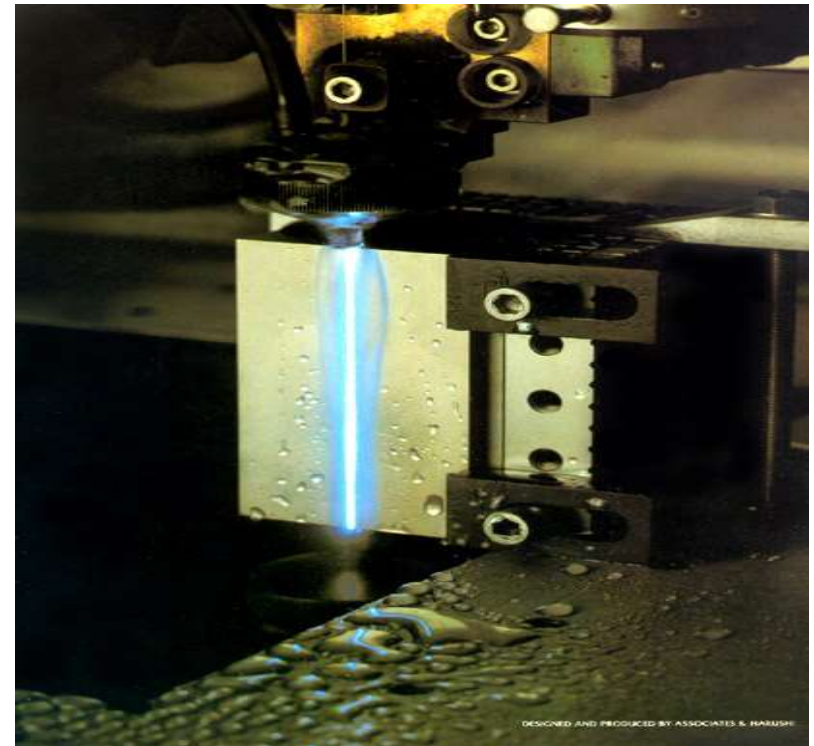
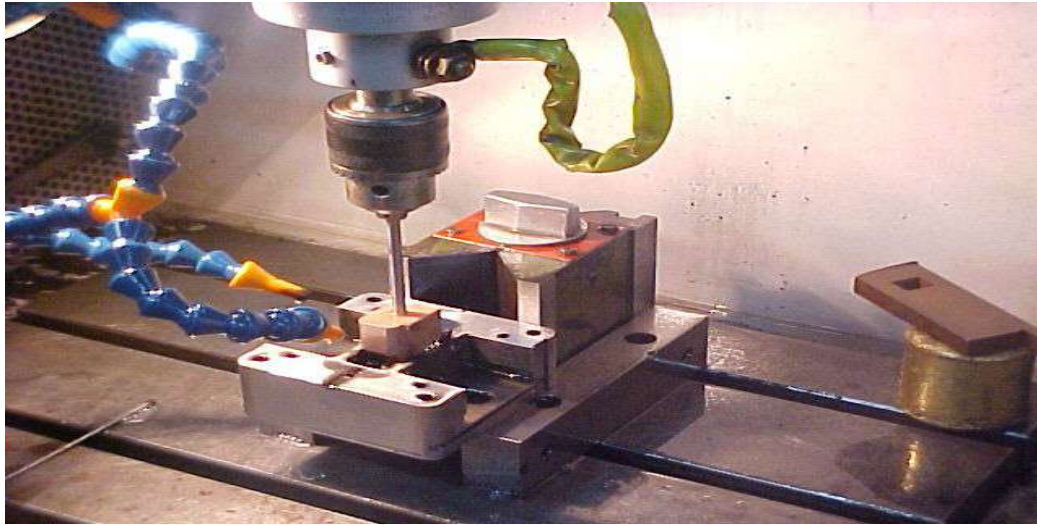


# **Aula 26**

## **Superfícies Usinadas**

Fernanda Castello Branco  
Gustavo Luís Maestrelli  
Marcel Machado Jabor  
Rubia Toledo

# Eletroerosão



## **Definição**

- É um processo térmico de fabricação caracterizado pela remoção de material conseqüente a sucessões de descargas elétricas que ocorrem entre um eletrodo e uma peça, através de um líquido dielétrico.
  - Conhecida pela sigla EDM = Electrical Discharge Machining
  - A eletroerosão é um processo para fabricação de peças isoladas, no máximo para pequenas séries.
-

## Classificação

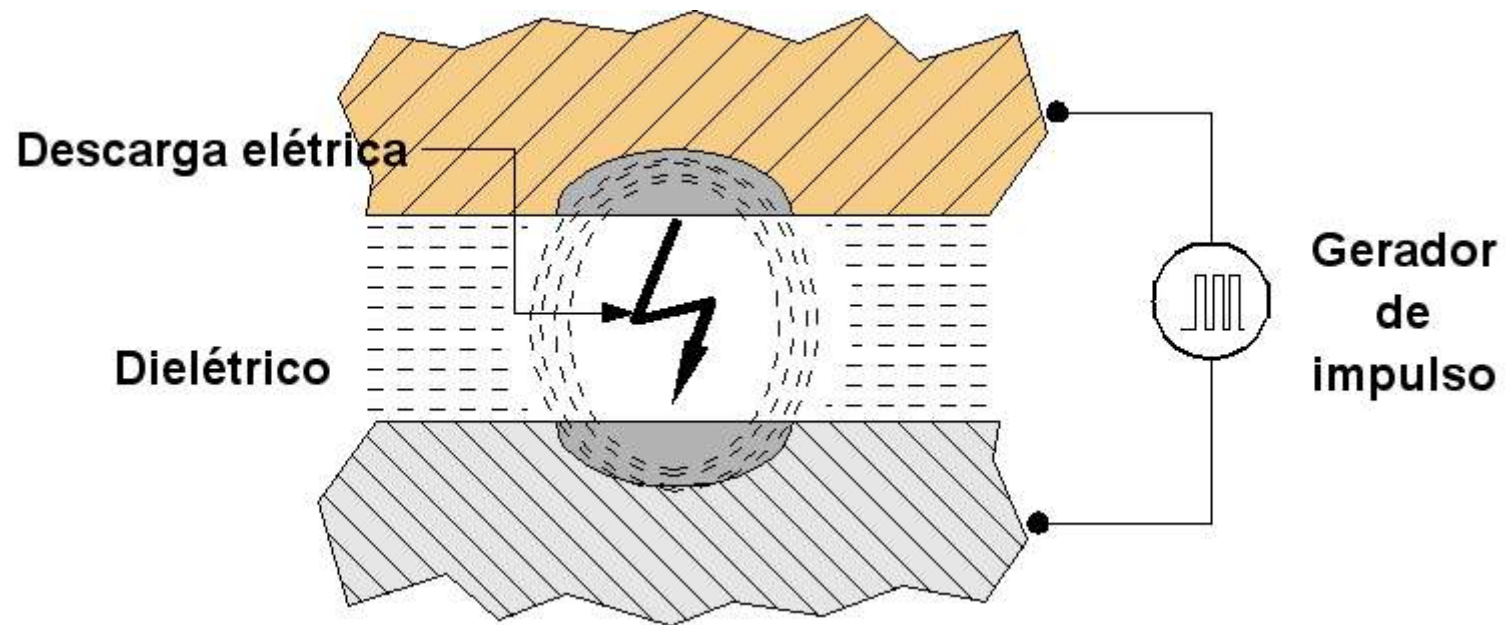
### Distinguem-se por dois processos:

- ***Eletroerosão por arco***: descargas elétricas estacionárias (arcos elétricos) aplicadas por curto intervalo de tempo em locais diferente promovem a remoção do material.
  - ***Eletroerosão por faísca***: caracteriza-se por termos descargas elétricas não estacionárias (faíscas) aplicadas e pequeníssimos intervalos de tempo em locais diferentes.
-

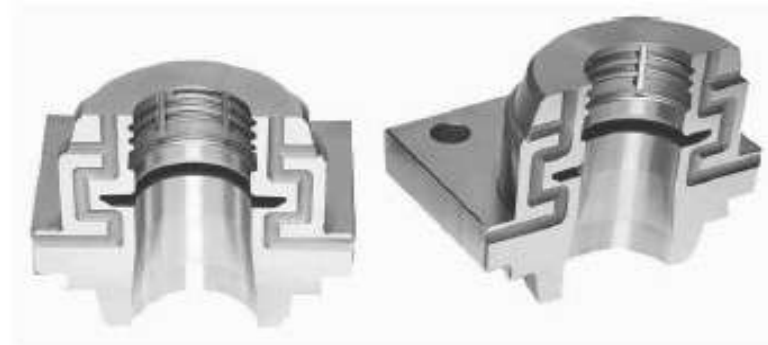
## **Princípio da Remoção**

- A remoção do material da peça é realizada pela microfusão em uma porção localizada da peça, através de uma descarga elétrica
  - Caracteriza-se por descargas elétricas não estacionárias (faíscas) aplicadas em pequeníssimos intervalos de tempo em locais diferentes
  - É um processo de conformação em que o eletrodo ferramenta produz a sua imagem no eletrodo peça
  - O processo é efetuado sob um líquido não condutor de eletricidade (dielétrico: querosene, gasolina de teste, óleo de transformador)
-

## Princípio da Remoção

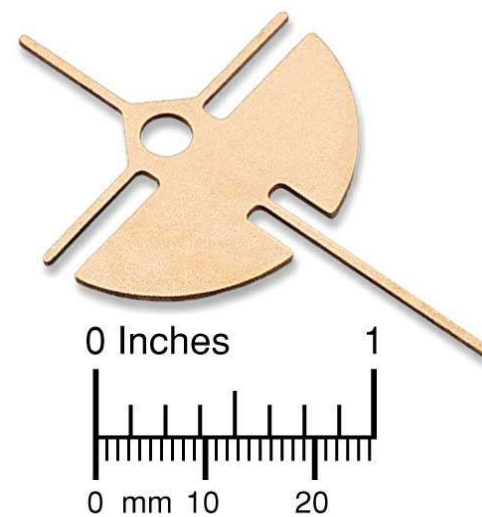
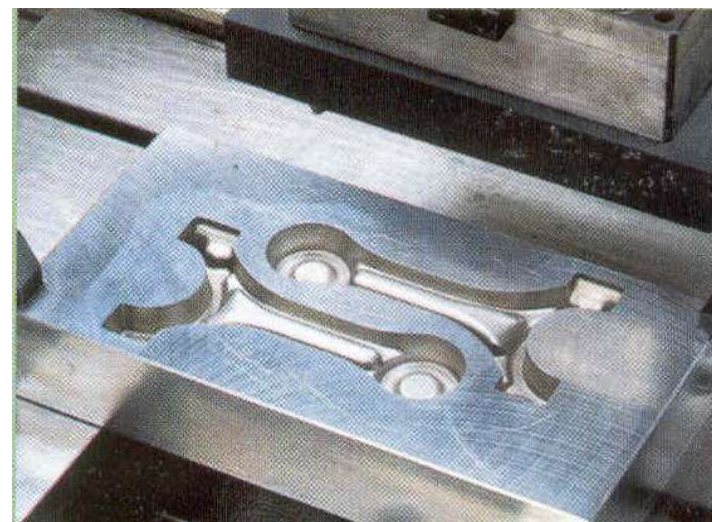
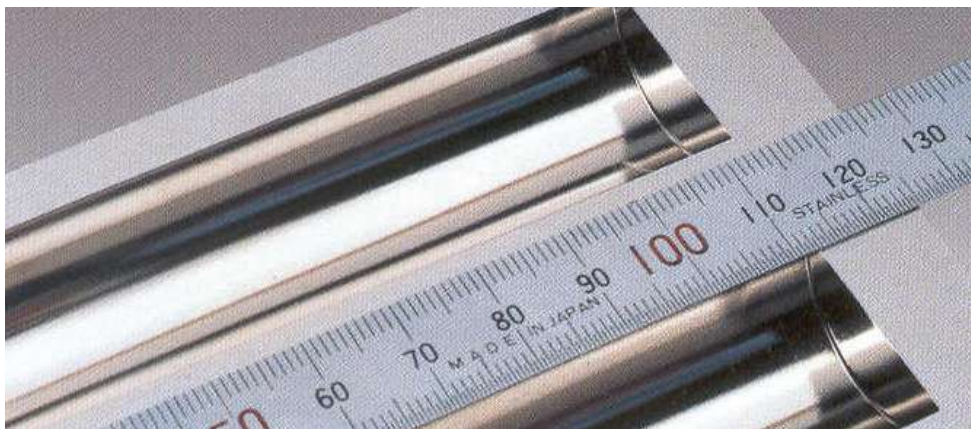


## Exemplo de peças eletroerodidas



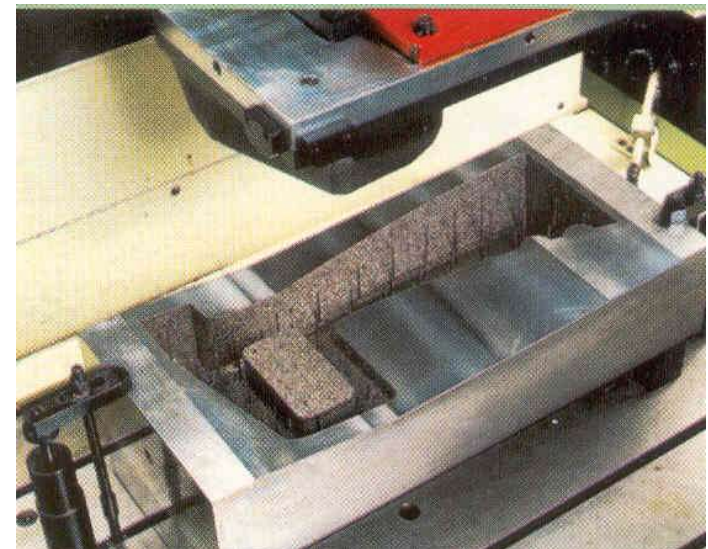
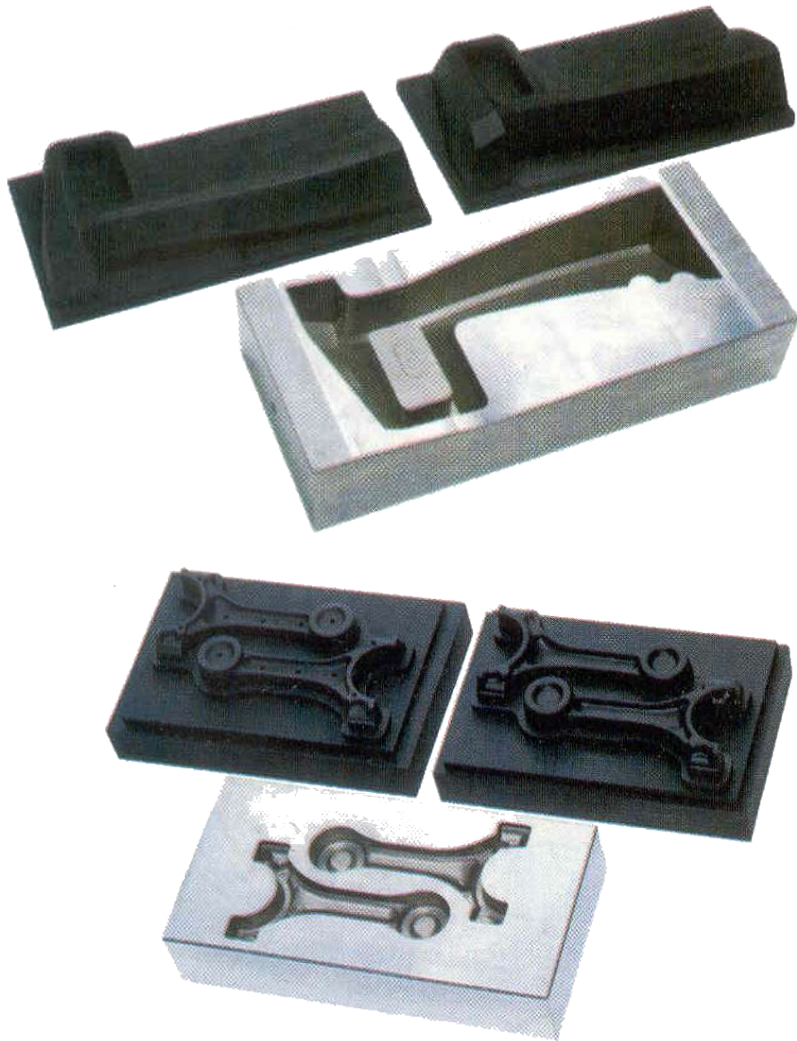


## Exemplo de peças eletroerodidas

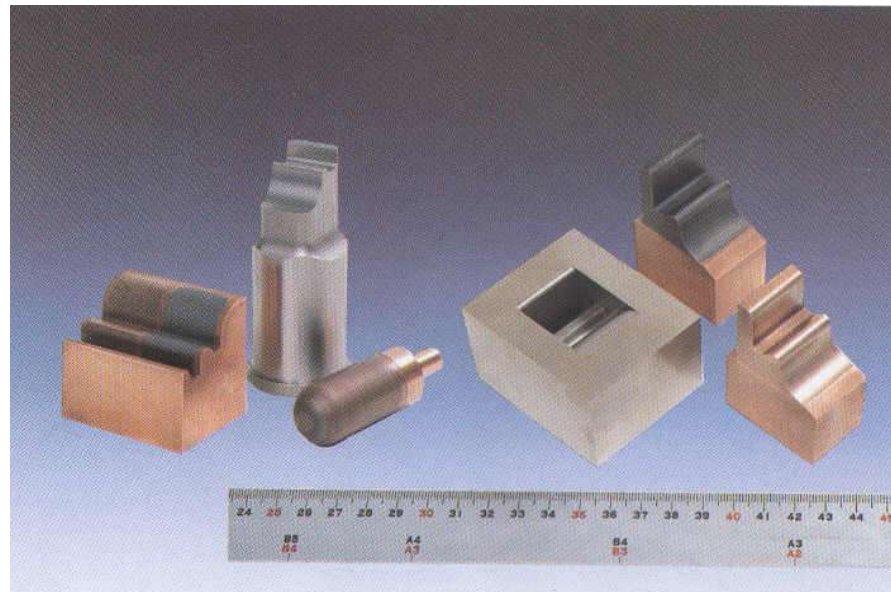
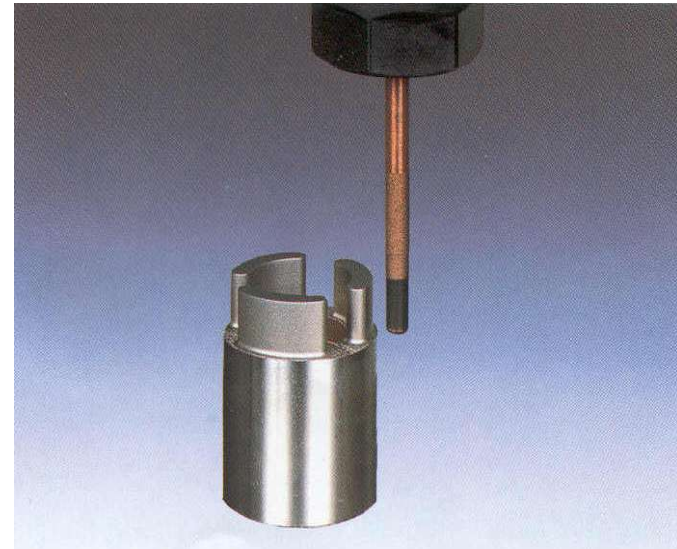




## Exemplo de peças eletroerodidas

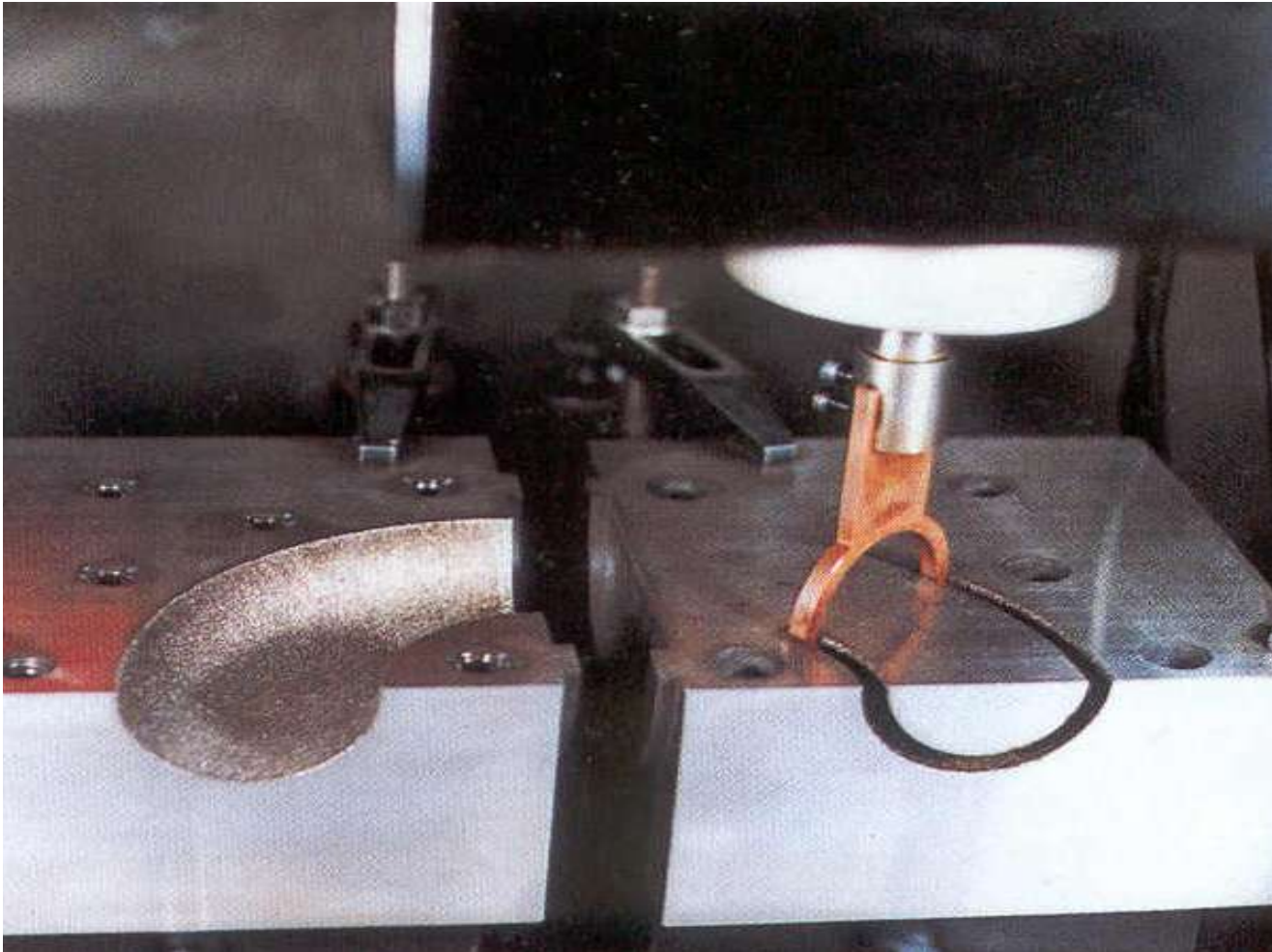


## Exemplo de peças eletroerodidas

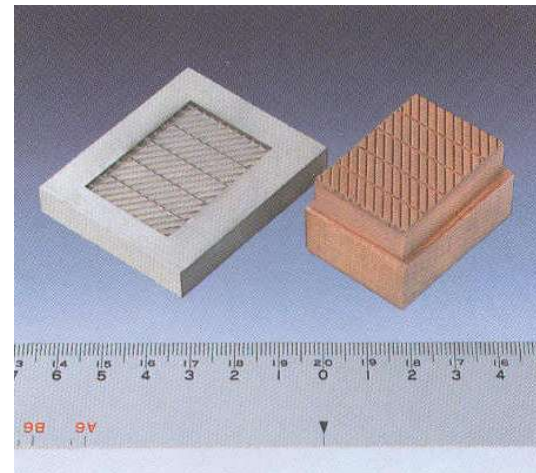
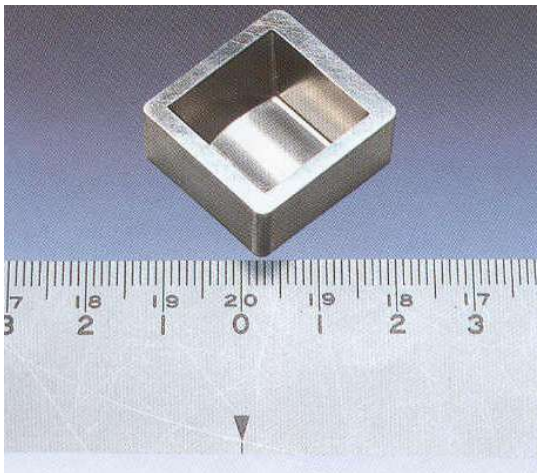
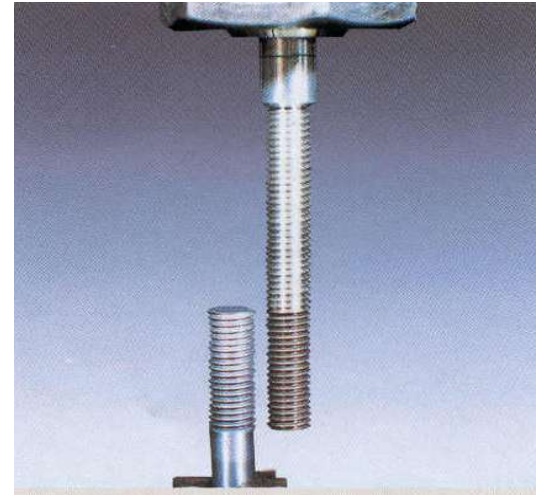




## Exemplo de peças eletroerodidas

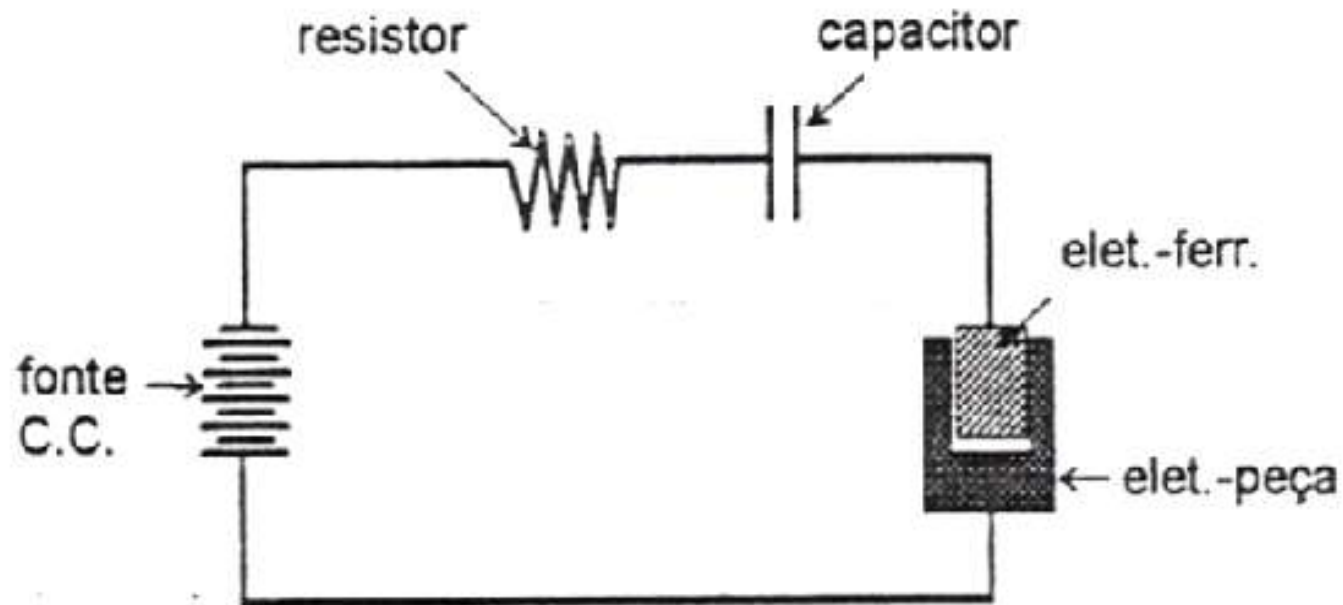


## Exemplo de peças eletroerodidas



## Histórico

### Circuito de Lazarenko



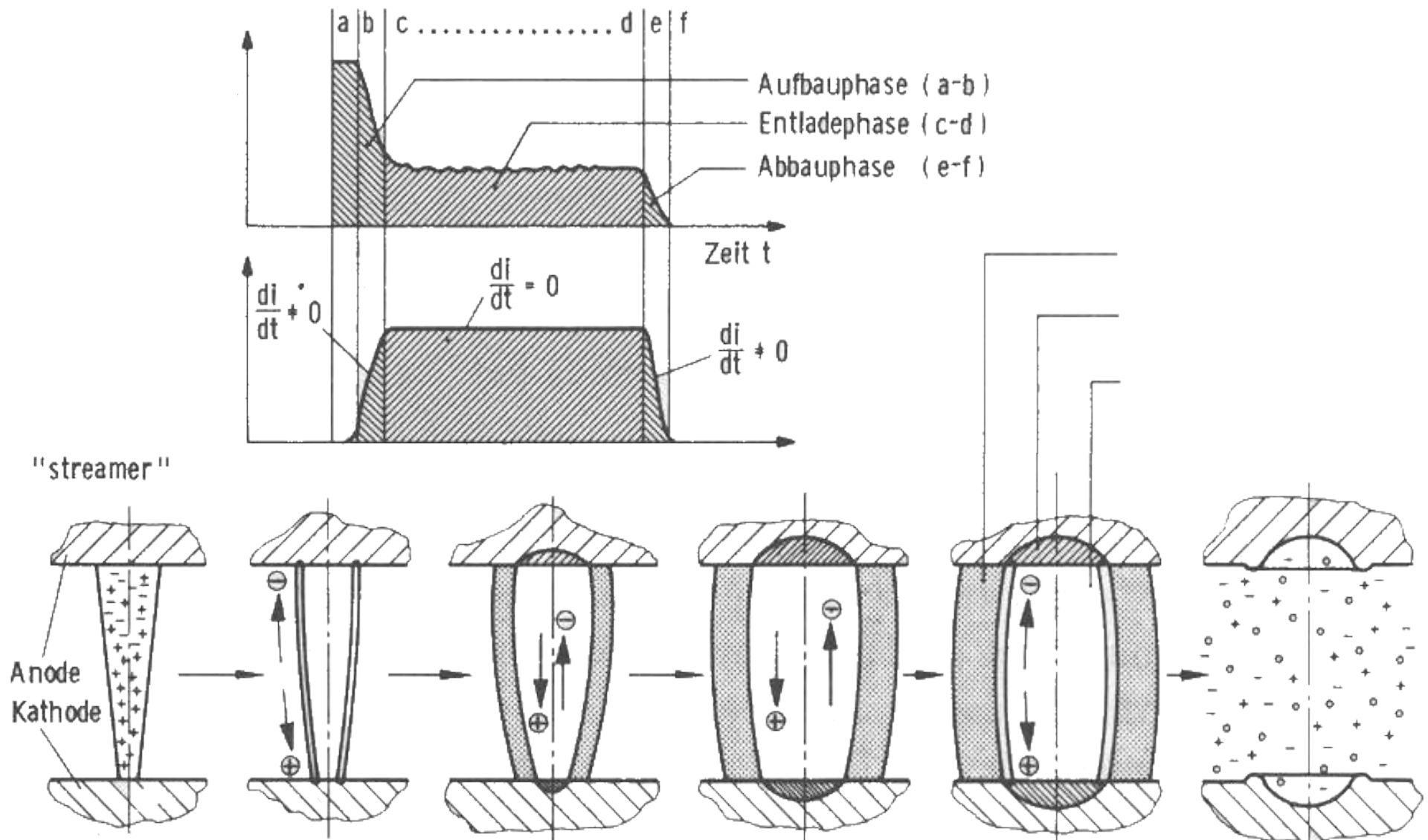


## **Princípio da remoção**

Funções do dielétrico

- ⇒ Promover o estrangulamento do canal de descarga aumentando a densidade de energia
  - ⇒ Remover as partículas erodidas de trabalho
  - ⇒ Refrigerar o local de trabalho
-

# Seqüência da descarga



## **Seqüência da descarga**

- Inicialmente, não há passagem de corrente elétrica devido ao fluido dielétrico. Nesse instante, o eletrodo-ferramenta avança em direção a peça, até aproximar-se da distância da fenda de trabalho causando um aumento do campo elétrico. Rompe-se o isolamento do dielétrico e o eletrodo passa a atuar como condutor. É neste local que haverá descargas elétricas.
  - No início de cada descarga, alguns íons livres e elétrons serão acelerados, formando um canal de descarga. A corrente gerada torna-se capaz de circular e a faísca se estabelece entre o eletrodo e a peça, provocando choques o que aumenta o número de transportadores de carga.
-

## Seqüência da descarga

- Nesta situação, corta-se a corrente elétrica, ocorrendo novamente o efeito “skin”. Devido à troca rápida de calor com o fluido dielétrico, a temperatura cai provocando o rompimento da bolha de gás.
  - Isso origina forças que fazem sair o material fundido formando duas crateras na superfície. O material fundido solidifica-se e é arrastado em forma de pequenas partículas pelo líquido dielétrico.
  - A corrente restringe-se exclusivamente a superfície do canal de descarga (efeito “skin”) e concentra-se em uma seção mínima, formando-se um canal de plasma (efeito “pinch”).
  - Sob o efeito dos choques criam-se altas temperaturas em ambos os pólos. Simultaneamente, em volta do canal de plasma, forma-se uma bolha de gás. As altas temperaturas que se deram nos pólos, vão fundindo e vaporizando parte do material da peça, enquanto que o eletrodo se desgasta.
-

## Gráfico tensão X corrente

A duração da descarga  $t_e$  é o tempo em que há corrente elétrica

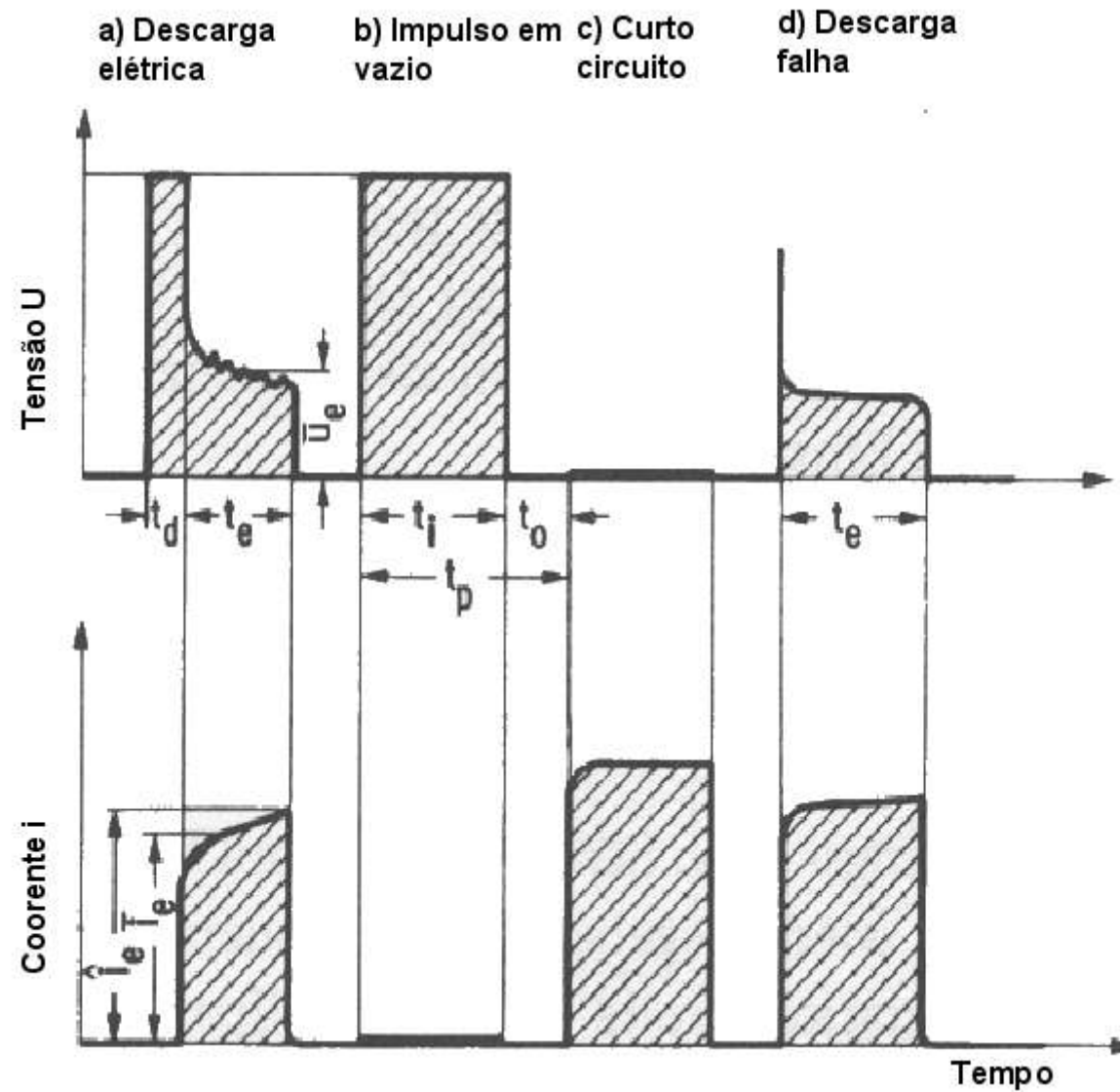
➤ O tempo de retardo  $t_d$  é o tempo desde o início do pulso de tensão até o início da descarga. É o tempo de necessário para a formação do canal de descarga

➤ A duração do impulso  $t_i$  é o tempo durante o qual a tensão está ligada

---



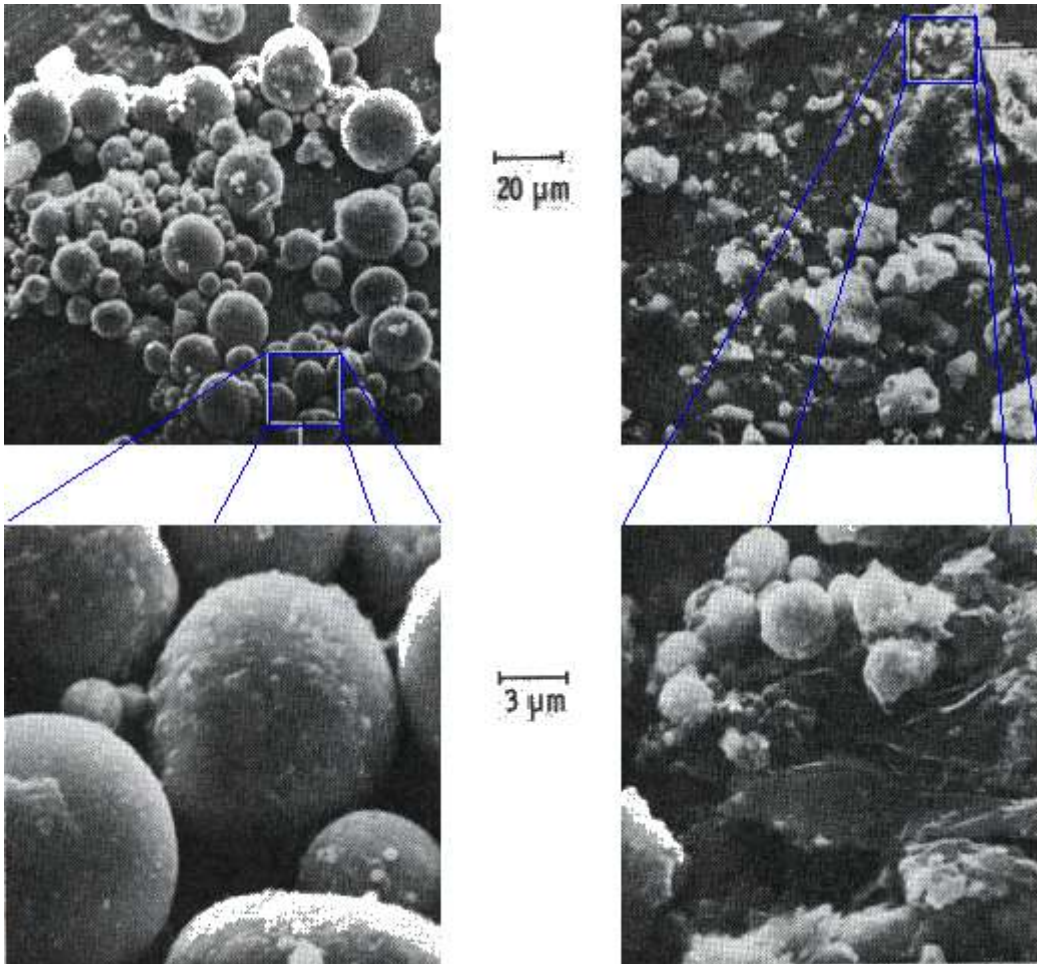
# Gráfico tensão X corrente



## **Variáveis de influência**

- Tensão em aberto
  - Tensão média de trabalho
  - Duração da descarga
  - Polarização dos eletrodos
-

## Partículas removidas por eletroerosão - cavacos



- ⇒ Esquerda: aço 56 Ni Mo V7
- ⇒ Direita: peça de metal-duro
- ⇒ Ferramenta: eletrodo de grafite
- ⇒ Dielétrico: Shell – Sol – T
- ⇒ Corrente média de descarga = 28 A
- ⇒ Tempo de impulso = 100 µs
- ⇒ Tensão média em vazio = 150 V

## Características da superfícies geradas por eletroerosão

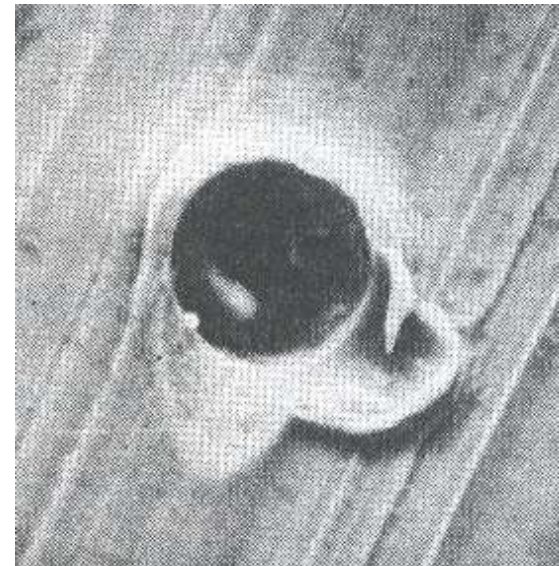
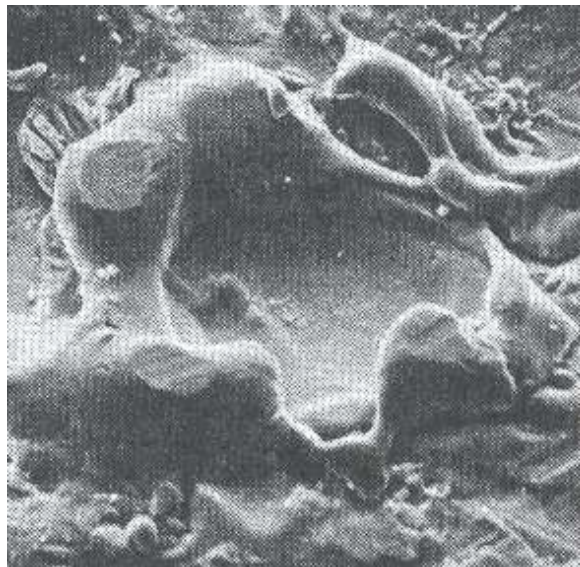
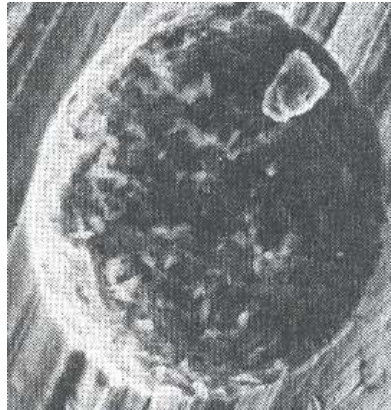
⇒ Peça: cobre

⇒ Ferramenta: cobre (+)

⇒ Tensão média: 60

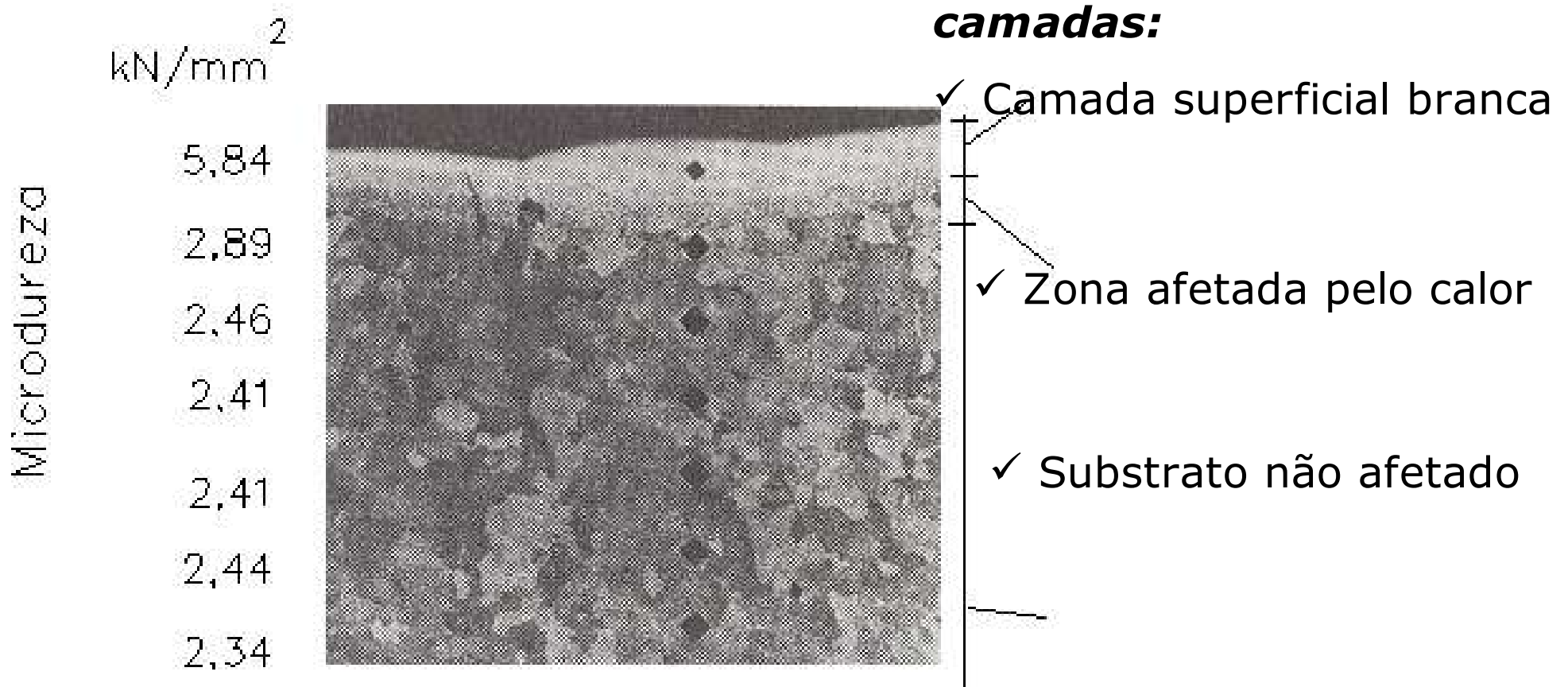
⇒ Corrente média: 34 A

⇒ Tempo de impulso: 100  $\mu$ s



## Características da superfícies geradas por eletroerosão

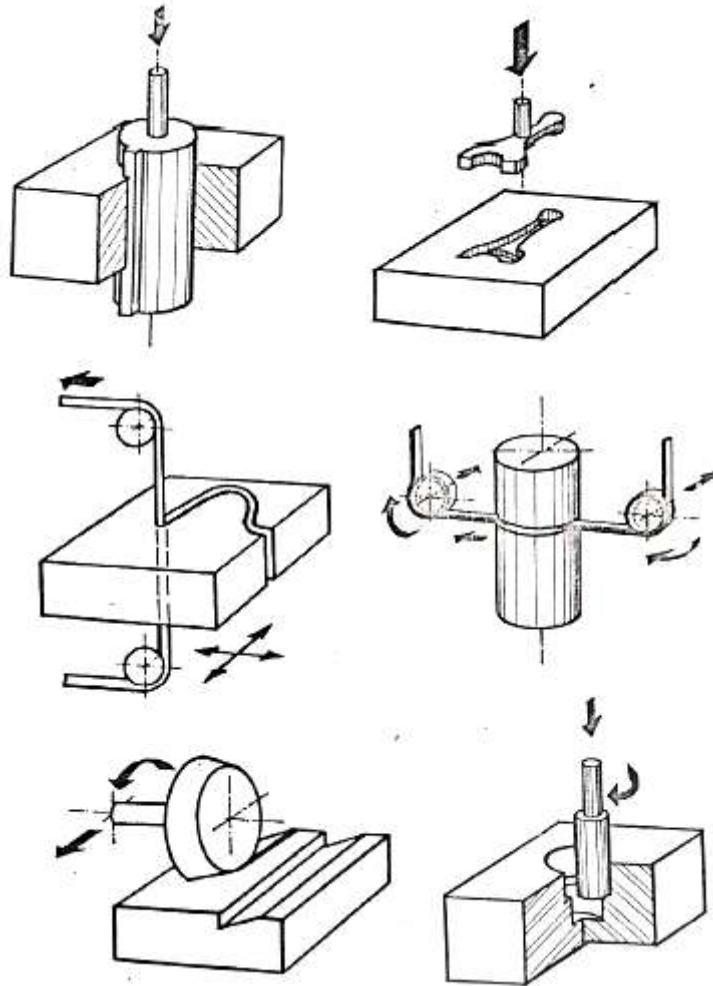
- Mecanismo térmico de remoção do material
- Alterações na composição química estrutural



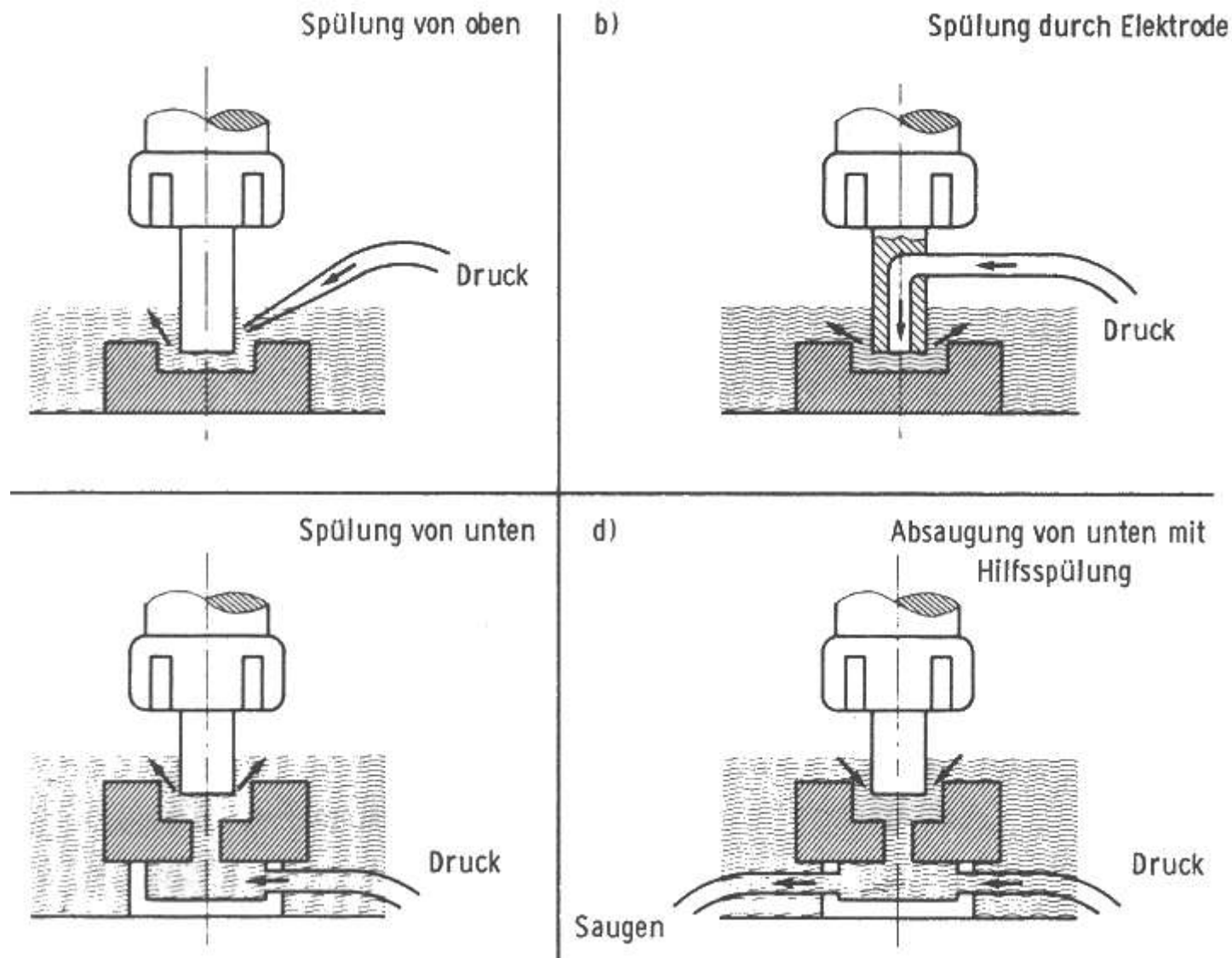


## Variações do processo de eletroerosão

- ⇒ Penetração
- ⇒ Corte ou a Fio
- ⇒ Retificação

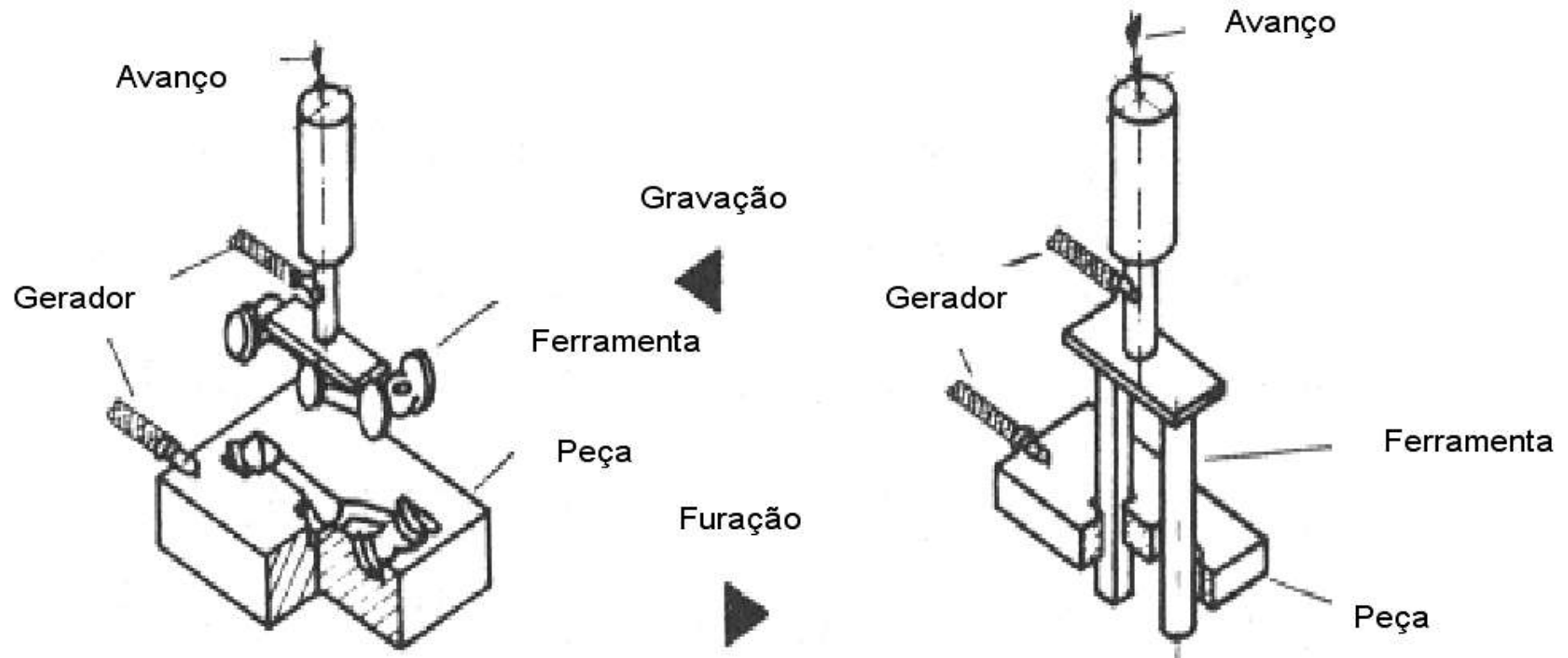


# Lavação na eletroerosão



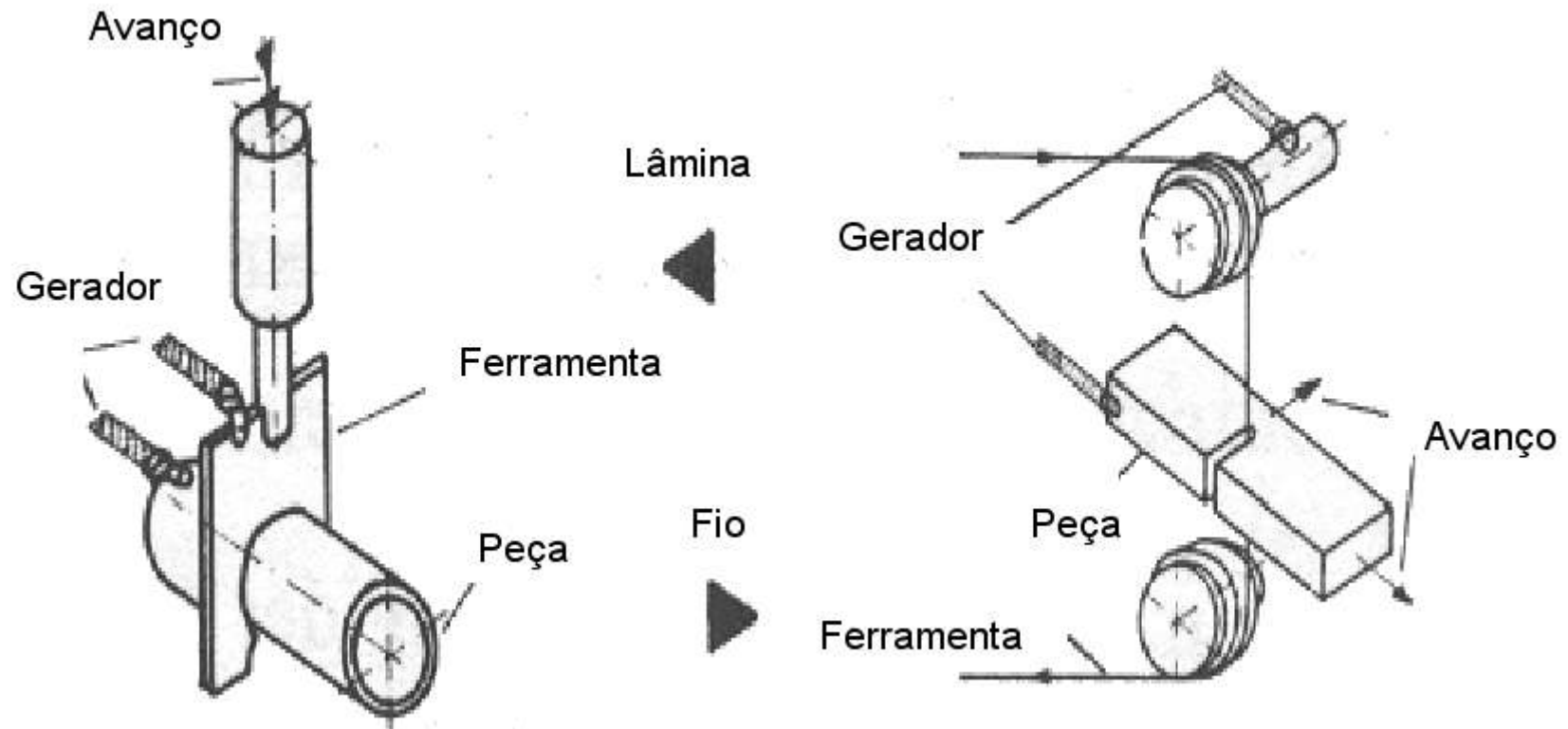
## Aplicação da eletroerosão

- Eletroerosão por imersão



## Aplicação da eletroerosão

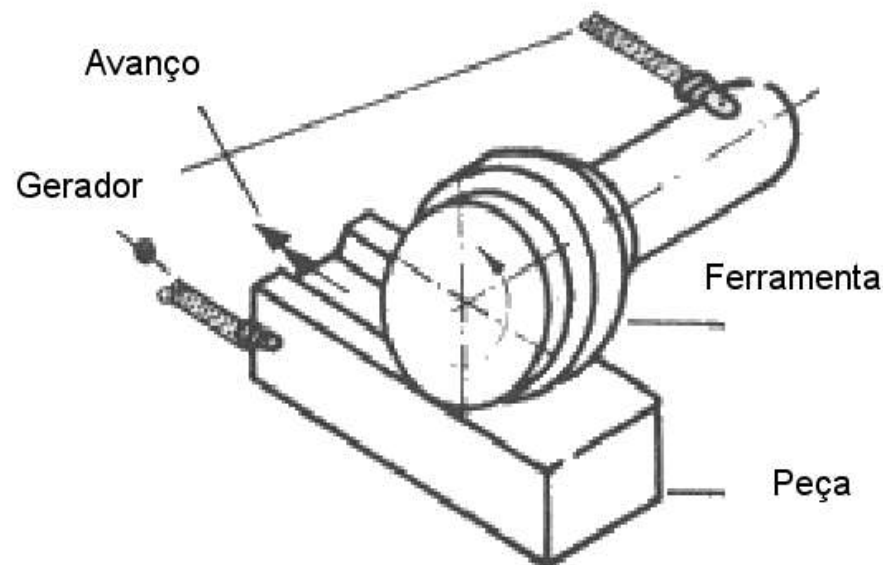
- Corte por Eletroerosão



## Aplicação da eletroerosão

- **Retificação eletroerosiva**

- ⇒ A remoção do material é unicamente decorrente de descargas elétricas entre os eletrodos, não ocorrendo remoção mecânica
- ⇒ Máquinas empregadas com movimento de avanço controlado
- ⇒ Lavação da fenda de trabalho beneficiada pela rotação do eletrodo



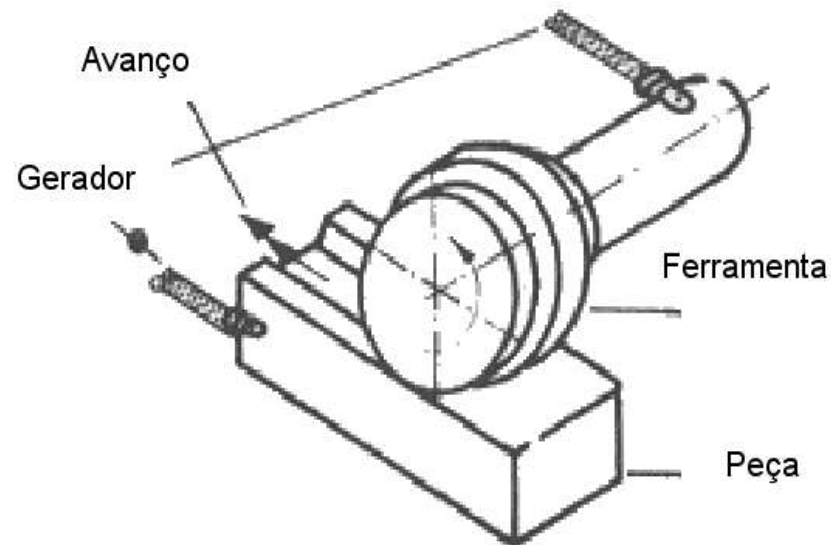


## Aplicação da eletroerosão

### • Retificação eletroerosiva

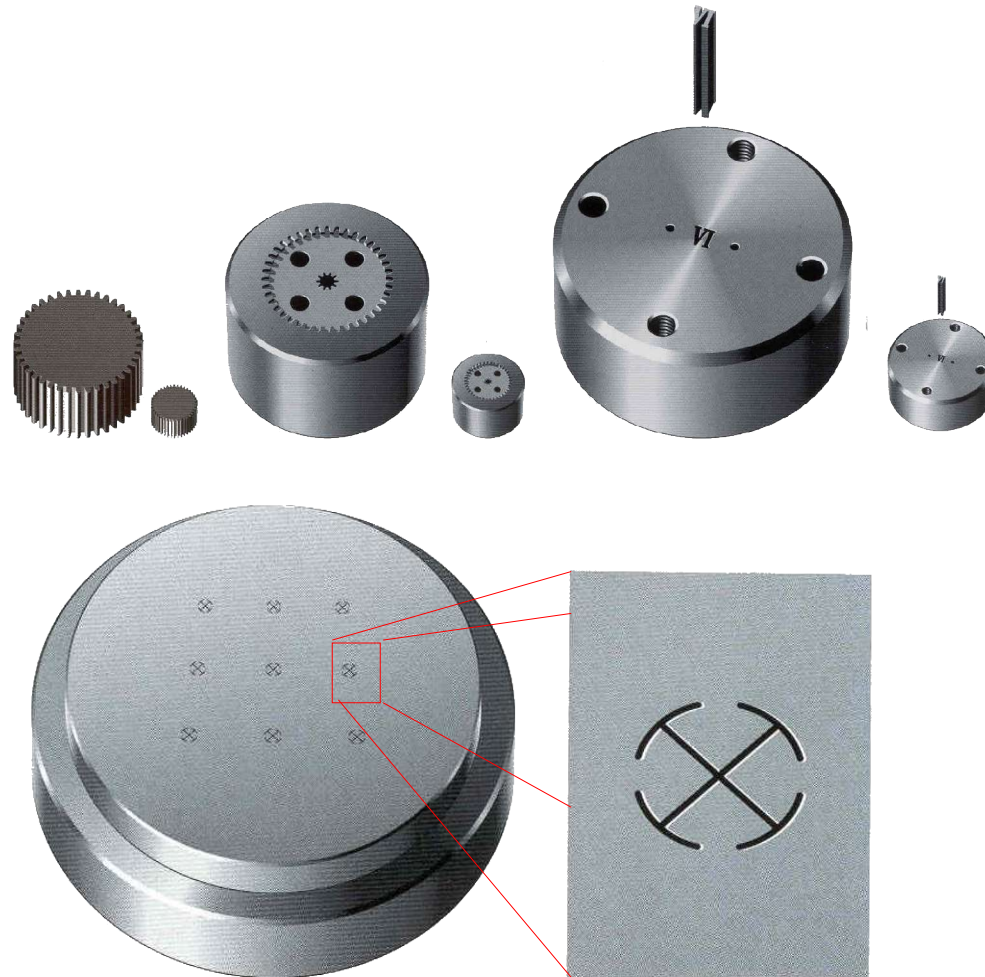
#### ⇒ Vantagens

- ⇒ Usinagem sem contato
- ⇒ Usinagem de materiais metálicos compostos de qualquer natureza
- ⇒ Ferramenta barata (disco de grafita)
- ⇒ Fácil preparação
- ⇒ Pouca influência térmica na peça



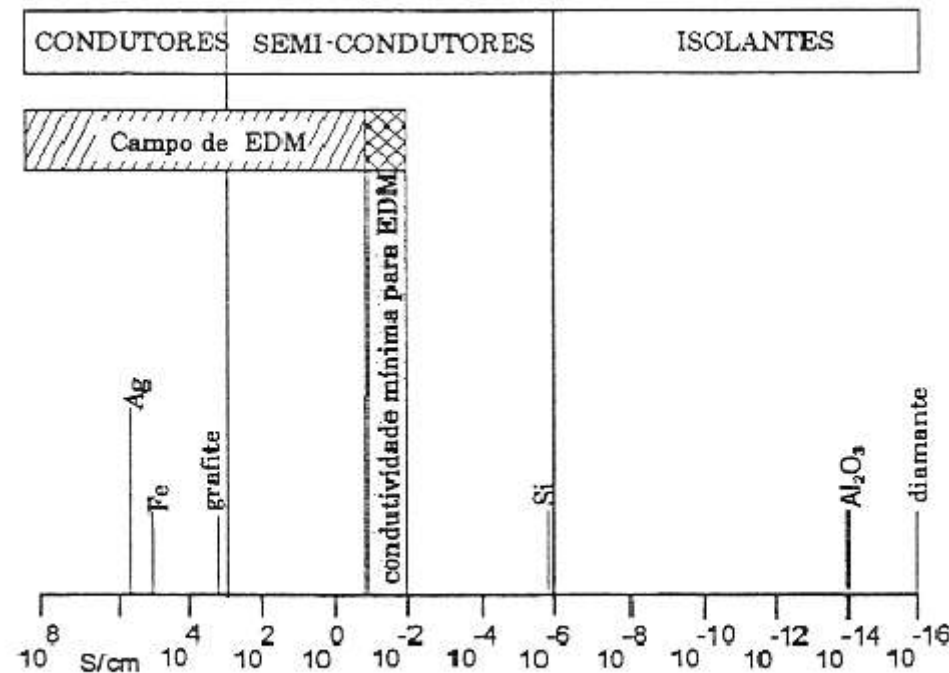
## Aplicação da eletroerosão

- Fabricação de microcomponentes



## Materiais usináveis por eletroerosão

- Indicada para processos complexos em materiais de alta dureza, ponto de fusão bem definido, elevado calor latente, de difícil usinagem por processos convencionais.
- Limitada pela necessidade desses materiais serem condutores de eletricidade independentes de serem metálicos ou não.

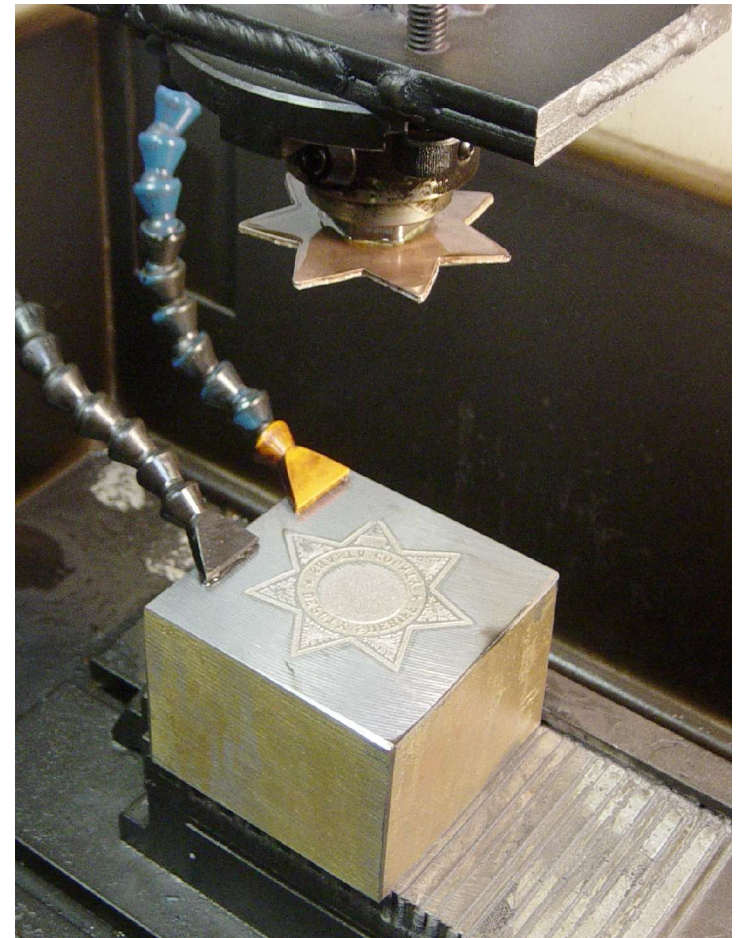


Condutividade elétrica de vários materiais

## **Eletroerosão por penetração**

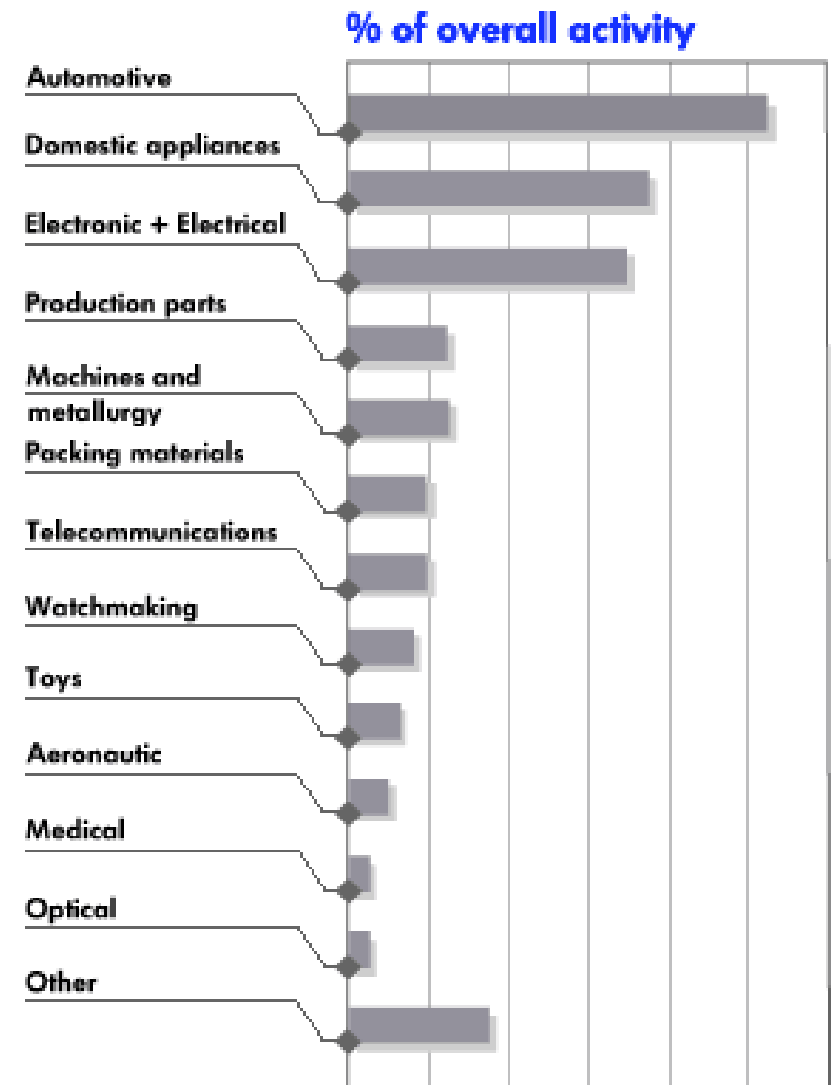
### **Características:**

- Imagem do eletrodo transferida à peça;
- Mecanismos de furar e gravar;
- Avanço no eixo Z.



# Eletroerosão por penetração - Aplicações

- Indústria automotiva.





## **Eletroerosão por penetração - Aplicações**

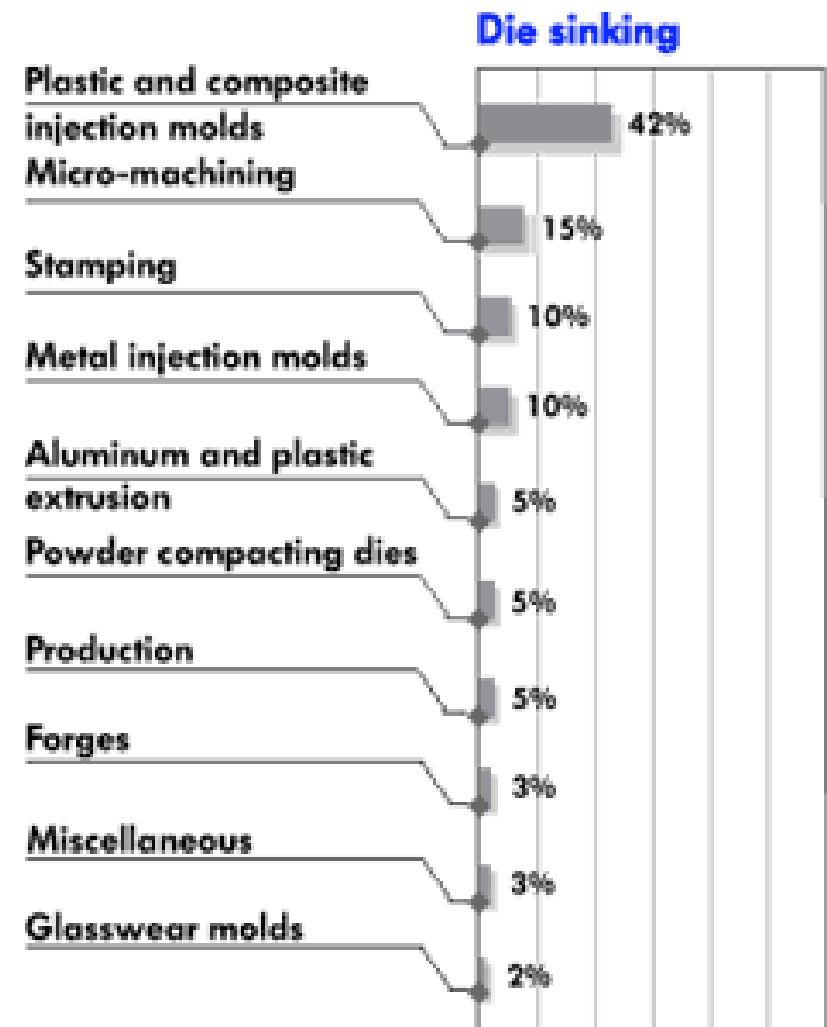
- Indústria de gravação e estampagem
- Metais de elevada dureza
- Peças com geometria complexa





# Eletoerosão por penetração - Aplicações

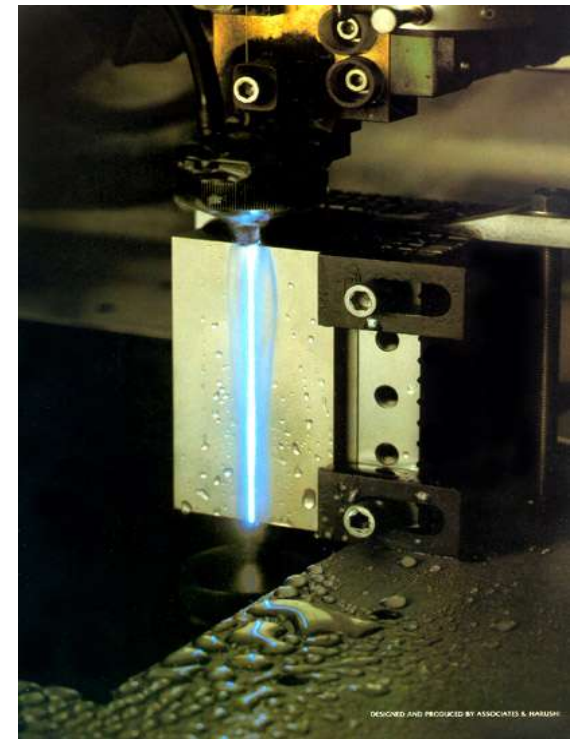
- Indústria de moldes e matrizes



## Eletoerosão a fio

### Características:

- A eletroerosão a fio é um método para cortar materiais condutivos com um fino eletrodo que segue um caminho programado.



## **Eletroerosão a fio**

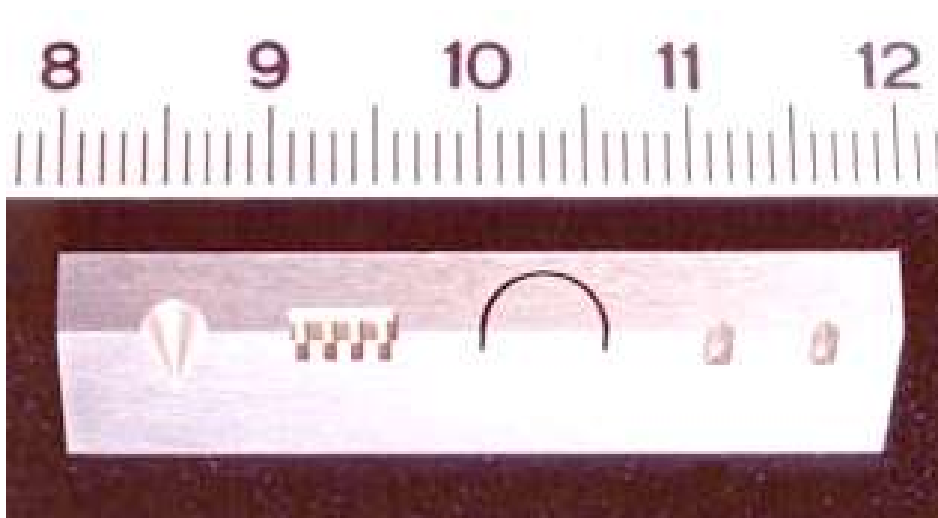
### **Características:**

- Ausência de forças de corte e tensões comuns dos processos convencionais de usinagem, pois não há contato físico entre o fio e peça.
  - Rápida dissipação de calor, pelo fato de a peça permanecer submersa em líquido.
  - A dureza do material da peça não tem efeito negativo na velocidade de corte.
-

# Eletoerosão a fio

## Aplicações

- Confeecção de matrizes para estampas de corte, fieiras para trefilação, micro EDM e a fabricação de ferramentas de metal duro.
- Materiais muito duros e de difícil usinagem pelos processos tradicionais.



## **Eletroerosão a fio**

### **Vantagens e Desvantagens**

- Peças com formas complexas, superfícies de alta qualidade, praticamente sem distorções ou alterações micro-estruturais.
- Problemas: baixa taxa de remoção de material; a produção de superfícies com camadas refundidas e dificuldades no descarte dos fluidos utilizados no processo.





# Eletroerosão a fio

## Exemplos



- *Peça trabalhada em CNC.*

- *Engrenagem obtida através de eletroerosão a fio.*



## Fluidos Dielétricos em Eletroerosão a fio



- Atua diretamente na usinagem
- Promove a lavagem do GAP.
- Auxilia na refrigeração do sistema.

## **Eletroerosão a fio**

### Características do dielétrico

- Rigidez dielétrica
  - Tempo de deionização
  - Viscosidade
  - Calor específico
  - Ponto de ebulição
  - Condutividade térmica
-

# Eletoerosão a fio

## Tipos de dielétricos

### ✓ Óleo Mineral

- Melhores Resultados
- São pobres aromatizantes
- Contém muito pouco ou nenhum aditivo
- Viscosidade
- Ponto de Inflamação

### ✓ Petróleo

- Baixa Viscosidade
- Usinagens de baixa duração

### ✓ Outros

- Querosene
  - Água deionizada
  - Soluções aquosas
-

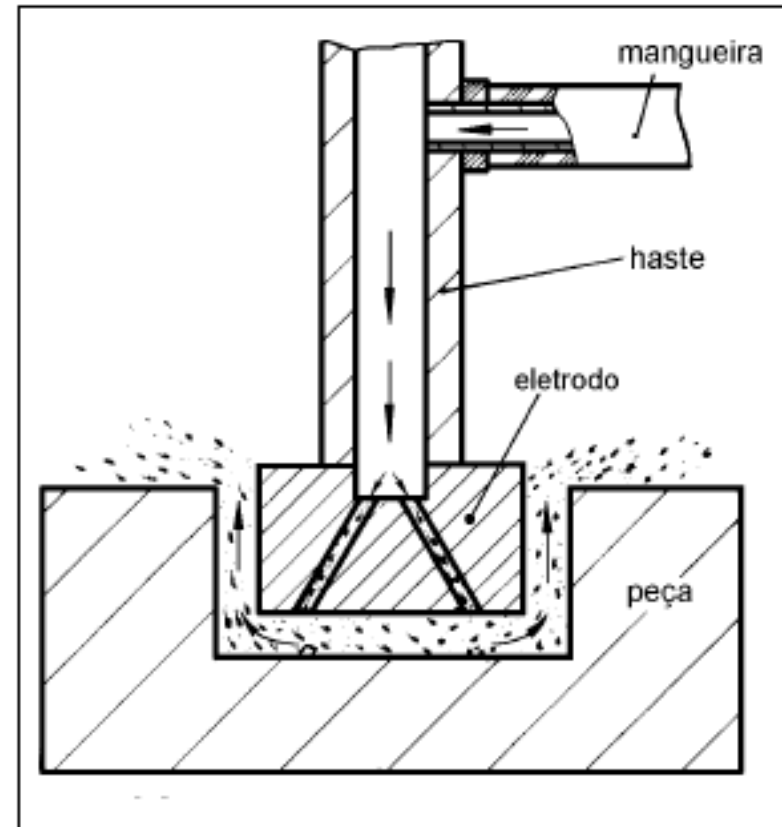
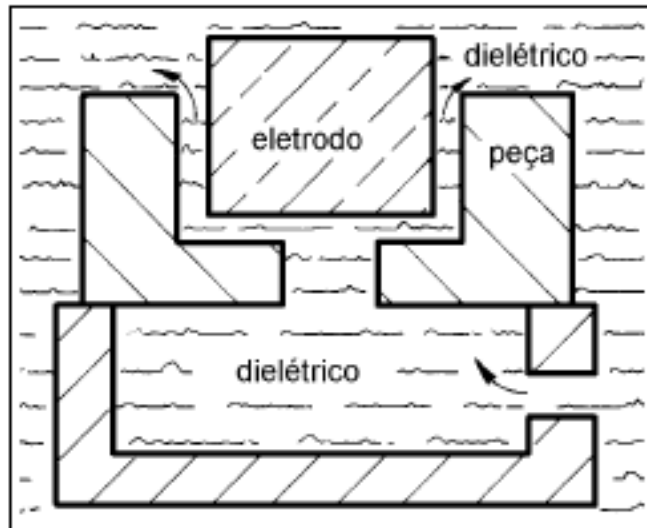
## **Limpeza da cavidade e fenda de trabalho**

- É a circulação do fluido dielétrico, entre o eletrodo e a peça, para a remoção das partículas suspensas e gases por filtração.
  - Fundamental importância para o rendimento do processo, uma vez que, se estas partículas acumularem, haverá uma diminuição da resistência e formação de descargas elétricas anormais.
-



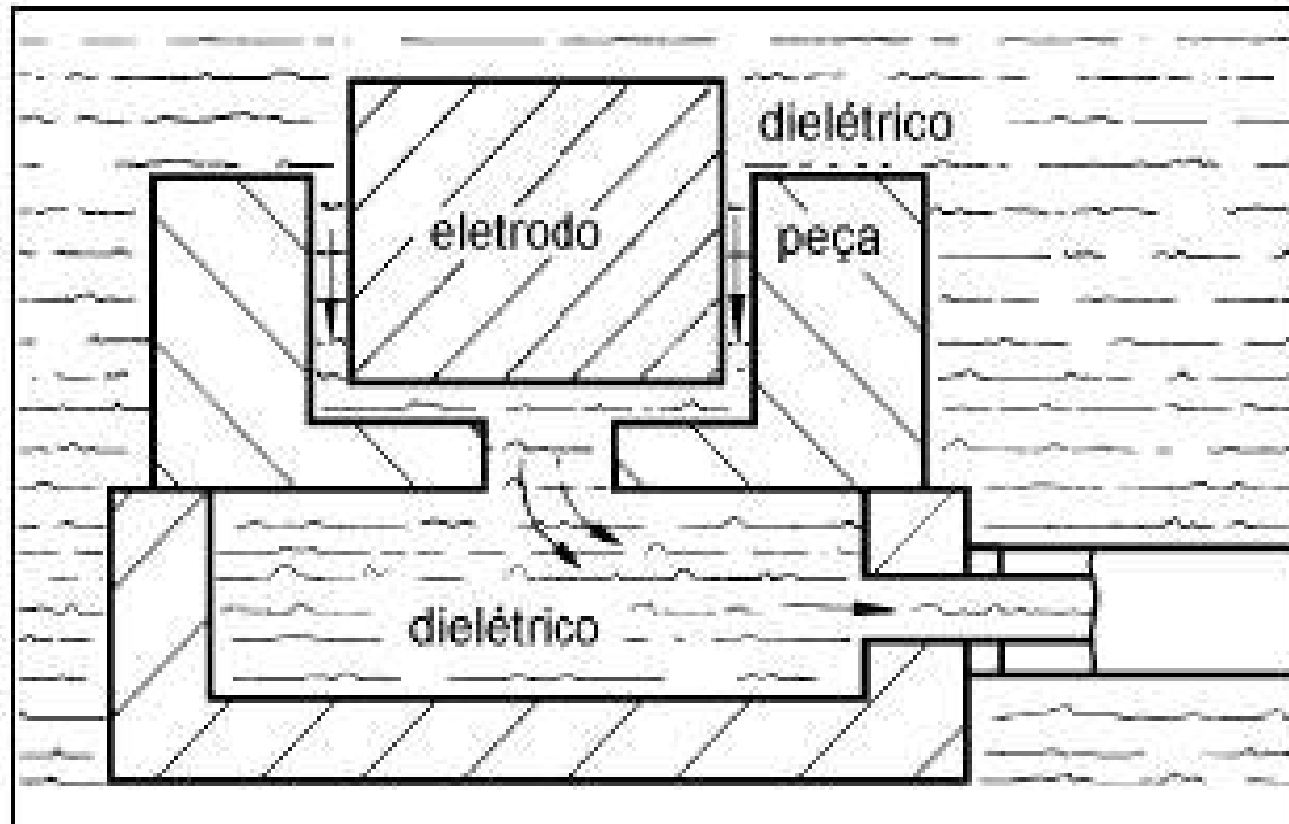
## Limpeza da cavidade e fenda de trabalho

- Limpeza por injeção



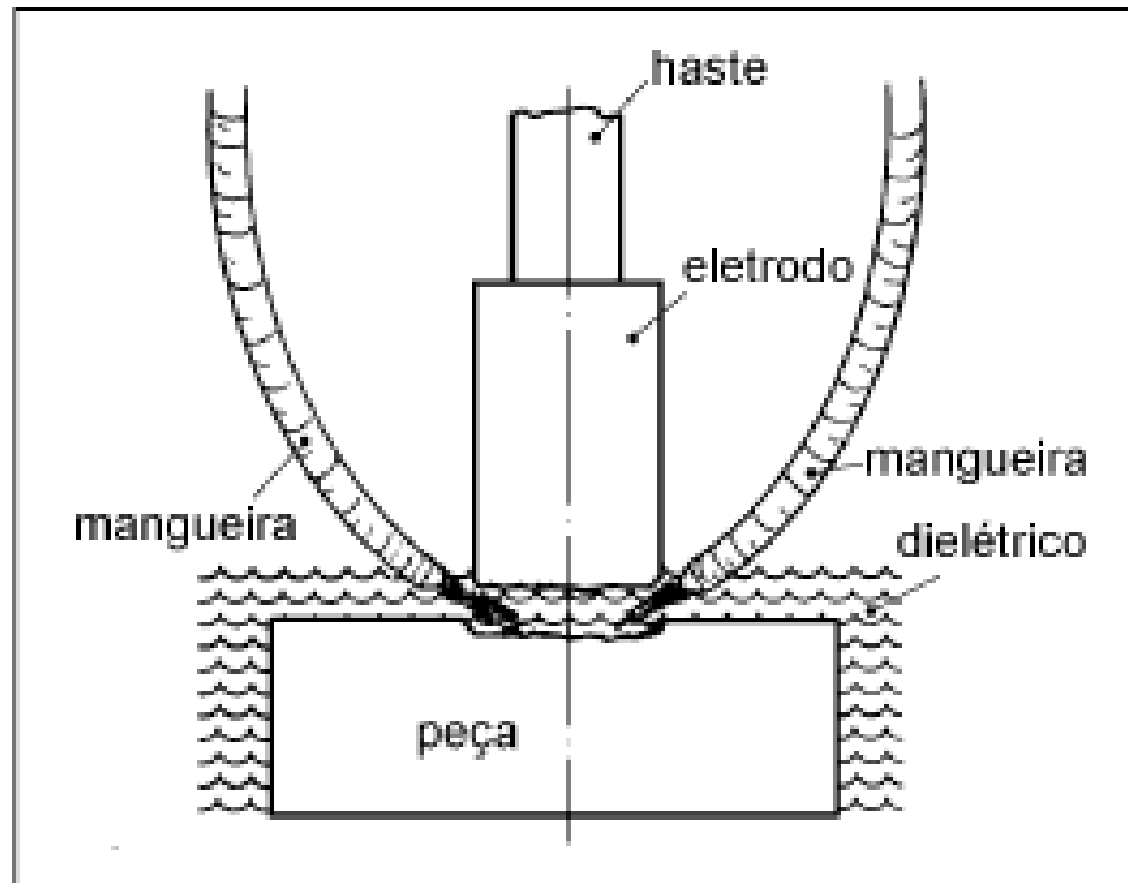
## Limpeza da cavidade e fenda de trabalho

- Limpeza por aspiração



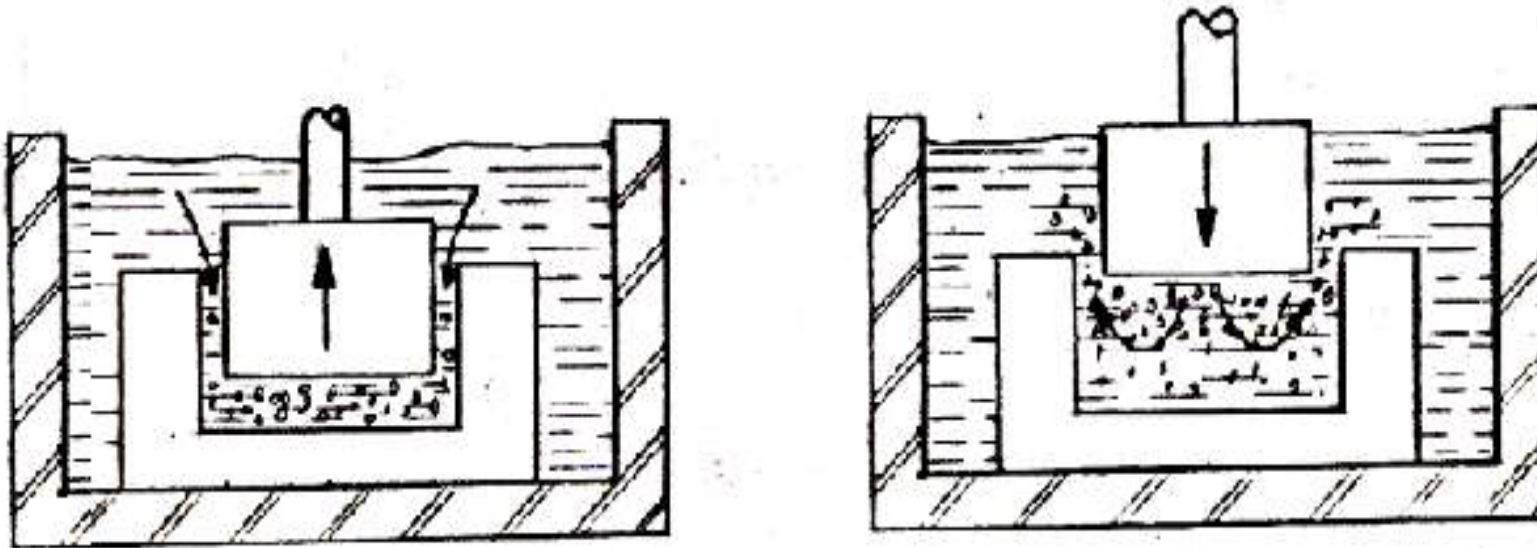
## Limpeza da cavidade e fenda de trabalho

- Limpeza por jato lateral



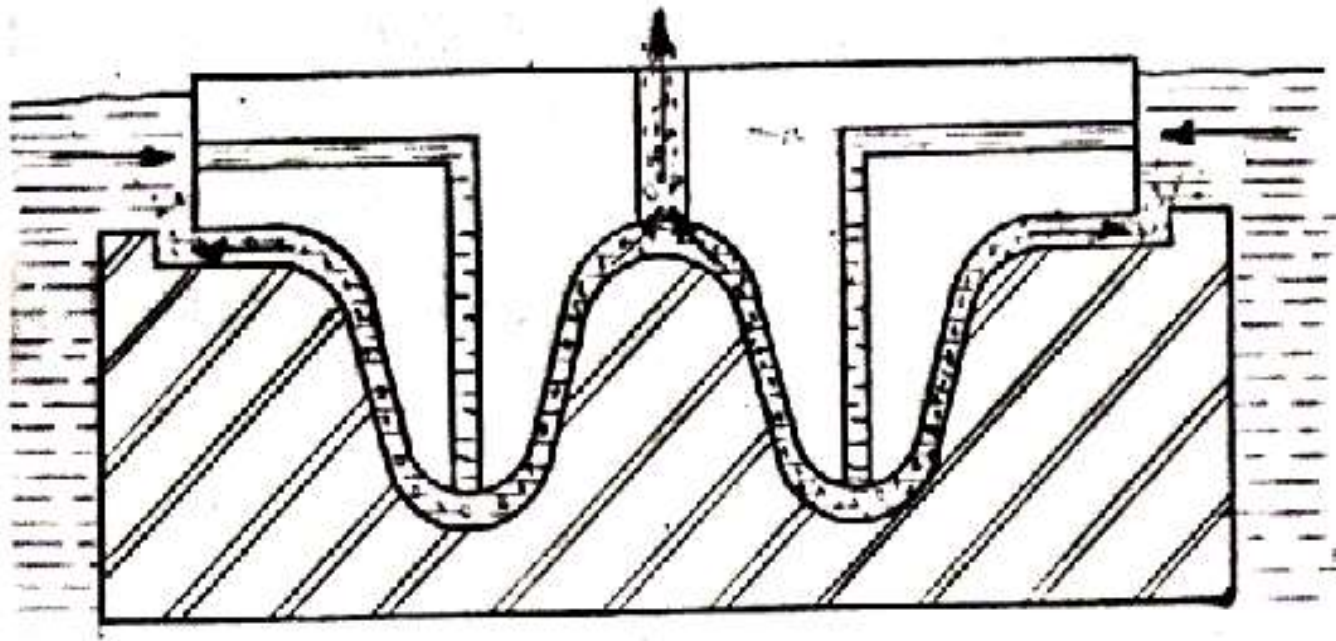
## Limpeza da cavidade e fenda de trabalho

- Limpeza por agitação do dielétrico



## Limpeza da cavidade e fenda de trabalho

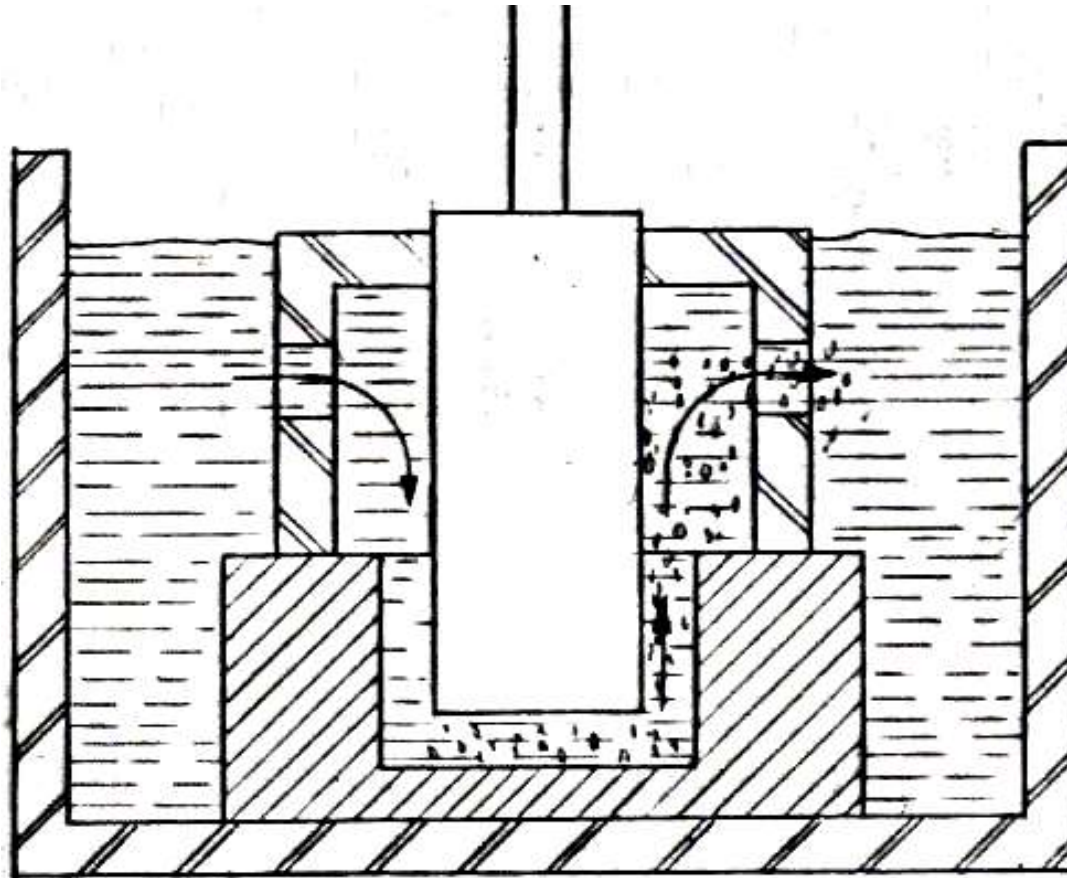
- Limpeza combinada (injeção e aspiração)



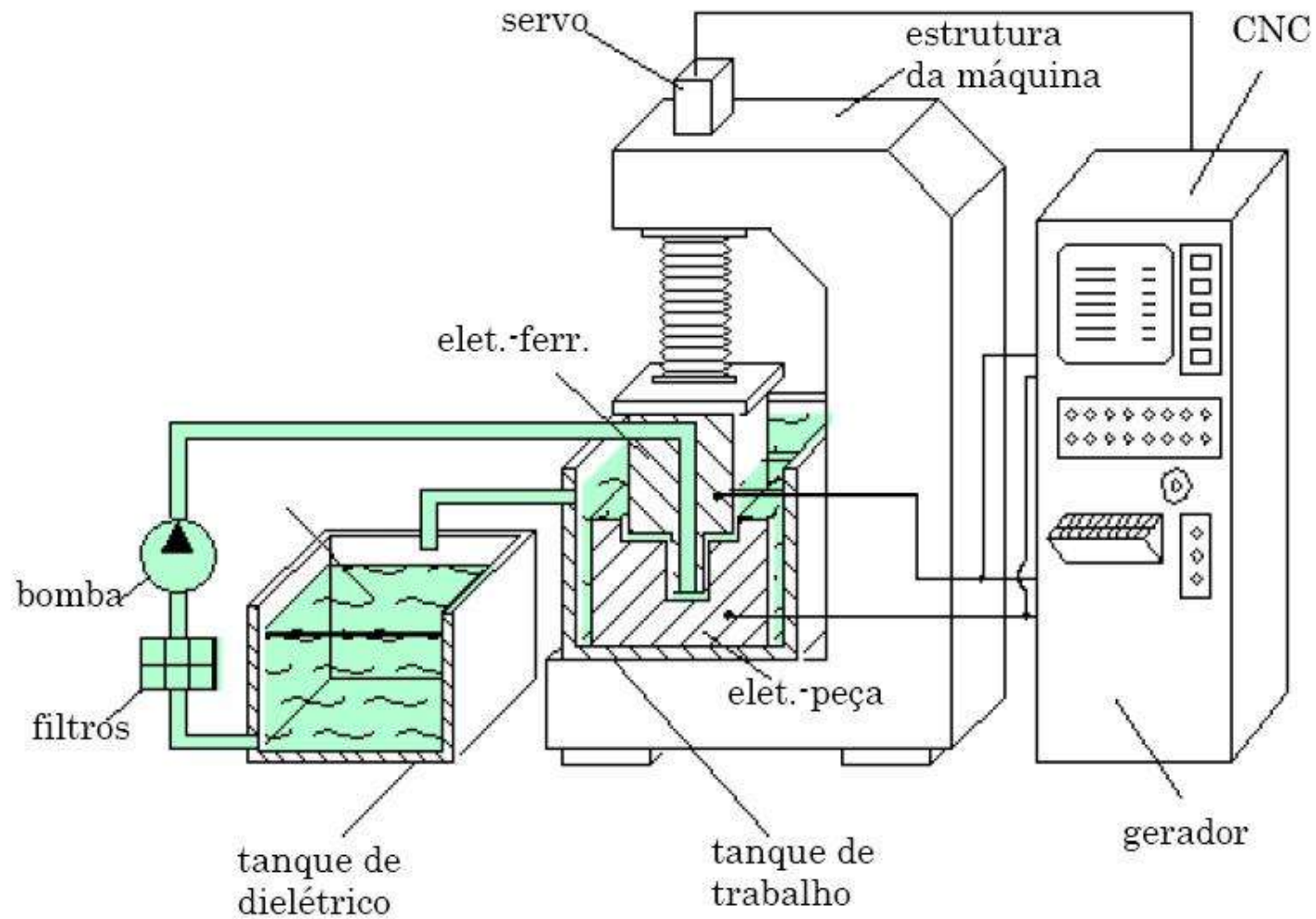


## Limpeza da cavidade e fenda de trabalho

- Limpeza por fluxo transversal



## Circuito do dielátrico



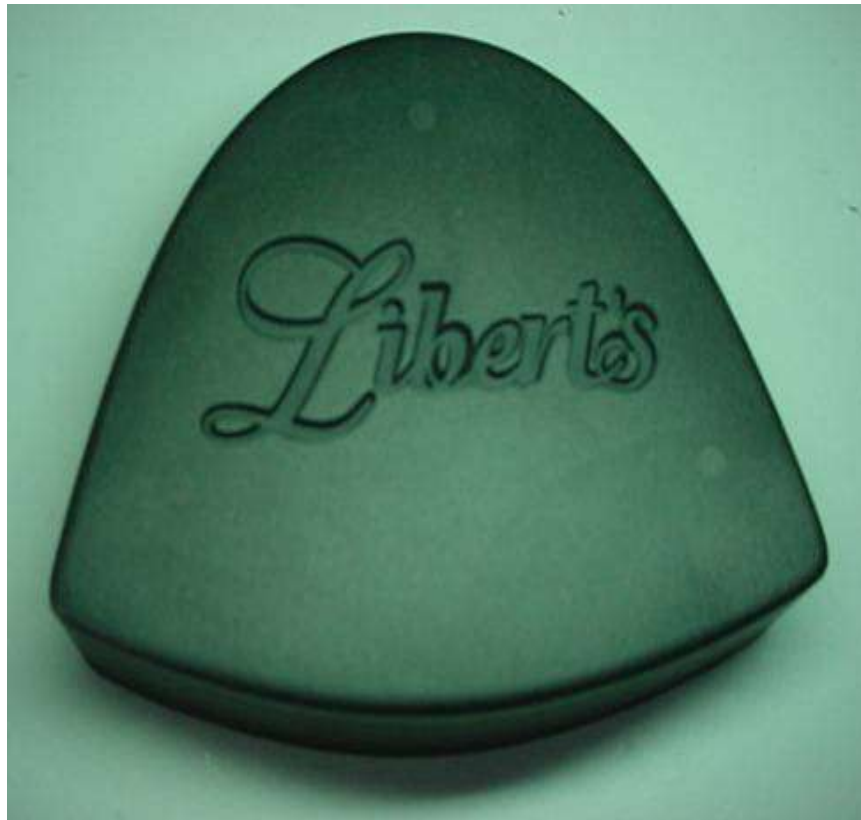
## **Eletrodos**

- Características
  - Boa condutibilidade térmica e elétrica
  - Elevado ponto de fusão
  - Fácil usinabilidade
- Materiais
  - Metálicos
  - Não metálicos
  - Revestidos



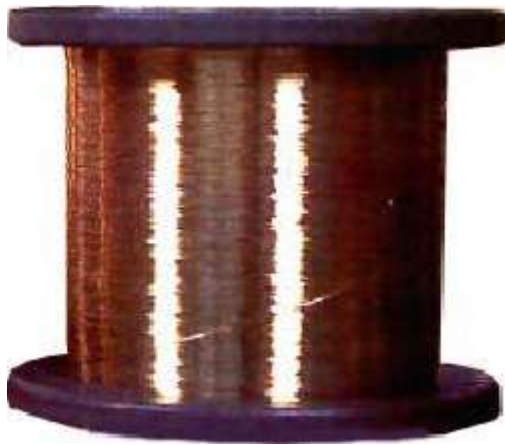
## Eletrodos

- Fabricação
  - Usinagem convencional – basicamente fresamento
  - Conformação
  - Galvanopastia



## Eletrodos

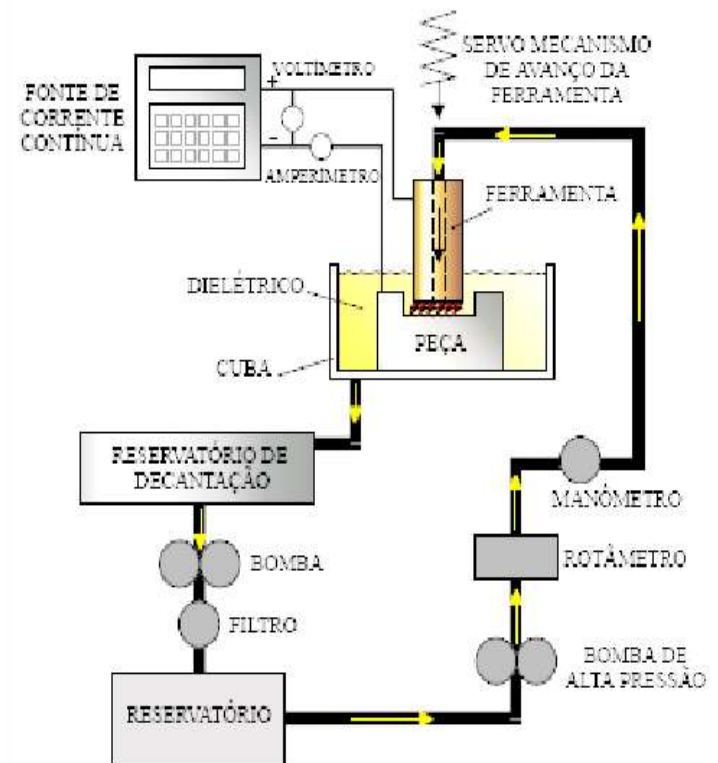
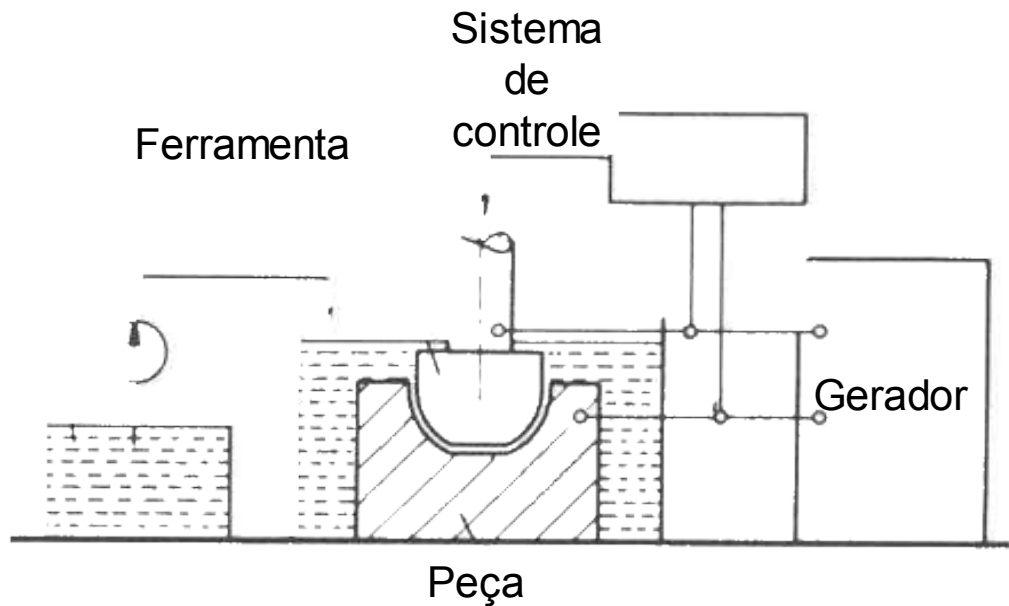
- Bobinas
  - Bobinas produzidas a partir de uma liga de CuZn35 (latão)
  - Fios mais modernos são revestidos por uma fina camada de estanho, que aumenta a velocidade de corte e a resistência do fio
  - Fios de molibdênio atuam aumentando a resistência à tração do fio.



# Máquina de eletroerosão

A máquina de eletroerosão por faísca é formada por:

- ⇒ Sistema elétrico
- ⇒ Sistema mecânico de posicionamento
- ⇒ Sistema de circulação do dielétrico.



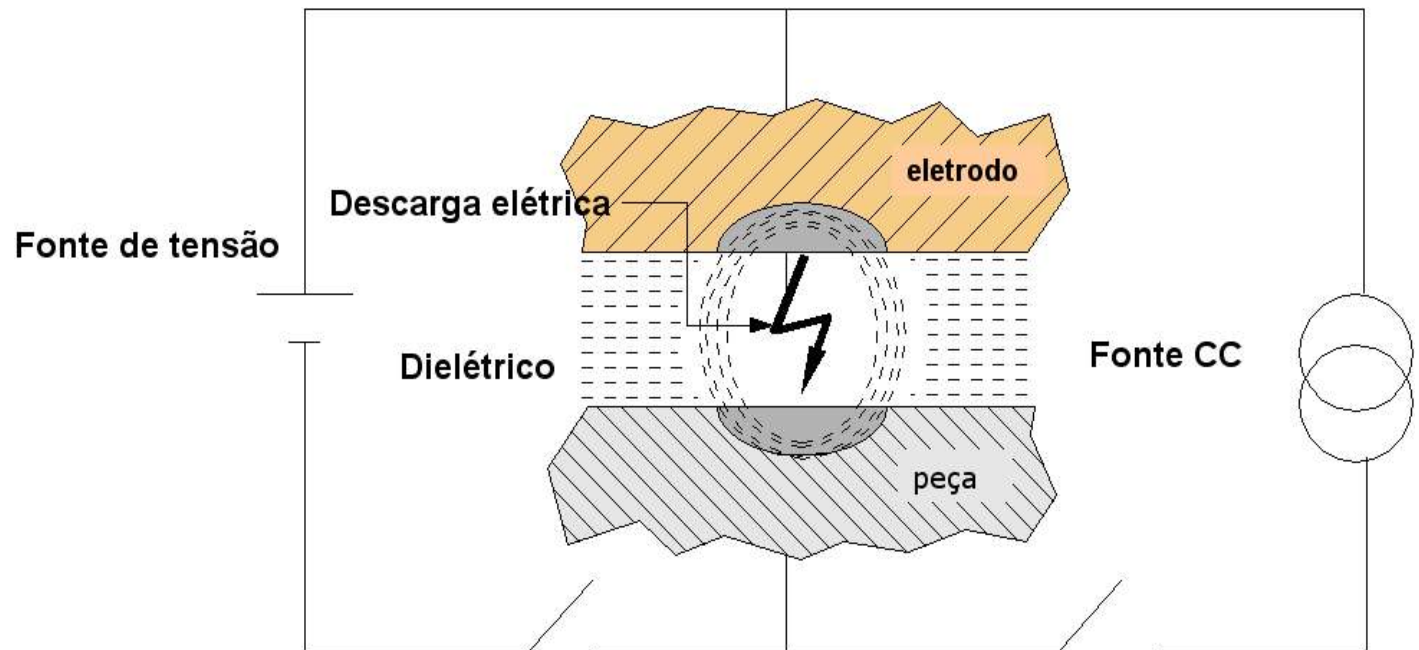


# Máquinas de eletroerosão

## Geradores

⇒ Gerador de pulsos; sistemas de controle do avanço e posicionamento relativo entre eletrodo-peça; alimentação de energia

⇒ Gerador: Fonte de cc, fonte de tensão e sistema capacitor eletrodo-peça



## **Máquinas de eletroerosão**

### **Sistemas de posicionamento**

- A mesa que suporta a peça de trabalho tem normalmente os movimentos na direção x e y
  - São empregados sistemas de patins lineares nas guias e esferas recirculantes dos fusos tanto da mesa como do cabeçote porta-eletrodo, aumentando a precisão de posicionamento
  - Alguns modelos são construídos com mesa fixa. Neste caso, é o portal que se movimenta
-

# Principais Fabricantes

- ONA



# Principais Fabricantes

- **GRUPO AGIE – CHARMILLES** (Agie, Charmilles, Actspark, Engemaq)



# Principais Fabricantes



## Características

- Modelo: 440 NC
- Fabricante: Engemaq.
- Eletroerosão por Penetração EDM 440 NC
- Comprimento x largura 500 x 350 mm
- Curso longitudinal "X" 360 mm
- Curso transversal "Y" 250 mm
- Divisão do colar 0.005 mm
- Peso máximo sobre a mesa 700 Kg
- Máxima distância eixo-mesa: 450 mm
- Mínima distância eixo-mesa: 250 mm

## Eletroerosão por Penetração.



**Fim - Aula 26**

---