

ÍNDICE

1.	Referencia Pré-Histórica	4
1.1.1	Surge o início do fabrico	4
1.1.2	Surgem novos materiais	4
1.1.3	A evolução da ferramenta	5
1.1.4	A evolução da máquina ferramenta	5
2.	O que é uma operação de maquinagem?	6
2.1.1	Tornear	6
2.1.2	Fresar.....	7
2.1.3	Furar	7
2.1.4	Aplainar.....	8
2.1.5	Rectificação.....	9
3.	Materiais para ferramentas de corte.....	9
3.1	Exigência básica de um material de corte	10
3.1.1	Aço Ferramenta	11
3.1.2	Aço rápido.....	12
3.1.3	Ligas Fundidas.....	12
3.1.4	Metal Duro (Carbonetos Sinterizados)	13
3.1.5	Cermet	14
3.1.6	Cerâmica.....	15
3.1.7	Nitreto de Boro Cúbico Cristalino (CNB) ou Ultra Duros	16
3.1.8	Diamante.....	17
3.2	Quadro Comparativo	19
4.	Ferramentas de Corte de Geometria Definida.....	20
4.1	Descrição Geral da Ferramenta	20
4.2	Elementos da Ferramenta	20
4.2.1	Superfície da Ferramenta	20
4.2.2	Gumes e Quina	21
4.2.3	Movimento de Corte.....	21
4.3	Sistema de Referência e Planos	22
4.3.1	Ângulos da Ferramenta.....	23
5.	Os Fluidos de Corte.....	27

5.1	A sua utilização	27
5.1.1	Funções e finalidades dos fluidos de corte	27
5.1.2	Tipos de fluidos de corte	32
5.1.3	Qualidades e propriedades desejáveis nos fluidos de corte	34
5.1.4	Problemas comuns na utilização de fluidos de corte	36
5.1.5	Crítérios de seleção	38
6.	A apara	40
6.1	Formação da apara	40
6.1.1	Tipos	40
6.1.2	Formas	41
6.2	Factores que influenciam	42
6.2.1	Quebrar a apara	43
6.2.2	Fluido de Corte	43
6.2.3	Condições de corte	44
6.2.4	Geometria da ferramenta	44
7.	Máquinas Ferramenta	45
7.1	Serrote Mecânico	45
7.2	Torno mecânico	46
7.2.1	Operações fundamentais do torno	47
7.2.2	Tipos de Torno	50
7.2.3	Partes do Torno	53
7.2.4	Subsistemas da Máquina Ferramenta	55
7.2.5	Ferramentas de Torno	58
7.3	Fresamento	58
7.3.1	Variáveis e Parâmetros de Corte	59
7.3.2	Métodos de Fresamento	62
7.3.3	Ferramentas para fresamento	66
7.3.4	Subsistemas da fresadora	69
7.3.5	Forças no fresamento	71
7.3.6	Máquinas CNC	73
7.4	Furação	75
7.4.1	Classificação das Furadoras	76
7.4.2	Ferramentas de furar	77
7.4.3	Subsistemas da furadora	80

7.5	Plaina ou limador.....	83
7.5.1	Componentes da plaina	84
7.5.2	Acessórios.....	84
7.5.3	Características principais	85
7.5.4	Ferramentas.....	86
7.5.5	Avanço da Ferramenta.....	87
7.5.6	Características de uma ferramenta.....	87
7.5.7	Funcionamento	88
7.5.8	Exemplo de maquinagem numa plaina	89
7.5.9	Cuidados especiais	91
7.6	Rectificadora	91
7.6.1	Conceitos e equipamentos.....	92
7.6.2	Mó.....	95



1. Referencia Pré-Histórica

A Pré-História compreende o período que vai desde o surgimento do homem até o aparecimento da escrita, sendo subdividida em:

- Idade da Pedra Lascada** (Paleolítico fig.1 Machado de Pedra Lascada)
- Idade da Pedra Polida** (Neolítico-fig.1 Foice de osso)
- Idade dos Metais** (fig.1 Pontas de armas)

Observe que a maquinagem evoluiu juntamente com o homem, sendo utilizada como parâmetro de subdivisão de um período.



Fig. 1 – Machado de pedra lascada, foice de osso e pontas de armas.

1.1.1 Surge o início do fabrico

No Período Paleolítico, as facas, pontas de lanças e machados eram produzidos com lascas de grandes pedras. No Período Neolítico, os artefactos eram obtidos com o desgaste e polimento da pedra (Princípio da Rectificação).

1.1.2 Surgem novos materiais

O Homem passa a usar metais no fabrico de ferramentas e armas no fim da pré-história. Os primeiros metais a serem conhecidos foram o cobre e o ouro, em escala menor, o estanho. O ferro foi o último metal que o homem passou a utilizar no fabrico de seus instrumentos.

1.1.3 A evolução da ferramenta

Com a pancada de uma cunha manual surgiu o cinzel, movimentando esta ferramenta para frente e para trás, aplicando-se pressão surgiu a serra.

O grande avanço deste período foi a transformação do movimento de translação em movimento de rotação (com sentido de rotação invertido a cada ciclo). Este princípio foi aplicado a um dispositivo de nome **Furar de Corda Puxada**.

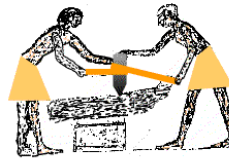


Fig. 2 - Mecanismo de furar

1.1.4 A evolução da máquina ferramenta

A figura seguinte mostra que a evolução das máquinas possibilitou que um só homem, com pouco esforço físico, realizasse o seu trabalho.

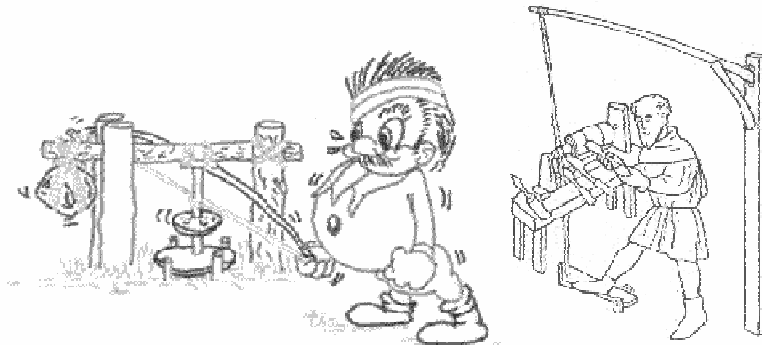


Fig. 3 - Evolução da máquina ferramenta.

No século 19 o trabalho do ferreiro era muito lento. Surgem então as máquinas movidas a vapor (esta energia era transmitida através da oficina por meio de eixos, correias e roldanas). Mais tarde o vapor seria substituído pela energia eléctrica.



A introdução de suporte mecânico no torno é um outro exemplo de um grande avanço no processo de fabrico. O suporte eliminou a necessidade de segurar as ferramentas com as mãos, diminuindo o risco de acidentes.

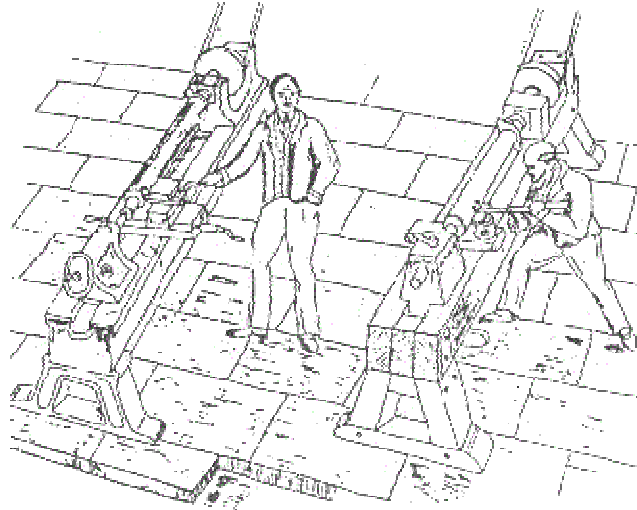


Fig. 4 - Torno mecânico.

Porém foi durante o período de guerra que ocorreu considerável progresso das máquinas destinadas à fabricação.

2. O que é uma operação de maquinagem?

Numa operação de maquinagem o material é removido com auxílio de uma ferramenta de corte produzindo a peça, obtendo-se assim uma peça com as formas e dimensões desejadas.

De um modo geral, as principais operações de maquinagem podem ser classificadas como:

- ↻ **Torneamento**
- ↻ **Fresamento**
- ↻ **Furação**
- ↻ **Aplainamento**
- ↻ **Rectificação**

2.1.1 Tornear

No torneamento, a matéria-prima tem a forma cilíndrica. A forma final é cónica ou cilíndrica. Na operação de corte a ferramenta executa movimento de



translação, enquanto a peça o movimento de rotação em torno de seu próprio eixo. As figuras seguintes ilustram diferentes operações que se podem realizar num torno mecânico.

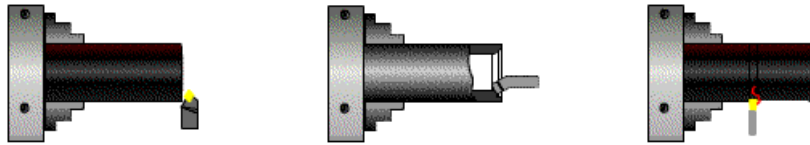


Fig. 5 - Torneamento externo, interno e sangramento radial.

2.1.2 Fresar

Na operação de fresamento a ferramenta de corte possui vários gumes e executa movimento de rotação, enquanto é pressionada contra a peça. A peça movimenta-se (alimentação) durante o processo. A superfície maquinada resultante pode ter diferentes formas, planas e curvas. As figuras seguintes ilustram diferentes operações que se podem realizar numa fresadora.



Fig. 6 - Fresamento tangencial e frontal.

2.1.3 Furar

Na furação uma ferramenta (broca) de dois gumes executa uma cavidade cilíndrica na peça. O movimento da ferramenta é uma combinação de rotação e deslocamento rectilíneo (ao longo do eixo do furo). As figuras seguintes ilustram diferentes operações que se podem realizar numa furadora.

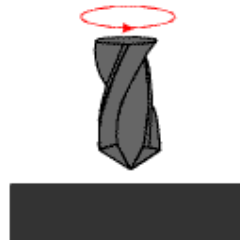


Fig. 7 - Operação de furar.

Uma variante da furação, é o alargamento de furos, onde uma ferramenta similar à broca, porém com múltiplos gumes, remove material de um furo, aumentando o seu diâmetro, ao mesmo tempo confere-lhe um alto grau de acabamento. Este é um processo típico de acabamento. As figuras seguintes ilustram diferentes operações que se podem realizar numa furadora.



Fig. 8 - Operação de acabamento e alargamento, desbaste cónico e alargamento.

2.1.4 Aplainar

Na operação de aplainamento, o corte gera superfícies planas. O movimento da ferramenta de corte é de translação enquanto a peça permanece estática, ou vice-versa. As figuras seguintes ilustram diferentes operações que se podem realizar numa plaina.

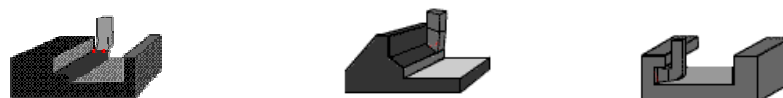


Fig. 9 - Aplainamento de rasgos, perfis e ranhuras em T.



Fig. 10 - Aplainamento de superfícies côncavas e de guias.

2.1.5 Rectificação

Na rectificação a ferramenta remove material da peça por acção de grãos abrasivos. A ferramenta tem o movimento de rotação em torno de seu próprio eixo além de poder executar movimento de translação. A peça a maquinar também pode movimentar-se com rotação ou translação. O processo é de alta precisão dimensional e proporciona um grau de acabamento superior (polimento). As figuras seguintes ilustram algumas variações do processo.



Fig. 11 - Rectificação interior e plana

3. Materiais para ferramentas de corte

O primeiro metal surgiu quando pedras de minério de ferro foram utilizadas em fogueiras para aquecer as cavernas. Pelo efeito combinado do calor e da adição de carbono pela madeira carbonizada, o minério se transformou em metal. A evolução ao longo dos séculos levou à sofisticação dos métodos de fabrico e combinação de elementos, resultando nos materiais de alto desempenho hoje disponíveis.

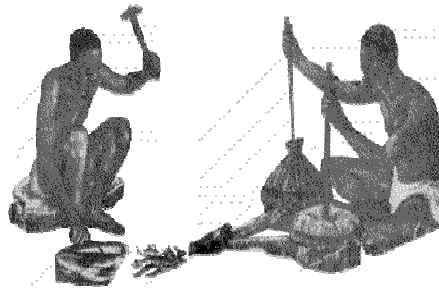


Fig. 12 - Pedras de minério de ferro utilizadas em fogueiras.

Materiais utilizados para ferramentas de corte, as suas características e indicações:

- ↗ Aço Ferramenta
- ↗ Aço Rápido
- ↗ Ligas Fundidas
- ↗ Metal Duro
- ↗ Cermet
- ↗ Cerâmica
- ↗ Nitreto de Boro Cúbico Cristalino
- ↗ Diamante

3.1 Exigência básica de um material de corte

Elevada dureza a frio e a quente: É a resistência oferecida pelo material à penetração, ao desgaste e ao atrito. Mede-se normalmente a dureza com auxílio de penetrador que tem a forma de uma esfera/pirâmide com dimensões e cargas padronizadas.

A dureza da ferramenta deve ser bem maior que a do material a ser maquinado, porém, dentro de um limite para que este não se torne pouco tenaz (frágil).

Tenacidade: É a capacidade que o material tem de absorver energia (deformar-se) até fracturar, incluindo a deformação plástica.

O material deve ter uma boa tenacidade para resistir aos choques/impactos que ocorrem durante a maquinagem, evitando com isso o surgimento de lascas na ferramenta.



Resistência ao desgaste por abrasão: Na região de contacto entre a 'peça ferramenta aparta' ocorrem elevadas pressões e a presença de partículas muito duras. Essas partículas, devido ao movimento relativo entre os componentes ('peça ferramenta aparta'), penetram no material da ferramenta. Na subsequente remoção das partículas pode ocorrer (desgaste), caso a ferramenta não possua elevada resistência.

Estabilidade química: Na maquinagem a ferramenta e a peça apresentam diferentes composições químicas e estão submetidas a elevadas temperaturas, formando assim uma condição favorável para o surgimento de reacções. Estas reacções caracterizam-se pela troca de elementos químicos da peça para ferramenta e vice-versa, levando ao desgaste e perda de propriedade da ferramenta.

Custo e facilidade de obtenção: Existem materiais para ferramenta que são fáceis de fabricar e apresentam baixo custo de produção. No entanto, não apresentam todas as propriedades desejadas e por isto têm a sua utilização limitada, exemplo: aço ferramenta.

Por outro lado, tem-se à disposição materiais com excelentes propriedades, como, boa dureza e resistência ao desgaste, porém com elevado custo. Portanto o balanço 'qualidade custo' deverá ser adequado às necessidades.

3.1.1 Aço Ferramenta

Denomina-se de aço ferramenta o aço não ligado. Há diferenças de nomenclatura na bibliografia, que pode também denominar de aço ferramenta, toda a gama de aços utilizados para o fabrico de ferramentas.

-Foi o único material (aço) empregue na confecção de ferramentas de corte até 1900.

Composição

↳ 0.8 a 1.5% de carbono.

Aplicação

↳ Após o surgimento do aço rápido a sua utilização reduziu-se a aplicações secundárias, tais como:



- Reparos, utilização doméstica e de lazer.
- Ferramentas utilizadas uma única vez ou para fabrico de poucas peças.
- Ferramenta de forma.

Características

- ↗ São os materiais mais baratos.
- ↗ Facilidade de obtenção de gumes vivos.
- ↗ Tratamento térmico simples.
- ↗ Quando bem temperado obtém-se elevada dureza e resistência ao desgaste.

Limitação

- ↗ Temperatura de trabalho: até 250°C, acima desta temperatura a ferramenta perde a sua dureza.

3.1.2 Aço rápido

Composição

- ↗ Elementos de Liga: tungsténio, crómio e vanádio como elementos básicos de liga e uma pequena quantidade de manganês para evitar a fragilidade.
- ↗ Em 1942 devido a escassez de tungsténio provocada pela guerra, este foi substituído pelo molibdénio.

Características

- ↗ - Temperatura limite de 520 a 600°C;
- ↗ - Maior resistência à abrasão em relação ao aço ferramenta;
- ↗ - Preço elevado;
- ↗ - Tratamento térmico complexo.

3.1.3 Ligas Fundidas

Composição

- ↗ Tungsténio, crómio e cobalto;
- ↗ No lugar de tungsténio pode-se usar em partes, manganês, molibdénio, vanádio e titânio;
- ↗ No lugar do cobalto o níquel.



Características

- ↗ Elevada resistência a quente;
- ↗ Temperatura limite de 700 a 800°C;
- ↗ Qualidade intermediária entre o aço rápido e o metal duro.

3.1.4 Metal Duro (Carbonetos Sinterizados)

Surgiu em 1927 com o nome de widia (wie diamant - como diamante), com uma composição de 81% de tungsténio, 6% de carbono e 13% de cobalto.

Composição

O metal duro é composto de carbonetos e cobalto responsáveis pela dureza e tenacidade, respectivamente. O tamanho das partículas varia entre 1 e 10 microns e compreende geralmente 60 à 95% da porção de volume.

As primeiras ferramentas compostas unicamente de carbonetos de tungsténio (WC) e cobalto eram adequadas para a maquinagem de ferro fundido, porém durante a maquinagem do aço havia formação de cratera na face da ferramenta devido a fenómenos de difusão e dissolução ocorridos entre a apara da peça e a face da ferramenta. Para solucionar tais problemas, começou-se a acrescentar outros carbonetos (TiC) que conferem as seguintes características:

TiC (Carbonetos de Titânio):

- ↗ Pouca tendência à difusão, resultando na alta resistência dos metais duros;
- ↗ Redução da resistência interna e dos cantos.

As propriedades do metal duro são determinado pelo

- ↗ Tipo e tamanho das partículas;
- ↗ Tipo e propriedades dos ligantes;
- ↗ Técnica de fabrico;
- ↗ Quantidade de elemento de liga.

Características

- ↗ Elevada dureza;
- ↗ Elevada resistência à compressão;
- ↗ Elevada resistência ao desgaste;



- ↪ Possibilidade de obter propriedades distintas nos metais duros pela mudança específica dos carbonetos e das proporções do ligante.
- ↪ Controlo sobre a distribuição da estrutura.

3.1.5 Cermet

Composição

Cermet é um composto formado por cerâmica e metal (**CER**âmica/**Met**al).

Quase tão antigo quanto o metal duro à base de tungsténio/cobalto, o cermet é um metal duro à base de titânio. Durante a década de 1930, os primeiros cermets (Ti/Ni) eram muito frágeis e pouco resistentes à deformação plástica. Durante os anos quarenta e cinquenta, o metal duro (WC/Co) desenvolveu-se consideravelmente, com grandes avanços e melhoria de performance.

Característica

- ↪ Baixa tendência a formação de gume postigo;
- ↪ Boa resistência a corrosão;
- ↪ Boa resistência ao desgaste;
- ↪ Resistência a temperatura elevada;
- ↪ Alta estabilidade química;

Aplicação

Ao longo da história da maquinagem, os cermets ganharam fama de susceptíveis à repentina e imprevisível falha das pastilhas e, como tal, não tem sido fácil compreender a sua aplicação.

As próprias recomendações dos fornecedores frequentemente são contraditórias: alguns especificam a utilização, se os factores operativos no torneamento em acabamento estiverem exactamente correctos; outros indicam uma área ampla de utilização, incluindo o exigente semi-acabamento. Além disso, os cermets são amplamente utilizados no fresamento de materiais duros com êxito. Assim, parece que não há directrizes bem definidas sobre onde os cermets se encaixam na maquinagem.



3.1.6 Cerâmica

Inicialmente cerâmica era o nome atribuído a ferramentas de óxido de alumínio. Na tentativa de diminuir a fragilidade destas ferramentas, os insertos passaram por considerável desenvolvimento.

Hoje encontramos dois tipos básicos de cerâmica:

- ↗ Base de óxido de alumínio.
- ↗ Base de nitreto de silício.

Características

- ↗ Alta dureza à quente (1600°C)
- ↗ Não reage quimicamente com o aço;
- ↗ Longa vida da ferramenta;
- ↗ Usado com alta velocidade de corte;
- ↗ Não forma gume postiço.

Característica da cerâmica não metálica em relação ao aço

- ↗ 1/3 da densidade do aço;
- ↗ Alta resistência a compressão;
- ↗ Baixa tenacidade;
- ↗ Baixa condutividade térmica;
- ↗ Velocidade de corte 4 a 5 vezes a do metal duro;
- ↗ Baixa deformação plástica;

Recomendações

- ↗ Maquinagem a seco para evitar choque térmico;
- ↗ Evitar cortes interrompidos;
- ↗ Materiais que não devem ser maquinados:
 - Alumínio, pois reage quimicamente;
 - Ligas de titânio e materiais resistentes ao calor, pela tendência de reagir quimicamente, devido a altas temperaturas envolvidas durante o corte;
 - Magnésio por inflamar à temperatura de trabalho.



3.1.7 Nitreto de Boro Cúbico Cristalino (CNB) ou Ultra Duros

Material relativamente jovem, introduzido nos anos 50 e mais largamente nos anos 80, devido a exigência de alta estabilidade e potência da máquina-ferramenta.

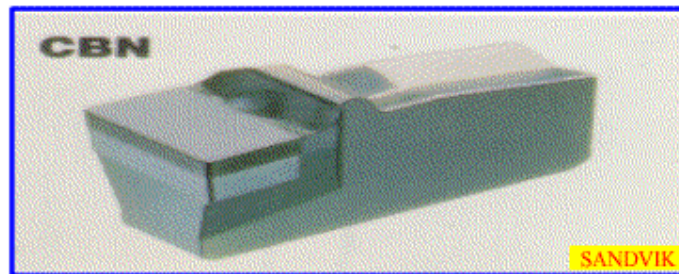


Fig. 13 - Pastilha em NBC.

Característica

- ↗ São mais estáveis que o diamante, especialmente contra a oxidação;
- ↗ Dureza elevada;
- ↗ Alta resistência à quente;
- ↗ Excelente resistência ao desgaste;
- ↗ Tenacidade superior à dos carbonetos;
- ↗ Alto custo;
- ↗ Excelente qualidade superficial da peça maquinada;

Aplicação

- ↗ Maquinagem de aços duros;
- ↗ Maquinagem de desbaste e de acabamento;
- ↗ Cortes severos e interrompidos;
- ↗ Peças fundidas e forjadas;
- ↗ Maquinagem de aços forjados;
- ↗ Componentes com superfície endurecida;
- ↗ Ligas de alta resistência a quente (heat resistant alloys);
- ↗ Materiais duros (98HRC);
- ↗ Se o componente for macio (soft), maior será o desgaste da ferramenta.



Recomendações

- ↪ Alta velocidade de corte e baixa taxa de avanço (low feed rates);
- ↪ Maquinagem a seco para evitar choque térmico.

3.1.8 Diamante

O diamante é conhecido desde a pré-história. O nome diamante deriva de uma corrupção da palavra grega *adamas* que significa *invencível*.

O interesse popular nos diamantes centra-se no seu valor como pedra preciosa, porém estes cristais apresentam outra aplicação, o fabrico de ferramentas industriais. Estas podem ser utilizadas para cortar, tornear e furar alumina, quartzo, vidro e artigos cerâmicos. O pó de diamante é utilizado para polir aços e ligas metálicas.

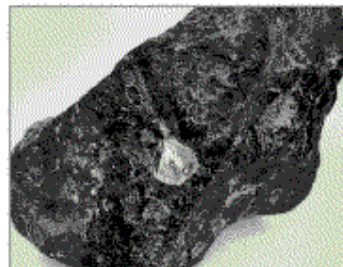


Fig. 14 - Diamante em bruto.

Característica

Material natural de maior dureza, alta condutividade térmica, baixo coeficiente de atrito e expansão térmica.

- Característica marcante: são os materiais que apresentam maior dureza.

- Materiais em que pode ser utilizado: maquinagem de ligas de metais, latão, bronze, borracha, vidro, plástico, etc.

Limitação



- ↪ As ferramentas de diamante não podem ser utilizadas na maquinagem de materiais ferrosos devido a afinidade do carbono com o ferro;
- ↪ Não pode ser utilizado em processos com temperaturas acima de 900°C devido à grafitação do diamante.

Aplicação

- ↪ Maquinagem de acabamento;
- ↪ Maquinagem onde são exigidas ferramentas com alta dureza, por exemplo, perfuração de poços de petróleo.

Classificação dos diamantes

- **Diamantes em Carbonos ou diamantes negros:** são aparentemente “amorfos”, quando aquecidos perdem a sua dureza e, por isto, são empregados apenas em aplicações especiais, pontas de brocas para minas, assim como para trabalhar fibras, borracha e plásticos.

- O **Bort:** (utilizado na maquinagem de alta precisão), especialmente o africano, são diamantes monocristalino. A sua característica principal é a sua anisotropia, isto é, as suas propriedades (dureza, resistência, módulo de elasticidade) variam com a direcção.

- **Diamante policristalino:** Como matéria-prima são utilizadas partículas muito finas de diamante sintético. De granulação muito definida para se obter o máximo de homogeneidade e densidade. A camada de diamante policristalino é produzida pela sinterização das partículas de diamante com cobalto num processo de alta pressão (600 à 700MPa) e alta temperatura (1400 à 2000°C). Uma camada de aproximadamente 0,5mm de espessura, é aplicada directamente sobre uma pastilha de metal duro pré sinterizada, ou então é ligada ao metal duro através de uma fina camada intermediária de um metal de baixo ponto de fusão.

3.2 Quadro Comparativo

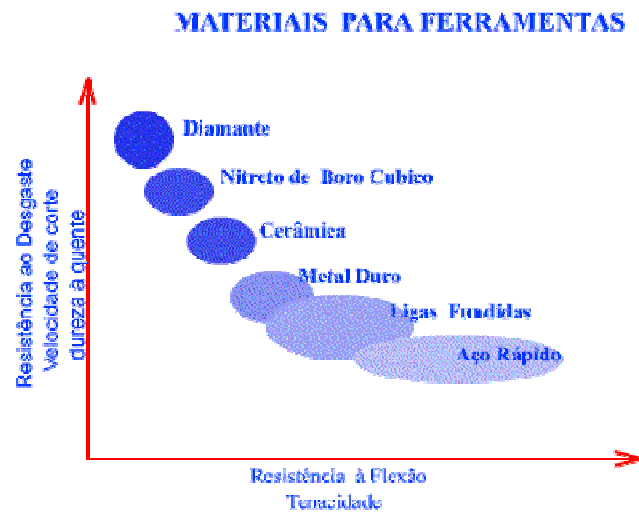


Gráfico 1 - Comparação das propriedades.

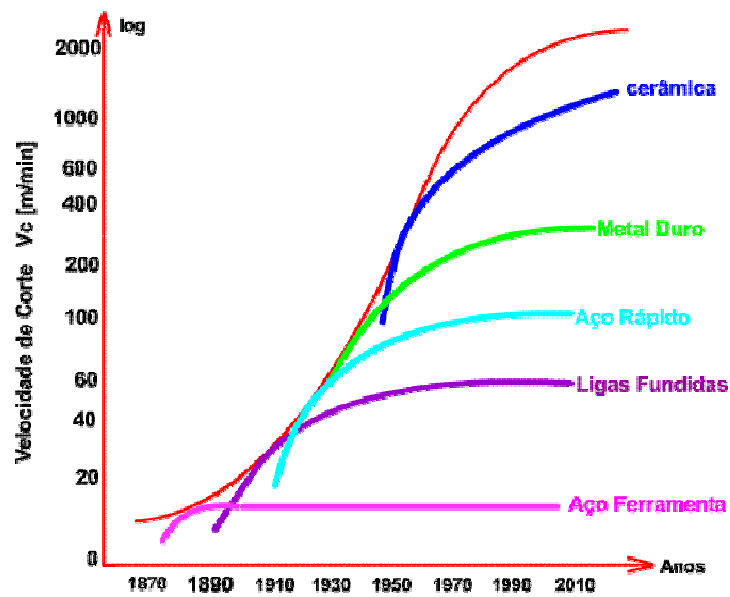


Gráfico 2 - Evolução da velocidade ao longo dos anos.



4. Ferramentas de Corte de Geometria Definida

4.1 Descrição Geral da Ferramenta

Este capítulo é baseado numa ferramenta de toronar simples, que representa uma típica ferramenta de geometria definida. Esta descrição também é importante para entender o funcionamento das demais ferramentas de geometria definida, como brocas e fresas.

4.2 Elementos da Ferramenta

4.2.1 Superfície da Ferramenta

FACE: Superfície da cunha sobre a qual a apara escoa.

FACE REDUZIDA: É uma superfície que separa a face em duas regiões - face e face reduzida - de modo que a apara entre em contacto somente com a face reduzida.

FLANCO PRINCIPAL: Superfície da cunha voltada para a superfície transitória da peça.

FLANCO SECUNDÁRIO: Superfície da cunha voltada para a superfície maquinada da peça.

QUEBRA APARA: São alterações presentes na face reduzida com o objectivo de controlar o tamanho da apara de modo que não ofereça risco ao operador e não obstrua o local de trabalho.

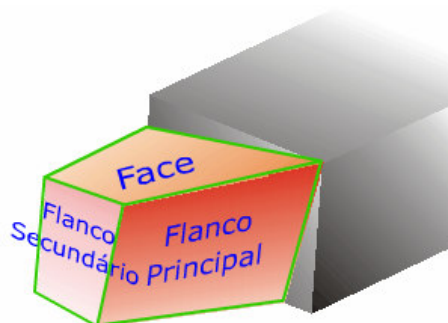


Fig. 15 - Superfícies da ferramenta.



4.2.2 Gumes e Quina

Utilizado como referência para medir os ângulos da ferramenta.

GUME: É o encontro da face com o flanco, destinada a operação de corte.

GUME PRINCIPAL: Intersecção da face e do flanco principal.

GUME SECUNDÁRIO: Intersecção da face e do flanco secundário.

GUME ACTIVO: É a parte do gume que realmente está cortando.

GUME PRINCIPAL ACTIVO: É a parte do gume principal que realmente está cortando.

GUME SECUNDÁRIO ACTIVO: É a parte do gume secundário que realmente está cortando.

QUINA: É o encontro do gume principal com o gume secundário.

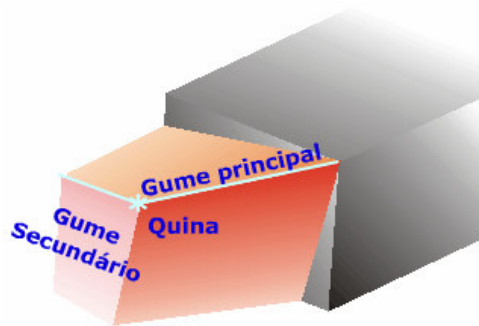


Fig. 16 - Gumes e quinas.

4.2.3 Movimento de Corte

Movimentos da Peça e da Ferramenta:

MOVIMENTO DE CORTE: É o movimento relativo entre a peça e a ferramenta que força o material da peça a escoar sobre a face da ferramenta, proporcionando a formação da aparas.

MOVIMENTO DE AVANÇO: É o movimento relativo entre a peça e a ferramenta, o qual combinado ao movimento de corte, proporciona uma remoção contínua da aparas e conseqüente formação de uma superfície maquinada.

MOVIMENTO RESULTANTE DE CORTE: É o movimento resultante dos movimentos de corte e de avanço.

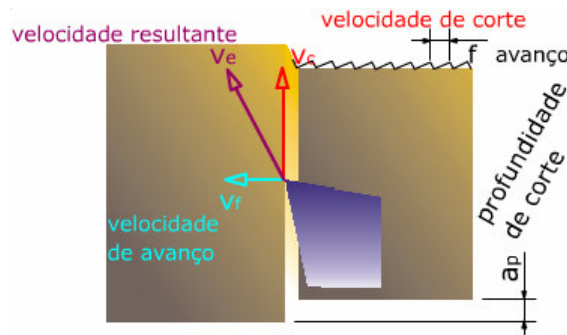


Fig. 17 - Movimento de corte.

4.3 Sistema de Referência e Planos

Para definir os planos e medir os ângulos da ferramenta é preciso seleccionar um ponto de referência posicionado em qualquer parte do gume principal.

Sistema de Referência FERRAMENTA NA MÃO: Utilizado para medir os ângulos da ferramenta.

Pr (Plano de referência da ferramenta): É paralelo à base da ferramenta no ponto seleccionado.

Pf (Plano de trabalho convencional): É perpendicular ao Pr e paralelo à direcção de avanço.

Pp (Plano passivo da ferramenta): É perpendicular ao Pr e ao Pf.

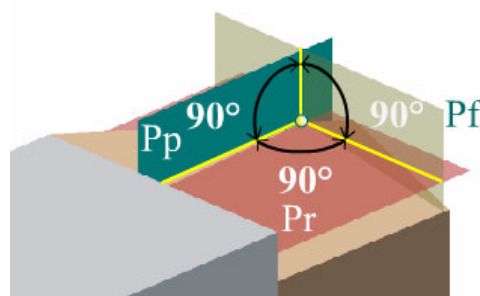


Fig. 18 - Sistema de referência 1.

Ps (Plano do gume da ferramenta): É tangente ao gume no ponto seleccionado e perpendicular ao Pr;

Pn (Plano normal ao gume): É perpendicular ao gume no ponto seleccionado;



Po (Plano ortogonal da ferramenta): É perpendicular ao Pr e Ps no ponto seleccionado;

Obs.: Os planos Pn e Po são muito parecidos. Perceba que o plano normal é geralmente inclinado em relação ao plano ortogonal.

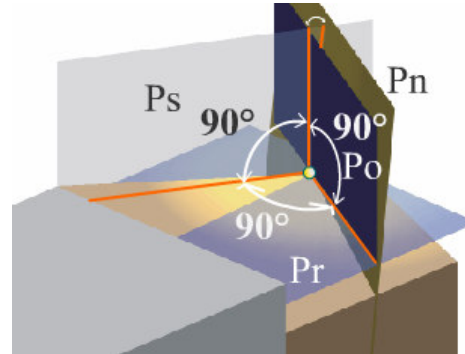


Fig. 19 - Sistema de referência 2.

4.3.1 Ângulos da Ferramenta

Ângulos medidos no Plano de Referência

κ_r (ângulo de direcção do gume da ferramenta): Formado entre o plano de trabalho (Pf) e o gume principal, medido no plano de referência (Pr);

ϵ_r (ângulo de quina da ferramenta): Formado entre o gume principal e o gume secundário, medido no Pr;

κ'_r (ângulo de direcção do gume secundário da ferramenta): Formado entre o plano de trabalho (Pf) e o gume secundário, medido no Pr.

$$\kappa_r + \epsilon_r + \kappa'_r = 180$$

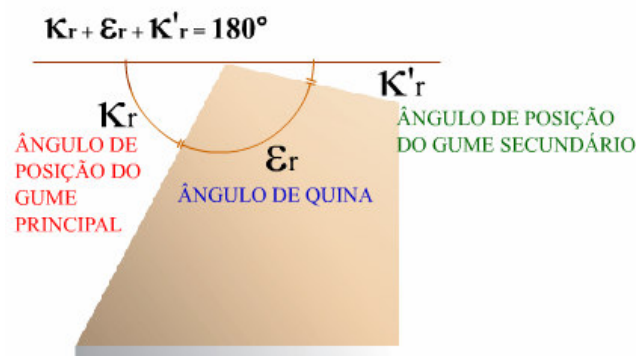


Fig. 20 - Ângulo do plano de referência.

Ângulos medidos no Plano do Gume

λ_s (ângulo de inclinação do gume da ferramenta):

Formado entre o gume e o plano de referência (Pr), medido no plano do gume (Ps).

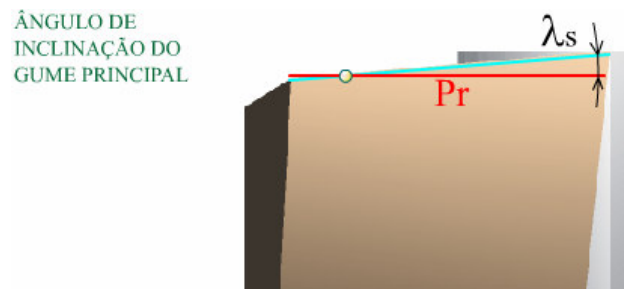


Fig. 21 - Ângulo do plano de gume.

Ângulos medidos no Plano Passivo

α_p (ângulo de incidência passivo da ferramenta): Formado entre o plano do gume (Ps) e o flanco secundário, medido no plano passivo (Pp).

β_p (ângulo passivo de cunha da ferramenta): Formado entre a face e o flanco secundário, medido no Pp.

γ_p (ângulo de saída passivo da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência (Pr), medido no Pp.

$$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ$$

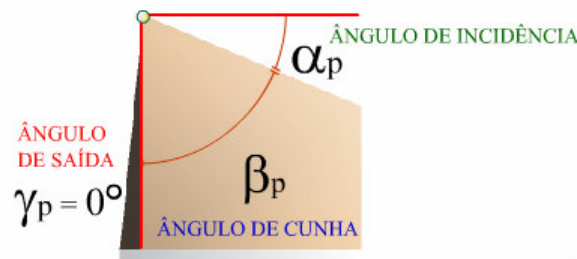


Fig. 22 – Ângulo do plano passivo.

Ângulos medidos no Plano de Trabalho

α_f (ângulo de incidência lateral da Ferramenta): Formado entre o flanco principal e o plano do gume (Ps), medido no plano de trabalho (Pf).

β_f (ângulo lateral de cunha da ferramenta): Formado entre a face e o flanco principal, medido no Pf.

γ_f (ângulo de saída lateral da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência (Pr), medido no Pf.

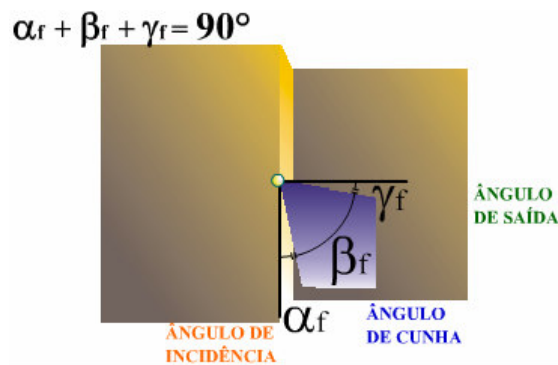


Fig. 23 - Ângulo do plano de trabalho.

Ângulos medidos no Plano Ortogonal

α_o (ângulo de incidência ortogonal da Ferramenta): Formado entre o flanco principal e o plano do gume (Ps), medido no plano ortogonal (Po).

β_o (ângulo ortogonal de cunha da ferramenta): Formado entre a face e o flanco principal, medido no Po.

γ_o (ângulo de saída ortogonal da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência (Pr), medido no Po.

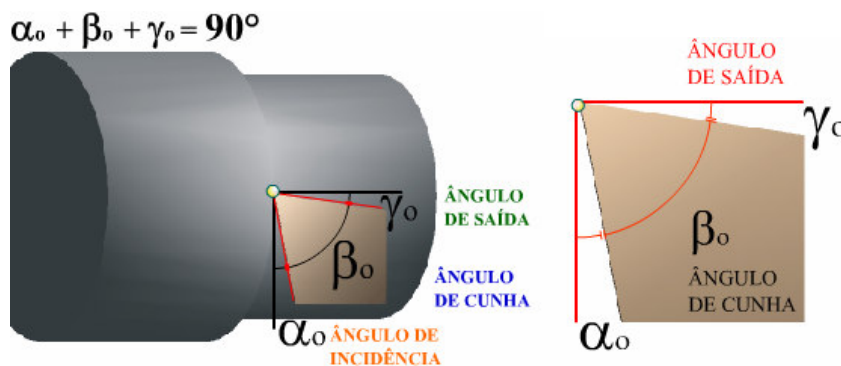


Fig. 24 - Ângulo do plano ortogonal.

Ângulos medidos no Plano Normal

α_n (ângulo de incidência normal da Ferramenta): Formado entre o flanco principal e o plano do gume (Ps), medido no plano normal (Pn).

β_n (ângulo de normal de cunha): Formado entre a face e o flanco principal, medido no Pn.

γ_n (ângulo de saída da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência (Pr), medido no Pn.

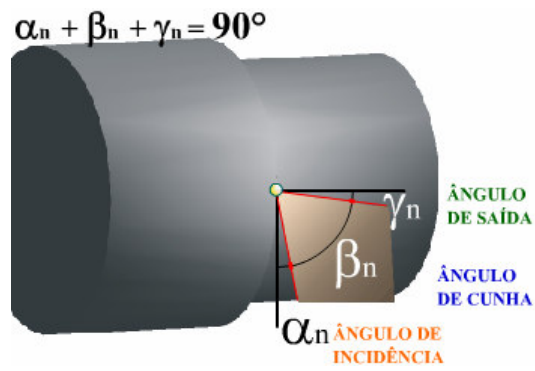


Fig. 25 – Ângulo do plano normal.

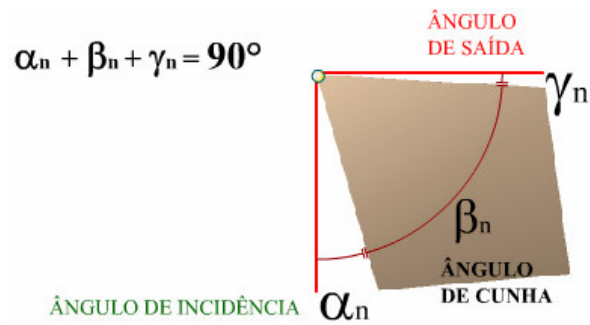


Fig. 26 - Ângulo do plano de gume com o plano normal.



5. Os Fluidos de Corte

“Fluidos de corte são aqueles líquidos e gases aplicados na ferramenta e no material que está a ser maquinado, para facilitar a operação de corte.”

Chamam-se de **lubrificantes** ou **refrigerantes** tendo em conta a sua função na maquinagem:

- ↪ Reduzir o atrito entre a ferramenta e a superfície de corte. **(lubrificação)**
- ↪ Diminuir a temperatura na zona de corte. **(refrigeração)**



Fig. 27 - Fluido de corte na maquinagem.

5.1 A sua utilização

A utilização correcta dos fluidos de corte nos processos de maquinagem traz muitos **benefícios**, observados tanto na qualidade como na produtividade.

Por outro lado, se não forem utilizados e tratados correctamente, eles podem ser **nocivos** para a saúde e para o meio ambiente.

A correcta **escolha** de um fluido de corte está directamente ligada à qualidade do acabamento superficial das peças, à produtividade, aos custos operacionais, à saúde dos operadores e ao meio ambiente.

5.1.1 Funções e finalidades dos fluidos de corte

Os fluidos de corte cumprem, nas suas aplicações, uma ou mais das seguintes funções:

- ↪ Refrigerar a região de corte;



- ↪ Lubrificar as superfícies em atrito;
- ↪ Arrastar a apana da zona de corte;
- ↪ Proteger a ferramenta, a peça e a máquina contra a oxidação e a corrosão.

Refrigerar

A refrigeração desempenha um papel fundamental na maquinagem.

Uma das principais funções dos fluidos de corte é refrigerar, ou seja, remover o calor gerado durante a operação. Isso ajuda a prolongar a vida útil das ferramentas e a garantir a precisão dimensional das peças pela redução dos gradientes térmicos.

A figura seguinte representa a distribuição típica de temperaturas na região de corte. De maneira geral, quanto maior for a velocidade de corte (v_c), maior será a temperatura e maior a necessidade de refrigeração.

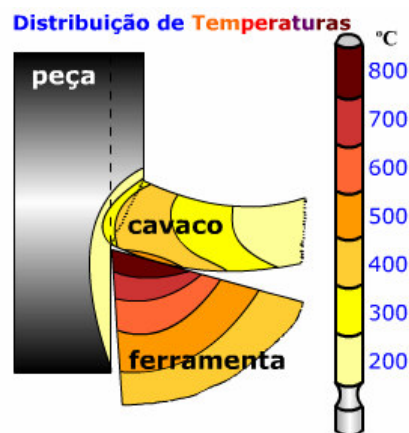


Fig. 28 - Distribuição da temperatura.

Na maquinagem com ferramenta de geometria definida, a maior parte do calor gerado vai para a apana. A figura seguinte exemplifica uma distribuição de calor na zona de corte.

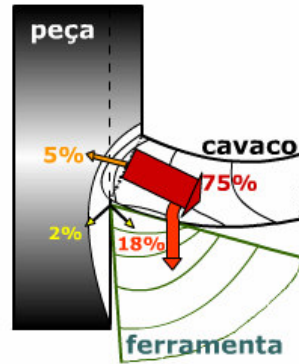


Fig. 29 - Distribuição do calor gerado.

Na maioria dos casos, é benéfico diminuir temperaturas tão altas. Nesses casos, se o calor não for removido, ocorrerão distorções térmicas nas peças e alterações prejudiciais na estrutura da ferramenta. Como resultado, tem-se o desgaste prematuro e trocas mais frequentes de ferramenta.

No gráfico seguinte pode-se observar o efeito da temperatura na dureza de alguns materiais de ferramenta. Observe a nítida diminuição da dureza dos materiais, com o aumento da temperatura.

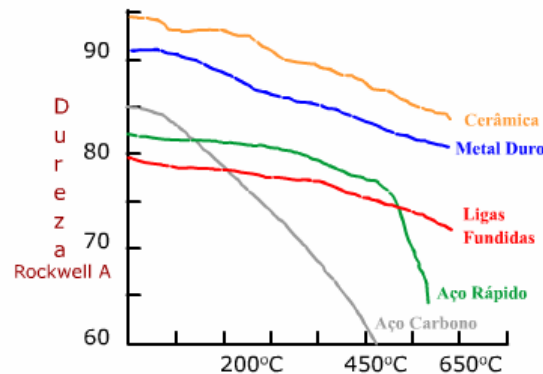


Gráfico 3 - Perda da dureza em função da temperatura.

Por outro lado, há casos onde as temperaturas elevadas facilitam o corte da peça em virtude da redução de dureza. Nesses casos, é importante utilizar uma ferramenta com temperatura crítica maior.

Um factor importante na vida da ferramenta é que, a temperatura, especialmente do gume, não ultrapasse o valor crítico, para o qual se verifica uma grande redução da dureza. A figura seguinte indica temperaturas críticas para diferentes materiais de ferramenta.



Fig. 30– Temperatura crítica.

A figura seguinte pode-se observar a aplicação de um fluido refrigerante numa operação de rectificação. As faíscas que saem da região de corte são pequenas aparas a altíssimas temperaturas.



Fig. 31 – Fluido de corte numa operação de rectificação.

Lubrificação

Nos processos de maquinagem, a lubrificação nas interfaces 'peça ferramenta aparta' é difícil e complexa, em virtude das elevadas pressões de contacto. Outro agravante é a dificuldade de levar esse lubrificante até à posição desejada.

A eficiência do lubrificante vai depender das características e da sua habilidade em penetrar na zona entre a aparta e a ferramenta, formando um filme com resistência ao corte menor que a resistência do material na interface.

Tanto a superfície da aparta como a da ferramenta não são perfeitamente lisas. São rugosas, ou seja, apresentam minúsculas saliências em forma de picos e vales na ordem dos microns. Os picos mais salientes,



provocam atrito entre a ferramenta provocando desgaste, gerando calor e uma força de atrito. Com a progressão do desgaste, pequenas partículas soldam-se no gume da ferramenta, formando o gume postiço.

Para reduzir esse atrito, o fluido de corte penetra na interface rugosa. Como consequência, reduz-se uma parcela da geração de calor. Também se reduz o consumo de energia, a força necessária ao corte e praticamente elimina-se o gume postiço.

Nas figuras seguintes pode-se observar a aplicação de lubrificantes em diferentes operações.



Fig. 32 - Operações com lubrificação.

Transporte da apara

Em alguns processos de maquinagem é muito importante considerar o destino da apara após a sua formação. A apara formada deve ser retirada da área de trabalho para não riscar ou comprometer o acabamento da peça, danificar a ferramenta ou impedir a própria maquinagem.

Na furação profunda, por exemplo, a apara formada no fundo do furo tende a acumular-se excessivamente, dificultando o corte e a formação de mais apara. Até mesmo no torneamento externo, aparas em forma de fitas longas podem enroscar-se na peça e na ferramenta e atrapalhar o trabalho.

Por isso os fluidos de corte são empregues também como transporte de apara da área de trabalho. Isso pode ocorrer de 3 formas:

- ↳ O escoamento de alta vazão do fluido ajuda a carregar ou empurrar a apara para longe;



- ↪ O arrefecimento brusco da apara fragiliza-a e facilita a sua quebra ou fragmentação;
- ↪ Ao utilizarem-se fluidos de corte os parâmetros de maquinagem podem ser ajustados de modo a facilitar a obtenção de aparas menores.

Na figura seguinte pode-se observar a utilização de um fluido de corte a desempenhar a função de transporte de apara numa operação de furação profunda.

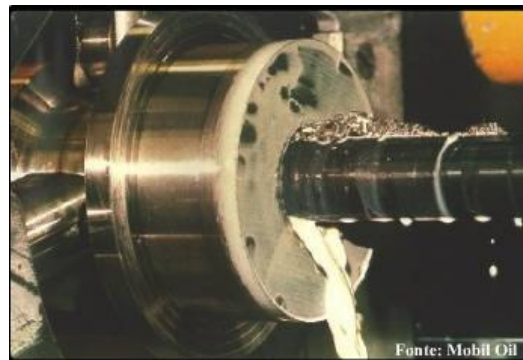


Fig. 33 - Operação com transporte de apara.

5.1.2 Tipos de fluidos de corte

Meios lubri-refrigerantes miscíveis com a água.

↪ **Soluções** (fluidos sintéticos)

As soluções são misturas de água e produtos orgânicos e inorgânicos especiais que lhe conferem propriedades úteis para a sua utilização como fluido de corte. As soluções não contêm óleo na sua composição.

↪ **Emulsões** ("óleos solúveis" e fluidos semi-sintéticos)

A denominação "óleo solúvel" é imprópria porque o óleo não está solubilizado na água, mas sim disperso.

As emulsões também contêm aditivos que melhoram ou conferem novas propriedades ao fluido.

Os fluidos semi-sintéticos apresentam uma menor concentração de óleo na emulsão. Isso aumenta a vida do fluido e diminui os riscos de saúde.

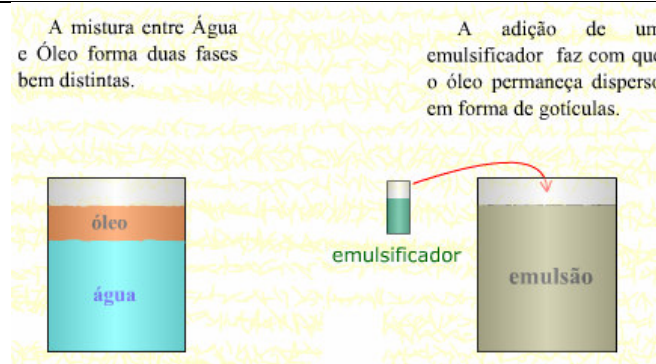


Fig. 34 - Emulsão água com óleo.

Meios lubri-refrigerantes **não miscíveis** com a água.

↳ **Óleos** (fluidos integrais)

Os óleos (ou fluidos) integrais são constituídos basicamente de óleos graxos e óleos minerais, que podem ser utilizados puros ou misturados, ou com aditivos.

Os óleos graxos, de origem animal ou vegetal, foram os primeiros óleos integrais, mas a sua rápida deterioração e o alto custo fizeram com que eles fossem substituídos por outros produtos. Actualmente são utilizados como aditivos de óleos minerais.

Óleos minerais são derivados do petróleo. São obtidos em refinarias, onde formarão a base dos fluidos integrais.

Gases e Névoas

O ar é o fluido gasoso mais comum e mais utilizado, estando presente até mesmo na maquinaria a seco. O ar comprimido é utilizado para retirar o calor e expulsar a apanha da zona de corte. Os fluidos gasosos, como têm menor viscosidade, são mais eficientes na capacidade de penetrar até à zona activa da ferramenta. Outros gases como o hélio, nitrogénio e dióxido de carbono também são utilizados para refrigerar e proteger contra a oxidação, porém apenas em casos específicos, visto ser esta uma maquinaria pouco económica.

Névoas e gases são utilizados em operações de mecânica de precisão, maquinaria de alta velocidade e de QMFC (quantidade mínima de fluido de corte).



O termo QMFC é empregue em sistemas de névoa onde o consumo durante a operação permanece abaixo de 50 ml/h de fluido de corte. Nesse tipo de aplicação o fluido é disperso na forma de spray sobre a região que se quer refrigerar ou lubrificar.

Vantagens

- Menor consumo de óleo, o que reduz os custos e os impactos no meio ambiente;
- Melhor visibilidade;
- Melhora a vida da ferramenta.

Desvantagens

- Capacidade de lubrificação e refrigeração limitadas;
- É necessário um sistema de exaustão.

Sólidos

É uma pasta que pode ser aplicada na superfície de saída da ferramenta com um pincel. Pelas suas características lubrificantes em condições de extrema pressão, tem excelentes resultados.

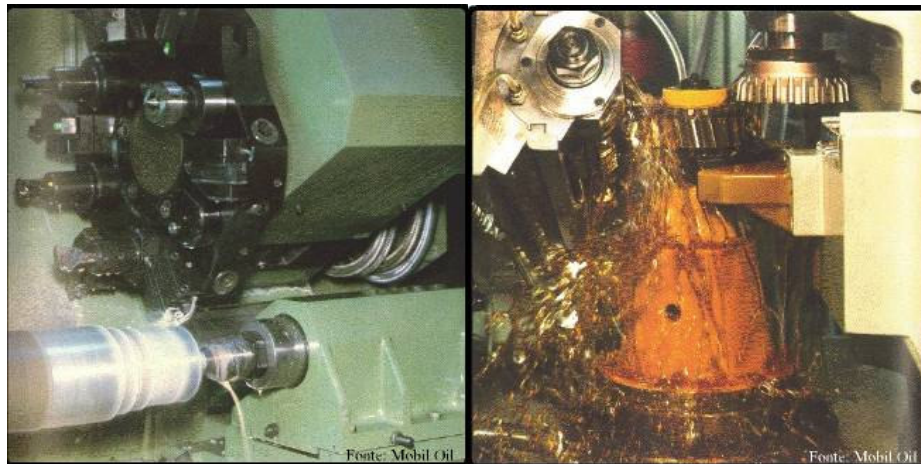


Fig. 35 - Emulsão utilizada em torneamento, óleo utilizado na fresagem de engrenagens.

5.1.3 Qualidades e propriedades desejáveis nos fluidos de corte

Os fluidos de corte são modificados com os aditivos - compostos químicos que melhoram propriedades inerentes aos fluidos ou lhes atribuem novas características. Em geral, esses aditivos dividem-se em:



Aqueles que afectam uma propriedade física, como a viscosidade;

Aqueles cujo efeito é puramente químico, como anticorrosivos e antioxidantes.

Por exemplo, óleos com aditivos de extrema pressão (EP) são compostos de enxofre ou fósforo, que reagem a altas temperaturas (200 a 1000°C), formando na zona de contacto uma película, que minimiza a formação do gume postiço.

As qualidades exigidas variam de acordo com a aplicação e, às vezes, são contraditórias. Não existe um fluido de características universais, que atenda a todas as exigências. No desenvolvimento de meios lubri-refrigerantes, a melhoria de certas qualidades, por exemplo a utilização de aditivos, faz com que outras propriedades já existentes piorem. Daí a necessidade do estudo de cada caso por especialistas, para a selecção do tipo de lubri-refrigerante mais adequado.

Em adição às propriedades de lubrificar e refrigerar, os fluidos de corte devem ter ainda as seguintes:

- ↗ Propriedades anticorrosivas;
- ↗ Propriedades anti espumantes;
- ↗ Propriedades antioxidantes;
- ↗ Compatibilidade com o meio ambiente;
- ↗ Propriedades de lavagem;
- ↗ Alta capacidade de absorção de calor;
- ↗ Boas propriedades anti desgaste;
- ↗ Boas propriedades anti solda (formação de aresta postiça);
- ↗ Ausência de odor forte e/ou desagradável;
- ↗ Ausência de precipitados sólidos ou outros de efeito negativo;
- ↗ Viscosidade adequada;
- ↗ Transparência, se possível.

A tabela seguinte compara algumas das características gerais dos três principais tipos de fluidos de corte.



Tabela 1 - Comparação entre as propriedades dos fluidos de corte.

Propriedades do Fluido de Corte	Soluções	Emulsões	Óleos
Poder lubrificante	baixo	intermediário	alto
Poder refrigerante	alto	intermediário	baixo
Velocidade de corte (v_c)	alta	alta	baixa
Admite aditivo EP	sim	sim	sim
Sucetível à infecção bacteriana *	não	sim	sim
Propriedades anticorrosivas **	fracas	fracas	boas

*: Manutenção do fluido e uso correto de bactericidas amenizam o problema.

** : Fluidos de corte solúveis corretamente formulados e mantidos protegem adequadamente, porém problemas de corrosão com fluidos solúveis em geral são conhecidos.

5.1.4 Problemas comuns na utilização de fluidos de corte

A utilização de meios lubri-refrigerantes exige cuidados especiais na sua manipulação, manutenção, transporte e armazenamento, para que possam ser superados os problemas expostos a seguir.

Corrosão de peças e/ou da máquina

A presença de água nas soluções e emulsões pode acelerar um processo de corrosão. (utilizar aditivos anticorrosivos)

Danos por bactérias

O crescimento de bactérias pode resultar em odores ofensivos, manchas nas peças e máquinas, problemas com filtros e clarificadores e redução da vida do fluido de corte (principalmente emulsões e óleos).

Sujeiras e impurezas

Partículas metálicas, óleos hidráulicos e de lubrificação da máquina, maus hábitos de higiene dos operadores, podem prejudicar as peças, ferramentas e máquinas e reduzir a vida do fluido de corte.

Risco de incêndio

Fluidos integrais podem entrar em combustão. É necessária atenção às condições de corte e à formulação do óleo. Metais como o Magnésio podem



provocar a ignição quando em contacto com a água. Assim, não se utilizam soluções ou emulsões com o magnésio.

Ataque à saúde

Névoas de óleo podem irritar a pele e as vias respiratórias. O contacto frequente da pele com fluidos de corte (principalmente os que contém óleo na composição) pode resultar numa variedade de problemas de pele, com diferentes mecanismos de ataque e manifestações. (recomenda-se hábitos de higiene constantes e cremes protectores para a pele).

Poluição do Meio Ambiente

Um litro de óleo pode tornar impróprio para utilização um milhão de litros de água potável. Por esse e muitos outros motivos é necessária total atenção ao tratamento e destino do fluido de corte utilizado.

Práticas incorrectas no tratamento de fluidos de corte são:

- ↗ Ausência de tratamento;
- ↗ Armazenamento inadequado;
- ↗ Transporte impróprio;
- ↗ Entrega a receptores não autorizados;
- ↗ Disposição de resíduos em local não autorizado.

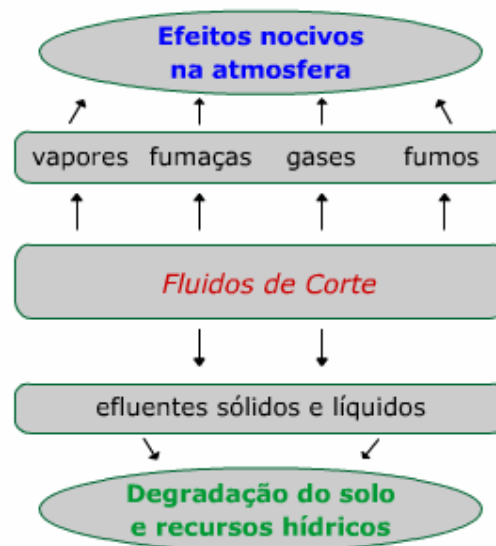


Fig. 36 -Emissão de resíduos dos fluidos de corte.



5.1.5 Critérios de seleção

Escolher o fluido de corte ideal para cada situação é tão complexo como escolher o material e o tipo da ferramenta. Para isso, é fundamental conhecer o processo de produção. O técnico deve saber qual o objectivo a ser alcançado com a utilização do fluido: maior produção, vida de ferramenta mais longa ou precisão dimensional, etc.

São muitos os factores que influenciam a escolha de um fluido de corte. A seguir estão os mais comuns.

Processo de maquinagem

↳ Variáveis de Corte

- Como regra geral:

maquinabilidade baixa > baixa v_c > Lubrificação > Fluidos integrais.

maquinabilidade alta > alta v_c > Refrigeração > Soluções ou Emulsões.

↳ Material da Peça

- Magnésio: Nunca usar fluido à base de água > risco de ignição.

• Ferro Fundido: cinzento e o Maleável > geralmente maquinagem a seco.

Esferoidal > Emulsão.

• Alumínio: Geralmente a seco ou com refrigeração para controlar a dilatação térmica.

Al + Zn > não utilizar soluções > risco de incêndio.

• Aço: maquinabilidade muito abrangente > admite todos os tipos de fluido de corte.

↳ Material da Ferramenta

- Aço Rápido: qualquer fluido.

Para utilização de altas velocidades de corte (v_c) > refrigeração.

• Metal Duro: maquinagem a seco ou refrigerante para aumentar a vida da ferramenta e proporcionar alta velocidade de corte v_c . (selecção criteriosa).

• Cerâmica: geralmente a seco (evitar a utilização de refrigerante para não ocorrer choque térmico)

- Diamante: refrigeração por soluções.

Máquina Ferramenta utilizada



-
- ↳ Operações específicas e exigentes: Fluidos especialmente aditivados. Ex.: roscar.
 - ↳ Operações variadas: Fluidos de utilização geral, de grande compatibilidade. Ex.: Centros de maquinagem.

Produção (diversidade de produtos e matérias)

A variedade de produtos e o volume de produção numa indústria também devem ser considerados na escolha dos fluidos de corte. Uma produção abrangente tende a exigir vários tipos de fluidos de corte. Neste caso, para reduzir custos, procura-se um fluido que atenda às várias exigências da fábrica simultaneamente.

Operadores

↳ Saúde

- Não irritar a pele;
- Não formar névoa (fumaça);
- Resistir a bactérias;

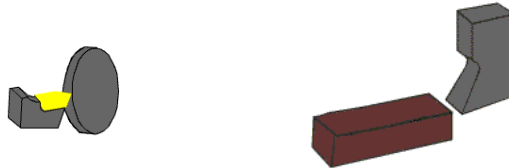
Recomendações dos Fabricantes

Os fabricantes de fluido de corte são um grande auxílio na escolha de um produto. Mas também se deve considerar as recomendações dos fabricantes de máquinas e ferramentas.



6. A apara

Apara é o material removido do tarugo durante o processo de maquinação, cujo objectivo é obter uma peça com forma e dimensões definidas.



Os diferentes aspectos da apara nas operações de maquinação estão descritos de seguida.

6.1 Formação da apara

Classificação – dependo das condições de corte e características do material maquinação pode-se considerar dois atributos específicos para a apara:

6.1.1 Tipos



Fig. 37 - Mecanismos de formação de apara.

Apara contínua

↳ Mecanismo de Formação

A apara é formada continuamente, devido à ductilidade do material e à alta velocidade de corte.

↳ Acabamento Superficial

Como a força de corte, varia muito pouco devido à contínua formação da apara, a qualidade superficial é muito boa.



Apara em corte

↪ Mecanismo de Formação

O material fatura no ponto mais solicitado. Ocorre ruptura parcial ou total da apara. A soldagem dos diversos pedaços (de apara) é devida à alta pressão e temperatura desenvolvidas na região.

↪ Acabamento Superficial

A qualidade superficial é inferior à obtida com a apara em contínuo, devido à variação da força de corte. A força cresce com a formação da apara e diminui bruscamente com a sua ruptura, obtendo-se fortes vibrações que resultam numa superfície com ondulações.

Apara arrancada

↪ Mecanismo de Formação

Esta apara é produzida na maquinaria de materiais frágeis como o ferro fundido.

A apara rompe-se em pequenos segmentos devido à presença de grafite, produzindo uma descontinuidade na microestrutura.

↪ Acabamento Superficial

Devido à descontinuidade na microestrutura produzida pela grafite, a apara rompe em forma de concha, obtendo-se uma superfície com qualidade superficial inferior.

6.1.2 Formas

Indesejáveis (Aparas longas)

- ↪ Oferecem risco ao operador;
- ↪ Obstruem o local de trabalho;
- ↪ Podem danificar tanto a ferramenta como prejudicar o acabamento superficial da peça;
- ↪ Dificultam o manuseamento e armazenamento;
- ↪ Causam aumento da força de corte e da temperatura, implicando uma redução da vida da ferramenta.

Boas

- ↗ Ocupam pouco volume;
- ↗ Não obstruem o local de trabalho;
- ↗ São removidas facilmente;

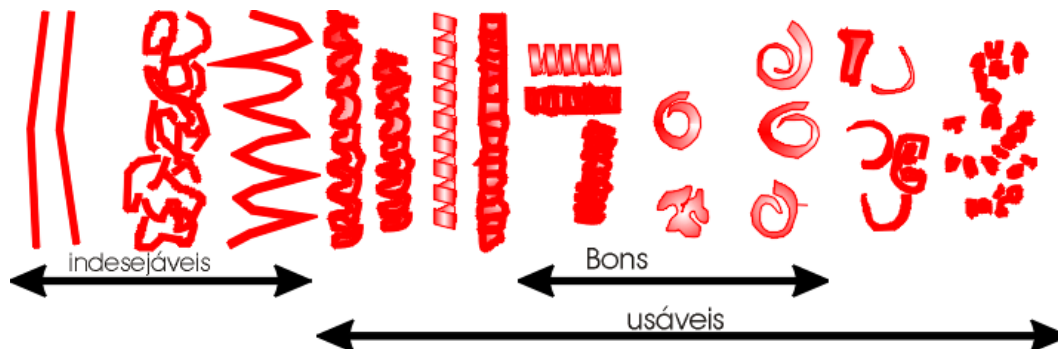
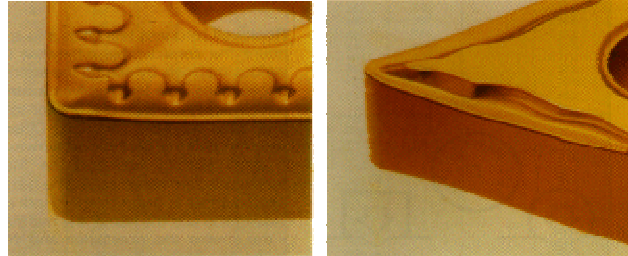


Fig. 38 - Diferentes formas da aparta.

6.2 Factores que influenciam



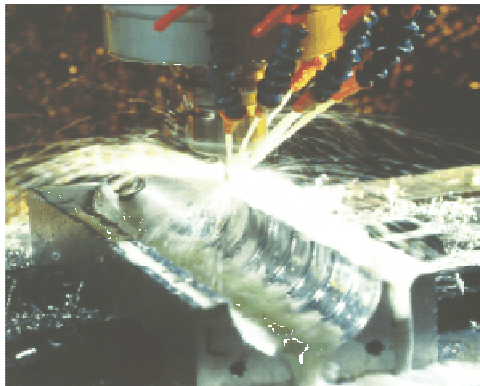
6.2.1 Quebrar a apara



O **quebra apara** (alteração na face da ferramenta) é utilizado principalmente para reduzir o tamanho das aparas longas, com o objectivo de:

- ↪ Evitar o "enrolamento" da apara na ferramenta;
- ↪ Diminuir o tempo de contacto da apara com a ferramenta e desta maneira reduzir a transferência de calor.

6.2.2 Fluido de Corte



A forma da apara é alterada pela utilização do fluido de corte devido aos seguintes factores:

- ↪ Diminuição da resistência ao escoamento causada pelo atrito.
- ↪ Deflexão da apara causada pela injeção de fluido.
- ↪ Encruamento da apara devido a acção do fluido de corte.

6.2.3 Condições de corte

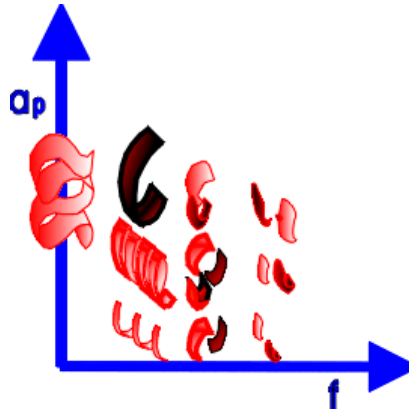
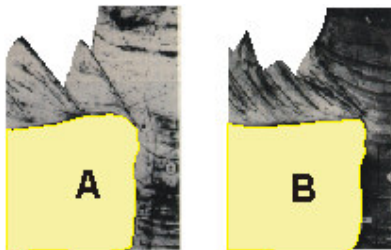


Fig. 39 - Forma da apara, penetração (a_p) versus avanço (f_n).

Grande avanço (f_n) produz alta concentração de material na zona de corte, aumentando a “resistência” ao corte, criando flutuações na força de corte, produzindo conseqüentemente apara em corte.

6.2.4 Geometria da ferramenta



Material utilizado: **Aço Inoxidável**

Utilizando um ângulo de saída de 5° em A, obtemos um processo pouco contínuo devido a alta flutuação da força de corte. Tal flutuação é gerada pela fragmentação da apara causada pelo alto valor da componente da força total que “passa” pelo plano de corte.

Em B o ângulo de saída assume um valor de 15° , resultando num processo mais contínuo. Isto ocorre devido a redução na flutuação da força total causada pela diminuição da sua componente da força total que passa pelo plano de corte.



7. Máquinas Ferramenta

As peças metálicas fabricadas pelos processos metalúrgicos convencionais – como fundição, forjamento etc. – geralmente apresentam superfícies mais ou menos grosseiras e que, portanto, exigem um determinado acabamento.

Por outro lado, os processos citados nem sempre permitem obter certas peculiaridades, como determinados tipos de saliências ou reentrâncias, furos roscados, furos passantes etc.

Para alguns tipos de peças, os processos de fabrico convencionais não apresentam as melhores condições de custo e produtividade.

O processo de maquinagem possibilita atingir esses e outros objectivos, os quais podem ser resumidos em:

- ↳ Acabamento de superfícies de peças fundidas ou conformadas mecanicamente, de modo a obter-se melhor aspecto superficial e dimensões mais precisas, de acordo com as especificações de fabrico e de acordo com o emprego;
- ↳ Obtenção de peculiaridades, impossíveis de conseguir pelos processos convencionais;
- ↳ Fabrico de uma ou mais peças, praticamente de qualquer forma, a partir de um bloco de material metálico.

7.1 *Serrote Mecânico*

Este equipamento é também designado por máquina de serrar e as ferramentas correspondentes são as serras.

Serrar é das operações mais importantes em oficinas mecânicas, visto que o corte de metais é fundamentalmente uma operação preliminar.

A figura 40 representa uma máquina de serrar alternativa, é um dos modelos existentes, existe também as de fita e as circulares ou de disco. Na figura ao lado pode-se ver uma lâmina de corte em pormenor, a cortar um perfil em L.



Fig. 40 – Máquina de serrar alternativa, pormenor da lâmina de corte.

7.2 Torno mecânico

O torno desde sempre foi utilizado como um meio de fabrico de rodas, peças de bombas de água, cadeiras, mesas, e utensílios domésticos. Sabe-se que antigas civilizações, por exemplo: os egípcios, assírios e romanos, já utilizavam tornos como um meio fácil para fazer objectos com formas redondas.

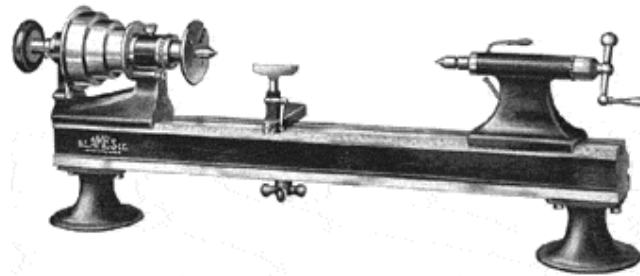


Fig. 41- Torno mecânico.

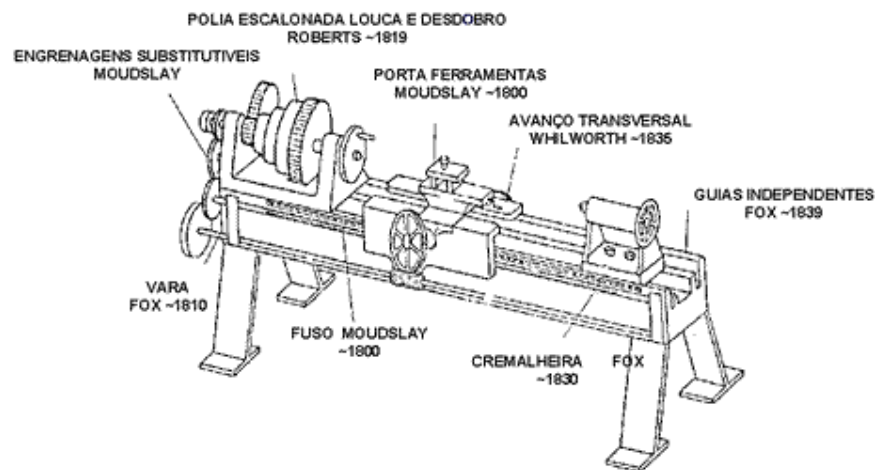


Fig. 42 – Evolução do trono com o surgimento de várias peças.



7.2.1 Operações fundamentais do torno

Torneamento

É uma das operações que se podem realizar neste tipo de equipamento. Uma peça, normalmente um varão, é presa na bucha do torno e tem um movimento de rotação em concordância com o eixo da máquina, ao mesmo tempo que uma ferramenta de corte lhe retira material periféricamente, Fig. 43.



Fig. 43 – Exemplo de uma operação de torneamento.

Existem outras operações que se podem executar no torno como facejar, furar (desde que o furo seja em concêntrico com o eixo da máquina), etc.

Facear

Operação que se obtém pelo deslocamento da ferramenta paralelamente ao eixo de rotação da peça. Serve para obter superfícies planas nas faces.



Fig. 44. - Operação de facejar.

Sangrar

Operação que consiste em cortar uma peça no torno.

Roscar

É a operação que consiste em abrir rosca numa superfície externa de um cilindro ou cone e no interior de um furo do mesmo tipo. É possível realizar esta operação ajustando convenientemente os parâmetros de avanço.

Tornear cónico

Operação obtida pelo deslocamento da ferramenta obliquamente ao eixo da peça, possível graças ao recurso de rodar o porta ferramentas sobre uma base graduada.

Perfilar

É o torneamento de superfícies de revolução de qualquer perfil. A ferramenta executa dois movimentos, um paralelo e outro transversal ao eixo de rotação da peça resultando num perfil da trajectória conjugada dos movimentos.

Na figura seguinte estão exemplificadas algumas das operações possíveis de executar no torno.

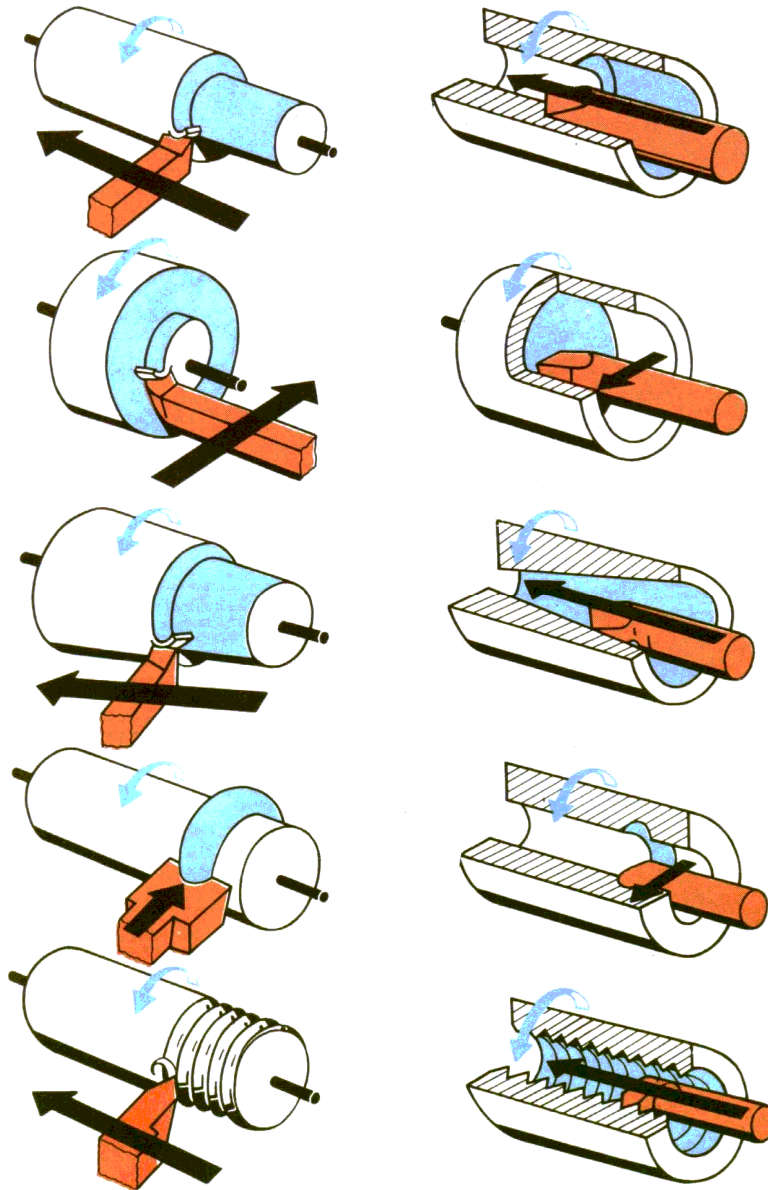


Fig. 45 - Exemplos de operações possíveis de executar no torno.



Fig. 46 - Alguns exemplos de peças com operações executadas no torno.



7.2.2 Tipos de Torno

Diferem entre si pela forma construtiva, pelas dimensões e características. A escolha do tipo de torno deve ser feita com base nos seguintes factores:

- ↗ Dimensão das peças;
- ↗ Quantidade de peças;
- ↗ Grau de precisão;
- ↗ Geometria das peças.

Torno horizontal ou paralelo

É o mais comum e mais utilizado, porém devido à dificuldade de troca de ferramenta não oferece grande possibilidade de ser utilizado em produções em série. A Fig. 47 apresenta um torno paralelo, existem outros tipos como torno revólver, copiador, vertical, os automáticos e semi-automáticos.



Fig. 47 – Torno horizontal ou paralelo.

Torno de placa

São utilizados para tornear peças curtas porém de grande diâmetro tais como volantes, rodas e polias.



Fig. 48 – Torno de placa.

Torno vertical

Possui eixo de rotação vertical, são utilizados para tornear peças de grande tamanho, como: volantes, polias, rodas dentadas, etc; as quais devido ao seu grande peso, se podem manter mais facilmente sobre a plataforma redonda horizontal, que sobre uma plataforma vertical.



Fig. 49 – Torno vertical.

Torno revolver

A sua principal característica é a utilização de várias ferramentas convenientemente dispostas e preparadas para realizar diversas operações sucessivas numa peça. Possui um porta ferramentas múltiplo (torre revolver) facilitando assim a troca de ferramentas.

Torno copiador

São utilizados para fazer cópias a partir de uma matriz, o carro ferramentas do torno transporta consigo o dispositivo apalpador, cuja ponta,



por estar constantemente em contacto com a matriz é obrigada a seguir as irregularidades. O apalpador pode ser mantido em contacto com a peça por pressão de óleo. Um exemplo de ferramenta copiadora é a máquina de fazer chave.



Fig. 50 - Torno copiador.

Torno de produção

São tornos que para atender às necessidades da produção são providos de dois carros porta ferramenta, um anterior com movimento longitudinal e outro posterior com movimento transversal, que trabalham simultaneamente com avanço automático, aumentando a quantidade de peças e diminuindo o custo da produção.

Torno automático

São máquinas nas quais todas as operações são realizadas sucessivamente automaticamente. Os tornos automáticos produzem peças a partir de matérias-primas tal como barras, etc. Possui um avanço automático após cada ciclo de operações, fazendo com que a matéria-prima seja automaticamente reposta.

Torno semi-automático

À necessidade de um operador para substituir peças no final de cada ciclo de operações, retirando a peça pronta e recolocando material bruto para ser maquinado. São apropriados para maquinar peças derivadas de fundição, forjas e estampagem.

7.2.3 Partes do Torno

O torno é constituído essencialmente das seguintes partes.

Barramento

Para deslizamento do carro ferramenta no seu movimento longitudinal é necessário uma superfície plana e rígida, ou seja, trilhos paralelos que constituem o barramento do torno. O barramento é uma peça normalmente de ferro fundido resistente. Os trilhos têm como finalidade criar uma direcção geral de colocação dos cabeçotes fixo e móvel, como um eixo ideal, comum para o eixo de trabalho. Tem uma guia, apropriado para suportar pressões e resistente ao desgaste.

Cabeçote fixo

Onde é fixa a peça que vai ser maquinada.

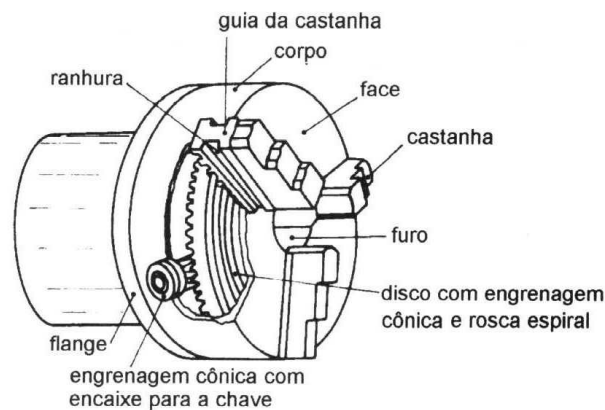


Fig. 51 - Cabeçote fixo.

Cabeçote móvel

A base do corpo do cabeçote móvel é fixa às guias do barramento por um parafuso. Com este parafuso solto, o cabeçote pode ser deslocado ao longo do barramento e fixo na posição desejada. Possui uma manivela que empurra a ponta de centro contra a peça. Esta ponta de dentro pode ser substituída por um mandril, capaz de fixar brocas, machos, alargadores e



pequenas ferramentas cilíndricas, sendo utilizado portanto, para fazer furos de centro e etc.

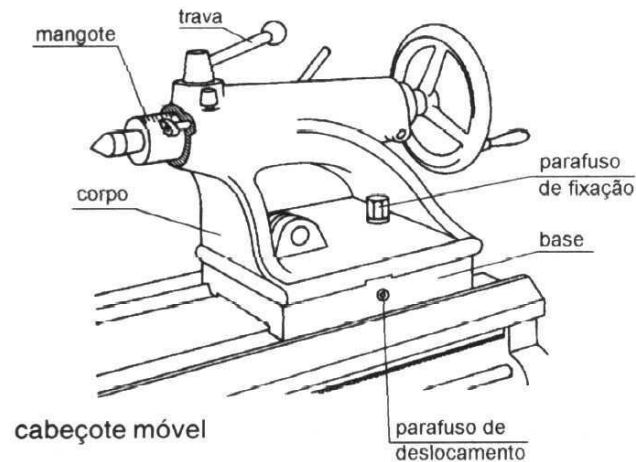


Fig. 52 - Cabeçote fixo.

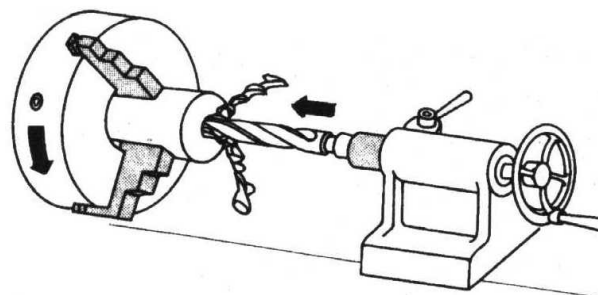


Fig. 53 - Utilização do cabeçote móvel para furar.

Torno com caixa de engrenagens

Com o surgimento das pastilhas como ferramentas de torno, houve a possibilidade de se aumentar a velocidade de rotação e de avanço, sendo necessário assim a implementação de mudanças no torno.

O movimento principal é obtido por meio de uma caixa de engrenagens, que recebe o movimento de uma única polia. Esse dispositivo permite a obtenção de várias velocidades.

Caixa de mudanças

Conjunto de engrenagens e polias que serve para ajustar a velocidade de avanço longitudinal e transversal. Muito importante para a maquinagem de roscas onde é necessário muita precisão, uma vez que para obter um



determinado passo, a velocidade de avanço não pode ser executada manualmente.

7.2.3.1 Acessórios

Luneta

A luneta é fixada ao barramento. São utilizadas quando se quer tornear peças compridas, pois ocorre muita vibração e flexão da peça entre os pontos de fixação, ajudando a manter a qualidade de acabamento e precisão.

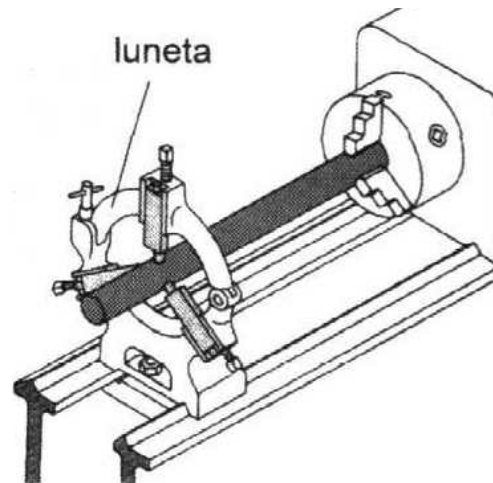


Fig. 54 - Aplicação de uma luneta.

7.2.4 Subsistemas da Máquina Ferramenta

Actualmente as máquinas ferramentas apresentam 5 subsistemas básicos, embora mude um pouco de máquina para máquina, mantendo as suas características.

Subsistema de Suporte

É responsável pelo suporte de todos os órgãos da máquina. É constituído pelos seguintes componentes: Apoios, barramento e guias. No caso do torno, a finalidade das guias é manter o alinhamento do movimento do cabeçote móvel e do carro longitudinal.



Subsistema de Fixação da Peça

É responsável pela fixação, na máquina, da peça a ser maquinada. É constituído pelo cabeçote móvel e placa.

Subsistema de Fixação e Movimento da Ferramenta

Tem a função de fixar a ferramenta e realizar a sua movimentação em diferentes direcções. No caso do torno, é composto pelo carro longitudinal, carro transversal, carro porta-ferramentas, torre de fixação das ferramentas, fuso e vara.

Subsistema de Avanço

Tem a finalidade de proporcionar o movimento automático da ferramenta e variações da velocidade. Os principais componentes são as engrenagens.

Subsistema de Accionamento Principal

A função deste subsistema é proporcionar o movimento de rotação à peça com diferentes velocidades. Como principais constituintes temos o motor de accionamento, polias, correias, eixos e engrenagens para transmissão dos movimentos.

Outros Subsistemas

Além destes existem outros subsistemas que cumprem funções específicas. Exemplo: subsistema de emissão de fluido de corte.

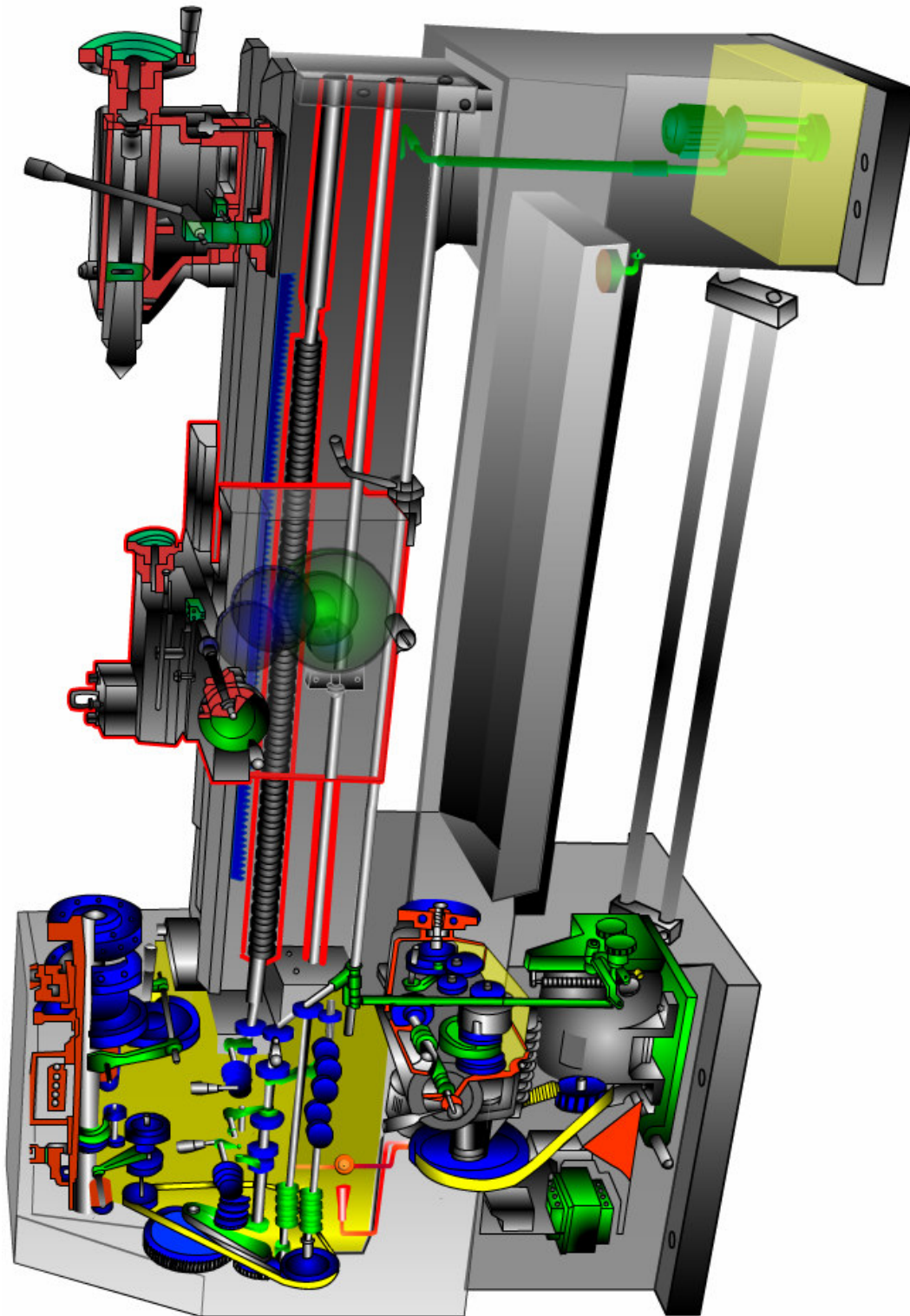


Fig. 55 - Interior de um torno mecânico.



7.2.5 Ferramentas de Torno

As ferramentas para torneamento sofreram uma grande evolução ao longo do tempo. A exigência do processo produtivo, levou a procura por ferramentas mais duradouras e eficientes. As ferramentas mais rudimentares de operações manuais evoluíram até às pastilhas cerâmicas de alta resistência.

- ↪ Numa primeira etapa procuraram-se as melhores geometrias para as operações de corte.
- ↪ A etapa seguinte procurou-se os melhores de materiais com as melhores características de resistência e durabilidade.
- ↪ Finalmente passou-se a combinar materiais com os novos modelos construtivos, sincronizando as necessidades de desempenho, custos e redução dos tempos mortos no processo produtivo.
- ↪ Como resultado desta evolução obteve-se uma ferramenta composta, onde o elemento de corte é uma pastilha ligada mecanicamente sobre uma base, na figura 46 pode observar-se uma caixa de pastilhas e ferros de corte.



Fig. 56 – Ferramentas utilizadas no torno e ferros de corte com pastilhas.

7.3 Fresamento

Assim como em outros processos de maquinagem, no fresamento a remoção de material e a geração da superfície ocorrem do movimento relativo entre a peça e a ferramenta. Há dois movimentos a considerar, o de **rotação**



da ferramenta e o de **avanço da peça**. Em determinados casos, a ferramenta também pode realizar os dois movimentos.

A variedade de máquinas, a flexibilidade destas e a diversidade do tipo de ferramenta, o fresamento tem uma larga aplicação para a maquinagem. As vantagens são encontradas na variedade de formas e superfícies que podem ser geradas, na qualidade do acabamento da superfície maquinada e nas altas taxas de remoção da apara.

No fresamento, o processo de corte é intermitente e a apara possui uma espessura variável. Por cada rotação da ferramenta, cada um dos gumes remove uma certa quantidade de material da peça.

As ferramentas de fresar são denominadas **fresas** e normalmente têm vários gumes dispostos ao redor do seu eixo de rotação. As máquinas-ferramenta que realizam o processo de fresagem são denominadas **fresadoras**. Estas são construídas de modo a assegurar os movimentos necessários para remover a apara e para gerar a superfície maquinada.



Fig. 57 - Fresadora.

7.3.1 Variáveis e Parâmetros de Corte

No fresamento, assim como nos restantes processos de maquinagem, existe uma série de parâmetros de corte a considerar. Eles descrevem quantitativamente os movimentos, as dimensões e outras características da operação de corte.



Os parâmetros que descrevem o movimento da ferramenta e/ou peça são: **movimento de rotação**, **velocidade de corte** e **velocidade de avanço**.

As dimensões do corte são: **profundidade de corte** e **penetração de trabalho**.

Outros parâmetros são: **diâmetro da ferramenta** e o **número de dentes** (gumes principais), **taxa de remoção de material** e o **tempo de corte**.

Para definição e medição dos ângulos da ferramenta e outros parâmetros, utiliza-se um ponto seleccionado sobre o gume como referência.

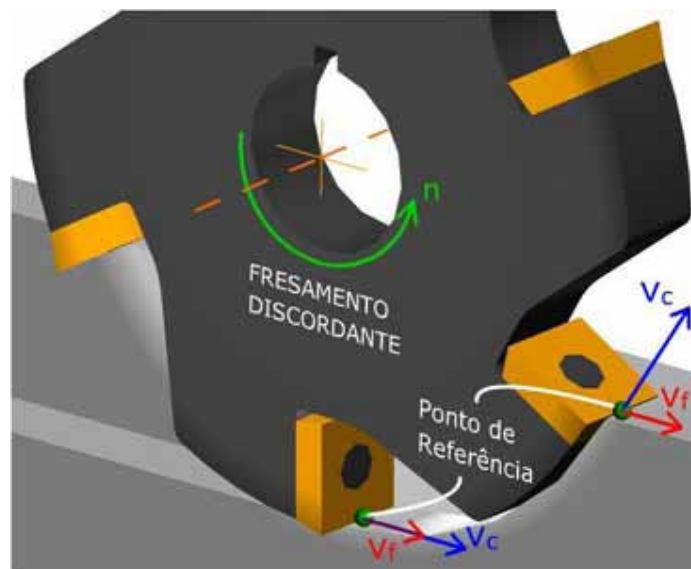
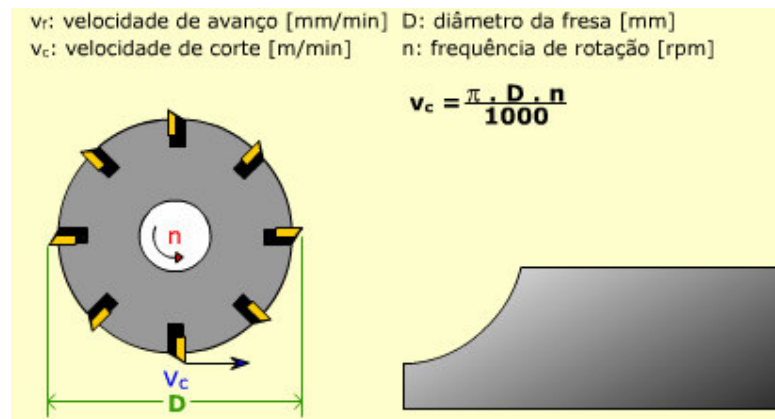


Fig. 58 – Ponto de referência, velocidade de corte e avanço.

As definições, os símbolos e as unidades dos parâmetros para o fresamento são as seguintes:

- **Movimento de rotação** (n) [rpm] - É o número de voltas por unidade de tempo que a fresa dá em torno do seu eixo.

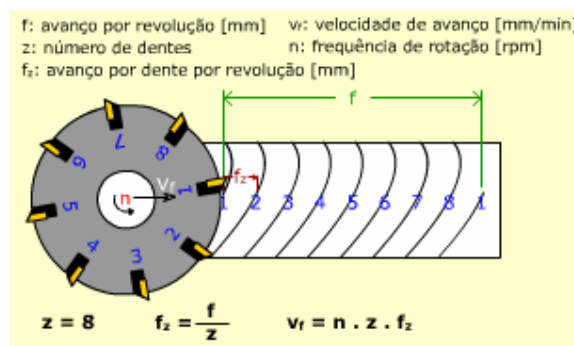
- **Velocidade de corte** (v_c) [m/min] - É a velocidade instantânea do ponto seleccionado sobre o gume em relação a peça. No fresamento, o movimento de corte é proporcionado pela rotação da ferramenta. A velocidade de corte é, então, uma velocidade tangencial. As grandezas relacionadas ao movimento de corte recebem o índice “c”. (Ex: v_c)



Avanço por rotação (f) [mm] - No fresamento, o avanço é a distância linear percorrida por um conjunto de dentes que compõem uma ferramenta durante uma rotação completa dessa ferramenta. É medido no plano de trabalho. As grandezas relacionadas ao movimento de avanço recebem o índice “f”. (Ex: v_f)

- **Avanço por dente (f_z) [mm/dente]** - É a distância linear percorrida por um dente da ferramenta no intervalo em que dois dentes consecutivos entram em corte. Também é medido no plano de trabalho.

- **Velocidade de avanço (v_f) [mm/min]** - É a velocidade instantânea do ponto seleccionado sobre o gume em relação à peça. No fresamento, o movimento de avanço é provocado pela translação da ferramenta sobre a peça ou vice-versa. A direcção da velocidade de avanço é, então, radial ao eixo da ferramenta.



- **Diâmetro (D) [mm]** - É o diâmetro da fresa.

• **Número de dentes** (z) - É o número total de dentes que a fresa contém.

• **Profundidade de corte** (Penetração passiva) (a_p) [mm] - É a quantidade que a ferramenta penetra na peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho (na direcção do eixo da fresa). No fresamento frontal, a_p corresponde à profundidade de corte e no fresamento periférico, à largura de corte.

• **Penetração de trabalho** (a_e) [mm] - É a quantidade que a ferramenta penetra na peça, medida no plano de trabalho e perpendicular à direcção de avanço.

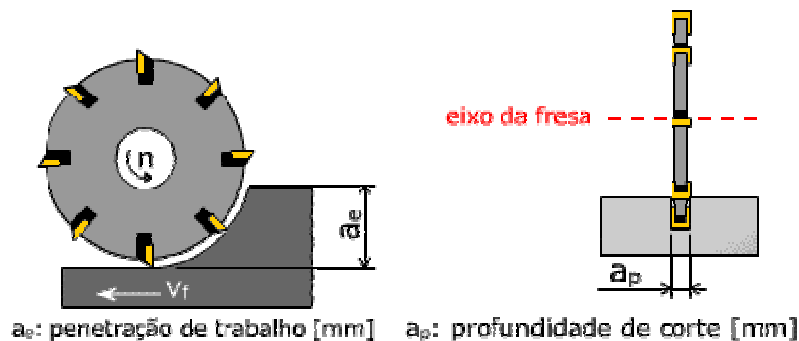


Fig. 59 – Penetração.

Tempo de corte (t_c) [min] - É o tempo em que a ferramenta está efetivamente em corte.

• **Taxa de remoção de material** (Q) [mm^3/min] - É o volume de material usinado por unidade de tempo.

Tempo de Corte	Taxa de Remoção de Material
$t_c = \frac{L}{V_f} = \frac{L}{f \times n} \quad [s]$	$Q = a_p \times a_e \times V_f \quad [mm^3/min]$
L = distância percorrida pela ferramenta	

7.3.2 Métodos de Fresamento

Distinguem-se dois métodos de fresamento, o frontal e o periférico ou tangencial, cada um com vantagens e desvantagens.



Quanto à relação entre o sentido das velocidades de corte e de avanço, distingue-se o fresamento concordante e discordante.

Para fazer essa distinção, considera-se que a fresa apenas tem rotação enquanto que a peça apenas avança contra a ferramenta. Esta é a situação mais comum no fresamento convencional.

Fresamento tangencial

No **fresamento periférico ou tangencial**, a superfície maquinada encontra-se, de modo geral, paralela ao eixo da fresa. Também a profundidade de corte a_p é significativamente maior que a penetração de trabalho a_e .

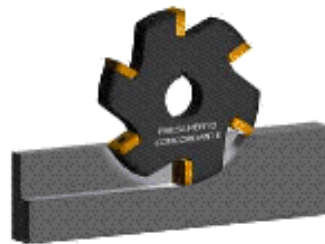


Fig. 60 - Fresamento tangencial.

No **fresamento periférico concordante** (ou apenas fresamento concordante), os sentidos das velocidades de corte e de avanço são, em média, os mesmos, a espessura da aparta decresce durante a sua formação. Como se pode ver na figura abaixo, a espessura da aparta é máxima no início do corte e mínima no final (teoricamente zero). Assim, na saída do gume, ocorre o esmagamento do material e maior atrito entre o gume e a superfície de corte.

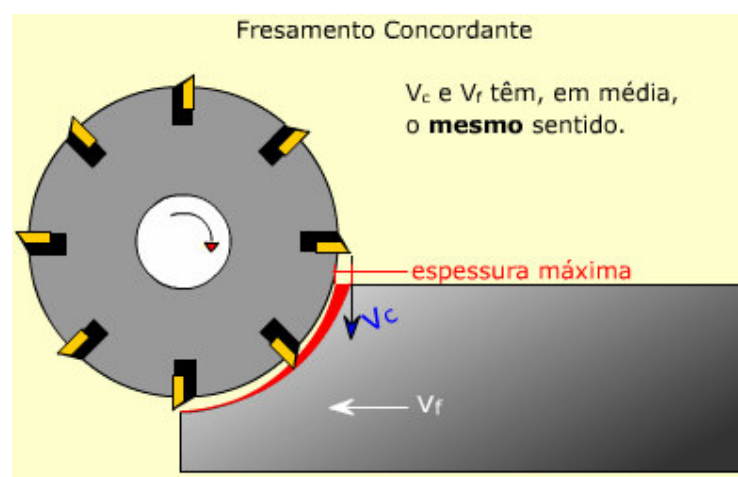


Fig. 61 - Fresamento tangencial concordante.

No **fresamento periférico discordante** (ou apenas fresamento discordante) ocorre o contrário. Os sentidos das velocidades de corte e de avanço são, em média, opostos. A espessura da apara cresce durante a sua formação. Neste caso, a espessura da apara é mínima no início do corte e máxima no final. Se ocorrer fresamento discordante puro, como ilustrado na figura seguinte, a espessura inicial é teoricamente zero. Assim, no momento da entrada do gume, não há corte, apenas o esmagamento de material. Consequentemente os esforços e a tendência a vibrações na ferramenta são maiores.

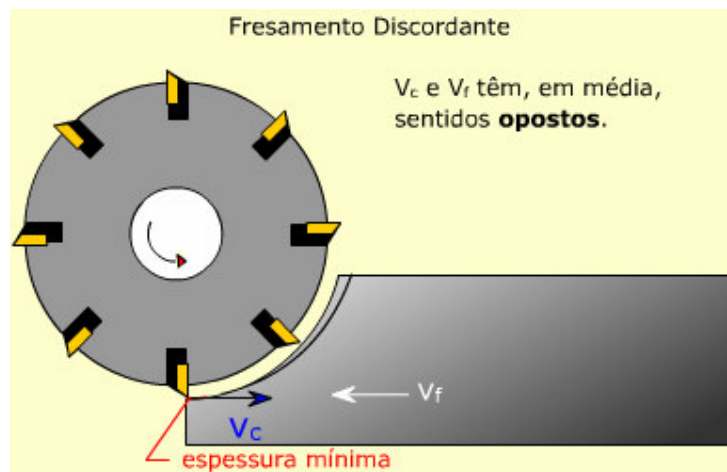


Fig. 62 – Fresamento tangencial discordante.

As vantagens do fresamento concordante, quando comparado com o discordante, são:

- ↳ Menor desgaste e, como consequência, maior vida da ferramenta;
- ↳ Melhor qualidade superficial;
- ↳ Menor potência requerida para o corte;
- ↳ A força resultante empurra a peça contra a mesa onde esta está fixa, reduzindo os efeitos de vibração.

Mas deve-se preferir o fresamento discordante nas seguintes situações:

- ↳ Quando existe folga no fuso da mesa da máquina-ferramenta;
- ↳ Quando a superfície da peça tiver resíduo de areia de fundição, for muito irregular ou o material for proveniente do processo de forjamento.

Fresamento frontal

No **fresamento frontal ou de topo**, a superfície maquinada é gerada pelo gume secundário e encontra-se normalmente perpendicular ao eixo da fresa. A penetração de trabalho a_e é consideravelmente maior que a profundidade de corte a_p .

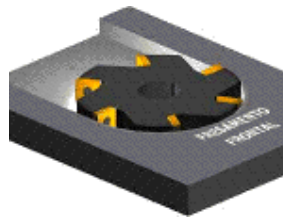


Fig. 63 - Fresamento de topo.

Neste fresamento ocorre simultaneamente fresamento concordante e discordante. Analisando apenas a trajetória de um dente, primeiro começa como fresamento discordante. A espessura da apara cresce até um valor máximo na linha que passa pelo centro da fresa e com direcção igual à do avanço. A partir deste ponto o corte passa a ser concordante. A espessura da apara decresce até o gume sair da peça.

No caso de fresamento frontal, como ilustrado na figura seguinte, a espessura inicial e final da apara são teoricamente zero.

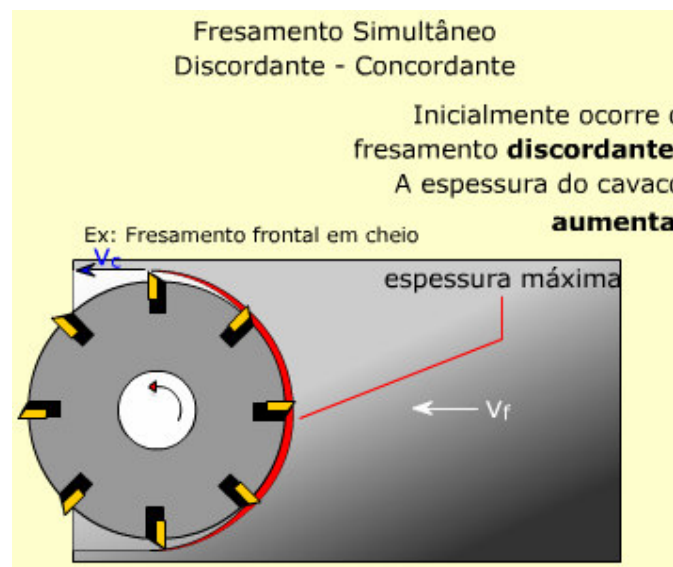


Fig. 64 – Fresamento concordante e discordante.

7.3.3 Ferramentas para fresamento

Chamam-se fresas, e são ferramentas rotativas para maquinagem de materiais, constituídas por uma série de dentes e gumes, normalmente dispostos simetricamente em torno de um eixo. Os dentes e gumes removem o material da peça bruta de modo intermitente, transformando-a numa peça acabada, isto é, com a forma e dimensões desejadas.

Fresamento Tangencial

No fresamento periférico, a superfície maquinada, gerada por dentes e gumes localizados na periferia do corpo da ferramenta, situa-se, de modo geral, num plano paralelo ao eixo da fresa. O fresamento periférico ou tangencial normalmente é realizado em fresadoras em que o eixo da árvore está na posição horizontal. A largura de corte a_p normalmente é substancialmente maior do que a penetração de trabalho a_e . A superfície maquinada é gerada pelo gume principal.

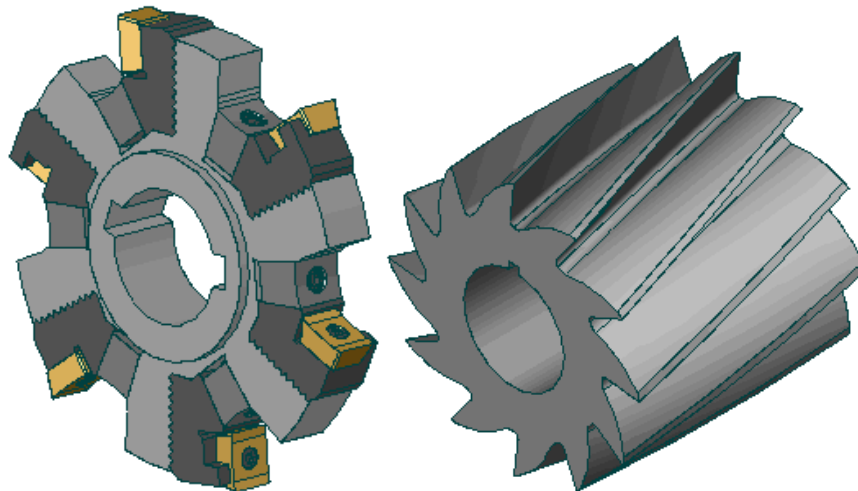


Fig. 65 - Fresas para fresamento tangencial.

Fresamento de topo

No fresamento frontal, a superfície maquinada resulta da acção combinada dos gumes localizados na periferia e na face frontal da fresa. A



superfície maquinada é plana, sem qualquer relação com o contorno dos dentes. O fresamento frontal, pela sua alta produtividade, deve ser preferido sempre que possível.



Fig. 66 - Fresas para fresamento de topo.

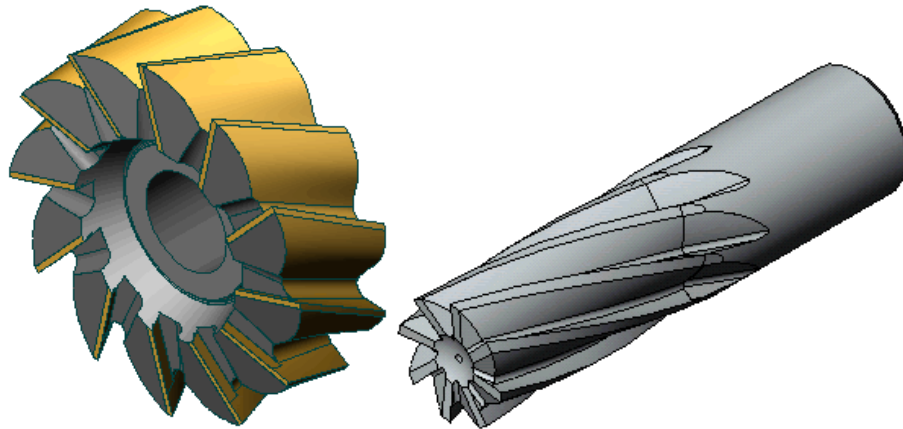


Fig. 67 - Fresas para fresamento de topo.



Fig. 68 - Exemplo de maquinagem efectuada numa fresadora.

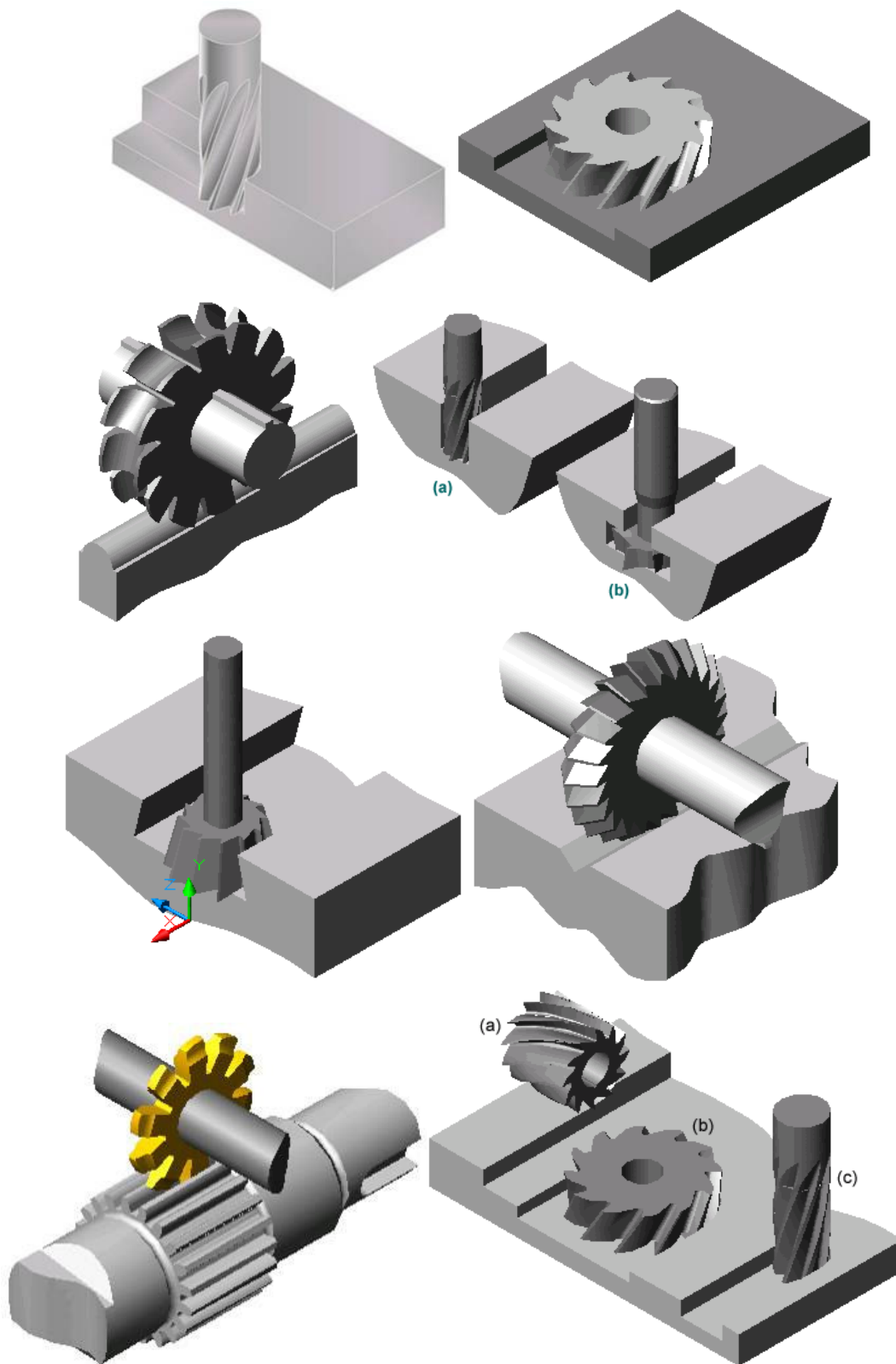
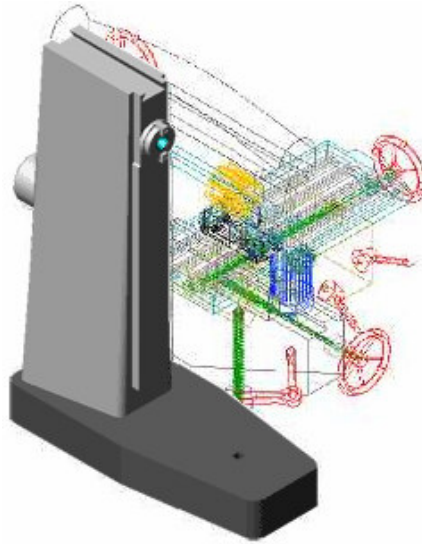


Fig. 69 - Vários exemplos de maquinação em fresadoras.

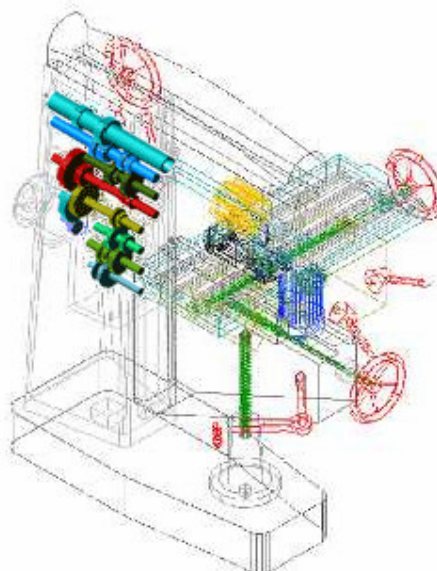
7.3.4 Subsistemas da fresadora

Os 5 subsistemas da fresadora são os seguintes:

Subsistema de suporte: É responsável pela sustentação de todas as partes da máquina. É constituído por base e coluna.

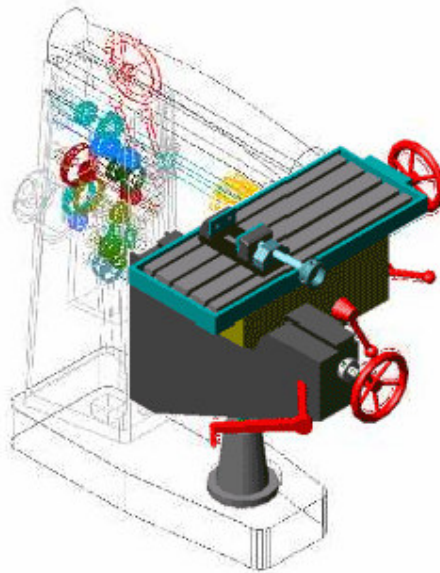


Subsistema de accionamento principal: A função deste subsistema é proporcionar o movimento de rotação da ferramenta com diferentes velocidades. Como principais constituintes temos o motor de accionamento, polias, correias, eixos e engrenagens para transmissão de movimentos.

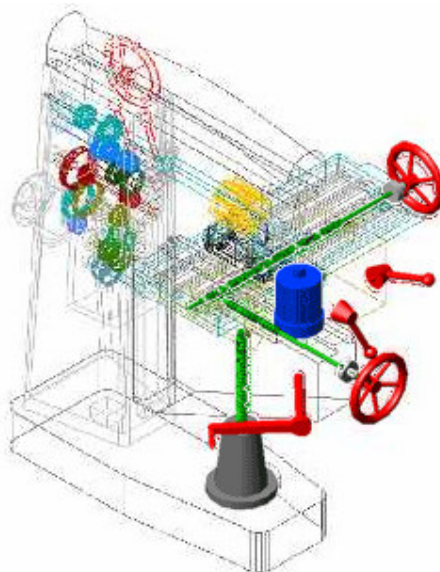




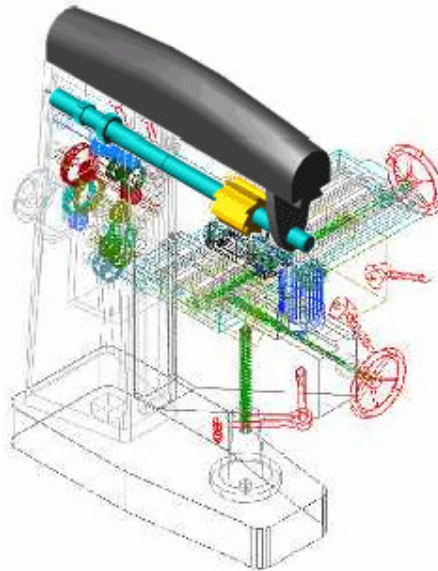
Subsistema de fixação e movimentação da peça: É responsável pela fixação e movimentação da peça a ser maquinada. É constituído por mesa, sela e consolo.



Subsistema de avanço: Tem a finalidade de proporcionar o movimento automático da peça com diferentes velocidades. Os seus principais componentes são o motor e as engrenagens.



Subsistema de fixação e movimentação da ferramenta: Tem a função de fixar e movimentar a ferramenta. É constituído pelo eixo da árvore e mandril.



7.3.5 Forças no fresamento

Entre a peça e a ferramenta actua uma força, responsável pela deformação local do material e conseqüente formação da apana. Para simplificar o estudo dessa força, considera-se que ela actua num único ponto localizado no gume cortante. De maneira geral, a direcção e o sentido da força F são difíceis de se determinar. Por isso ela é decomposta em componentes.

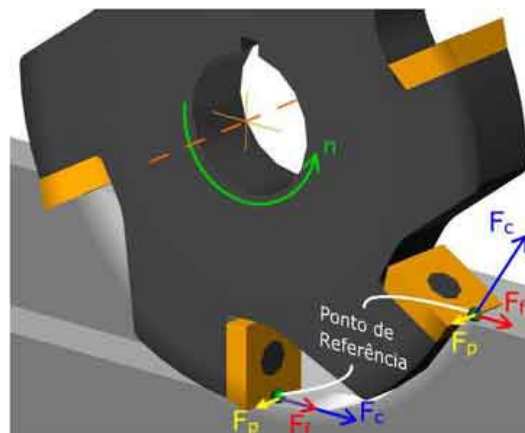


Fig. 70 - Componentes da força de fresamento.



As componentes de F são identificadas por índices:

c : para a direcção principal de corte;

f : para a direcção de avanço;

p : para a direcção passiva (perpendicular ao plano de trabalho P_f)

↪ A **Força de Corte F_c** tem o mesmo sentido e direcção da **velocidade de corte v_c** é responsável pela maior parte da potência de corte.

↪ A **Força de avanço F_f** tem o mesmo sentido e direcção da **velocidade de avanço v_f** é a maior responsável pela deflexão da ferramenta.

↪ A **Força passiva F_p** é a componente de F **perpendicular ao plano de trabalho P_f** (onde se localizam F_c e F_f), caso a ferramenta tenha gumes rectos ($\kappa_r = 90^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$) a componente F_p será muito pequena em relação a F_c e F_f .

↪ A **potência de corte P_c** é a potência entregue ao gume da ferramenta e consumida na remoção da aparta.

↪ A **potência de accionamento P_a** é a potência fornecida pelo motor à máquina ferramenta. Ela difere da potência de corte pelas perdas que ocorrem por atrito nos mancais, engrenagens, sistemas de avanço, etc.

↪ O **rendimento η** da máquina ferramenta é definido pela razão entre P_c e P_a .

$$\begin{array}{l} \text{Potência de Corte} \\ P_c = \frac{F_c \times v_c}{60.000} \text{ [kW]} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Rendimento} \\ \eta = \frac{P_c}{P_a} \times 100 \text{ [\%]} \end{array}$$

Obs.: equações válidas também para torneamento

Em virtude da diversidade de estratégias de maquinagem, da variação de espessura da aparta e das diversas geometrias de ferramenta disponíveis, é muito mais difícil obter a equação da força de corte no fresamento que no torneamento.

7.3.6 Máquinas CNC

Este tipo de máquinas adequa-se a todos os equipamentos que já foram referidos, serrote, furadora, torno e fresadora, na figura 61 pode-se ver um exemplo de uma fresadora CNC.



Fig. 71 – Fresadora CNC.

A sigla CNC - *Controlo Numérico Computorizado*, significa que são máquinas programáveis através de código, este pode ser inserido directamente na consola, ou então é obtido num computador e enviado para a máquina através de um programa de *interface* computador/máquina.

Na figura 62 vê-se uma peça que está a ser programada no computador, posteriormente enviada para a consola da máquina. O programa de interface permite que ficheiro enviado seja alterado na consola, como se tivesse sido programado lá.

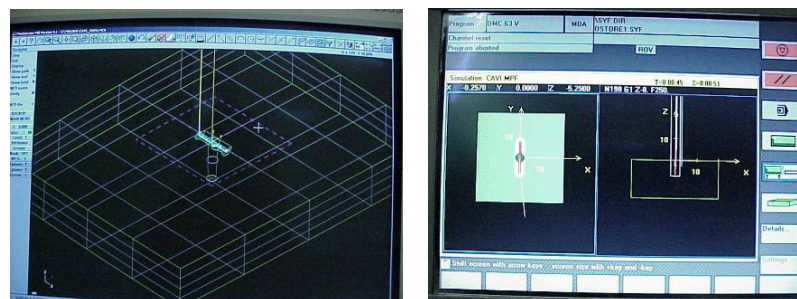


Fig. 72 – A mesma peça no computador e posteriormente na máquina.



A grande vantagem das máquinas CNC em relação às máquinas convencionais é o aumento da qualidade final da peça, e a obtenção de geometrias que seriam impossíveis de obter, na figura 63 podem-se ver alguns exemplos de peças com alguma complexidade difícil de obter através de uma máquina convencional.



Fig. 73 – Exemplos de peças complexas obtidas na fresadora cnc.



7.4 Furacão

As furadoras são máquinas que têm como função principal executar furos nos mais diversos tipos de materiais. O movimento de rotação é transmitido à ferramenta 'brocas' que serão responsáveis pela remoção do material desejado. Para as diferentes operações que se podem executar na furadora, existem diferentes modelos de furadoras. Antes de se escolher a furadora ideal para o trabalho que se quer realizar, devem ser avaliados os seguintes aspectos:

- ↪ Forma da peça;
- ↪ Dimensões da peça;
- ↪ Número de furos a serem abertos;
- ↪ Quantidade de peças a serem produzidas;
- ↪ Diversidade no diâmetro dos furos de uma mesma peça;
- ↪ Grau de precisão requerido.

Neste equipamento realizam-se operações de maquinagem que têm como objectivo abrir, alargar ou acabar furos de peças. Os furos podem ser produzidos em dimensões que variam desde poucos milímetros até vários centímetros de diâmetro. A ferramenta utilizada é denominada de broca, existem diferentes configurações. A figura seguinte mostra uma furadora de coluna, existem outras configurações furadoras portáteis, de bancada, e radiais.



Fig. 74 – Furadora em coluna existente no LOM.

7.4.1 Classificação das Furadoras

Furadoras Portáteis

A força de avanço é dada pelo operador que força a furadora contra o material, enquanto a rotação vem de um motor da própria furadora. As furadoras caseiras classificam-se como portáteis.

É utilizada comumente em peças já montadas, não permitindo assim a utilização de furadoras mais precisas.

Furadoras de Coluna

As furadoras de coluna se caracterizam por apresentarem uma coluna de união entre a base e a árvore. Esse arranjo possibilita a furação de elementos com as formas mais diversificadas, singularmente e em série.

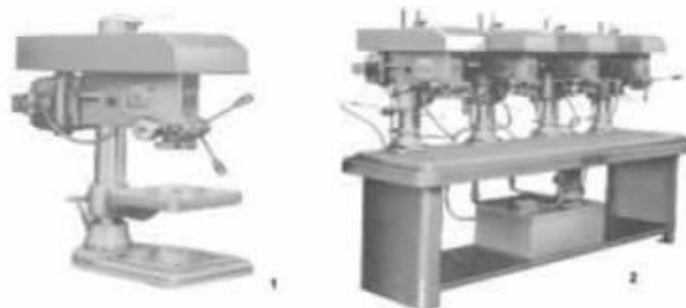


Fig. 75 – Furadora de coluna e árvores múltiplas.

Furadora de árvores múltiplas

Cada árvore tem uma ferramenta, permitindo executar diferentes operações. Útil para trabalhos em que uma peça que tem que passar por uma série de operações como, furar, pontear, alargar furos, etc.

Furadoras radiais

O sistema de árvore móvel elimina a necessidade de reposicionamento da peça quando se deseja executar vários furos. Pode-se levar a árvore a qualquer ponto da bancada, diminuindo o tempo de produção. Recomendada



para peças de grandes dimensões, a serem furadas em pontos afastados da periferia.

Furadoras múltiplas e de múltiplos cabeçotes

Estas furadoras é utilizada mais do que uma árvore para maquinar a peça, eliminando a necessidade de reposicionar e virar a peça, cada vez que o plano de perfuração é alterado. São utilizadas para economizar tempo, uma vez que o tempo total de perfuração fica condicionado ao furo mais profundo.

Furadora de Comando Numérico

É uma máquina programável, através de uma linguagem de comando numérico, ex: fanuc, siemens, etc., permitindo maior precisão e utilização de maiores velocidades de corte e avanço.

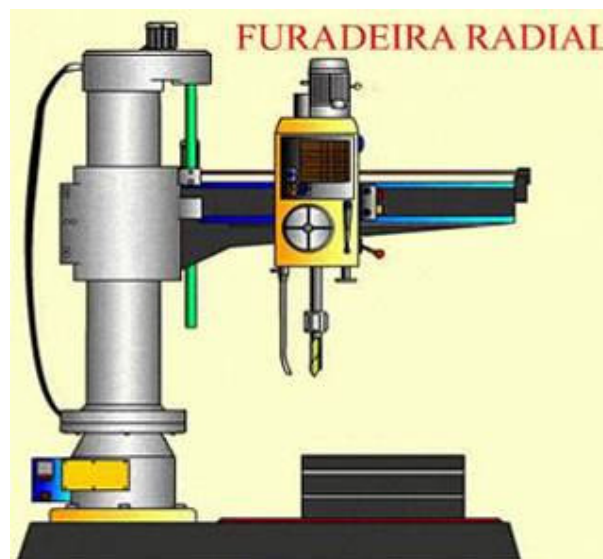


Fig. 76 – Furadora radial.

7.4.2 Ferramentas de furar

Numa operação de furação, a máquina furadora é responsável pela movimentação da broca, sendo esta a responsável pela remoção de material. Para operações de furar a broca mais utilizada é a broca helicoidal, mas a par desta ainda existe um grande número de brocas com as mais diversas finalidades.

Broca helicoidal

A broca helicoidal fixa-se à máquina pelo seu haste que pode ser de forma cónica ou cilíndrica. A parte cortante, com duas ranhuras com forma helicoidal, dá origem ao nome. Os dois gumes principais formados pela ponta aguçada são responsáveis pelo corte do material, enquanto o gume transversal, que se encontra entre as duas faces de incidência, comprime o material para fora consumindo assim cerca de 40% da força de avanço.

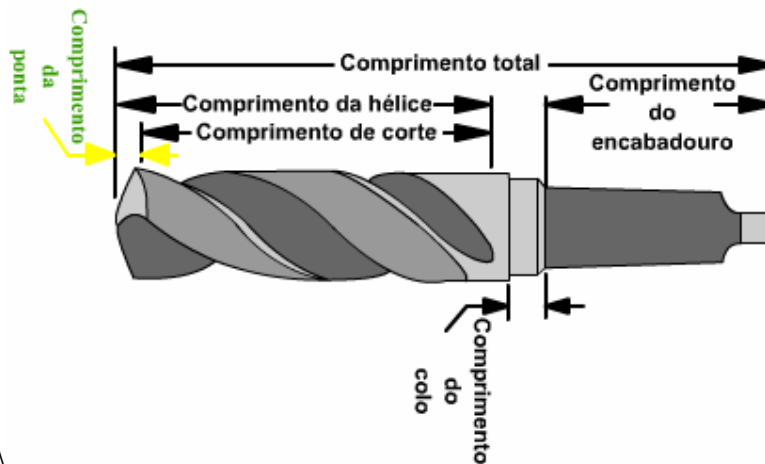


Fig. 77 - Broca helicoidal.

- ↪ " α " Ângulo de incidência: Para que os gumes principais possam penetrar no material. O ângulo, que é medido nas esquinas de corte, normalmente toma valores entre 12 e 15^o podendo porém assumir valores entre 5 e 8^o quando se tratar de materiais extremamente duros.
- ↪ " γ " Ângulo de entrada, ataque ou de saída da apar: É formado pelo ângulo das ranhuras helicoidais. Tem sua medida máxima nas esquinas dos gumes e diminui para 0^o no centro da broca. O seu valor é aproximadamente o mesmo do ângulo da hélice;
- ↪ " β " Ângulo do gume ou de corte: Tendo em mãos os valores do ângulo de incidência e do ângulo de ataque determina-se o ângulo de corte, $\alpha + \beta + \gamma = 90^{\circ}$;
- ↪ " ϕ " Ângulo da ponta: É escolhido de modo a que se obtenham gumes principais rectilíneos. Assume normalmente o valor de 118^o.

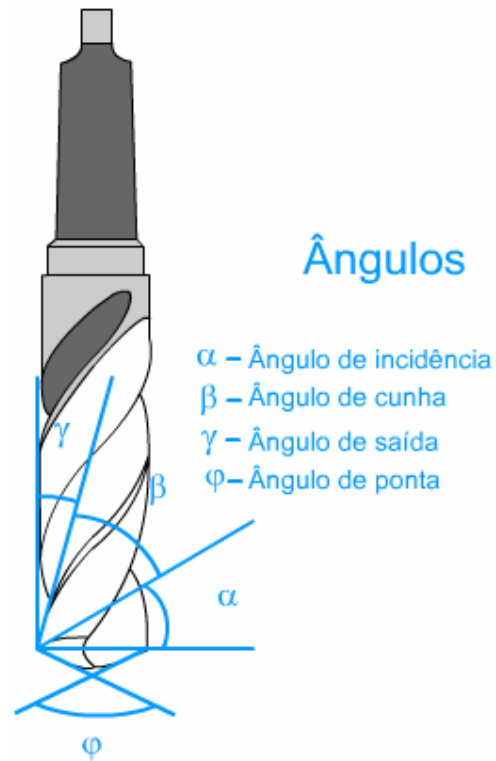


Fig. 78 - Ângulos da broca.



Fig. 79 - Ferramentas de furar.

Na escolha da broca devem ser considerados os seguintes factores:

- ↗ O diâmetro do furo a ser maquinado;
- ↗ O material a ser perfurado;
- ↗ O aguçamento da broca.

Pelo diâmetro do furo e o material a ser maquinado, **segundo a DIN, a broca classifica-se em W, H ou N**. Com estes parâmetros determina-se o ângulo de hélice e da ponta e assim selecciona-se a broca.



Por fim é necessário que se verifique o aguçamento dos gumes. Uma broca com os gumes arqueados para frente ou para trás gasta rapidamente, enquanto uma broca com os gumes com comprimentos desiguais gera um furo maior que o desejado.

Outros tipos de brocas

- ↪ Broca de canhão: Representada na imagem "a". Trabalha com um único gume. Apropriada para execução de furos profundos;
- ↪ Broca de ponto: Representada na imagem "b". Utiliza-se antes de utilizar outra ferramenta, pois permite que a ferramenta seguinte entre melhor no material, sem entortar ou danificar o gume de corte;
- ↪ Broca oca: Representada na imagem "c". Utilizada para recortar o núcleo do material;
- ↪ Broca de recortar: Representada na imagem "d". É utilizada para sangrar discos;

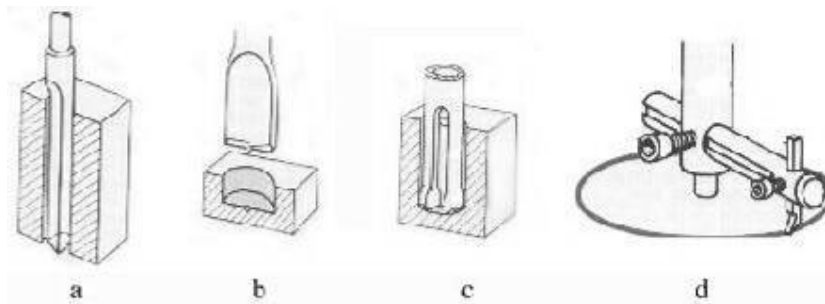


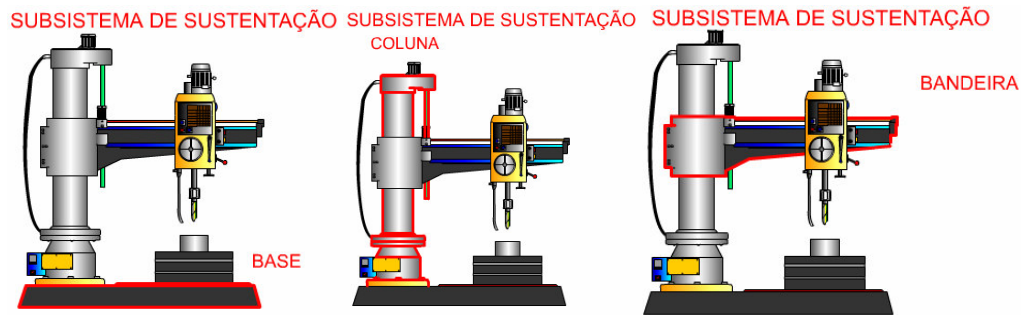
Fig. 80 - Outros tipos de ferramentas.

7.4.3 Subsistemas da furadora

As furadoras apresentam os 5 subsistemas comuns às máquinas actuais. Podem apresentar pequenas diferenças de máquina para máquina mas conservam suas funções.

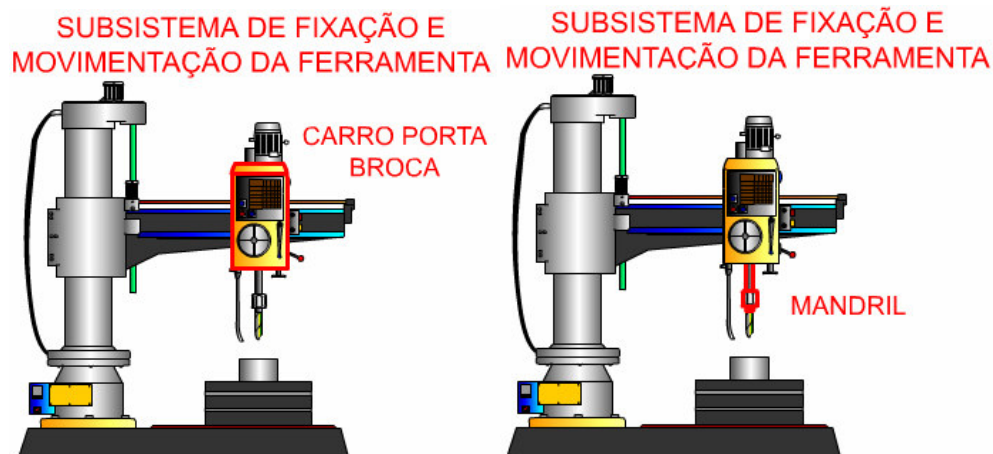
Subsistema de Sustentação

É a estrutura responsável pela sustentação de todos elementos da máquina. Na furadora radial é composto por: base, coluna e bandeira.



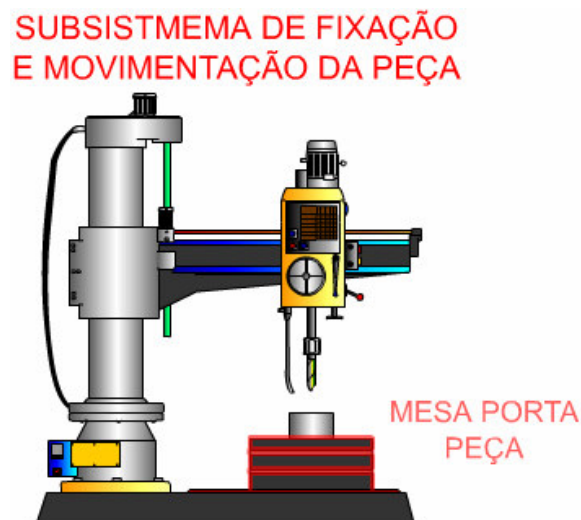
Subsistema de Fixação e Movimentação da Ferramenta

É o conjunto responsável por fixar e movimentar a ferramenta em diferentes direcções. Na furadora radial é composto pelo carro porta ferramenta e pelo mandril.



Subsistema de Fixação da Peça

É responsável pela fixação da peça na máquina. É composto pela mesa porta peça.

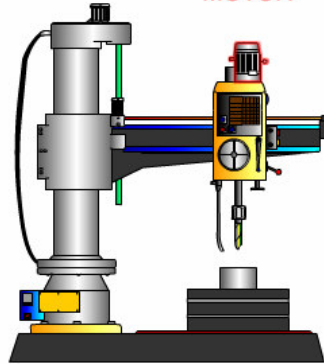




Subsistema de Accionamento Principal

É responsável pelo movimento de rotação da ferramenta. É composto pelo motor e eixos, engrenagens e correias responsáveis pela transmissão do movimento até a caixa variadora principal.

SUBSISTEMA DE ACIONAMENTO PRINCIPAL
MOTOR



Subsistema de Avanço

É responsável pelo movimento automático da ferramenta e suas diferentes velocidades. É composto pela caixa variadora principal.

SUBSISTEMA DE AVANÇO

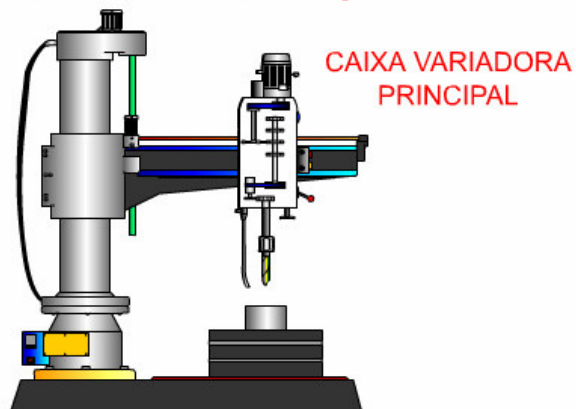


Fig. 81 - Exemplos de peças maquinadas na furadora.

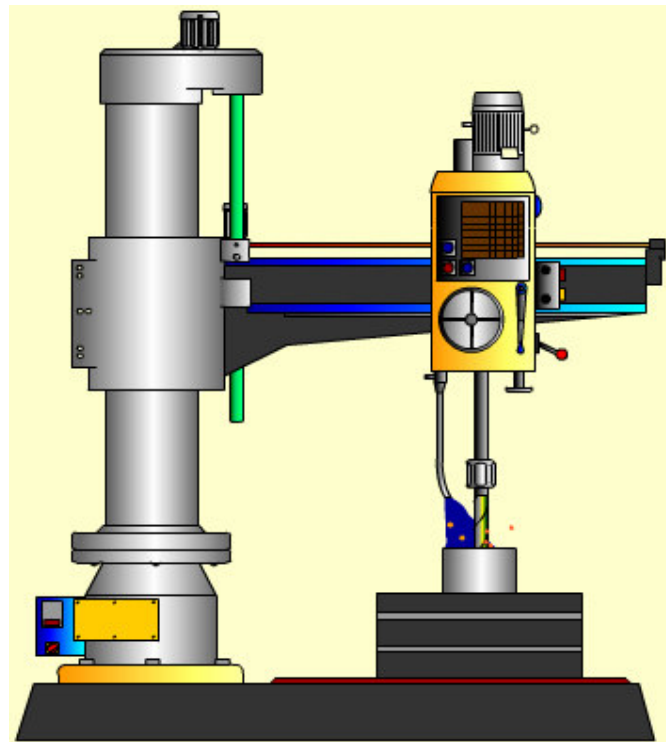


Fig. 82 - Execução de uma peça numa furadora radial.

7.5 Plaina ou limador

Diferença entre a plaina e o limador		
	Plaina	Limador
Tamanho das peças	1 a 20 m	< 800 mm
Produção	Pequenas e médias séries	Pequenas séries ou peças unitárias
Numero de carros porta ferramentas	Possibilidade de mais que um carro	
Movimento de corte	Efectuado pela peça	Efectuado pela ferramenta

Mediante o movimento alternativo de vaivém da ferramenta sobre a superfície plana da peça que está a ser maquinada, procede-se à remoção do material pela formação de apara.

A mesa sobre a qual se apoia a peça, fixando-a, possui apenas o movimento de alimentação.

Compõem-se essencialmente de uma “base”, uma “coluna”, um “êmbolo horizontal” que é dotado de movimento de vaivém e cuja velocidade pode ser



variada, um “cabeçote” que pode ser ajustado mediante movimento vertical, ao qual se fixa o “porta-ferramenta”.

As plainas podem ser acionadas mecânica ou hidráulicamente, de modo que elas são classificadas em plainas mecânicas e plainas hidráulicas. Na plaina mecânica, os movimentos do cabeçote, da mesa e do porta-ferramenta são de transmissão mecânica. Na plaina hidráulica, o motor elétrico aciona uma bomba hidráulica que, por meio de diversos comandos e válvulas, produz os movimentos principais.

As operações usuais realizadas pelas plainas são: facejamento de topo, facejamento lateral, abertura de ranhuras, abertura de degraus, abertura de encaixes reentrantes, etc.

7.5.1 Componentes da plaina

- ↗ Base;
- ↗ Corpo;
- ↗ Mecanismo de avanço automático da mesa;
- ↗ Motor;
- ↗ Alavancas de mudança de velocidade;
- ↗ Alavanca de fixação do cabeçote;
- ↗ Cabeçote móvel;
- ↗ Porta-ferramenta;
- ↗ Guia vertical da mesa;
- ↗ Mesa;
- ↗ Suporte da mesa;
- ↗ Guia transversal da mesa;

7.5.2 Acessórios

- ↗ Chaves fixas;
- ↗ Chaves de fenda;
- ↗ Morsa giratória;
- ↗ Calços e travessas de ferro ou aço para prender peças;
- ↗ Parafusos de vários comprimentos, etc.

7.5.3 Características principais

- ↗ Curso máximo do cabeçote móvel;
- ↗ Deslocamento máximo do movimento vertical;
- ↗ Deslocamento máximo do movimento transversal;
- ↗ Deslocamento máximo do porta-ferramentas;
- ↗ Dimensões da mesa;
- ↗ Potência do motor;
- ↗ Peso total da plaina.



Fig. 83 – Plaina.

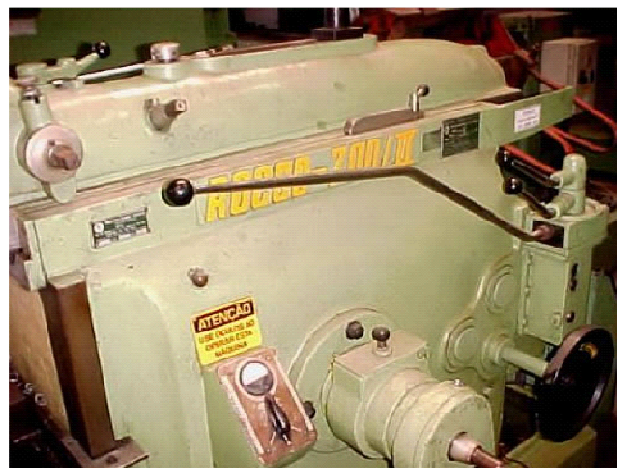


Fig. 84 - Pormenor dos mecanismos de accionamento da plaina.

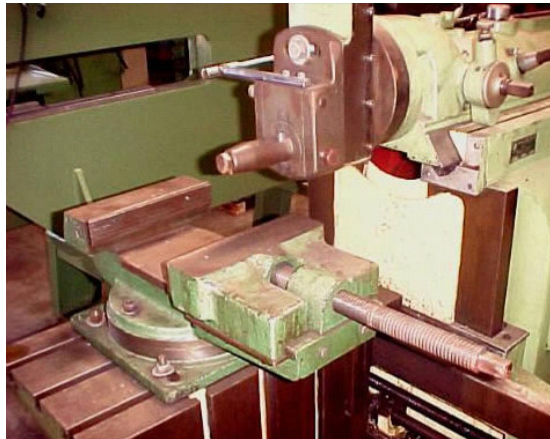


Fig. 85 - Pormenor da mesa da plaina.

7.5.4 Ferramentas

Os ferros ou navalhas de aplainar são fabricados de preferência em aço de corte rápido. Muitas vezes os gumes são constituídos por metal duro.

A forma do gume ou cortante dos ferros escolhe-se de acordo com o trabalho que se tem que executar.

Alguns tipos de ferros:

Ferros de facejar

Devem produzir uma superfície trabalhada de perfeito aspecto. Por esta razão os seus gumes são arredondados ou rectos.

Ferros de desbaste

Têm de levantar em curto tempo a maior quantidade possível de aparas. Para aparas de grandes secções, exige-se uma forma robusta do cortante ou gume.

Outras formas especiais de ferros

São necessárias para a maquinação de peças de formas variadas, ex: ranhuras, perfilados, etc.



7.5.5 Avanço da Ferramenta

O avanço da ferramenta por curso da obra (ou da mesa) depende da do material a maquinar, do acabamento a ser obtido, do tamanho e da resistência mecânica da plaina.

- ↳ Operações de desbaste podem ser executadas com avanços de 3mm a 50mm.
- ↳ Operações de acabamento podem ser executadas com avanços que variam de 0,12mm a 10mm.
- ↳ As profundidades de corte variam de 3mm a 31mm, ou ainda maiores.
- ↳ Quanto maior a profundidade de corte, menor deve ser o avanço para uma mesma máquina (de mesma potência ou capacidade).

7.5.6 Características de uma ferramenta

- ↳ Deve ser de material duro e resistente ao desgaste e à temperatura.
- ↳ Ser rígida e deve estar perfeitamente fixa no suporte.
- ↳ Possuir o gume de corte afiado, de modo a apresentar ângulos próprios à prática, para dar maior rendimento.
- ↳ Possuir acabamento nas superfícies de folga ou de incidência e na sua superfície de saída da apara.

A ferramenta de corte pode ser: tipo monobloco (todo de aço rápido), com pastilha soldada, ou com pastilha de carboneto metálico, etc.

O ângulo de saída da apara também conhecido por ângulo de ataque, que faz com que a apara deslize pela face, pode ser: positivo, nulo ou negativo, conforme as condições do trabalho exigido e do material a ser maquinado.

Para além das pastilhas de carboneto, temos ainda as pastilhas de cerâmica, que são aglomerados de maior dureza e melhor rendimento de corte que os carbonetos metálicos. São constituídas por óxido de alumínio, óxido de cálcio e pequenas porcentagens dos óxido de sódio, de potássio e de silício.



7.5.7 Funcionamento

Tem no lado externo de seu corpo uma caixa de velocidades, contendo várias engrenagens, para aumentar ou diminuir as rotações da engrenagem motora, que acciona os avanços do cabeçote. É accionada por um motor eléctrico acoplado no corpo, que transmite as rotações a uma polia, e esta à caixa de velocidades.

Possui uma mesa, quadrada ou rectangular, tem movimentos longitudinais através de esforço manual ou mecânico; encontra-se sobre um braço, preso por calços ajustáveis ao corpo da máquina, fazendo os movimentos manuais ou mecânicos de subida e descida.

O porta-ferramentas fica na frente do cabeçote, e faz movimentos de subida e descida por esforço manual. Os movimentos circulares são executados por esforço manual.

São máquinas de grande utilização nas oficinas mecânicas, destinadas a cortar, facejar, abrir ranhuras, ângulos, etc.

7.5.7.1 Curso da Mesa

Os pontos entre os quais a mesa, trabalha, ou seja, a posição do curso em relação à peça, assim como o comprimento do curso, são ajustados por deslocamento de limitadores.

O comprimento do curso deve ter 10 a 15 cm mais do que a operação a ser executada na peça. Esse comprimento adicional permite que a ferramenta execute o movimento de avanço durante o tempo em que não se encontra em corte. No desbaste, e geralmente em todos os cortes, o comprimento adicional é dado antes do curso de trabalho (de corte). O avanço da ferramenta deve ser completado antes do contacto da mesma com a peça.

7.5.7.2 Velocidade de corte

Designa-se por velocidade de corte (V_a) o percurso em m/min realizado pelo ferro de aplainar durante o curso útil.

A velocidade durante o curso em vazio denomina-se velocidade de recuo (V_r).



$$\text{Velocidade de corte: } V_a = \frac{\text{comprimento do curso}[\text{mm}]}{\text{tempo gasto no curso útil}[\text{min}]} = \frac{L}{t_a}$$

$$\text{Velocidade de recuo: } V_r = \frac{\text{comprimento do curso}[\text{mm}]}{\text{tempo gasto no curso em vazio}[\text{min}]} = \frac{L}{t_r}$$

OBS.: V_a e V_r são velocidades médias, e não velocidades máximas.

Na prática, na oficina calcula-se em geral com uma velocidade de corte média, resultante de V_a e V_r .

$$V_m = \frac{2 \times V_a \times V_r}{V_a + V_r}$$

No início do curso a velocidade de corte é nula. Depois aumenta até obter o valor máximo V_a a meio do curso, decresce novamente até atingir o valor zero no final do curso. O mesmo sucede com a velocidade de recuo que é maior.

7.5.8 Exemplo de maquinagem numa plaina

7.5.8.1 Aplinar horizontalmente superfície plana

É a operação mecânica que se executa através do deslocamento transversal da peça fixa na mesa. Esta operação é executada para se obter superfícies de referência e se possibilitar futuras operações em peças como: réguas, bases, guias e barramentos das máquinas.

Processo de execução

1º passo – Prender a peça

- ↳ Limpar a mesa da máquina;
- ↳ Fixar a peça na mesa da máquina e aperte suavemente;

2º passo – Prender a ferramenta



- ↳ Colocar o suporte da ferramenta no porta-ferramentas e apertar os parafusos;
- ↳ Fixar a ferramenta de desbaste no suporte.

3º passo – Preparar a máquina

- ↳ Aproximar a ponta da ferramenta, deixando-a mais ou menos 5 mm acima da superfície a aplainar;
- ↳ Regular o curso da ferramenta;
- ↳ Determinar o número de passagens;
- ↳ Lubrificar a máquina.

4º passo – Aplainar a superfície

- ↳ Ligar a máquina;
- ↳ Aproximar a ferramenta da peça até fazer contacto com a superfície que vai ser aplainada;
- ↳ Parar a máquina, deixando a ferramenta fora da peça;
- ↳ Deslocar a mesa até que o material fique livre do corte da ferramenta;
- ↳ Tirar referência, rodar e fixar o anel graduado em zero;
- ↳ Dar a profundidade de corte;
- ↳ Regular o avanço automático;
- ↳ Ligar a máquina e aproximar lateralmente a peça da ferramenta até fazer contacto;
- ↳ Engate o avanço automático;
- ↳ Pare a máquina ao obter a superfície aplainada.

Observação: Para se obter uma superfície bem acabada, dê o último passe com uma ferramenta de facejar reduzindo o avanço.

7.5.8.2 Aplainar superfície plana em ângulo

É obter uma superfície plana em ângulo, produzida pela acção de uma ferramenta submetida a dois movimentos: um alternativo e outro de avanço manual. Este último é produzido por meio do carro porta-ferramenta inclinado em relação a uma superfície determinada.

Pode-se também realizar esta operação por meio de um aplainamento horizontal, fixando-se a peça na mesa com uma inclinação.



Observações

- ↪ Inclina-se a ferramenta no sentido contrário ao da inclinação do carro, para evitar que a ferramenta danifique a superfície trabalhada;
- ↪ Posicione a ferramenta;
- ↪ Regule a profundidade de corte;
- ↪ Para a obtenção de ângulos por meio de aplainamento horizontal, a peça deve ser fixa na mesa, verificando-se o paralelismo da linha de referência.

7.5.9 Cuidados especiais

- ↪ Antes de ligar a máquina, rodar com cuidado para ter a certeza de que, nem o cabeçote nem a mesa, batem em qualquer coisa.
- ↪ A máquina não deve ser limpa com ar comprimido, a remoção das aparas deve ser feita com uma vassoura pequena.
- ↪ Não se devem efectuar medições com a máquina em funcionamento.
- ↪ Mantenha as manivelas e chaves bem ajustadas.
- ↪ Utilize as velocidades de corte e avanço de acordo com o material que vai trabalhar e o material da ferramenta.
- ↪ Mantenha sempre a máquina bem lubrificada.
- ↪ Mude o óleo nos períodos recomendados, conservando-o sempre no nível.
- ↪ Limpe a máquina no fim de cada período de trabalho.

7.6 Rectificadora

Normalmente, este tipo de maquinagem é posterior ao torneamento e ao fresamento, para um melhor acabamento de superfície. O metal deixado para o processo de rectificação é de 0,2 a 0,5 mm, porque a rectificadora é uma máquina de custo elevado e a sua utilização encarece o produto.



Mas, se o objectivo é produzir dimensões com precisão e baixa rugosidade, recomenda-se, após a fresamento, o torneamento e a furação, dar acabamento às peças recorrendo à rectificadora.

A rectificação é um processo de maquinagem por abrasão que rectifica a superfície de uma peça.

Rectificar significa corrigir irregularidades de superfícies de peças.

Assim, a rectificação tem por objectivo:

- ↳ Reduzir rugosidades ou saliências e reentrâncias de superfícies maquinadas com máquinas-ferramenta, como furadora, torno, plaina, fresadora;
- ↳ Dar à superfície da peça a precisão necessária, de modo que se possa obter peças semelhantes, permitindo a substituição de umas pelas outras;
- ↳ Rectificar peças que tenham sido deformadas ligeiramente durante um processo de tratamento térmico;
- ↳ Remover camadas finas de material endurecido por têmpera ou cementação.

7.6.1 Conceitos e equipamentos

Os materiais ou peças geralmente precisam ser submetidos a tratamento térmico de têmpera para serem rectificados.

7.6.1.1 Classificação

Há basicamente três tipos de rectificadora: a plana, a cilíndrica universal e a cilíndrica sem centros (center less). Quanto ao movimento, em geral as rectificadoras podem ser manuais, semi-automáticas e automáticas. No caso da center less, ela é automática, pois trata-se de uma máquina utilizada para a produção em série.

Rectificadora plana

- ↳ Rectifica todos os tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.



- ↳ A peça é presa a uma placa magnética, fixa à mesa da rectificadora.
- ↳ Durante a maquinagem, a mesa desloca-se num movimento rectilíneo da direita para a esquerda e vice-versa, fazendo com que a peça ultrapasse o contacto com a peça em aproximadamente 10 mm.
- ↳ Há deslocamento transversal da mesa. O movimento transversal junto com o movimento longitudinal permitem alcançar toda a superfície a ser maquinada.
- ↳ O valor do deslocamento transversal depende da largura da peça.
- ↳ A rectificadora plana pode ser tangencial de eixo horizontal e de topo de eixo vertical.

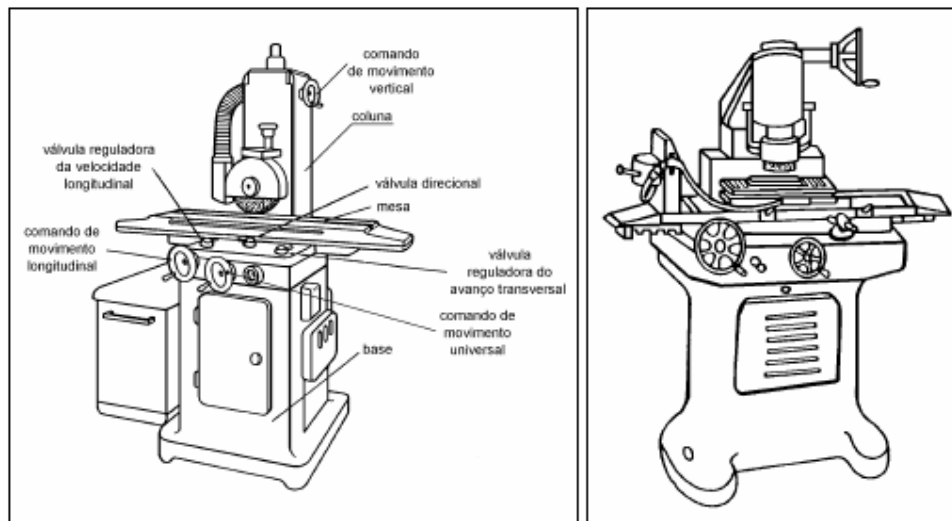


Fig. 86 - Rectificadora plana tangencial e plana vertical.

Rectificadora cilíndrica universal

A rectificadora cilíndrica universal rectifica superfícies cilíndricas, externas ou internas.

A peça é fixa, por exemplo, a uma placa universal como a utilizada no torno, que é dotada de um movimento de rotação. A mó com movimento de rotação entra em contacto com a peça e remove o material.

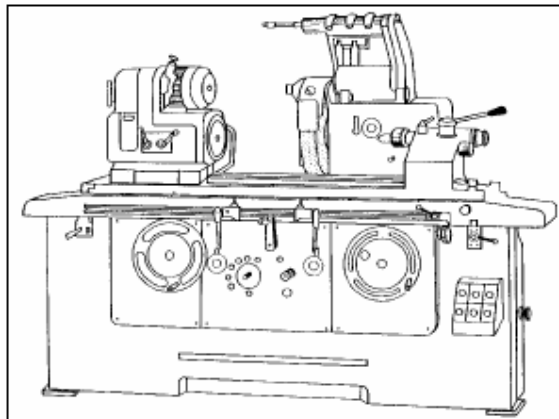


Fig. 87 - Rectificadora cilíndrica universal.

Rectificadora sem centros (center less)

Esse tipo de rectificadora é muito utilizado na produção em série. A peça é conduzida pela mó e pelo disco de arraste.

O disco de arraste roda devagar e serve para imprimir movimento à peça e para produzir o avanço longitudinal. Por essa razão, o disco de arraste possui inclinação de 3 a 5 graus, que é responsável pelo avanço da peça.

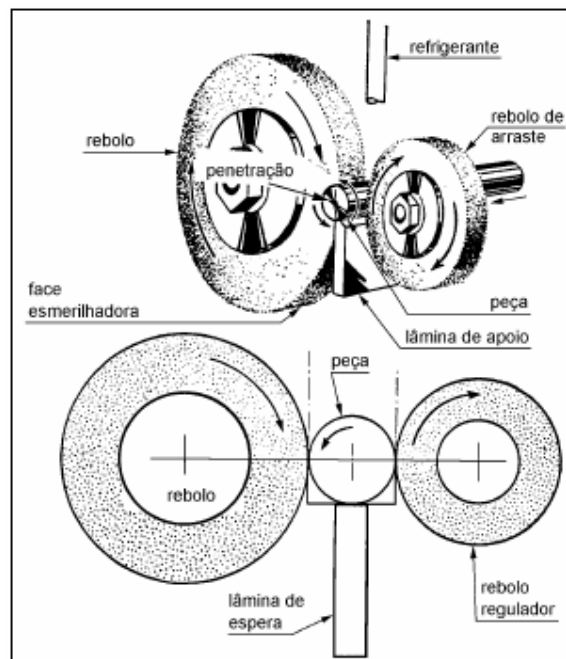


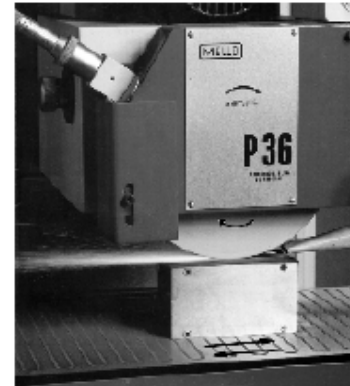
Fig. 88 – Rectificadora sem centros.



7.6.2 Mó

A ferramenta de corte utilizada na rectificadora é a mó, cuja superfície é abrasiva, ou seja, apresenta-se constituída de grãos de óxido de alumínio ou de carboneto de silício, entre outros.

Por isso, a maquinagem com mó é designada como um processo de maquinagem por abrasão.



Trata-se do mesmo sistema empregue pelo dentista quando ele utiliza um instrumento com rotação com uma espécie de lixa redonda para limpar ou polir os dentes.

O desgaste do material a ser maquinado é muito pequeno, porque a mó arranca aparas minúsculas durante a operação de corte, quando a aresta dos grãos abrasivos incide sobre a peça.

O ângulo de ataque desses grãos é geralmente negativo, figura seguinte.

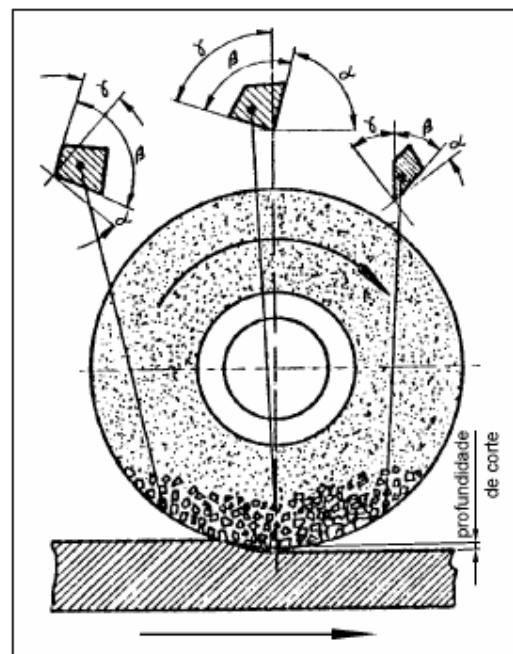




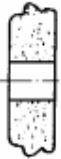



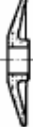
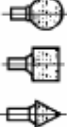
Fig. 89 - Mó com ângulo de ataque negativo.

A mó apresenta cinco elementos a serem considerados:

- ↪ Abrasivo – material que compõe os grãos da mó;
- ↪ Granulometria – tamanho dos grãos abrasivos;
- ↪ Aglomerante – material que une os grãos abrasivos;
- ↪ Grau de dureza – resistência do aglomerante;
- ↪ Estrutura – porosidade do disco abrasivo.

Existem vários tipos e formas da mó, adequados ao trabalho de rectificação que se deseja fazer e, principalmente, à natureza do material a ser rectificado.

Tabela 2 – Formas e aplicações das mós.

Forma	Aplicação	Forma	Aplicação
 disco reto	Afição de brocas e ferramentas diversas	 copo reto	Afição de fresas frontais, fresas de topo, fresas cilíndricas, machos, cabeçotes porta-bits.
 perfilado	Peças perfiladas	 copo cônico	Afição de fresas angulares, rebaixadores, broca de 3 e 4 arestas cortantes, fresas frontais, fresas de topo.
 disco	Afição de machos, brocas	 segmentos	Retificação plana de ataque frontal no faceamento de superfícies.
 prato	Afição de fresas de forma, fresas detalonadas, fresas cilíndricas, fresas frontais, fresas de disco.	 pontas montadas	Ferramenta de corte e estampos em geral.

Para que a superfície rectificada apresente boa tolerância dimensional e bom acabamento, é necessário ter em conta o tipo de material a maquinar, o tipo de trabalho a ser feito e o tipo de granulometria e o aglomerante da mó.



Quanto à velocidade da mesa, existem as seguintes relações:

Material mole	Maior velocidade da mesa
Material duro	Menor velocidade da mesa

Quanto à dureza da mó:

Material mole	Mó dura
Material duro	Mó mole

Quanto à estrutura:

desbaste	Estrutura aberta
acabamento	Estrutura fechada

Rugosidades são irregularidades micrométricas que se formam na superfície da peça, durante o processo de maquinagem.

Na rectificação, elas podem ser causadas por folgas nos eixos, irregularidades no movimento da mesa, desbalanceamento da mó e granulometria do abrasivo, entre outras causas. Observe no quadro abaixo a relação entre rugosidade (R_a), granulometria do abrasivo e a profundidade de corte da mó.

12,5 √	Granulação	40 a 60
	Profundidade	10 a 30 μm
6,3 √	Granulação	80 a 100
	Profundidade	5 a 15 μm
0,8 √	Granulação	200 a 300
	Profundidade	1 a 8 μm