

# **Componentes Eletrônicos**

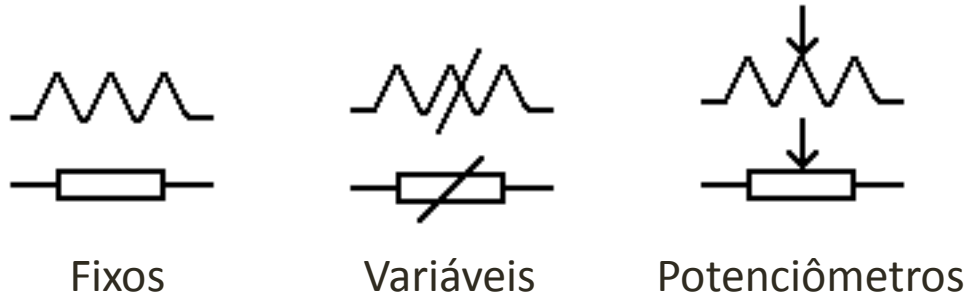
Resistores, Capacitores e Indutores

J.R.Kaschny

(2013)

# Resistores

Símbolos comuns:



Tipos usuais:

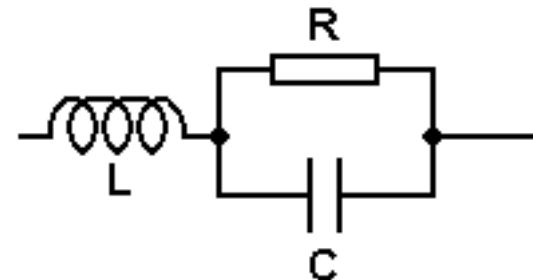
- Fixos – fio, carbono ou filme metálico
- Potenciômetros – fio ou carbono
- Variáveis – fio

Parâmetros relevantes:

- Resistência [ $\Omega$ ]
- Potência máxima a ser dissipada [W]
- Tolerância no valor de resistência [%]
- Tipo construtivo
- Tensão máxima de operação (p/ HV) [V]

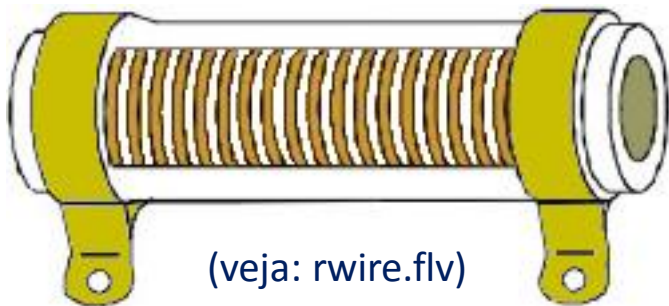
Modelo realístico:

- R = resistência efetiva
- L = indutância série
- C = capacitância paralela



## Resistores de fio

Consiste basicamente de um fio metálico de resistividade bem definida e diâmetro homogêneo (ex. Ni-Cr) enrolado sobre um núcleo cilíndrico feito de material cerâmico (ex.  $Al_2O_3$ ) de maneira que uma espira não entre em contato elétrico com a outra.



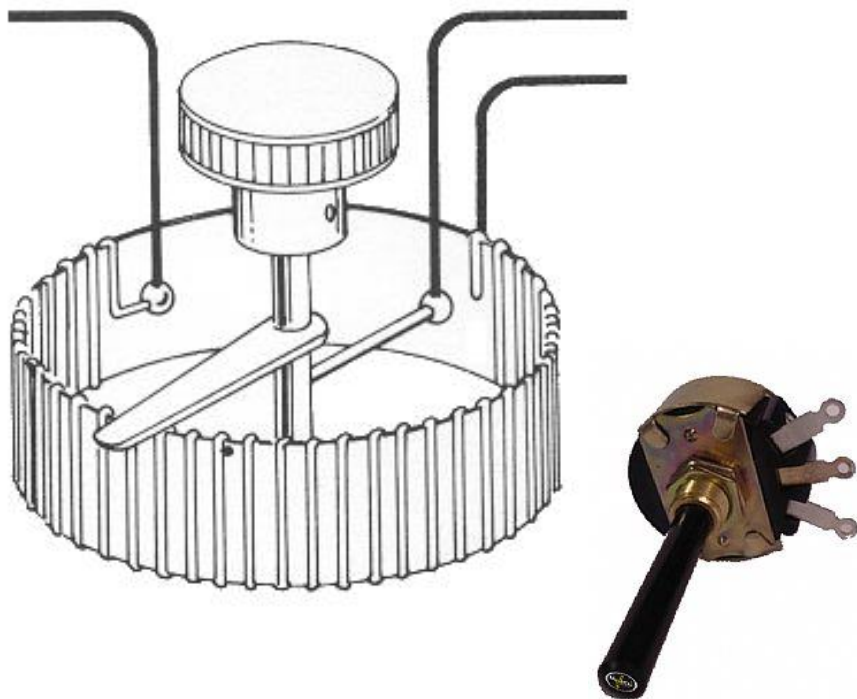
(veja: [rwire.flv](#))

Características:

- Resistências na faixa entre décimos de  $\Omega$ s e vários k $\Omega$ s
- São em geral capazes de dissipar altas potências ( $\geq 5$  W)
- Estabilidade térmica questionável (R aumenta com T)
- Comparativamente, apresenta alta indutância serie
- Valores de resistência e potencia carimbados no componente
- Dimensões podem variar bastante com a resistência e potencia

Podem se apresentar com diversos tipos construtivos e até mesmo serem usados como elementos aquecedores.

Além disso existem também os potenciômetros de fio, que muitas vezes constituem elementos de ajuste fixo.

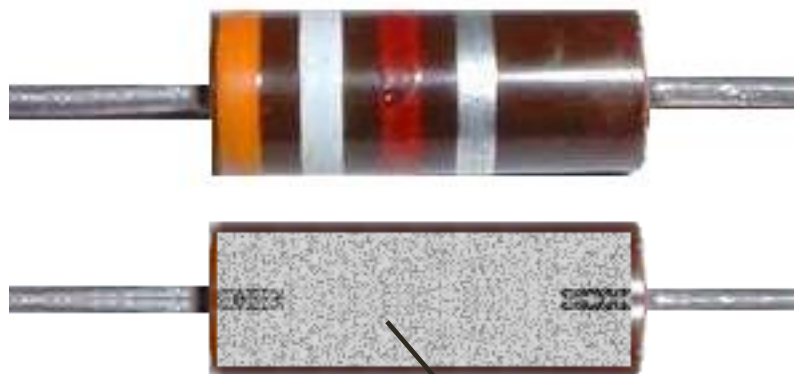


## Resistores de “carvão”

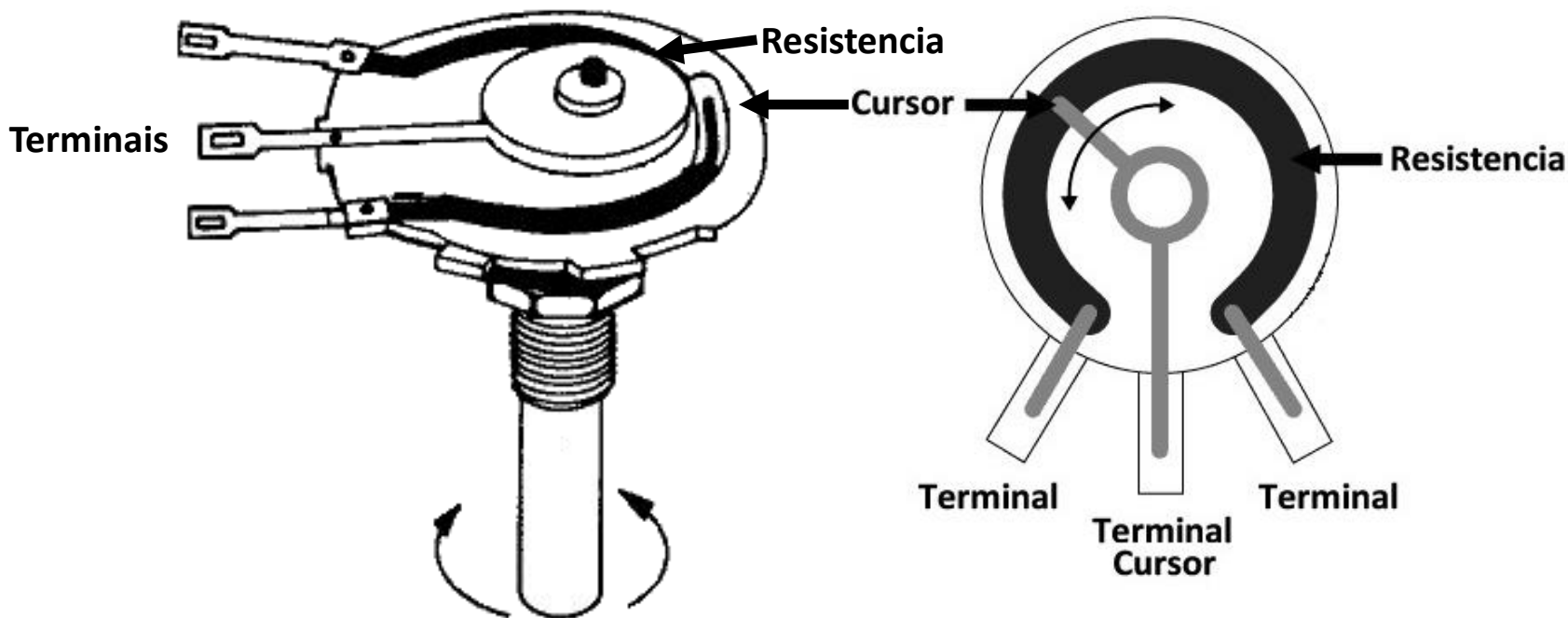
Consiste basicamente de uma capsula com dois contatos, preenchida com pó sintetizado (ex. grafite) em uma concentração controlada.

Apresentam baixíssima indutância serie e capacitância paralela. Contudo, a estabilidade térmica é muito ruim, sendo hoje pouco usados.

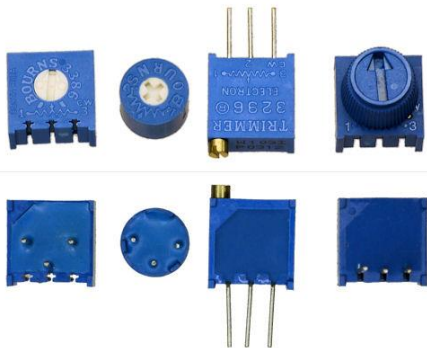
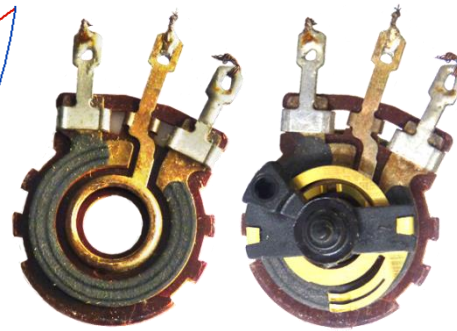
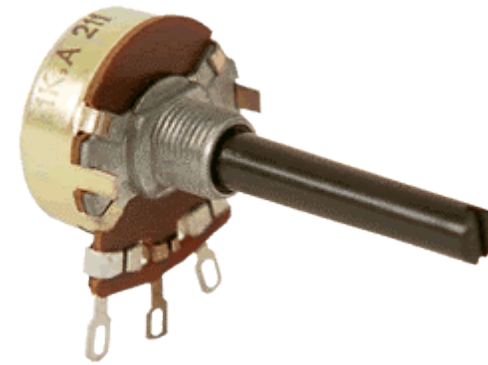
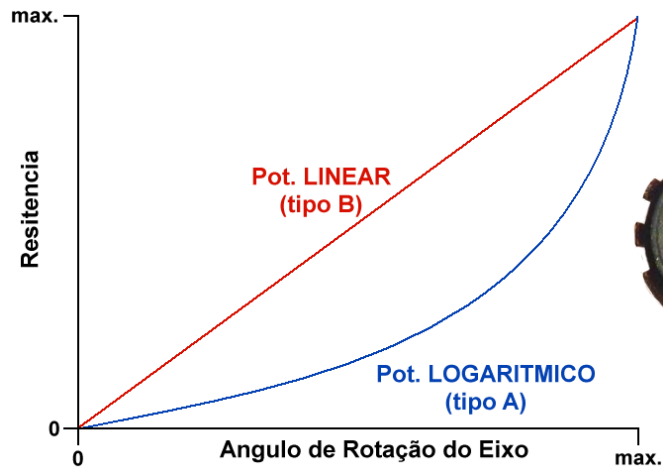
Muitos potenciômetros ainda usam pistas resistivas com compostos de carbono devido ao baixo atrito que apresentam.



Pó sintetizado (ex. grafite)



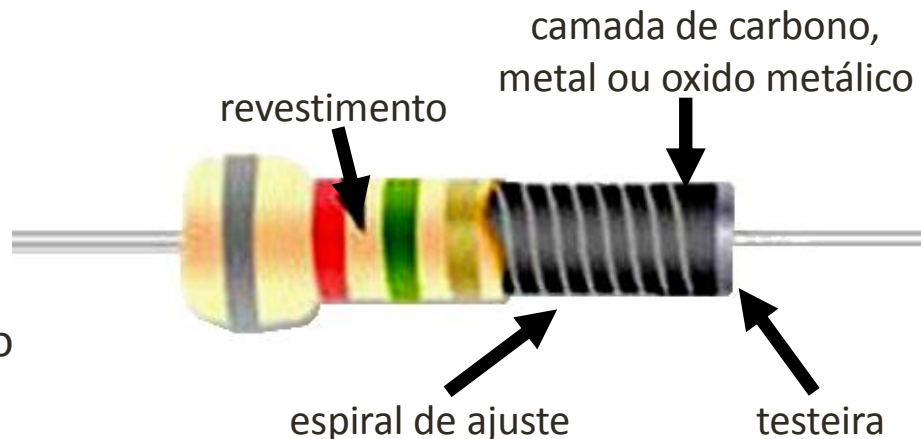
Potenciômetros com pista de 'carvão' podem se apresentar com uma enorme diversidade de modelos, construções e curvas características (A: Log./B: Lin.). Eles apresentam tipicamente uma potencia máxima de 1/4 W, 1/8 W ou bem menos que isso. Atualmente, vem sendo substituídos por circuitos ativos devido ao desgaste mecânico que apresentam durante uso.



## Resistores de filme

Consiste basicamente de um cilindro cerâmico (ex.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) revestido com uma camada resistiva formada por carbono, óxido metálico ou mesmo metal, depositado via evaporação ou técnicas eletroquímicas.

Em princípio, tal camada exibirá uma resistência que é função da espessura e do comprimento. Para contornar qualquer limitação, o valor da resistência do componente é ajustada via a formação de um 'espiral' feito por um laser, ou utilizando abrasão mecânica (raspagem), para aumentar o caminho efetivo. Isso se assemelha bastante a construção empregada nos resistores de fio.



Características:

- Resistências na faixa entre décimos de  $\Omega$ s e dezenas de  $\text{M}\Omega$ s
- São em geral capazes de dissipar potências entre 1/8 e 5 W, ou mais usualmente, potências de 1/8, 1/4 e 1/2 W
- Estabilidade térmica muito boa (R varia pouco com T)
- Apresenta alguma indutância série, mas menor que os de fio
- Valores de resistência lidos via código de cores
- O tamanho varia com a potência máxima do dispositivo, mas tem dimensões constantes para uma mesma potência, ou seja, as dimensões independem do valor da resistência

O código de cores é composto de 4, 5 ou 6 faixas coloridas, onde cada cor representa um número, sendo o respectivo significado ditado pela posição da faixa, ou seja:



$$XY \times 10^N \pm k\%$$



$$XYZ \times 10^N \pm k\%$$



$$XYZ \times 10^N \pm k\% (q \text{ ppm})$$

Cor	Algarismo (X,Y,Z)	Multiplicador (N)	Tolerância (k %)	Coef. Temp. (q ppm/°C)
preto	0	0	x1	---
marron	1	1	x10	1%
vermelho	2	2	x100	2%
laranja	3	3	x1.000	---
amarelo	4	4	x10.000	---
verde	5	5	x100.000	0,5%
azul	6	6	x1.000.000	0,25%
violeta	7	7	x10.000.000	0,1%
cinza	8	-	---	---
branco	9	-	---	---
prata	---	-2	x0,01	10%
ouro	---	-1	x0,1	5%
sem faixa	---	-	---	20%

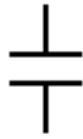
Valores comerciais típicos (seus múltiplos e submúltiplos):

20%	1.0				1.5				2.2				3.3				4.7				6.8			
10%	1.0		1.2		1.5		1.8		2.2		2.7		3.3		3.9		4.7		5.6		6.8		8.2	
5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

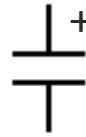
Lembre que a potencia máxima admissível nunca deve ser ultrapassada (veja rburn.flv)

# Capacitores

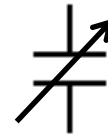
Símbolos comuns:



fixo (apolar)



fixo (polar)



variável

Os capacitores são formados basicamente por dois eletrodos (armaduras ou placas) isolados um do outro por um dielétrico. Sua capacitância é diretamente proporcional a área desses eletrodos e inversamente proporcional a distância entre eles, e assim a espessura do dielétrico. No tocante ao dielétrico, salienta-se que a capacitância dependerá também da correspondente constante dielétrica, sendo a máxima tensão de operação dependente da rigidez dielétrica – ambas características do material.

Tipos usuais:

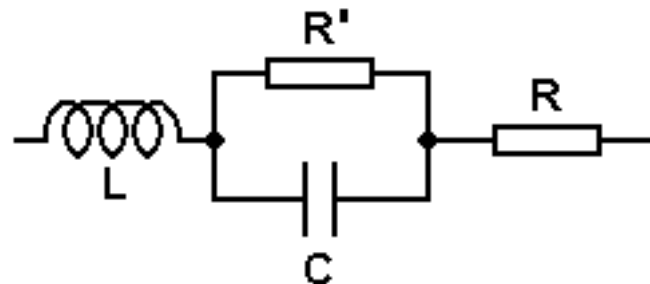
- Fixos – de folha e/ou camada - classificados pelo dielétrico
- Variáveis – com dielétrico de ar ou vácuo

Parâmetros relevantes:

- Capacitância [F]
- Tensão máxima de operação [V]
- Tolerância no valor de capacitância [%]
- Tipo construtivo  $\leftrightarrow$  Regime de operação

Modelo realístico:

- R = resistência série
- L = indutância série
- C = capacitância
- R' = resistência de isolamento



## Capacitores eletrostáticos

Também denominados plásticos, são aqueles capacitores cujo dielétrico é um polímero, tipicamente: Poliéster, Polipropileno, Poliestireno ou até Teflon. Podem ser do tipo folha ou do tipo camada metalizada. Tipicamente, sua capacitância está na faixa de 1 nF até algumas centenas de uF.

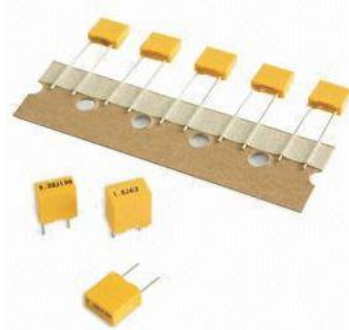
Os capacitores de camada apresentam a vantagem de serem auto regenerativos. Nestes ocorre a desmetalização de parte do eletrodo em caso de pequenas falhas do dielétrico. Contudo, tais capacitores apresentam uma resistência série mais elevada. Tal camada metalizada substitui a folha de alumínio, simplificando a 'bobinagem' do capacitor.

folhas de alumínio

folhas de dielétrico



capacitor de folha



A deposição das camadas é em geral efetuada via o processo de evaporação térmica em vácuo de alumínio ou até zinco. A espessura típica da camada é entre 300 e 700 Å.

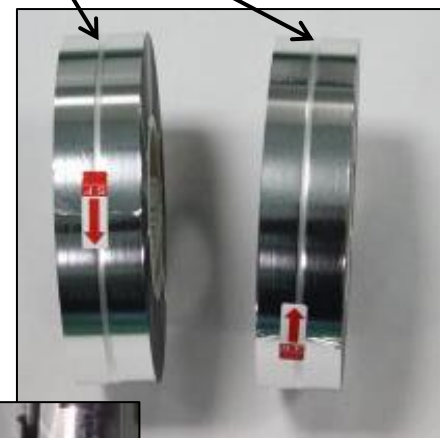


(ver cmet.flv)

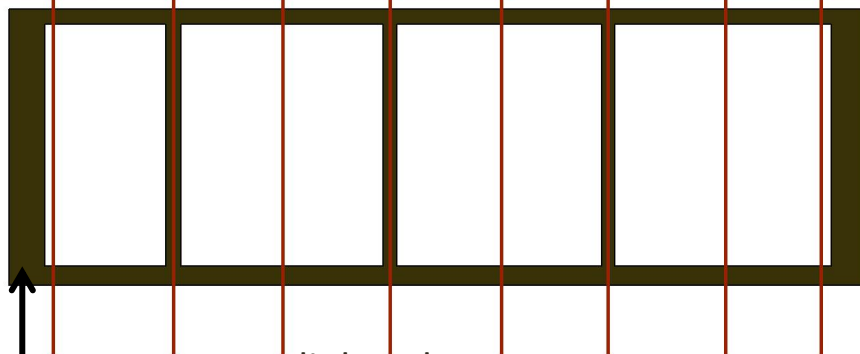
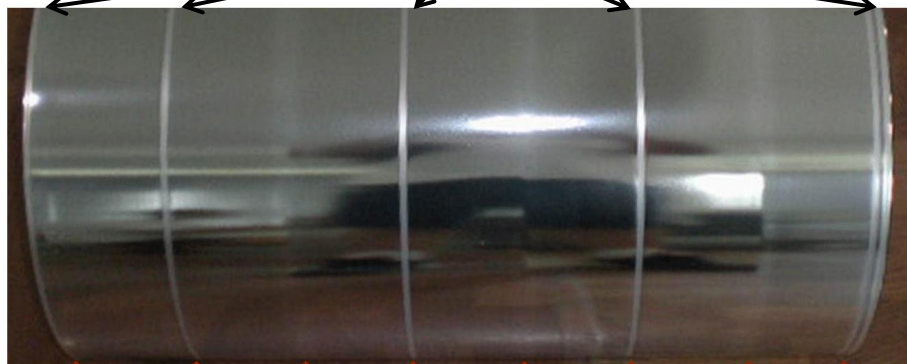
Durante o processo é empregado mascaras para a definição das faixas desmetalizadas necessárias para a construção dos capacitores. Tais mascaras são colocadas entre os cadinhos de evaporação e a folha plástica.



faixas não metalizadas



rolo de dielétrico saído da metalizadora  
faixas cobertas pela máscara (não metalizadas)



mascara mecânica

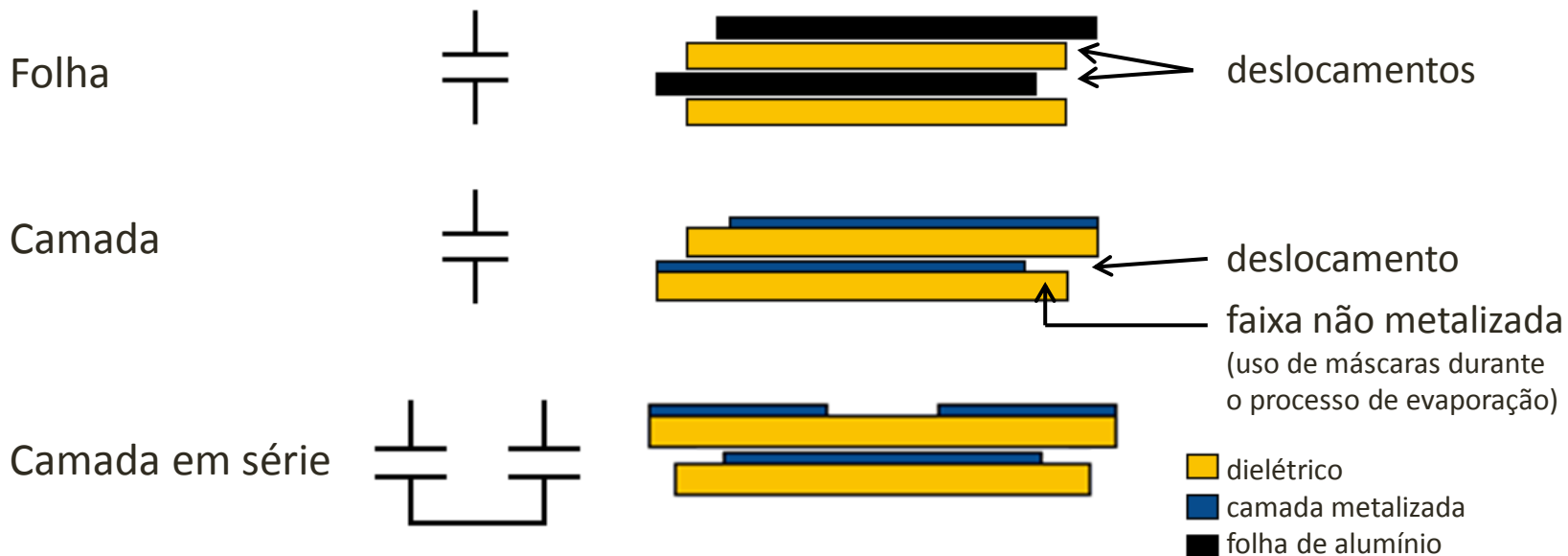
linhas de corte



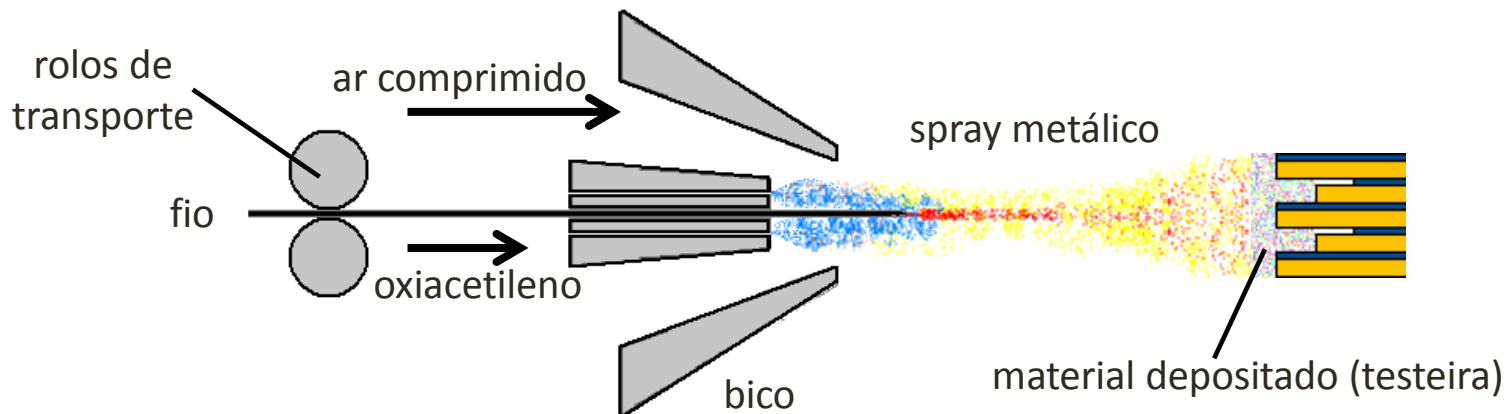
Após a metalização o dielétrico é cortado

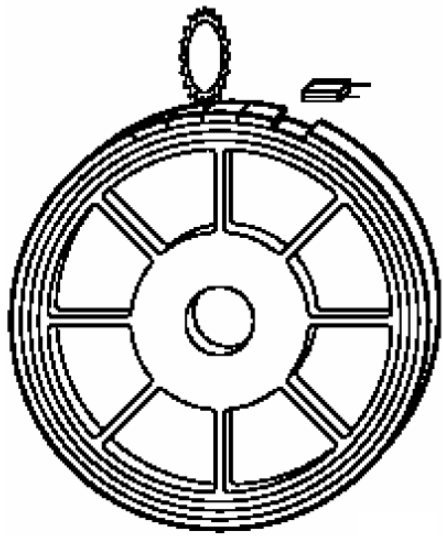
(ver ccut.flv)

Em termos da 'bobinagem' temos os seguintes detalhes:  
(ver cbob.flv OBS: próximo ao núcleo há uma região desmetalizada – não mostrada)

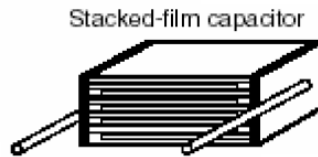


No caso de capacitores de folha os terminais são em geral soldados ou rebitados nas folhas de alumínio que compõem as armaduras. No caso de capacitores de camada metalizada usa-se a técnica de spray metálico ('schopagem') para criar a testeira.





**Capacitores SHIKO:** Idealizado inicialmente pela empresa Siemens. Talvez sejam os capacitores mais usados. Seu dielétrico é tipicamente o poliéster. Destaca-se os modelos RM5 cuja distancia entre terminais é fixa em 5 mm.



↓  
Possuem uma das mais baixas indutâncias série.

**Pergunta:** O material do dielétrico tem alguma importância na escolha do capacitor?

**Resposta:** Sim. O poliéster, por exemplo, possui uma macromolécula polar. Portanto, ele não é recomendado para uso em regime alternado (c.a.), sendo mais indicado o uso do polipropileno. Contudo, para regimes de baixa tensão pode-se ainda usar o poliéster em regime c.a. por possibilitar a construção de capacitores menores devido ao fato de sua constante dielétrica ser maior quando comparada ao polipropileno. O único inconveniente é o fato de apresentar uma constante de perda significativamente maior.

**Lembre:** Constante de perda maior → Maior absorção de energia → Aquecimento

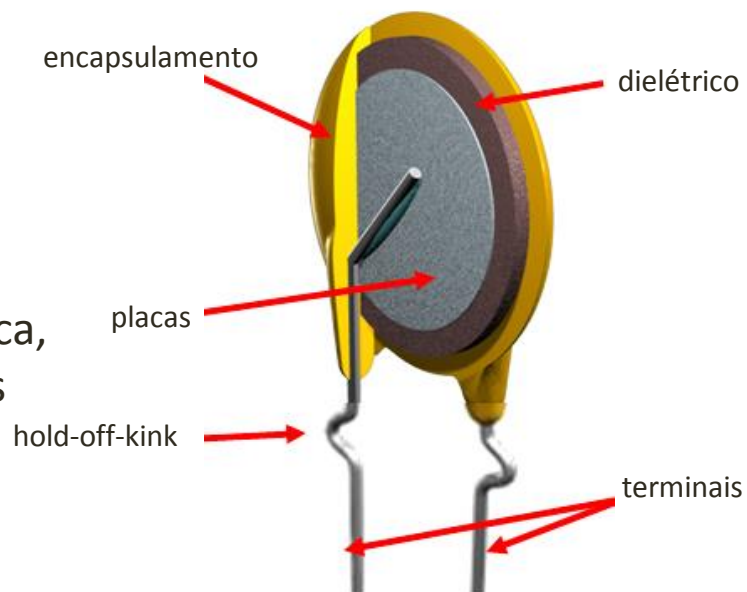


Degradação das características em frequência e queda da rigidez dielétrica

- Capacitores plásticos não tem comportamento em frequência de grande destaque!
- Capacitores de folha tem um comportamento melhor com menos perdas (menor R)!

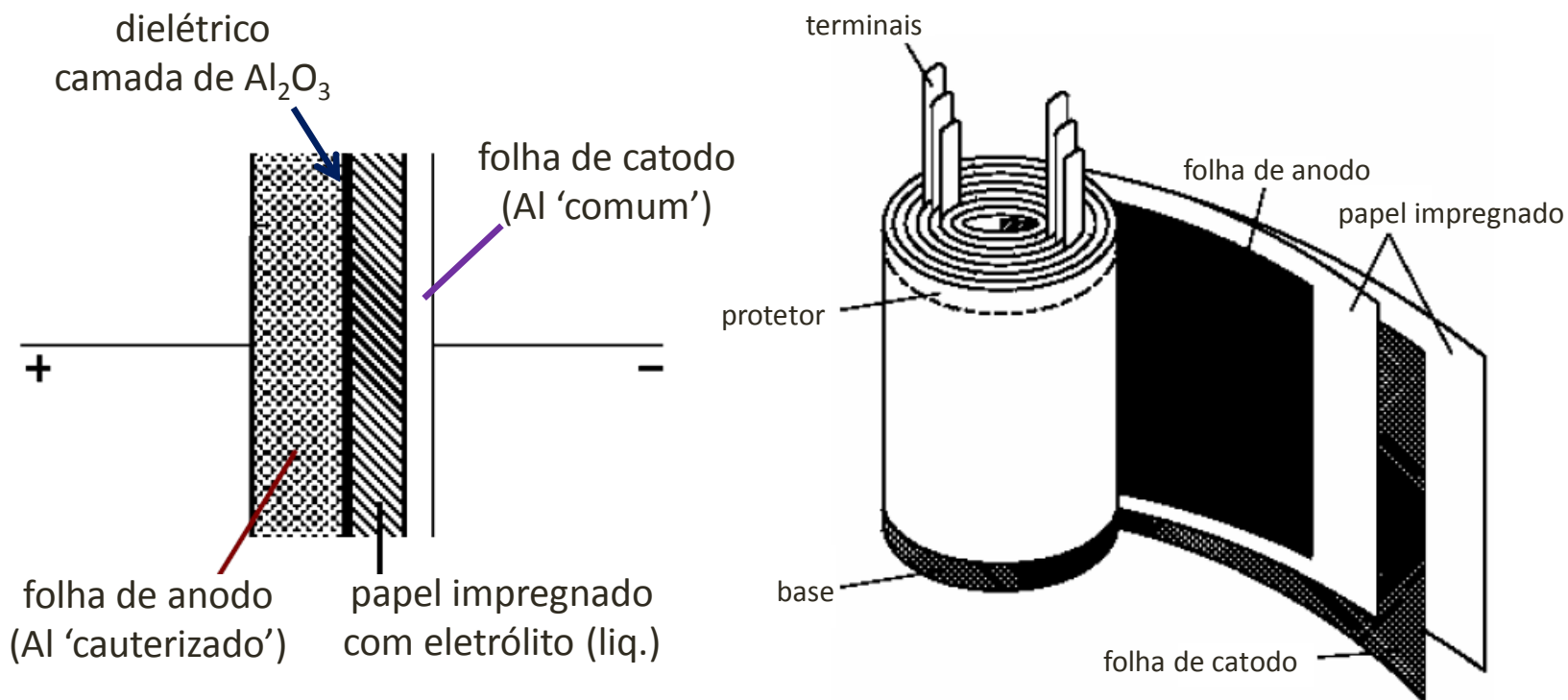
## Capacitores cerâmicos

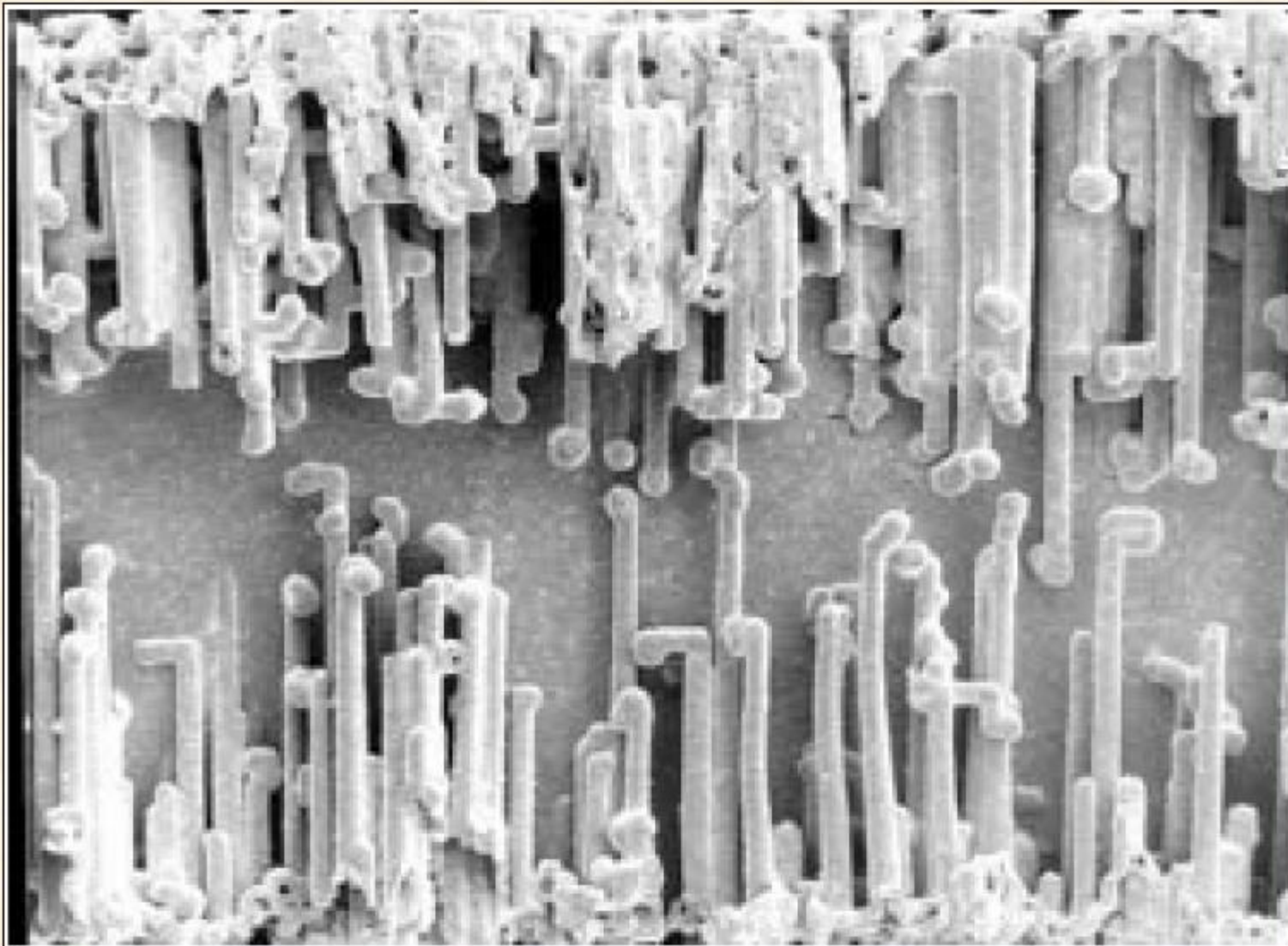
São aqueles capacitores cujo dielétrico é um material cerâmico (ex. TiBa). Possuem ótimo comportamento em termos de frequência, apresentando baixas perdas e alta rigidez dielétrica. Devido a sua baixa constante dielétrica, tais capacitores tem em geral valores de poucos pF até uma centena de nF. A estabilidade térmica desses capacitores é excelente.



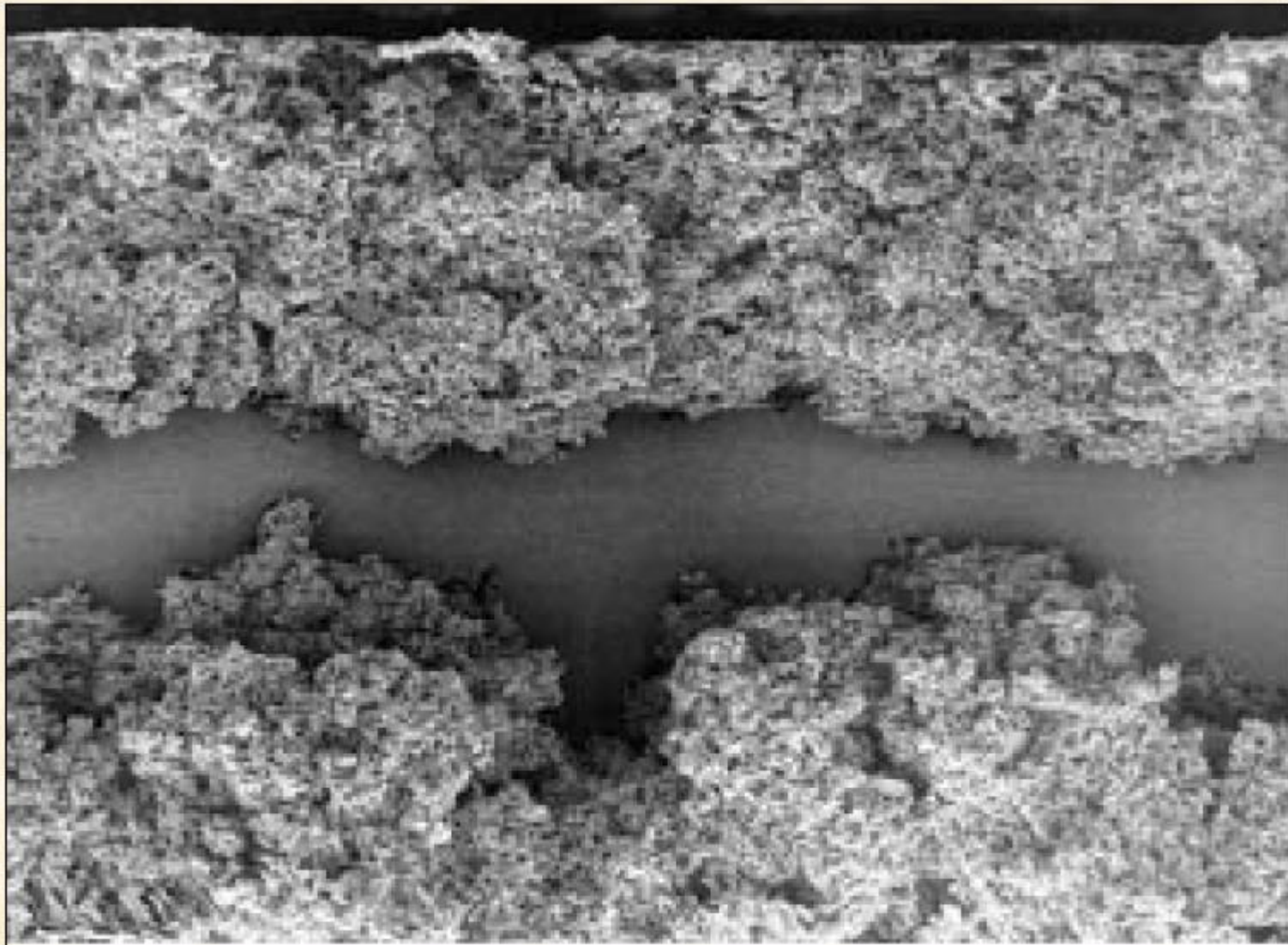
## Capacitores eletrolíticos

São aqueles capacitores que apresentam as maiores capacitâncias com as menores dimensões. Tipicamente apresentam capacitâncias de 1  $\mu\text{F}$  até 6.8 mF, com tensões de até 400 V. Contudo, devido as características peculiares de sua construção, tem um péssimo comportamento em altas frequências, alta constante de perda, altas correntes de fuga, grandes tolerâncias, altas resistências e indutâncias série, além de serem usualmente polares – aplicáveis somente para regime de corrente contínua.





Folha de Al usada para o anodo. Microscopia 400x.  
(capacitores de alta tensão)



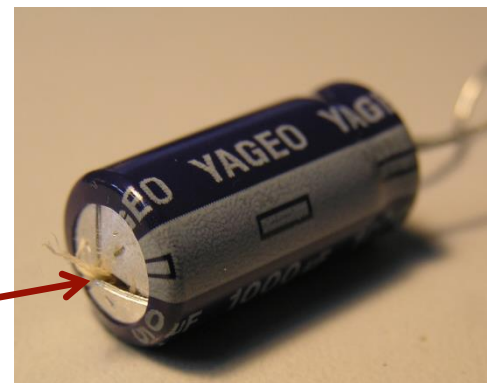
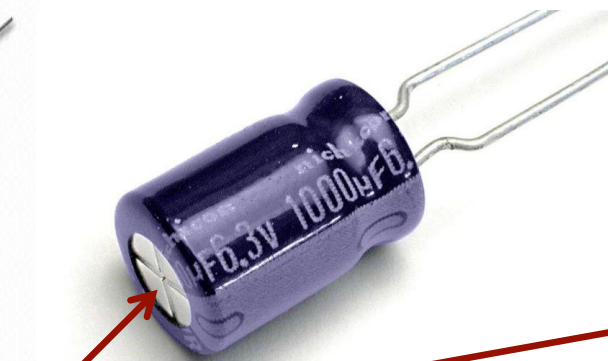
Folha de Al usada para o anodo. Microscopia 400x.  
(capacitores de baixa tensão)

Um eletrolítico de Al, tal como descrito, irá operar de maneira correta somente se a folha de anodo for conectada ao polo positivo e o catodo ao polo negativo. Se houver uma inversão, isso irá provocar um processo eletrolítico (eletroquímico) resultando na formação de uma camada dielétrica na folha de catodo. Neste caso, um intenso calor será gerado acompanhado pela produção de gás devido a reação química. Isso leva o capacitor ao colapso – ou mesmo **EXPLOÇÃO!**

Contudo, eletrolíticos bipolares também são disponíveis. Neste caso, ambas as folhas de Al são oxidadas ('cauterizadas'). Isso permite a operação com tensões alternadas, apesar de uma geração considerável de calor. Assim sendo, a tensão de operação deve ser mantida 'muito abaixo' da tensão máxima de operação. Uma desvantagem desses capacitores bipolares está no fato de ocuparem o dobro do volume de um eletrolítico polar. Outro problema está no fato de apresentarem o dobro de corrente de fuga!



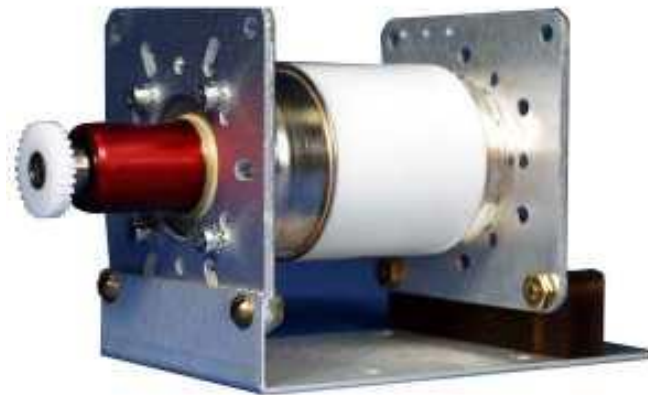
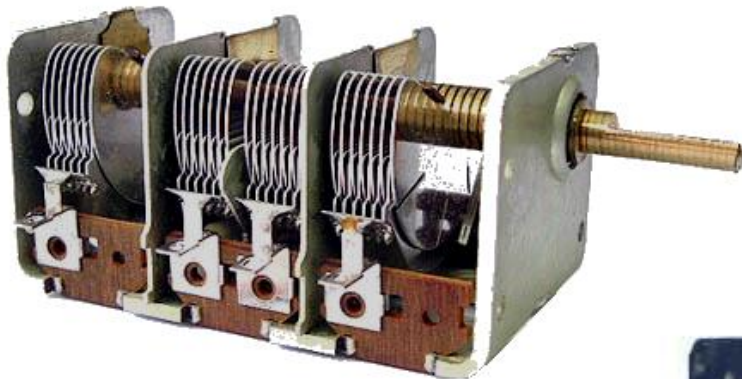
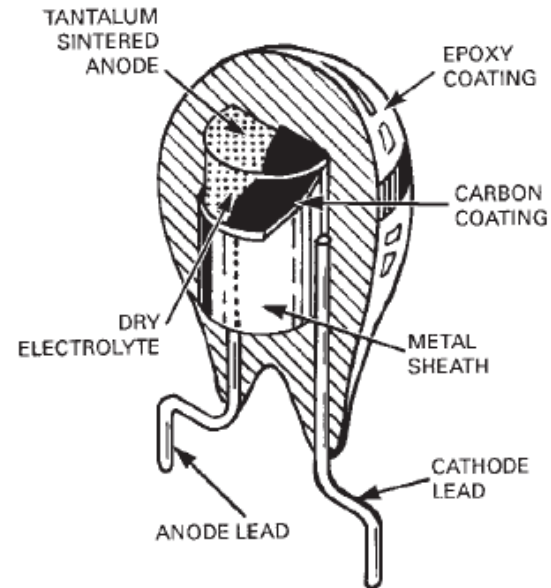
válvula de sobre pressão



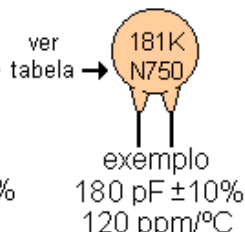
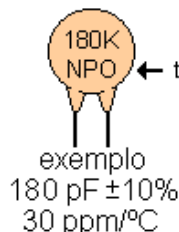
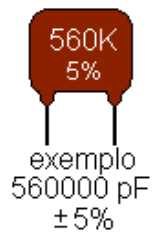
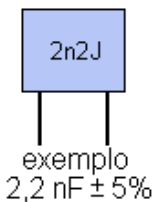
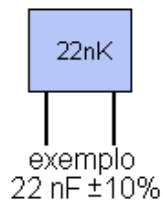
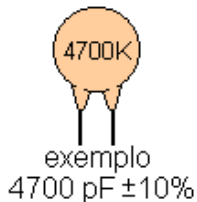
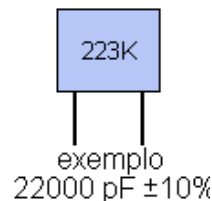
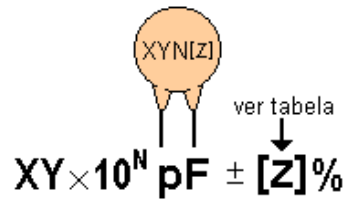
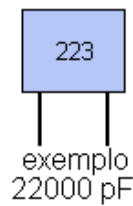
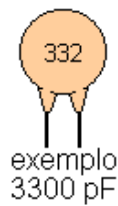
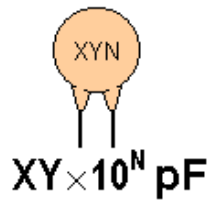
(ver cexp.flv)

Existem ainda diversos outros tipos de capacitores, cada qual para uma aplicação específica. Entre eles destaca-se os capacitores de tântalo, que apresentam capacitâncias elevadas, tamanhos pequenos e perdas muito inferiores a dos eletrolíticos convencionais. Contudo, também possuem polaridade.

Além deles, temos ainda os capacitores variáveis, que podem usar o ar ou mesmo vácuo como dielétrico.



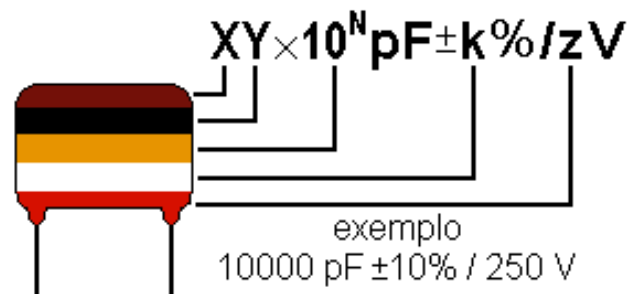
Para capacitores de dimensões razoáveis, os valores da capacitância e tensão máxima de operação vem escritos normalmente. Para os demais a coisa fica um quebra-cabeças .....



Letra [Z]	< 10pF (%)	> 10pF (%)
B	$\pm 0.1$ pF	---
C	$\pm 0.25$ pF	---
D	$\pm 0.5$ pF	---
F	$\pm 1.0$ pF	1%
G	---	2%
H	---	3%
J	---	5%
K	---	10%
M	---	20%
S	---	+50% -20%
P	---	+100% -0%
Z	---	+80% -20% ou +100% -0%

Código	Coef. Temp. (ppm/°C)
NP0	0 $\pm$ 30 ppm/°C
N075	-75 $\pm$ 30 ppm/°C
N150	-150 $\pm$ 30 ppm/°C
N220	-220 $\pm$ 60 ppm/°C
N330	-330 $\pm$ 60 ppm/°C
N470	-470 $\pm$ 60 ppm/°C
N750	-750 $\pm$ 120 ppm/°C
N1500	-1500 $\pm$ 250 ppm/°C
N2200	-2200 $\pm$ 500 ppm/°C
N3300	-3300 $\pm$ 500 ppm/°C
N4700	-4700 $\pm$ 1000 ppm/°C
N5250	-5250 $\pm$ 1000 ppm/°C

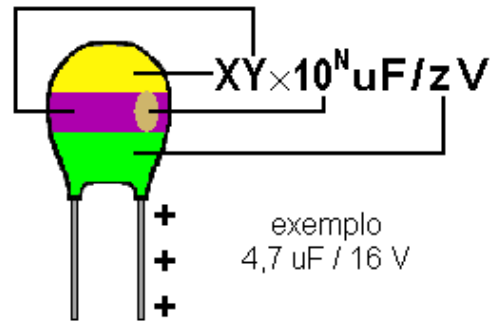
## Código de Cores para Capacitores de Poliéster



Cor	Algarismo (X,Y)	Multiplicador (N)	Tolerância (k %)	Tensão (z V)	
preto	0	0	x1	20%	---
marron	1	1	x10	---	---
vermelho	2	2	x100	---	250V
laranja	3	3	x1.000	---	---
amarelo	4	4	x10.000	---	400V
verde	5	5	x100.000	---	---
azul	6	-	---	---	630V
violeta	7	-	---	---	---
cinza	8	-	---	---	---
branco	9	-	---	10%	---

Atualmente tais capacitores são pouco comuns.

## Código de Cores para Capacitores de Tântalo



exemplo  
4,7  $\mu\text{F}$  / 16 V

Cor	Algarismo (X,Y)	Multiplicador (N)	Tensão (z V)
preto	0	0	10 V
marron	1	1	---
vermelho	2	2	---
laranja	3	-	35 V
amarelo	4	-	6,3 V
verde	5	-	16 V
azul	6	-	---
violeta	7	-	---
cinza	8	-	25 V
branco	9	-	3 V
prata	---	-2	---
ouro	---	-1	---

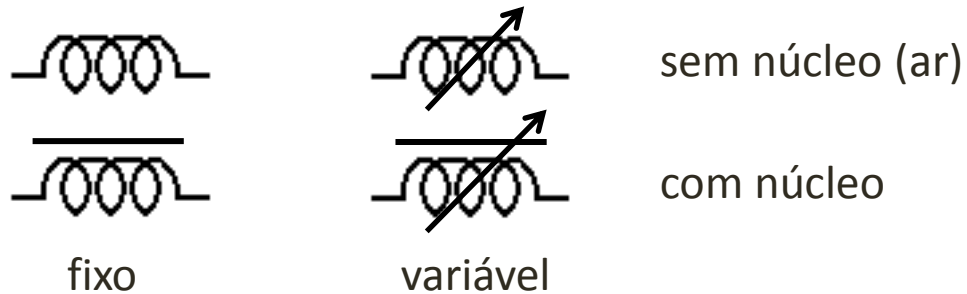
Se houver, o terminal positivo é indicado pelo ponto colorido.

Valores comerciais mais usuais (seus múltiplos e submúltiplos):

<b>20%</b>	1.0			1.5				2.2			3.3			4.7			6.8							
<b>10%</b>	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2												
<b>5%</b>	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

# Indutores

Símbolos comuns:



Tipos usuais:

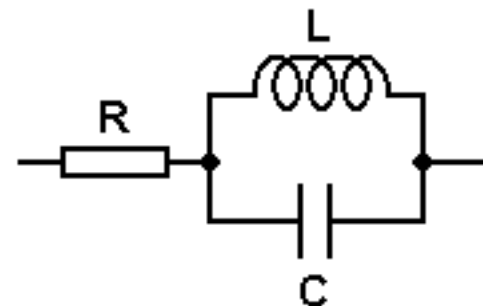
- Fixos – com ou sem núcleo (ar)
- Variáveis – com ou sem núcleo (ar)

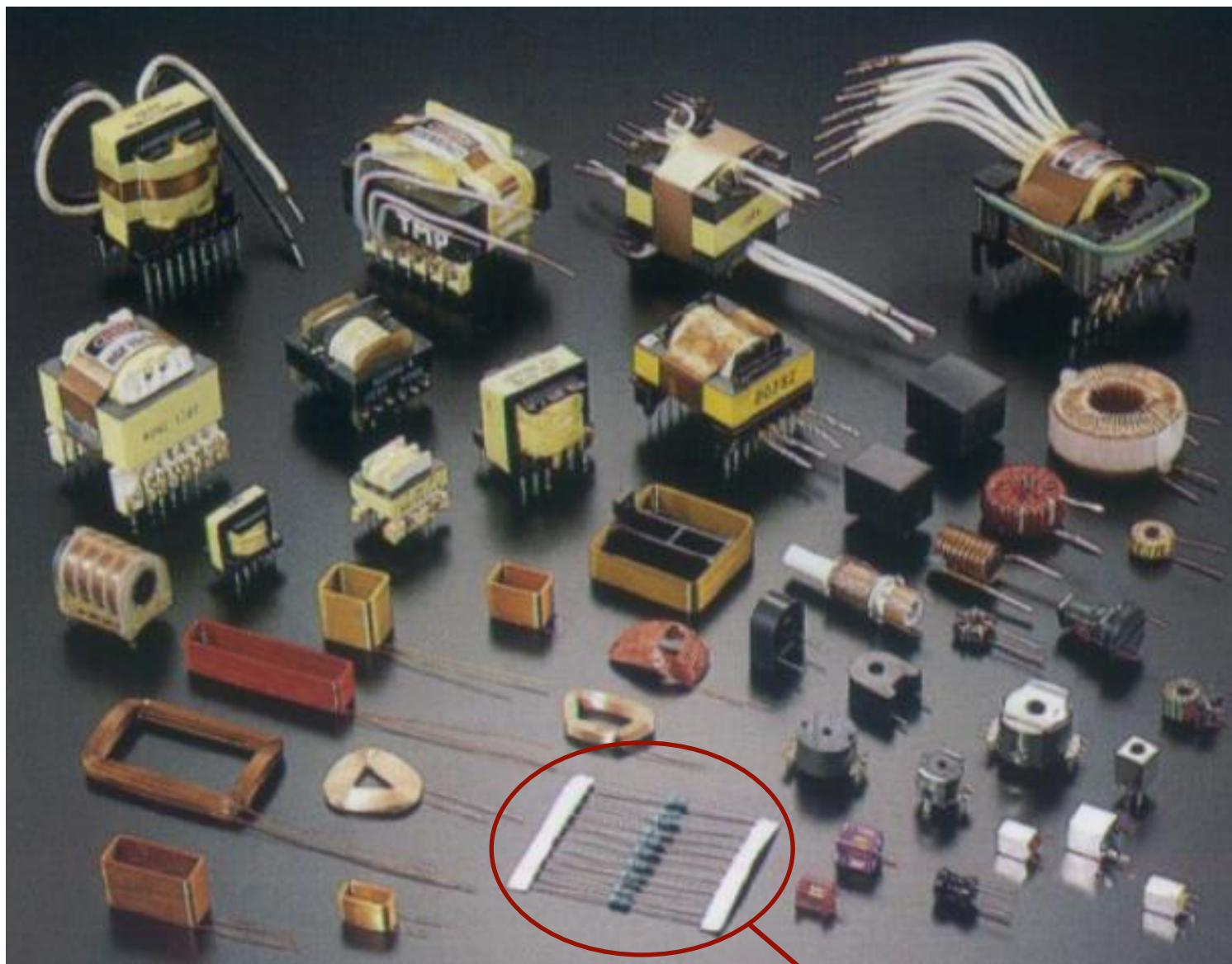
Parâmetros relevantes:

- Indutância [H]
- Corrente máxima permitida [A]
- Tolerância no valor de indutância [%]
- Tipo construtivo
- Tensão máxima de operação (p/ HV) [V]

Modelo realístico:

- R = resistência série
- L = indutância efetiva
- C = capacitância paralela

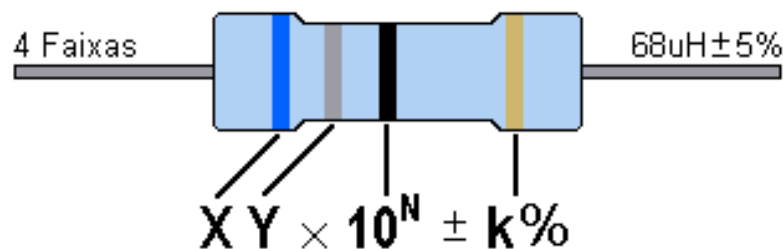






Constitui uma grande família .....  
(ver lbob.flv, ltor1.flv e ltor2.flv)

micro indutores – muito parecidos dos resistores


Comercialmente, temos atualmente micro indutores disponíveis no mercado, muito similares a resistores. Isso pode as vezes provocar uma certa confusão.



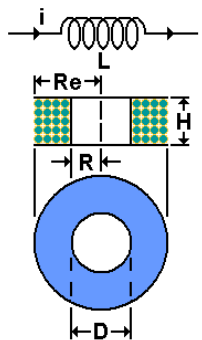
Cor	Algarismo (X,Y)	Multiplicador (N)	Tolerância (k %)		
	preto	0	0	x1	20%
	marron	1	1	x10	---
	vermelho	2	2	x100	---
	laranja	3	3	x1.000	---
	amarelo	4	4	x10.000	---
	verde	5	-	---	---
	azul	6	-	---	---
	violeta	7	-	---	---
	cinza	8	-	---	---
	branco	9	-	---	---
	prata	---	-	---	10%
	ouro	---	-	---	5%

## Valores comerciais mais usuais (seus múltiplos e submúltiplos):

20%	1.0			1.5				2.2				3.3				4.7				6.8				
10%	1.0		1.2	1.5		1.8		2.2		2.7		3.3		3.9		4.7		5.6		6.8		8.2		
5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1



### Calculo de Indutores com Núcleo de Ar



Parâmetros de Calculo:

Indutância: L =  (mH)

Diâmetro do núcleo: D =  (mm)

Comprimento do núcleo: H =  (mm)

Corrente máxima: i =  (mA)

Secção/AWG do fio: S(mm²) =

Valores Calculados: (valores aproximados para referencia)

L =  mH   Re =  mm   R =  mm

Resistencia =  Ohm   Dissipação =  W

Comprimento(fio) =  m   Massa(cobre) =  kg

Parâmetros de Bobinagem: N° de espiras =

N° de camadas =    Espiras Camada =

(ver <http://physika.info>)

