

MANUAL DO ALUNO

# DISCIPLINA CONSTRUÇÕES MECÂNICAS

Módulos 4 e 5

República Democrática de Timor-Leste  
Ministério da Educação



## FICHA TÉCNICA

### TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE CONSTRUÇÕES MECÂNICAS

Módulo 4 a 5

### AUTOR

NUNO BOAVIDA

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA

XXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO



PEDRO VIEGAS, COORDENADOR DO CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA

EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE

2015



## Índice

<b>Retificação.....</b>	<b>7</b>
<b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>	<b>8</b>
APRESENTAÇÃO .....	8
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....	8
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....	8
<b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b>	<b>9</b>
<b>RETIFICAÇÃO .....</b>	<b>10</b>
RETIFICADORAS .....	10
RUGOSIDADE .....	16
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>17</b>
<b>PREPARAÇÃO DA MÁQUINA .....</b>	<b>18</b>
ESCOLHA E PREPARAÇÃO DAS MÓS .....	18
TIPOS DE ABRASIVOS.....	19
CLASSIFICAÇÃO DO ABRASIVO QUANTO AO TAMANHO E SIMBOLOGIA.....	20
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>28</b>
<b>RETIFICAÇÃO PLANA.....</b>	<b>31</b>



RETIFICAR SUPERFÍCIE PLANA .....	34
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>37</b>
<b>RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA.....</b>	<b>39</b>
RETIFICAR SUPERFÍCIE CILÍNDRICA.....	39
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>45</b>
<b>Introdução à Eletroerosão .....</b>	<b>49</b>
<b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>	<b>50</b>
APRESENTAÇÃO .....	50
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....	50
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....	50
<b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b>	<b>51</b>
<b>MAQUINAÇÃO POR ELETROEROSÃO.....</b>	<b>52</b>
PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	54
ELETROEROSÃO POR FIO .....	56
ELÉTRODO .....	57
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>59</b>
<b>MÁQUINA DE EROSAO.....</b>	<b>61</b>
ESCOLHA DO ELÉTRODO .....	62



LIMPEZA DO DIELÉTRICO .....	63
AJUSTE DA POLARIDADE.....	63
PREPARAÇÃO DA MÁQUINA.....	64
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>69</b>







# Retificação

## Módulo 4

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo dar aos alunos conhecimentos de materiais e ferramentas necessários ao trabalho de montagem e ajustagem e à operação de máquinas-ferramenta convencionais ou CNC.

## OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

Regular e operar com as máquinas-ferramenta, convencionais ou CNC, tendo em vista o fabrico de peças unitárias ou em série, executando as operações de maquinação relacionadas com a retificação.

## ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Montagem e equilibragem de mós
- Retificação plana em esquadria
- Retificação de rasgos
- Retificação cilíndrica exterior e interior
- Retificação cónica exterior e interior
- Retificação de perfis





# BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

CASILLAS, A.L., Máquinas – Formulário Técnico, Editora Mestre JOU.

SODANO, E., Manual do Fresador Mecânico, Coleção Manuais Técnicos – Editorial  
Presença.

SILVA, F. M. Ferreira, Tecnologia de Serralheiros – Ensino Técnico Profissional.

Telecurso 2000 – Processos de Fabricação.



# RETIFICAÇÃO

A retificação é um processo de maquinação por abrasão que retifica a superfície de uma peça. Retificar significa corrigir irregularidades de superfícies de peças.

Assim, a retificação tem por objetivo:

- Reduzir rugosidades ou saliências e rebaixos de superfícies usinadas com máquinas-ferramenta, como furadeira, torno, plaina, fresadora;
- Dar à superfície da peça a exatidão de medidas que permita obter peças semelhantes que possam ser substituídas umas pelas outras;
- Retificar peças que tenham sido deformadas ligeiramente durante um processo de tratamento térmico;
- Remover camadas finas de material endurecido por têmpera, cementação ou nitruração.

## RETIFICADORAS

A retificadora é uma máquina empregada na maquinação de peças para dar às suas superfícies uma exatidão maior e um melhor acabamento do que os conseguidos em máquinas convencionais. Os materiais ou peças geralmente precisam ser submetidos a tratamento térmico de têmpera para serem retificados.

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

### *Retificadora Plana*

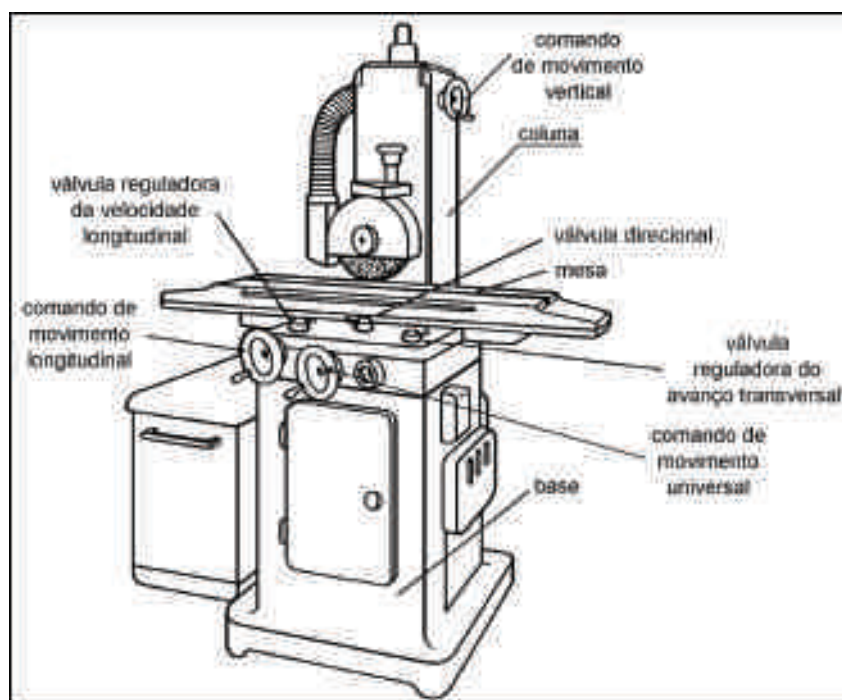
Este tipo de máquina retifica todos os tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

Na retificadora plana, a peça é presa a uma placa magnética, fixada à mesa da retificadora. Durante a maquinação, a mesa desloca-se num movimento retilíneo da direita para a esquerda e vice-versa, fazendo com que a peça ultrapasse o contato com a mó

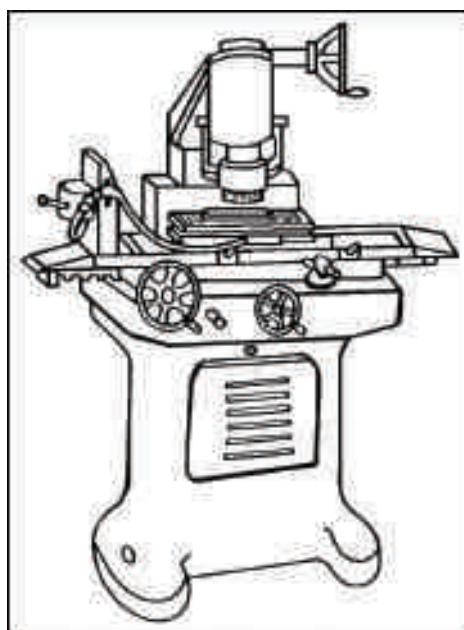


em aproximadamente 10 mm. Há também o deslocamento transversal da mesa. O movimento transversal junto com o movimento longitudinal permitem uma varredura da superfície a ser maquinada. O valor do deslocamento transversal depende da largura da mó.

A retificadora plana pode ser tangencial de eixo horizontal e de topo de eixo vertical.



*Figura 1 - Retificadora plana tangencial*

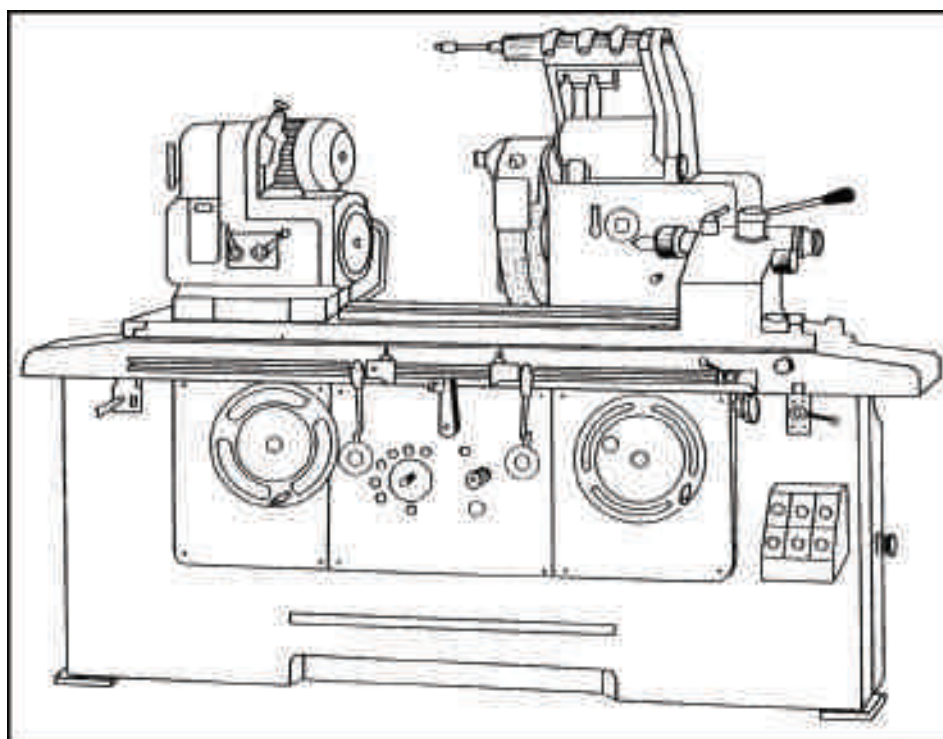


*Figura 2 - retificadora plana vertical.*



### *Retificadora Cilíndrica Universal*

A retificadora cilíndrica universal retifica superfícies cilíndricas, externas ou internas e, em alguns casos, superfícies planas em eixos rebaixados que exijam facejamento.



*Figura 3 - retificadora cilíndrica universal.*

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 em movimento de rotação entra em contacto com a peça e remove o material.

### *Retificadora Sem Centros (Center Less)*

Esse tipo de retificadora é muito usado na produção em série. A peça é conduzida pela mó e pelo disco de arrasto.

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



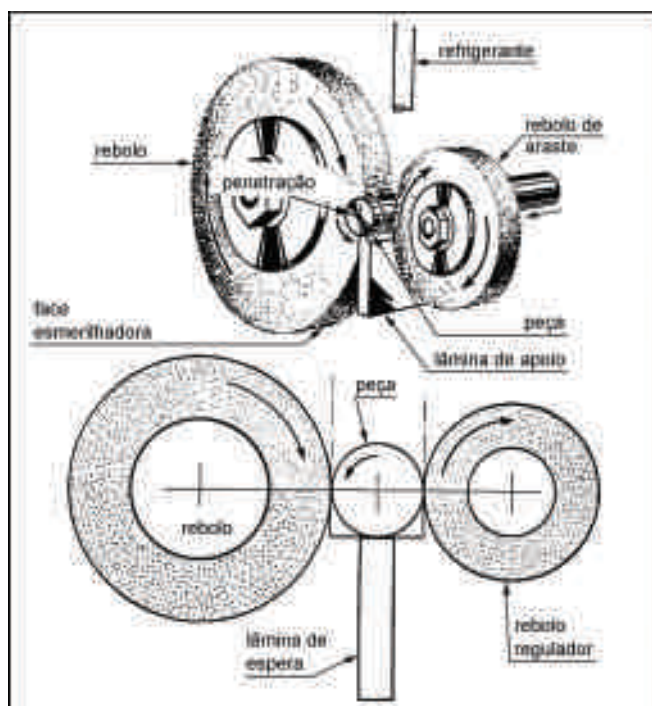


Figura 3 - Retificadora sem centros (center less).

## Mó

A ferramenta de corte utilizada na retificadora 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 maquinação com mó é designada como um processo de maquinação por abrasão. Trata-se do mesmo sistema empregado pelo dentista quando ele utiliza um instrumento giratório com uma espécie de lixa redonda para limpar ou polir os nossos dentes.



Figura 4 – Mó.



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

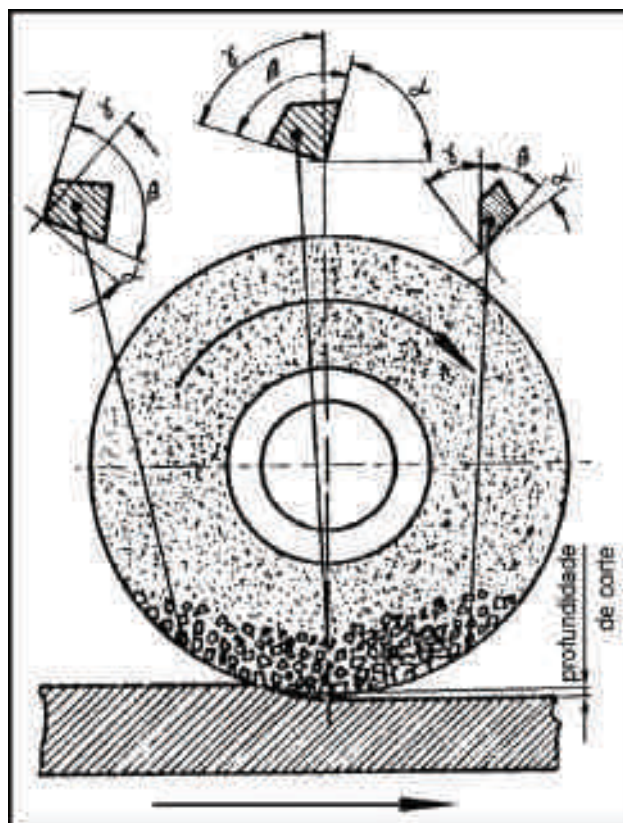


Figura 5 - Mó (ângulo de ataque negativo).

O ângulo de ataque desses grãos é geralmente negativo, como mostra a figura 5.

A mó apresenta cinco elementos a serem considerados:

- Abrasivo – material que compõe os grãos da mó;
- Granulação – 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 de mó, adequados ao trabalho de retificação que se deseja fazer e, principalmente, à natureza do material a ser retificado, como se mostra na figura 6.



Tabela - Formas e aplicações dos rebolos



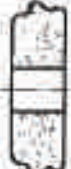





Forma	Aplicação	Forma	Aplicação
 disco reto	Afição de brocas e ferramentas diversas	 copo reto	Afição de fresas frontais, fresas de topo, fresas cilíndricas, machos, cabeçotes porta-bits.
 perfilado	Peças perfiladas	 copo cônico	Afição de fresas angulares rebaixadores, broca de 3 e 4 arestas cortantes, 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.

Figura 6 – Formas e aplicações das mós.

Para que a superfície retificada apresente exatidão dimensional e bom acabamento, é necessário levar em conta o tipo de material a maquinar, o tipo de trabalho a ser feito e o tipo de granulação e o aglomerante da mó. Por exemplo para a retificação de aço não temperado, temos os seguintes valores:

Tipo de trabalho	Tipo de granulação	Tipo de aglomerante
Desbaste	Grossa	Vitrificado
Semi-acabamento	Média	Vitrificado
Retificação fina	Fina	Resinóide, borracha, goma-laca, vitrificado



O aglomerante vitrificado, utilizado na maioria das mós fabricadas, está entre 70% e 80% do total.

Quanto à velocidade da mesa, existem as seguintes relações:

- material mole: maior velocidade da massa;
- material duro: menor velocidade da mesa;
- mó de liga vitrificada: baixa velocidade (até 33 m/s);
- mó de liga resinóide: alta velocidade (até 45 m/s)

Quanto à dureza da mó:

- material mole: mó dura
- material duro: mó mole

Quanto à estrutura:

- desbaste: estrutura aberta
- acabamento: estrutura fechada

### RUGOSIDADE

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

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

12,5 ▽	Granulação	40 a 60
	Profundidade	10 a 30 $\mu\text{m}$
6,3 ▽	Granulação	80 a 100
	Profundidade	5 a 15 $\mu\text{m}$
0,8 ▽	Granulação	200 a 300
	Profundidade	1 a 8 $\mu\text{m}$





# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Assinale a resposta certa.

O sobremetal deixado para o processo de retificação é:

- 2 a 4 mm;
- 1 a 2 mm;
- 0,8 a 1 mm;
- 0,2 a 0,5 mm;
- 0,02 a 0,05 mm.

**EXERCÍCIO 2.** Assinale a resposta certa.

A máquina que maquina peças por meio de uma ferramenta abrasiva dando exatidão de medidas e bom acabamento denomina-se:

- fresadora;
- Engenho de furar;
- retificadora;
- serra de corte.

**EXERCÍCIO 3.** Assinale a resposta certa.

A ferramenta de corte da retificadora é denominada:

- mesa de seno;
- base;
- coluna;
- mó.

**EXERCÍCIO 4.** Assinale a resposta certa.

Para retificar superfícies planas, usa-se geralmente a retificadora:

- circular;
- cilíndrica;
- plana;
- cônica



# PREPARAÇÃO DA MÁQUINA

A retificação é um dos processos de maquinação por abrasão. Basicamente, a retificação visa corrigir as irregularidades de superfícies de peças ou materiais submetidos a operações antecedentes.

Mas, seja qual for o objetivo da retificação, é preciso preparar a retificadora antes de iniciar a operação.

Os procedimentos de preparação da retificadora referem-se à escolha e balanceamento da mó, a sua montagem na máquina retificadora e às medidas de segurança que devem ser adotadas pelo operador.

## ESCOLHA E PREPARAÇÃO DAS MÓS

Os fabricantes de mós adotam um código internacional, constituído de letras e números para indicar as especificações da mó, conforme se mostra a seguir.

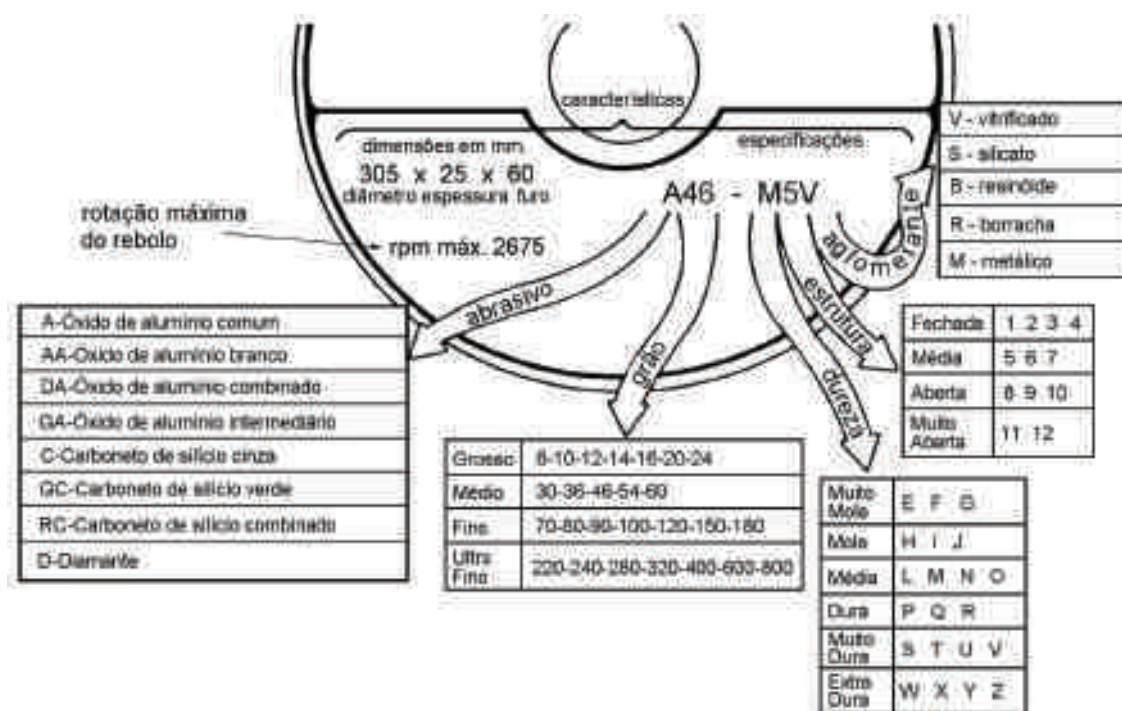


Figura 1 – Propriedades das mós.

Para a escolha da mó são levados em conta: abrasivos, grãos, dureza, estrutura e aglomerantes.



## TIPOS DE ABRASIVOS

Atualmente, são utilizados no fabrico das mós grãos abrasivos obtidos artificialmente, já que os de origem natural deixaram de ser aplicados pelo seu alto custo. Os principais são: Óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) - Obtido a partir do mineral denominado bauxite por um processo de redução, apresenta-se em duas qualidades segundo o critério de pureza conseguida na sua elaboração:

- Óxido de alumínio comum (A) - De cor acinzentada, com pureza química em torno de 96-97%, e tendo como principal característica a sua alta tenacidade, a qual se presta nos casos de retificação de materiais que tenham elevada resistência à tração;
- Óxido de alumínio branco (AA) - Com 99% de pureza, distingue-se pela sua cor, geralmente branca, e com propriedades semelhantes ao óxido de alumínio comum, porém devido a sua pureza e forma de obtenção (cristalizado) torna-se mais quebradiço. Por isso, é empregado em retificações que requerem nível baixo de calor, gerado entre a mó e a peça, e ao mesmo tempo boa qualidade de acabamento em superfície com menor tempo de execução. Como exemplo podemos citar aços-ligas em geral.

**Carboneto de silício** (SiC) - Obtido indiretamente por meio da reação química de sílica pura com carvão coque em fornos elétricos. Este tipo de abrasivo apresenta maior dureza que os óxidos de alumínio sendo, conseqüentemente, mais quebradiço. É utilizado em materiais de baixa resistência à tração, porém, de elevada dureza. Como exemplo temos: vidros, porcelanas, ferros fundidos (tratados ou não superficialmente), plásticos, alumínio e carbonetos (metal duro).

Estes abrasivos podem ser reconhecíveis, também, pela coloração: **pretos e verdes**, sendo este último utilizado nas afiações de ferramentas de metal duro; por serem mais quebradiços que os pretos não alteram a constituição do metal duro.

**Carboneto de boro** ( $B_4C$ ) - Com características superiores aos anteriores, é pouco empregado na fabricação de mós. É utilizado mais frequentemente em forma de bastonetes para retificação de ferramentas, devido ao seu alto custo.



**Diamante** - Material mais duro encontrado na natureza, é utilizado em estado natural ou sintético na elaboração de mós para lapidação.

### *CLASSIFICAÇÃO DO ABRASIVO QUANTO AO TAMANHO E SIMBOLOGIA*

O tamanho do grão (grana) é determinado por meio do peneiramento. O peneiramento é feito através de peneiras sucessivas, com um certo número de malhas por polegada linear.

Por exemplo, tamanho de grão 80, significa que foi obtido através de uma peneira cujo lado tem 1/80 de polegada (aproximadamente 0,32 mm). A tabela a seguir mostra os tipos de grão utilizado.:

Muito grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito Fino	Pó
6	16	36	100	280	600
8	20	46	120	320	700
10	24	54	150	400	800
12	30	60	180	500	1000
14		(70)	220		1200
		80	240		1600

#### **Simbologia do grão abrasivo**

A - Óxido de alumínio comum

AA - Óxido de alumínio branco

C - Carboneto de silício preto

GC - Carboneto de silício verde

DA - Mistura de 50% de óxido de alumínio comum com 50% de óxido de alumínio branco

D - Diamantado (C)

Qualquer outro símbolo anexado aos mencionados determinam aperfeiçoamento das fábricas produtoras de grão ou mós.



## *Aglomerante ou Liga*

Como já foi dito, o elemento aglomerante do abrasivo permite que a ferramenta mantenha a sua forma e resistência, dando-lhe condições de fazer o trabalho desejado e desprender o grão quando ele perder as suas características de corte. A proporção e qualidade da liga bem como o abrasivo determinam a dureza e grau de porosidade, exigidos pelo tipo de retificação.

As ligas mais utilizadas são:

- Vitrificadas (V): feitas à base de mistura de feldspato e argila, são as mais utilizadas, pois não sofrem ataque ou reação química pela água, óleo ou ácidos. São usadas nas máquinas retificadoras com velocidade periférica de no máximo 35 m/s.
- Resinóides (R): são feitos com base em resinas sintéticas (fenólicas) e permitem a construção de mós para serviços pesados com cortes frios e em alta velocidade, que nunca deve superar 80 m/s.
- Borracha (R): utilizada em aglomerante de ferramentas abrasivas para corte de metais e em mós transportadoras das retificadoras sem centro (center less).
- Goma-laca (E) e Oxidoretos (O): atualmente em desuso e só aplicada em trabalhos que exijam cortes extremamente frios em peças desgastadas.

Simbologia das principais ligas:

V = Vitrificadas

V = Vitrificadas

E = Goma-laca

E = Goma-laca

B = Resinóides

B = Resinóides

## *Grau de Dureza*

O grau de dureza de uma mó é a medida do poder de retenção dos grãos abrasivos pelo aglomerante. Uma mó muito dura retém seus grãos até depois destes terem perdido a capacidade de corte. Uma mó muito mole perde os seus grãos antes de estes terem executado inteiramente o trabalho. No caso da maquinação de materiais que tendem a empastar a mó, deve-se usar uma mó mole, que solte os grãos com mais facilidade.



## Estrutura

Estrutura é o grau de compactação dos grãos abrasivos na mó e refere-se também à sua porosidade.



Figura 2 – Estrutura.

## Balanceamento da Mó

Depois de escolher a mó, é preciso balanceá-la, para que fique bem equilibrada, evitando vibrações na retificadora e permitindo a obtenção de superfícies de acabamento fino.

Vamos ver, de modo geral, como se balanceia uma mó.

Primeiro, é preciso verificar se a mó está fissurada. Para isso, é preciso suspender a mó pelo furo e submetê-la a pequenos e suaves golpes, dados com um macete ou cabo de chave de fenda.

Se a mó não estiver fissurada, esta produzirá um leve som “metálico”. Se tiver fissuras, o som será “apagado”. Neste caso, a mó deve ser substituído por outra em bom estado.



Figura 3 – Teste de fissuras.

As mós possuem um “rótulo” de papel em suas laterais. Esses “rótulos” não devem ser retirados, pois servem para melhorar o assentamento dos flanges, visto que no processo



de fabricação da mó, as superfícies ficam irregulares. No momento do aperto dos flanges, sem o rótulo pode ocorrer má fixação ou até mesmo a quebra da mó.

Em seguida, a mó deve ser montado sobre o flange. Coloca-se o flange superior de maneira a que os dois flanges sejam unidos com parafusos de fixação.



Figura 4 – Fixação da mó por parafusos.

A mó, assim preparado, é colocado sobre o eixo de balanceamento e o conjunto mó-eixo é assente sobre as réguas do dispositivo de balanceamento.

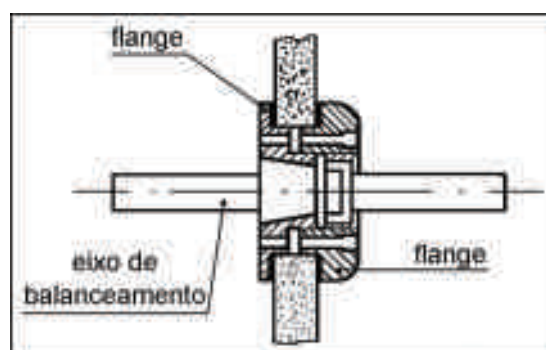
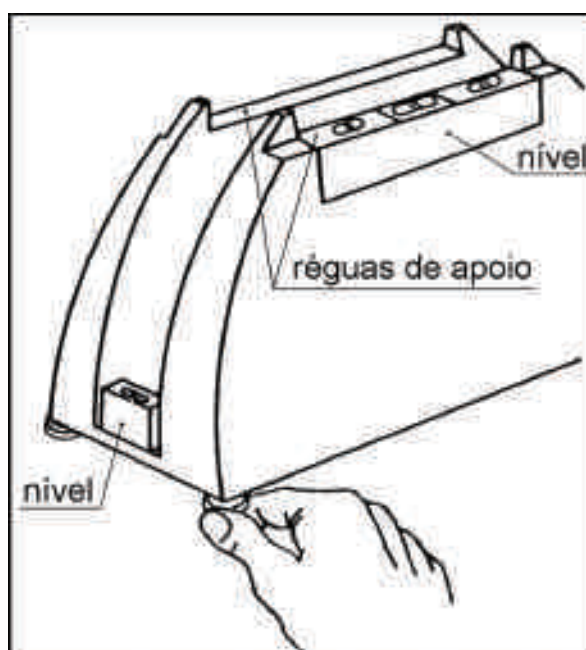


Figura 4 – Mó sobre o eixo de balanceamento.

O dispositivo de balanceamento deve estar nivelado, para que a inclinação das réguas de apoio não influencie no balanceamento da mó. As flanges possuem ranhuras onde são colocados contrapesos para balancear a mó. É como balancear a roda de um carro em que são colocados pequenos pesos.

Figura 5 - Dispositivo de balanceamento.



Esses pequenos pesos podem ser movimentados dentro da ranhura. Se um lado da mó estiver mais pesado, esta vai girar ao ser colocada com o eixo de balanceamento sobre as réguas do dispositivo.

Movimentamos os três contrapesos a fim de equilibrá-los. Quando o peso estiver equilibrado, a mó ficará parada em três posições diferentes, a 120°, uma em relação à outra. Nesse momento, o balanceamento está concluído.

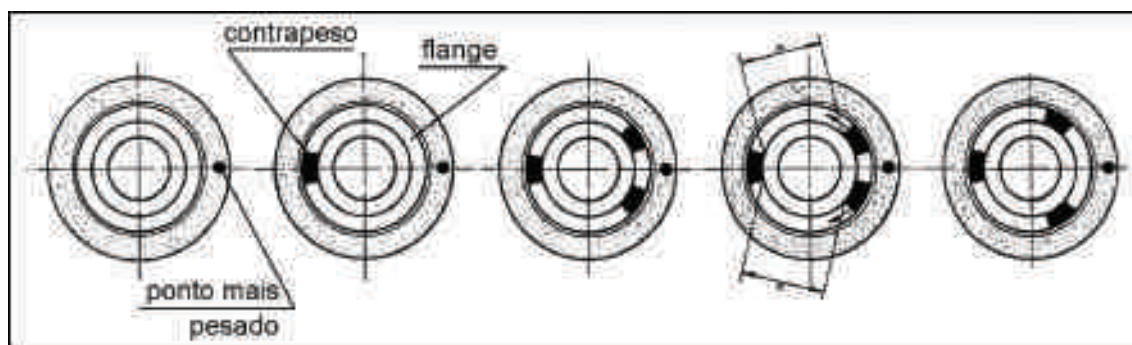


Figura 6 – Balanceamento da mó.

Antes de iniciar uma retificação de peças é necessário retificar a mó para melhorar as seguintes características: planicidade, concentricidade e superfície cortante. Esta O primeiro passo consiste em fixar bem a mó no eixo da retificadora da máquina. Neste momento, deve-se observar também a folga radial, que não deve ultrapassar 0,005 mm, e a folga axial, a qual não deve ser maior que 0,02 mm. Em seguida, fixamos o diamante de retificação na mesa da retificadora, geralmente com uma placa magnética.

Liga-se a mó e faz-se com que ele tangencie o diamante. Nesse momento, é preciso ter muito cuidado, pois a posição do diamante em relação à mó não deve permitir que esta “puxe” o diamante para baixo de si. Caso contrário, isso pode provocar a sua fratura e trazer riscos para o operador.

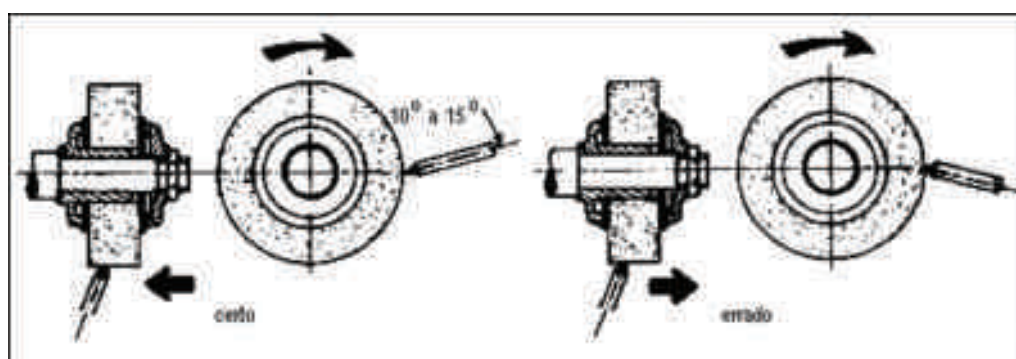


Figura 7 – Retificação da mó.





A mó é passada inúmeras vezes pelo diamante, com pequenas profundidades de corte e com movimentos lentos de avanços transversais da mesa. As profundidades são de aproximadamente 0,02 mm para o desbaste e 0,05 mm para o acabamento.

Para evitar aquecimento excessivo das peças submetidas à operação, deve-se usar fluido de corte em abundância sobre o diamante e a mó.

Outro fator importante a ser considerado na preparação da retificadora consiste na determinação da velocidade de corte da mó e do movimento da máquina.

A velocidade de corte da mó é de grande importância e depende do tipo do aglomerante. Numa velocidade muito baixa, haverá desperdício de abrasivo e pouco rendimento do trabalho. Uma velocidade muito alta pode causar fratura da mó.

Geralmente, as máquinas têm rotações fixas que correspondem à velocidade de corte ideal. De modo geral, na prática, são adotadas as seguintes velocidades, segundo o aglomerante:

<b>Aglomerante</b>	<b>Velocidade de corte</b>
Vitrificado	até 33 m / s
Resina	até 45 m / s
Borracha	até 35 m / s
Metálico	até 30 a 35 m / s

Quanto à velocidade da mó, também deve ser considerado o seguinte:

- Quanto mais alta a velocidade da mó em relação à velocidade da peça, menor deve ser o grau do aglomerante;
- Os aglomerantes orgânicos (resinóide, borracha, goma-laca) devem ser empregados para velocidades mais altas.

Para manter uma mó na velocidade periférica, e se sua máquina permitir, aumente progressivamente a rotação por minuto (rpm). Com isso você evita o desgaste excessivo da mó.

Deve-se empregar sempre a velocidade indicada pelo fabricante para cada tipo de mó.



### *Prevenção de Acidentes*

Na maquinação por abrasão os acidentes são, em geral, causados pela quebra das mós. Este fato se deve a várias causas: ocorrência de fissuras durante o transporte ou armazenamento das mós, montagens defeituosas; excesso de velocidade no trabalho, pressão demasiada em mós de pouca espessura, contacto muito brusco da mó com a peça a retificar, uso de uma mó muito dura, etc.

Por isso, são necessárias as seguintes medidas preventivas: antes de qualquer operação, verificar se a mó está em bom estado e se é adequada ao serviço a ser feito; limpar bem a mó e evitar choques e pressões excessivas sobre sua superfície não a partir.

Para prevenir ferimentos, o operador deve observar os seguintes procedimentos:

- Ao iniciar a rotação, ficar de lado e não em frente da mó;
- Usar óculos de proteção;
- Em caso de maquinação a seco, ajustar um coletor de aspiração de pó junto ao protetor e usar máscara contra pó, para evitar inalação de poeira, prejudicial ao aparelho respiratório;
- Usar luvas durante trabalhos em que a peça for guiada manualmente. O atrito da mó produz aquecimento da peça que pode queimar a mão;
- Em relação à máquina: dobrar o volante antes de ligar o movimento automático de avanço; não usar roupas soltas; no caso de aparelhagem elétrica, usar um estrado de madeira para isolar o operador;
- Não empilhar mós, pois estas podem empenar ou partir. Além disso, o armazenamento deve ser em local apropriado, como mostra a figura 9.



*Figura 8 – Prevenção de acidentes.*



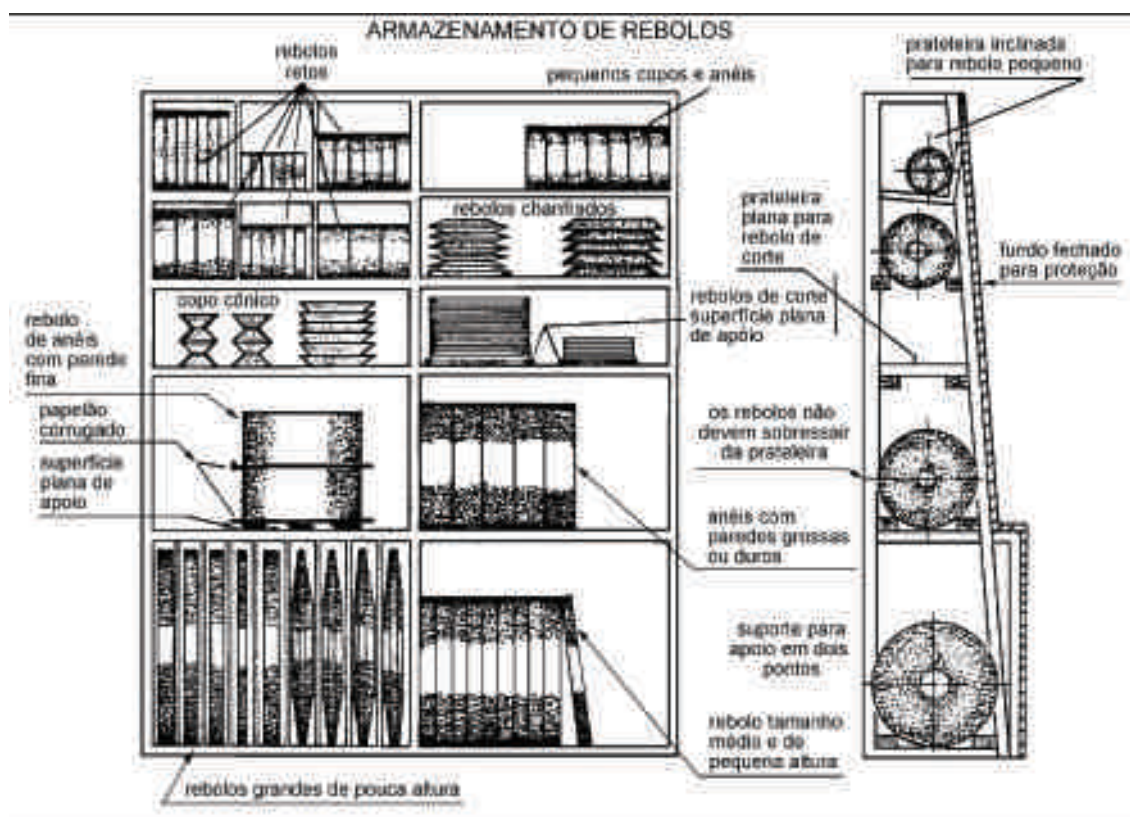


Figura 9 – Armazenamento de mós.

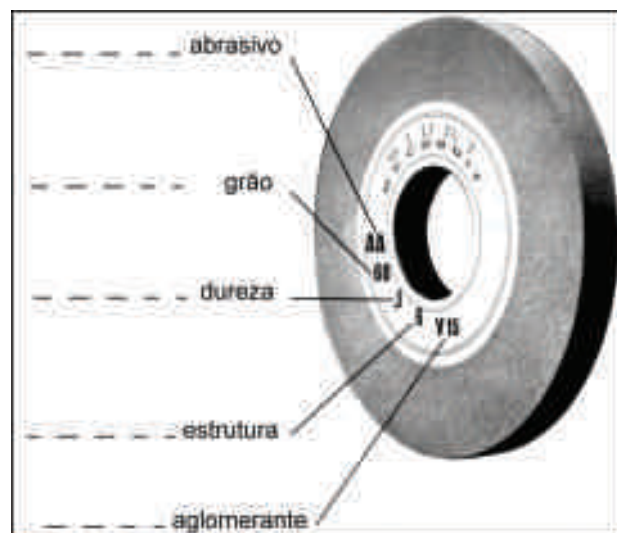
Em caso de acidente, o operador deve proceder do seguinte modo:

- Declarar o acidente, relatando como ele ocorreu, o movimento, o lugar e as testemunhas;
- Apenas permitir a retirada de limalhas dos olhos por pessoa competente, de preferência, médico;
- No caso de queimaduras, limpar a ferida com água oxigenada ou com álcool, fazer um penso húmido e consultar logo o médico.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Complete a figura.



**EXERCÍCIO 2.** Assinale a resposta certa.

A operação de retificação requer, em primeiro lugar, a seguinte operação:

- retificar a peça;
- preparar a máquina;
- desbastar a peça;
- preparar o diamante.

**EXERCÍCIO 3.** Assinale a resposta certa.

A escolha da mó deve basear-se em especificações estabelecidas pelos:

- vendedores;
- clientes;
- supervisores;
- fabricantes.

**EXERCÍCIO 4.** Assinale a resposta certa.

As mós podem se apresentar nas seguintes formas:

- retos, prato, anel, copo;
- inclinados, anel, círculo, copo;



- copo, verticais, círculo, aro;
- prato, aro, retos, inclinados.

**EXERCÍCIO 5.** Assinale a resposta certa.

A mó é construída por:

- pedra e cristal;
- abrasivo e aglomerante;
- pós e cola;
- pedregulhos e goma.

**EXERCÍCIO 6.** Assinale a resposta certa.

O material que une os grãos abrasivos denomina-se:

- cola;
- cera;
- aglomerante;
- goma.

**EXERCÍCIO 7.** Assinale a resposta certa.

A preparação da mó consta de:

- balanceamento e retificação;
- tratamento térmico e torneamento;
- fresagem e trefilação;
- fixação e verificação dos grãos.

**EXERCÍCIO 8.** Assinale a resposta certa.

Durante a retificação da mó, é necessário reduzir o aquecimento do diamante e da mó com abundante:

- água;
- óleo;
- fluido de corte;
- fluido de aquecimento.



**EXERCÍCIO 9.** Assinale a resposta certa.

A velocidade de corte da mó deve ser adequada ao tipo de:

- corte;
- aglomerante;
- abrasivo;
- retificadora.

**EXERCÍCIO 10.** Assinale a resposta certa.

Para mós de alta velocidade, deve-se usar aglomerado:

- artificial;
- misto;
- natural;
- orgânico.



# RETIFICAÇÃO PLANA

Vimos que, conforme as operações que fazem, as máquinas retificadoras podem ser classificadas em planas, cilíndricas universais e center less.

As retificadoras planas retificam peças com quaisquer tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

Conforme a posição do eixo porta-mós em relação à superfície da mesa da retificadora, a retificadora plana pode ser **tangencial de eixo horizontal** e de **topo de eixo vertical**.

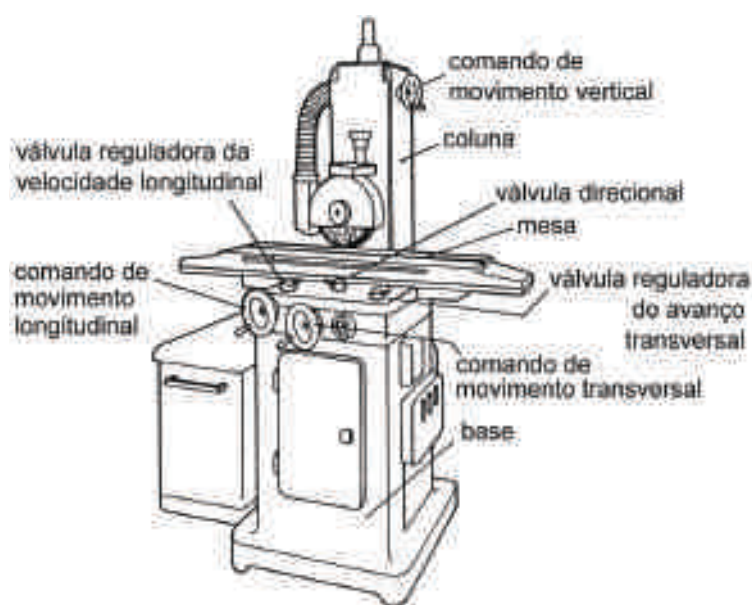


Figura 1 - Retificadora plana tangencial.

Na retificadora plana tangencial de eixo horizontal utiliza-se uma mó cilíndrica (tipo reto plano). Na retificadora vertical utiliza-se uma mó tipo copo ou anel, cuja superfície de corte tem, na sua parte plana, a forma de coroa circular. Além disso, é também utilizada uma mó de segmentos.

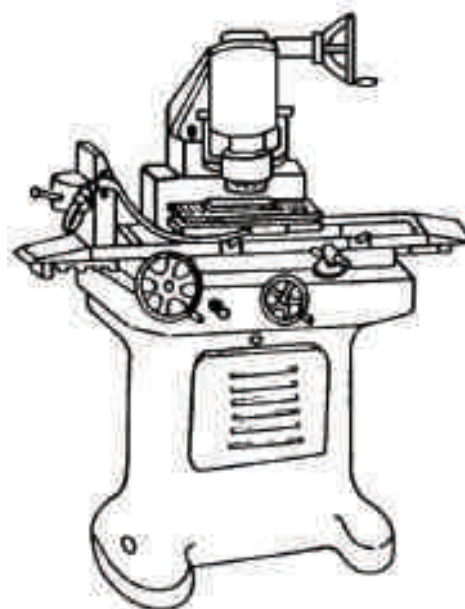


Figura 2 – Retificadora vertical.



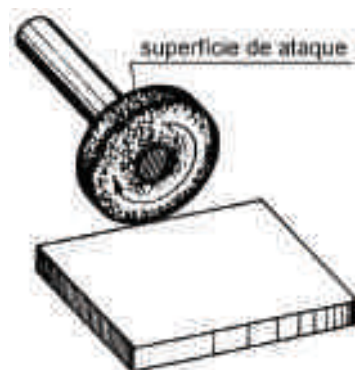


Figura 3 – Mó cilíndrica reta.

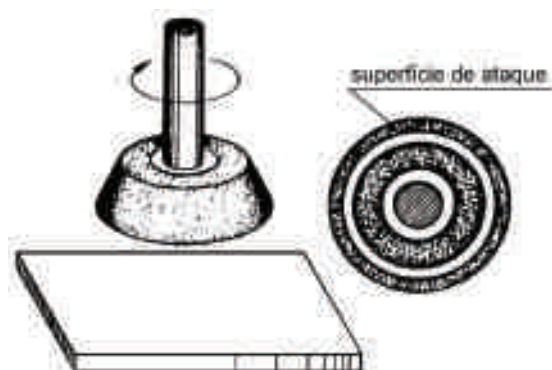


Figura 4 – Mó tipo copo.

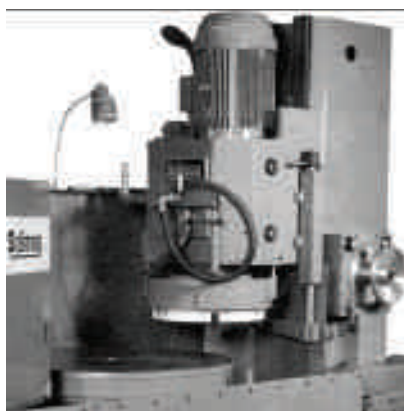


Figura 5 – Mó de segmento e mesa circular.

Após a preparação da máquina: limpeza, balanceamento, fixação da mó escolhido e retificação da mó, inicia-se a operação de retificação.

Vamos ver como é feita a operação de retificação plana. Antes, porém, é preciso aprender como fixar a peça na retificadora plana.







*Figura 6 – Fixação com transpassadores.*

Há várias formas de fixar a peça. esta pode ser fixa diretamente à mesa, ou pode ser fixada com transpassadores, no caso de peças de formato irregular.

Outro modo de fixar a peça à mesa da retificadora é por meio de uma mesa de seno magnética. Em geral, é utilizada na maquinação de superfícies inclinadas.



*Figura 7 – Fixação em mesa de seno magnética.*

É possível também fazer a fixação da peça à mesa por meio de uma morsa retificada. Trata-se de uma forma de fixação utilizada na retificação de materiais não-ferrosos.



*Figura 8 – Fixação em torno.*



Além dessas, uma das fixações mais comuns é a feita por meio de placas magnéticas. Trata-se de uma fixação utilizada para retificar peças de materiais ferrosos, que têm a propriedade de serem atraídos por ímãs. As placas magnéticas podem ter forma prismática (retangular) e cilíndrica.



Figura 9 – Placa prismática (retangular).



Figura 10 – Placa cilíndrica.

### RETIFICAR SUPERFÍCIE PLANA

Esta operação é feita com mais frequência na retificadora plana tangencial que possibilita um fino acabamento nas superfícies de peças como bases, réguas etc.

Como medida de segurança, o operador deve usar óculos de proteção e máscara contra pó, no caso de retificação a seco. Também, deve manter as mãos afastadas da mó em movimento para evitar acidentes.

Durante a retificação da mó deve-se ter o seguinte cuidado: o fluido de corte deve cobrir sempre a área de contacto do diamante com a mó. Após a sua retificação, é necessário limpar a superfície da placa magnética com panos não felpudos, de modo a não deixar resíduos do pó abrasivo. Em seguida, coloca-se o bloco, suavemente, sobre a placa magnética. A superfície do bloco a ser retificada deve ficar para cima.



Fixa-se a peça na placa magnética e aproxima-se a mó da superfície a ser maquinada, movimentando o cabeçote manualmente, mas sem tocar a peça, conforme mostra a figura 11.

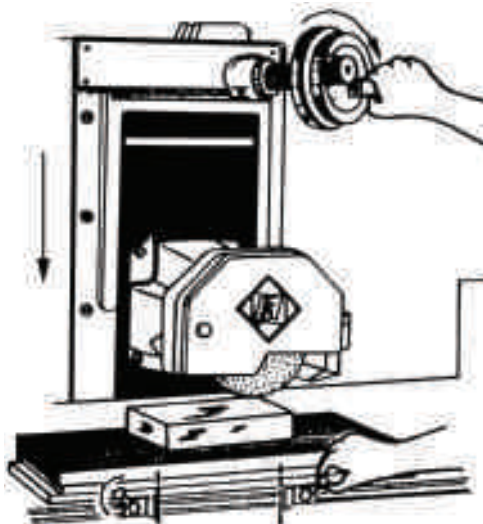


Figura 11 – Mó passando os extremos.

A seguir, desloca-se a mesa manualmente até a mó sobrepassar a peça no seu comprimento total, numa distância aproximada de 10 mm de cada lado. Após isso, aperta-se firmemente os limitadores e coloca-se a mó em funcionamento, mantendo-se o operador de lado para não se magoar.

Quando a mó entrar em funcionamento, aciona-se o movimento da mesa de modo que a mó entre em contato com a parte mais alta da superfície do bloco. Leva-se o anel graduado a zero.

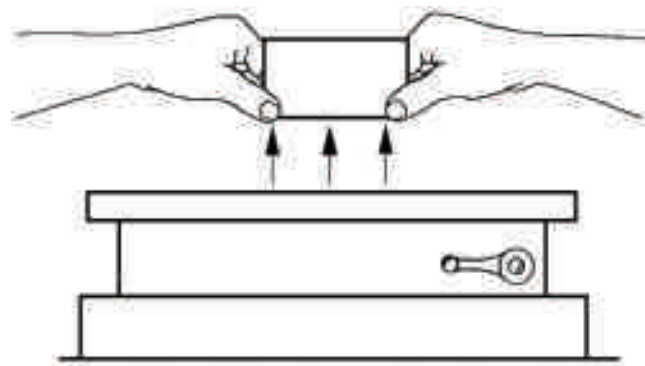
Desloca-se a mesa na posição transversal e longitudinal até que o bloco fique livre da mó. Dá-se a profundidade de corte e regula-se o valor do avanço transversal da mesa por passada. Esse valor depende da largura da mó.

Na prática, usa-se  $1/3$  da largura da mó para a retificação de desbaste e  $1/10$  da largura para retificação de acabamento.

Retifica-se a peça. Quando a superfície do bloco estiver com o acabamento desejado, desliga-se a máquina e retira-se o bloco para conferir as medidas. deve-se ter o cuidado de retirar o bloco só depois que a mó estiver **totalmente parada**.

Retira-se o bloco sem arrastá-lo sobre a placa magnética para que a superfície retificada e a mesa não sejam danificadas.





*Figura 12 – Retirar o bloco da mesa.*



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Assinale a resposta certa.

Na retificadora plana tangencial de eixo horizontal, utiliza-se mó:

- cónico;
- triangular;
- cilíndrico (tipo reto plano);
- retangular;
- tipo copo ou anel.

**EXERCÍCIO 2.** Assinale a resposta certa.

Na retificadora vertical, utiliza-se mó:

- cilíndrico (tipo reto plano);
- cónico;
- circular;
- tipo copo (anel) ou de segmentos;
- triangular.

**EXERCÍCIO 3.** Assinale a resposta certa.

A preparação da máquina para retificação consta de:

- limpeza, balanceamento e retificação da mó;
- especificação da mó;
- fixação da mó no suporte;
- teste da mó.

**EXERCÍCIO 4.** Assinale a resposta certa.

A operação de retificar consta de atrito da mó na:

- mesa da retificadora;
- superfície da peça;
- superfície da placa magnética;
- estrutura da peça.



**EXERCÍCIO 5.** Assinale a resposta certa.

Para retificar uma superfície plana inclinada, de material ferroso, fixa-se a peça por meio de:

- mesa de seno magnética;
- placas magnéticas;
- mesa da retificadora;
- torno de bancada.



# RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA

A retificadora cilíndrica universal é uma máquina utilizada na retificação de todas as superfícies cilíndricas, externas ou internas de peças. Em alguns casos, esta máquina retifica, também, superfícies planas que necessitam de facejamento.

## RETIFICAR SUPERFÍCIE CILÍNDRICA

Essa operação tem a finalidade de dar fino acabamento a superfícies de peças cilíndricas, com exatidão de medidas. O operador deve usar óculos de proteção e, no caso de retificar a seco, máscara contra pó. São medidas de segurança que o protegem de possíveis acidentes.

As superfícies cilíndricas externas que podem ser retificadas nesse tipo de máquina são ilustradas nas figuras a seguir.

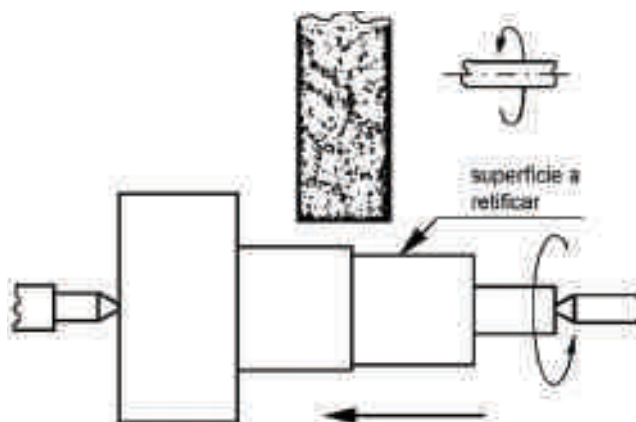


Figura 1 - superfície cilíndrica escalonada sem canal de saída.

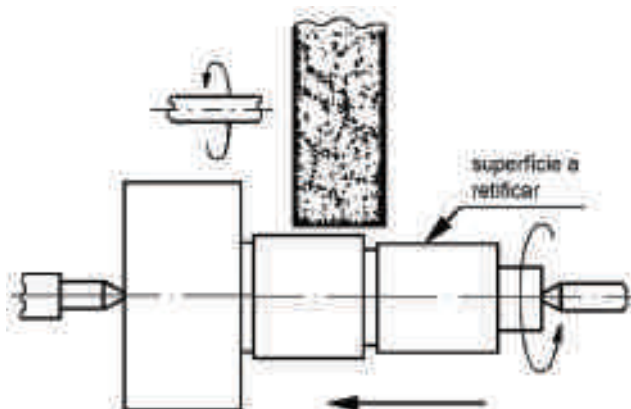


Figura 2 - Superfície cilíndrica escalonada com canal de saída.



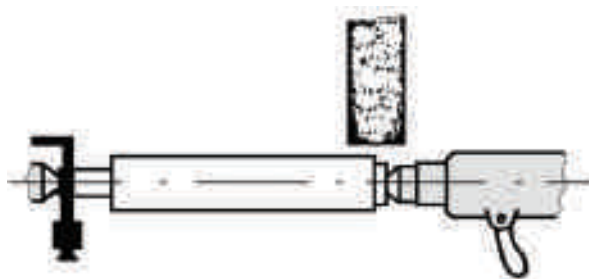


Figura 3 - Superfície cilíndrica passante.

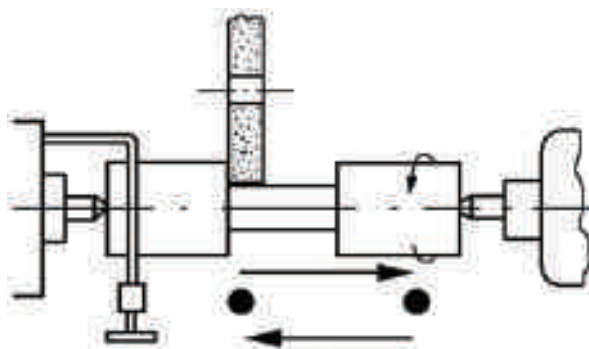


Figura 4 - Superfície cilíndrica com reflexos sem saída.

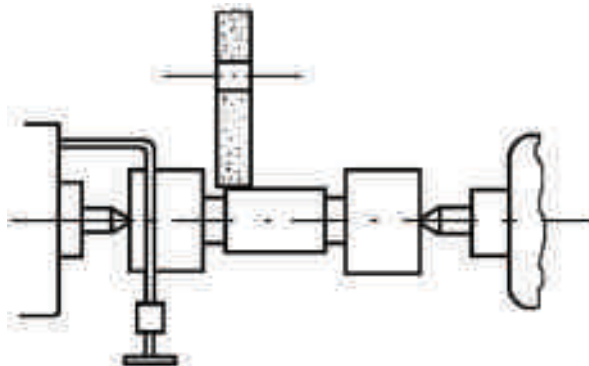


Figura 5 - Superfície cilíndrica com rebaixos com saída.

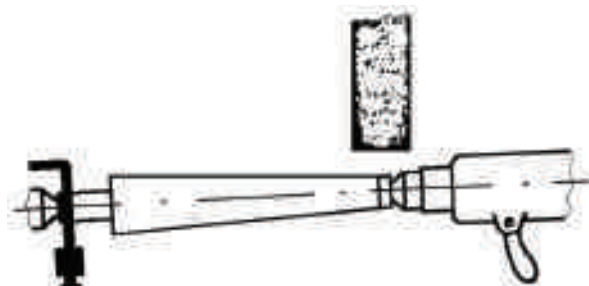


Figura 6 - Superfície cônica.





Nas figuras anteriores, pode-se observar que algumas peças apresentam um canal para saída da mó. Este canal pode ter várias formas, mas a norma DIN estabelece dois tipos básicos: E e F, como se pode ver na figura 7.

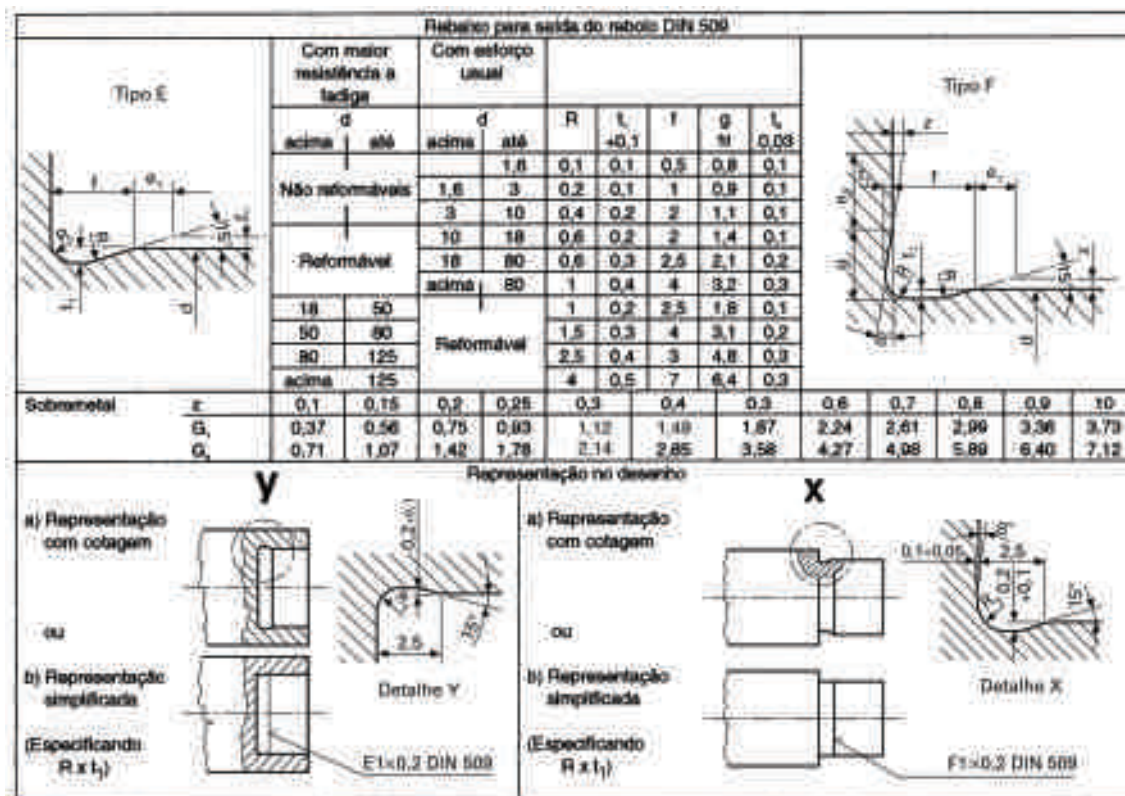


Figura 6 – Dimensões dos canais.

As figuras 7 e 8 mostram tipos fixação de peças.

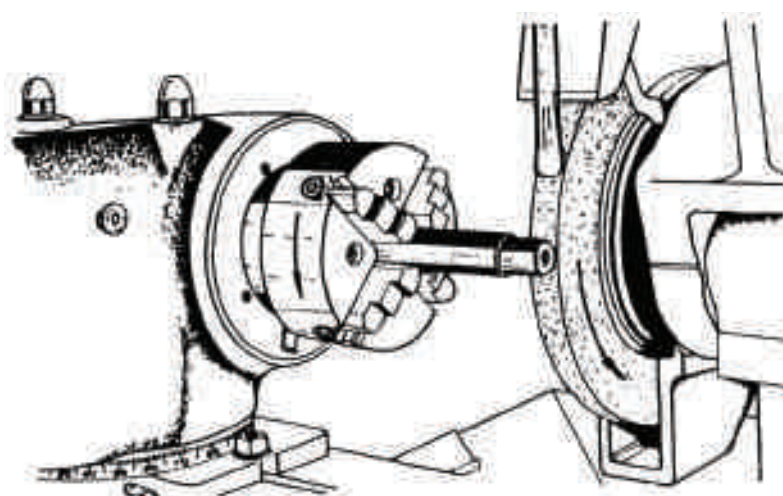
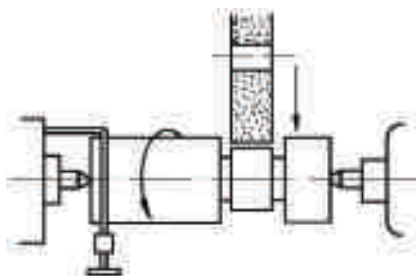


Figura 7 - Em balanço (para peças de pequeno comprimento e que não podem ter furos de centro).

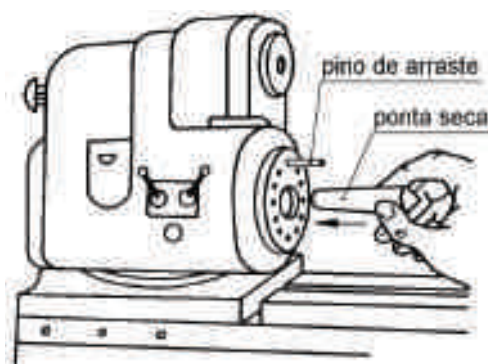




*Figura 8 - Entre pontas com placa de arraste (para peças de grande comprimento, ou peças com rebaixos).*

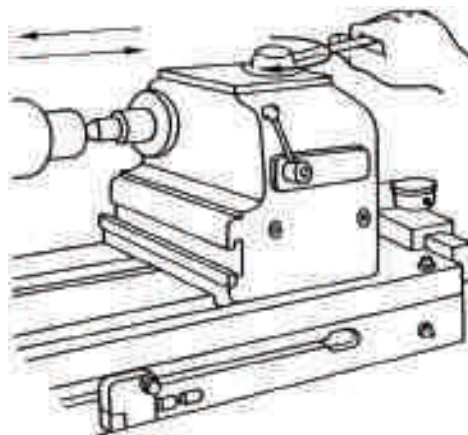
Vamos supor que se pretende retificar um eixo cilíndrico de aço com superfície cilíndrica passante. Como já viu em capítulos anteriores, o primeiro passo deve ser a seleção, balanceamento e retificação da mó.

Preparada a mó, fixa-se a peça entre pontas. Para isso, monta-se a ponta “seca” no cabeçote porta-peças e o pino de arraste na placa lisa, como se mostra na figura 9.



*Figura 9 – Fixação da peça.*

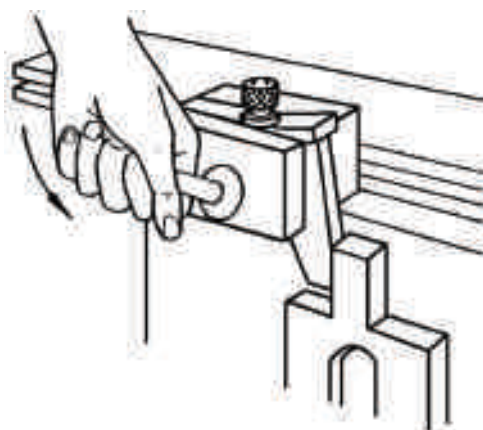
Em seguida, monta-se o cabeçote contraponto. Na montagem deve verificar-se, antes, se a mesa e a base do dispositivo contraponto estão limpos. Essa limpeza é necessária para evitar o desalinhamento da peça.



*Figura 10 – Verificar o contraponto.*

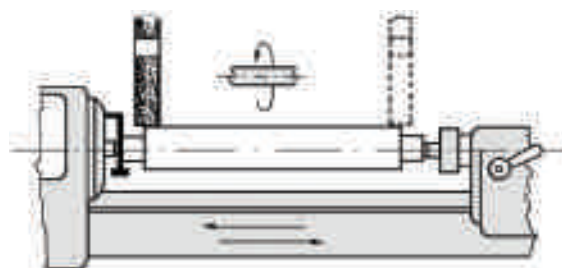


A seguir, fixa-se a peça entre pontas. Lubrifica-se com graxa os contactos do contraponto e da ponta com a peça para evitar gripagem. Depois, é preciso regular o curso do deslocamento longitudinal da mesa. A regulação é feita por meio dos limitadores de curso da mesa e tem a finalidade de evitar que a mó bata no arrastador e no contraponto.



*Figura 11 – Regulação do curso.*

É preciso ter cuidado para que a mó não ultrapasse mais de  $\frac{1}{3}$  de sua largura nas extremidades da peça. Esse procedimento pode ser feito sem que a mó esteja em movimento.

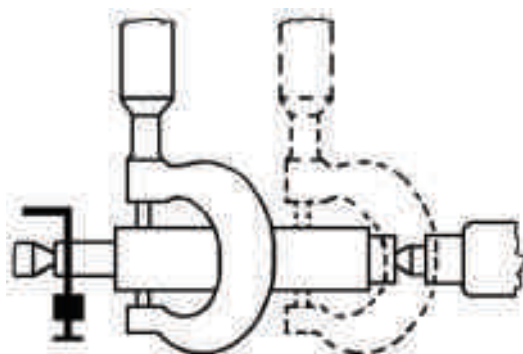


*Figura 12 – Regulação do curso.*

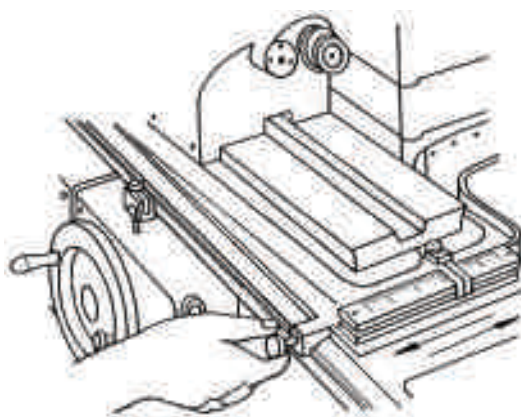
O passo seguinte consiste em regular o paralelismo da peça em relação à mó. Para isso, você deve-se ligar a mó e o cabeçote porta-peças em movimento de rotação. Encosta-se a mó na peça cuidadosamente, marcando o zero no o anel graduado de penetração da mó.

Após esse passo, faz-se uma pequena penetração da mó e liga-se o avanço transversal da mesa, dando-se tantos passes quantos forem necessários para limpar a superfície da peça que, depois de limpa, permite medir as suas duas extremidades para corrigir o paralelismo da peça.





*Figura 13 – Medindo as extremidades.*



*Figura 14 – Corrigindo o paralelismo.*

Após a correção do paralelismo do eixo, dá-se mais uma passagem da mó no eixo, com corte de pequena profundidade. Mede-se o eixo novamente e verifica-se se o paralelismo foi corrigido. Se foi feita a correção, maquina-se o eixo com passagens sucessivas até que este fique de acordo com a dimensão desejada. Se se verificar que a correção não foi feita, faz-se novamente e repete-se os passes quantas vezes forem necessários.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Assinale a resposta certa.

As superfícies cilíndricas externas podem ser do seguinte tipo:

- cónicas, com rebaixos flexíveis;
- passantes, escalonadas com canal de saída e sem saída;
- com rebaixos sem saída, recortada;
- onduladas, curvas, cónicas;
- planas, côncavas ou convexas.

**EXERCÍCIO 2.** Assinale a resposta certa.

Peças de pequeno comprimento e que não podem ter furos de centro são fixadas em:

- placa lisa;
- placa e ponta;
- entre pontas;
- placas de arraste;
- balanço.

**EXERCÍCIO 3.** Assinale a resposta certa.

Peças de grande comprimento são fixadas em:

- balanço;
- entre pontas;
- entre pontas com placa de arraste;
- placa e ponta;
- placa lisa



**EXERCÍCIO 4.** Assinale a resposta certa.

Para evitar gripagem das peças, é preciso:

- secar bem as peças;
- o contacto das pontas com a peça;
- limpar a mesa;
- arrefecer as contrapontos;
- evitar contacto das peças.

**EXERCÍCIO 5.** Assinale a resposta certa.

Depois de limpar a superfície do eixo maquinado é preciso medir suas duas extremidades para verificar o seguinte:

- a correção do paralelismo do eixo;
- a rugosidade da peça;
- o acabamento do eixo;
- o comprimento do eixo;
- a espessura do eixo.











# Introdução à Eletroerosão

Módulo 5

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo dar aos alunos conhecimentos de materiais e ferramentas necessários ao trabalho de montagem e ajustagem e a operação de máquinas-ferramenta convencionais ou CNC.

## OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

- Enquadrar a tecnologia no sistema produtivo
- Identificar e caracterizar os tipos de electroerosão, formas de limpeza, líquidos dielétricos e materiais para elétrodos
- Descrever a constituição de um equipamento de electroerosão e seu modo de funcionamento

## ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- A integração da Eletroerosão no ciclo produtivo
  - Enquadramento e aplicação industrial
- Eletroerosão. Definições e propriedades fundamentais
  - Princípio físico do processo de eletroerosão
  - Tipos de eletroerosão
  - Terminologia geral e elétrica da eletroerosão
  - Parâmetros. Regulação e influência
  - Efeitos metalúrgicos
  - Formas de limpeza e tipos de líquidos dielétricos
  - Materiais para elétrodos



# BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

CASILLAS, A.L., Máquinas – Formulário Técnico, Editora Mestre JOU.

SODANO, E., Manual do Fresador Mecânico, Coleção Manuais Técnicos – Editorial Presença.

SILVA, F. M. Ferreira, Tecnologia de Serralheiros – Ensino Técnico Profissional.  
Telecurso 2000 – Processos de Fabricação.



# MAQUINAÇÃO POR ELETROEROSÃO

A eletroerosão baseia-se na destruição de partículas metálicas por meio de descargas elétricas. Data de meados do século XVIII a descrição de um processo para obtenção de pó metálico mediante descargas elétricas. Mas este processo só passou a ser utilizado industrialmente há cerca de setenta anos, para a recuperação de peças com ferramentas partidas no seu interior (machos, brocas, alargadores).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de acelerar a produção industrial e a escassez de mão-de-obra impulsionaram a pesquisa de novas tecnologias, visando tornar possível o aumento da produção, com um mínimo de desperdício. Este esforço marcou o início, entre outras realizações, da era da eletroerosão.



*Figura 1 – Peças obtidas por eletroerosão.*

Este é um dos processos não tradicionais de maquinação que vem ganhando cada vez mais importância, havendo várias explicações para este facto. Pense-se, por exemplo, nos novos materiais que têm surgido, como os carbonetos metálicos, as superligas e os cerâmicas. Trata-se, geralmente, de materiais muito duros muito difíceis de maquinar pelos processos tradicionais.

Imagine-se também a dificuldade que representaria a maquinação pelos métodos tradicionais de uma peça com formas tão complexas como mostra a figura 2.





*Figura 2 – Peça complexa.*

as brocas helicoidais são eficientes para produzir furos redondos. Mas uma broca pode não ser capaz de fazer um furo irregular. Por eletroerosão, o molde dessa peça pode ser produzido numa só fase de operação.

Além disso, os processos tradicionais de maquinação geram calor e tensões na superfície maquinada, produzem enormes aparas e afetam as características estruturais da peça. Não são adequados, portanto, para produzir superfícies de alta qualidade, praticamente sem distorções e sem alterações microestruturais.

Já na maquinação por eletroerosão, a peça permanece submersa num líquido e, portanto, há rápida dissipação do calor gerado no processo. Na eletroerosão não existe força de corte, pois não há contacto entre a ferramenta e a peça. Por isso não se formam as tensões comuns dos processos convencionais de maquinação.

Uma vantagem adicional é a automatização das máquinas de eletroerosão, que permite a obtenção de estreitos limites de tolerância. No processo de eletroerosão é possível um controlo rigoroso da ação da ferramenta sobre a peça maquinada, graças a um servo-mecanismo que reage rapidamente às pequenas variações de intensidade de corrente. Tudo isso torna a eletroerosão um processo adequado para atender às exigências atuais de qualidade e produtividade, com grande aplicação no fabrico de matrizes para estampagem, moldes de injeção, forjagem, cunhagem e fabricação de ferramentas de metal duro.



## PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A eletroerosão é um processo complexo, em grande parte não visível. Para que a ocorra, é necessário que os materiais envolvidos (peça a ser maquinada e a ferramenta) sejam bons condutores de eletricidade. A ferramenta que produz a erosão, ou seja, o desbaste da superfície maquinada, é o elétrodo. Peça e elétrodo são mergulhados num recipiente que contém um fluido isolante, isto é, não condutor de eletricidade, chamado dielétrico. Em geral, são utilizados como dielétricos o óleo mineral e o querosene. O querosene requer cuidados especiais, pois é inflamável e exala um odor forte, prejudicial à saúde e ao ambiente.

Tanto a peça como o elétrodo estão ligados a uma fonte de corrente contínua, por meio de cabos. Geralmente, o elétrodo tem polaridade positiva e a peça, polaridade negativa. Um dos cabos está ligado a um interruptor, que aciona e interrompe o fornecimento de energia elétrica para o sistema. A figura 3 mostra um esquema simplificado do processo de eletroerosão.

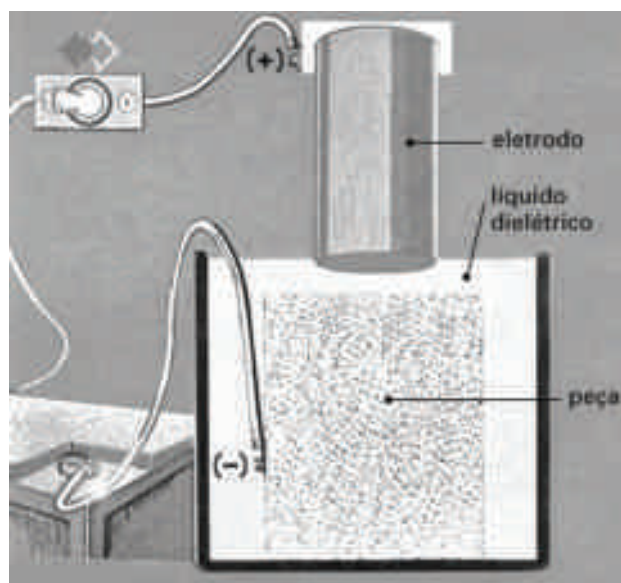


Figura 3 - Esquema simplificado do processo de eletroerosão.

Ao ser ligado o interruptor, forma-se uma tensão elétrica entre o elétrodo e a peça. De início não há passagem de corrente, já que o dielétrico atua como isolante. Quando o espaço entre a peça e a ferramenta é diminuído até uma distância determinada, o dielétrico passa a atuar como condutor, formando uma “ponte” de iões entre o elétrodo e



a peça. Produz-se, então, uma faísca que superaquece a superfície do material dentro do campo de descarga, fundindo-a. Estima-se que, dependendo da intensidade da corrente aplicada, a temperatura na região da faísca possa variar entre 2.500° C e 50.000° C.

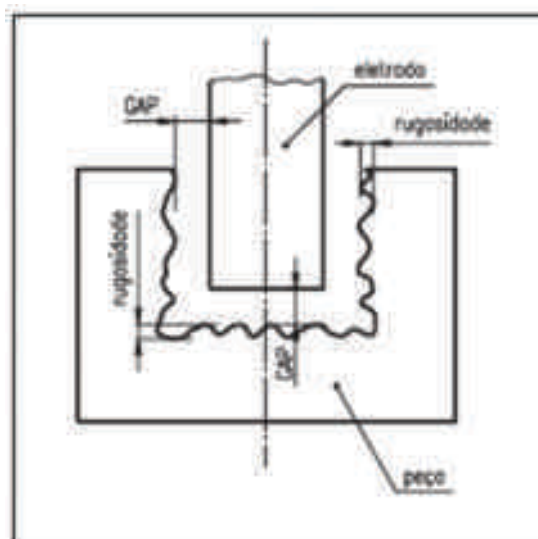


Figura 4 – Representação esquemática da eletroerosão.

O processo de erosão ocorre simultaneamente na peça e no eletrodo. Com ajustes convenientes da máquina, é possível controlar a erosão, de modo que se obtenha até 99,5% de erosão na peça e 0,5% no eletrodo. A distância mínima entre a peça e a ferramenta, na qual é produzida a faísca, é chamada GAP (do inglês gap = folga) e depende da intensidade da corrente aplicada. O GAP é o comprimento da faísca. O tamanho do GAP pode determinar a rugosidade da superfície da peça. Com um GAP alto, o tempo de maquinação é menor, mas a rugosidade é maior. Já um GAP mais baixo implica maior tempo de maquinação e menor rugosidade de superfície.

As partículas fundidas, desintegradas na forma de minúsculas esferas, são removidas da região por um sistema de limpeza e, no seu lugar, fica uma pequena cratera. O dielétrico, além de atuar como isolante, participa desta limpeza e ainda refrigera a superfície maquinada.

O fornecimento de corrente é interrompido pelo afastamento do eletrodo. O ciclo recomeça com a reaproximação do eletrodo até a distância GAP, provocando uma nova descarga.

A duração da descarga elétrica e o intervalo entre uma descarga e outra são medidos em microssegundos e controlados por comandos eletrônicos. Descargas sucessivas, ao



longo de toda a superfície do eléctrodo, fazem a maquinação da peça. A frequência das descargas pode alcançar até 200 mil ciclos por segundo. Na peça fica reproduzida uma matriz, que é uma cópia fiel do eléctrodo, porém invertida.

### *ELETROEROSÃO POR FIO*

O processo mais comum de eletroerosão baseia-se na penetração do eléctrodo na peça, como foi descrito anteriormente. Para certas finalidades, como a maquinação de cavidades passantes e perfurações transversais, é preferível usar o processo de eletroerosão a fio.

Os princípios básicos da eletroerosão a fio são semelhantes aos da eletroerosão por penetração. A diferença é que, neste processo, um fio de latão ionizado, isto é, eletricamente carregado, atravessa a peça submersa em água desionizada, em movimentos constantes, provocando descargas elétricas entre o fio e a peça, as quais cortam o material. Para permitir a passagem do fio, é feito previamente um pequeno orifício no material a ser maquinado.

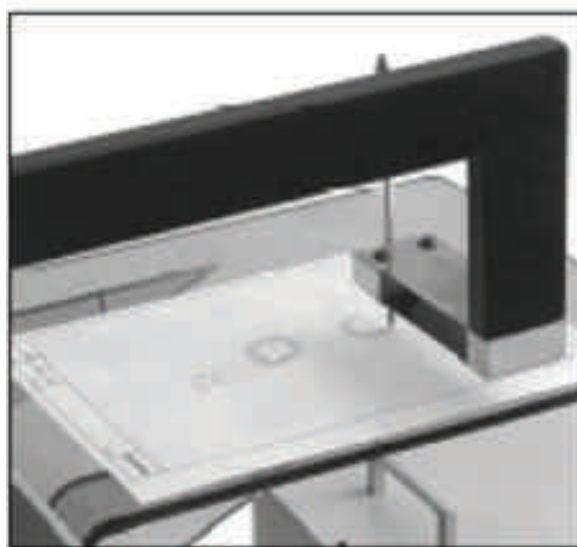


*Figura 5 – Máquina de erosão por fio.*

O corte a fio é programado por computador, que permite o corte de perfis complexos e com exatidão. Em alguns equipamentos, um plotter, isto é, um traçador gráfico, possibilita a conferência da execução do programa pela máquina, como mostra a figura 6.

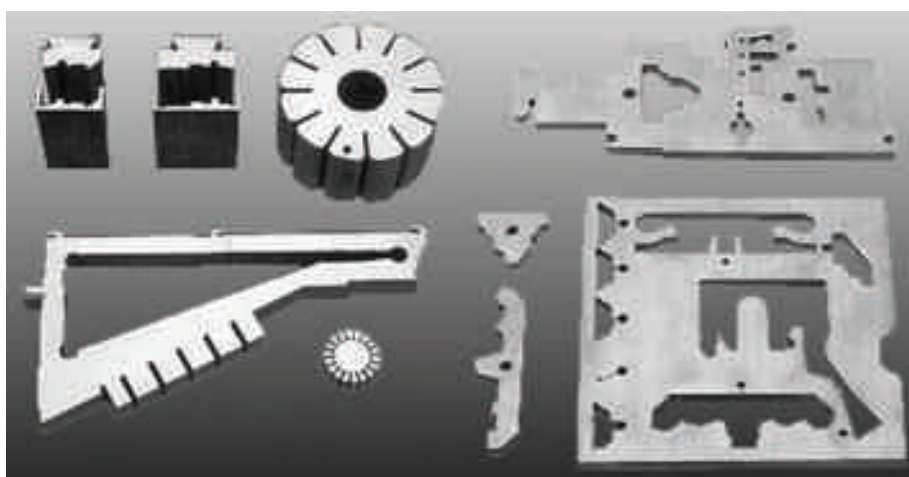






*Figura 6 – Plotter.*

Atualmente, a eletroerosão a fio é bastante usada na indústria para a confecção de placas de guia, porta-punções e matrizes (ferramentas de corte, dobra e repuxo). A figura 7 mostra alguns exemplos de peças maquinadas por eletroerosão a fio.



*Figura 7 – Peças maquinadas por erosão por fio.*

## **ELÉTRODO**

Como já vimos, na eletroerosão por penetração, a ferramenta usada é o elétrodo. Em princípio, todos os materiais condutores de eletricidade podem ser usados como elétrodo. Mas tendo em vista que na fabricação de uma ferramenta por eletroerosão o preço



de fabrico do eléctrodo representa uma parcela significativa dos custos do processo, é importante escolher com cuidado o material a ser utilizado e o método de maquinação. Os melhores materiais para produção de eléctrodos são aqueles que têm ponto de fusão elevado e são bons condutores de electricidade. De um modo geral, os materiais para eléctrodos podem ser agrupados em duas categorias: metálicos e não-metálicos.

Entre os materiais metálicos, os mais utilizados são: cobre eletrolítico, cobre tungsténio e cobre sinterizado. Eléctrodos feitos desses materiais caracterizam-se por apresentarem ótimo acabamento e mínimo desgaste durante o processo de eletroerosão.

Entre os materiais não-metálicos, o grafite é o principal. Este é um material de fácil maquinação, porém é muito quebradiço. Os eléctrodos de grafite são insensíveis aos choques térmicos, conservam suas qualidades mecânicas a altas temperaturas, praticamente não se deformam e são leves. No entanto, são abrasivos, não podem ser moldados ou conformados e não aceitam redução por ácido.

Quando se trata de eléctrodos de perfis irregulares e complexos, é recomendável analisar cuidadosamente a relação custo/benefício antes de partir para sua construção, uma vez que este é um processo caro e lento quando comparado com a maquinação de peças por CNC. Os eléctrodos podem ser produzidos pelos métodos convencionais de maquinação, como a fresagem, torneamento, etc.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Assinale a resposta certa.

Para que a eletroerosão ocorra, é necessário que os materiais da peça e da ferramenta sejam:

- condutores de calor;
- combustíveis;
- isolantes;
- condutores de corrente elétrica.

**EXERCÍCIO 2.** Assinale a resposta certa.

O dielétrico deve ser um fluido:

- isolante;
- condutor de eletricidade;
- combustível;
- ionizado.

**EXERCÍCIO 3.** Assinale a resposta certa.

A faísca é produzida quando o eletrodo:

- encosta na peça;
- afasta-se da peça;
- fica a uma distância da peça chamada GAP;
- mergulha no dielétrico.

**EXERCÍCIO 4.** Assinale a resposta certa.

Entre os materiais mais usados para fabricação de eletrodos, destacam-se:

- cobre eletrolítico, cobre tungstênio, grafite;
- latão, ferro fundido, cobre;
- aço, tungstênio, bronze;
- grafite, latão, ferro fundido.



**EXERCÍCIO 5.** Assinale a resposta certa.

A eletroerosão a fio é preferível quando for necessário maquinar:

- furos cilíndricos cegos;
- cavidades passantes de perfis complexos;
- rebaixos oblíquos não passantes;
- furos helicoidais.



# MÁQUINA DE EROSÃO

As máquinas modernas de eletroerosão por penetração apresentam a seguinte configuração básica: O painel de comando e gerador de potência é o “cérebro” da máquina, onde são determinados todos os parâmetros de maquinação.

O cabeçote é o local onde é fixado o eletrodo ou, eventualmente, a peça. Este fica preso à coluna da máquina e tem movimentação vertical. O tanque de maquinação é o recipiente onde a peça e o eletrodo permanecem submersos durante o processo de eletroerosão.



*Figura 1 – Máquina de erosão.*

A mesa de maquinação é o local onde a peça é apoiada e permite fazer dois tipos de avanço: longitudinal e transversal.

O reservatório de dielétrico e sistema de filtragem é o recipiente onde fica armazenado o fluido isolante e onde é feita a limpeza dos resíduos gerados no processo. A base é o conjunto que abriga motores e todos os sistemas de transmissão.



## ESCOLHA DO ELÉTRODO

Vamos supor que se pretende maquinar um furo quadrado num bloco prismático, como se mostra na figura 2. O eléctrodo pode ser de cobre eletrolítico, um material apropriado para a eletroerosão do aço.

As medidas nominais (mm) do eléctrodo são as mesmas da cavidade a ser produzida. Mas um eléctrodo com as mesmas dimensões da cavidade produziria um desbaste maior que o desejado. Por isso, é necessário calcular as medidas finais (mf) do eléctrodo levando em consideração:

- O comprimento da faísca (GAP);
- A rugosidade (r) desejada na superfície da peça em mm;
- O coeficiente de segurança (cs).

O coeficiente de segurança gira em torno de 10% do valor da tolerância dimensional da peça. Dependendo do trabalho a ser realizado, podem ser necessários dois tipos de eléctrodo: o eléctrodo de desbaste e o eléctrodo de acabamento.

A fórmula para cálculo da medida final do eléctrodo de desbaste é:

$$mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r + cs)$$

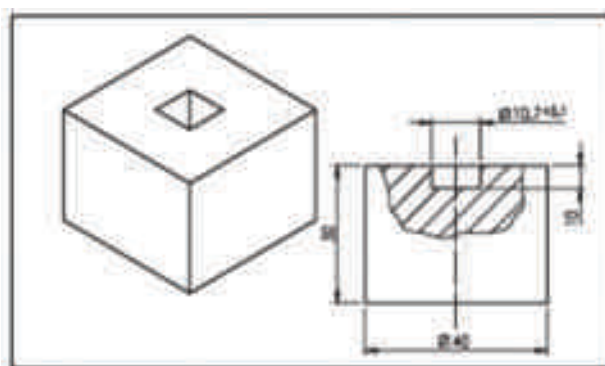


Figura 2 – Furo quadrado.

No caso do bloco da figura 2 com furo quadrado de 10,7 mm, o GAP é 30 mm, a rugosidade desejada é 13 mm e a tolerância dimensional é 0,1 mm. Aplicando a fórmula anterior, a medida final do eléctrodo de desbaste será de 10,604 mm.



A medida da espessura do eletrodo não irá interferir na maquinação, uma vez que a profundidade do rebaixo será regulada pela descida do cabeçote.

A fórmula para cálculo da medida final do eletrodo de acabamento é:

$$mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r)$$

## LIMPEZA DO DIELÉTRICO

A lavagem, isto é, a circulação do dielétrico entre o eletrodo e a peça maquinada, é muito importante porque, durante a maquinação, as partículas erodidas tendem a acumular-se em pontos da superfície do eletrodo e da peça. A acumulação de grandes quantidades de partículas acarreta diminuição da resistência elétrica, facilitando a formação de descargas anormais, que danificam a peça e o eletrodo

Para obter maior rendimento, melhor acabamento e menor desgaste do eletrodo, um sistema eficiente de limpeza deve remover essas partículas da zona de trabalho.

No início da maquinação, o dielétrico encontra-se limpo, isento de partículas e resíduos carbonados, pois foi filtrado no reservatório de dielétrico. A resistência do dielétrico limpo é maior do que se ele estiver carregado de partículas. Portanto, para romper esta resistência, de modo a permitir que a primeira descarga ocorra, é necessário um tempo maior.

As partículas criadas pelas primeiras descargas reduzem as resistências do dielétrico, melhorando as condições de trabalho. Por isso, a pressão de limpeza não pode ser muito leve, nem muito potente, pois o melhor rendimento da máquina é obtido com uma certa percentagem de contaminação do dielétrico.

Como se verá a seguir, há vários processos e dispositivos de limpeza. A escolha do processo apropriado depende das características da peça e do eletrodo.

## AJUSTE DA POLARIDADE

Em geral, a polaridade do eletrodo é positiva e a da máquina, negativa. Mas, dependendo do material do eletrodo e das características da peça, pode ser necessário inverter a polaridade, como mostra a tabela a seguir.



POLARIDADE DO ELÉTRODO				
peça \ eletrodo	Cobre	Grafite	Cobre Tungstênio	Aço
aço	+	+	+	+
metal duro			-	
cobre	-	-	+	

Figura 3 – Tabela de polaridades.

Outro caso de inversão de polaridade ocorre quando não é possível fixar a peça na mesa. Nesse caso, ela deve ser fixada no porta-elédrodo, que tem polaridade positiva. No nosso exemplo, como se trata de um bloco de aço e o elédrodo será de cobre, vamos utilizar o esquema padrão: elédrodo positivo e peça negativa.

### PREPARAÇÃO DA MÁQUINA

Antes de ligar a máquina, é necessário fazer alguns ajustes nos parâmetros de maquinação, fixar corretamente o elédrodo no porta-elédrodo e a peça na mesa de coordenadas, e abastecer o tanque de maquinação de dielétrico.



Figura 4 – Aperto do elédrodo.

A tabela seguinte mostra os coeficientes para cálculo de amperagem, de acordo com o material do elédrodo e o material a ser maquinado.





ELETRODO	MATERIAL A SER USINADO	COEFICIENTE PARA AMPERAGEM
Cobre eletrolítico	Aço	0,07 A/mm <sup>2</sup>
Grafite	Aço	0,01 A/mm <sup>2</sup>
Cobre e tungstênio	Aço	0,14 A/mm <sup>2</sup>
Cobre	Cobre	0,07 A/mm <sup>2</sup>
Cobre e tungstênio	Pastilha de metal duro	0,05 A/mm <sup>2</sup>

Tabela 1 - Coeficientes para cálculo de amperagem.

Para cálculo da amperagem (I), utiliza-se a fórmula:

$$I = \text{área a ser erodida} \times \text{coeficiente para amperagem}$$

No nosso caso, aplicando a fórmula acima, teremos:

$$I = 10,7 \text{ mm} \times 10,7 \text{ mm} \times 0,07 \text{ A/mm}^2 = 8 \text{ A}$$

Os fabricantes de máquinas de eletroerosão fornecem tabelas práticas que permitem identificar os parâmetros de maquinação a partir da intensidade de corrente aplicada. Vamos ver um extrato de uma dessas tabelas para determinar os parâmetros de maquinação para o bloco prismático da figura 2.

Considerando que a rugosidade desejada é 13 mm e que vamos trabalhar com uma intensidade de corrente equivalente a 8 A, basta localizar, na tabela 2, os parâmetros associados a estes valores.

Intensidade da corrente	Tempo de impulso	Tempo de pausa	GAP (µm)	Capacidade de erosão (mm <sup>3</sup> / min)	Desgaste do eletrodo (%)	Área mínima de erosão (mm <sup>2</sup> )	Rugosidade (µm)	e entre medida final e medida do eletrodo (mm)
	1	1	12	1	40	5	7	0,048
	2	2	20	2	30	5	8	0,056
	3	2	25	2	20	5	10	0,070
8 A	4	2	30	3	15	5	13	0,086
	5	3	35	5	10	5	18	0,106
	6	3	40	6	7	5	20	0,120
	7	3	45	5	5	5	22	0,134
	8	3	50	5	4	5	28	0,156
	9	3	55	4	4	5	30	0,170

Tabela 2 - Tabela prática para um eletrodo de cobre e peças de aço.



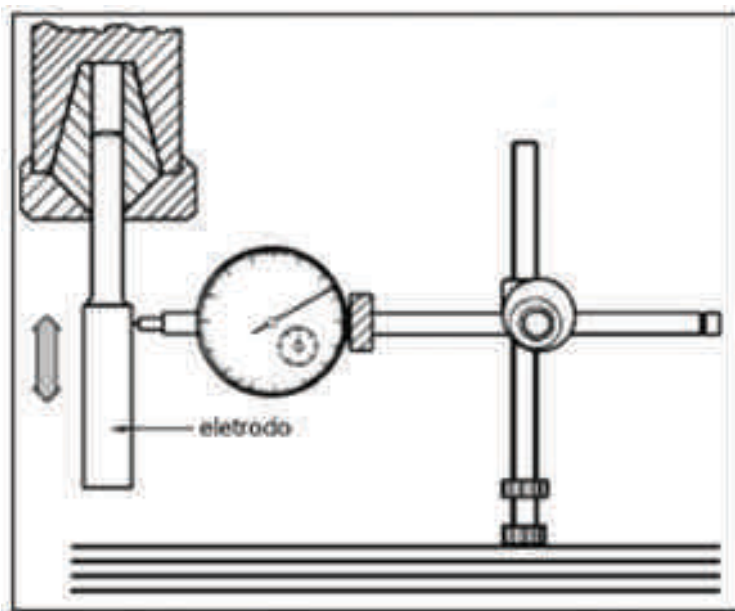
Na quarta linha da tabela, podemos encontrar todos os parâmetros associados à rugosidade de 13 mm, que são:

- Tempo de impulso: 4 microssegundos;
- Tempo de pausa: 2 microssegundos;
- GAP: 30 mm (Ajuste no seletor de amperagem);
- Capacidade de erosão: 3 mm<sup>3</sup>/min;
- Desgaste do eletrodo: 15%;
- Área mínima de erosão: 5 mm<sup>2</sup>;
- Diferença entre a medida final e a medida do eletrodo de acabamento: 0,086 mm.

Existem outros comandos que são transmitidos por um dispositivo acoplado à máquina, chamado chaves de comando. Este dispositivo tem um potenciômetro com três estágios, que permite controlar a subida rápida do cabeçote, o ajuste do cabeçote durante a operação de centragem e o trabalho com limpeza automática. Um outro botão permite um comando fino de subida e descida do cabeçote por movimento hidráulico.

O próximo passo é a fixação do eletrodo, de modo a impedir que ele venha a soltar-se durante a maquinação. A figura 4 mostra um exemplo de sistema de fixação de eletrodo prismático, como o que vamos usar para maquirar o furo quadrado.

O eletrodo deve ser fixado de forma que facilite o posterior posicionamento. O alinhamento do eletrodo é feito por meio de um relógio comparador, fixado a uma



haste articulada presa na mesa da máquina a uma base magnética.

*Figura 5 - Alinhamento do eletrodo.*



A fixação da peça na mesa de coordenadas também é necessária, para que ela não se desloque durante a maquinação. O alinhamento da peça também deve ser verificado com a ajuda de um relógio comparador. Se for necessário, podem ser usados calços apropriados para elevar a peça até a altura desejada.

Uma vez que tanto o eletrodo como a peça estejam devidamente fixados, o próximo passo é posicionar o eletrodo no ponto onde ocorrerá a maquinação. Esta operação é muito importante para garantir a sua precisão.

Para localizar o eletrodo, devem ser tomados dois pontos de referência: x e y, o primeiro no sentido longitudinal, e o segundo no sentido transversal.

Antes de se ligar a máquina, devem ser tomadas algumas precauções:

- O eletrodo deve ser afastado verticalmente;
- O tanque de maquinação deve ser fechado. Mas antes é necessário limpar a área de trabalho, removendo peças ou ferramentas desnecessárias, caso contrário elas poderão fechar o curto-circuito entre a mesa e o tanque de maquinação.
- O tanque de maquinação deve ser enchido com dielétrico. É importante manter o nível do dielétrico de 50 mm a 70 mm acima da superfície da peça, para evitar a combustão dos gases do dielétrico.

Com a máquina ligada e o botão de controle do painel de comando na posição de centragem, para evitar choque elétrico, o eletrodo deve ser aproximado da peça até que se observe uma faísca ou, conforme a máquina, soe um alarme sonoro ou se acenda uma lâmpada.

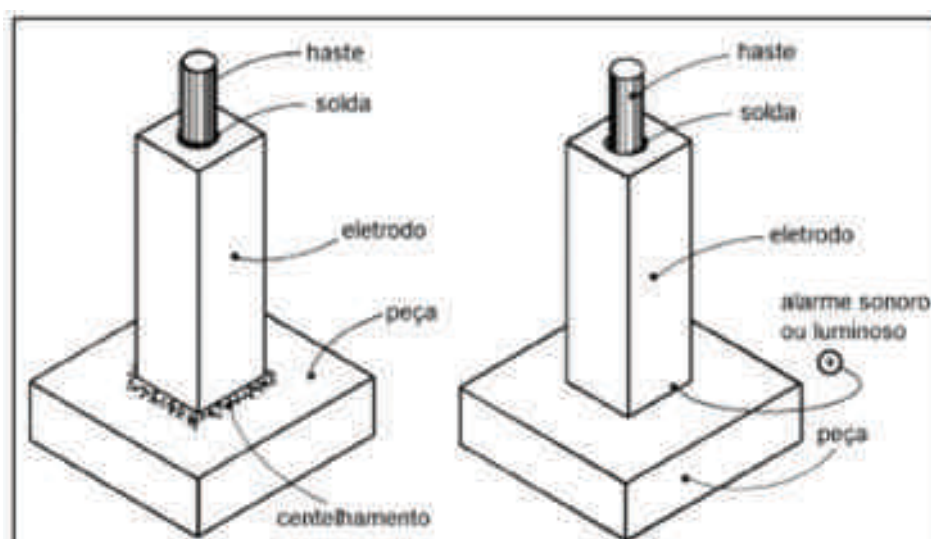


Figura 6 –  
Processo de  
erosão.



A regulação da profundidade desejada é feita no dispositivo limitador de profundidade. Caso a máquina disponha de um sistema de leitura digital, esta medida vertical (z) bem como as medidas no sentido longitudinal (x) e no sentido transversal (y) são obtidas com extrema exatidão. Esta operação serve para regular a profundidade da erosão, indispensável para que se obtenha a profundidade desejada, tanto na operação de desbaste como na operação de acabamento. Quando o eletrodo atinge a profundidade estabelecida, a máquina desliga-se automaticamente e o eletrodo volta ao ponto inicial. Depois, o operador terá de ligar a corrente e observar a máquina trabalhar. Quando for atingida a profundidade desejada, a máquina desligar-se-á automaticamente. Terminado o trabalho, o dielétrico do tanque de maquinação deve ser escoado e a peça e o eletrodo devem ser retirados.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Sabendo que, num processo de maquinação por eletroerosão:

- o comprimento da faísca é 45 mm;
- a rugosidade pretendida é 22 mm;

Calcule a medida final que deve ter um elétrodo de acabamento cilíndrico, com 10 mm de diâmetro, aplicando a fórmula:  $m_f = m_n - (2 \text{ GAP} + 2r)$

**EXERCÍCIO 2.** Marque V para a afirmação verdadeira e F para a falsa.

- Uma certa percentagem de contaminação do dielétrico contribui para o bom rendimento da máquina, no processo de eletroerosão;
- Na limpeza por injeção, o furo para circulação do dielétrico tanto pode ser feito na peça como no elétrodo;
- A limpeza combinada conjuga os processos de aspiração e agitação do dielétrico;
- A limpeza por jato lateral pode ser escolhida quando não for possível fazer furos na peça ou no elétrodo.

**EXERCÍCIO 3.** Assinale a resposta certa. No processo de eletroerosão, a polaridade da peça:

- é sempre positiva;
- é sempre negativa;
- pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do elétrodo;
- pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do dielétrico.

**EXERCÍCIO 4.** Calcule a amperagem adequada para maquinar, por eletroerosão, um furo cilíndrico não passante, de 15 mm de diâmetro, num bloco de aço, usando um elétrodo de grafite.

**EXERCÍCIO 5.** Qual o GAP que deve ser ajustado no seletor de amperagem, num processo de eletroerosão que usará uma corrente de 8 A e que requer uma rugosidade de 20 mm?



