



# ***NORMAS DE INSTALAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES***





## NORMA PARA INSTALAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES EM BAIXA TENSÃO

### ÍNDICE

	<b>PÁG.</b>
<b>1. OBJETIVO.....</b>	<b>2</b>
<b>2. RESPONSABILIDADES.....</b>	<b>2</b>
<b>3. CONCEITUAÇÃO.....</b>	<b>2</b>
3.1 CAPACITOR.....	2
3.2 CARGAS NÃO LINEARES.....	2
3.3 BANCO CAPACITIVO.....	2
3.4 CARGA INSTALADA.....	2
3.5 POTÊNCIA ATIVA.....	2
3.6 POTÊNCIA.....	2
3.7 ENERGIA ELÉTRICA ATIVA.....	2
3.8 ENERGIA ELÉTRICA REATIVA.....	2
3.9 POTÊNCIA APARENTE.....	2
3.10 POTÊNCIA NOMINAL DE UM CAPACITOR.....	3
3.11 PERDAS DO CAPACITOR.....	3
3.12 ICAS.....	3
3.13 FATOR DE POTÊNCIA.....	3
3.14 FATOR DE POTÊNCIA DE REFERÊNCIA;.....	3
3.15 CONSUMO REATIVO EXCEDENTE.....	3
<b>4. DISPOSIÇÕES GERAIS.....</b>	<b>3</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>5</b>
ANEXO A. ORIENTAÇÕES TÉCNICAS SOBRE BANCOS DE CAPACITORES.....	6
<b>6.DEFINIÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA... ..</b>	<b>9</b>



PROCESSO DE PROJETO E CONSTRUÇÃO  
SUBPROCESSO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE CONSUMIDOR

**1. OBJETIVO**

Estabelecer critérios para projeto de melhoria do fator de potência nas instalações elétricas das unidades consumidoras através da instalação de banco de capacitores em baixa tensão.

**2. RESPONSABILIDADES**

Compete aos órgãos de atendimento, ligação, projeto, operação, e engenharia da concessionária cumprir e fazer cumprir o estabelecido nesta norma.

**3. CONCEITUAÇÃO**

**3.1 Capacitor**

É um dispositivo capaz de gerar um fluxo de energia elétrica reativa capacitiva, ou seja, com fase oposta à energia reativa dos dispositivos indutivos, diminuindo os valores de perda e queda de tensão no sistema elétrico de corrente alternada.

**3.2 Cargas não lineares**

São cargas que respondem não linearmente à aplicação de uma tensão gerando correntes de amplitude deformadas pela presença de harmônicas.

**3.3 Banco capacitivo**

É um conjunto de unidades e seu respectivo equipamento de montagem, manobra, proteção e controle, em um mesmo todo.

**3.4 Carga instalada**

Soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW).

**3.5 Potência ativa**

É a capacidade real das máquinas de produzirem trabalho útil e sua unidade é o quilowatt (kW).

**3.6 Potência reativa**

É a potência utilizada para produzir o fluxo magnético necessário ao funcionamento das cargas indutivas (motores, transformadores, reatores, etc.) expressa em quilovolt-ampère reativo (kVAR).

**3.7 Energia elétrica ativa**

Energia elétrica que pode ser convertida em outra forma de energia, mecânica (do eixo do motor), térmica (que aquece a água do chuveiro), etc. É medida em quilowatt-hora (kWh).

Exemplo: Quando uma carga com potência elétrica de 10 kW é mantida ligada durante uma hora e meia, é consumida a energia elétrica de  $10 \text{ kW} \times 1,5 \text{ h} = 15 \text{ kWh}$ .

**3.8 Energia elétrica reativa**

Energia elétrica que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho. É expressa em quilovolt-ampère-reativo-hora (kVARh).

Exemplo: Quando uma carga com potência elétrica de 10 kVAR é mantida ligada durante uma hora e meia, é consumida a energia elétrica de  $10 \text{ kVAR} \times 1,5 \text{ h} = 15 \text{ kVARh}$ .

### 3.9 Potência aparente

É a potência total absorvida por uma instalação elétrica, usualmente expressa em quilovolt-ampère (kVA).

É obtida pela soma geométrica da Potência Ativa (kW) com a Potência Reativa (kVAr).

### 3.10 Potência nominal de um capacitor

É a potência reativa, sob tensão e frequência nominais, para a qual foi projetado o capacitor.

### 3.11 Perdas do capacitor

É a potência ativa consumida pelo capacitor quando operando em suas condições nominais.

### 3.12 Harmônicas

São ondas com frequências múltiplas da onda fundamental.

### 3.13 Fator de potência

Valor numérico que estabelece a relação entre a energia elétrica ativa e a reativa, absorvidas num determinado período de funcionamento, pelas cargas ligadas na unidade consumidora.

O valor do fator de potência é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Fator de Potencia: } F_{p \text{ medido}} = \frac{\text{kWh}_{\text{medido}}}{\sqrt{\text{kVAh}_{\text{medido}}^2 + \text{kVArh}_{\text{medido}}^2}}$$

Onde: kWh<sub>medido</sub> : é a energia ativa consumida no período da medição.

kVArh<sub>medido</sub> : é a energia reativa consumida no período da medição.

Fp<sub>medido</sub> : é o fator de potência médio das instalações elétricas da unidade consumidora, calculado para o período de faturamento.

### 3.14 Fator de potência de referência;

É o valor do fator de potência (fr) igual a 0,92 indutivos ou capacitivos, que é usado como referência para o cálculo das tarifas.

### 3.15 Consumo reativo excedente

Parcela do consumo reativo correspondente à diferença entre o fator de potência de referência (fp=0,92) e o inferior a este.

## 4. DISPOSIÇÕES GERAIS

4.1 Instalações com baixo fator de potência podem promover a compensação da energia reativa através da instalação de bancos de capacitores fixos ou automáticos.

4.2 O valor do custo do consumo reativo excedente é calculado com base no valor de referência do fator de potência, através da seguinte expressão:

$$\text{Custo}_{\text{excedente}} \text{ (R\$)} = \text{kWh}_{\text{medido}} \times \text{Tarifa}_{\text{(R\$/kWh)}} \times \left( \frac{0,92}{F_{p \text{ medido}}} - 1 \right)$$



## NORMA PARA INSTALAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES EM BAIXA TENSÃO

**4.3** A parcela de custo excedente é nula para fator de potência igual a 0,92. A parcela de custo excedente torna-se negativa e é desprezada para fins de faturamento, quando o fator de potência for maior que 0,92.

**4.4** O valor do custo excedente acima calculado pode ser cobrado pela concessionária nos meses subseqüentes até que o cliente comunique formalmente à concessionária a aplicação de medidas para correção do fator de potência ou até que a concessionária efetue outra medição.

**4.5** As instalações elétricas devem ser projetadas de forma a reduzir a geração de reativos.

**4.6** O sistema de iluminação deve ser projetado com reatores de alto fator de potência.

**4.7** Não devem ser especificados motores com baixo rendimento ou super dimensionados.

**4.8** Não é permitida a instalação de banco de capacitores ligados em estrela com neutro aterrado.

**4.9** Devem ser evitadas instalações de banco de capacitores nas seguintes situações:

a) Paredes ou locais expostos diretamente ao sol;

b) Proximidade de equipamentos que trabalham com temperaturas superiores ao limite definido pelo fabricante;

c) Locais sem ventilação ou próximos ao teto.

**4.10** Todas as partes metálicas não vivas devem ser aterradas.

**4.11** A proteção através de fusíveis ou disjuntores devem ser dimensionada para não operar com correntes de até 165% da corrente nominal do banco de capacitores em regime contínuo.

**4.12** Os condutores devem ser dimensionados para suportar 150% da corrente nominal do banco de capacitores.

**4.13** Os capacitores não devem ser energizados com tensão residual superior a 10%, portanto após o desligamento do banco de capacitores deve-se esperar no mínimo 5 (cinco) minutos antes de qualquer reenergização.

**4.14** Mesmo após o desligamento do banco, este deve ser considerado energizado por questões de segurança até que seja devidamente descarregado (aterrado).

**4.15** Bancos de capacitores não devem ser instalados em circuitos comuns a motores nem a cargas não lineares.

**4.16** Os bancos de capacitores devem possuir chaveamento e proteção exclusivos.

**4.17** Os capacitores possuem maior vida útil se estiverem operando nas seguintes condições:

a) Potência de operação inferior a 135% do seu valor nominal;

b) Tensão eficaz, (incluindo a componente provocada pelas harmônicas), inferior a 110% do valor nominal;

c) Corrente eficaz (incluindo a componente provocada pelas harmônicas), inferior a 180% do seu valor nominal;

d) Tensão de pico (incluindo a componente provocada pelas harmônicas), inferior a 120% do seu valor nominal.

**4.18** Deve-se limitar a corrente de surto (valor de pico) ao valor menor ou igual a 100 (cem) vezes a corrente nominal do banco de capacitores.

**4.19** A potência máxima do banco de capacitores fixos a ser instalado na unidade consumidora de baixa tensão, depende da potência do transformador que supre a rede secundária e está limitada conforme seguinte tabela.

Potência do Transformador Trifásico	Potência máxima do banco de capacitores fixo
15 kVA	2,5 kVAr
30 kVA	3,0 kVAr
45 kVA	5,0 kVAr
75 kVA	7,5 kVAr
112,5 kVA	10,0 kVAr
150 kVA	12,5 kVAr
225 kVA	12,5 kVAr
300 kVA	20,0 kVAr
500 kVA	25,0 kVAr



**4.20** O dimensionamento da proteção do banco de capacitores na tensão de 220 v e 380 v deve ser de acordo com a seguinte tabela:

Potência do Banco	220/127V			380/220 v		
	Seção mínima	Fusível (A)	Disjuntor (A)	Seção mínima	Fusível (A)	Disjuntor (A)
1,0	2,5	6	10	-	-	-
2,5	2,5	10	10	-	-	-
5,0	2,5	25	20	2,5	16	15ou16
7,5	4	36	35	2,5	20	20
10,0	6	50	50	2,5	25	25
12,5	10	50	50	4,0	36	40
15,0	16	63	70	6,0	36	40
17,5	16	80	70	6	50	50
20,0	25	80	90	10	50	50
22,5	25	100	100	10	63	60ou63
25,0	25	100	125	16	63	60ou63

**4.21** Devem ser efetuadas medições periódicas na instalação elétrica para verificar se os limites definidos no item 4.17 estão sendo obedecidos.

**4.22** Se os limites do item 4.17 não forem atendidos através de alterações nas cargas ou instalação de bancos de capacitores convencionais, deve ser estudada a aplicação das seguintes opções:

- a) Utilização de capacitores com tensão reforçada;
- b) Instalação de filtros para ondas harmônicas;
- c) Instalação de indutores anti-harmônicas.

**4.23** Os projetos de unidades consumidoras com carga instalada superior a 50kW devem prever nos quadros de proteção espaço físico para futura instalação de banco de capacitores destinados à correção do fator de potência da carga.

**4.24** A instalação de banco de capacitores em baixa tensão deve ser precedida pela aprovação pela concessionária, de projeto elétrico aprovado por profissional habilitado pelo CREA-BA, e emissão do Atestado de Responsabilidade Técnica – ART.

**4.25** Os projetos para correção do fator de potência através de banco de capacitores de baixa tensão, além de informações específicas, devem conter:

- a) N.º de contrato se a unidade consumidora já estiver ligada;
- b) Período de funcionamento (hora/semana);
- c) Regime de funcionamento diário (diurno, noturno, ininterrupto);
- d) Regime de funcionamento anual (sazonal contínuo);
- e) Equipamentos que provoquem flutuações de tensão;
- f) Fator de potência medido;
- g) Fator de potência pretendido;
- h) Carga instalada;
- i) Tensão de fornecimento;
- j) Potência do transformador da rede supridora;
- k) Demanda ativa e reativa nos horários de carga máxima e mínima;
- l) Tipo de compensação reativa especificada;



## NORMA PARA INSTALAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES EM BAIXA TENSÃO

- m) Especificação dos capacitores contendo: tensão e frequência nominal, potência das células e tipo da ligação;
- n) Especificação do chaveamento e proteção adotados; Especificação técnica dos condutores e eletrodutos;
- o)
- p) Lista de materiais;
- q) Planta com a localização do banco no quadro
- r) Desenhos ilustrativos quando necessários;
- s) Memorial de cálculo contendo os elementos que definiram o tipo e os critérios utilizados no dimensionamento da potência e proteção do banco projetado;
- t) Localização de capacitores junto a motores;
- u) Dados da máquina:
  - Quantidade;
  - Potência (HP, CV ou kW);
  - Tipo de partida;
  
  - Rotação dos motores (rpm);
  - Potência total (kW);
  - Tensão (V).
  - Dados do capacitor;
  - Potência em kVAr;
  - N.º de fases;
  - Tensão;
  - Fusível ou disjuntor (A);
  - Conductor de ligação;

### 5. REFERÊNCIAS

NBR 5060 – Guia para Instalação e Operação de Capacitores de Potência – Procedimento  
NBR 5410 – Instalação Elétrica em Baixa Tensão – Procedimento  
ANSI / IEEE – Standard 18 - 1992 – IEEE Standards for Shunt Power Capacitors  
ANSI / IEEE – Standards 519 – 1992 – IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.



## **ANEXO A: ORIENTAÇÕES TÉCNICAS SOBRE BANCOS DE CAPACITORES LIGAÇÃO TRIÂNGULO (DELTA)**

É usada especialmente em classes de tensão até 2,4 kV. Para tensões superiores se torna anti-econômica, se comparada com as outras, devido ao elevado custo da proteção associada.

Esta ligação impede a circulação de correntes de 3<sup>a</sup> harmônica, que ocorre na conexão estrela com neutro aterrado e que pode causar interferência nos circuitos de comunicação e proteção.

Nos bancos onde existe apenas um grupo série por fase, o fusível a ser utilizado para proteção de cada unidade, deverá ser capaz de, em caso de defeito, interromper o valor da corrente de curto-circuito.

No caso de bancos próximos à subestações ou a outros bancos, esse valor é muito alto e às vezes requer o uso de reatores limitadores de corrente, de custo muito elevado.

### **LIGAÇÃO ESTRELA COM NEUTRO ATERRADO**

Este tipo de ligação fornece uma via de escoamento de baixa impedância para correntes de descarga atmosférica. Algumas vezes essa autoproteção é utilizada e o banco é operado sem pára-raios.

Como o neutro é fixo, neste tipo de ligação, a tensão de restabelecimento é menos severa.

Este tipo de ligação oferece baixo custo de instalação e ocupa pouca área, no entanto, pode provocar interferência em circuitos de comunicação e proteção, devido à circulação de correntes harmônicas de seqüência zero para terra. Sendo assim, os relés associados devem possuir filtros. Devido a circulação de correntes harmônicas, poderão surgir problemas de atuações indevidas na proteção de subcorrente do banco, queima acima do normal de fusíveis além de possíveis danificações nas unidades capacitivas. No caso de defeito fase-terra, existe contribuição de corrente de seqüência zero pela estrela do banco.

É importante salientar que quando ocorre curto-circuito nas proximidades do banco, o produto do módulo x freqüência da corrente transitória de descarga é muito alto, exigindo a instalação de reatores série. Isto porque a circulação destas correntes através das cargas indutivas do TC provoca o surgimento de tensões elevadas prejudiciais ao isolamento secundário e equipamentos associados (relés, medidores, etc.)

### **LIGAÇÃO ESTRELA COM NEUTRO ISOLADO**

Este tipo de ligação não provoca interferências nos circuitos de comunicação, pois bloqueia a circulação de correntes harmônicas.

Dependendo do risco assumido, não há necessidade de preocupações tão fortes como no caso do neutro aterrado, para a proteção do secundário dos transformadores de corrente, porém deverá ser dada atenção especial para tensões transitórias de restabelecimento nos equipamentos de manobra do banco. Este fato poderá encarecer o disjuntor ou chave associado ao banco.

O neutro do banco para este tipo de ligação deverá ser isolado para tensão fase-fase, por prevenção contra surtos de manobras. No que diz respeito a custos, isto é pouco importante nas tensões mais baixas, mas pode se tornar dispendioso em tensões acima de 15 kV.

### **LIGAÇÃO DUPLA ESTRELA NÃO-ATERRADA**

Dentre as características desta ligação, pode-se dizer que os distúrbios do sistema não se transmitem ao circuito de proteção do banco de capacitores. Não há vias de escoamento para



## NORMA PARA INSTALAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES EM BAIXA TENSÃO

correntes harmônicas de seqüência zero e os esquemas de proteção possuem custos relativamente baixos, principalmente no que diz respeito aos relés.

Esta ligação exige uma maior área para a mesma capacidade, quando comparada com a estrela simples, assim como maior quantidade de material por barramento e conexões. O neutro deve ser isolado para tensão fase-fase do sistema, tal como qualquer banco ligado em estrela com neutro isolado.

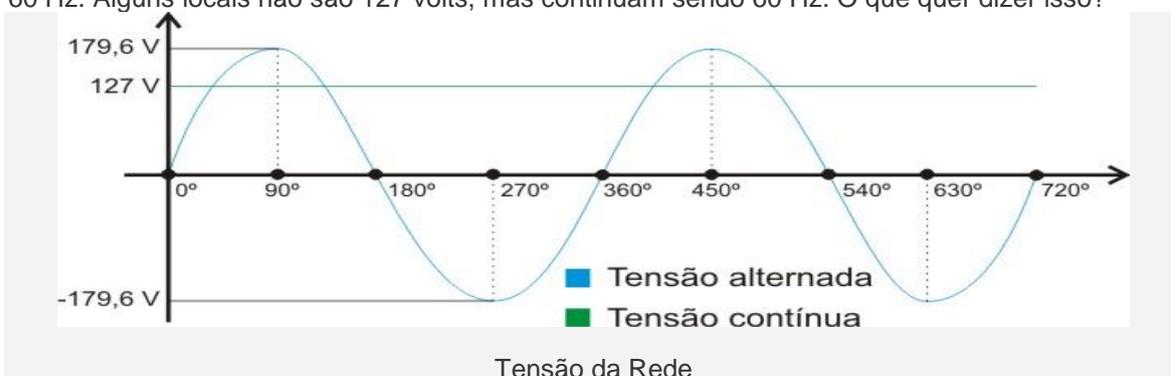
Fonte: ANÁLISE DE MANOBRAS E OPERAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES ATÉ 69 kV  
SCED/SCEE/CCON – No. 594/86  
DATA: OUTUBRO DE 1986.



## Definição de Fator de Potência

O Fator de Potência é um elemento de extrema importância para uma boa rede elétrica. É muito comum um profissional da eletricidade que tem experiência de sobra em corrigir fator de potência, mas não sabe o que realmente significa este termo. Por isso resolvi montar este artigo tentando explicar o que é o fator de potência de forma bem ilustrada e didática.

A rede elétrica no Brasil é alimentada com tensão alternada (AC) de 127 volts RMS por fase e em 60 Hz. Alguns locais não são 127 volts, mas continuam sendo 60 Hz. O que quer dizer isso?



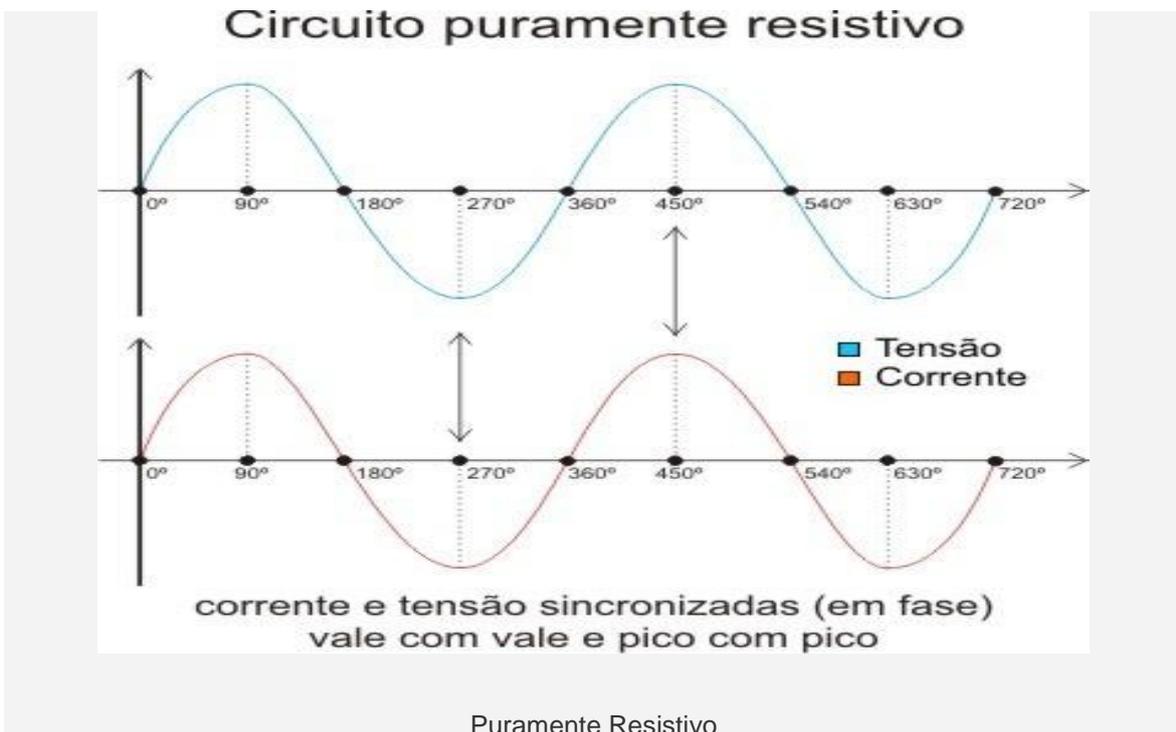
A tensão da nossa rede varia de 179,6 V a -179,6 V a cada 0,008 segundos, o que nos dá um ciclo (sair de zero, ir a 179,6 V, voltar a zero volts, ir a -179,6 V e novamente ir para zero volts) e para executar um ciclo desse se leva 0,016 segundos. Em 1 segundo ocorrem 60 ciclos desse, por isso 60 Hz. Mas a nossa rede não é 127 V? Por que 179,6 V? Os 127 V são RMS. Seria o equivalente ao dizer que uma tensão alternada, na forma de senoide, que varia entre 179,6 V e -179,6 V causa o mesmo efeito, por exemplo, em uma lâmpada, do que uma tensão contínua (como em uma bateria) em 127 V. Outra forma, mais genérica, do que falar que um ciclo tem 0,016 segundo (apenas em 60 Hz) é dizer que ele tem 360° que é válido essa afirmação para qualquer frequência. Então vamos ao fator de potência.

O Fator de Potência é um parâmetro de medição da defasagem entre a tensão e a corrente que circulam por uma rede. Ele é o cosseno do ângulo dessa defasagem. Se a defasagem for de um oitavo de ciclo, 45°, o fator de potência é de cosseno de 45° que é 0,71. A maior defasagem que

se pode ter, tanto a corrente estando à frente da tensão quanto estando atrás, é de  $90^\circ$ , sendo assim o fator de potência sempre estará entre zero e 1.

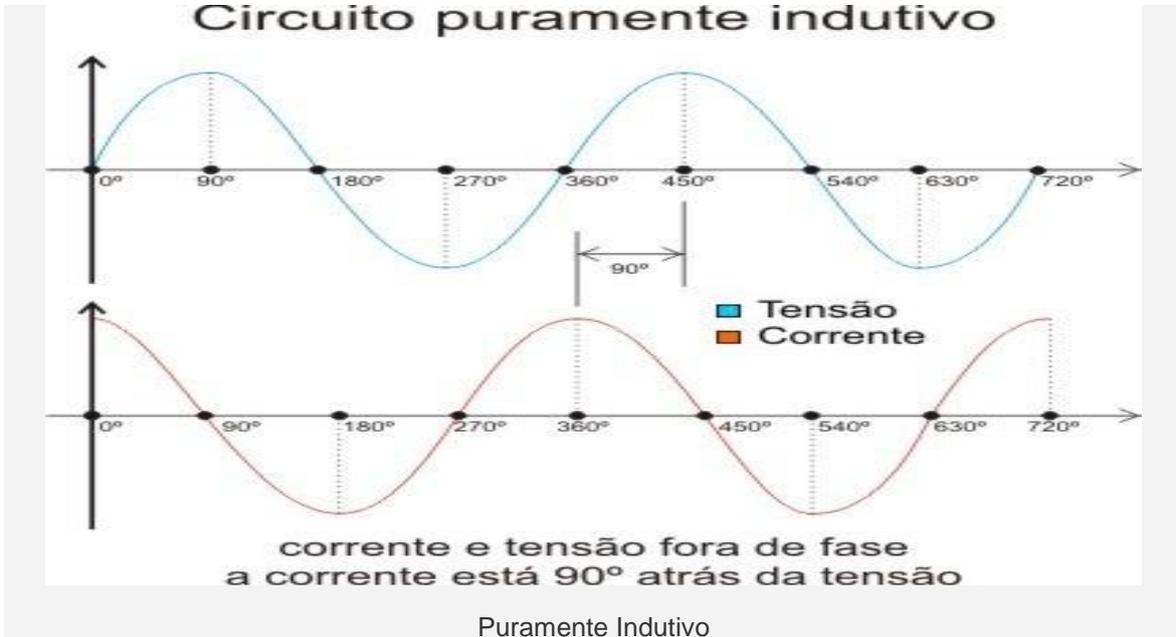
Existem basicamente 3 tipos de cargas que podem ser ligadas em uma rede elétrica: cargas resistivas (ex.: ferros de passar roupa, lâmpadas incandescentes, chuveiros), cargas indutivas (ex.: motores, transformadores) e cargas capacitivas (ex.: banco de capacitores, lâmpadas fluorescentes, computadores).

Quando se liga em uma rede uma carga resistiva, a corrente que se circula por essa carga também é alternada e acompanha exatamente a tensão aplicada. Quando se é pico na tensão é pico na corrente e quando é vale na tensão é vale na corrente. Quando isso ocorre diz-se que a tensão e a corrente estão em fase, ou seja, sincronizadas. Logo a defasagem é de zero graus e o cosseno de zero é 1. Fator de Potência é 1. **Toda carga puramente resistiva possui Fator de Potência 1.**

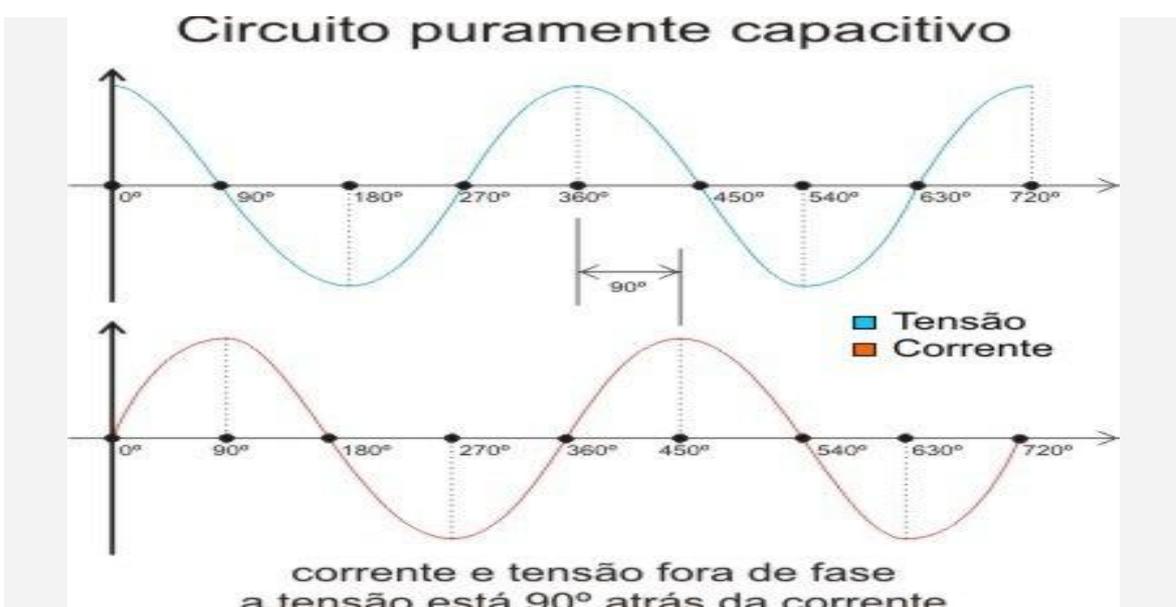


Já uma carga indutiva, ela provoca um atraso da corrente. Ela faz com que, ao ser ligada, a corrente comece a circular apenas quando se completa  $\frac{1}{4}$  de ciclo,  $90^\circ$ , da tensão. Isso ocorre devido a campos magnéticos criados pelos enrolamentos de fios (bobinas) existentes nas cargas

indutivas. Nesse caso o cosseno de  $90^\circ$  é zero. Fator de potência é zero. **Toda carga puramente indutiva possui Fator de Potência zero.**

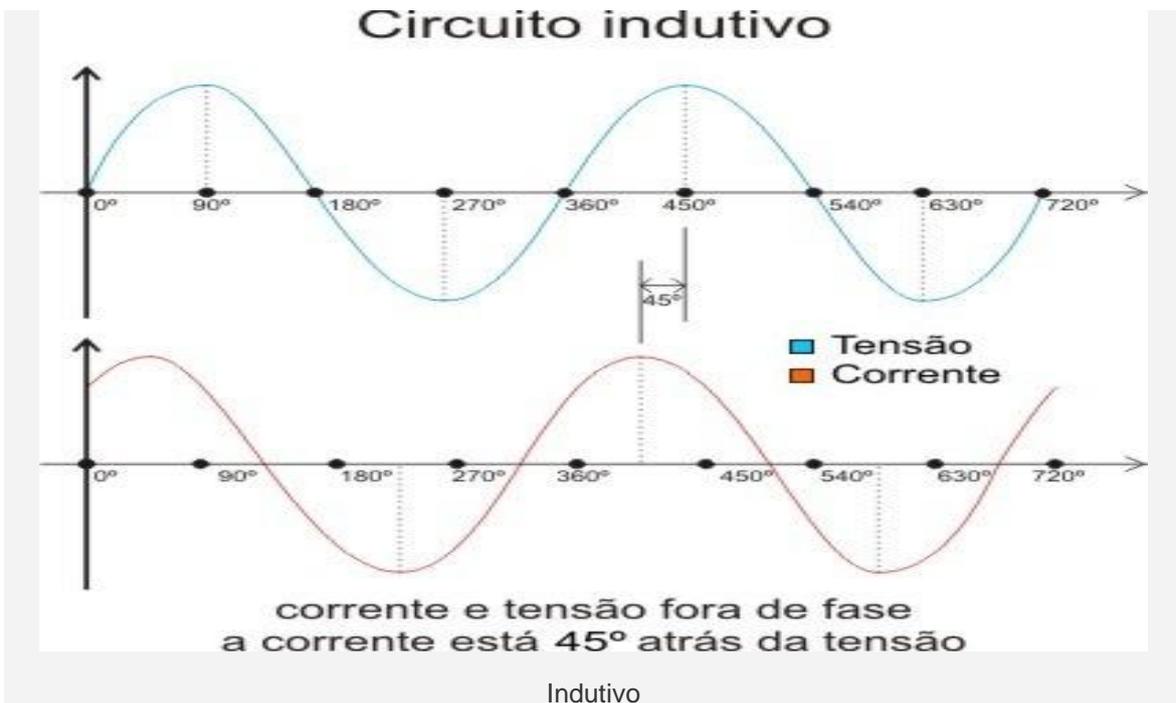


Em contrapartida, uma carga capacitiva provoca um atraso na tensão. Ela faz com que, ao ser ligada, a tensão só começa a aparecer apenas quando se completa  $\frac{1}{4}$  de ciclo,  $90^\circ$ , da corrente. Isso ocorre devido a campos elétricos criados pelos capacitores existentes nessas cargas. Nesse caso o cosseno de  $90^\circ$  é zero. Fator de potência é zero. **Toda carga puramente capacitiva possui Fator de Potência zero.**



Puramente Capacitivo

Porém isso só acontece quando a carga é puramente resistiva ou puramente indutiva ou puramente capacitiva. Mas o mais comum é a mistura dessas cargas. Uma carga pode ter características resistivas e indutivas ao mesmo tempo, assim como resistivas e capacitivas, mas nunca indutivas e capacitivas, isso é impossível. Nesse caso, dependendo do grau dessas misturas, o ângulo da defasagem varia, podendo atingir qualquer valor entre zero graus e 90°.



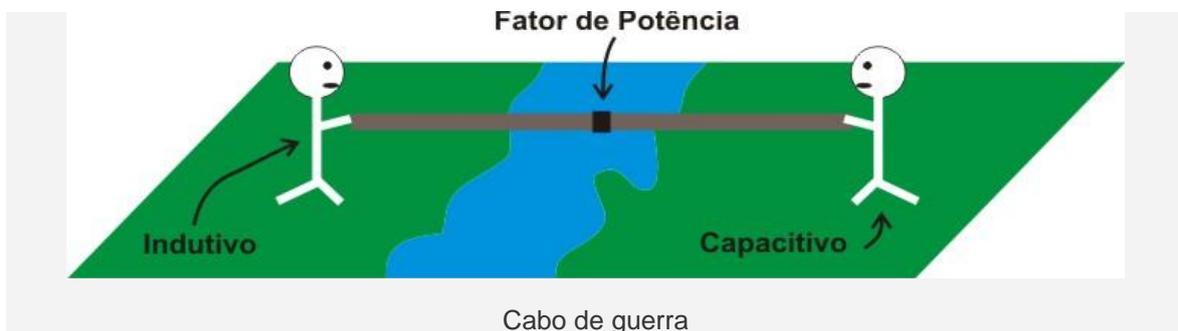
No caso acima, temos uma dessas misturas: metade indutivo e metade resistivo, provocando um atraso na corrente de 1/8 de ciclo, 45°. Logo o Fator de Potência é cosseno de 45° que é 0,71.

Mas por que um fator de potência baixo é ruim? A potência de um circuito elétrico é dada por  $P = i \times U$ , onde  $P$  é a potência,  $i$  é a corrente que circula e  $U$  é a tensão aplicada. É só multiplicar a corrente pela tensão que se tem a potência. Em uma carga resistiva isso é verdade, pois a tensão anda junto com a corrente. Em uma carga indutiva já não é assim. Quando a tensão está em zero volts, a corrente está no seu máximo e quando a tensão está em seu máximo, a corrente é zero ampéres. O mesmo acontece para a carga capacitiva. Sendo assim a potência de uma carga puramente capacitiva ou puramente indutiva é sempre zero. Com isso se tem corrente passando na rede e nenhuma potência sendo fornecida. É por essa razão que as concessionárias de energia exigem um fator de potência de no mínimo 0,92, caso contrário elas teriam que ter uma

rede elétrica de capacidade muito grande, que suportaria correntes enormes, mas forneceriam pouca potência. Aumentando o Fator de Potência, pode-se até usar cabos mais finos, já que a corrente diminuiria, e assim economizando muito dinheiro em cabos e transformadores. Essa potência é chamada **potência ativa**. É essa potência que realiza trabalho nas indústrias. Então, para se calcular essa potência ativa se introduziu mais um termo na fórmula da potência: o fator de potência.

**$P = i \times U \times f.p.$  -> Potência ativa (unidade Watts)**

Para corrigir esse fator de potência baixo, basta instalar os dois tipos de carga ao mesmo tempo. Se você tem muita carga indutiva, instala-se carga capacitiva, se tem carga capacitiva, instala carga indutiva. Como um atrasa e o outro adianta, a soma dos dois é uma carga neutra, que nem atrasa nem adianta, ou seja, uma carga puramente resistiva. É como se fosse um cabo de guerra: uma pessoa de cada lado puxando o cabo.



Se as duas pessoas tiverem a mesma força, a corda fica no meio (carga resistiva). Se a indutiva for mais forte que a capacitiva, o fator de potência diminui então se instala bancos de capacitores a fim de se igualar as duas. Nessa analogia, é como se chamasse mais uma pessoa para ajudar a puxar a corda do lado mais fraco para equilibrar com o lado mais forte.