

CAVACOS DE USINAGEM

Importância do tipo de cavaco formado

A formação do cavaco influencia diretamente diversos aspectos relacionados às operações de usinagem, podendo-se destacar os seguintes:

- **Econômicos**

velocidade de corte, fluído de corte utilizado, vida útil da ferramenta, etc.

- **Qualidade final da peça**

acabamento superficial, esforços de corte, etc.

- **Segurança**

proteção do operador.

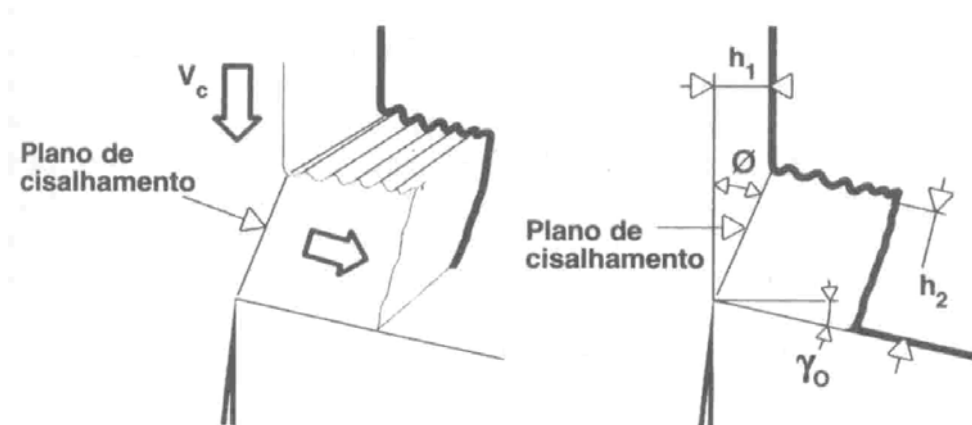
O corte dos metais acontece através de um **processo contínuo de deformação e cisalhamento do material** que, em função dos parâmetros de corte e propriedades físicas do material da peça pode resultar em cavacos de diferentes configurações geométricas.

Mecanismo de formação do cavaco

O plano ao longo do qual acontece o cisalhamento do material é denominado plano de cisalhamento.

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

Quanto maior a deformação do cavaco sendo formado, menor o ângulo de cisalhamento e maiores os esforços de corte.



Etapas do processo de formação do cavaco

Em condições normais de usinagem com ferramentas de aço rápido ou metal duro, a formação do cavaco segue as seguintes etapas:

1. Uma pequena porção de material é recalcada (sofre deformações elástica e plástica) contra a superfície de saída da ferramenta.
2. A deformação plástica aumenta até que as tensões internas de cisalhamento sejam suficientemente grandes, causando deslizamento entre a porção recalcada e a peça (sem ruptura do material).
3. Continuando a penetração da ferramenta, ocorre ruptura total ou parcial do cavaco, no plano de cisalhamento.
4. A porção de material rompida escorrega sobre a superfície de saída da ferramenta.

O ciclo se repete para as próximas porções de material a serem usinadas.

A periodicidade e tempo de duração de cada etapa depende do tipo de material sendo usinado.

Controle da forma do cavaco

Materiais dúcteis → todas as fases são bem pronunciadas (há bastante deformação antes da ruptura).

Materiais frágeis → as duas primeiras fases descritas anteriormente são curtas, na terceira ocorre ruptura total do cavaco e a quarta praticamente inexistente.

A **forma do cavaco** influencia os seguintes fatores:

- ✓ segurança do operador;
- ✓ possível dano à ferramenta ou à peça;
- ✓ manuseio e armazenagem;
- ✓ forças de corte,
- ✓ temperatura e **vida da ferramenta**.

Materiais dúcteis tendem a produzir **cavacos longos** e contínuos que são os mais prejudiciais.

Materiais frágeis produzem **cavacos em forma de pequenas partículas**.

Classificação dos cavacos

Os cavacos são usualmente classificados em tipos e formas:

Tipos

- Cavaco **contínuo**: apresenta lamelas justapostas em disposição contínua. Não há distinção nítida entre as lamelas. Forma-se na usinagem de materiais dúcteis (ex. aço inoxidável). O ângulo de saída assume valores altos.
- Cavaco de **cisalhamento**: apresenta lamelas justapostas distintas.
- Cavaco de **ruptura**: constituído de fragmentos arrancados da peça usinada. Neste caso o ângulo de saída deve assumir valores baixos, nulos ou negativos.

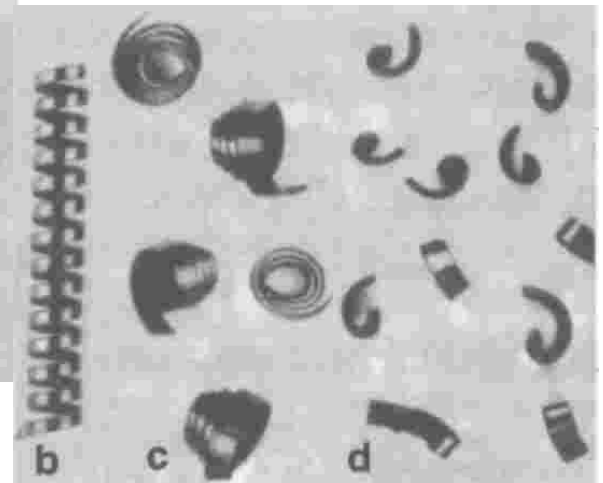
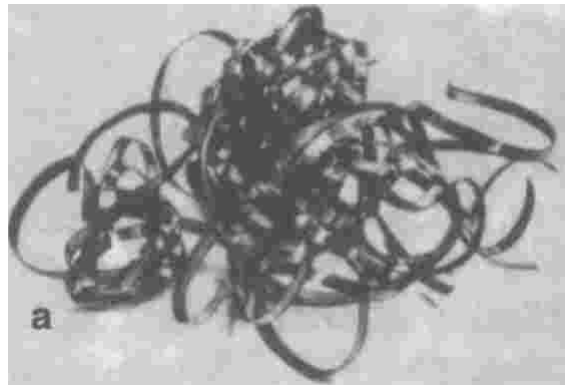
Formas

Cavaco em **fita**

Cavaco **helicoidal**

Cavaco **espiral**

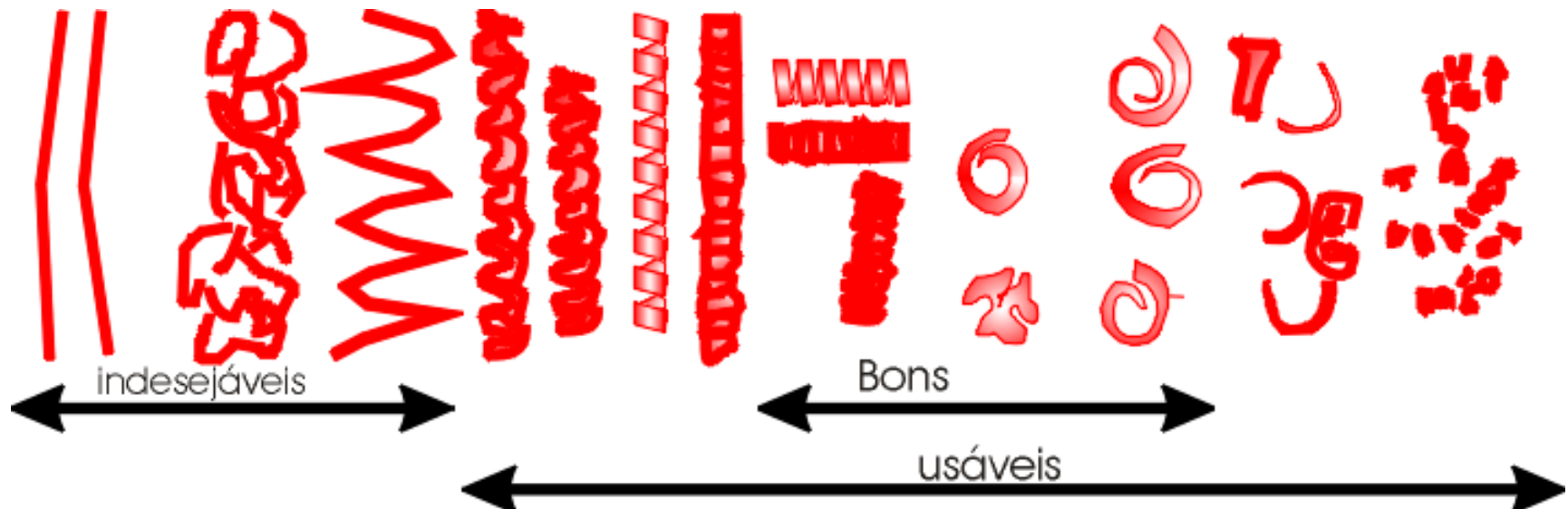
Cavaco em **lascas ou pedaços**.



O cavaco em **fita** é o que apresenta maiores inconvenientes, devendo ser evitado. As demais formas podem ser utilizadas dependendo da aplicação:

lascas → preferido quando houver pouco espaço disponível ou quando o cavaco é removido por fluído sob pressão.

helicoidais → quando a remoção de material é elevada este tipo de cavaco deixa com maior facilidade o espaço entre os dentes da ferramenta.

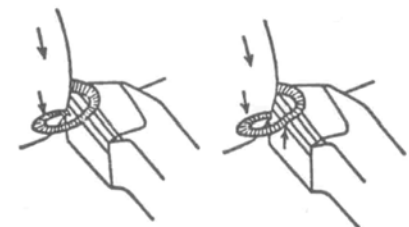


Quebra dos cavacos

A curvatura do cavaco pode ser controlada para forçar a sua quebra evitando a formação de cavacos longos em forma de fita.

Algumas formas de quebra do cavaco:

- O cavaco pode se dobrar verticalmente, quebrando-se ao atingir a peça.
- Pode enrolar-se sobre si mesmo ao tocar a peça.
- Pode dobrar-se verticalmente e lateralmente, quebrando-se ao atingir a superfície de folga da ferramenta.
- Pode dobrar-se lateralmente, quebrando-se ao atingir a superfície da peça que ainda não foi usinada.



Alteração da forma do cavaco

A quebra do cavaco acontece quando a deformação aplicada alcançar a deformação **limite na ruptura** (ϵ_r) do material, satisfazendo a seguinte equação.

$$\epsilon_r \leq \alpha \cdot h_D \cdot \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_1} \right)$$

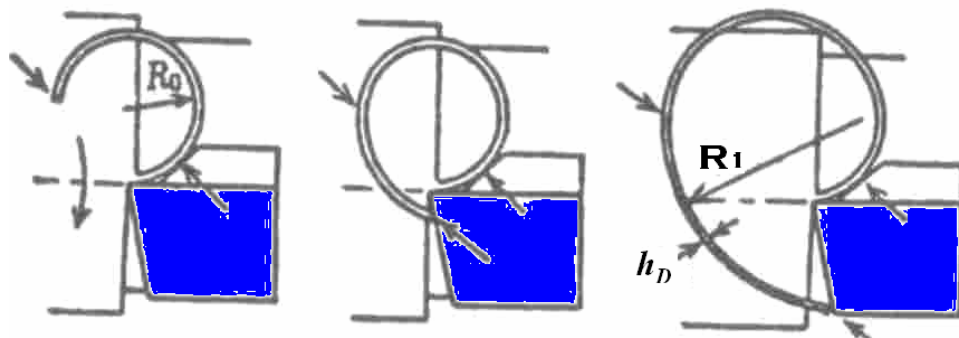
onde:

h_D → espessura do cavaco

$\alpha \cdot h_D$ → distância entre a linha neutra e a superfície do cavaco.

R_0 → raio de curvatura do cavaco.

R_1 → menor valor de R_0 para o qual se evita o choque com o porta ferramentas ou qualquer outro obstáculo.



Quebra do Cavaco ..

É possível facilitar a quebra do cavaco com as seguintes medidas:

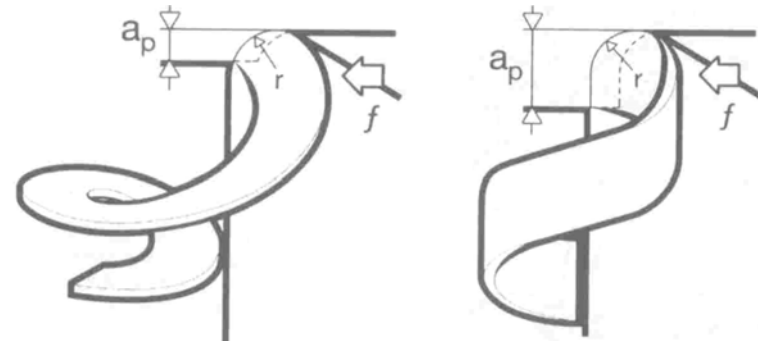
- **Redução de ε_r** – aumento da fragilidade do material através de tratamento térmico, trabalho a frio ou alteração da composição química.
- **Aumento de h_D** – que pode ser obtido através do aumento do avanço ou do ângulo de posição da ferramenta (χ_r). Cavacos de **menor espessura** são mais flexíveis (dúcteis) e, conseqüentemente, **mais difíceis de quebrar**.
- **Diminuição de R_0** – reduzindo os ângulos de saída (γ) ou de inclinação (λ_s), ou através de quebra-cavacos.
- **Aumento de R_1** – limitação do espaço para fluxo do cavaco.
- **Aumento de α** - o valor deste coeficiente é 0,5 para cavacos com seção transversal retangular. Em operações de acabamento pode-se utilizar quebra-cavacos que produzam seções transversais curvas, aumentando α .



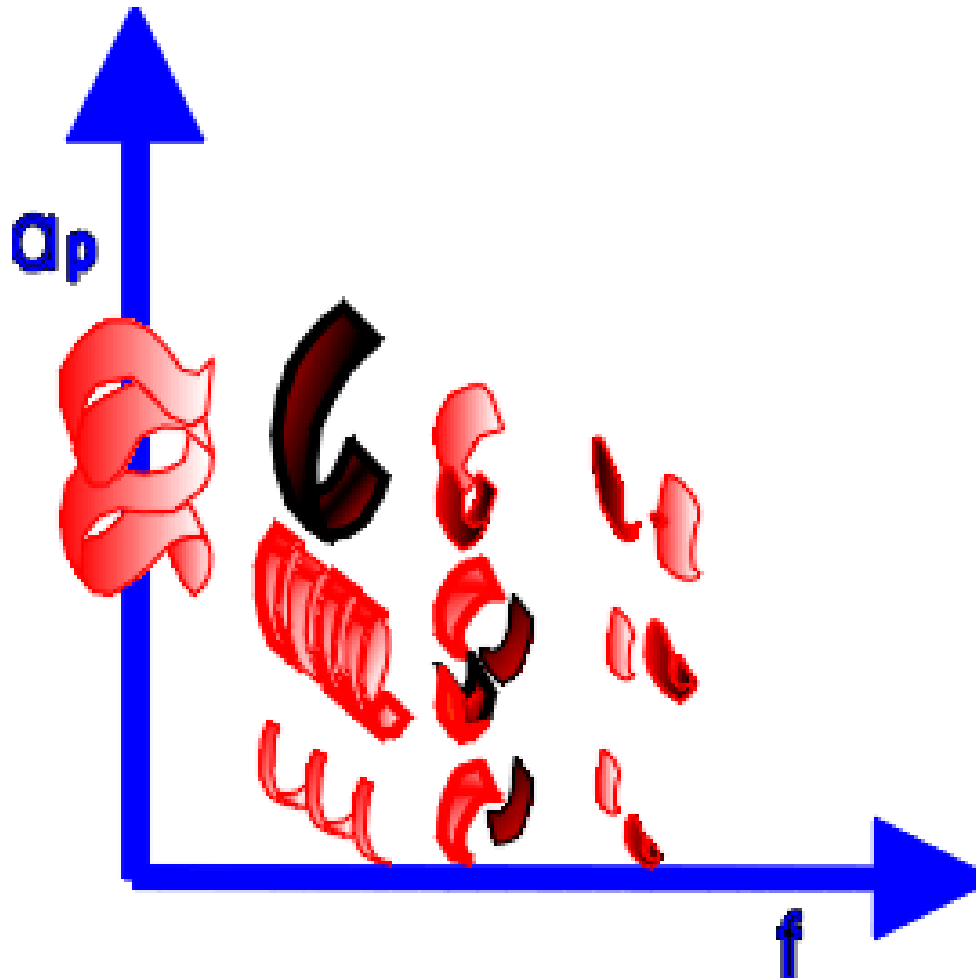
Influência dos parâmetros de usinagem

Velocidade de corte, profundidade de corte e geometria da ferramenta influenciam a capacidade de quebra do cavaco:

- Em baixas velocidades de corte a curvatura natural dos cavacos não causa problemas. Quando as velocidades aumentam (utilização de ferramentas resistentes ao desgaste) o problema de quebra do cavaco assume grande importância.
- Altas profundidades de corte auxiliam a capacidade de quebra do cavaco.
- Relação entre raio de ponta e profundidade de corte
 - a_p/r pequeno $\rightarrow$ curvatura lateral – dificuldade de quebra.
 - a_p/r grande $\rightarrow$ curvatura lateral + curvatura vertical - cavaco vai de encontro à superfície de folga da ferramenta facilitando a quebra.

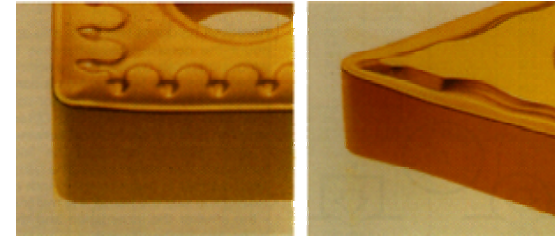


É possível obter uma estimativa do tipo de cavaco formado em função da relação entre os parâmetros avanço (f) e profundidade de corte (a_p).



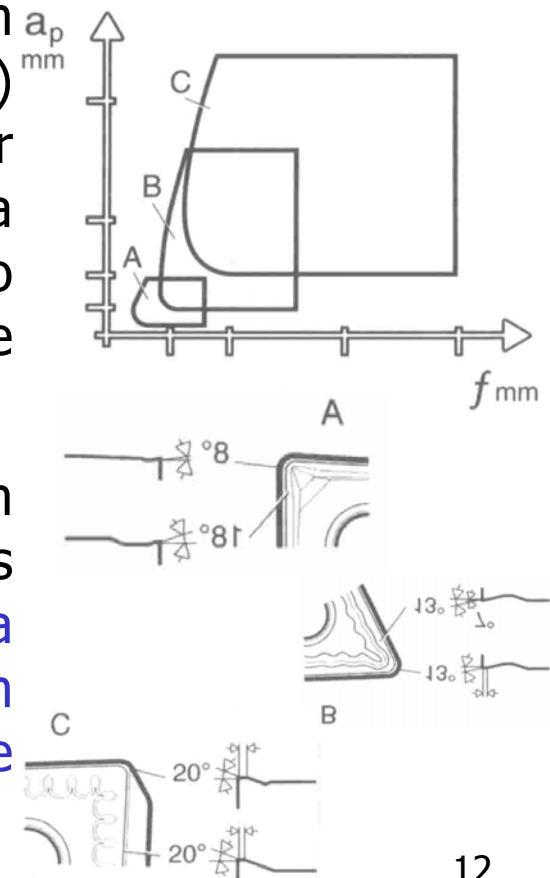
Tipos de quebra-cavacos

Os quebra-cavacos podem ser **postiços** ou **moldados** diretamente na superfície de saída da ferramenta, tipo este que tem sido cada vez mais utilizado.



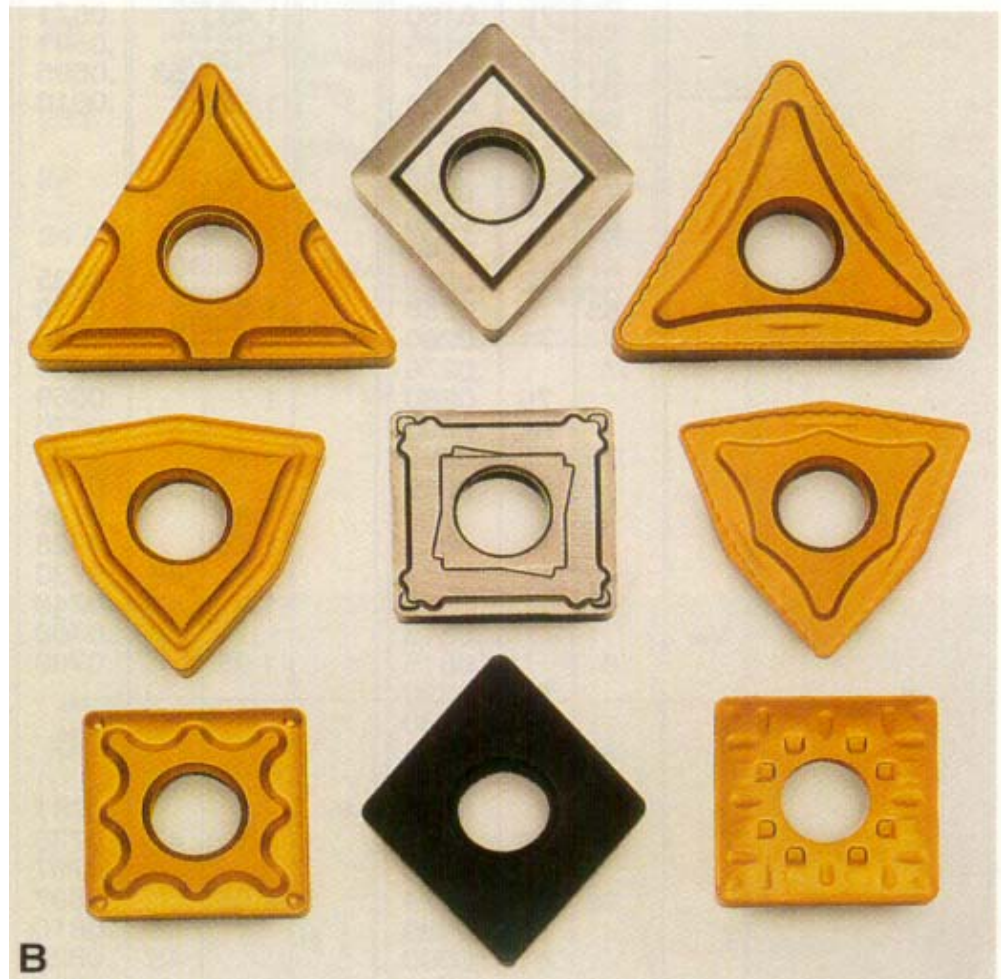
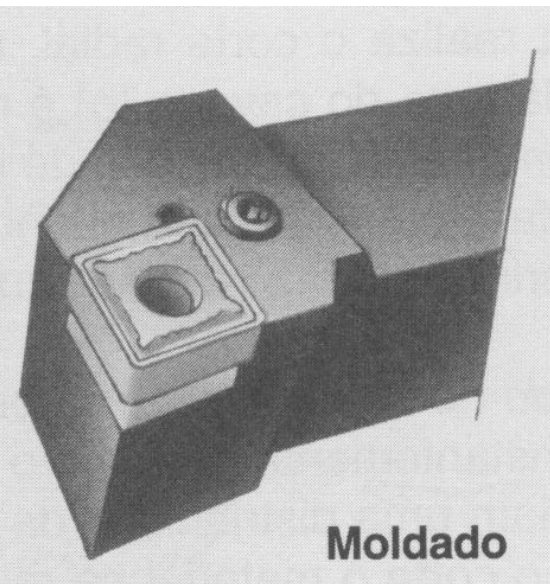
Para cada faixa de condições de usinagem (principalmente avanço e profundidade de usinagem) existe uma geometria ótima de quebra-cavacos, por esta razão uma ferramenta projetada para uma operação de desbaste médio, não quebrará o cavaco em uma situação de acabamento ou de desbaste pesado.

Para avanços e profundidades de usinagem pequenos (acabamento) os quebra-cavacos são mais estreitos mais próximos da aresta de corte. **A medida que avanço e profundidade de usinagem aumentam (desbaste), os quebra-cavacos ficam mais largos e distantes da aresta de corte.**

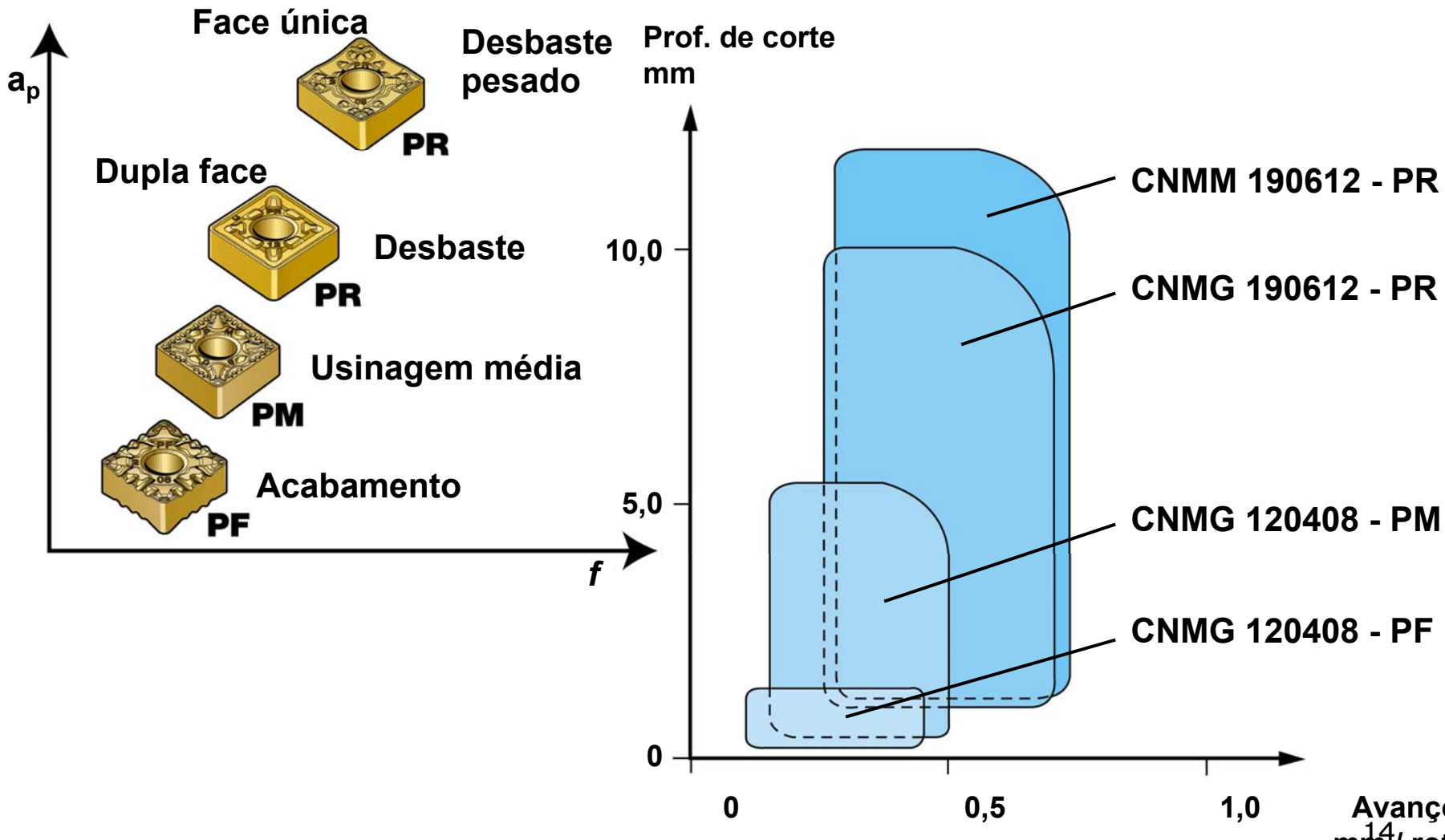


Quebra-Cavaco

Exemplos de QC



Seleção de Quebra-Cavaco (Catálogo Sandvik)



Temperatura de corte

Energia mecânica associada
à deformação do cavaco

Fontes:

Deformação

Cisalhamento

Atrito cavaco-ferramenta

Atrito ferramenta-peça

Dissipação:

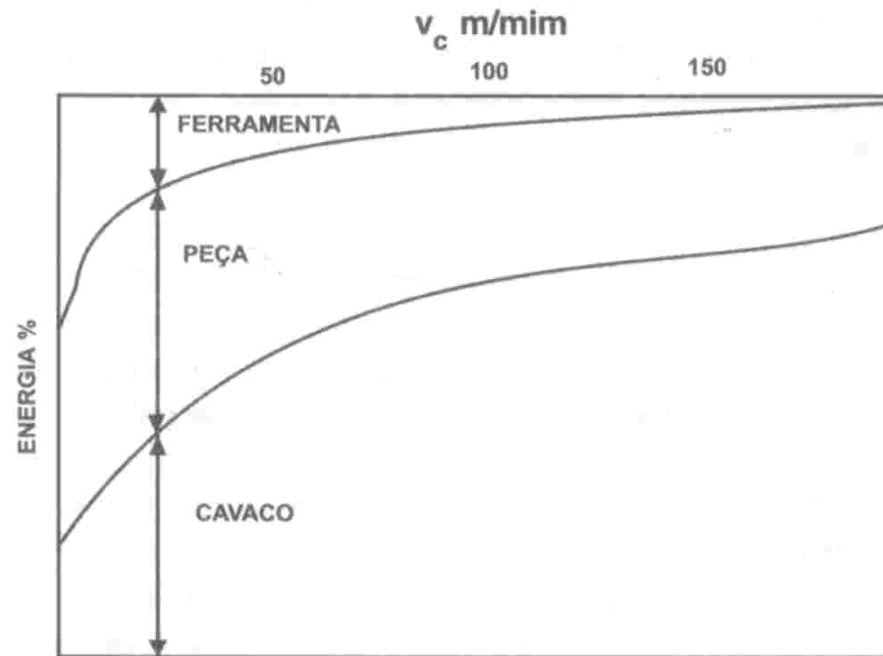
Cavaco

Peça

Ferramenta

Fluído de corte

→ Energia térmica

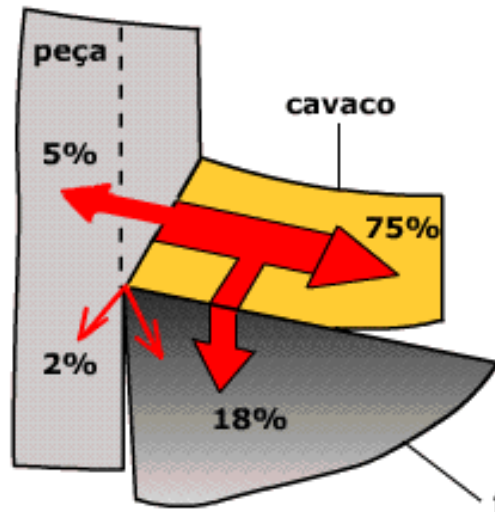


Variação da distribuição de energia de
corte com a Velocidade de Corte

Distribuição de calor na ferramenta

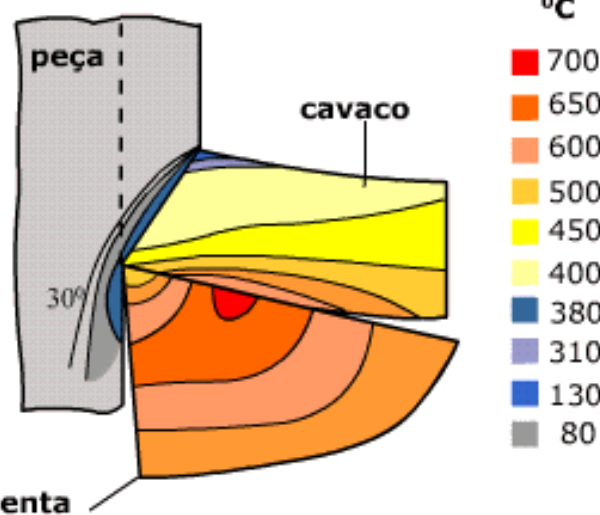
A quantidade de calor dissipada por cada um dos elementos varia com os parâmetros de usinagem. Porém como a região da ferramenta que recebe este calor é reduzida e não muda durante o processo, como acontece com a peça, desenvolvem-se nesta região altas temperaturas, que contribuem para o desgaste da ferramenta.

Geração de Calor

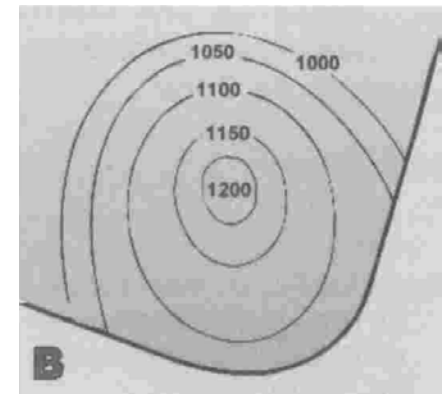
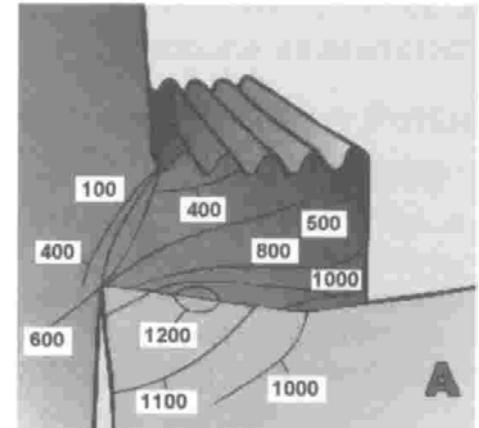


Material: Aço 850N/mm²
Vel.de Corte :60 m/min

Distribuição de Temperaturas



Espess. do cavaco: 0,32 mm
Ferramenta: P 20



Geração e dissipação de **calor no processo de corte**

Durante as operações de usinagem gera-se grande quantidade de calor:

- energia para deformação do cavaco
- atrito peça-ferramenta e cavaco-ferramenta

Este calor precisa ser extraído para minimizar:

- desgaste da ferramenta
- dilatação da peça
- danos térmicos à estrutura superficial da peça

Funções do fluido de corte

Lubrificação

Redução do atrito diminuindo a quantidade de calor gerado. Desta forma consegue-se também reduzir os esforços e potência de corte.

Refrigeração

Extração do calor gerado da região de operação.

Prevenção contra a soldagem cavaco-ferramenta

Formação da aresta postiça de corte.

- **Remoção do cavaco da região de corte**

Especialmente importante em operações como furação profunda onde o fluido deve ter baixa viscosidade e suportar altas pressões.

- **Evitar dano à estrutura superficial e aumento exagerado de tensões residuais na peça** (principalmente em operações com grande quantidade de calor gerado na retificação).

- **Proteção contra a corrosão**

- **Redução da dilatação térmica da peça**

- **Obtenção de tolerâncias apertadas**

Fluído de corte como refrigerante

Requisitos para remoção eficiente do calor da região de corte, peça e ferramenta:

- Baixa viscosidade (escoar livremente)
- Boa molhabilidade → bom contato térmico
- Alto calor específico e alta condutividade térmica

Retificação → material da ferramenta extremamente resistente ao desgaste (refratário c/ grande área superficial).

Materiais cerâmicos p/ ferramentas → duros e frágeis, em muitos casos melhor sem refrigeração.

Fluído de corte como **lubrificante**

Lubrificação: redução do coeficiente de atrito cavaco-ferramenta (principalmente) e ferramenta-peça, reduzindo força total, potência de corte e temperatura.

O fluído deve penetrar entre as superfícies em contato por capilaridade, ajudado pela vibração peça-cavaco-ferramenta, se não chegar à região de corte não terá efeito lubrificante. Deve suportar altas pressões (sem vaporizar). Quanto maior a velocidade de corte (e do cavaco) **mais difícil** a lubrificação.

O atrito cavaco-ferramenta depende da:

- Rugosidade das superfícies
- Afinidade físico-química dos materiais

Características de um bom lubrificante

- Resistir a pressões e temperaturas elevadas sem vaporizar
- Boas propriedades anti-fricção e anti-soldantes
- Viscosidade adequada (suficientemente baixa para escoar, mas alta o suficiente para aderir à superfície da ferramenta)

Outras características do fluído de corte

Além das propriedades necessárias para atuar como refrigerante e lubrificante o fluído deve ter:

- **Ausência de odores** desagradáveis
- Além de **não corroer**, proteger a peça e a máquina dos efeitos da corrosão
- Não **formar precipitados sólidos**, pois estes:
 - obstruem os dutos de circulação do fluído
 - depositam-se sobre as guias da máquina
- Não **causar dano à pele humana ou riscos à saúde**

Características dos fluídos de corte

Aquosos

- ***Água*** (refrigeração)

Vantagens: abundância, baixo custo, não-inflamável, baixa viscosidade

Desvantagens: **corrosão ferrosos**, baixa molhabilidade

- ***Emulsões***

Pequena porcentagem de óleo emulsionável disperso em pequenas gotículas de água (água + óleo + emulsificante).

Emulsificador (reduz tensão superficial da água mantendo o óleo finamente disperso como emulsão estável).

Possuem alto poder refrigerante (1-20% óleo) e baixa capacidade de lubrificação.

Aplicação: baixa remoção de material por passe.

Aditivo EP (compostos sulfurados e clorados).

Óleos

Óleos puros são usados quando o calor gerado por atrito é muito grande.

Calor específico dos óleos é aproximadamente a metade do calor específico da água (**menor poder refrigerante**).

Maior poder lubrificante → menos calor gerado

Quanto maior a viscosidade, menor o poder refrigerante.

Óleos leves → operação em altas velocidades (dissipação rápida)

Óleos viscosos → operação em baixas velocidade (grande avanço e profundidade)

- *Óleos minerais puros*

Usados para a usinagem dos aços ao carbono, latão, bronzes e ligas leves.

Mais baratos.

Menos sujeitos à oxidação que os óleos graxos e compostos.

- *Óleos graxos*

De origem vegetal e animal (deterioram-se com o tempo).

Boa capacidade lubrificante (boa molhabilidade).

Baixa capacidade anti-soldante.

Capacidade de refrigeração média.

- *Óleos compostos (minerais + graxos (10-30 %))*

Apresentam a vantagem dos graxos sem sofrerem deterioração

Utilizados para usinagem do cobre e suas ligas

- *Óleos Extrema Pressão*

Suportam pressões elevadas sem vaporizar

Operação em altas velocidades e profundidades com altas forças de corte

Contém enxofre e cloro, podendo ser:

- ativos (reagem c/ metal formando película superficial)
- inativos (ex. Cobre e suas ligas são corroídos por S)

Seleção do fluido de corte

- Material da peça

- Al, latão, bronze e cobre – **a seco ou c/ óleos inativos**
(fluidos com água podem causar explosões pela liberação de hidrogênio)
- Níquel – **emulsões**
- Aços ao carbono – **qualquer tipo de óleo**
- Aços inoxidáveis – **óleo EP** para redução do empastamento do cavaco
- Ferro fundido cinzento – **a seco** ou com ar (aspiração)
- Aços endurecidos ou cerâmica – **sem fluido**

- Condições de usinagem

- Severas (desbaste) – óleo puro ou EP
- Brandas – emulsões

- Operações de usinagem

- Retificação – emulsão (altas velocidades, difícil lubrificação)
- Operações lentas e pesadas – óleos ativos (aderem às ferramentas)
- Furação profunda – óleo mineral composto ou óleo sulfurado com baixa viscosidade
- Brochamento – emulsões, óleos sulfurados ou óleos puros (dependendo do material)

- **Material da ferramenta**

- Aços rápidos

- sofrem corrosão com água

- utilizar emulsões com aditivo anti-oxidante

- Metal duro

- suporta qualquer tipo de óleo de corte

- Cerâmicas

- dispensam fluído de corte