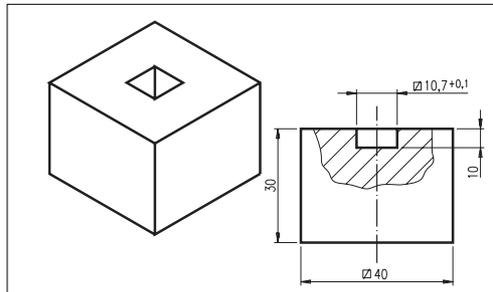


# Um caso de eletroerosão

**N**a aula anterior, você ficou sabendo que a eletroerosão é um processo de usinagem que tem grande aplicação na confecção de matrizes de estampos de corte, matrizes para moldes de injeção e matrizes para forjaria, além de se prestar à usinagem de ferramentas de metal duro, com grande eficiência.

Para melhor compreender esse processo, nesta aula você vai acompanhar, passo a passo, a usinagem por eletroerosão de uma cavidade simples: um furo quadrado não passante, num bloco prismático de aço, como mostra a figura ao lado. Como se trata de uma cavidade não passante, usaremos a eletroerosão por penetração.



Para isso, é necessário que você conheça as partes principais da máquina de eletroerosão e identifique os procedimentos de preparação, os cuidados durante a operação e as medidas de conservação do equipamento, após o uso.

Pronto para começar? Então, vamos lá!

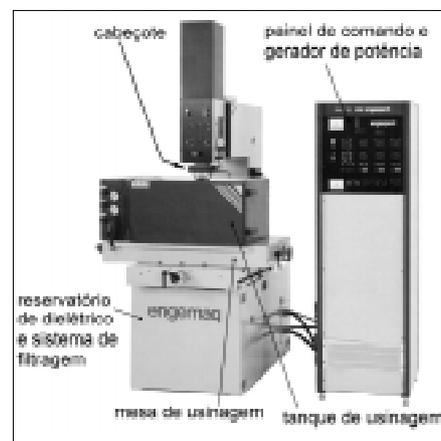
## Conhecendo a máquina

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. Nele são determinados todos os parâmetros de usinagem.

O **cabeçote** é o local onde é fixado o eletrodo ou, eventualmente, a peça. Ele fica preso à **coluna** da máquina e tem movimentação vertical.

O **tanque de usinagem** é o recipiente onde a peça e o eletrodo permanecem submersos durante o processo de eletroerosão.



## Nossa aula

A **mesa de usinagem** é o local onde a peça é apoiada. 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.

Você ficará sabendo mais detalhes sobre o funcionamento desses conjuntos à medida que formos avançando na usinagem do nosso bloco prismático.

### A escolha do eletrodo

Para a usinagem do furo quadrado no bloco prismático, o eletrodo pode ser de cobre eletrolítico, um material apropriado para a eletroerosão do aço.

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

- o comprimento da centelha (**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, dois tipos de eletrodo podem ser necessários: o eletrodo de **desbaste** e o eletrodo de **acabamento**.

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

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

#### Verificando o entendimento

No caso do nosso bloco prismático, com furo quadrado de 10,7 mm, o GAP é 30  $\mu\text{m}$ , a rugosidade desejada é 13  $\mu\text{m}$  e a tolerância dimensional é 0,1 mm. Calcule a medida final do eletrodo de desbaste.

Resposta: .....

Se você aplicou a fórmula anterior e fez os cálculos corretos, deve ter chegado à conclusão de que a medida final do nosso eletrodo de desbaste será **10,604 mm**. A medida da espessura do eletrodo não irá interferir na usinagem, 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:  
 $mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r)$

A **lavagem**, isto é, a **circulação do dielétrico** entre o eletrodo e a peça usinada, é muito importante porque, durante a usinagem, partículas erodidas tendem a acumular-se em pontos da superfície do eletrodo e da peça.

O acúmulo 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 usinagem, o dielétrico encontra-se limpo, isento de partículas e resíduos carbonados, pois foi filtrado no reservatório de dielétrico.

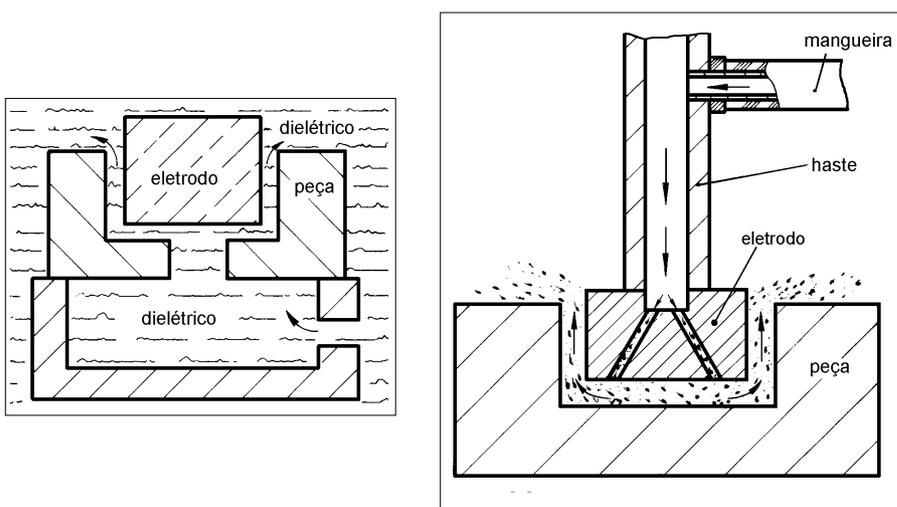
A resistência do dielétrico limpo é maior do que se ele estiver carregado de partículas. Portanto, para romper esta resistência, de modo a permitir que a primeira descarga ocorra, é necessário um tempo maior.

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 porcentagem de contaminação do dielétrico.

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

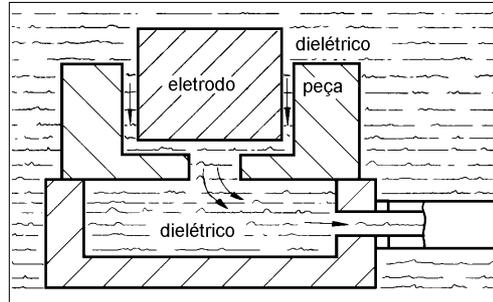
### Limpeza por injeção

Nesse processo, a injeção do líquido dielétrico é feita com pressão localizada abaixo da peça, por intermédio de um depósito (caneca) ou por dentro do eletrodo. No primeiro caso, a peça tem de ser furada e, no segundo caso, o eletrodo tem de ser furado, para possibilitar a passagem do dielétrico.



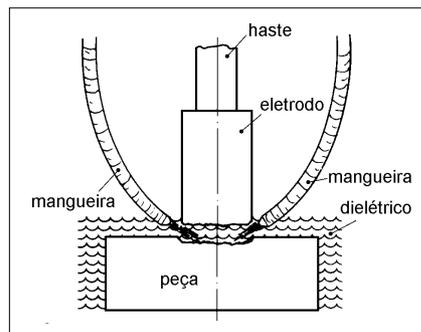
### Limpeza por aspiração ou sucção

O dielétrico é aspirado por baixo da peça, através de um recipiente ou do eletrodo.



### Limpeza por jato lateral

Este processo de limpeza deve ser utilizado se não for possível fazer pelo menos um orifício no eletrodo ou na peça. A injeção do líquido é feita por bicos posicionados de forma que garantam alcance de toda a superfície de trabalho.



### Limpeza por agitação do dielétrico

É obtido por meio de pulsação do eletrodo. Quando o eletrodo é afastado, o volume de dielétrico na zona de trabalho aumenta rapidamente, provocando a entrada de líquido limpo que se mistura ao contaminado. Quando o eletrodo se movimenta, as partículas são eliminadas.

### Limpeza por fluxo transversal

Usado quando o eletrodo for rígido e a situação permitir a realização de vários furos para limpeza.

### Limpeza combinada

Combina o processo de aspiração e o de injeção. Permite o escoamento dos gases e das partículas gerados no processo e proporciona a circulação do dielétrico em toda a zona de usinagem.

#### Pare! Pesquise! Responda!

Analise os processos de limpeza apresentados anteriormente e indique o que você acha mais adequado para a usinagem do nosso bloco prismático.

O processo de limpeza por jatos laterais é adequado, uma vez que nosso objetivo é usinar uma cavidade não passante e não seria desejável fazer furo na peça. Além disso, nosso eletrodo não apresenta furos, pelos quais o dielétrico poderia ser aspirado ou injetado.

## Ajuste de 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 ELETRODO				
peça \ eletrodo	Cobre	Grafite	Cobre Tungstênio	Aço
aço	+	+	+	+
metal duro			-	
cobre	-	-	+	

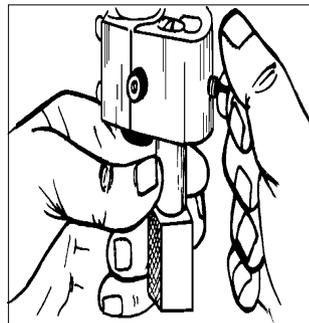
Outro caso de inversão de polaridade ocorre quando não é possível fixar a peça na mesa. Nesse caso, ela deve ser fixada no porta-eletrodo, que tem polaridade positiva.

No nosso exemplo, como se trata de um bloco de aço e o eletrodo será de cobre, vamos utilizar o esquema padrão: eletrodo positivo e peça negativa.

## Preparação da máquina

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

Observe um detalhe **do gerador conjugado com painel de comando**, apresentado ao lado. Boa parte dos comandos para operação da máquina são transmitidos por meio dos botões deste painel.



A função do **seletor de amperagem** é regular a intensidade da corrente elétrica desejada, para cada tipo de trabalho, de acordo com: área de erosão, material do eletrodo e material da peça. Quanto maior a amperagem, maior o volume de material erodido.

A tabela a seguir traz os coeficientes para cálculo de amperagem, de acordo com o material do eletrodo e o material a ser usinado.

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>

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:

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

Os fabricantes de máquinas de eletroerosão fornecem tabelas práticas que permitem identificar os parâmetros de usinagem a partir da intensidade de corrente aplicada.

Vamos usar um extrato de uma dessas tabelas para determinar os parâmetros de usinagem do nosso bloco prismático.

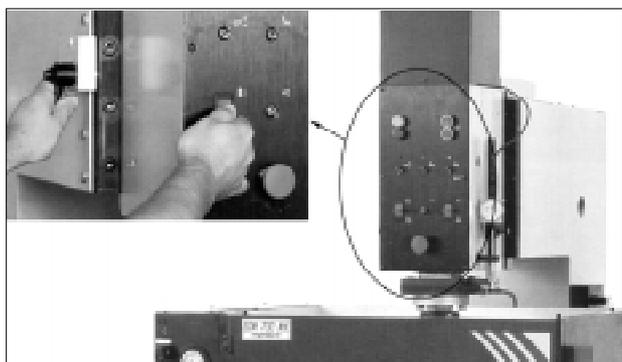
Considerando que a rugosidade desejada é 13  $\mu\text{m}$  e que vamos trabalhar com uma intensidade de corrente equivalente a 8 ampères, basta localizar, na tabela, os parâmetros associados a estes valores.

**Tabela prática usando eletrodo de cobre e peças de aço**

Intensidade da corrente	Tempo de impulso	Tempo de pausa	GAP ( $\mu\text{m}$ )	Capacidade de erosão ( $\text{mm}^3 / \text{min}$ )	Desgaste do eletrodo (%)	Área mínima de erosão ( $\text{mm}^2$ )	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	$\neq$ entre medida final e medida do eletrodo (mm)
	1	1	17	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

Na quarta linha da tabela, você encontra todos os parâmetros associados à rugosidade de 13  $\mu\text{m}$ , que são:

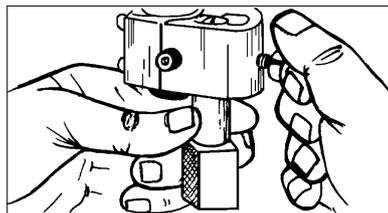
- Tempo de impulso: 4 microssegundos.
- Tempo de pausa: 2 microssegundos.
- GAP: 30  $\mu\text{m}$  (Ajuste no seletor de amperagem).
- Capacidade de erosão: 3  $\text{mm}^3 / \text{min}$ .
- Desgaste do eletrodo: 15%.
- Área mínima de erosão: 5  $\text{mm}^2$ .
- Diferença entre a medida final e a medida do eletrodo de acabamento: 0,086 mm.



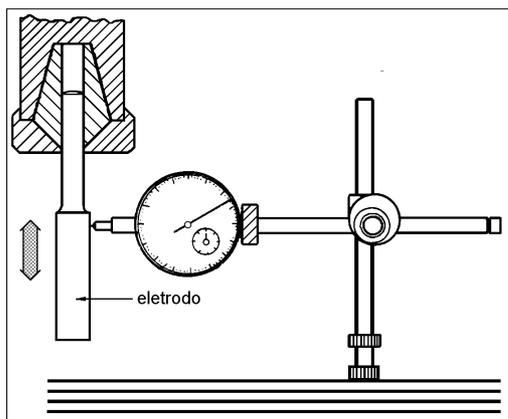
Outros comandos são transmitidos por um dispositivo acoplado na máquina, chamado **chaves de comando**.

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 se soltar durante a usinagem. A figura mostra um exemplo de sistema de fixação de eletrodo prismático, como o que vamos usar para usinar o furo quadrado.



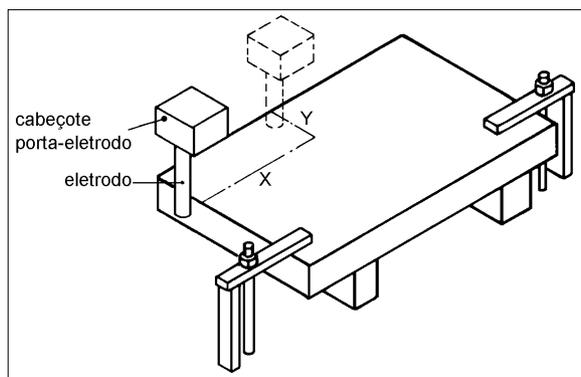
O eletrodo deve ser fixado de forma que facilite o posterior posicionamento. O alinhamento do eletrodo é feito por meio de um relógio comparador, fixado a uma haste articulada presa na mesa da máquina a uma base magnética.



A **fixação da peça** na mesa de coordenadas também é necessária, para que ela não se desloque durante a usinagem. 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 usinagem.

Esta operação é muito importante para garantir a exatidão da usinagem. 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.

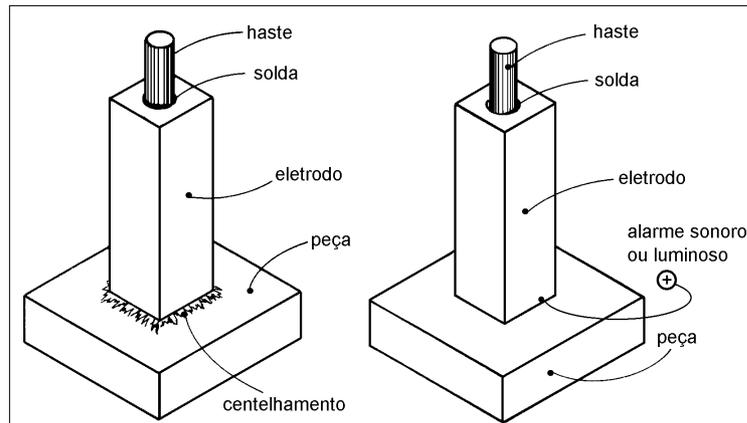


## Ligando a máquina

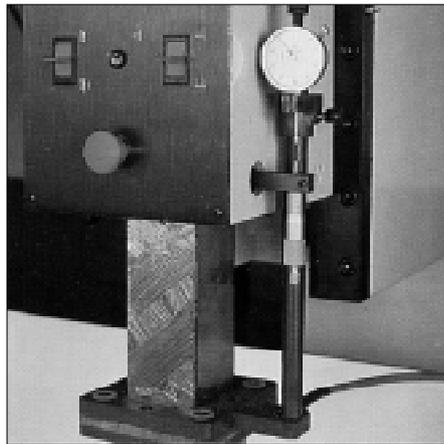
Antes de ligar a máquina, algumas precauções devem ser tomadas:

- O eletrodo deve ser afastado verticalmente.
- O tanque de usinagem 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 usinagem.
- O tanque de usinagem 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 um centelhamento ou, conforme a máquina, soe um alarme sonoro ou se acenda uma lâmpada.



A regulagem 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.

É necessário regular a profundidade, mesmo que se trate de usinagem de cavidade passante, para evitar danos na mesa ou nos dispositivos utilizados.

### Enfim, a usinagem da cavidade...

Com amperagem regulada, o sistema de limpeza ligado, o tanque de usinagem cheio de dielétrico, o resto é com a máquina.

Seu trabalho será ligar a alavanca de acionamento na posição de **corrente** e ficar observando a máquina trabalhar. Quando for atingida a profundidade desejada, a máquina se desligará automaticamente.

Terminado o trabalho, o dielétrico do tanque de usinagem deve ser drenado e a peça e o eletrodo devem ser retirados.

Peça usinada. Resultado satisfatório. Uma boa hora para resolver alguns exercícios sobre os assuntos estudados.

### Exercício 1

Sabendo que, num processo de usinagem por eletroerosão:

- o comprimento da centelha é  $45 \mu\text{m}$ ;

- a rugosidade pretendida é  $22 \mu\text{m}$ ;

calcule a medida final que deve ter um eletrodo de acabamento cilíndrico, com 10 mm de diâmetro, aplicando a fórmula:  $mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r)$

### Exercício 2

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

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

### Exercício 3

Marque com X a resposta certa. No processo de eletroerosão, a polaridade da peça:

- a) ( ) é sempre positiva;
- b) ( ) é sempre negativa;
- c) ( ) pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do eletrodo;
- d) ( ) pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do dielétrico.

### Exercício 4

Calcule a amperagem adequada para usinar, por eletroerosão, um furo cilíndrico não passante, de 15 mm de diâmetro, num bloco de aço, usando um eletrodo 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 ampères e que requer uma rugosidade de  $20 \mu\text{m}$ ?

**Pare! Estude!  
Responda!**

