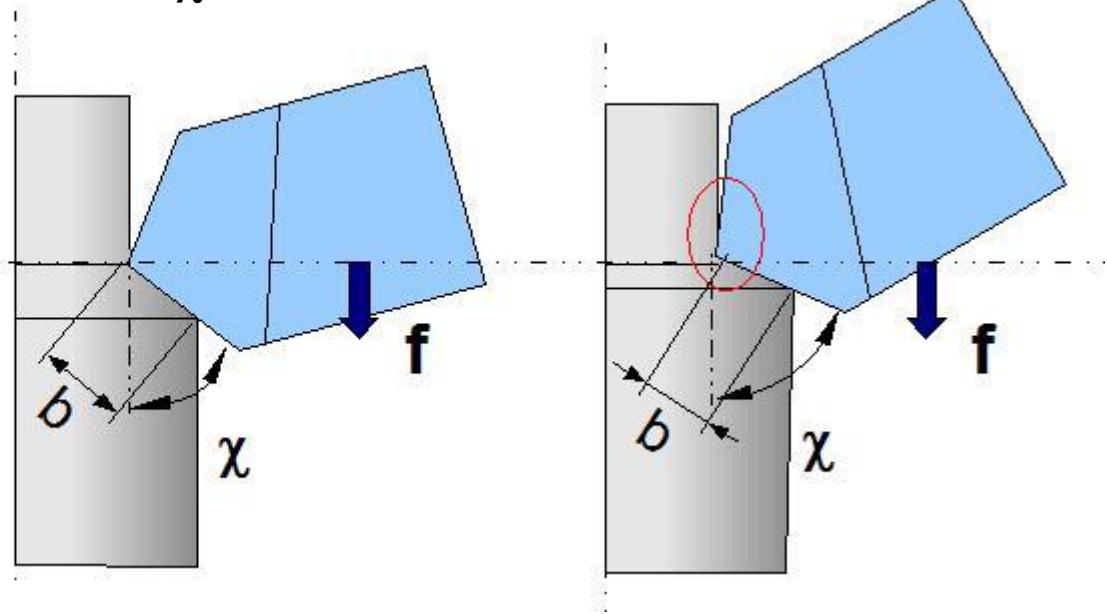


Influências da Geometria da ferramenta de tornear

χ = ângulo de direção



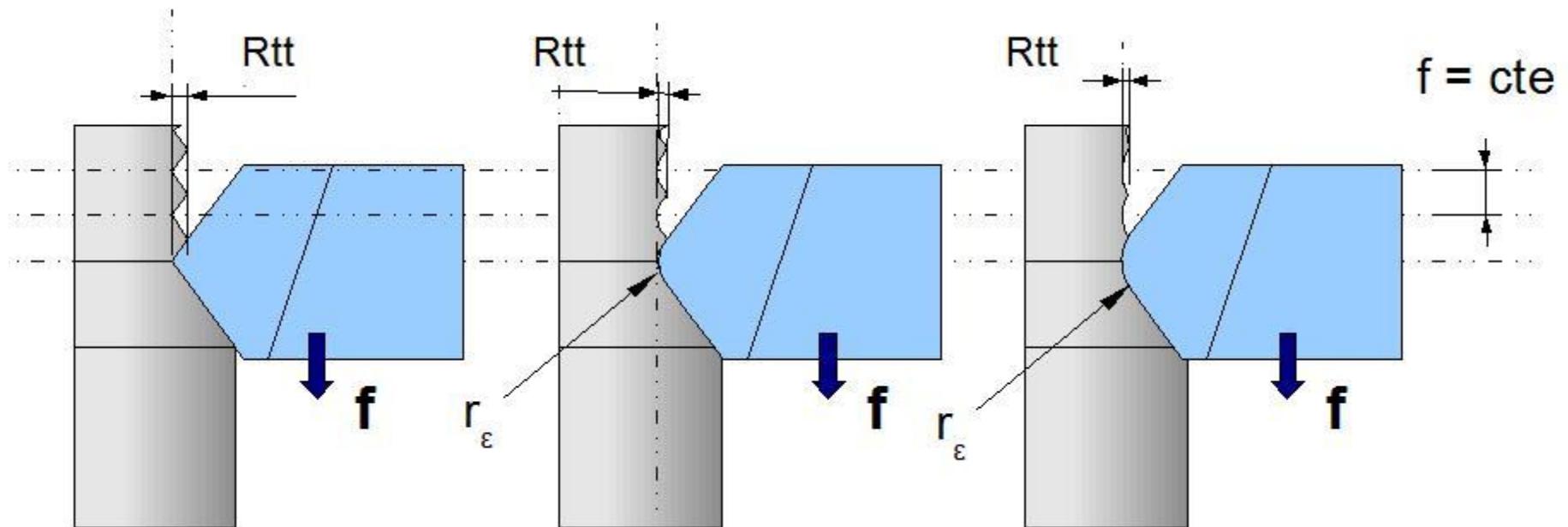
$\chi = 10 \text{ a } 100^\circ$



- ▲ $\chi \Rightarrow$ ▲ 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

Influências da Geometria da ferramenta de tornear

r_ε = raio de ponta ou quina



▲ r_ε = melhora na qualidade superficial

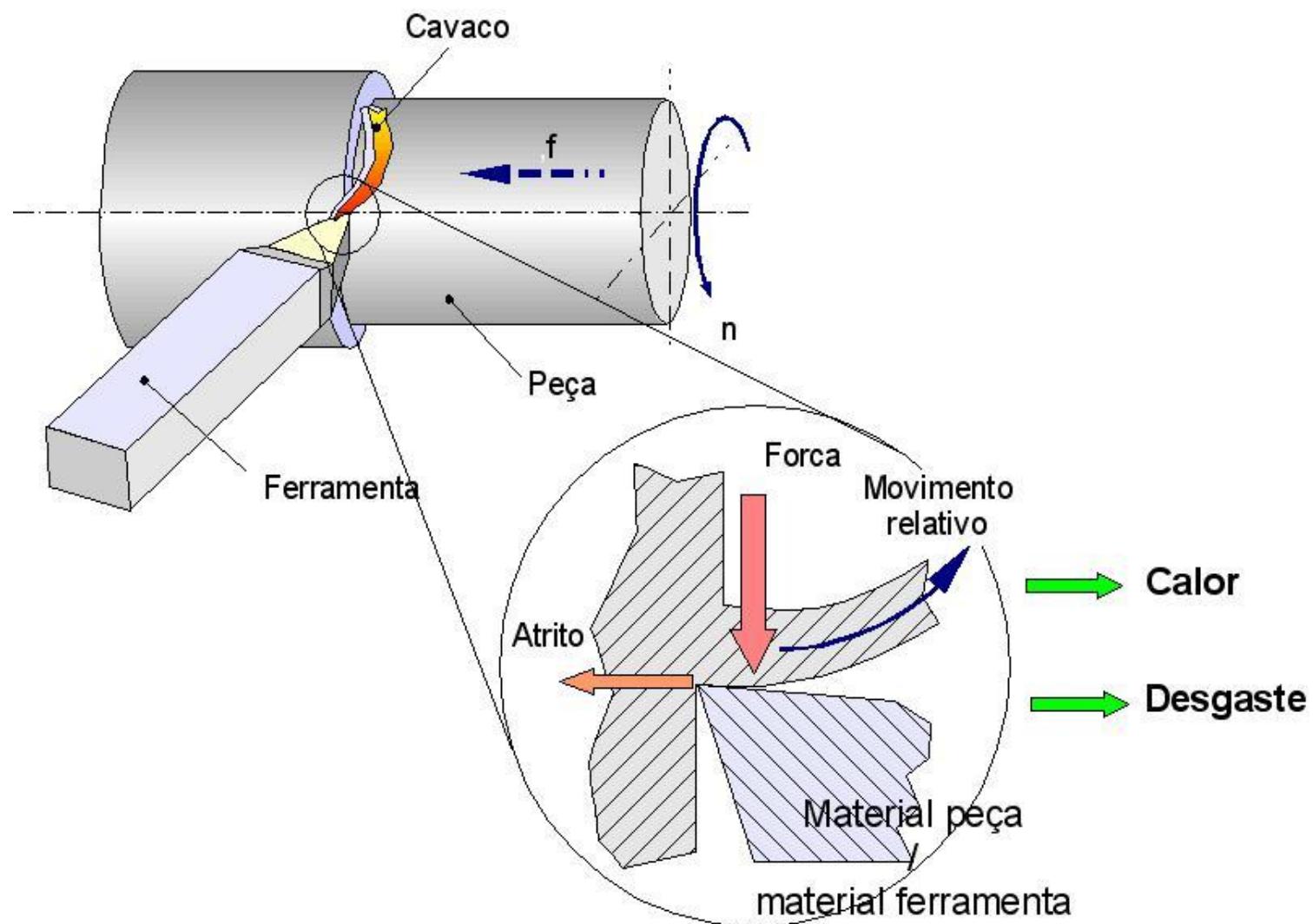
▲ r_ε = aumento do atrito

▲ r_ε = aumento das vibrações

Escolha da geometria da ferramenta

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

Solicitações na cunha de corte



Forças de usinagem

Força de usinagem = $f(\text{condições de corte } (f, V_C, a_p), \text{ geometria da ferramenta } (\alpha, \chi, \gamma, \lambda), \text{ desgaste da ferramenta})$

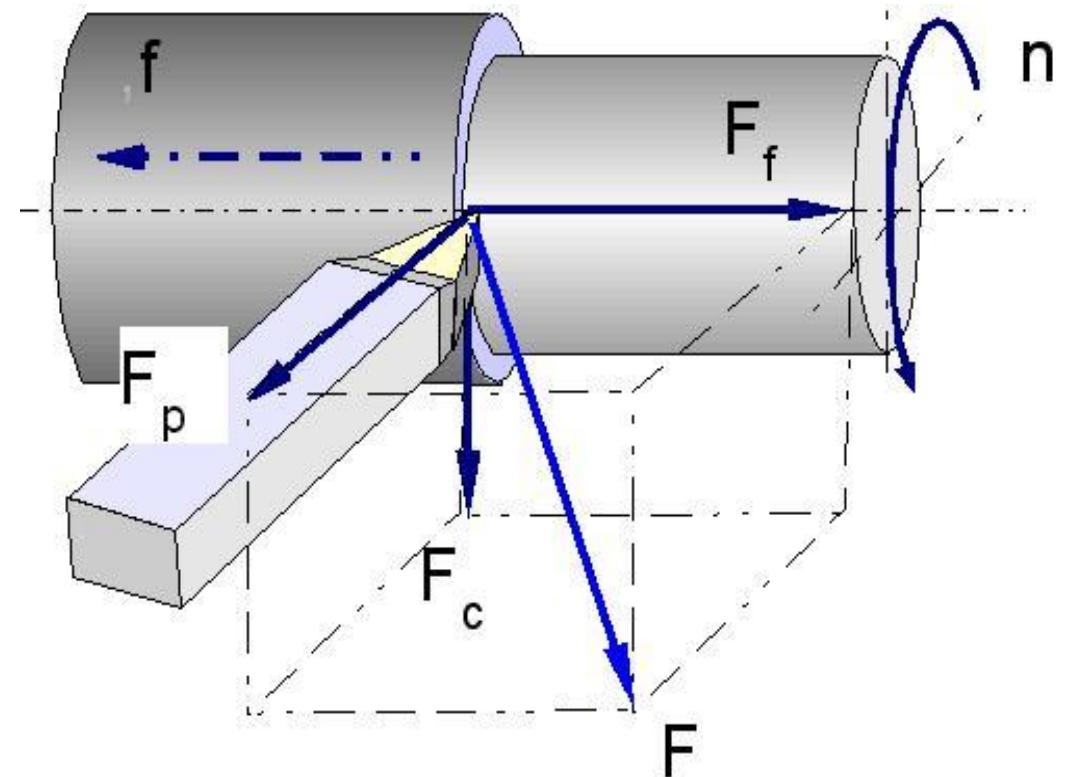
Onde:

F = força de usinagem

F_C = Força de corte

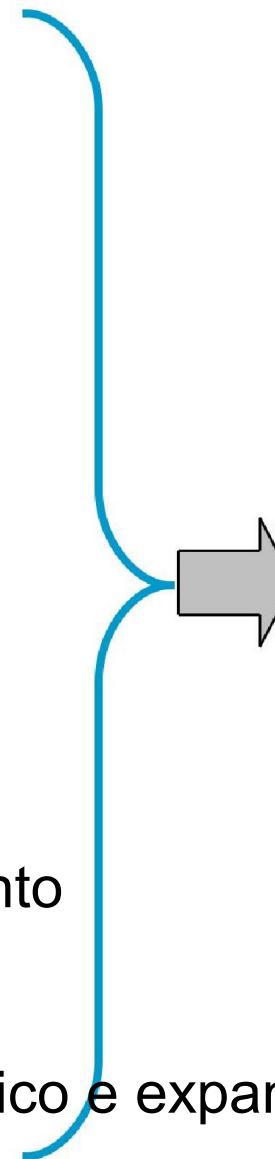
F_f = Força de avanço

F_p = Força passiva

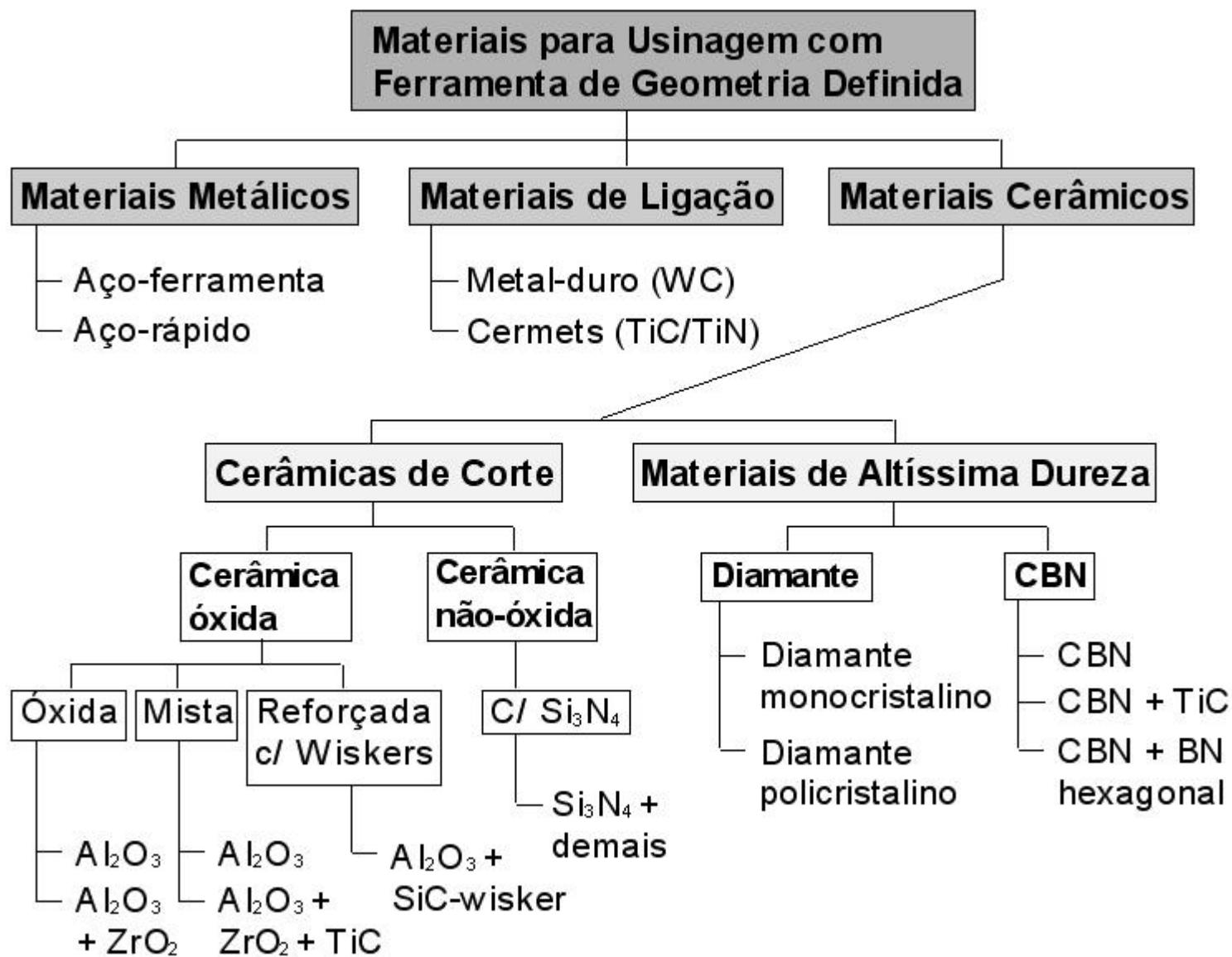


Materiais de Ferramentas de Corte

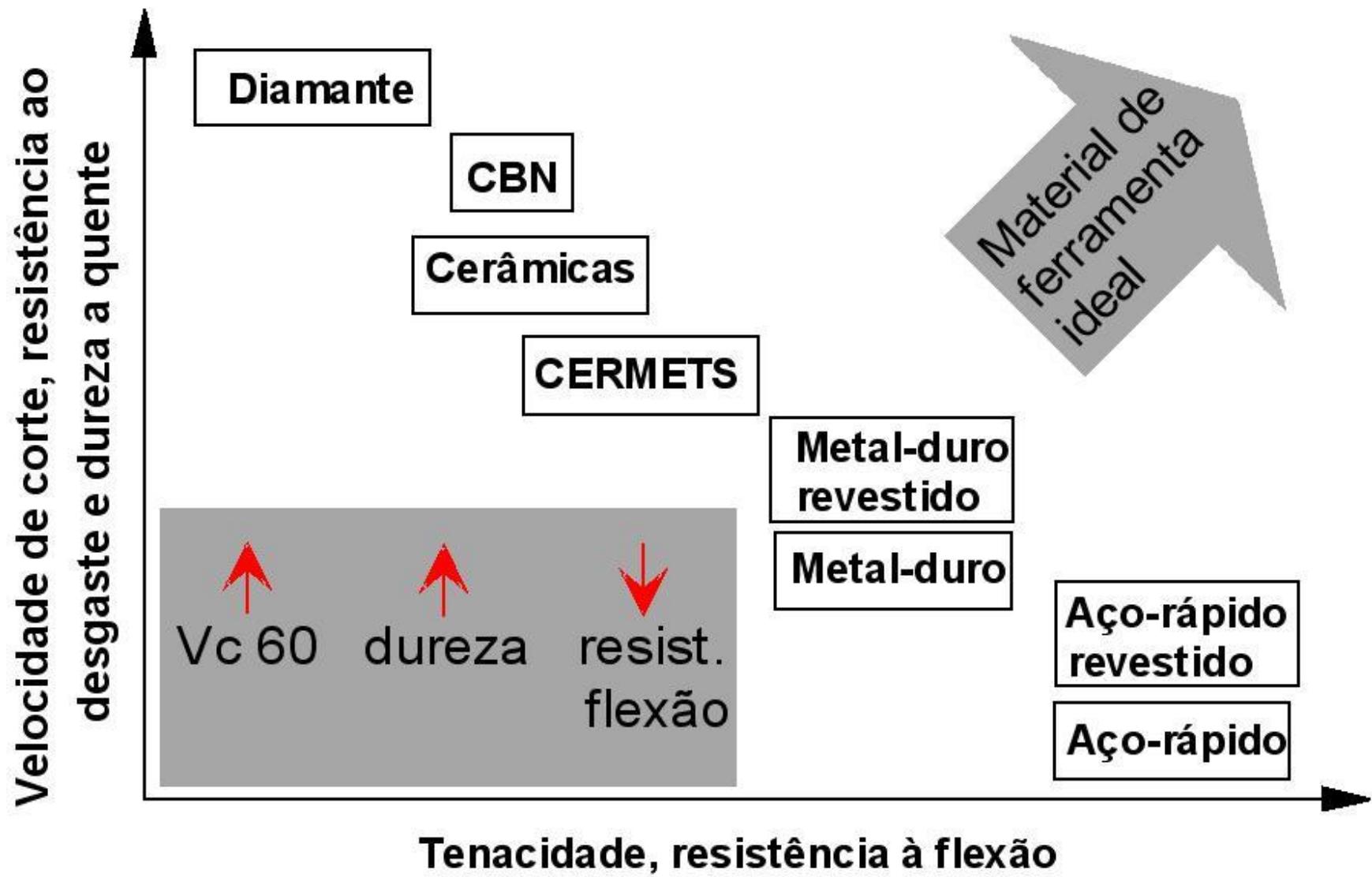
Requisitos:

- 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 térmica³⁵
- 
- Nenhum material de ferramenta possui todas estas características

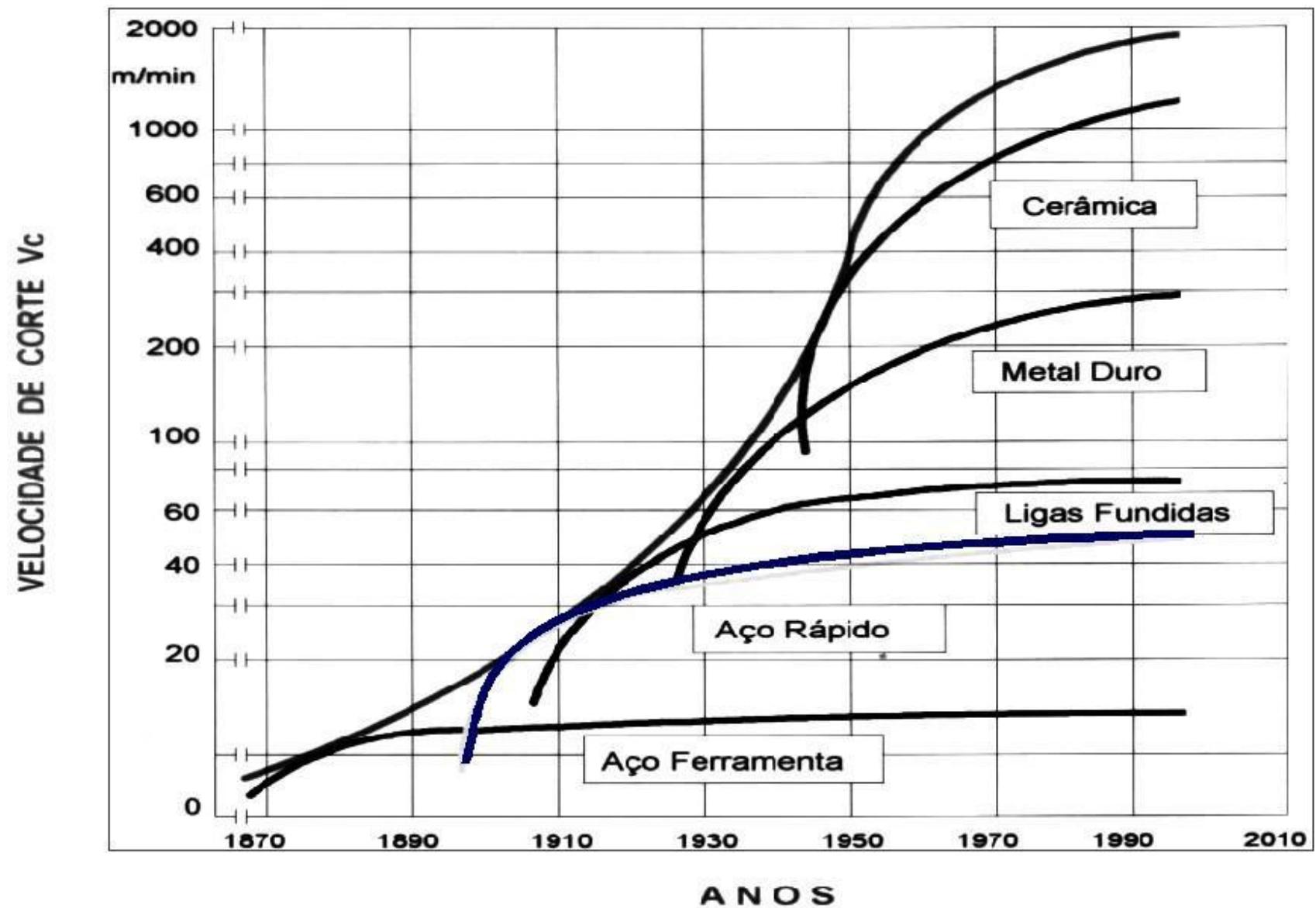
Classificação dos materiais de ferramentas



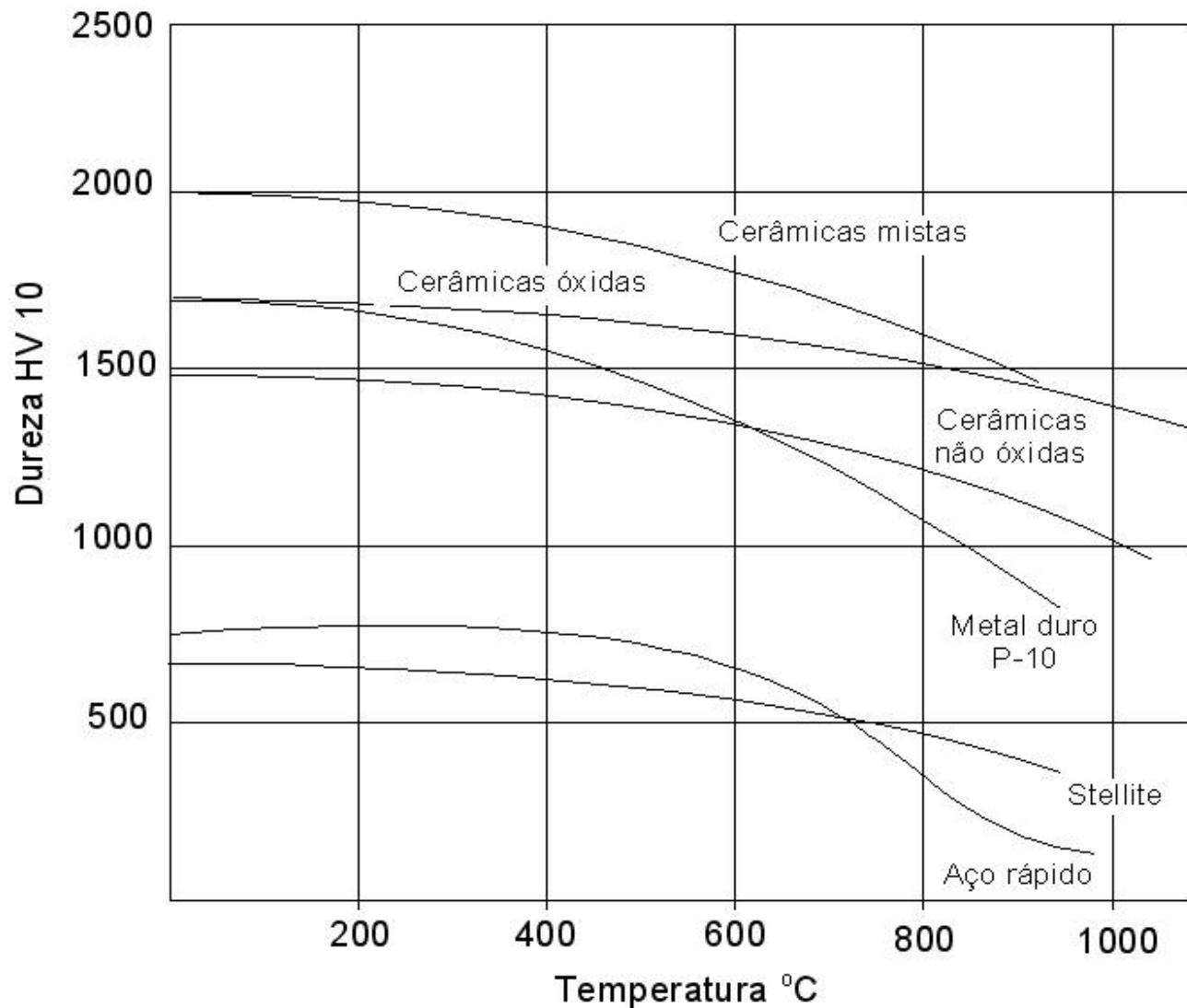
Propriedades dos materiais de ferramentas



Evolução dos materiais de ferramenta

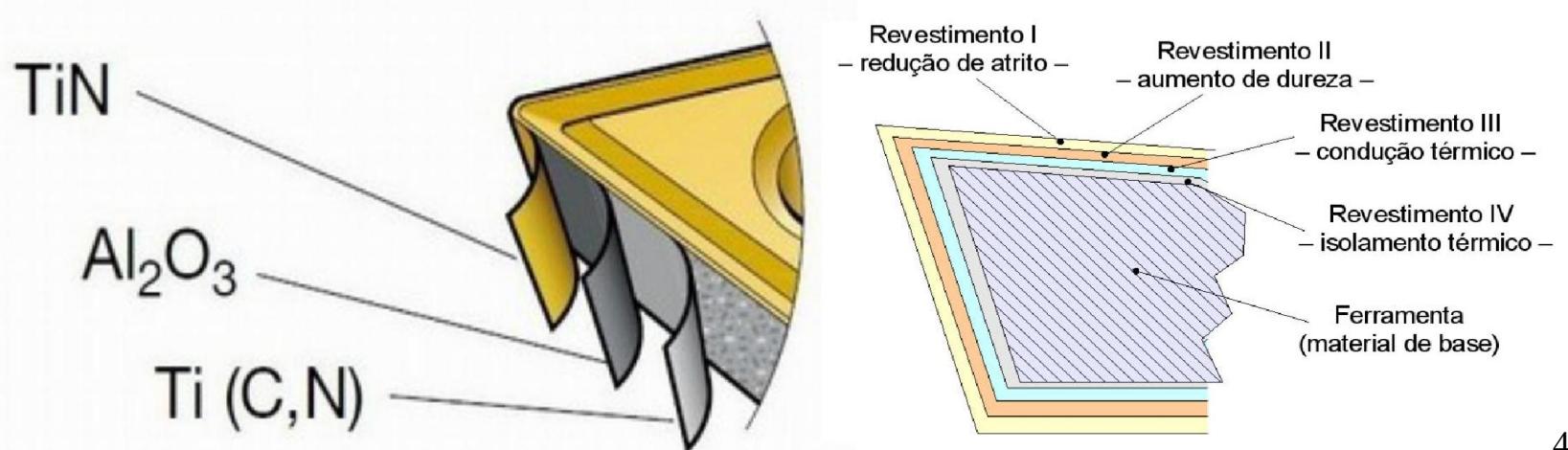


Resistência a quente dos principais materiais de ferramentas



Funções dos revestimentos

- Proteção do material de base da ferramenta
- Redução de atrito na interface cavaco/ferramenta
- Aumento da dureza na interface cavaco/ferramenta
- Condução rápida de calor para longe da região de corte
- Isolamento térmico do material de base da ferramenta



Tipos de ferramentas de corte

→ Ferramentas integrais



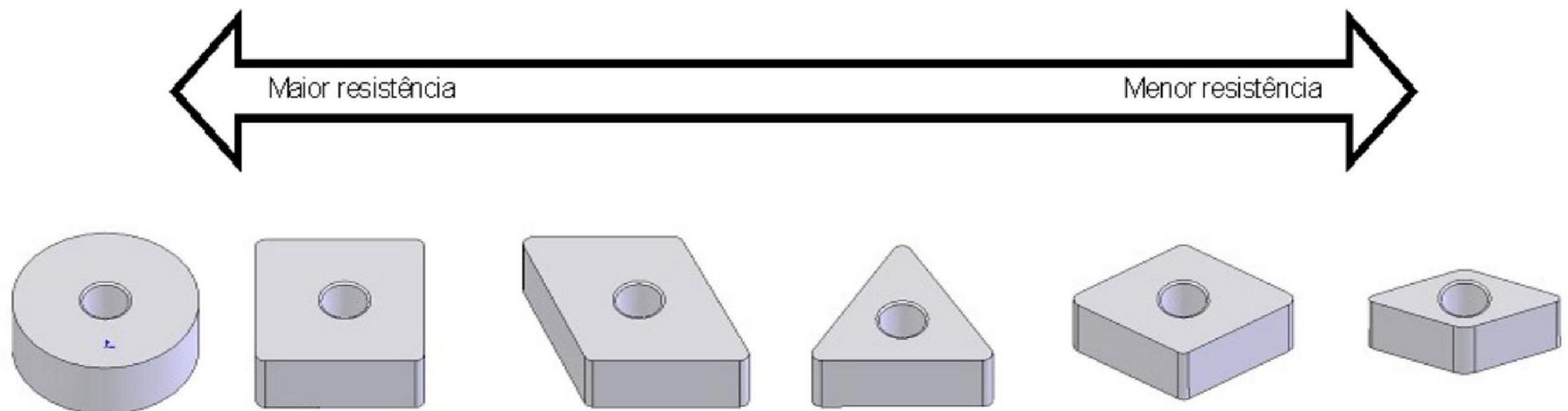
Tipos de ferramentas de corte

- Ferramentas com insertos intercambiáveis



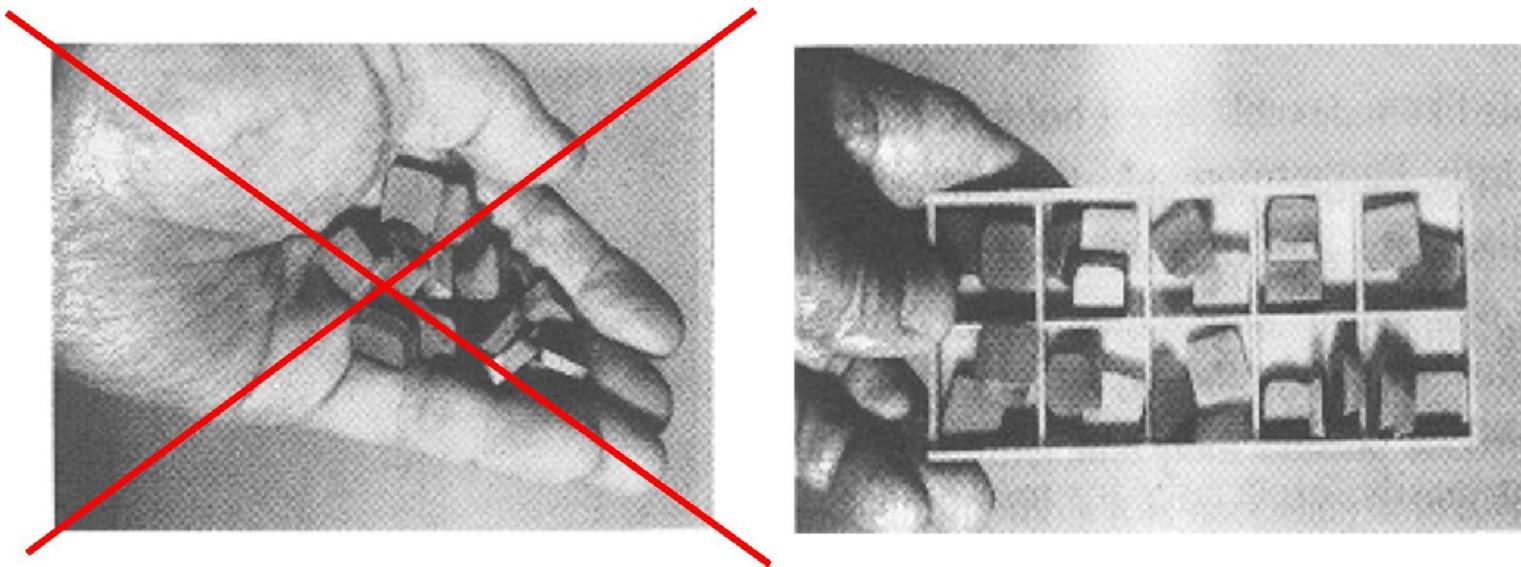
Geometria dos insertos

- A geometria da peça, suas tolerâncias, seu material e qualidade superficial definem o formato do inserto
- Há seis formas comuns, com benefícios e limitações, em relação à resistência a tensão



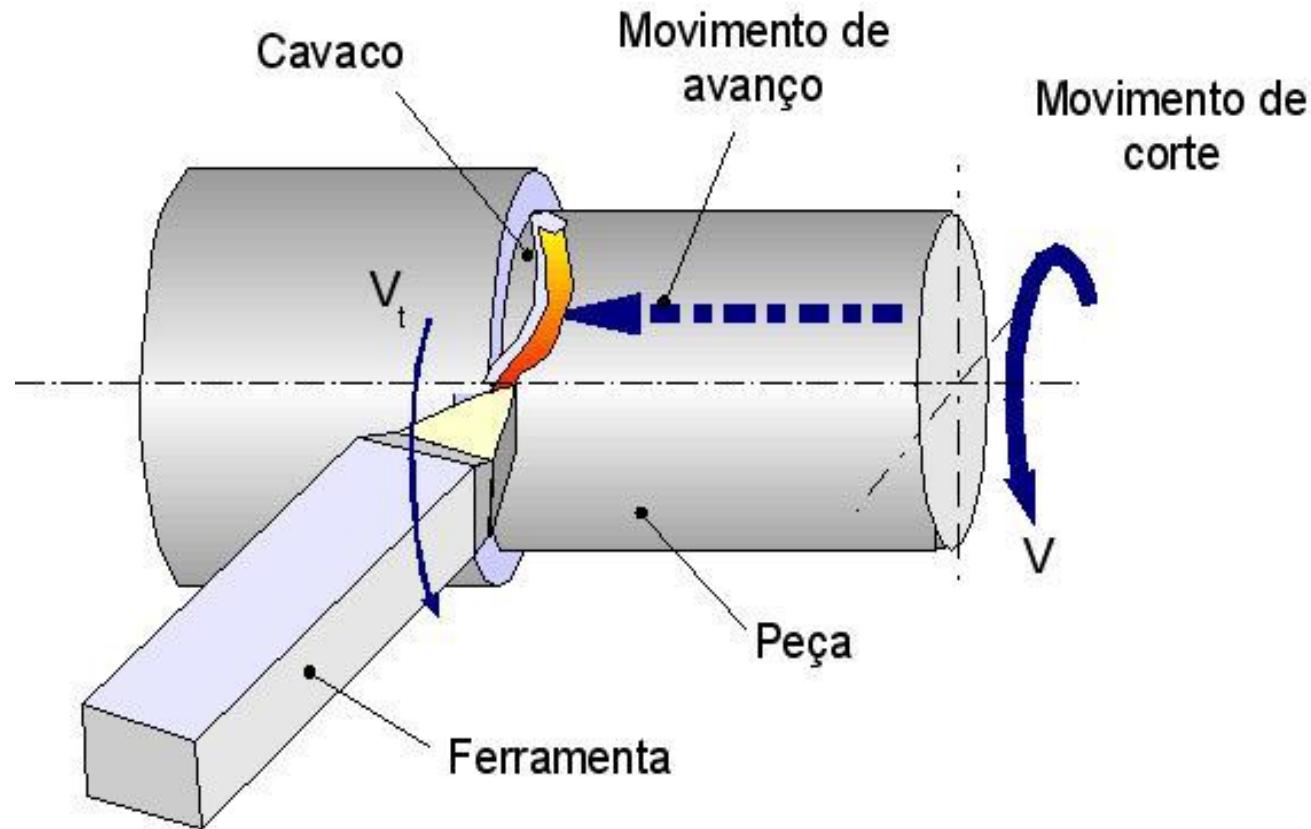
Considerações gerais sobre Ferramentas de corte

- Manuseio e manutenção de ferramentas de corte
- Evitar o contato entre ferramentas
- Cuidados no armazenamento
- Danos no manuseio (quebras)

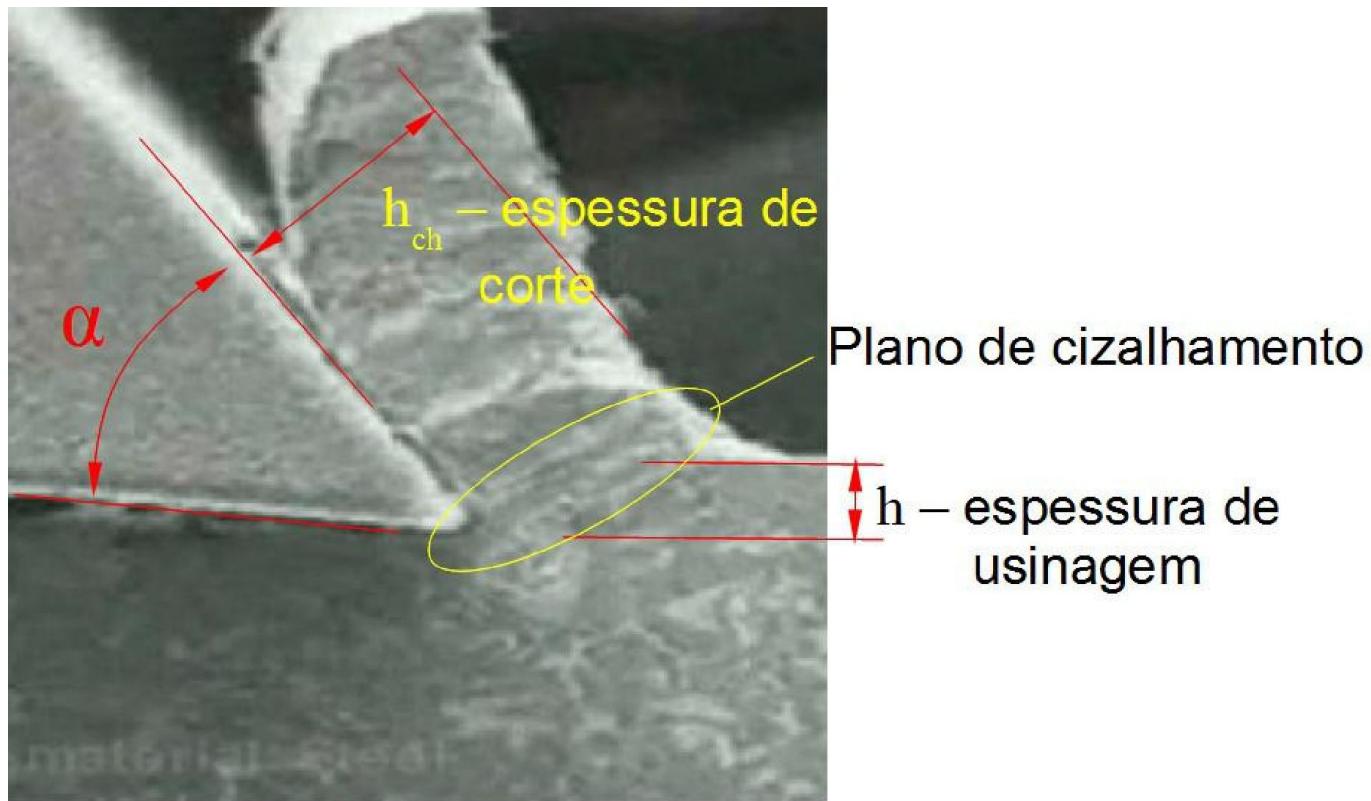


Cavaco

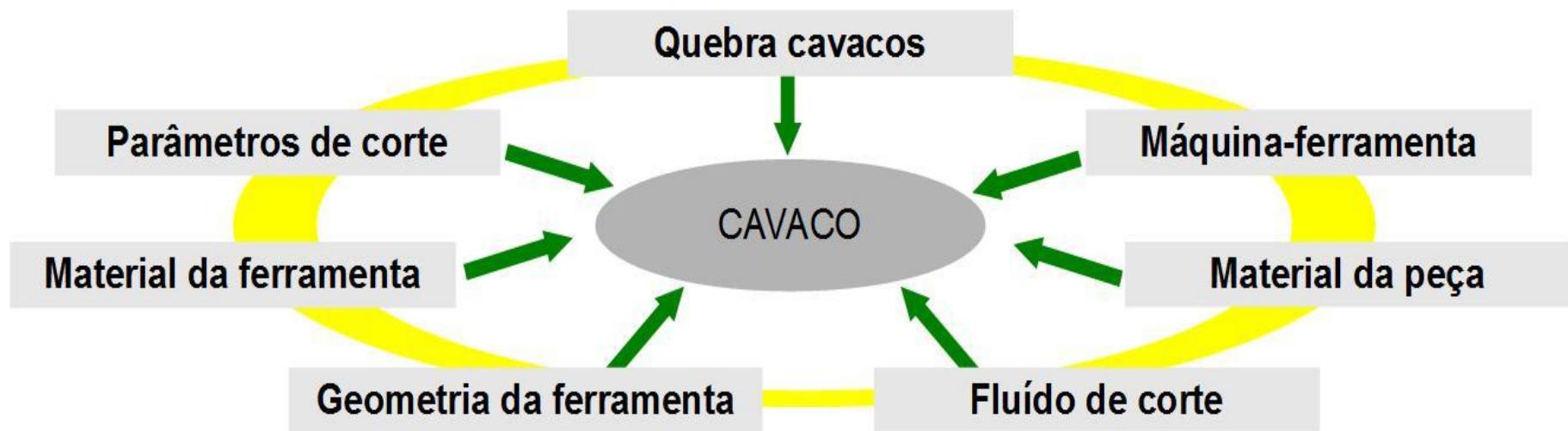
Definição - porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular.



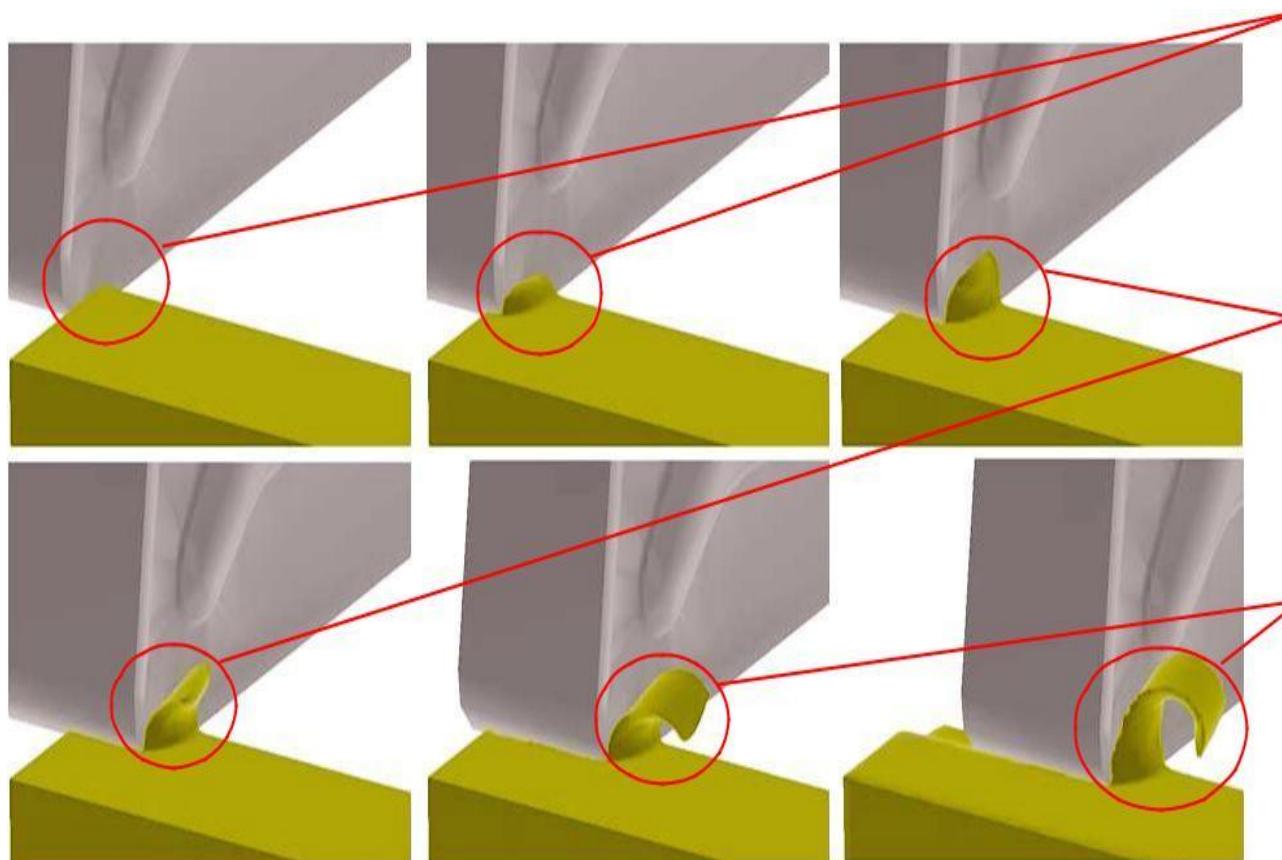
Formação dos cavacos



Fatores de influência na formação dos cavacos



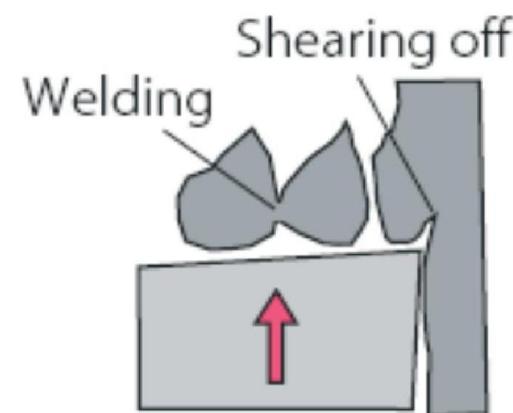
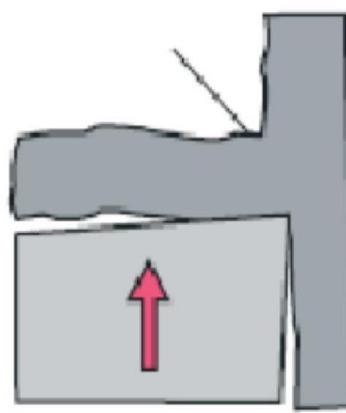
Processo de corte



1. Penetração da cunha no material – deformação elástica e plástica
2. Escoamento após ultrapassar a tensão de cisalhamento máxima do material
3. Cavaco plenamente desenvolvido

Tipos básicos de cavacos

Contínuos Lamelares ou



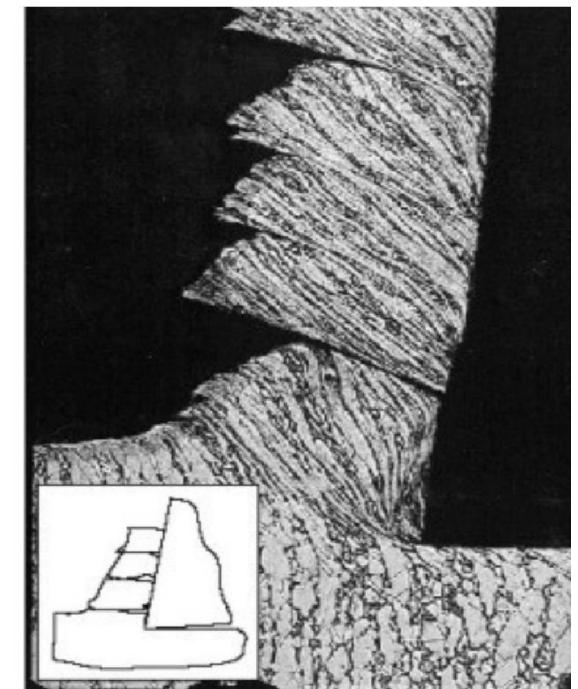
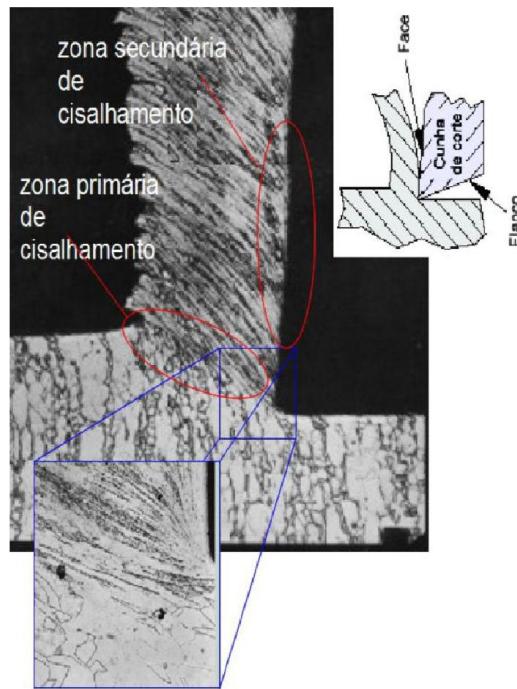
Arrancados
cisalhados



Tipos básicos de cavacos

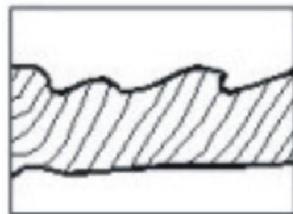
Contínuos Lamelares ou

Arrancados
cisalhados

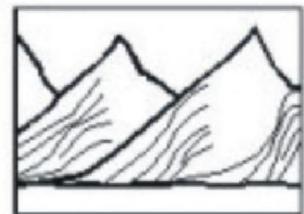


Relação entre propriedades dos materiais e cavacos

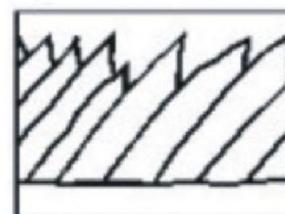
1) Cavaco contínuo



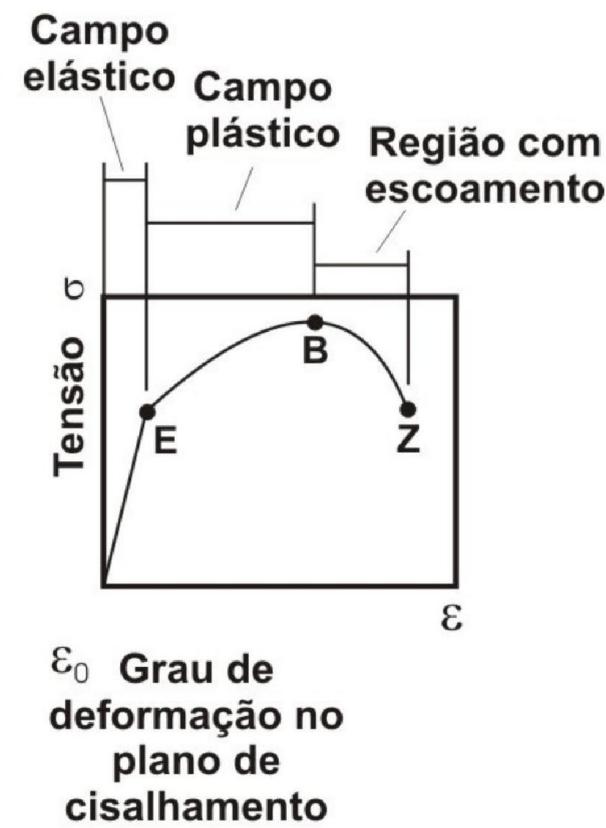
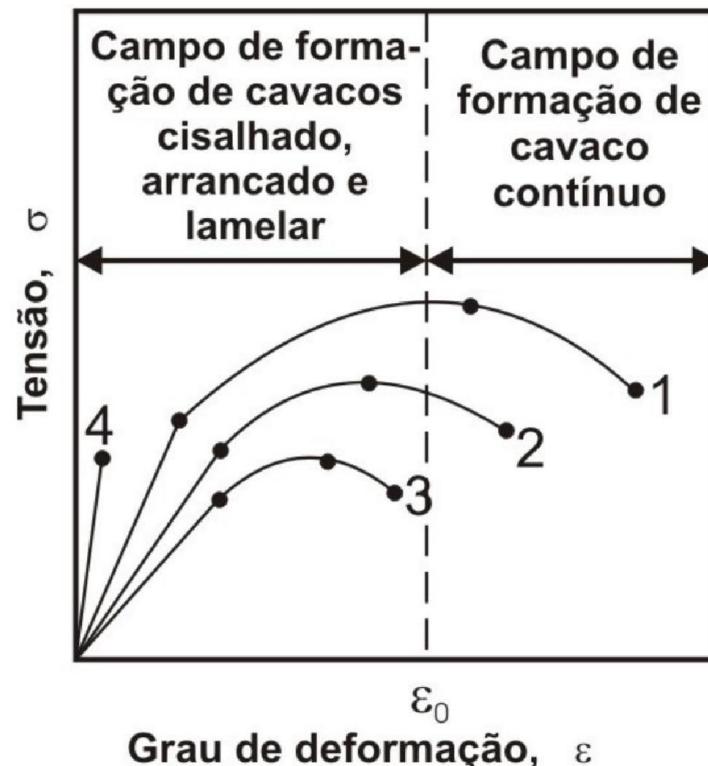
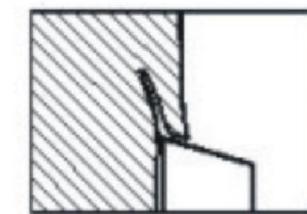
2) Cavaco em lamelas



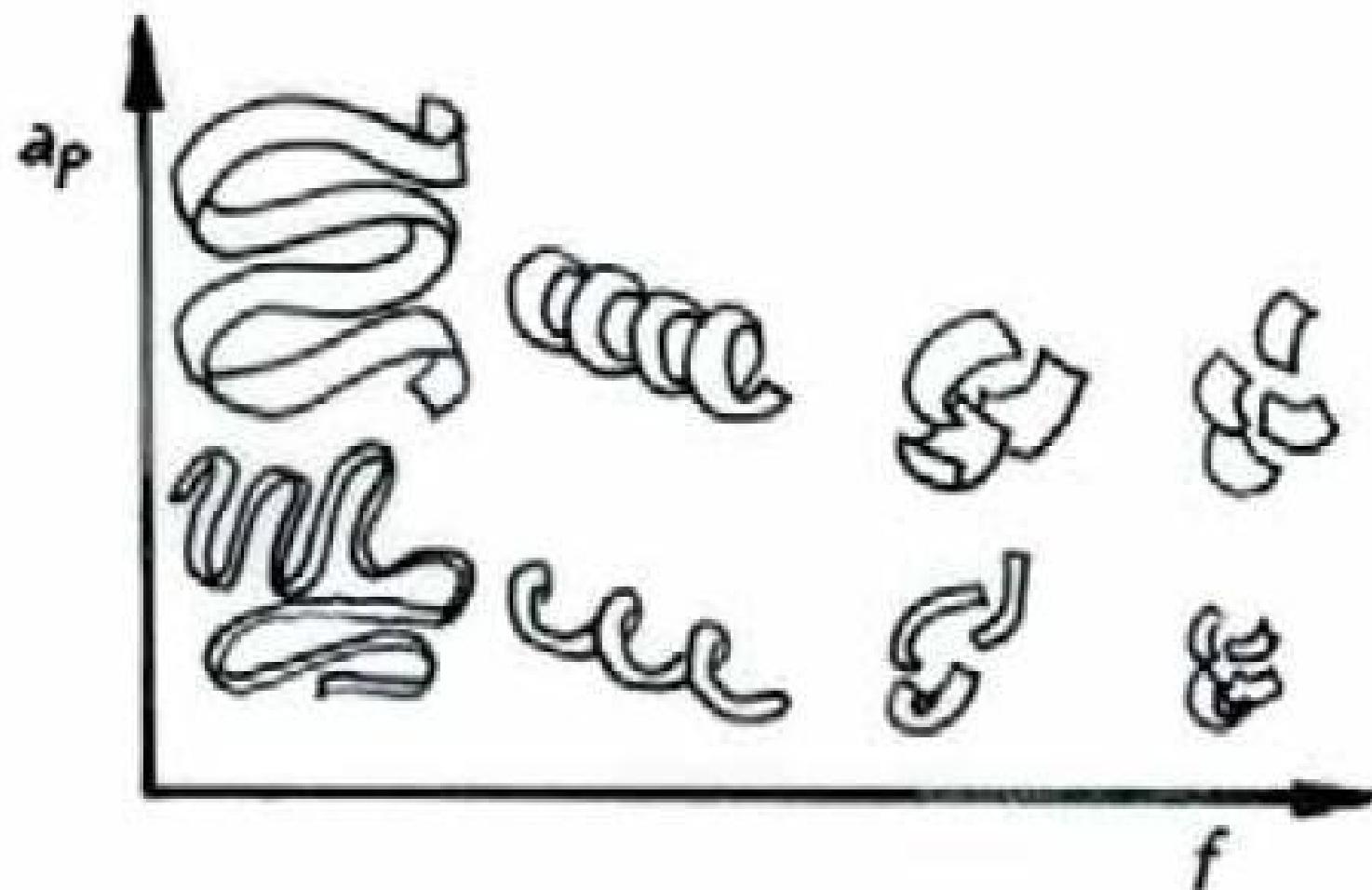
3) Cavaco cisalhado



4) Cavaco arrancado



Influência do avanço e da profundidade de corte sobre a
formação do cavaco

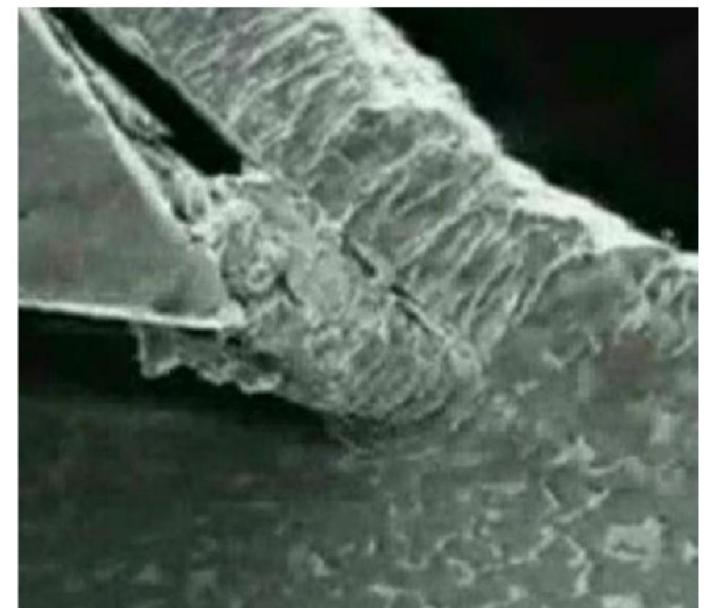
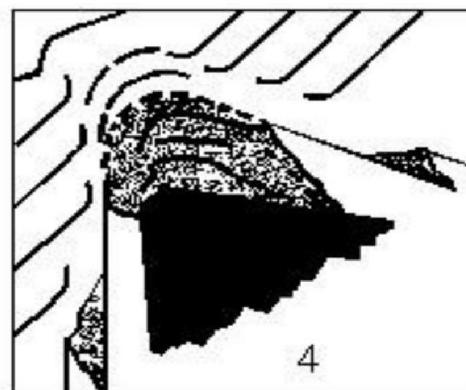
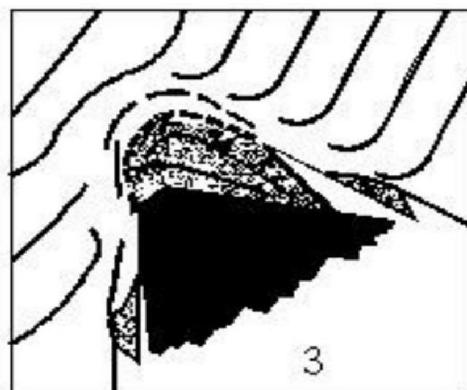
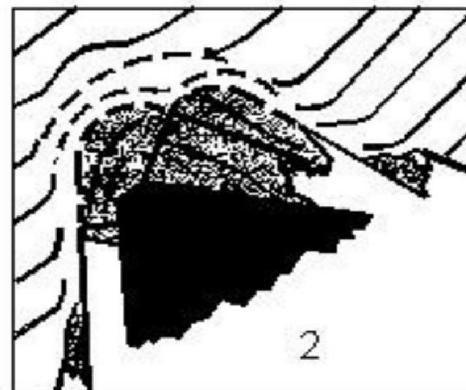
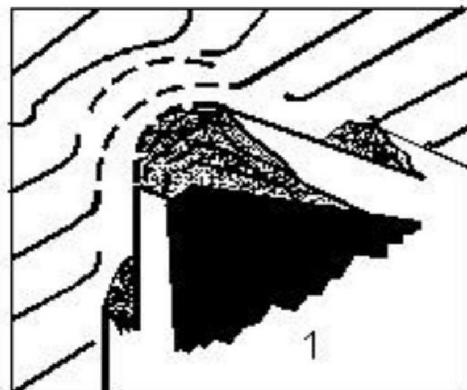


Classificação dos cavacos

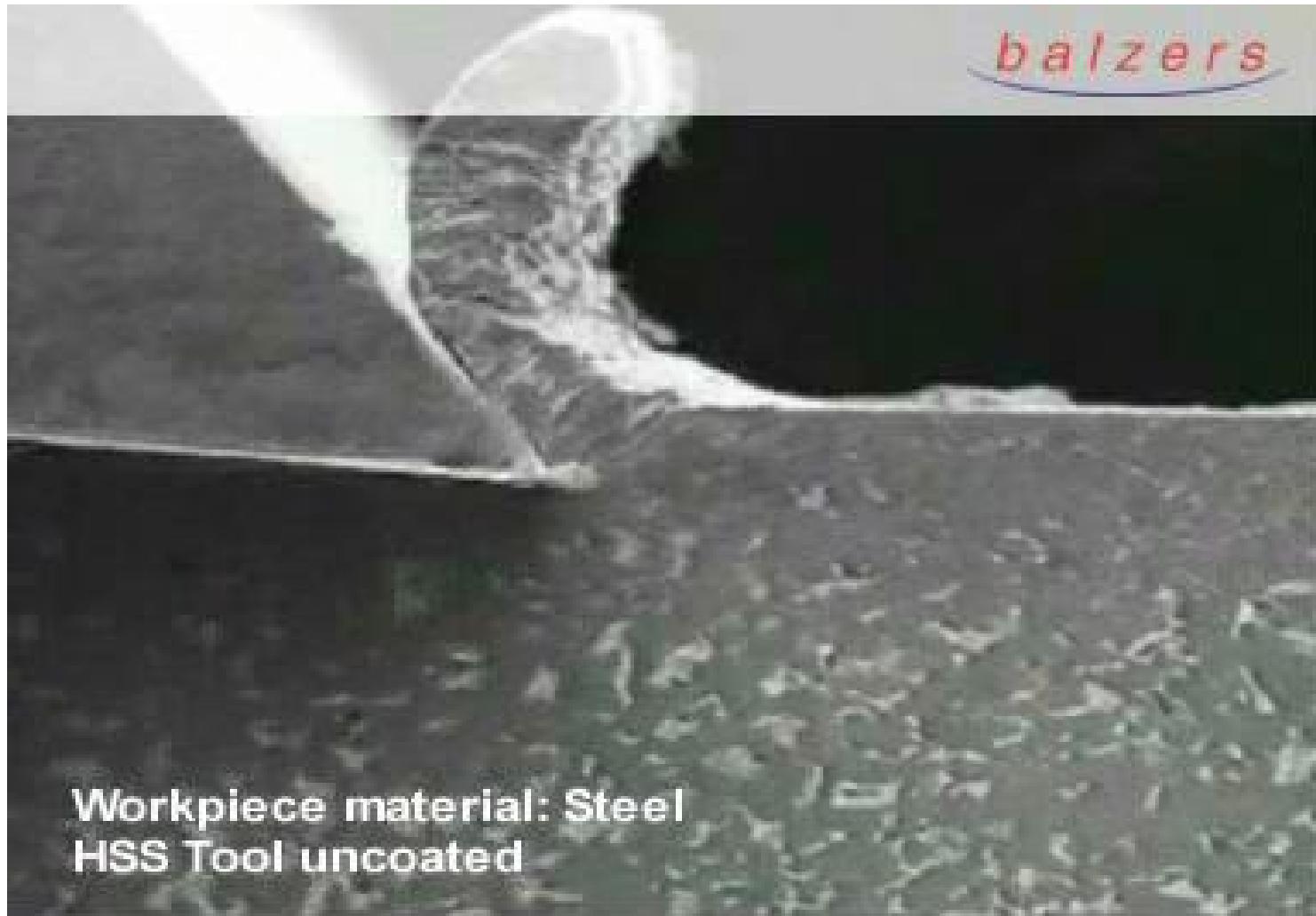
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMARA-NHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLÍQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCA DOS
desfavorável		médio			favorável			médio	

Aresta postiça

- Adesão de material sobre a face da ferramenta
- Material da peça altamente encruado que caldeia na face da ferramenta e assume a função de corte

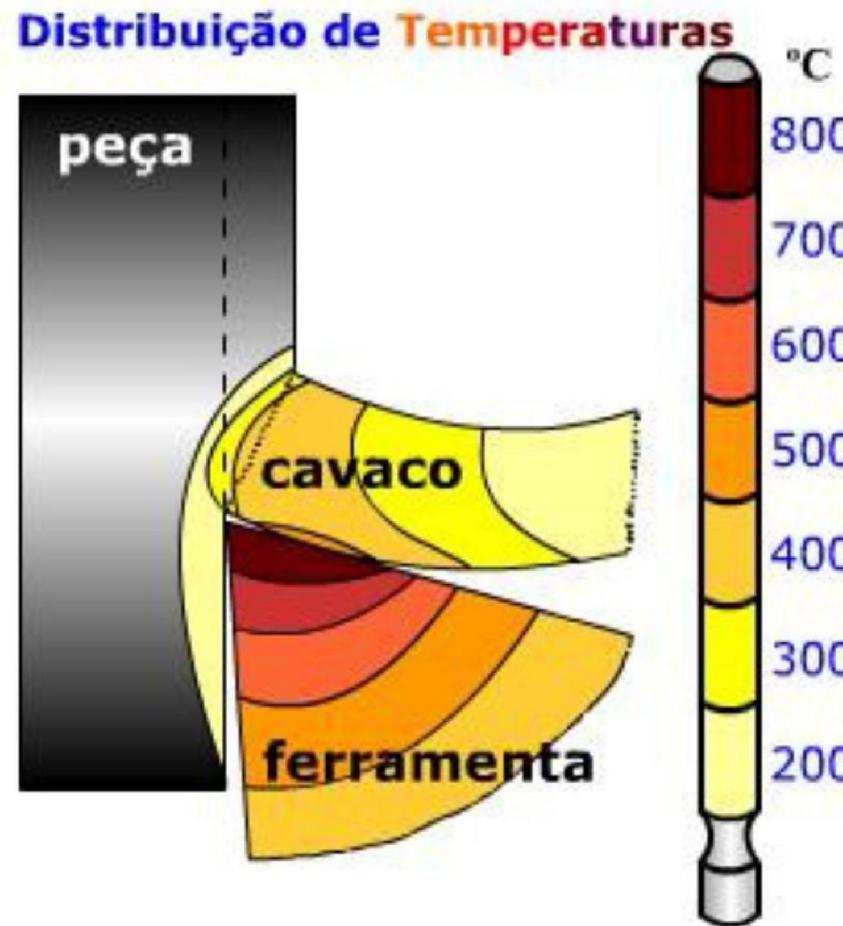


Vídeo sobre formação de cavaco



Workpiece material: Steel
HSS Tool uncoated

Distribuição do calor na região do corte

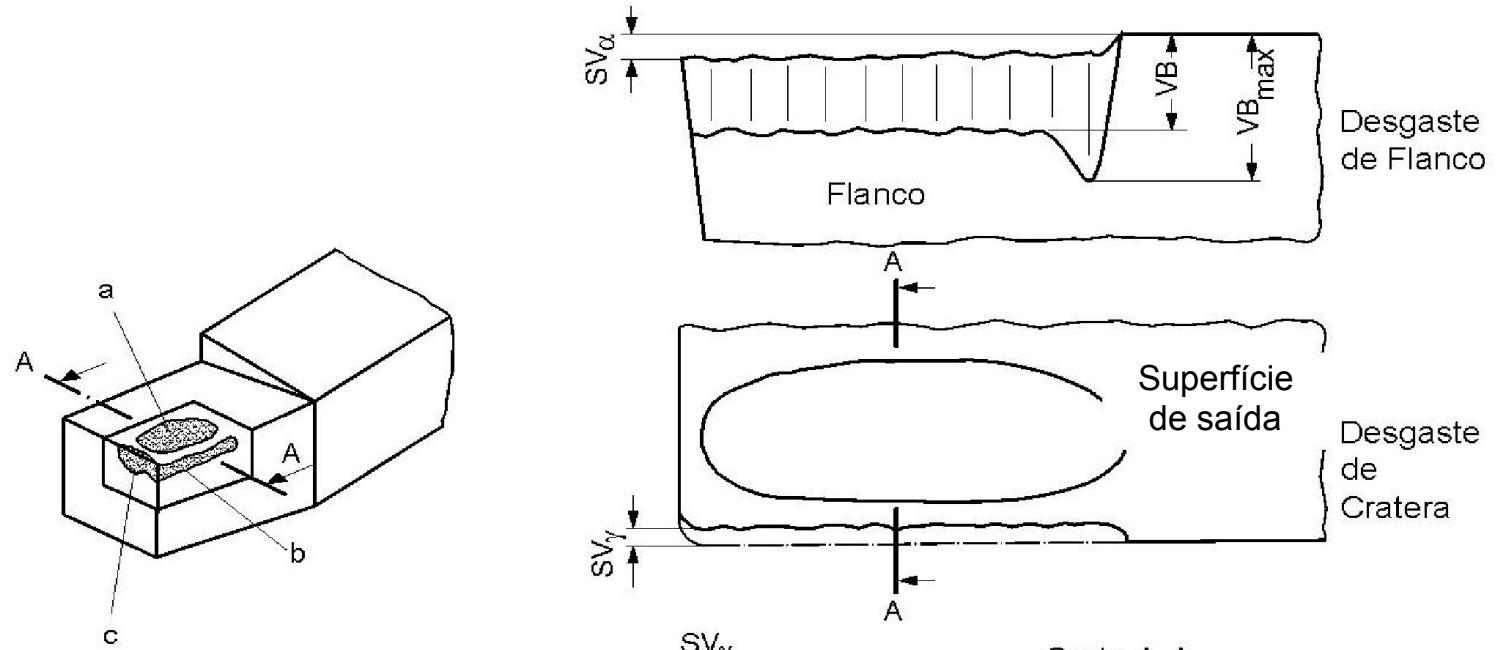




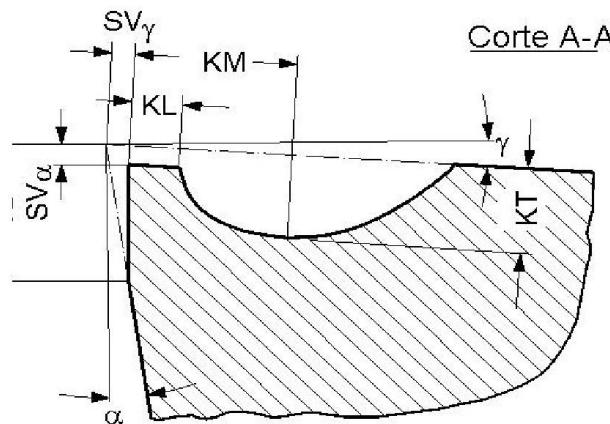
Desgaste em ferramentas de usinagem

- O desgaste é uma consequência natural do processo de usinagem sobre as ferramentas de geometria definida e não definida.
- Movimento relativo entre cavaco e ferramenta, o atrito, as forças e a temperatura levam ao desgaste da ferramenta.
- O desgaste pode ser observado na superfície de saída, nas superfícies principipla e secundária, na ponta e nas arestas de corte

Desgaste em ferramentas de usinagem

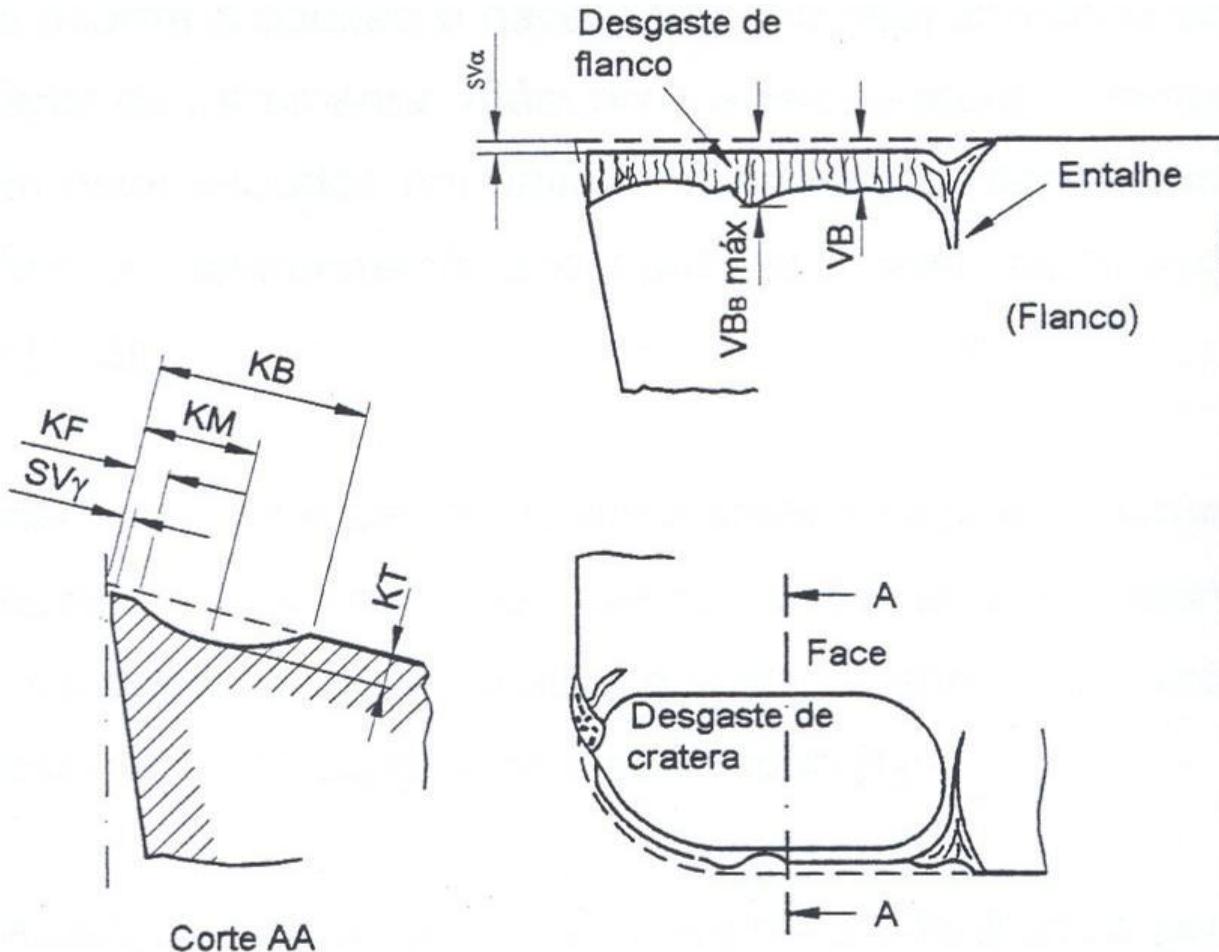


- a – desgaste de cratera
- b – desgaste da superfície principal na aresta de corte
- c - – desgaste da superfície secundária na aresta secundária



γ	Ângulo de Saída
α	Ângulo de Incidência
$SV\gamma$	Deslocamento do Gume no Sentido da Face
SV^α	Deslocamento do Gume no Sentido do Flanco
VB	Desgaste de Flanco
KL	Largura do Lábio da Cratera
KT	Profundidade da Cratera
KM	Afastamento Médio da Região mais Profunda da Cratera

Desgaste em ferramentas de usinagem



VB - Largura média de desgaste de flanco.

VB_{máx} - Largura máxima de desgaste de flanco.

SV α - Deslocamento lateral do gume na direção do flanco.

KB - Largura de cratera.

KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

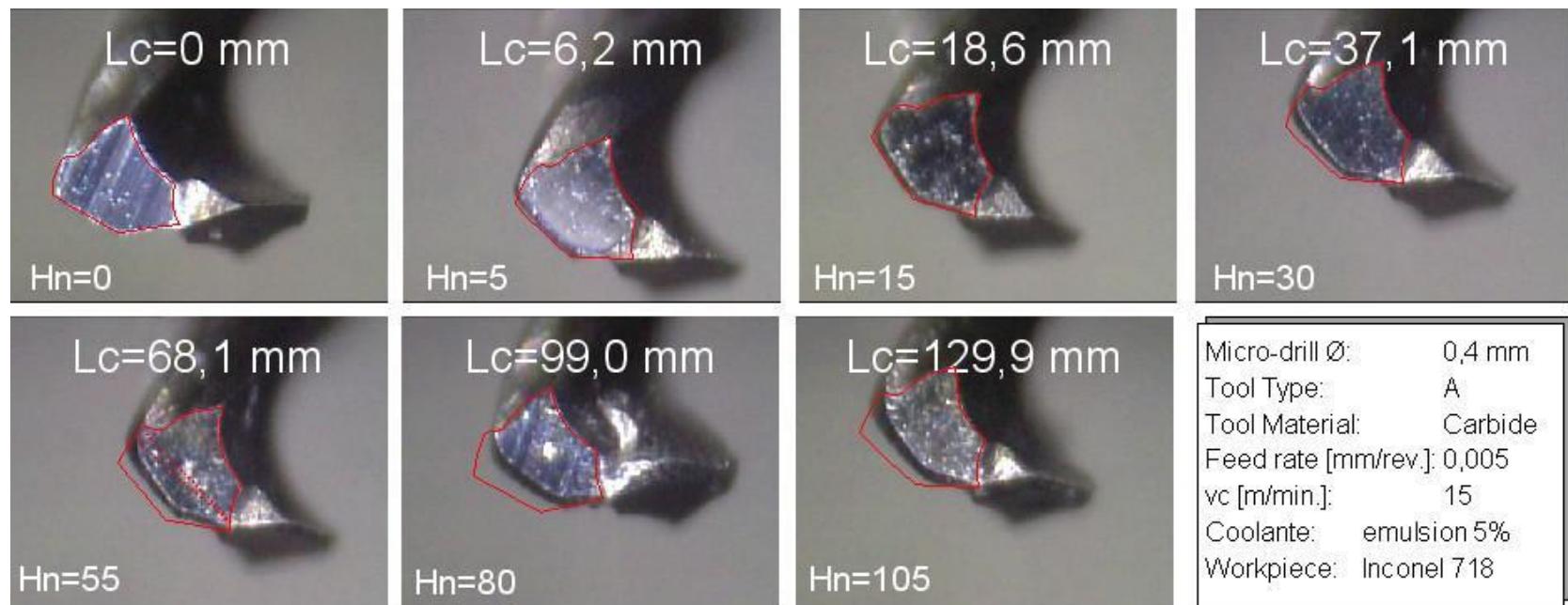
KM - Distância da borda da ferramenta ao centro da cratera.

KT - Profundidade de cratera.

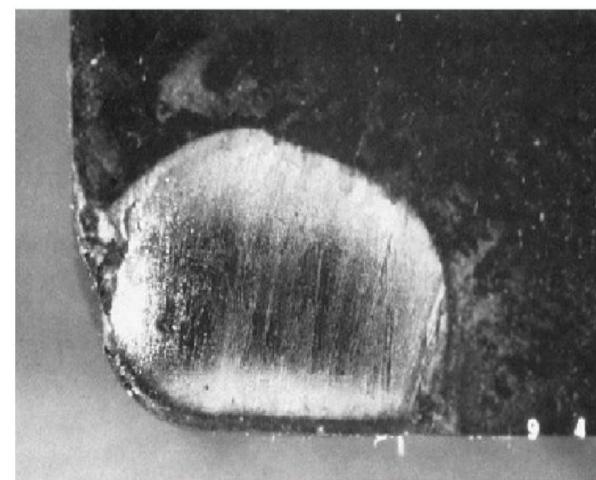
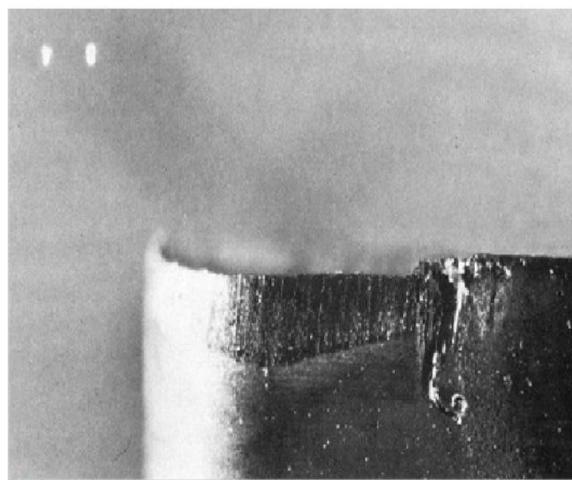
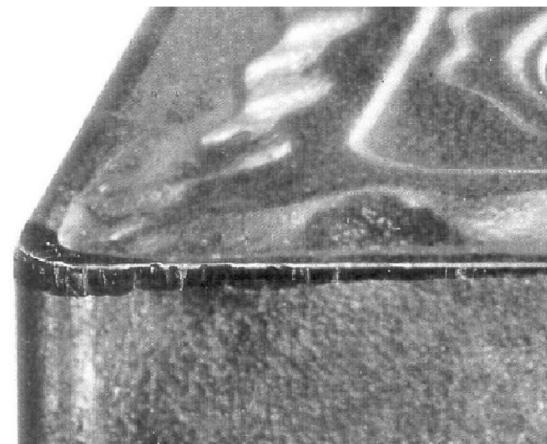
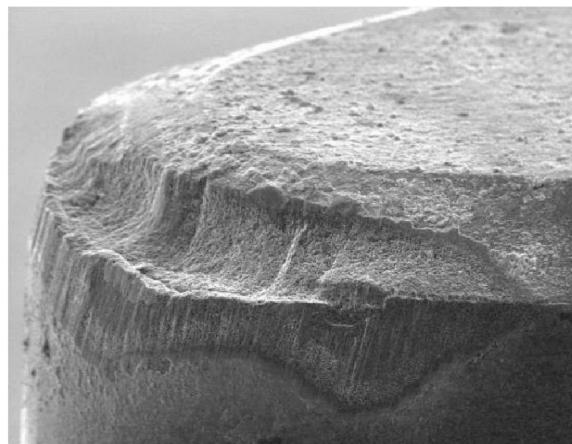
SV y - Deslocamento lateral do gume na direção da face.

Desgaste em ferramentas de usinagem

Exemplo da volução de desgaste em brocas helicoidais

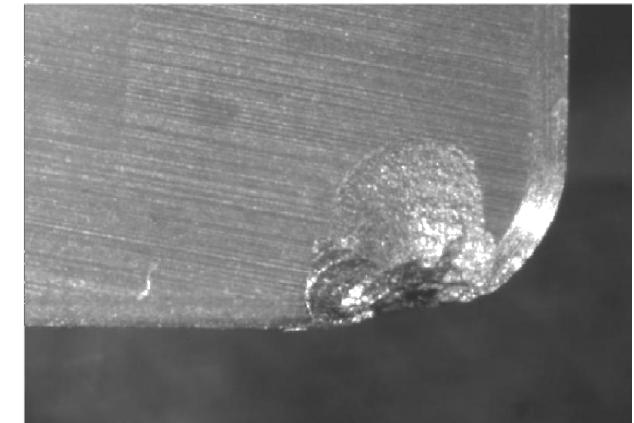
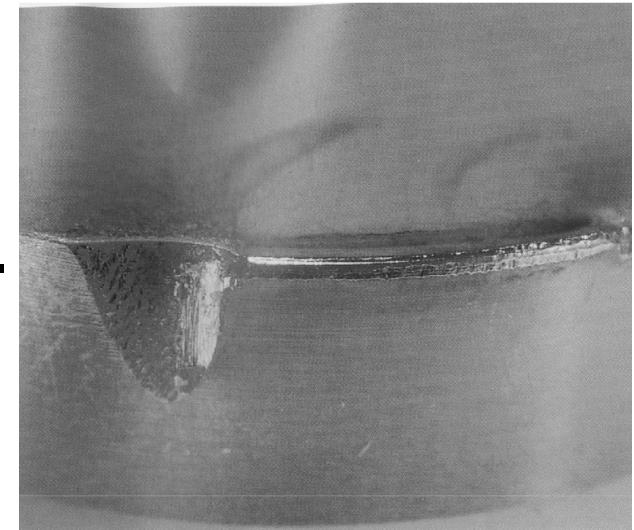
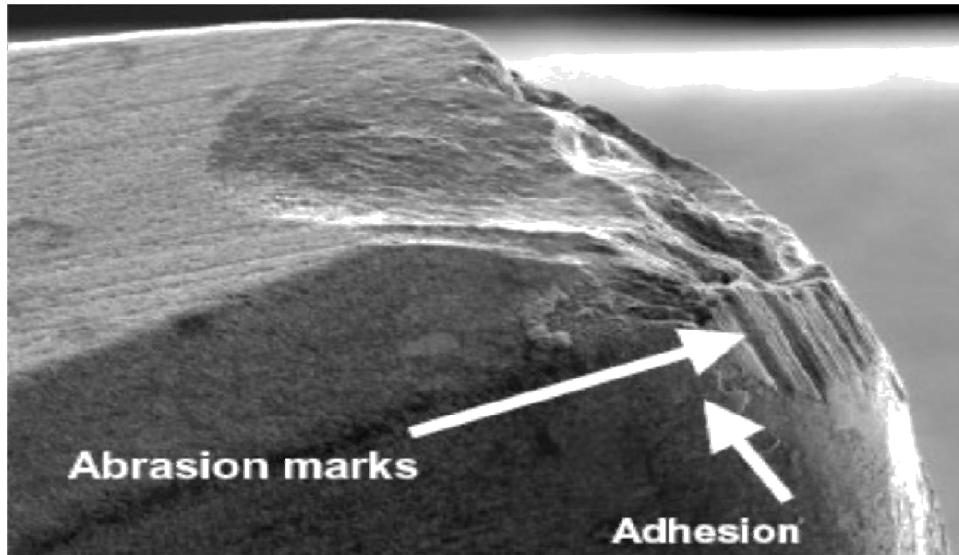


Exemplos de desgaste em ferramentas de corte



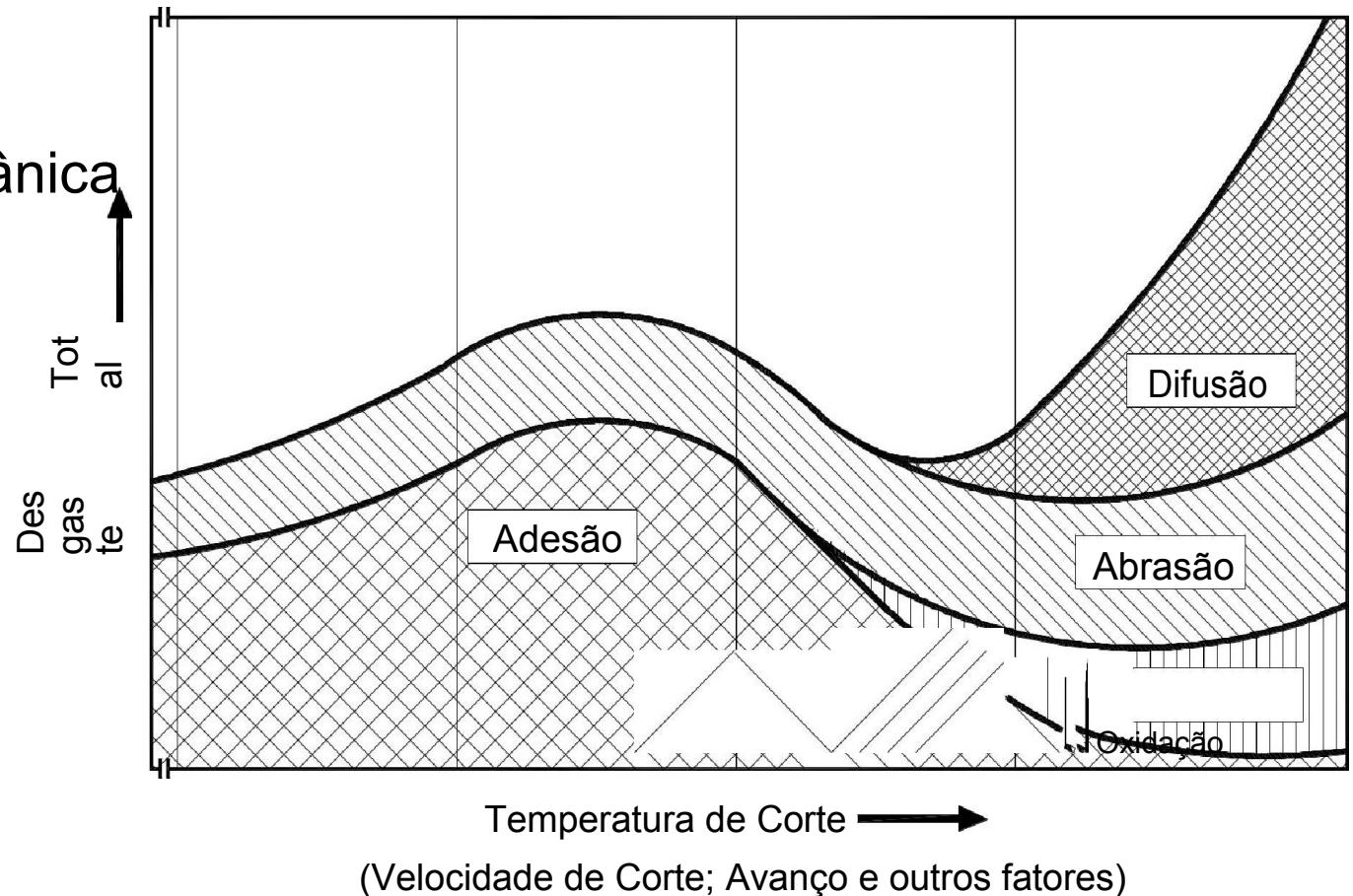
Lascamento de gume

- Forças de corte excessivas;
- Corte interrompido;
- Material da peça com inclusões duras.



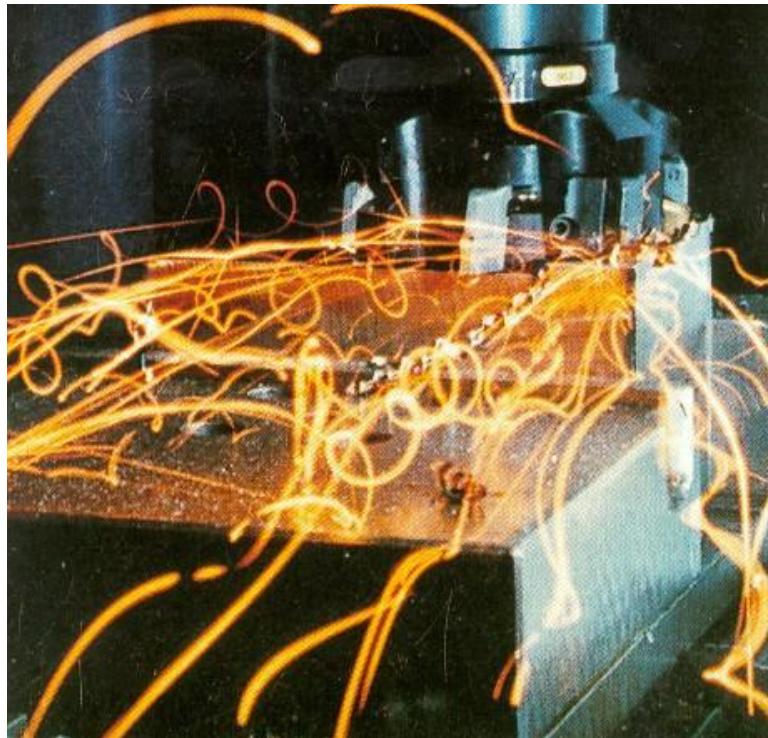
Mecanismos de desgaste

- Adesão
- Abrasão mecânica
- Oxidação
- Difusão
- Outros



Mecanismos de desgaste

Conceito de 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”

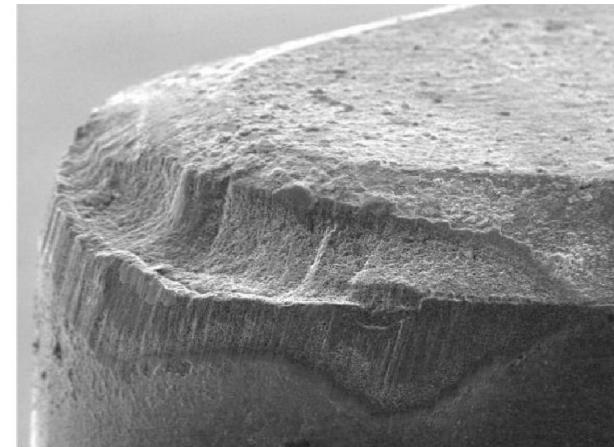
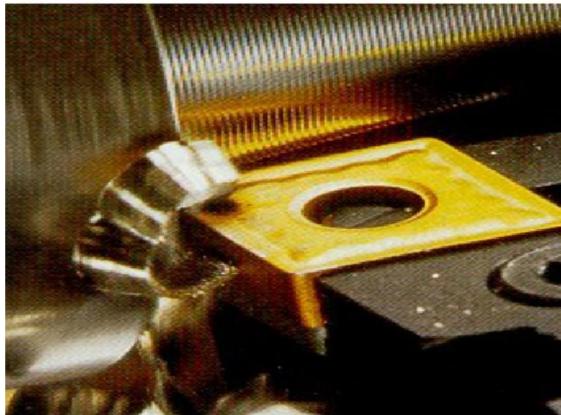
Usinabilidade

- Descreve todas as dificuldades que um material apresenta na sua usinagem.
- Compreende todas as propriedades de um material que têm influência sobre o processo de usinagem.

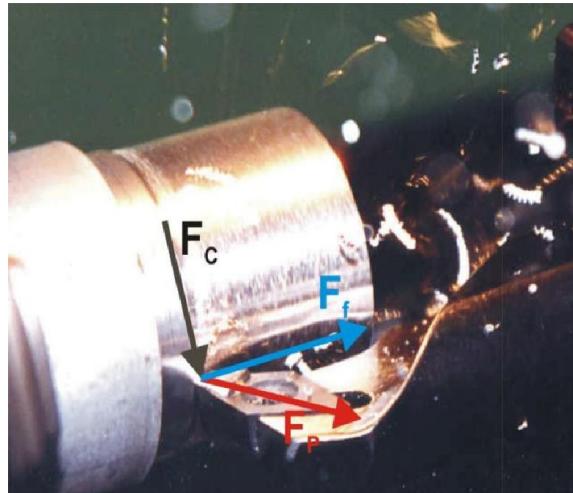
Definição: Usinabilidade pode ser definida como sendo a capacidade dos materiais de peça em se deixarem usinar

Critérios de Usinabilidade

- Formação de cavaco
- Abrasividade



- Forças de usinagem
- Tipo de cavaco





Ações para minimizar os efeitos da má usinabilidade

- na ferramenta
 - material
 - geometria da
 - ferramenta uso de
 - revestimento
- no processo
 - velocidade
 - avanço
 - profundidade de corte
- uso de meios lubri-refrigerantes
 - no material da peça
 - elementos de liga
 - controle no processo de obtenção/fabricação anterior usinagem
 - alívio de tensões e tratamentos térmicos

Conceito de vida da ferramenta

→ Período no qual uma ferramenta pode ser mantida usinando de forma econômica

O caráter econômico pode ser relacionado principalmente com:

- tolerâncias dimensionais
- tolerâncias geométricas
- qualidade superficial da peça
- nível de vibrações no processo
- nível de esforços no processo
- possibilidade de reafiação da ferramenta, entre outros

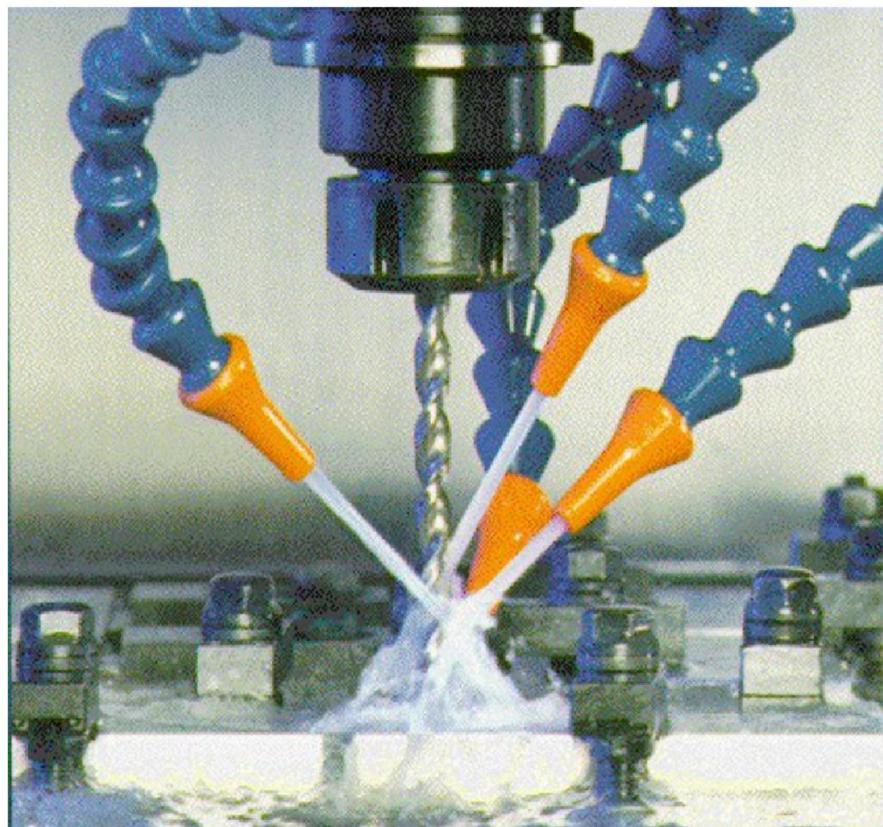
Critérios de fim de vida

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

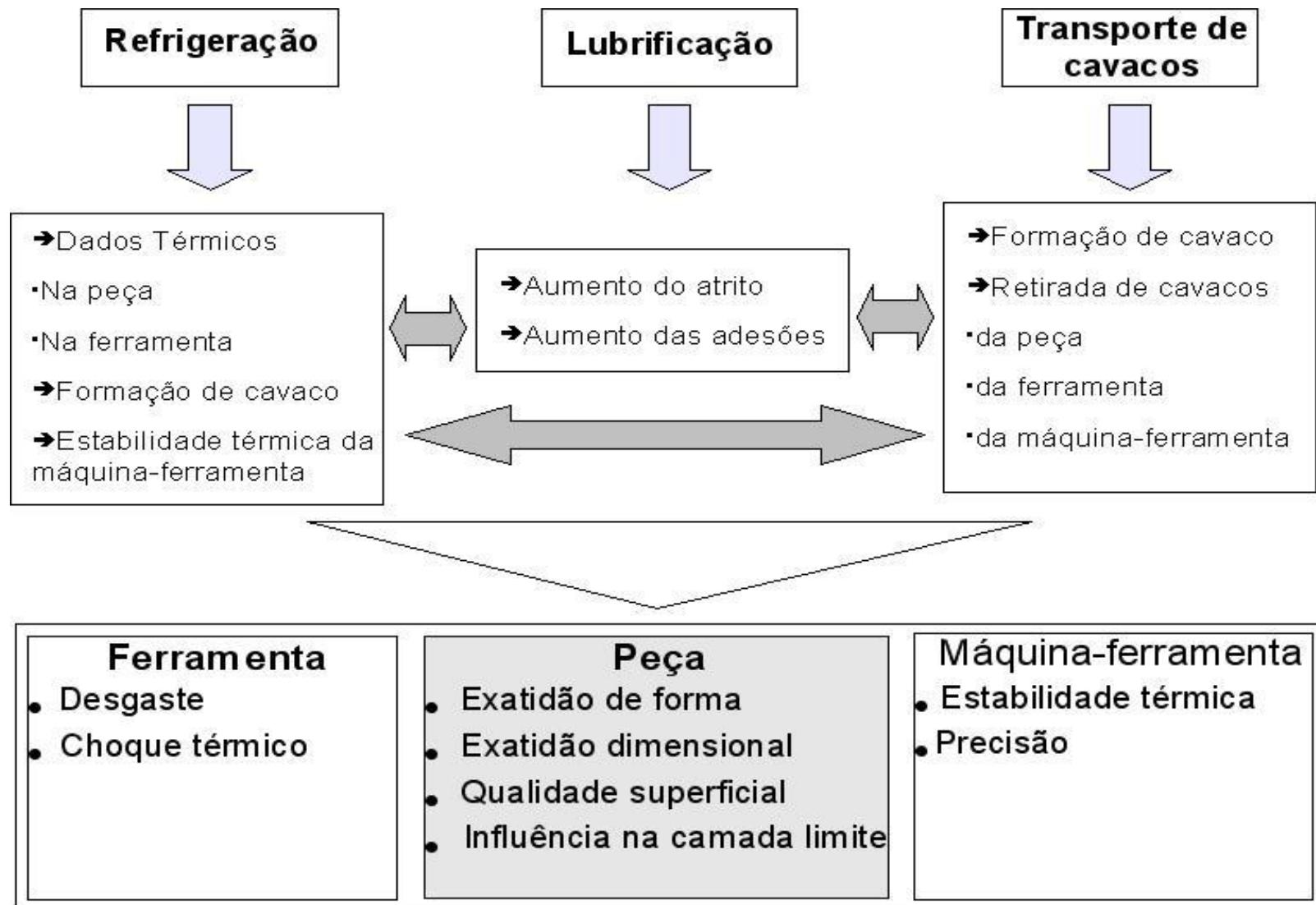
Esses critérios é relacionado com:

- 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
- formação de rebarba
- aumento da temperatura de corte
- nível de desgaste na ferramenta

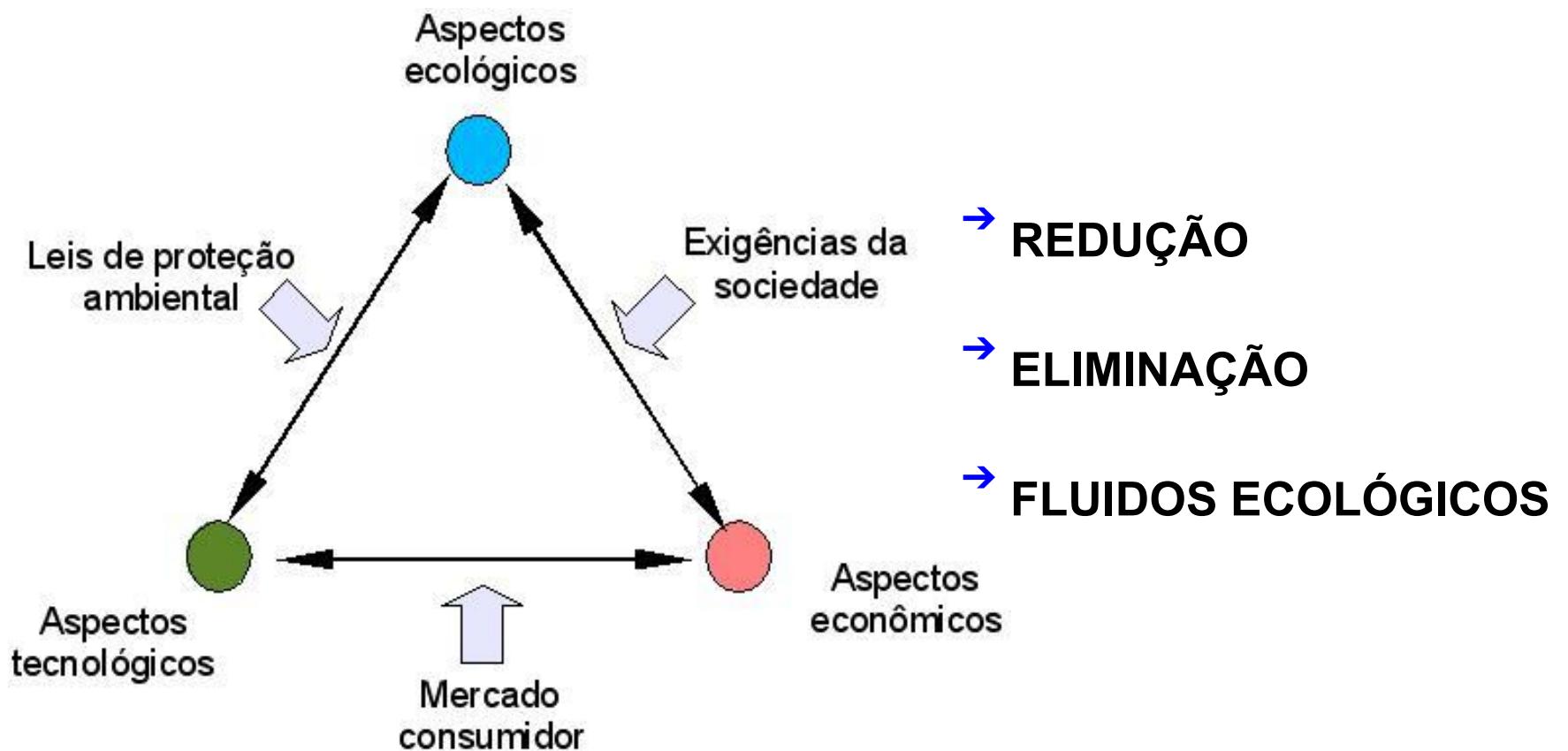
Fluidos de Corte



Função dos Fluidos de Corte



Tendências no uso de Fluidos de Corte



Fluidos de Corte

Classificação segundo a norma **DIN 51385**

- Não miscíveis em água ou óleos de corte
 - Óleos integrais ou minerais
 - Óleo solúve
 - Semi-sintéticos
 - Sintético
- Miscíveis em água ou emulsões

Critérios para seleção dos fluidos de corte

Fatores 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;

