



**Escola Técnica Estadual  
Monteiro Lobato - CIMOL**

Centro Estadual de Referência no  
Ensino Profissional



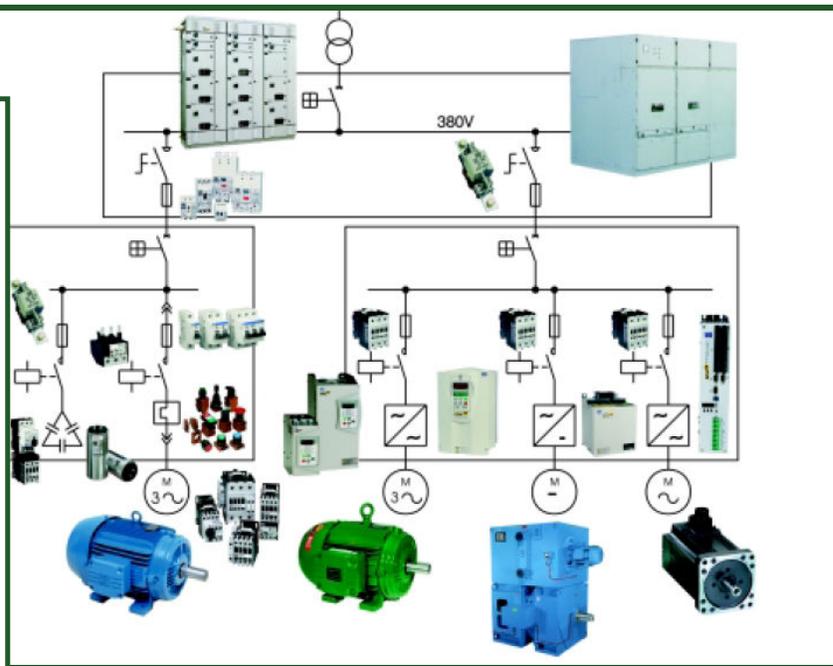
Manual de Acionamentos e  
Comandos Elétricos

**Prof. José de Souza**



## MANUAL DO ALUNO

- MOTORES ELÉTRICOS;
- ACIONAMENTOS E COMANDOS ELÉTRICOS;
- INVERSORES;
- SOFTWARE DEDICADO A COMANDOS ELÉTRICOS;
- SIMBOLOGIA ELÉTRICA;
- NR10 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.



Este Manual é de uso exclusivo da Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato. Sua versão será constantemente revisada e complementada..

Direitos reservados aos Autores, não está autorizada a cópia no todo ou em parte deste Manual. Contribuições críticas e sugestões são bem vindas e poderão ser enviadas para o endereço abaixo: [jose@ped-energia.com](mailto:jose@ped-energia.com).



## ÍNDICE ANALÍTICO

INTRODUÇÃO.....	7
GERADOR CA.....	8
REVISÃO DE FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE.....	9
Corrente elétrica.....	9
Resistência elétrica.....	9
Potência Elétrica.....	10
Perda de energia nos condutores.....	11
Dimensionamento de condutores.....	11
Exercícios I - Conhecimentos elementares.....	16
MOTOR ELÉTRICO.....	17
MOTORES DE INDUÇÃO.....	17
Exercícios II - Motores.....	18
MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS.....	19
Terminais e ligação de motores monofásicos.....	19
Motor de pólos sombreados.....	20
Motor de fase dividida.....	21
Motor de capacitor de partida.....	22
Motor de capacitor permanente.....	22
Motor com dois capacitores.....	23
Motor Universal.....	24
Exercícios III - Motores monofásicos.....	24
MOTORES TRIFÁSICOS.....	26
Composição básica.....	26
Estator.....	26
Rotor.....	27
Rotor bobinado.....	27
Rotor em gaiola de esquilo.....	27
Princípio de funcionamento do motor trifásico.....	28
Perdas e rendimento do motor.....	29
Ligação de motores trifásicos.....	31
Exercícios IV - Motores trifásicos.....	33
MOTORES DE PASSO.....	35
Características de desempenho do motor de passo:.....	35
Tipos de motor de passo.....	37
Estados de um motor de passo.....	37
Modos de operação.....	37
Exercícios V - Motores de passos.....	39
POTÊNCIA ELÉTRICA.....	40
A potência ativa.....	40
A potência reativa.....	40
A potência aparente.....	40
Fator de potência.....	40
Vantagens da correção do fator de potência.....	41
Causas da ocorrência de baixo fator de potência.....	41
Como corrigir o fator de potência.....	41
Tipos de correção ou compensação.....	42
Correção por grupo de cargas.....	43
Correção do Fator de Potência geral.....	43
Precauções na instalação e operações de capacitores.....	44
Harmônicas.....	44



Cálculo para correção do fator de Potência.....	44
Exercícios VII - Potência elétrica .....	47
<b>PARTIDA DE MOTORES TRIFÁSICOS .....</b>	<b>49</b>
Partida direta .....	49
Partida estrela-triângulo.....	50
Partida compensadora .....	51
Exercícios VI - Partida de motores.....	51
<b>COMANDOS ELÉTRICOS.....</b>	<b>52</b>
Dispositivos elétricos.....	52
Botões.....	52
Botões com trava .....	54
Chaves seletoras .....	54
Interruptores fim de curso.....	56
Chave seccionadora.....	57
Disjuntores .....	57
Relés.....	58
Relé Térmico .....	58
Fusíveis .....	59
Tipos de Fusíveis .....	60
Contatores .....	62
Temporizador.....	68
Exercícios VIII - Circuitos de Comando .....	70
<b>SENSORES .....</b>	<b>74</b>
Tipos de sensores.....	74
I - Sensores de temperatura .....	74
II - Sensores de luz .....	76
III - Sensores de velocidade .....	77
IV - Sensores de vazão .....	78
V - Sensores de posição .....	79
VI - Sensores de posição específica .....	80
Exercícios IX - Sensores.....	82
<b>PROJETOS DE COMANDOS E LABORATÓRIO .....</b>	<b>83</b>
1. Semáforo simples com três lanternas .....	83
2. Prensa temporizada.....	83
3. Semáforo duplo com três lanternas .....	84
4. Portão de Garagem .....	84
5. Planta com caixas d'água .....	85
6. Elevador de carga dois andares .....	86
7. Elevador de carga de três andares.....	86
8. Elevador de carga quatro andares.....	87
9. Semáforo quatro tempos com três lanternas.....	88
10. Carro recolhedor .....	88
11. Projeto de abastecimento eletrohidráulico residencial.....	89
12. Portão de Garagem inteligente.....	89
13. Projeto de duas esteiras .....	90
14. Projeto para elevador com porta de dois andares .....	90
15. Projeto para elevador com porta de três andares.....	91
16. Projeto de braço robótico .....	91
<b>EXERCÍCIOS DE COMANDOS.....</b>	<b>92</b>
<b>PARTIDA ELETRÔNICA (SOFT STARTER E INVERSOR DE FREQUÊNCIA) .....</b>	<b>94</b>
Soft-Starters .....	94



---

<b>Inversores de frequência</b> .....	94
<b>SIMBOLOGIA ELÉTRICA</b> .....	98
<b>NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE</b> ..	103
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	116



# Manual de Acionamentos e Comandos Elétricos

Neste Manual tratar-se-á sobre Acionamentos e Comandos Elétricos. Como esse assunto está diretamente ligado ao tema motores, eletricidade, circuitos e outros, o mesmo trata sobre todos de um modo geral buscando trazer um pouco sobre cada um desses. Assim almeja-se que o aluno desenvolva noções sobre circuitos elétricos, lógica, informática e eletricidade.

O tema Comandos elétricos trata sobre dispositivos elétricos ou eletrônicos usados para acionar motores, como também outros equipamentos elétricos. São compostos de uma variedade de dispositivos e elementos como contadores, botões temporizadores, relés térmicos e fusíveis. Uma grande parte das máquinas em oficinas e na indústria é acionada por motores elétricos. Para manejar essas máquinas são necessários dispositivos que permitem um controle sobre esses motores. Esses dispositivos de controle são, nos casos mais simples, interruptores, também chamados chaves manuais. Para motores de maior potência e para máquinas complexas usam-se comandos elétricos, automáticos, muitas vezes sofisticados.

Os comandos em si permitem um controle sobre o funcionamento das máquinas, evitando, ao mesmo tempo, manejo inadequado pelo usuário e, além disso, dispõe de mecanismos de proteção para a máquina e para o usuário. Melhoram o conforto para manejar máquinas, usando simples botões. Permitem também o controle das máquinas remotamente.

Comandos elétricos eliminam a comutação manual de linhas de alimentação de motores e cargas de alta potência, através de interruptores de grandes dimensões.

Além destes, são utilizados chaves eletrônicas no acionamento e controle dos motores como Soft-Starters e Inversores. Permitem um acionamento e controle mais refinado dos motores e equipamentos de grande porte, tais como, velocidade, rotação, torque, etc.

Através da instalação de sensores é possível adquirir e obter dados sobre variáveis importantes existentes no processo. A partir delas é possível a tomada de decisão para atuar corrigindo e controlando o processo através de malhas de ramo fechado. A obtenção dos dados é imprescindível para atuação no sistema otimizando o procedimento.

Por último a observância de normas sobre instalações elétricas é fundamental para um bom andamento de instalações e construção de qualquer tipo de circuito de acionamento elétrico. Uma vez que a segurança é fundamental para o andamento do trabalho do profissional desta área.



## INTRODUÇÃO

Na natureza a energia se encontra distribuída sob diversas formas, tanto como energia mecânica, térmica, luminosa e outras formas; no entanto a energia mecânica é a mais conhecida forma de energia e na qual o homem tem mais domínio. A energia mecânica, tal como ela está disponível na natureza é de difícil utilização prática, além de ser uma energia variável no tempo. Então, converte-se a energia mecânica em Energia Elétrica através das Máquinas Elétricas conhecidas como geradores.

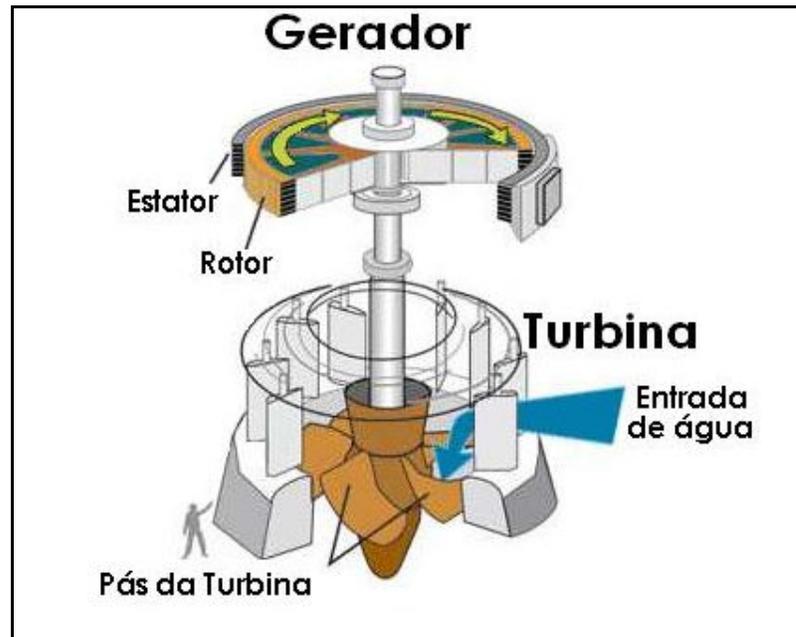


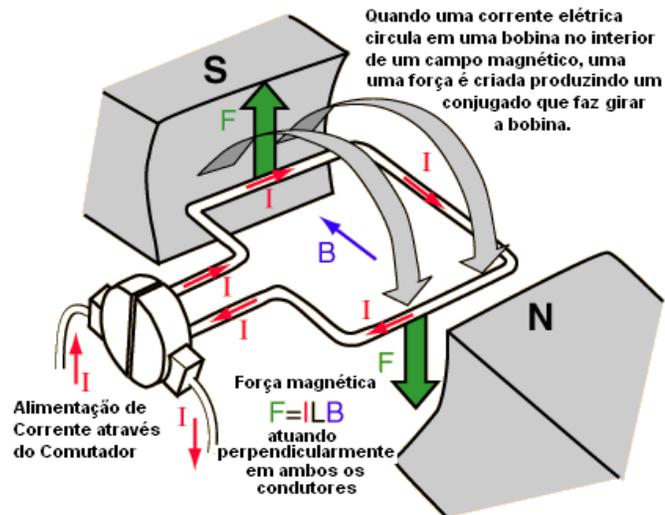
Figura 1 - Geração de energia elétrica em Usina Hidrelétrica



Figura 2 – Turbinas da Usina Hidrelétrica dos Bugres em Canela - RS



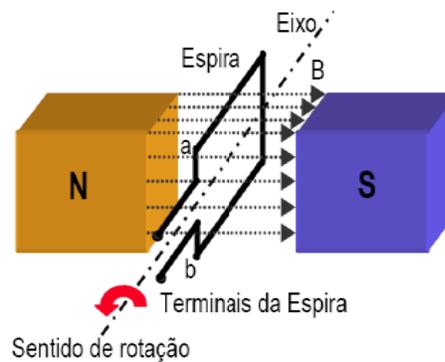
A energia elétrica possui as vantagens de ser uma energia limpa, de fácil transporte e de fácil manuseio, podendo ser convertida em energia térmica, luminosa, eletromagnética, e também em energia mecânica. Quem efetua esta última transformação são as Máquinas Elétricas conhecidas como motores. Abaixo um exemplo de um motor elementar de corrente contínua mostrando o esquema em uma espira.



### GERADOR CA

Um gerador CA possui um rotor bobinado, (ver Estator e Rotor em Motores de indução), porém sem o comutador do gerador CC.

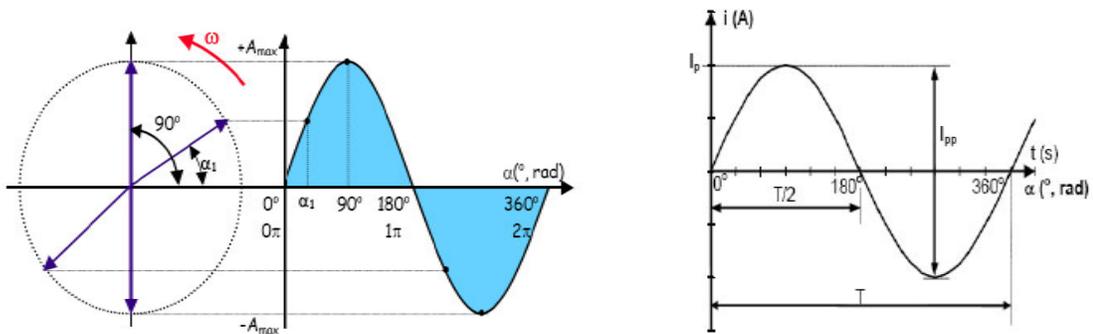
Em um gerador aplica-se um dos fundamentos do eletromagnetismo em que temos uma bobina movimentada dentro de um campo magnético ou, o contrário, onde o elemento excitador é que produz o campo magnético, assim obtemos a tensão induzida nas bobinas da parte fixa no estator da máquina. Portanto, o rotor bobinado pode girar dentro de um campo magnético que normalmente é produzido pela excitação de bobinas montadas no estator da máquina, ou o mais comum, onde se aplica tensão de excitação ao rotor e este ao girar com que o campo magnético criado corte as bobinas do estator, possibilitando o surgimento de tensão induzida nessas bobinas. Abaixo exemplo de uma bobina que gera tensão CA.



Para conectar a parte girante do gerador ao meio externo, utilizam-se anéis fixos ao eixo do rotor que, através de escovas, tem contato com terminais externos.



O detalhe desses anéis é que são completamente diferentes de um comutador. O contato de cada anel com sua respectiva escova é contínuo ao passo que o comutador é composto de várias secções, assim o número de anéis equivale ao número de fases geradas ou, no caso de excitação no rotor (mais utilizado), existem dois anéis para conexão do positivo e do negativo da fonte de excitação.



Forma de onda na saída do gerador de corrente alternada.

## REVISÃO DE FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE

### Corrente elétrica

À medida que se movem, as cargas transferem ao circuito receptor a energia que receberam no gerador. No receptor essa energia é transformada em outra forma de energia. O citado movimento é a corrente elétrica, e sua intensidade, também chamada amperagem (quantidade de cargas que passam por segundo; Coulombs por segundo, simbolizada por  $I$ , é medida em Ampère  $A$ . A movimentação das cargas é tanto maior quanto mais energia recebem. Ou seja, quanto maior for a tensão aplicada maior será a corrente.

### Resistência elétrica

A constituição física do circuito de corrente facilita ou dificulta o movimento das cargas. Se os elétrons de valência dos átomos que compõem o circuito estão muito presos aos átomos então o circuito apresenta grande dificuldade à movimentação das cargas.

Quanto maior for a quantidade de energia necessária para por em movimento as cargas elétricas do circuito, maior é a chamada resistência elétrica de tal circuito. A movimentação das cargas é, portanto menor, quanto maior for a dificuldade ou resistência  $R$  imposta pelo circuito à passagem das cargas.

Para se conseguir a movimentação das cargas é necessária diferença de potencial de valor tanto maior quanto maior for a movimentação desejada e também quanto maior for a resistência do circuito:

$$U = I \times R$$



Tal equação denomina-se lei de Ohm.

A razão entre tensão e corrente tem como unidade o ohm, simbolizada pela letra ômega.  $\Omega$

A equação mostrada pode ser reescrita através da equação seguinte:

$$R = \frac{V}{I}, \text{ ou ainda, } I = \frac{V}{R}$$

A energia elétrica no receptor pode ser calculada por:

$$E = V \times I \times t$$

Onde:

- $E$  é a energia em joules;
- $V$  a tensão em volts;
- $I$  a corrente em ampères;
- $t$  o tempo em segundos;
- $R$  é a resistência em ohms,  $\Omega$ .

### Potência Elétrica

A velocidade de transferência ou conversão da energia elétrica por unidade de tempo, a energia por segundo, é denominada potência elétrica.

A potência elétrica  $P$ , é medida em watts  $W$ , e pode ser calculada pelo produto da tensão  $V$  pela corrente  $I$ .

*Observações: Tal fórmula é válida para circuitos onde as variações da tensão provocam proporcional e simultânea variação da corrente. Alguns circuitos chamados reativos não apresentam tal simultaneidade e par tais circuitos a fórmula acima não pode ser aplicada.*

Cada receptor tem a função de converter a energia elétrica em um determinado tipo de energia. Por exemplo:

- Motor elétrico  $\rightarrow$  mecânica;
- Lâmpada  $\rightarrow$  luminosa;
- Bateria em recarga  $\rightarrow$  química;
- Resistores  $\rightarrow$  térmica.

Como não se podem construir condutores práticos com materiais supercondutores (resistência zero) já que isso além de caro necessita de temperatura muito baixa menor que 150 graus Celsius negativos, todos os circuitos elétricos apresentam resistência não só no receptor (seria o ideal) como também nos condutores e até no gerador.

As cargas perdem energia para transpor a resistência do circuito. Essa energia é convertida em energia térmica, que produz aquecimento.

O efeito de aquecimento produzido pela passagem da corrente na resistência se chama efeito joule.

O efeito joule é útil nos resistores de aquecimento, mas é muito inconveniente em todos os outros dispositivos.

A energia convertida por efeito joule pode ser calculada através da equação abaixo:

$$E = R \times I^2 \times t$$



### Perda de energia nos condutores

Nos condutores é totalmente indesejável que haja o efeito joule, que se reflete em seu aquecimento e em diminuição da tensão disponível para o receptor. Para reduzir ao máximo a perda de energia, a resistência dos condutores que ligam o gerador ao receptor deve ser a menor possível o que significa que a área de secção transversal deve ser a maior possível.

A área de secção transversal (bitola) mínima é calculada em função de dois parâmetros: capacidade de corrente e queda de tensão admissível.

A bitola escolhida para o condutor deverá ser tanto maior quanto maior for a corrente e a distância entre o gerador e o receptor.

A escolha da bitola do condutor é denominada dimensionamento do condutor.

### Dimensionamento de condutores

O dimensionamento do condutor que servirá a uma instalação deve em primeiro lugar levar em consideração a corrente que deve conduzir; em segundo lugar a queda de tensão admissível no circuito.

Os fabricantes de condutores fornecem tabelas com os condutores fabricados identificados pelas suas bitolas e capacidades correspondentes em ampéres. Através da capacidade de corrente basta procurar na tabela qual bitola suporta a corrente da carga.



Através da queda de tensão pode-se usar a fórmula a seguir, que fornece a bitola em função da queda de tensão, da corrente e da distância com as fórmulas distintas para sistema monofásico ou CC e para o sistema trifásico:

Para sistema monofásico ou CC:

$$S = \frac{2 \times I \times l}{56 \times u}$$

Para sistema trifásico:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times I \times l}{56 \times u}$$

Onde:

- $S$  é a bitola em  $\text{mm}^2$ ;
- $I$  a corrente em ampéres;
- $u$  queda de tensão absoluta em volts;
- $l$  distância ao gerador em metros.



**Exemplo1:** Deseja-se alimentar um circuito de iluminação de 6kW (potência elétrica), tensão de 220V, fator de potência 0,8, que se encontra a 200m do gerador. Qual deve ser o condutor para essa função? Considere uma queda admissível de 3%.

A corrente no sistema monofásico é calculada por:

$$I = \frac{P}{V \times \eta \times \cos \varphi} = \frac{6000}{220 \times 0,8} = 34,09 A$$

Onde:

$I$  é a corrente em ampéres;  
 $P$  é a potência em watts;  
 $V$  a tensão em volts;  
 $\eta$  o rendimento.

Pelo critério de queda de tensão tem-se:

$$S = \frac{2 \times 34,09 \times 200}{56 \times 220 \times 0,03} = 36,89 mm^2$$

Aceitando-se uma queda de tensão um pouco maior poderia ser usado nesse caso o condutor de 35mm<sup>2</sup>, que está muito próximo do valor calculado.

**Exemplo 2:** Necessita-se escolher o condutor para alimentar um motor trifásico de 30CV, 40V, rendimento 84%, fator de potência 0,85, que dista 80 metros do gerador. Admite-se uma queda de 5%.

A corrente de um motor trifásico pode ser calculada pela mesma fórmula usada no exemplo1, desde que se transforme a potência de CV para watts (multiplicando o valor em CV por 736) e multiplicando a tensão por raiz de 3.

Outra opção é usar a fórmula já modificada, dada a seguir, para usar com a potência em CV e na qual já se encontra o fator raiz de 3 para a tensão no denominador.

$$I = \frac{736 \times Pn}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times \cos \varphi} \text{ Onde } Pn \text{ é a potência em CV.}$$

Substituindo os valores tem-se:

$$I = \frac{736 \times 30}{\sqrt{3} \times 440 \times 0,85 \times 0,84} = 40,57 A$$

Através do critério da queda de tensão:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times I \times l}{56 \times u} = \frac{\sqrt{3} \times 40,57 \times 80}{56 \times 440 \times 0,05} = 4,56 mm^2$$



**Exemplo 3:** Escolha o condutor para ligar um motor trifásico de 100CV, 440V, rendimento 88%, fator de potência 0,82, que dista 80 metros do gerador. Admite-se uma queda de 5%.

$$I = \frac{736 \times P_n}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times \cos \varphi} = \frac{736 \times 100}{\sqrt{3} \times 440 \times 0,88 \times 0,82} = 133,8A.$$

Através do critério da queda de tensão:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times I \times l}{56 \times u} = \frac{\sqrt{3} \times 133,8 \times 80}{56 \times 440 \times 0,05} = 15,05mm^2$$

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PIRELLI

**TABELA 20 - QUEDA DE TENSÃO EM V/A. km  
CABOS SINTENAX, SINTENAX FLEX E VOLTALENE**

INSTALAÇÃO AO AR LIVRE <sup>(C)</sup>

CABOS SINTENAX, SINTENAX FLEX E VOLTALENE

Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	Cabos unipolares <sup>(D)</sup>												Cabos uni e bipolares		Cabos tri e tetrapolares			
	Circuito monofásico						Circuito trifásico						Circuito trifásico <sup>(E)</sup>	Circuito monofásico <sup>(E)</sup>	Circuito trifásico	Circuito trifásico		
	S = 10cm		S = 20cm		S = 2D		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D							
	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95
1,5	23,6	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,5	24,0	20,5	24,1	20,3	24,0	20,2	23,9	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	14,6	17,1	14,7	17,1	14,4	17,0	12,7	14,8	12,7	14,8	12,5	14,7	12,4	14,7	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,3	10,7	9,3	10,7	9,1	10,6	8,0	9,3	8,1	9,3	7,9	9,2	7,8	9,2	9,0	10,6	7,8	9,1
6	6,3	7,2	6,4	7,2	6,1	7,1	5,5	6,3	5,5	6,3	5,3	6,2	5,2	6,1	6,0	7,1	5,2	6,1
10	3,9	4,4	3,9	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,4	3,8	3,2	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,1	3,7
16	2,6	2,8	2,6	2,8	2,4	2,7	2,2	2,4	2,3	2,5	2,1	2,4	2,0	2,3	2,3	2,7	2,0	2,3
25	1,73	1,83	1,80	1,86	1,55	1,76	1,52	1,59	1,57	1,62	1,40	1,53	1,32	1,49	1,50	1,71	1,31	1,48
35	1,33	1,36	1,39	1,39	1,20	1,29	1,17	1,19	1,22	1,22	1,06	1,13	0,98	1,09	1,12	1,25	0,97	1,08
50	1,05	1,04	1,11	1,07	0,93	0,97	0,93	0,91	0,98	0,94	0,82	0,85	0,75	0,82	0,85	0,93	0,74	0,81
70	0,81	0,76	0,87	0,80	0,70	0,71	0,72	0,67	0,77	0,70	0,63	0,62	0,55	0,59	0,62	0,67	0,54	0,58
95	0,65	0,59	0,71	0,62	0,56	0,54	0,58	0,52	0,64	0,55	0,50	0,47	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,43
120	0,57	0,49	0,63	0,52	0,48	0,44	0,51	0,43	0,56	0,46	0,43	0,39	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,50	0,42	0,56	0,45	0,42	0,38	0,45	0,37	0,51	0,40	0,38	0,34	0,31	0,30	0,35	0,34	0,30	0,30
185	0,44	0,36	0,51	0,39	0,37	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,25	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,20
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,23	0,32	0,23	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,32	0,22	0,37	0,26	0,27	0,21	0,29	0,20	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,15	—	—	—	—
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	—	—	—	—
630	0,26	0,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	0,16	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	—	—	—	—
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	—	—	—	—
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,20	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	—	—	—	—



**TABELA 21 - QUEDA DE TENSÃO EM V/A. km  
CABOS EPROTENAX, EPROTENAX GSETTE E AFUMEX**

**INSTALAÇÃO AO AR LIVRE <sup>(C)</sup>**

**CABOS EPROTENAX, EPROTENAX GSETTE E AFUMEX**

Seção no minal (mm <sup>2</sup> )	Cabos unipolares												Cabos uni e bipolares		Cabos tri e tetrapolares			
	Circuito monofásico						Circuito trifásico						Circuito trifásico <sup>(B)</sup>	Circuito monofásico <sup>(B)</sup>		Circuito trifásico		
	S = 10cm		S = 20cm		S = 2D		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D							
	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8					FP = 0,95
1,5	23,8	28,0	23,9	28,0	23,6	27,9	20,7	24,3	20,5	24,1	20,4	24,1	20,4	24,1	23,5	27,8	20,3	24,1
2,5	14,9	17,4	15,0	17,5	14,7	17,3	12,9	15,1	13,0	15,1	12,8	15,0	12,7	15,0	14,6	17,3	12,7	15,0
4	9,4	10,9	9,5	10,9	9,2	10,8	8,2	9,5	8,2	9,5	8,0	9,4	7,9	9,3	9,1	10,8	7,9	9,3
6	6,4	7,3	6,4	7,3	6,2	7,2	5,5	6,3	5,6	6,3	5,4	6,2	5,3	6,2	6,1	7,1	5,3	6,2
10	3,9	4,4	4,0	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,5	3,8	3,3	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,2	3,7
16	2,58	2,83	2,64	2,86	2,42	2,74	2,25	2,46	2,31	2,48	2,12	2,39	2,05	2,35	2,34	2,70	2,03	2,34
25	1,74	1,85	1,81	1,88	1,61	1,77	1,53	1,61	1,58	1,64	1,41	1,55	1,34	1,51	1,52	1,73	1,32	1,50
35	1,34	1,37	1,40	1,41	1,21	1,30	1,18	1,20	1,23	1,23	1,06	1,14	0,99	1,10	1,15	1,26	0,98	1,09
50	1,06	1,05	1,12	1,09	0,94	0,99	0,94	0,92	0,99	0,95	0,83	0,87	0,76	0,83	0,86	0,95	0,75	0,82
70	0,81	0,77	0,88	0,80	0,70	0,71	0,72	0,68	0,78	0,70	0,63	0,63	0,56	0,59	0,63	0,67	0,54	0,58
95	0,66	0,59	0,72	0,62	0,56	0,54	0,59	0,52	0,64	0,55	0,50	0,48	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,44
120	0,57	0,49	0,63	0,53	0,48	0,45	0,51	0,44	0,56	0,46	0,43	0,40	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,50	0,42	0,57	0,46	0,42	0,38	0,45	0,38	0,51	0,41	0,39	0,34	0,32	0,31	0,35	0,35	0,30	0,30
185	0,44	0,36	0,51	0,39	0,38	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,26	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,21
300	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,24	0,32	0,24	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,31	0,23	0,38	0,26	0,27	0,21	0,29	0,21	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,16	—	—	—	—
500	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	—	—	—	—
630	0,26	0,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	0,16	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	—	—	—	—
800	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	—	—	—	—
1000	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,21	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	—	—	—	—

**TABELA 25 - CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTORES CLASSE 1 (NBR 6880)**

Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	Resistência máxima do condutor a 20 °C, condutores circulares e fios nus. (Ω / km)
0,5	36,0
0,75	24,5
1	18,1
1,5	12,1
2,5	7,41
4	4,61
6	3,08
10	1,83
16	1,15



**TABELA 26 - CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTORES CLASSE 2 (NBR 6880)**

Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	Número mínimo de fios no condutor		Resistência máxima do condutor a 20 °C, condutores circulares e fios nus. (Ω / km)
	Condutor não-compactado circular	Condutor compactado não-circular	
0,5	7	—	36,0
0,75	7	—	24,5
1	7	—	18,1
1,5	7	6	12,1
2,5	7	6	7,41
4	7	6	4,61
6	7	6	3,08
10	7	6	1,83
16	7	6	1,15
25	7	6	0,727
35	7	6	0,524
50	19	6	0,387
70	19	12	0,268
95	19	15	0,193
120	37	18	0,153
150	37	18	0,124
185	37	30	0,0991
240	61	34	0,0754
300	61	34	0,0601
400	61	53	0,0470
500	61	53	0,0366
630	91	53	0,0283
800	91	53	0,0221
1000	91	53	0,0176

**TABELA 22 - RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS E REATÂNCIAS INDUTIVAS DE FIOS E CABOS ISOLADOS EM PVC, EPR E XLPE EM CONDUTOS FECHADOS (VALORES EM Ω / km)**

Seção (mm <sup>2</sup> )	R <sub>cc</sub> <sup>(A)</sup>	Condutos não-magnéticos <sup>(B)</sup> Circuitos FN / FF / 3F	
		R <sub>ca</sub>	X <sub>L</sub>
[1]	[2]	[3]	[4]
1,5	12,1	14,48	0,16
2,5	7,41	8,87	0,15
4	4,61	5,52	0,14
6	3,08	3,69	0,13
10	1,83	2,19	0,13
16	1,15	1,38	0,12
25	0,73	0,87	0,12
35	0,52	0,63	0,11
50	0,39	0,47	0,11
70	0,27	0,32	0,10
95	0,19	0,23	0,10
120	0,15	0,19	0,10
150	0,12	0,15	0,10
185	0,099	0,12	0,094
240	0,075	0,094	0,098
300	0,060	0,078	0,097
400	0,047	0,063	0,096
500	0,037	0,052	0,095
630	0,028	0,043	0,093
800	0,022	0,037	0,089
1000	0,018	0,033	0,088



### Exercícios I - Conhecimentos elementares

- 1) Como se dá a conversão da energia mecânica em elétrica?
- 2) Quais são tipos de máquinas elétricas conversoras de energia mecânica/elétrica e vice-versa?
- 3) Exemplifique a diferença de corrente CC e CA?
- 4) Dentre os motores quais são os mais usados e que encontramos no mercado?
- 5) Qual é a diferença entre comutadores e anéis?
- 6) Qual a diferença entre sistemas monofásicos e trifásicos?
- 7) O que é campo magnético?
- 8) Qual é a lei de Lenz?
- 9) Qual é a lei de Faraday?
- 10) Qual é a finalidade das escovas do gerador?
- 11) Um motor trifásico é instalado a 45m do gerador, e admite-se uma queda de 4% nos condutores de sua instalação. Na placa do motor encontram-se  $P_n=50cv$ ;  $V_n=440/760$ ;  $\eta=0,9$ ;  $\cos\varphi=0,85$ . Dimensione os condutores.
- 12) Na placa de um motor trifásico encontram-se os seguintes dados:  $P_n=20CV$ ;  $V_n=220/380$ ;  $\eta=0,9$ ;  $\cos\varphi=0,85$ . Dimensione os condutores para a instalação do motor a 120m do gerador, admitida queda de tensão de 6%



## MOTOR ELÉTRICO

Motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica, em geral, energia cinética, ou seja, num motor, a simples presença da corrente elétrica, seja corrente contínua ou alternada, garante movimento em um eixo, que pode ser aproveitado de diversas maneiras, dependendo da aplicação do motor.



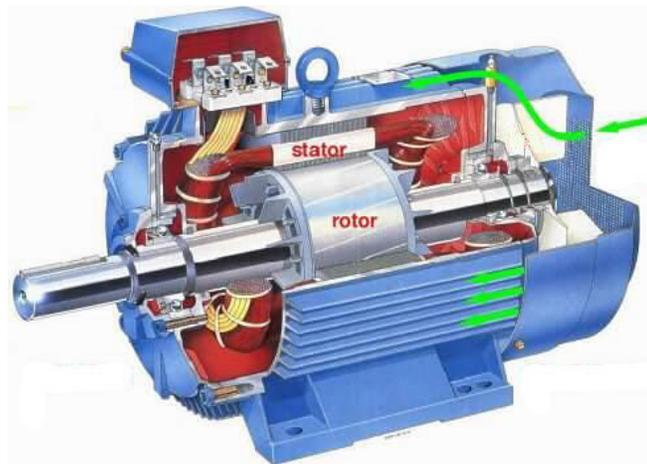
Motor Trifásico de indução e Motor Trifásico de Alto rendimento.

O acionamento de máquinas e equipamentos mecânico por motores elétricos é um assunto de grande importância econômica. Em se tratando de acionamentos industriais, estima-se que cerca de 70% a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica por motores elétricos.

## MOTORES DE INDUÇÃO

A máquina de indução é a mais simples das máquinas elétricas rotativas, seja sob o ponto de vista de sua construção, seja sob o ponto de vista de sua operação. O seu principal campo de aplicação é o acionamento, isto é, ela opera sempre como motor.

Os motores de indução são os mais utilizados na indústria uma vez que são mais baratos e a maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica é de corrente alternada.



Como toda máquina elétrica rotativa, o motor de indução possui uma parte fixa, o *estator* ou *armadura*, e uma parte que gira, o *rotor* conforme figura acima. Não há, praticamente, nenhuma diferença entre o estator de um motor ou gerador síncrono e o estator



de um motor de indução de mesma potência, mesmo número de pólos, etc. *O rotor* é que é diferente. Enquanto nas máquinas síncronas o rotor de pólos salientes é uma montagem comum, nos motores de indução ela não existe: todos os rotores de motores de indução são de pólos lisos. Como toda máquina rotativa, os núcleos do rotor e do estator são montados com chapas de aço silício, de granulometria orientada, para reduzir a relutância do circuito magnético e as perdas magnéticas devidas ao fenômeno das correntes parasitas. Os pacotes de chapas de aço são perfurados em diversas formas (circular, retangular, etc) criando *as ranhuras*. Enquanto o estator é fixado em bases metálicas ou de concreto, o rotor é montado sobre um eixo de aço que se acopla, mecanicamente, ao eixo da máquina a ser acionada.

Os motores de indução podem ser monofásicos ou polifásicos (trifásicos). Os motores de indução monofásicos podem ser estudados como um caso particular dos motores trifásicos. Enquanto os motores de indução trifásicos são os acionadores mais comuns utilizados na indústria, praticamente em qualquer nível de potência, o principal campo de aplicação dos motores monofásicos é o acionamento de pequenas cargas, destacando-se as de uso doméstico (bombas d'água, geladeiras, ventiladores e outros). Como tais cargas são de pequena potência, menor do que 1 kW, eles recebem, algumas vezes, o nome de *motores fracionários*.

Os motores monofásicos de potência maior do que 1 kW são usados no acionamento de cargas de uso rural e comercial, onde a tensão disponível é quase sempre monofásica.

### **Exercícios II - Motores**

- 1) Qual é a diferença entre Motores DC e AC?
- 2) Qual é o tipo de motor mais utilizado acessível hoje no mercado?
- 3) Quais são os principais fatores na seleção de motores?
- 4) Cite alguns tipos de motores?
- 5) Qual é a constituição básica do motor de indução?
- 6) Quais são os tipos de motores de indução?
- 7) O que são motores fracionários?
- 8) De que é composto o rotor do motor de Indução?
- 9) Qual é o maior problema no motor de indução?
- 10) Quais os tipos de gaiola de esquilo existentes?



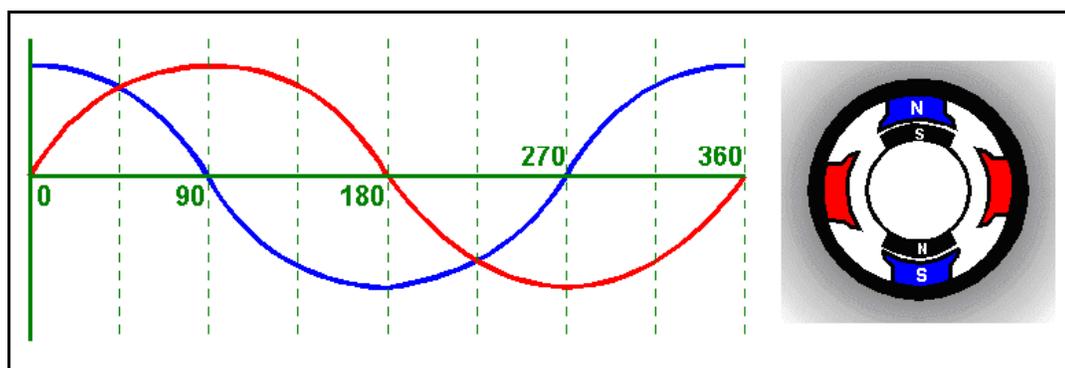
## MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS

Motores de Indução Monofásicos são motores elétricos de pequena ou média potência, geralmente menores que 5 CV. São chamados de monofásicos porque os seus enrolamentos de campo são ligados diretamente a uma fonte monofásica. São uma alternativa para locais onde não se dispõe de alimentação trifásica, são empregados com frequência em residências, oficinas e em zonas rurais, em aplicações como: bombas d'água, ventiladores e meio de acionamento para pequenas máquinas. Não é recomendável utilizar-se motores monofásicos maiores do que 3 CV, pois estão ligados somente a uma fase da rede, provocando um considerável desbalanceamento de carga na rede.



Exemplos de motores monofásicos da WEG.

Os motores monofásicos possuem somente uma fase de alimentação, não possuem um campo girante como os motores polifásicos, mas um campo magnético pulsante. Isso impede que tenham torque de partida, tendo em conta que no rotor se induzem campos magnéticos alinhados ao campo do estator.



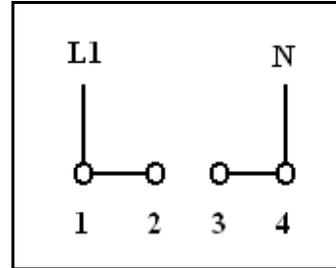
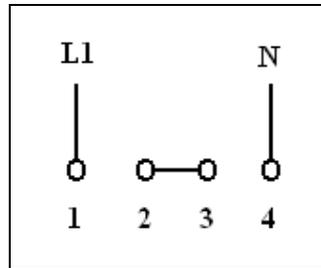
Para a produção do conjugado de partida o motor de indução monofásico necessita de um segundo enrolamento de partida auxiliar defasado de  $90^\circ$  construtivamente do enrolamento de trabalho, conforme a figura.

### Terminais e ligação de motores monofásicos

Os motores monofásicos podem ter de dois, quatro ou seis terminais. O caso de dois terminais não há possibilidade de inversão do seu sentido de rotação, pois tem somente (LI)

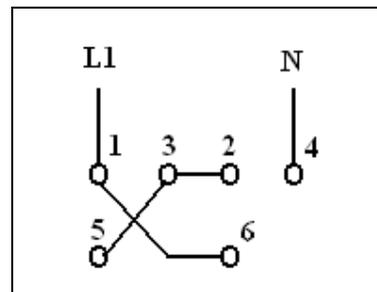
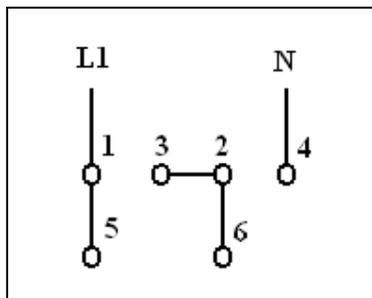


fase e (*N*) neutro. No caso de haver quatro terminais o enrolamento é dividido em duas partes iguais. É possível ligar este motor a duas tensões (110/220), mas não é possível inverter o sentido de rotação.

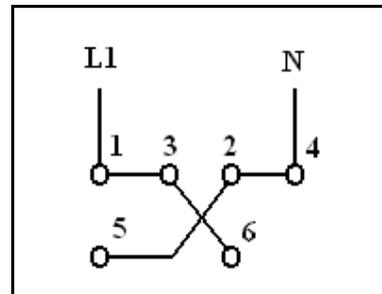
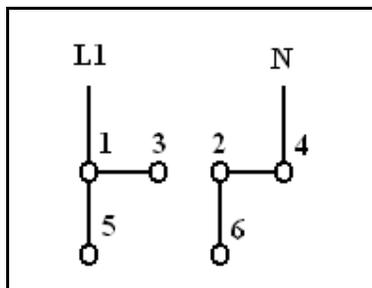


No caso de haver seis terminais no enrolamento também podemos ligar este motor em duas tensões (110/220) e também podemos inverter o sentido de rotação, no entanto não deve ser feito com o motor em movimento, para tanto é preciso desligá-lo.

A ligação do motor em uma tensão de (220V) é feita como no esquema abaixo, para inverter o sentido da rotação, basta trocar as conexões dos terminais 5 e 6.



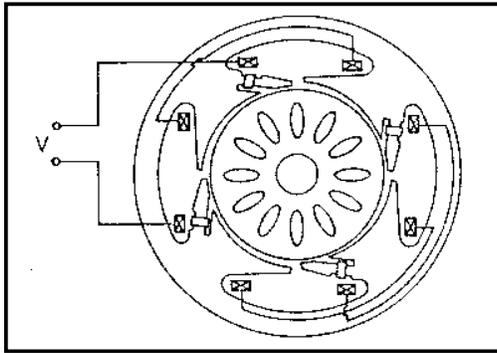
A ligação do motor em uma tensão de (110V) é feita como no esquema abaixo, para inverter o sentido da rotação, basta trocar as conexões dos terminais 5 e 6:



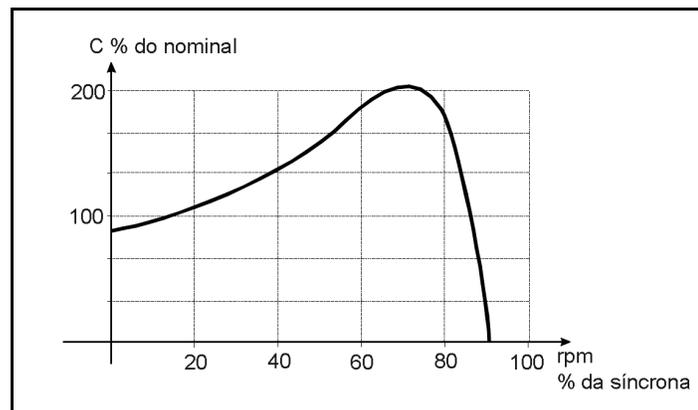
## TIPOS DE MOTORES MONOFÁSICOS

### Motor de pólos sombreados

O Motor de pólos sombreados (*Shaded Pole*) é um motor monofásico também denominado de motor de campo distorcido graças ao seu processo de partida.



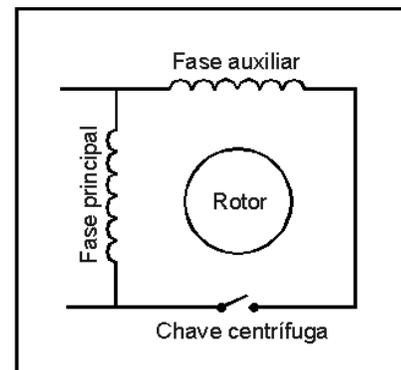
A corrente induzida faz com que o fluxo que atravessa sofra um atraso em relação ao fluxo da parte não abraçada por ela. O resultado disso é semelhante a um campo girante que se move da direção da parte não abraçada para parte abraçada do pólo. Isso produz o torque que fará o motor partir e atingir a rotação nominal.



O sentido da rotação depende, portanto do lado em que se situa a parte abraçada do pólo. Esse motor apresenta um único sentido de rotação. No entanto para inverter-se a rotação existem métodos como inverter a posição da ponta de eixo do rotor em relação ao estator entre outros.

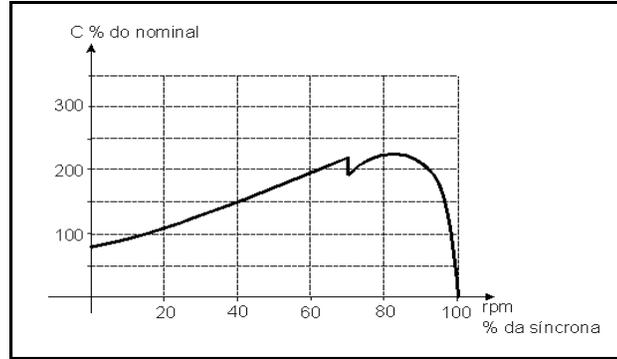
### Motor de fase dividida

O Motor de fase dividida (*Split Phase*) possui um enrolamento principal e um auxiliar (para partida), ambos defasados  $90^\circ$ .



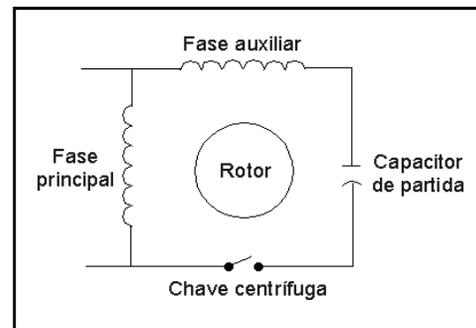


Esse enrolamento auxiliar cria um deslocamento de fase que produz o torque necessário para rotação inicial e a aceleração. Quando o motor atinge uma rotação predeterminada, o enrolamento auxiliar é desligado da rede por meio de uma chave que atua pela força centrífuga.

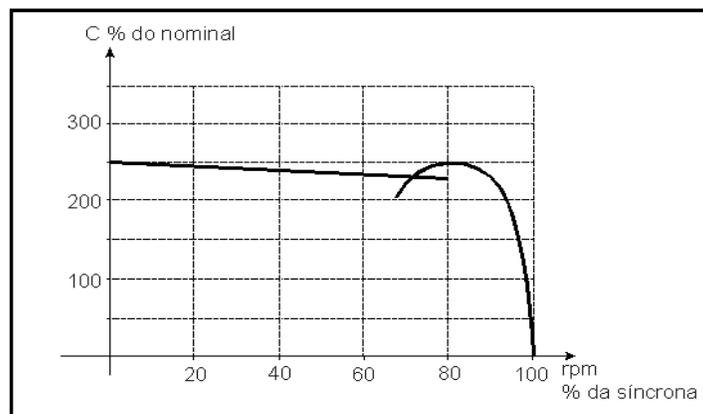


### Motor de capacitor de partida

O Motor de capacitor de partida (*Capacitor Start*) é um motor semelhante ao de fase dividida. A diferença reside na inclusão de um capacitor eletrolítico em série com o enrolamento auxiliar de partida.



Esse capacitor permite maior ângulo de defasagem entre as correntes dos enrolamentos principal e auxiliar, proporcionando elevados torques de partida.

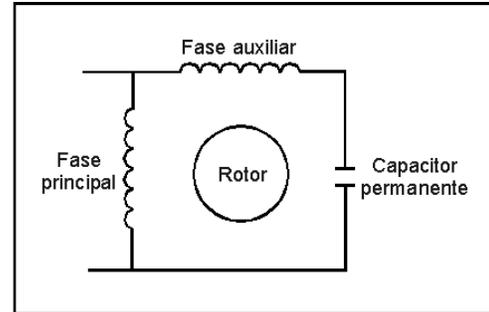


### Motor de capacitor permanente

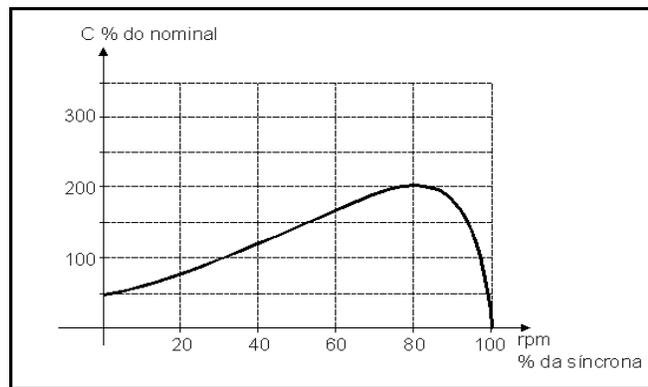
O Motor de capacitor permanente (*Permanent Split Capacitor*) é um motor onde o enrolamento auxiliar e o capacitor, ficam permanentemente ligados, sendo o capacitor do tipo



eletrostático. O efeito desse capacitor é criar condições de fluxo muito semelhantes as encontradas nos motores polifásicos, aumentando, com isso, o torque máximo, o rendimento e o fator de potência.

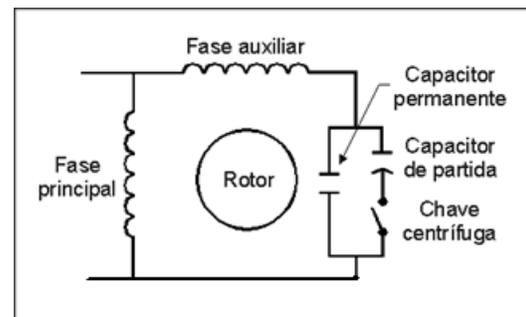


Esses motores são geralmente menores e isentos de manutenção na maioria das vezes, pois não utilizam contatos móveis, como nos motores anteriores. Porém possuem um torque de partida menor do que o motor de fase dividida.

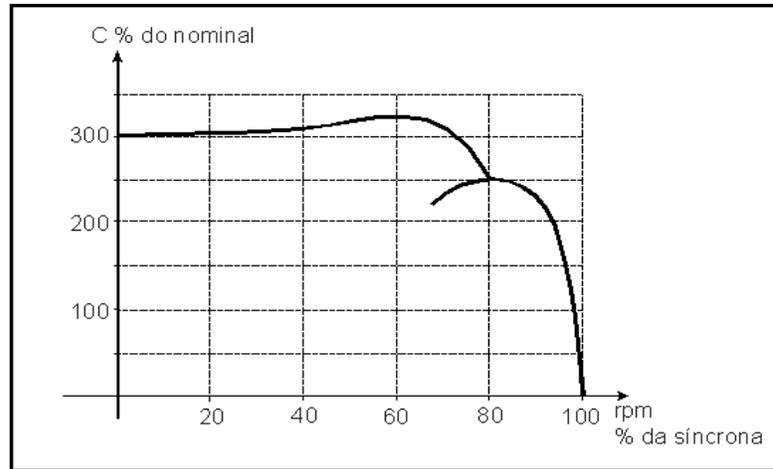


### Motor com dois capacitores

O Motor com dois capacitores (Two Value Capacitor) é um motor que utiliza as vantagens dos dois anteriores: partida como o do motor de capacitor de partida e funcionamento em regime idêntico ao do motor de capacitor permanente.



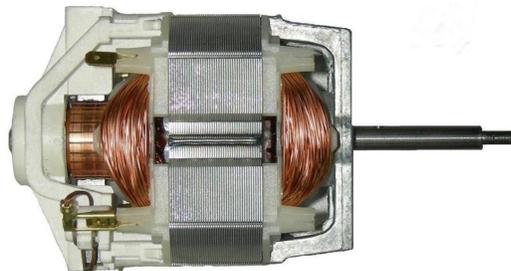
Nesse tipo de motor são utilizados dois capacitores durante o período de partida. Um deles é um capacitor eletrolítico de partida, de capacidade razoavelmente elevada.



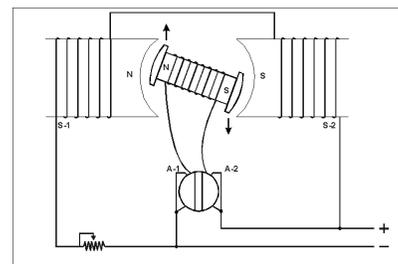
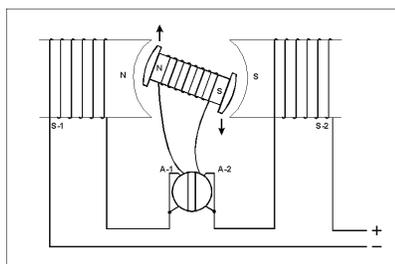
Ele pode reverter o seu sentido de rotação, pois quando em funcionamento, se a polaridade dos terminais de ligação da rede é invertida em relação a um dos enrolamentos, o seu sentido de giro também se inverte.

### Motor Universal

O Motor Universal é largamente utilizado na indústria de eletrodomésticos, (batedeiras, liquidificadores, furadeiras, secadores de cabelo, brinquedos, etc) além de diversas ferramentas portáteis.



Esse motor denominado de motor universal é devido do fato de poder operar tanto sob alimentação CA como em CC.



Esquema das duas ligações, Série e Paralelo do Motor Universal.

### Exercícios III - Motores monofásicos

- 1) Qual é o tipo de motor monofásico mais robusto e com menor manutenção?
- 2) Quantas são as fases dos motores monofásicos?
- 3) Como é o campo dos motores monofásicos?



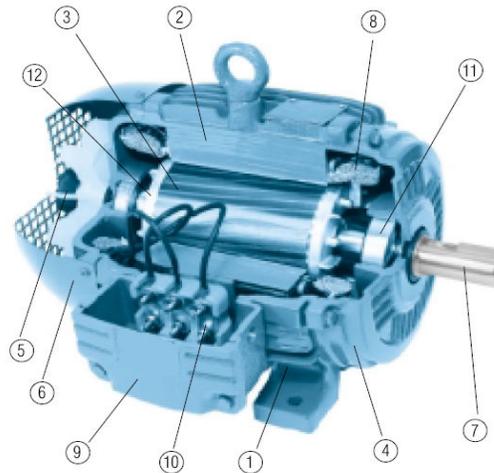
- 4) Como se dá a partida nos motores monofásicos?
- 5) Como funciona o motor de pólos sombreados?
- 6) Qual a característica do motor de fase dividida?
- 7) Qual a característica do motor com dois capacitores?
- 8) Qual a característica do motor de capacitor permanente?
- 9) Qual a característica principal do motor universal?



## MOTORES TRIFÁSICOS

### Composição básica

Os motores trifásicos são os mais comuns e utilizados na indústria atualmente. Tem a vantagem de serem mais econômicos em relação aos motores monofásicos tanto na construção como na utilização. Além disso, escolhendo o método de partida ideal, tem um leque muito maior de aplicações.



- 1 – Carcaça;
- 2 – Núcleo de chapas;
- 3 – Núcleo de chapas;
- 4 – Tampa;
- 5 – Ventilador;
- 6 – Tampa defletora;
- 7 – Eixo;
- 8 – Enrolamento trifásico;
- 9 – Caixa de ligação;
- 10 – Terminais;
- 11 – Rolamentos;
- 12 – Barras e anéis de curto-circuito.

### Estator

O **Estator** é a parte fixa da máquina. É constituído por uma carcaça que suporta um núcleo em geral de chapa magnética. Este núcleo é munido de cavas onde é montado um conjunto de enrolamentos dispostos simetricamente. O número de enrolamentos é igual ao número de fases da máquina.





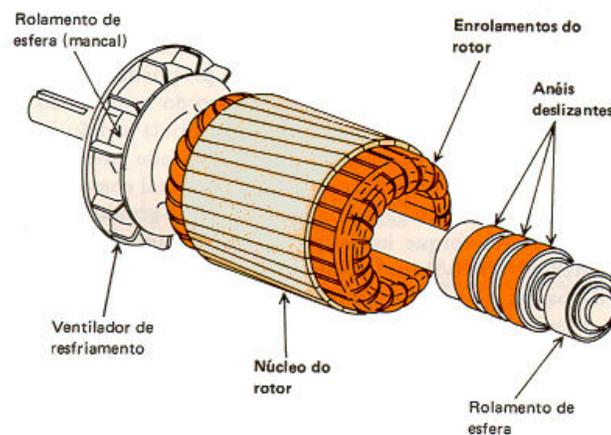
## Rotor

O Rotor é a parte móvel da máquina. É colocado no interior do estator, tendo para o efeito, a forma de um cilindro. Tal como o estator, o rotor é constituído por um empilhamento de chapas magnéticas que constituem o núcleo magnético e por enrolamentos colocados em cavas. Este núcleo magnético encontra-se apoiado sob o veio, normalmente em aço.

O rotor pode ser de dois tipos: Rotor em gaiola de esquilo que pode ser de gaiola simples, de gaiola dupla ou de gaiola de barras profundas e Rotor bobinado.

### Rotor bobinado

O enrolamento do Rotor bobinado é, em geral, ligado em estrela e os terminais de cada uma das fases são soldados a três anéis de cobre montados sobre o eixo, isolados entre si e do eixo, que lhe dão o seu outro nome: *rotor em anéis*.



Sobre os anéis deslizam escovas de carvão que irão ligar os terminais do enrolamento a um reostato trifásico que terá um papel importante na partida do motor.

### Rotor em gaiola de esquilo

O Rotor em gaiola de esquilo é constituído por núcleo de chapas ferro magnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores), dispostas paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que provocam um curto circuito nos condutores como ilustra a figura a seguir:



O rotor em gaiola não apresenta a forma convencional de um enrolamento, isto é, ele não é feito de fios enrolados formando bobinas, como o rotor bobinado. O seu “enrolamento” é feito de barras de cobre ou de alumínio que se acham curto-circuitadas nas suas

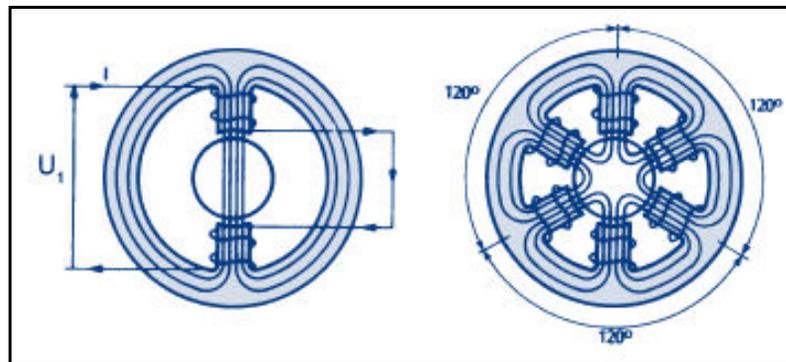


extremidades por dois anéis chamados anéis de curto-circuito que lhe dão o outro nome: *rotor em curto-circuito*.

A forma do conjunto lembra uma gaiola de esquilo. Como se percebe, trata-se de um enrolamento muito mais simples do que o de rotor bobinado e que tem uma propriedade que o rotor bobinado não tem: ele reproduz o número de pólos do enrolamento do estator. Se o estator é um enrolamento de dois pólos, o rotor formará, por indução, dois pólos; se o enrolamento do estator é de quatro pólos, serão formados quatro pólos no rotor. Isto não ocorre com o rotor bobinado cujo enrolamento deve ser igual ao do estator em número de pólos e de fases.

### Princípio de funcionamento do motor trifásico

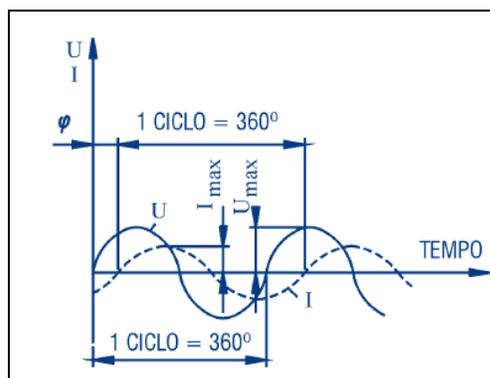
O princípio de funcionamento do motor trifásico está baseado no fato de quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, cria-se um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e com seu valor proporcional a corrente.



Enrolamento de motor monofásico e enrolamento de motor trifásico.

Acima temos um enrolamento monofásico atravessado por uma corrente  $I$ , e o campo  $H$  é criado por ela. O enrolamento é constituído por um par de pólos (norte e sul) cujos efeitos se somam para estabelecer o campo  $H$ . O fluxo magnético atravessa o rotor entre os dois pólos e se fecha através do núcleo do estator.

Se a corrente  $I$  é alternada, o campo  $H$  também é, e seu valor a cada instante é representado pelo mesmo gráfico da figura abaixo, inclusive invertendo-se o sentido a cada meio ciclo.

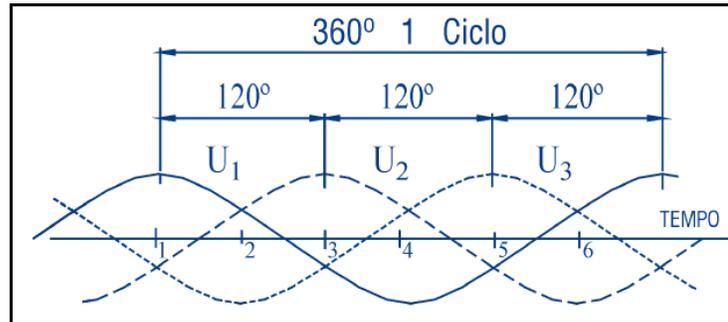


Corrente e Tensão alternadas de um circuito monofásico.



O campo H torna-se pulsante, pois sua intensidade varia proporcionalmente á corrente sempre na direção norte sul.

No caso do enrolamento trifásico feito com três enrolamentos monofásicos defasados entre si em 120°. Se esse enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> e I<sub>3</sub>, criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> e H<sub>3</sub> sendo esses campos também espaçados de 120°.

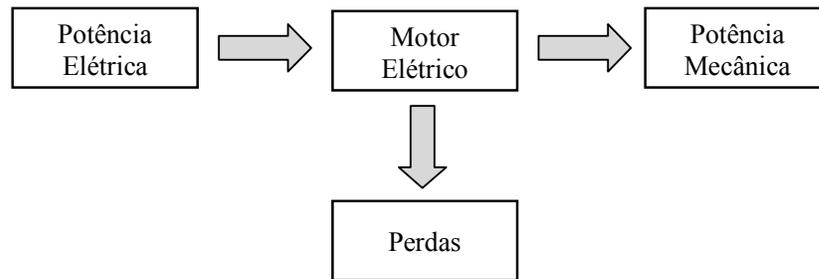


Corrente e Tensão alternadas de um circuito trifásico.

Além disso, como são proporcionais ás respectivas correntes tornam-se defasadas no tempo de 120° entre si e podem ser representados por um gráfico como acima. O campo total resultante a cada instante é igual a soma gráfica dos três campos H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> e H<sub>3</sub> num dado instante.

### Perdas e rendimento do motor

O motor elétrico transforma a potência elétrica fornecida em potência mecânica e uma reduzida percentagem em perdas, como ilustra a figura abaixo:



As perdas, que são inerentes ao processo de transformação, são quantificadas por meio do rendimento. Assim, seu rendimento ( $\eta$ ) é dado pela relação entre a potência mecânica fornecida e a potência elétrica absorvida, como mostra a equação seguinte:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{el}} = \frac{736 \times P(cv)}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi} (\%)$$

Se o motor gira a uma velocidade diferente da velocidade síncrona, ou seja, diferente da velocidade do campo girante, o enrolamento do rotor corta as linhas de força magnética do campo e, pelas leis do eletromagnetismo, circulam correntes induzidas.



Quanto maior a carga maior terá que ser o conjugado necessário para acioná-la. Para obter o conjugado, a diferença da velocidade terá que ser maior para que as correntes induzidas e os campos produzidos sejam maiores. Portanto, a medida que a carga aumenta, cai a rotação do motor.

Quando a carga do motor é zero (motor vazio), o rotor gira praticamente com a rotação síncrona.

A diferença entre a velocidade do motor e a velocidade síncrona  $n_s$  chama-se escorregamento  $s$ , que pode ser expresso em rpm, como fração da velocidade síncrona ou como porcentagem desta:

$$S(\text{rpm}) = n_s - n$$

$$S(\%) = 100 \times \frac{(n_s - n)}{n_s}$$

Um motor não consome apenas potência ativa, depois de convertida em trabalho mecânico, mas também potência reativa necessária à magnetização, que não produz trabalho. Fator de potência é então a relação entre a potência ativa consumida (em Watts) e a potência Aparente consumida (em VA).

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi$$

Como consequências imediatas de um baixo fator de potência tem-se:

- a) Excesso de corrente circulando pelas instalações elétricas;
- b) Consumo de energia maior do que o necessário;
- c) Multa pela concessionária local de energia elétrica;

A maneira mais imediata de se corrigir o excesso de carga indutiva (motores) é adicionarmos cargas eletricamente contrárias ao indutor, que é o capacitor. Um anula o efeito do outro. Assim, coloca-se em paralelo com a alimentação do motor um capacitor de correção de fator de potência, calculado pela equação seguinte:

$$C = 2,65 \times 10^6 \times \frac{KVA_r}{V^2} (\mu F)$$

$$KVA_r = K \times \frac{KW}{\eta}$$

Onde:

- $C$ : Capacitor em  $\mu F$ ;
- $V$ : Tensão eficaz da alimentação monofásica;
- $KW$ : Potência ativa em KW do motor;
- $KVA_r$ : Potência reativa total do motor antes do uso do capacitor;
- $\eta$ : rendimento do motor



Usando o valor da corrente nominal e o valor de  $I_p / I_n$  podemos determinar a **corrente de partida** por meio da seguinte equação:

$$I_p = \frac{I_p}{I_n} I_n = 6,7 \times 8,4 = 56,28 A$$

O numero de rotações de um motor de indução trifásico depende de três parâmetros:

- Frequência da rede;
- Número de pólo;
- Escorregamento.

A equação seguinte mostra a relação entre a frequência da rede, o número de pólos e o número de rotações.

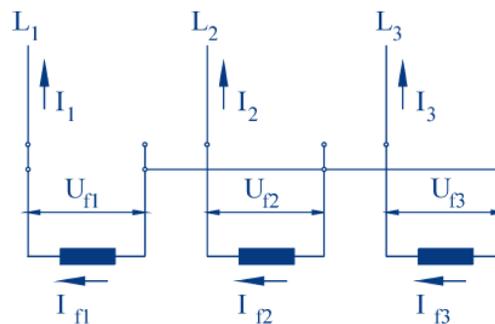
$$N = \frac{120 \times f}{p}$$

Sendo:

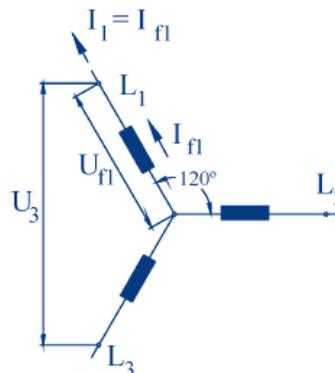
- $N$  = número de rotações em RPM;
- $F$  = frequência da rede em Hz;
- $p$  = número de pólos do motor.

### Ligação de motores trifásicos

Nos circuitos trifásicos existem dois tipos de configuração (ligação) tanto para geradores e transformadores como para cargas: ligações em estrela (Y) e em triângulo ou delta ( $\Delta$ ).

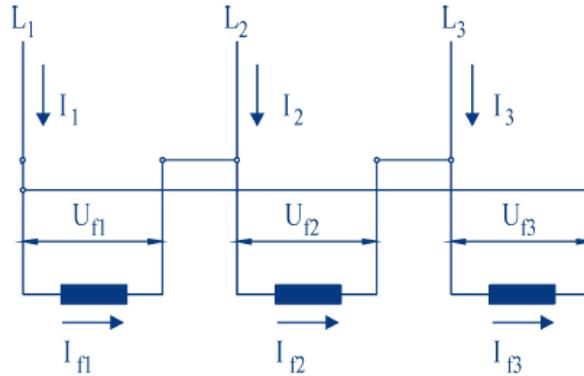


Assim temos a ligação em estrela:

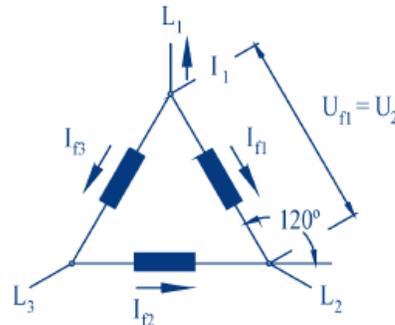




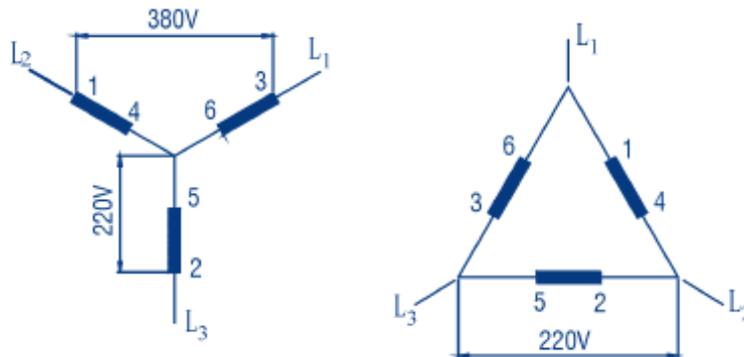
Ligando cada um dos fios do sistema monofásico a um ponto comum dos três temos um sistema trifásico em estrela conforme a figura vista acima.



Se ligarmos os três sistemas monofásicos entre si como indica a figura temos a ligação em triângulo abaixo.



Na ligação estrela/triângulo o enrolamento de cada fase tem duas pontas trazidas para fora do motor. Se ligarmos as três fases em triângulo, cada fase receberá a tensão da linha, por exemplo, 220V. Se ligarmos as três fases em estrela, o motor pode ser ligado a uma linha de tensão igual a  $220 \times 1,73 = 380V$  sem alterar a tensão no enrolamento que continua igual a 220 volts por fase, pois  $U_f = U \times 1,73$



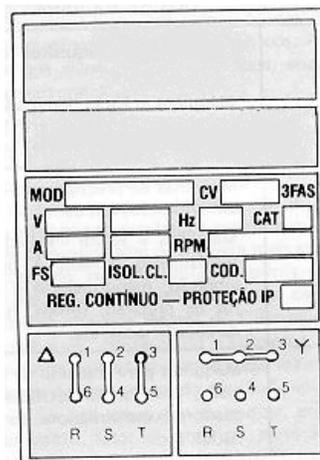
As características gerais dos motores mostrados através dos dados de placa servem para identificar o motor e dar suas características principais, e compõem-se, geralmente, de:

- a) Potência Nominal: é a potência que o motor pode fornecer dentro de suas características nominais (Watts, CV ou HP);



- b) Tensão nominal: é a tensão da rede para o qual o motor foi projetado, suportando uma variação de 10% (em Volts);
- c) Frequência nominal: é a frequência do sistema elétrico para o qual o motor foi projetado, permitindo uma variação de 5% (em Hz);
- d) Corrente nominal: é a corrente absorvida quando o motor funciona em potência nominal (em A);
- e) Fator de Serviço: é o fator aplicado à potência nominal que indica a máxima sobrecarga permissível continuamente. É comum um fator de serviço de 1,25 – isto é – admite uma sobrecarga de 25% acima da potência nominal ( em motores pequenos);
- f) Grau de Proteção: indica o grau de proteção que esse motor tem contra poeira, água, limalha de ferro, gases, com ventilação prejudicada e outros resíduos industriais;
- g) Letra-Código: muitos fabricantes fornecem uma letra-código indicando a relação entre corrente nominal com rotor bloqueado sob tensão nominal. Com isso fornece uma relação aproximada entre os KVA consumidos por CV de potência com o rotor bloqueado.
- h) Velocidade nominal: indica a velocidade em RPM em condições nominais;
- i) Identificação do fabricante: nome, marca e endereço do fabricante;
- j) Formas de ligação: indica por meio de esquemas e números a forma de se ligar o motor.

Abaixo um modelo de placa de identificação de um motor através da placa:



#### Exercícios IV - Motores trifásicos

- 1) O que é rotor gaiola de esquilo e de que é constituído?
- 2) O que é o rotor e para que serve?
- 3) Qual é a defasagem das fases do sistema trifásico?
- 4) O que é rendimento?
- 5) O que é fator de potência?
- 6) Como descobrimos a corrente de partida de um motor?
- 7) O que é escorregamento de um motor de indução?
- 8) Um motor de indução trifásico, rotor em gaiola, 220 V,  $I = 18,18$  A, 60 Hz, 6 pólos, ligado em estrela, aciona uma carga com um escorregamento igual a 2%. As perdas rotacionais a vazio são constantes e iguais a 403 watts. Dados  $\varphi = -32,35^\circ$ . Pede-se:
  - a) A velocidade do motor em RPM;
  - b) O fator de potência do motor;
  - c) A potência de entrada;



d) O rendimento.

- 9) Qual é o rendimento de um motor trifásico 5 CV se absorve uma potencia de 4230 Watts?
- 10) Qual é o escorregamento de um motor de quarto pólos 60 Hz se sua velocidade é de 1730 rpm?
- 11) Qual é a velocidade real de um motor de dois pólos 60 Hz se seu escorregamento é de 2,7%?
- 12) Determinar a velocidade de rotação de um motor trifásico de 60 Hz e 50 Hz com dois pólos? E se o motor tiver quatro pólos?



## MOTORES DE PASSO

Motores de passos são dispositivos mecânicos eletro-magnéticos que podem ser controlados digitalmente através de um hardware específico ou através de softwares.

Motores de passos são encontrados em aparelhos onde a precisão é um fator muito importante. São usados em larga escala em impressoras, plotters, scanners, drivers de disquetes, discos rígidos e muitos outros aparelhos.

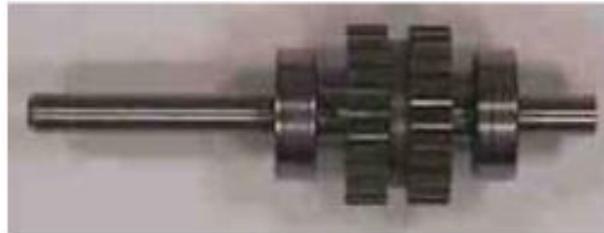
Existem vários modelos de motores de passos disponíveis no mercado que podem ser utilizados para diversos propósitos. Poderemos utilizá-los para mover robôs, câmeras de vídeo, brinquedos ou mesmo uma cortina.

### Características de desempenho do motor de passo:

1. Rotação em ambas as direções;
2. Variações incrementais de precisão angular;
3. Repetição de movimentos bastante exatos;
4. Um torque de sustentação à velocidade zero;
5. Possibilidade de controle digital.

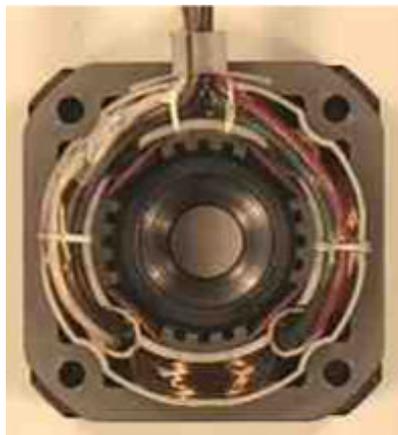
### Rotor de um motor de passo

É denominado rotor o conjunto eixo-imã que rodam solidariamente na parte móvel do motor.



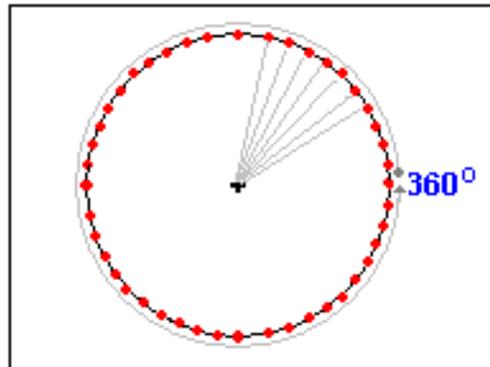
### Estator

Define-se como estator a trave fixa onde as bobinas são enroladas.



### Graus por passos

Sem dúvida a característica mais importante ao se escolher o motor, o número de graus por passo está intimamente vinculado com o número de passos por volta. Os valores mais comuns para esta característica, também referidas como *resolution*, são 0.72, 1.8, 3.6, 7.5, 15 e até 90 graus.



### **Momento (torque)**

Efeito rotativo de uma força, medindo a partir do produto da mesma pela distância perpendicular até o ponto em que ela atua partindo de sua linha de ação.

O torque do motor de passo depende da frequência aplicada a alimentação. Quanto maior a frequência, menor o torque, porque o rotor tem menos tempo para mover-se de um ângulo para outro.

A faixa de partida deste motor é aquela na qual a posição da carga segue os pulsos sem perder passos, a faixa de giro é aquela na qual a velocidade da carga também segue a frequência dos pulsos, mas com uma diferença: não pode partir, parar ou inverter, independente do comando.

### **Taxa de andamento**

Regime de operação atingido após uma aceleração suave.

### **Momento de inércia**

Medida da resistência mecânica oferecida por um corpo à aceleração angular.

### **Auto-indutância**

Determina a magnitude da corrente média em regimes pesados de operação, de acordo com o tipo de enrolamento do estator: relaciona o fluxo magnético com as correntes que o produzem.

### **Resistências ôhmicas**

Determina a magnitude da corrente do estator como rotor parado.

### **Corrente máxima do estator**

Determinada pela bitola do fio empregado nos enrolamentos.

"Holding Torque"

É mínima potência para fazer o motor mudar de posição parada.

### **Torque residual**

É a resultante de todos os fluxos magnético presente nos pólos do estator.

### **Resposta de passo**

É tempo que o motor gasta para executar o comando.



## Ressonância

Como todo material, o motor de passos tem sua frequência natural. Quando o motor gira com uma frequência igual a sua, ele começa a oscilar e a perder passos.

## Tensão de trabalho

Normalmente impresso no próprio chassi do motor, a tensão em que trabalha o motor é fundamental na obtenção do torque do componente. Tensões acima do estipulado pelo fabricante em seu *datasheet* costumam aumentar o torque do motor, porém, tal procedimento resulta na diminuição da vida útil do mesmo.

Destaca-se que a tensão de trabalho do motor não necessariamente deve ser a tensão utilizada na lógica do circuito. Os valores normalmente encontrados variam de +5V à +48V.

## Tipos de motor de passo

### Relutância variável

Apresenta um rotor com muitas polaridades construídas a partir de ferro doce, apresenta também em Estator laminado. Por não possuir imã, quando energizado apresenta torque estático nulo. Tendo assim baixa inércia de rotor não pode ser utilizado como carga inercial grande.

### Imã permanente

Apresenta um rotor de material alnico ou ferrite e é magnetizado radialmente devido a isto o torque estático não é nulo.

### Híbridos

É uma mistura dos dois anteriores e apresenta rotor e estator multidentados. O rotor é de imã permanente e magnetizado axialmente. Apresenta grande precisão (3%), boa relação torque e tamanho e ângulos pequenos (0,9 e 1,8 graus). Para que o rotor avance um passo é necessário que a polaridade magnética de um dente do estator se alinha com a polaridade magnética oposta de um dente do rotor.

## Estados de um motor de passo

- **Desligado:**  
Não há alimentação suprindo o motor. Nesse caso não existe consumo de energia, e todas as bobinas estão desligadas. Na maioria dos circuitos este estado ocorre quando a fonte de alimentação é desligada.
- **Parado:**  
Pelo menos uma das bobinas fica energizada e o motor permanece estático num determinado sentido. Nesse caso há consumo de energia, mas em compensação o motor mantém-se alinhado numa posição fixa.
- **Rodando:**  
As bobinas são energizadas em intervalos de tempos determinados, impulsionando o motor a girar numa direção.

## Modos de operação

- **Passo completo 1 (Full-step)**
  - Somente uma bobina é energizada a cada passo;
  - Menor torque;
  - Pouco consumo de energia;
  - Maior velocidade.



- **Passo completo 2 (Full-step)**

- Duas bobinas são energizadas a cada passo;
- Maior torque;
- Consome mais energia que o Passo completo 1;
- Maior velocidade.

- **Meio passo (Half-step)**

- A combinação do passo completo 1 e do passo completo 2 gera um efeito de meio passo;
- Consome mais energia que os passos anteriores;
- É muito mais preciso que os passos anteriores;
- O torque é próximo ao do Passo completo 2;
- A velocidade é menor que as dos passos anteriores.

A forma com que o motor irá operar dependerá bastante do que se deseja controlar. Tem casos em que o torque é mais importante, outros a precisão ou mesmo a velocidade. Essas são características gerais dos motores de passos, a maioria deles permite trabalhar dessa forma. Ao trabalhar com motores de passos, precisamos saber algumas características de funcionamento como a tensão de alimentação, a máxima corrente elétrica suportada nas bobinas, o grau (precisão), o torque e muitos outros. As características importantes que deveremos saber para poder controlar um motor de passo seria a tensão de alimentação e a corrente elétrica que suas bobinas suportam.

### Micropassos

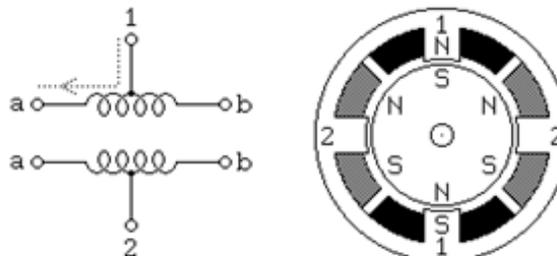
Tem sua tecnologia não muito divulgada, e baseia-se no controle da corrente que flui por cada bobina multiplicado pelo número de passos por revolução.

### Polaridade

Além do número de fases do motor, existe outra subdivisão entre estes componentes, a sua polaridade. Os motores de passo podem ser bipolares, que requerem duas fontes de alimentação ou uma fonte de alimentação de polaridade comutável, ou unipolares, que requerem apenas uma fonte de alimentação. Em ambos os casos as fontes utilizadas são de tensão contínua e requerem um circuito digital que produza a seqüência de para produzir a rotação do motor.

### Unipolar

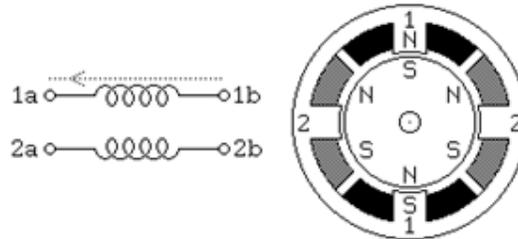
Motores de passo unipolares são caracterizados por possuírem um *center-tape* entre o enrolamento de suas bobinas. O número de fases é duas vezes o número de bobinas, uma vez que cada bobina se encontra dividida em duas. Normalmente, a derivação central dos enrolamentos está ligada ao terminal positivo da fonte de alimentação e os extremos de cada enrolamento são ligados alternadamente à terra para assim inverter a direção do campo gerado por cada um dos enrolamentos.





## Bipolar

Diferentes dos unipolares, os motores bipolares exigem circuitos mais complexos. A grande vantagem em se usar os bipolares é prover maior torque, além de ter uma maior proporção entre tamanho e torque. Fisicamente os motores têm enrolamentos separados, sendo necessária uma polarização reversa durante a operação para o passo acontecer. Em seguida vemos uma ilustração do motor bipolar. Os motores de passo bipolares são conhecidos pelo seu excelente rácio, tamanho e torque. Estes proporcionam um maior torque comparativamente a um motor unipolar do mesmo tamanho.



## Exercícios V - Motores de passos

- 1) Quais são as características de um motor de passo?
- 2) O que são graus de um motor de passo?
- 3) O que é auto indutância?
- 4) O que é ressonância?
- 5) O que é Tensão de Trabalho?
- 6) Quais são os tipos de motor de passo?
- 7) Nos modos de operação quais são os modos de operação *Full Step* e o que representam?
- 8) O que são micropassos?
- 9) Qual é a característica dos motores de passo unipolares?
- 10) Qual é a vantagem dos motores de passo bipolares e qual é a característica desses motores?



## POTÊNCIA ELÉTRICA

### A potência ativa

Potência ativa é a transformação da energia elétrica em qualquer forma de energia útil, como, por exemplo: luminosa, térmica, entre outras, sem a necessidade de uma transformação intermediária de energia. A potência ativa em corrente alternada é dada pelas seguintes equações:

$$\text{Circuito monofásico: } P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$\text{Circuito trifásico: } P = \sqrt{3} \times VI \times \cos \varphi$$

Unidade em Watts.

### A potência reativa

A potência reativa é a energia intermediária necessária para qualquer equipamento, como, por exemplo: motores, transformadores, reatores, capacitores, entre outros. Ela é indispensável para que esses equipamentos possam excitar o seu campo magnético ou elétrico, tornando possível a utilização da energia que efetivamente realize o trabalho, a energia ativa.

A potência reativa é trocada entre gerador e carga, não sendo consumida efetivamente. Os consumidores da corrente reativa são: transformadores, reatores, motores de indução, motores síncronos subexcitados.

A potência reativa em corrente alternada é dada pelas seguintes equações:

Circuito monofásico:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi$$

Circuito trifásico:

$$Q = \sqrt{3} \times VI \times \sin \varphi$$

Unidade em Volt Ampère reativo (*VAR*).

### A potência aparente

A potência aparente é a soma vetorial da potência ativa e a potência reativa em função dessa potência são dimensionados os equipamentos, como: transformadores, condutores, entre outros.

A potência aparente em corrente alternada é representada pelas seguintes equações:

$$\text{Circuito monofásico: } S = V \times I$$

$$\text{Circuito trifásico: } S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Unidade em Volt Ampère (VA).

Um motor não consome apenas potência ativa, depois de convertida em trabalho mecânico, mas também potência reativa necessária à magnetização, que não produz trabalho.

### Fator de potência

Fator de potência é a relação entre a potência ativa consumida (em Watts) e a potência Aparente consumida (em VA).



$$P/S = \text{fator de potência} = \cos \varphi$$

Como consequências imediatas de um baixo fator de potência temos:

- a) Excesso de corrente circulando pelas instalações elétricas;
- b) Consumo de energia maior do que o necessário;
- c) Multa pela concessionária local de energia elétrica.

### **Vantagens da correção do fator de potência**

#### **Vantagens econômicas**

Quando o fator de potência indutivo médio das instalações consideradas, for diferente do fator estipulado a concessionária cobra multa. Portanto, a primeira vantagem é a redução do valor das contas de energia elétrica.

A liberação de capacidade elétrica no sistema de distribuição ocorre em alguns casos, após melhorarmos o fator de potência, podemos adicionar novas cargas (motores, lâmpadas, etc.), sem sobrecarregarmos transformadores e instalações.

Tomando como exemplo um transformador de 150 *KVA* de potência aparente podemos, com um fator de potência 0,61, acionar uma carga de 91,5 *KW*. Corrigindo o fator de potência para 0,92 podemos alimentar uma carga de 138 *KW*. Isto representa um aumento de aproximadamente 33% na capacidade instalada. Isto quer dizer que o espaço ocupado pela energia reativa pode ser utilizado para atender novas cargas.

#### **Elevação do nível de tensão**

Quando temos baixa tensão ocasionada por baixo fator de potência, temos como consequência redução de potência nos motores, dificultando e em alguns casos inviabilizando o acionamento de cargas. Temos ainda menor eficiência no sistema de iluminação, aquecimento nos motores e condutores, etc. Podemos ao corrigir o fator de potência, elevar a tensão de 4 a 5% o que ocasiona melhora de eficiência do sistema elétrico.

#### **Redução nas perdas de energia**

Sabemos que as correntes elétricas ao circular pelos condutores, provocam perdas pelo efeito joule (calor). Essas correntes crescem com o excesso de energia reativa, existindo uma relação direta entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência.

#### **Causas da ocorrência de baixo fator de potência**

- Motores operando em vazio;
- Motores e transformadores super dimensionados, isto é, instalação de um motor de 20 *CV*, por exemplo, quando na verdade precisamos acionar uma carga com necessidade de um motor de apenas 10 *CV*. Ou ainda, uso de um transformador de alta potência para acionamento de pequenas cargas;
- Grande quantidade de motores de pequena potência;
- Lâmpadas de descarga fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio sem reatores de alto fator de potência;
- Excesso de energia reativa capacitiva, isto é, ao corrigir o fator de potência instalar excesso de capacitores na rede elétrica.

#### **Como corrigir o fator de potência**

A correção do fator de potência é feita usualmente por capacitores estáticos. Em casos especiais, pode ser feita por máquinas síncronas sobre excitadas, também chamadas de



capacitores síncronos. Entretanto, a correção por máquinas síncronas só é vantajosa em instalações da ordem de 250 CV de funcionamento contínuo.

Demanda é a utilização da potência ativa durante qualquer intervalo de tempo medida por aparelho integrador, é a média das potências solicitadas pelo consumidor, durante um intervalo de tempo, geralmente 15 minutos, e é registrada por medidor de demanda, e aparece na conta de energia elétrica em *KW*.

A primeira providência para corrigirmos o fator de potência é a análise das causas que levam a utilização excessiva de energia reativa. A eliminação dessas causas passa pela racionalização do uso de equipamentos. Desligar motores a vazio, redimensionar equipamentos super dimensionados, redistribuir cargas pelos diversos circuitos.

A partir desta providência, uma fórmula de reduzir a circulação de energia reativa pelo sistema elétrico é através da utilização de um capacitor. A instalação desses capacitores junto das cargas indutivas faz com que a energia reativa fique limitada. Na prática, a energia reativa passa a ser fornecida pelos capacitores liberando parte da capacidade do sistema elétrico e das instalações das unidades consumidoras, isto é chamado de compensação de energia reativa.

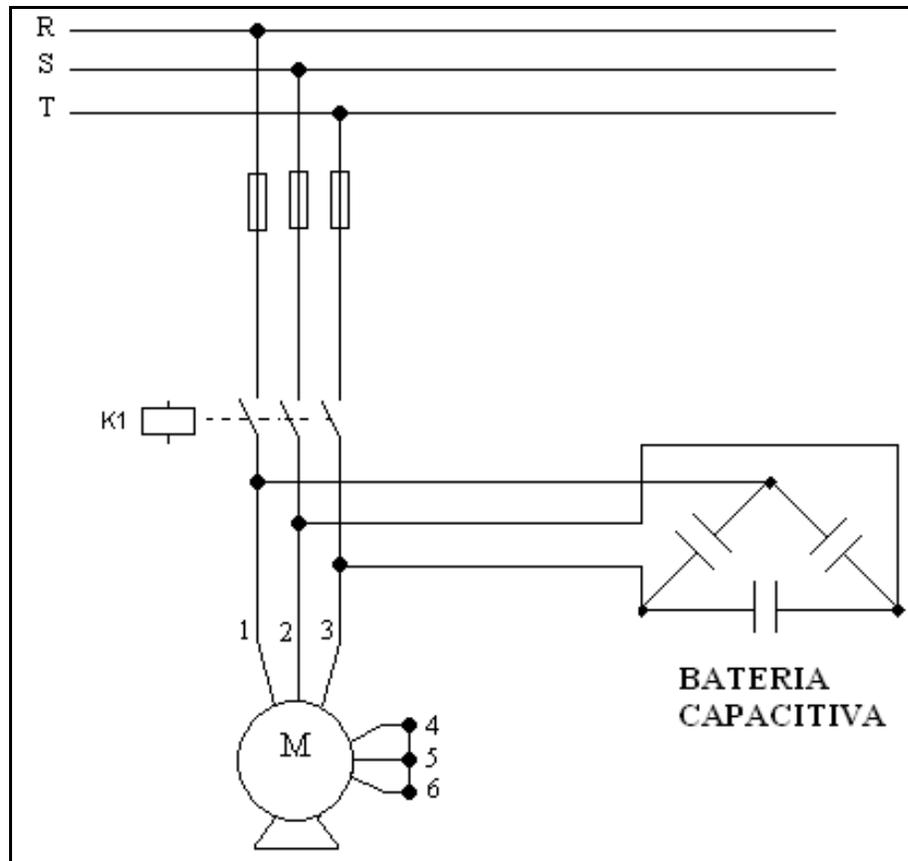
Quando existe um consumo de energia reativa, caracteriza uma situação de compensação insuficiente, logo é chamada de fator de potência indutivo, quando existe um fornecimento de energia reativa, a rede caracteriza uma situação de compensação excessiva ou fator de potência capacitiva.

#### **Tipos de correção ou compensação**

- **Correção individual:** É feita instalando-se baterias capacitivas junto ao equipamento. E deve ser manobrada pela mesma chave do equipamento. Não deve suplantará a potência consumida pelo motor a vazio. Na realidade, os fatores que influem na escolha dos capacitores para utilização concomitante com motores são dois:
- **Sobretensão devido à excitação:** Ocorre quando o motor é ligado. O capacitor fornece uma tensão que pode ser parte da corrente de magnetização do motor de indução. Com essa tensão gerada nos terminais, o motor ficaria com funcionamento de gerador. A tensão gerada, evidentemente, depende da velocidade do motor, tipo e valor da corrente do capacitor.
- **Conjugado transiente:** Capacitores grandes junto a motores podem ocasionar conjugados transientes de até 20 vezes o nominal. Um dos exemplos dados é o da partida por chave de partida quando da transição da ligação estrela para triângulo. Nesse caso, o motor gira desligado com tensão em seus terminais devido a auto excitação. O conjugado transiente ocorre exatamente nessa mudança de baixa tensão para a tensão nominal.

No caso geral, como a potência aparente do motor em vazio não deve ser suplantada pela potência reativa dos capacitores, fica razoável medir a corrente em vazio do motor e garantir que a corrente do capacitor não a suplantará. Esta correção apresenta vantagens como: reduz perdas energéticas em toda a instalação; diminui a carga no circuito de alimentação nos equipamentos condensados; melhora o nível de tensão na instalação; utiliza um sistema único de acionamento de carga com o capacitor; produz as cargas reativas somente no ponto necessário.

Como desvantagens: Grande quantidade de capacitores de pequenas potências tem maior custo e pouca utilização destes pequenos capacitores.



### Correção por grupo de cargas

Um banco de capacitores é instalado de forma a compensar um setor de um conjunto de máquinas. É colocado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos. A potência necessária dos capacitores será menor de que no caso da correção individual, o torna mais econômico.

Tem como desvantagens o fato de não diminuir a corrente dos alimentadores de carga o equipamento compensado.

### Correção do Fator de Potência geral

O banco de capacitores é instalado na saída do transformador ou do quadro de distribuição geral, se a instalação for alimentada em *B.T.* Utiliza-se em instalações elétricas com um número elevado de cargas com diferentes potências e regime de trabalho não uniforme. Este sistema apresenta as seguintes vantagens:

- Os capacitores instalados são mais utilizados; faz-se supervisão; possibilidade de controle automático (CLP); melhoria geral do nível de tensão; instalações adicionais suplementares relativamente simples. Como desvantagem, traz o fato de não haver alívio sensível dos alimentadores de carga do equipamento.
- **Correção de entrada de energia em A.T.** Este tipo de compensação não é muito frequente, pois não alivia nem mesmos os transformadores e exige dispositivos de proteção e comando dos capacitores com isolamento para o primário. Esta correção reduz o preço dos *KVAR* dos capacitores. Este tipo de correção só é encontrado nas unidades consumidoras que recebem grandes quantidades de energia elétrica e possuem subestações transformadoras. Este sistema possibilita uma diversidade de demanda entre as subestações e resulta em uma economia de quantidade de capacitores a serem instalados.



- **Correção com regulação automática:** Nas formas de compensação geral e por grupos de equipamentos, é comum usarmos uma solução em que diversos capacitores são montados ou ligados em grupos formando assim um banco capacitivo controlado individualmente através de um relé varimétrico, sensível as variações de energia reativa. Este relé varimétrico comanda automaticamente a operação LIGA e DESL. Dos capacitores necessários para obtenção do *F.P.* desejado;
- **Correção combinada:** Em muitos casos utilizam-se conjuntamente, as diversas formas de compensação com a compensação por motores síncronos;
- Os motores síncronos podem ser utilizados para compensarem o *F.P.* de uma instalação porque geram uma energia reativa, da mesma forma como um gerador convencional. A potência reativa capacitiva fornecida por um motor síncrono a instalação elétrica é em função da corrente de excitação e da carga em seu eixo. Devido ao seu alto custo nem sempre compensa o uso desses motores, sendo porém competitivo quando for usado para potências acima de 200 CV e ainda por períodos prolongados.

### Precauções na instalação e operações de capacitores

Sempre que instalarmos as baterias capacitivas, devemos consultar a norma P-NB 209 da ABNT e considerar os seguintes aspectos:

- A instalação dos capacitores deve ser em locais que tenham boa ventilação e com bom espaçamento entre as unidades;
- Após desligadas as baterias, esperar algum tempo para realizar a revisão, ou então fazer um aterramento e conectar todas as ligações do banco capacitivo, isto evita que o capacitor retenha sua carga por algum tempo mesmo que tenha sido desligado;
- Observar o aterramento dos capacitores antes de tocar nos terminais;
- Para capacitores ligados em AT.(15,8 KV) é conveniente que o desligamento e o religamento sejam através de um disjuntor principal da instalação antes de se abrir ou fechar a chave dos capacitores, quando não existir um dispositivo adequado para manobra com carga;
- Não energizar ao mesmo tempo dois ou mais bancos capacitivos para evitarmos possíveis sobretensões.

### Harmônicas

Alguns equipamentos de uso comum nas instalações elétricas como no caso, retificadores, inversores, fornos a arco, lâmpadas fluorescentes, trafo, etc, produzem alterações na forma da corrente elétrica denominada de harmônicas. Estas provocam superaquecimento e o aumento de perdas em máquinas rotativas, diminuindo a vida útil dos equipamentos, modificam as características de operação dos relés de proteção e ainda geram interferências nos equipamentos de comunicação. Os capacitores não são por natureza geradores dessas distorções, mas a interação dos capacitores ou a instalação elétrica pode agravar sensivelmente as condições de operação. Para que isto seja contornado deve-se fazer uma análise técnica para um melhor dimensionamento e localização dos capacitores.

O fator de potência sempre deve ser mantido o mais próximo de “um” possível. No entanto as concessionárias determinaram um valor mínimo que é 0,92. Quando o fator de potência estiver abaixo deste valor, tanto capacitivo como indutivo, é passível de cobrança de taxa especial e multa.

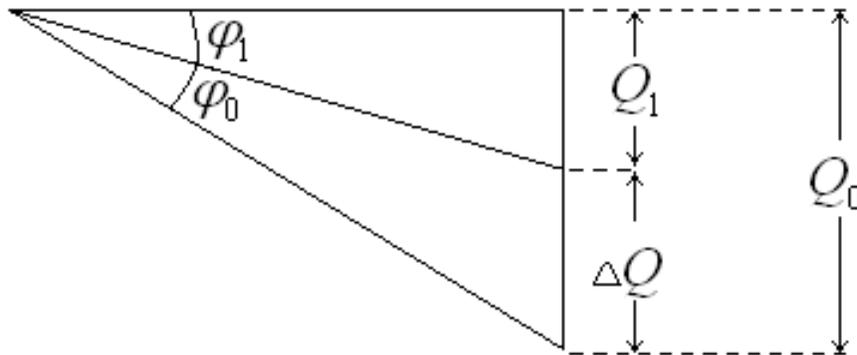
### Cálculo para correção do fator de Potência

Podemos calcular a potência reativa através da expressão:



$$KWAR = W_0 (tg \varphi_0 - tg \varphi_1)$$

Onde:  $W$  = potência ativa (demanda);  
 $tg \varphi_0$  = tangente do ângulo antes da correção;  
 $tg \varphi_1$  = tangente do ângulo a ser corrigido;  
 $W_0$  = Potência ativa.



Onde:  $\varphi_1$  = ângulo depois da correção;  
 $\varphi_0$  = ângulo antes da correção;  
 $Q_0$  = potência reativa antes da correção;  
 $Q_1$  = potência reativa depois da correção;  
 $Q$  = variação da potência reativa.

### Exemplo 1:

A média dos últimos doze meses, da demanda registrada de uma indústria foi de 231,5 KW. O fator de potência médio foi 0,72. Qual a correção para que o fator de potência passe para 0,92?

$$KWAR = W_0 (tg \varphi_0 - tg \varphi_1) = 231,5(0,96385 - 0,42599) = 124,51 KWAR$$

Optou-se por capacitor trifásico de 125KVAR, valor comercial.

Existe ainda uma maneira mais fácil para calcular o capacitor para corrigir o fator de potência:

- 1º) Calcula-se o fator de potência médio nas contas de energia, dividindo pelas horas trabalhadas no mês (KWAR).
- 2º) Consulte a tabela e veja o multiplicador encontrado, situando o fator de potência original, a esquerda e o fator de potência desejado.
- 3º) Multiplique o fator da tabela pelo kWh.
- 4º) O resultado é dado em Kvar.

*Observação: Considera-se o maior consumo e o menor fator de potência.*

### Exemplo 2:

Carga instalação é 200 kWh;  
F.P. = 0,69;



Corrigir para 0,8;  
Consultando a tabela o multiplicador é 0,298.

$$KWAR = 200 \times 0,298 = 59,6KWAR$$

### Fator de potência de um grupo de motores

O *F.P.* de um grupo de motores de uma empresa pode ser achado com boa precisão, multiplicando a soma dos produtos de *CV* pelo fator de potência, o resultado dividido pelos totais de *CV*.

$$FP = \frac{\text{Somados produtos de CV} \times FP \text{ dos motores}}{\text{TotalCV}}$$

### Exemplo 3:

Considerando-se quatro motores, o primeiro de 10 *CV*, o segundo motor de 15 *CV* e dois motores de 30 *CV*.

$$FP = \frac{81,95}{95} = 0,862$$

### Consumo

É a quantidade de energia elétrica ativa, utilizada em qualquer período de tempo expressa em *kWh*.

Atualmente o preço médio do *kWh* é cobrado de acordo com a seguinte expressão:

$$Pm = \frac{KW \times TD + kWh \times TC \times 0,92}{kWh \times \cos \varphi}$$

Onde:

- Pm* = preço médio dos *kWh* consumidos;
- TD* = tarifa de demanda;
- TC* = tarifa de consumo;
- KW* = demanda faturada no mês;
- kWh* = consumo do mês;
- cos φ* = Fator de potência medido na instalação.

Na página a seguir a tabela de Fator de potência fornecida pela empresa WEG:



FATOR DE POTÊNCIA ORIGINAL	FATOR DE POTÊNCIA DESEJADO																				
	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,50	0,982	1,008	1,034	1,060	1,086	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,442	1,481	1,529	1,590	1,732
0,51	0,937	0,962	0,989	1,015	1,041	1,067	1,094	1,120	1,147	1,175	1,203	1,231	1,261	1,292	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
0,52	0,893	0,919	0,945	0,971	0,997	1,023	1,060	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,53	0,850	0,876	0,902	0,928	0,954	0,980	1,007	1,033	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,457	1,600
0,54	0,809	0,835	0,861	0,887	0,913	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
0,55	0,769	0,795	0,821	0,847	0,873	0,899	0,926	0,952	0,979	1,007	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
0,56	0,730	0,756	0,782	0,808	0,834	0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
0,57	0,692	0,718	0,744	0,770	0,796	0,822	0,849	0,875	0,902	0,930	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
0,58	0,655	0,681	0,707	0,733	0,759	0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
0,59	0,618	0,644	0,670	0,696	0,722	0,748	0,775	0,801	0,828	0,856	0,884	0,912	0,943	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
0,60	0,584	0,610	0,636	0,662	0,688	0,714	0,741	0,767	0,794	0,822	0,850	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
0,61	0,549	0,575	0,601	0,627	0,653	0,679	0,706	0,732	0,759	0,787	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,515	0,541	0,567	0,593	0,619	0,645	0,672	0,698	0,725	0,753	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
0,63	0,483	0,509	0,535	0,561	0,587	0,613	0,640	0,666	0,693	0,721	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
0,64	0,450	0,476	0,502	0,528	0,554	0,580	0,607	0,633	0,660	0,688	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,066	1,200
0,65	0,419	0,445	0,471	0,497	0,523	0,549	0,576	0,602	0,629	0,657	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169
0,66	0,388	0,414	0,440	0,466	0,492	0,518	0,545	0,571	0,598	0,626	0,654	0,682	0,709	0,742	0,755	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
0,67	0,358	0,384	0,410	0,436	0,462	0,488	0,515	0,541	0,568	0,596	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,906	0,966	1,108
0,68	0,329	0,355	0,381	0,407	0,433	0,459	0,486	0,512	0,539	0,567	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
0,69	0,299	0,325	0,351	0,377	0,403	0,429	0,456	0,482	0,509	0,537	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
0,70	0,270	0,296	0,322	0,348	0,374	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,71	0,242	0,268	0,294	0,320	0,346	0,372	0,399	0,425	0,452	0,480	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,72	0,213	0,239	0,265	0,291	0,317	0,343	0,370	0,396	0,423	0,451	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,624	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,73	0,186	0,212	0,238	0,264	0,290	0,316	0,343	0,369	0,396	0,424	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,74	0,159	0,185	0,211	0,237	0,263	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,75	0,132	0,158	0,184	0,210	0,236	0,262	0,289	0,315	0,342	0,370	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,76	0,106	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,77	0,079	0,106	0,131	0,157	0,183	0,209	0,236	0,262	0,289	0,317	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,686	0,829
0,78	0,053	0,079	0,105	0,131	0,157	0,183	0,210	0,236	0,263	0,291	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,79	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,153	0,183	0,209	0,236	0,264	0,292	0,320	0,347	0,381	0,403	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,80	0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,264	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,81		0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,131	0,157	0,184	0,212	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,82			0,026	0,062	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,496	0,556	0,696	
0,83				0,026	0,062	0,079	0,105	0,132	0,160	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,536	0,672	
0,84					0,026	0,053	0,079	0,106	0,14	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645	
0,85						0,027	0,053	0,080	0,108	0,136	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,476	0,620	
0,86							0,000	0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,265	0,301	0,343	0,390	0,451	0,593
0,87								0,026	0,055	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,425	0,567	
0,88									0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,290	0,337	0,398	0,540	
0,89										0,028	0,056	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,262	0,309	0,370	0,512	
0,90											0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,342	0,484	
0,91													0,030	0,061	0,093	0,127	0,164	0,206	0,253	0,314	0,456
0,92														0,031	0,063	0,097	0,134	0,176	0,223	0,284	0,426
0,93															0,032	0,068	0,103	0,145	0,192	0,253	0,395
0,94																0,034	0,071	0,113	0,160	0,221	0,363
0,95																	0,037	0,079	0,126	0,187	0,328
0,96																		0,042	0,089	0,149	0,292
0,97																			0,047	0,108	0,251
0,98																				0,061	0,203
0,99																					0,142

### Exercícios VII - Potência elétrica

- 1) Qual é a diferença entre potência ativa monofásica e potência ativa trifásica?
- 2) Em qual unidade é dada a potência ativa?
- 3) Qual é a velocidade de um motor dois pólos, 60 Hz?
- 4) O que é potência ativa?
- 5) O que é potência reativa?
- 6) O que é potência aparente?
- 7) O que é fator de potência e quais são as suas conseqüências?
- 8) O que podemos fazer para corrigir o fator de potência?
- 9) Como sabemos as características gerais de um motor?
- 10) Qual é a potência ativa, reativa e aparente de um motor trifásico, com fator de potência de 82%? Utilize, 220V e 14A.
- 11) Quais são as principais causas da ocorrência de baixo fator de potência



- 
- 12) Como é possível corrigir o fator de potência?
  - 13) quais são os tipos de correção ou compensação?



## PARTIDA DE MOTORES TRIFÁSICOS

Durante a partida, os motores elétricos absorvem uma corrente bem acima da nominal, principalmente os motores do tipo rotor gaiola de esquilo. Esta corrente costuma girar na faixa de 6 à 8 vezes a corrente nominal do motor. Após a partida a corrente tende a retornar ao seu valor normal, mas o problema é que o pico de corrente pode causar uma queda de tensão relativamente excessiva capaz de prejudicar o funcionamento das outras cargas da instalação elétrica durante o momento da partida. Por isso estas corrente normalmente precisam ser limitadas a fim de evitar tal transtorno, assim precisamos usar um método que reduz a corrente de partida até que o motor saia da inércia (com rotor parado o motor é como um curto-circuito para a fonte). Após atingir 90% da rotação nominal, o sistema de partida é desativado e o motor trabalha em regime nominal (corrente, tensão e velocidade nominal).

Podemos usar quatro métodos de partida de motores: direta, com chave estrela-triângulo, com chave compensadora e resistores de partida.

Motores pequenos, até 5 CV(3675 Watts), ligados diretamente na fonte de alimentação trifásica ou monofásica.

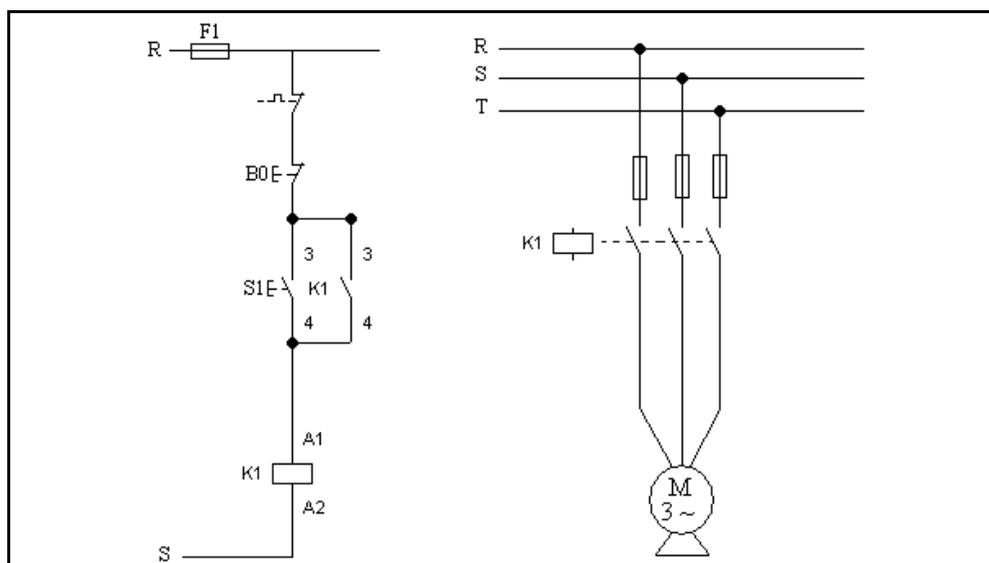
Devemos proteger os motores elétricos contra danos causados por excesso de corrente. Essa proteção só é viável economicamente para motores acima de 1CV, devido ao alto custo proporcional (em relação ao custo dos motores) destes elementos de proteção.

### Partida direta

A partida direta é a forma mais simples de partir motores elétricos, na qual as três fases estão ligadas diretamente ao motor, ocorrendo um pico de corrente. A partida direta deve ocorrer nos seguintes casos:

- Baixa potência do motor de modo a limitar as perturbações originadas pelo pico da corrente.
- A máquina movimentada não necessita de uma aceleração progressiva e esta equipada com um dispositivo mecânico (reductor) que evita uma partida muito rápida.
- O conjugado de partida é elevado.
- Outros.

Exemplo de partida direta de motores trifásicos através de contator.

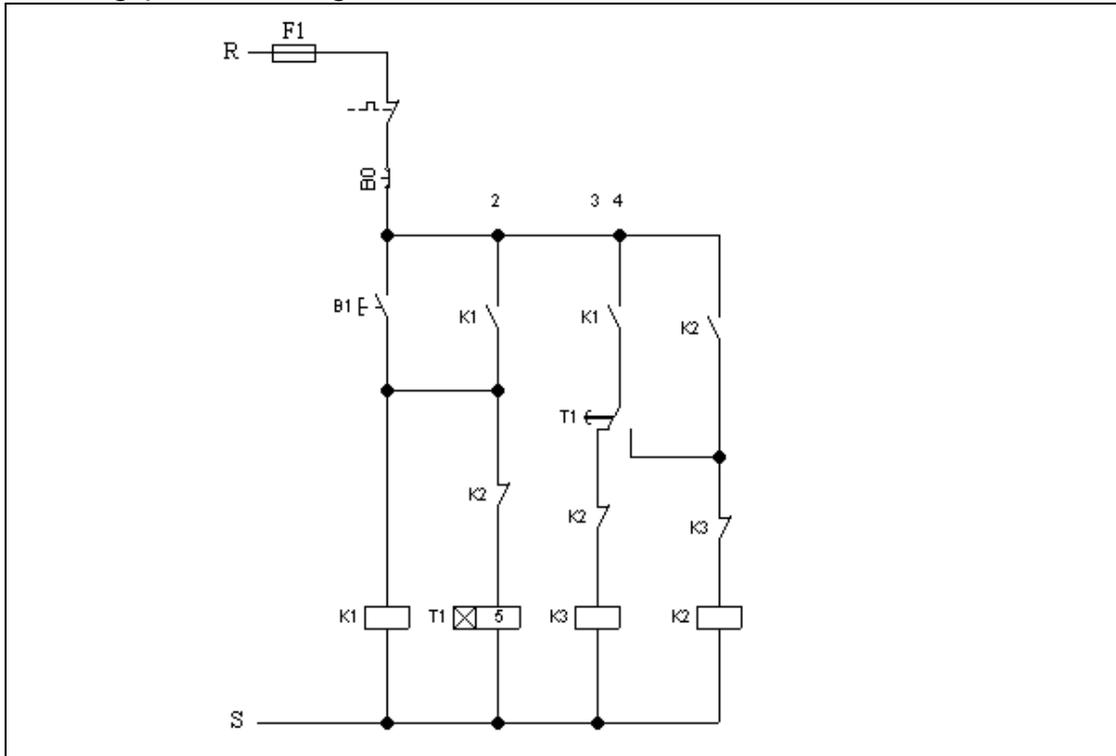




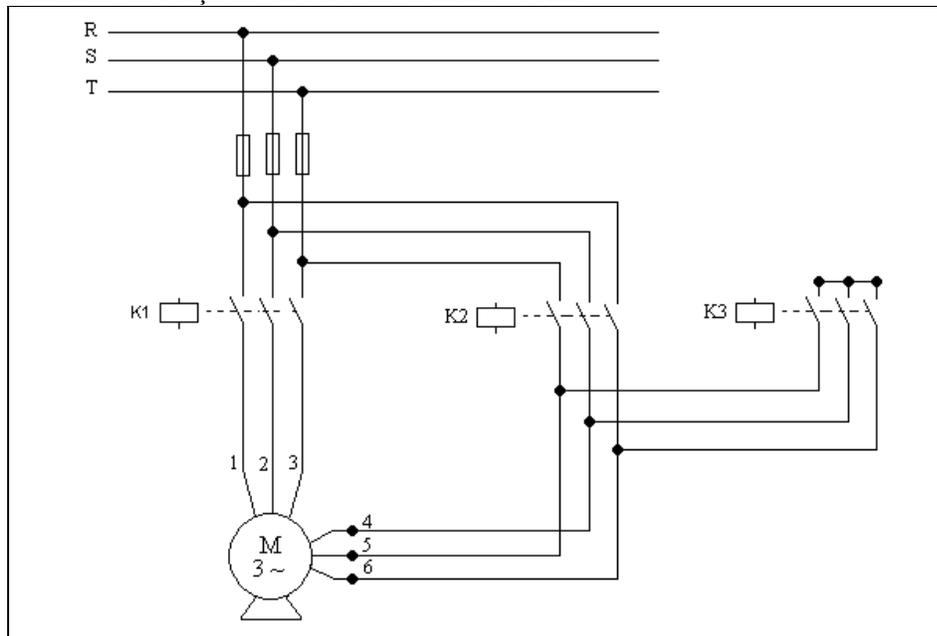
### Partida estrela-triângulo

A partida estrela-triângulo consiste na alimentação do motor com uma relação de tensão nas bobinas durante a sua partida. O motor parte em estrela, isto é, com uma tensão de 58%, da tensão nominal, e após certo tempo a ligação é convertida para triângulo, assumindo a tensão nominal.

Ligação estrela triângulo:



Comando de força do circuito de comando acima:





### Partida compensadora

Essa chave de partida alimenta as bobinas do motor com tensão reduzida na partida. A redução da tensão é feita por meio da ligação de um autotransformador em série com as bobinas. Depois de realizada a partida, as bobinas do motor recebem tensão nominal. Na maior parte dos casos a chave de partida compensadora é composta dos seguintes equipamentos:

- Um transformador ligado em Y;
- Três contatores;
- Um relé de sobrecarga;
- Três fusíveis retardados;
- Relé de tempo.

Como já foi visto a velocidade de rotação de uma máquina de indução é dada por:

$$N = \frac{120 \times f}{p}$$

Onde:

$N$  - velocidade de rotação em rotações por minuto;  
 $f$  - frequência de alimentação em Hertz;  
 $p$  - número de pares de pólos.

Da expressão pode concluir-se que para variar a velocidade de rotação pode-se atuar em três grandezas:

1. Na frequência de alimentação;
2. No número de pares de pólos;
3. No escorregamento.

Estas três possibilidades são utilizadas para variar a velocidade de rotação da máquina de indução.

### Exercícios VI - Partida de motores

- 1) O que acontece na partida de motores?
- 2) Quais são os principais Métodos de partida de motores?
- 3) Em quais casos podemos usar a partida direta?
- 4) Em quais situações podemos utilizar a partida estrela-triângulo?
- 5) O que é partida compensadora?
- 6) Para variar a velocidade de rotação o que podemos fazer?



## COMANDOS ELÉTRICOS

### Dispositivos elétricos

Componentes de um sistema automatizado que recebem os comandos do circuito elétrico e acionam máquinas elétricas são os dispositivos elétricos. Um dispositivo básico de comando é a botoeira. Botoeiras são chaves auxiliares comandadas manualmente e têm a finalidade de interromper ou estabelecer momentaneamente, um circuito de comando para iniciar, interromper comandar um processo automatizado.

### Botões

Botões não são usados geralmente para alimentação de máquinas e motores, eles são usados para alimentar contatores, relés, bobinas, sinalizadores, lâmpadas, etc, devido a sua frágil estrutura, pois não suportariam grande passagem de corrente através de seus contatos. Sempre aparece junto a estes dispositivos para *Start*, início de comando e *Stop*, interrupção.



PULSADOR



SELETORES  
COM CHAVE



EMERGÊNCIA



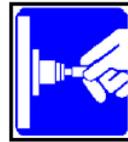
SINALEIROS



SELETORES  
LUMINOSOS



PULSADORES  
LUMINOSOS

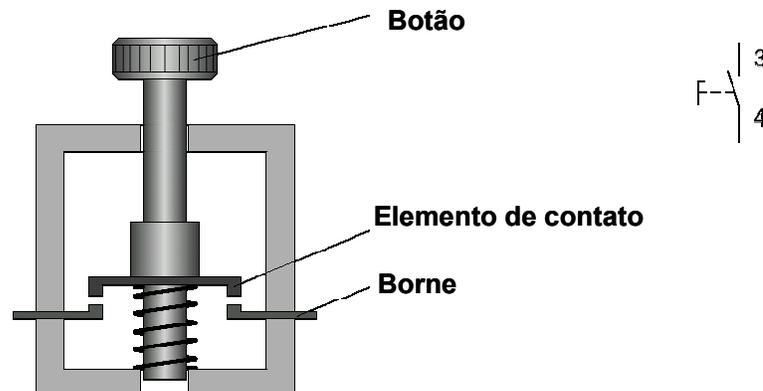


MANIPULADORES  
(Joystick)

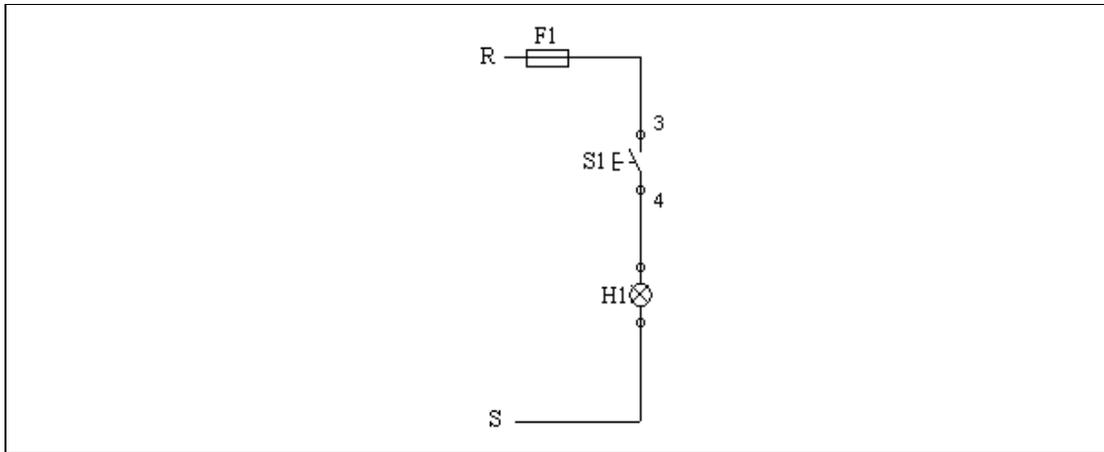


SELETORES KNOB  
CURTO OU LONGO

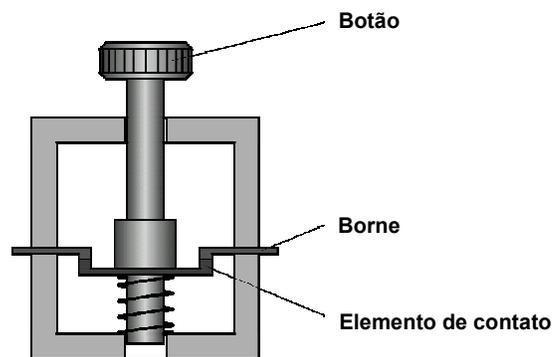
O contato normalmente aberto (*NA*) *normally open*, tem sua posição original aberta, ou seja, permanece aberta até que seja aplicada uma força externa. A sua marcação é feita por meio de dois dígitos. O primeiro representa o número sequencial e o segundo representa o código de função, no caso do Botão NA é 3 e 4.



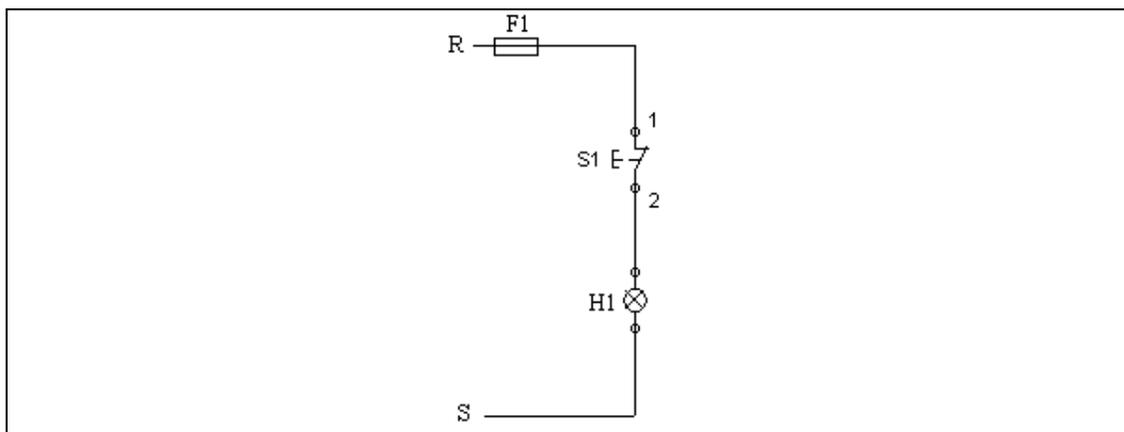
**Exercício 1:** Fazer o circuito de acionamento de um dispositivo qualquer através de uma botoeira tipo NA, pode ser de uma lâmpada, não omitir o fusível:



O contato normalmente fechado (NF) *normally closed*, tem sua posição inicial fechada, ou seja, permanece fechado até que seja aplicada uma força externa. No caso dos contatos auxiliares NF os números dos contatos são 1 e 2.



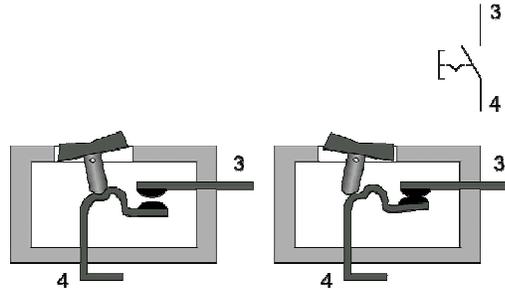
**Exercício 2:** Fazer o circuito de acionamento de um dispositivo qualquer através de uma botoeira tipo NF:



Os botões simples uma vez acionados retornam a sua posição inicial após o acionamento, diferente dos botões com trava, chamados também de botões com retenção. As botoeiras, portanto, podem ser normais por pressão conforme as duas figuras vistas ou com



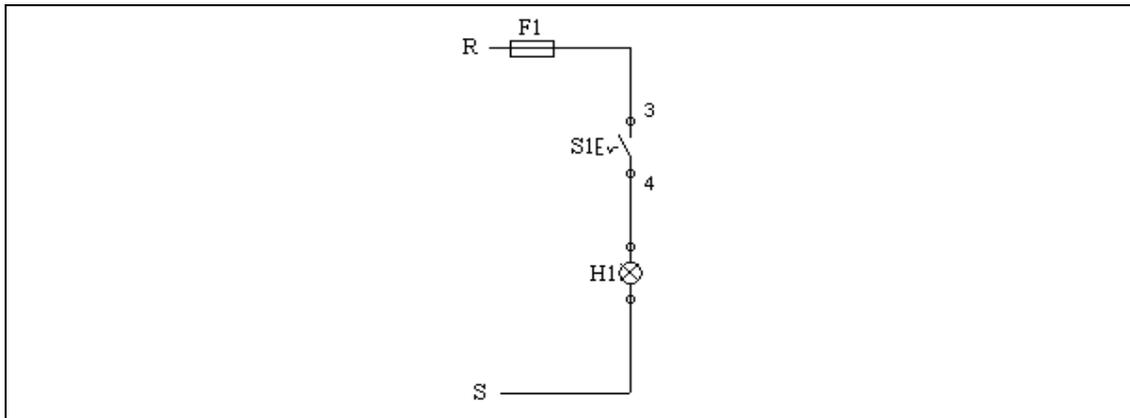
trava, adiante. Abaixo, esquema de um Botão NA com trava, veja a simbologia ao lado difere da sem trava.



### Botões com trava

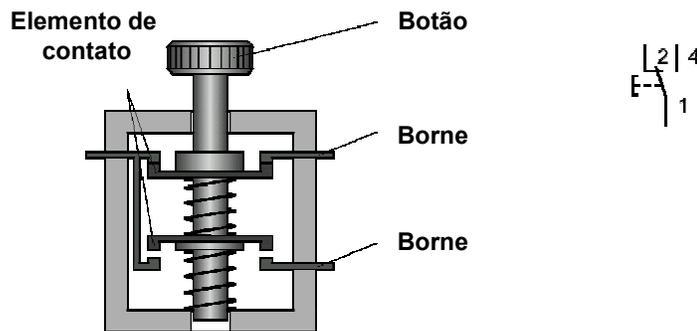
Os Botões com trava uma vez acionados permanecem em sua posição, seu retorno à posição anterior somente acontece com um novo acionamento.

**Exercício 3:** Fazer o circuito de acionamento de um dispositivo qualquer através de uma botoeira tipo NA com trava:

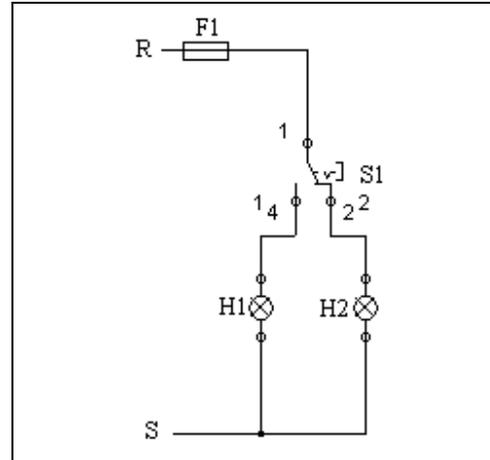
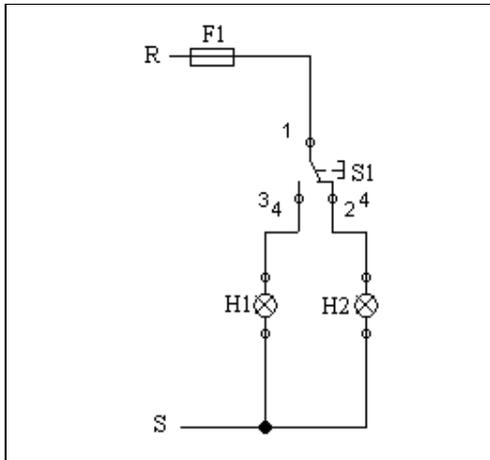


### Chaves seletoras

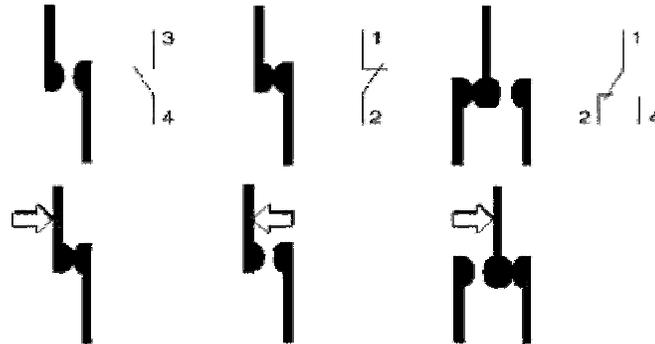
As chaves seletoras possuem duas ou mais posições e permitem essas posições em um determinado processo com (C) ponto de contato comum. Também é chamada de comutadora. Tem uma função composta, NF e NA.



**Exercício 4:** Fazer dois circuitos de acionamento de um dispositivo através de uma chave seletora com e sem trava, utilizar duas lâmpadas em cada circuito:

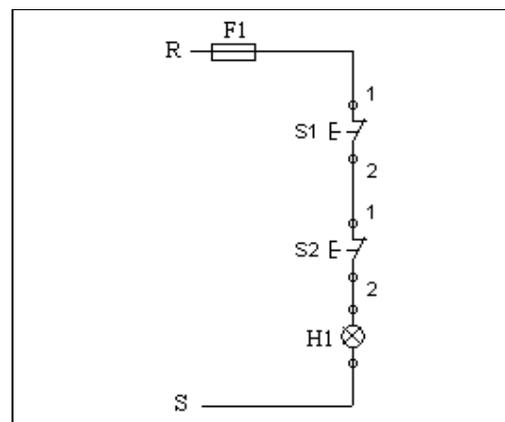
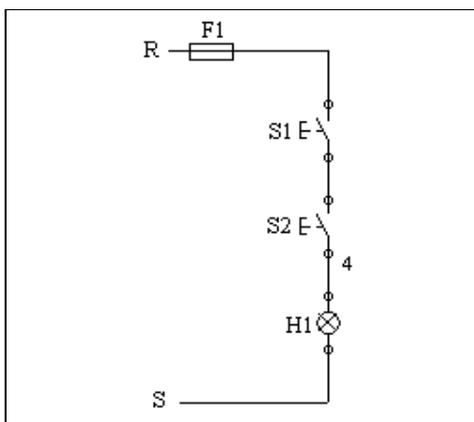


Veja adiante os tipos de contatos vistos até aqui e a sua respectiva simbologia:



Botões NA podem ser utilizados em série para exigir a atuação em dois pontos diferentes simultaneamente, para que exija atuação simultânea para o acionamento.

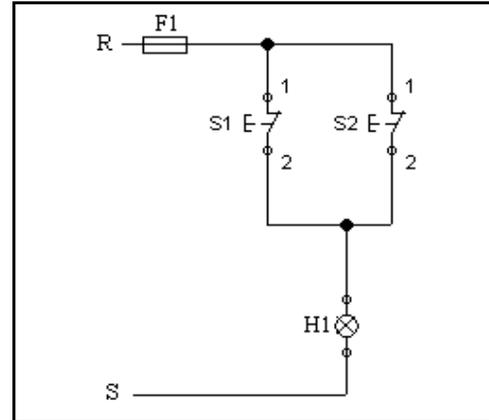
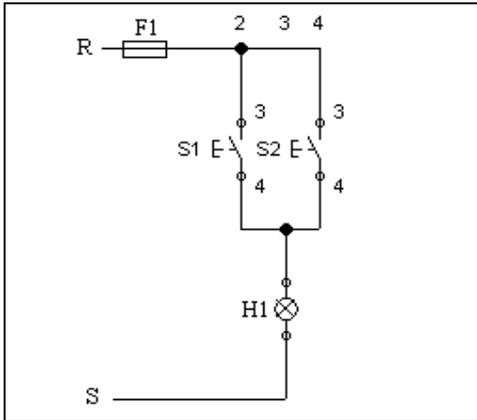
**Exercício 5:** Fazer dois circuitos de acionamento de um dispositivo utilizando-se dois botões em série (NA e NF) com e sem trava:



Os botões NA podem ser colocados em paralelo fazendo com que o acionamento aconteça em dois ou mais pontos diferentes, neste caso temos a possibilidade de atuarmos em diferentes posições tornando o comando flexível.

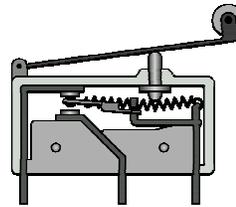


**Exercício 6:** Fazer dois circuitos de acionamento de um dispositivo utilizando-se dois botões em paralelo (NA e NF) com e sem trava:



### Interruptores fim de curso

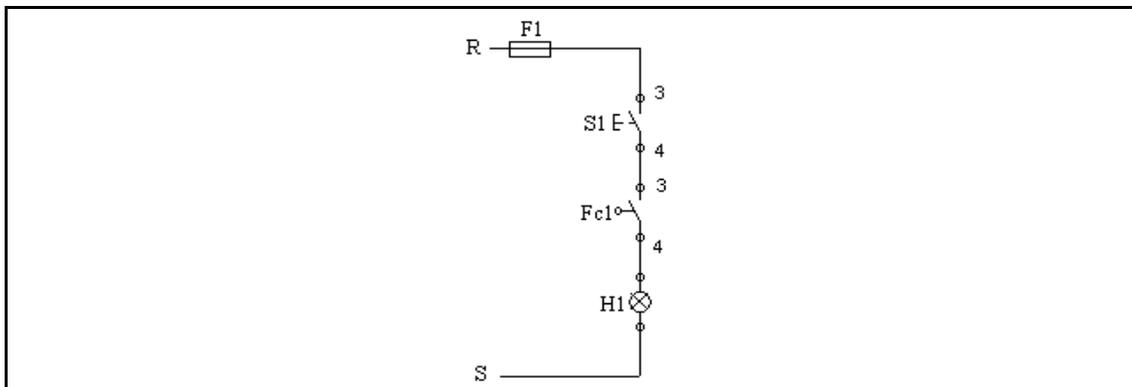
Os interruptores fim de curso são dispositivos auxiliares de comando de acionamento, que atuam num circuito com função bastante diversificada, geralmente são acionados pelo próprio mecanismo que controlam.



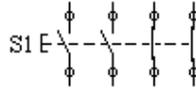
Rolete

Os interruptores fim de curso (Fc) são basicamente constituídas por uma alavanca ou haste, com ou sem roldanas na extremidade, que transmitem o movimento aos contatos que se abrem ou se fecham de acordo com a sua função. Podem ser utilizados para controle e segurança.

**Exercício 7:** Fazer um circuito de acionamento de um dispositivo utilizando-se de um botão  $S_1$  (NA) e um fim de curso:



As chaves de contatos múltiplos podem ser dotadas com ou sem retenção, são chaves com vários contatos NA e, ou NF agregados.



### Chave seccionadora

É um dispositivo que tem por função a manobra de abertura ou desligamento dos condutores de uma instalação elétrica. A finalidade principal dessa abertura é a manutenção da instalação desligada.

A chave seccionadora deve suportar, com margem de segurança, a tensão e corrente nominais da instalação, isso é normal em todos os contatos elétricos, mas nesse caso se exigem melhor margem de segurança.

A seccionadora tem, por norma, seu estado - ligada ou desligada - visível externamente com clareza e segurança.

Esse dispositivo de comando é construído de modo a ser impossível que se ligue (feche) por vibrações ou choques mecânicos, só podendo, portanto ser ligado ou desligado pelos meios apropriados para tais manobras.

No caso de chave seccionadora tripolar, esta deve garantir o desligamento simultâneo das três fases.



As seccionadoras podem ser construídas de modo a poder operar:

- Sob carga - então denominada interruptora. A chave é quem desligará a corrente do circuito, sendo por isso dotada de câmara de extinção do arco voltaico que se forma no desligamento e de abertura e fechamento auxiliados por molas para elevar a velocidade das operações.
- Sem carga – neste caso o desligamento da corrente se fará por outro dispositivo, um disjuntor, de modo que a chave só deverá ser aberta com o circuito já sem corrente. Neste caso a seccionadora pode ter uma chave NA auxiliar que deve desliga o disjuntor antes que a operação de abertura da chave seja completada.

### Disjuntores

**Os disjuntores** também estão presentes em algumas instalações residenciais, embora sejam menos comuns do que os fusíveis. Sua aplicação determinadas vezes interfere com a aplicação dos fusíveis, pois são elementos que também destinam-se a proteção do circuito contracorrentes de curto-circuito. Em alguns casos, quando há o elemento térmico os disjuntores também podem se destinar a proteção contra correntes de sobrecarga. A corrente



de sobrecarga pode ser causada por uma súbita elevação na carga mecânica, ou mesmo pela operação do motor em determinados ambientes fabris, onde a temperatura é elevada.



A vantagem dos disjuntores é que permitem a re-ligação do sistema após a ocorrência da elevação da corrente, enquanto os fusíveis devem ser substituídos antes de uma nova operação.

Para a proteção contra a sobrecarga existe um elemento térmico (bi-metálico). Para a proteção contra curto-circuito existe um elemento magnético. O disjuntor precisa ser caracterizado, além dos valores nominais de tensão, corrente e frequência, ainda pela sua capacidade de interrupção, e pelas demais indicações de temperatura e altitude segundo a respectiva norma, e agrupamento de disjuntores, segundo informações do fabricante, e outros, que podem influir no seu dimensionamento.

### Relés

Os relés são os elementos fundamentais de manobra de cargas elétricas, pois permitem a combinação de lógicas no comando, bem como a separação dos circuitos de potência e comando. Os mais simples constituem-se de uma carcaça com cinco terminais.

Embora esta seja também a denominação de pequenas chaves magnéticas (de uso por exemplo em automóveis), quando se trata de circuitos de comandos elétricos industriais os relés são dispositivos de proteção que através de seus contatos atuam o comando de chaves magnéticas de potência, sendo atuados por diversas variáveis físicas, conforme seu tipo.

Os relés apresentam algumas características comuns às chaves magnéticas e outras específicas. Em comum apresentam terminais de energização e terminais de chaves ou contatos internos. Porém não basta energizar o relé para que este atue em suas chaves. A atuação de suas chaves depende de alguma grandeza física, conforme seu tipo.

### Relé Térmico

O Relé Térmico tem objetivo principal a proteção do sistema quando da elevação da temperatura nos condutores a ele ligado de forma a evitar a degradação dos condutores e/ou equipamentos. Dispositivo elétrico destinado a produzir modificações súbitas e predeterminadas em um ou mais circuitos elétricos de saída, quando certas condições são satisfeitas no circuito de entrada que controlam o dispositivo.

O relé seja de que tipo for não interrompe o circuito principal, mas sim faz atuar o dispositivo de manobra desse circuito principal. Assim, por exemplo, existem relés que atuam em sobrecorrente de sobrecarga ou de curto-circuito, ou de relés que atuam perante uma variação inadmissível de tensão.

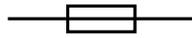


## Fusíveis

Fusíveis, são componentes do circuito de alimentação que tem como função a proteção contra curtos circuitos.



Fusíveis da WEG



Além de protegerem as linhas alimentadoras protegem os próprios dispositivos de comando em caso de um curto circuito interno, atuando também como limitadores das correntes de curto circuito. Sua operação é baseada em um elemento fusível devidamente projetado que abre o circuito, interrompendo-o na ocorrência de uma falha.

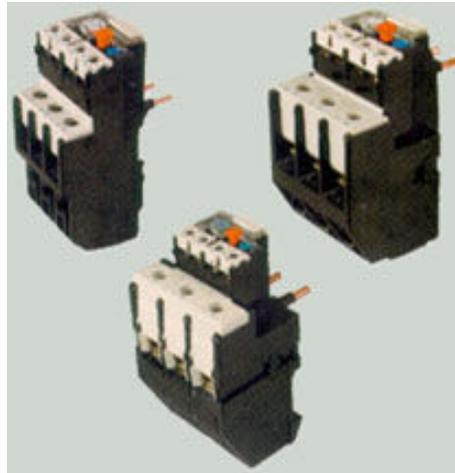
Os fusíveis são usados para proteção contra curto-circuito (e contra sobre-carga caso não seja usado relé para este fim) de utilização única: após sua atuação devem ser descartados.

São compostos por: elemento fusível, corpo, terminais e dispositivo de indicação da atuação do fusível. O Elemento fusível: é um fio ou fita de metal com constituição e dimensões calculadas para entrar em fusão (daí o nome fusível) quando atravessado por corrente elétrica de determinado valor.

São feitos de material isolante (porcelana no caso dos industriais, mas existem também de papelão de vidro e de plástico). Serve para sustentar o elemento fusível e os terminais. No corpo há a indicação de sua corrente de atuação da tensão em que pode funcionar e do seu tipo se rápido ou retardado. Dentro do corpo dos fusíveis usados em instalações industriais existe uma espécie de areia que tem por função extinguir a chama proveniente da fusão do elemento fusível.

Seus terminais são feitos de metal com robustez bastante para que não sofrer com a corrente que flui pelo fusível. Fazem o contato do elemento fusível com o porta-fusível. O porta-fusível é um compartimento que fica fixo no circuito e serve de encaixe para o fusível.

A indicação pode ser feita pela transparência do corpo, que permite ao operador ver o elemento partido, ou por um pequeno botão (em geral vermelho) que se solta do corpo em caso de atuação.



### Tipos de Fusíveis

Os fusíveis de acordo com seu formato e forma de conexão podem ser:

- a) **NH** - Usados em circuito de alta potência e conectados por encaixe, com ferramenta própria (punho) para proteção do operador;
- b) **Diazed** - Usados em circuitos baixa potência e conectados através do porta-fusível que se monta por rosca. O próprio suporte do fusível protege o operador contra choque elétrico.
- c) **Neozed** – muito parecido com o diazed, só que menor esse fusível é usado para a proteção de circuitos de comando.

O fusível interrompe o circuito quando houver correntes maiores que 160% da sua corrente nominal. O tempo de atuação diminui a medida em que aumenta o valor relativo da sobrecarga. Assim uma sobrecarga de 190% da corrente nominal será interrompida mais rapidamente que uma de 170%. Correntes de até 120% do valor nominal não atuam o fusível.

A velocidade de ação dos fusíveis varia conforme sua aplicação:

- *Rápidos*: Estes tipos são os que têm atuação mais rápida.
- *Retardados*: Fusíveis para circuitos de motores elétricos e de capacitores normalmente são mais lentos pois há a necessidade de não se romper durante os picos de corrente existente durante alguns instantes após sua ligação. Na partida dos motores há corrente de até oito vezes o valor nominal, porém caso a corrente seja muito maior que oito vezes a normal o fusível passa a agir tão rápido quanto um de ação rápida.

A escolha do fusível se faz pela corrente, pela tensão e pelo tipo de circuito (se sujeito a grandes variações de corrente, ou não).

O Fusível encapsulado é um fusível cujo elemento que se funde é completamente encerrado num invólucro fechado, o qual é capaz de impedir a formação de arco externo e a emissão de gases, chama ou partículas metálicas para o exterior quando da fusão do elemento fusível, dentro dos limites de sua característica nominal. Tem como função a proteção contra curto circuitos nos condutores que alimentam a carga. O elemento fusível, para desempenhar



sua ação de interrupção de acordo com uma característica de fusão tempo x corrente perfeitamente definida, como demonstrada nesse item, deve ser fabricado de um metal que permita a sua calibragem com alta precisão. Para tanto, o metal deve ser homogêneo, de elevada pureza e de dureza apropriada (materiais moles não permitem essa calibragem). A melhor solução encontrada, na área de fusíveis de potência, foi usando-se o cobre.

Os fusíveis são elementos inseridos nos circuitos para interrompê-los em situações anormais de corrente, como curto-circuito ou sobrecargas de longa duração. De um modo geral, os fusíveis são classificados segundo a tensão de alimentação em alta ou baixa tensão, e, também segundo as características de desligamento em efeito RÁPIDO OU RETARDADO.

Os fusíveis de efeito rápido são empregados em circuitos em que não há variação considerável de corrente entre a fase de partida e a de regime normal de funcionamento. Esses fusíveis são ideais para a proteção de circuitos Resistivos (lâmpada, fornos, etc.).

Os fusíveis de efeito retardado são apropriados para uso em circuitos cuja corrente de partida atinja valores muitas vezes superiores ao valor da corrente nominal e em circuito que estejam sujeitos a sobrecarga de curta duração. como exemplo podemos citar, motores elétricos e cargas capacitivas em geral.

Os fusíveis de efeito retardado mais comumente usados são os NH e DIAZED RETARDADO.

Os fusíveis NH suportam elevações de tensão durante um certo tempo sem que ocorra fusão. Eles são empregados em circuitos sujeitos a pico de corrente e onde existam cargas indutivas e capacitivas.

Sua construção permite valores padronizados de corrente que variam de 6 á 1200 A. Sua capacidade de ruptura é sempre superior a 70 KA com uma tensão máxima de 500 V.

Os fusíveis NH são constituídos por 2 partes: base e fusível. A base é fabricada de material isolante como a esteatita, plástico ou termofixo. Nela são fixados os contatos em forma de garras, ás quais estão acopladas molas que aumentam a pressão de contato.

O fusível possui corpo de porcelana de seção retangular. Dentro desse corpo, estão o elo porcelana existem duas facas de metal que se encaixam perfeitamente nas garras da base. O elo fusível é feito de cobre em forma de lâminas vazadas em determinados pontos para reduzir a seção condutora. O elo fusível pode ainda ser fabricado em prata.

Os fusíveis Diazed podem ser de ação rápida ou retardada. Os de ação rápida são usados em circuitos resistivos, ou seja, sem picos de corrente. Os de ação retardada são usados em circuitos com motores e capacitores, sujeitos á picos de corrente. Esses fusíveis são construídos para valores de, no máximo 100 A. e capacidade de ruptura é de 70 KA com uma tensão de 500 V.

O fusível Diazed ou (D) é composto por: base (aberta ou protegida), tampa fusível parafuso de ajuste e anel. A base é feita de porcelana dentro da qual está um elemento metálico roscado internamente e ligado externamente á um dos bornes. O outro borne está isolado do primeiro e ligado ao parafuso de ajuste.



A tampa, geralmente de porcelana, fixa o fusível á base e não é inutilizada com a queima do fusível. Ela permite inspeção visual do indicador do fusível e sua substituição mesmo sob tensão.

O parafuso de ajuste tem função de impedir o uso de fusíveis de capacidade superior á desejada para o circuito. A montagem do parafuso é por meio de uma chave especial.

O anel é um elemento de porcelana com rosca interna, cuja função é proteger a rosca metálica da base aberta, pois evita a possibilidade de contatos acidentais na troca do fusível.

O fusível é um dispositivo de porcelana em cujas extremidades é fixado em fio de cobre puro ou recoberto por uma camada de zinco. Ele fica imerso em areia especial cuja função é extinguir o arco voltaico e evitar o perigo de explosão quando da queima do fusível.

INTENSIDADE COR DE CORRENTE (A)			INTENSIDADE COR DE CORRENTE (A)		INTENSIDADE COR DE CORRENTE (A)	
	Rosa	2	Cinza	16	Preto	35
	Marrom	4	Azul	20	Branco	50
	Verde	6	Amarelo	25	Laranja	63
	Vermelho	10				

O fusível possui um indicador, visível através da tampa, cuja corrente nominal é identificada por meio de cores e que se desprendem em caso de queima. Veja na tabela a seguir, algumas cores e suas corrente nominais correspondentes:

O elo indicador de queima é constituído de um fio muito fino ligado em paralelo com o elo fusível. Em caso de queima do elo fusível, o indicador de queima também se funde e provoca o desprendimento da espoleta.

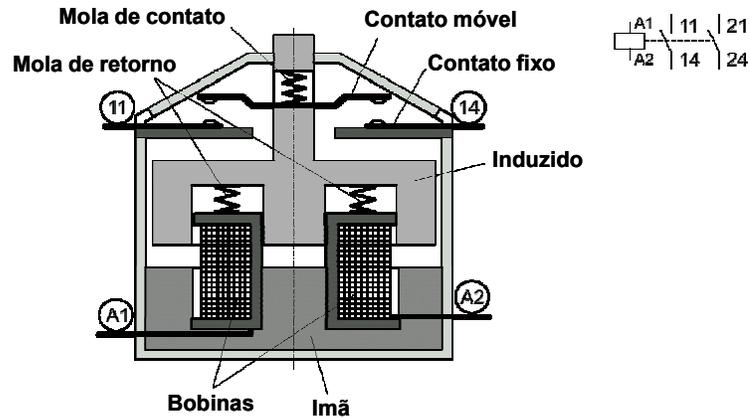
As principais características dos fusíveis Diazed e NH são:

- *Corrente Nominal* - corrente máxima que o fusível suporta continuamente sem interromper o funcionamento do circuito. Esse valor é marcado no corpo de porcelana do fusível.
- *Corrente de curto circuito* - corrente máxima que deve circular no circuito e que deve ser interrompida instantaneamente.
- *Capacidade de ruptura* - (KA) - valor de corrente que o fusível é capaz de interromper com segurança. Não depende da tensão nominal da instalação.
- *Tensão Nominal* - tensão para a qual o fusível foi construído. Os fusíveis normais para baixa tensão são indicados para tensões de serviço de até 500V em CA e 600V em CC.
- *Resistência elétrica (ou resistência ôhmica)* - grandeza elétrica que depende do material e da pressão exercida. A resistência de contato entre a base e o fusível é responsável por eventuais aquecimentos que podem provocar a queima do fusível.

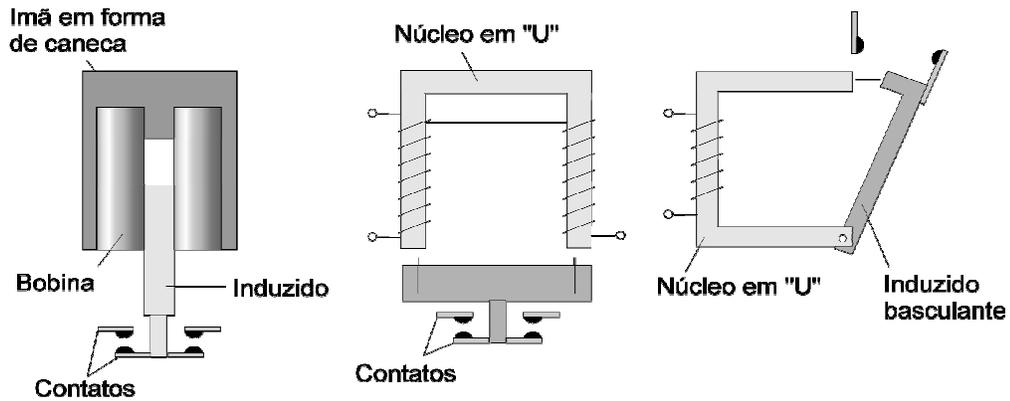
## Contatores

Contator é o elemento principal de comando eletromecânico, que permite o controle de elevadas correntes por meio de um circuito de baixa corrente. É caracterizado como uma chave de operação não manual eletromagnética, com uma única posição de repouso, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito. É constituída de bobina que, quando é alimentada, cria um campo magnético no núcleo fixo que atrai o núcleo e fecha o circuito.

Veja abaixo aspecto o construtivo de um contator.



A bobina representa a entrada de controle do contator que, ao ser ligada a uma fonte de tensão, circula na mesma corrente elétrica que cria um campo magnético que envolve o núcleo de ferro.



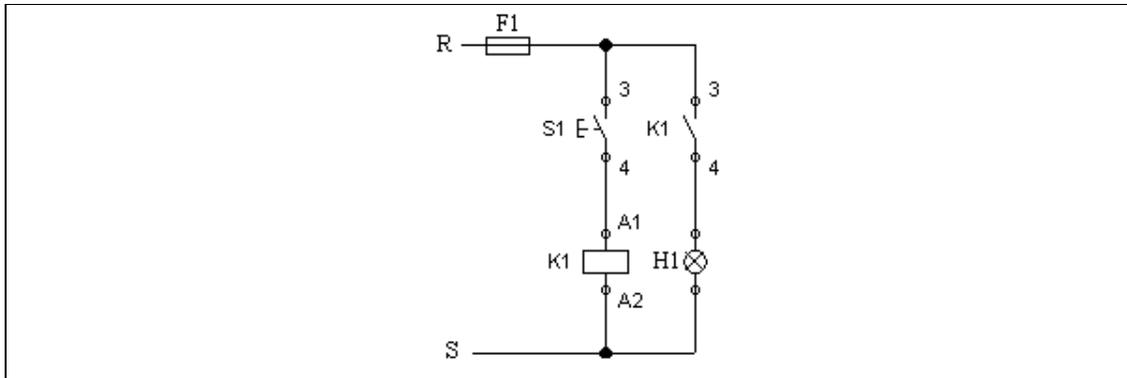
Existem vários fabricantes de contadores, entre eles muitos tipos diferentes são encontrados no mercado. Abaixo contadores da WEG:



Contadores da WEG

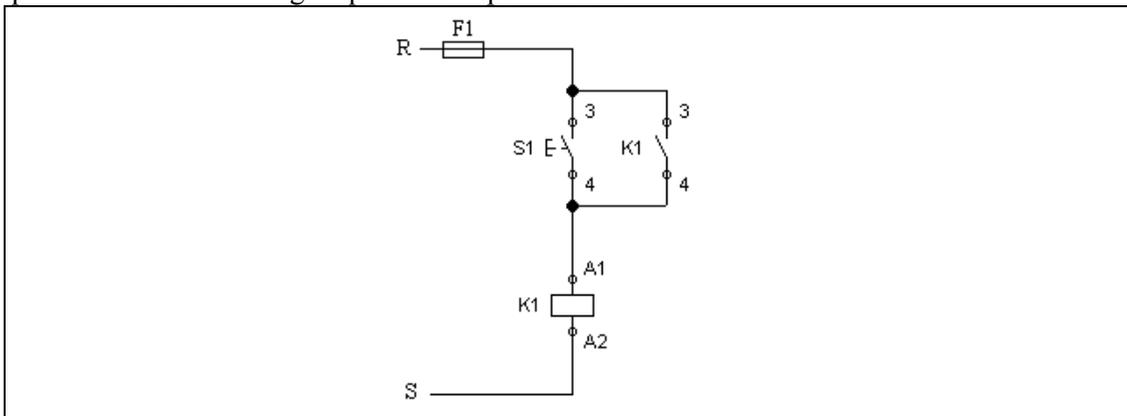
Em um circuito de comando utilizamos uma botoeira para alimentar um contator, que por sua vez irá atuar através de um contato no acionamento de um dispositivo qualquer.

**Exercício 8:** Fazer um circuito de acionamento de um dispositivo através de um contator  $K_1$  utilizando-se de um botão  $S_1$  (NA):



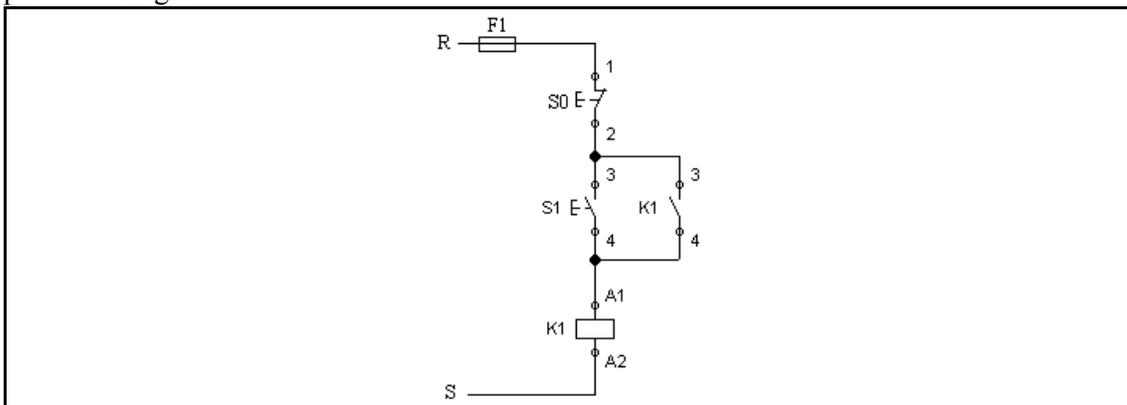
No entanto, o botão irá alimentar o contator somente durante o instante em que será pressionado voltando imediatamente para o repouso após o pulso, então é necessário que seja colocado um contato de  $K_1$  em paralelo com o Botão  $S_1$ , conhecido por Selo, assim o contator irá receber energia através desse contato.

**Exercício 9:** Fazer um circuito de utilizando-se um contator  $K_1$  e um botão  $S_1$  (NA) de forma que o contator não desligue quando não pressionamos o botão:



Dessa forma quando atuarmos no botão  $S_1$  o contato NA de  $K_1$  irá continuar a alimentá-lo, entretanto, uma vez alimentado não irá voltar para a posição de repouso, ou seja, não irá desligar, para isto necessita-se um botão NF em série com o botão de *Start*  $S_1$ .

**Exercício 10:** Fazer um circuito de utilizando-se um contator  $K_1$  e um botão  $S_1$  (NA) de forma que o contator não desligue quando não pressionamos o botão, acrescentar um botão  $S_0$  (NF) para desenergizar:



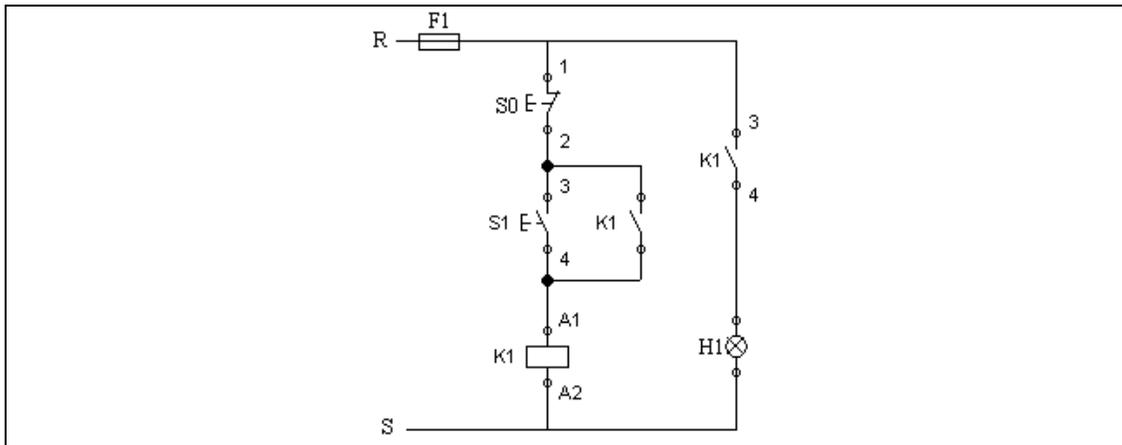


A mola do contator é responsável por levá-lo ao estado inicial, a posição de repouso quando uma bobina é desconectada da fonte, isso acontece quando cessa o campo magnético e a mola torna-se mais forte do que o núcleo.

O contator é dotado de contatos principais e auxiliares. Os contatos principais têm a função de conduzir a corrente de operação quando estiverem em estado fechado. Os contatos auxiliares são utilizados para fins de comando, trava e sinalização, entre outros.

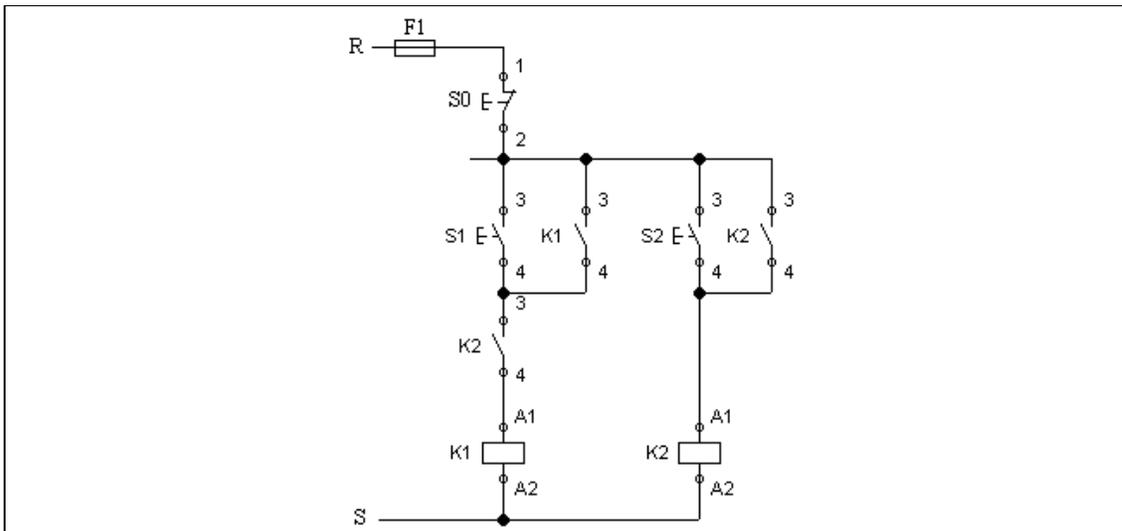
A atuação do contator em um circuito de comando pode se dar através de um contato NA em paralelo.

**Exercício 11:** Fazer um circuito de acionamento de um dispositivo utilizando-se de um contator  $K_1$  e um botão  $S_1$  (NA), utilizar  $S_0$  para desligar:



Um contator pode ser usado paralelamente com outro sendo que o primeiro só será alimentado em função do segundo. É conhecido como ligação condicionada. O primeiro contator só poderá ser alimentado se o segundo já estiver sendo alimentado, o que cria uma condição.

**Exercício 12:** Fazer um circuito utilizando-se de dois contadores  $K_1$  e  $K_2$ , que são energizados de forma independente, um botão  $S_1$  e  $S_2$  tipo (NA) e um  $S_0$  para desligar:



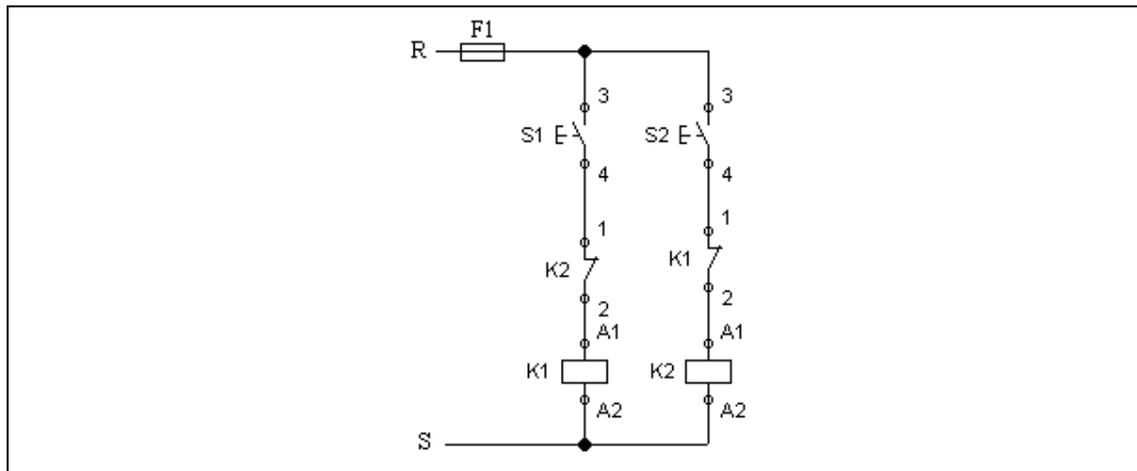


Neste caso temos uma necessidade de energizar primeiro o contator  $K_2$  para que possamos então energizar  $K_1$ , assim  $K_2$  é a condição de  $K_1$ .

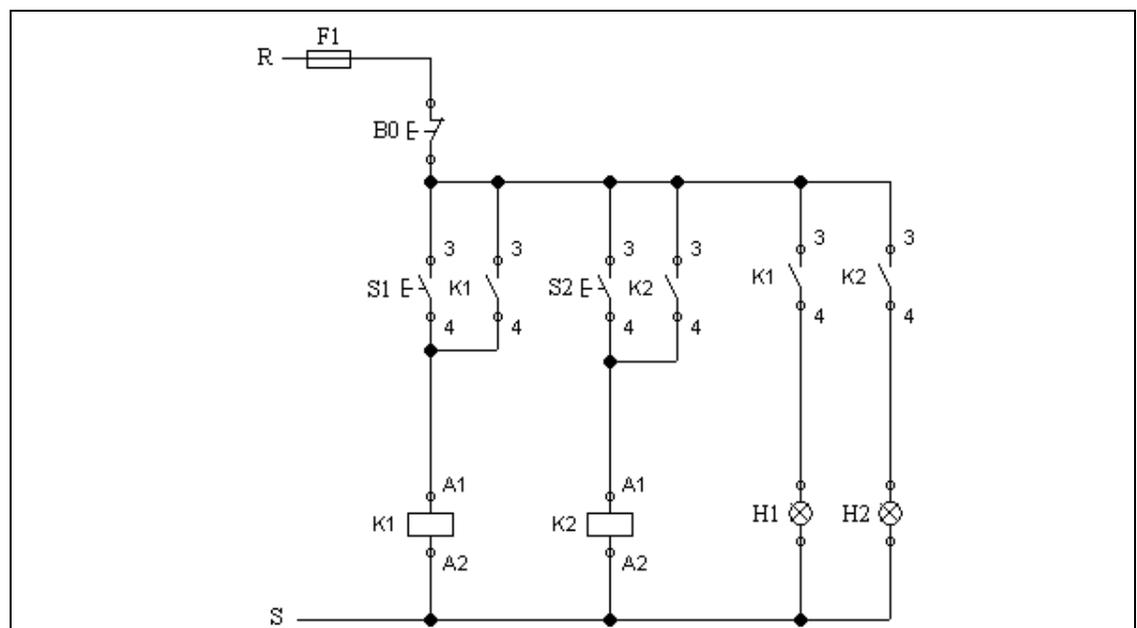
A vida útil de um contator está diretamente relacionada com a vida elétrica dos seus contatos, da intensidade da corrente e pelo seu número de manobras que pode passar de um milhão de manobras.

Em determinadas circunstâncias necessitamos que um contator não possa ser alimentado simultaneamente com outro contator e vice-versa, isso demanda um artifício em que se colocam contatos NF, dos contadores que se deseja desligar, em série com os contadores que alimentamos, essa técnica é conhecida por intertravamento, não permite que os dois atuem ao mesmo tempo.

**Exercício 13:** Fazer um circuito utilizando-se de dois contadores  $K_1$  e  $K_2$ , intertravados:

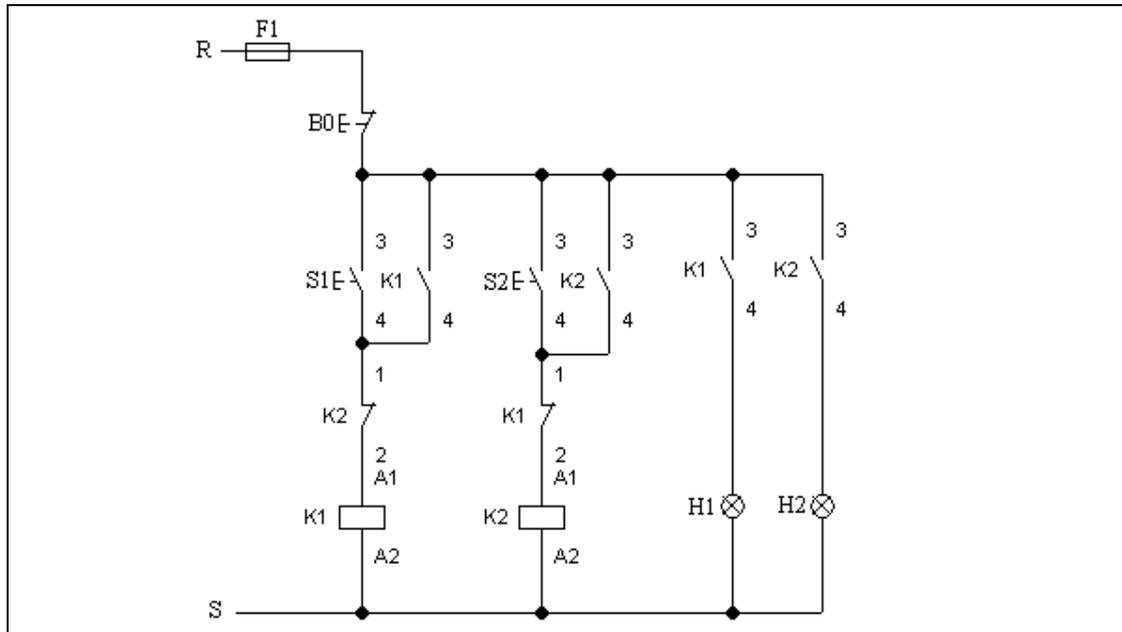


**Exercício 14:** Fazer um circuito utilizando-se de dois contadores  $K_1$  e  $K_2$ , acionando-se dois dispositivos diferentes, de maneira que possam ser ligados simultaneamente:

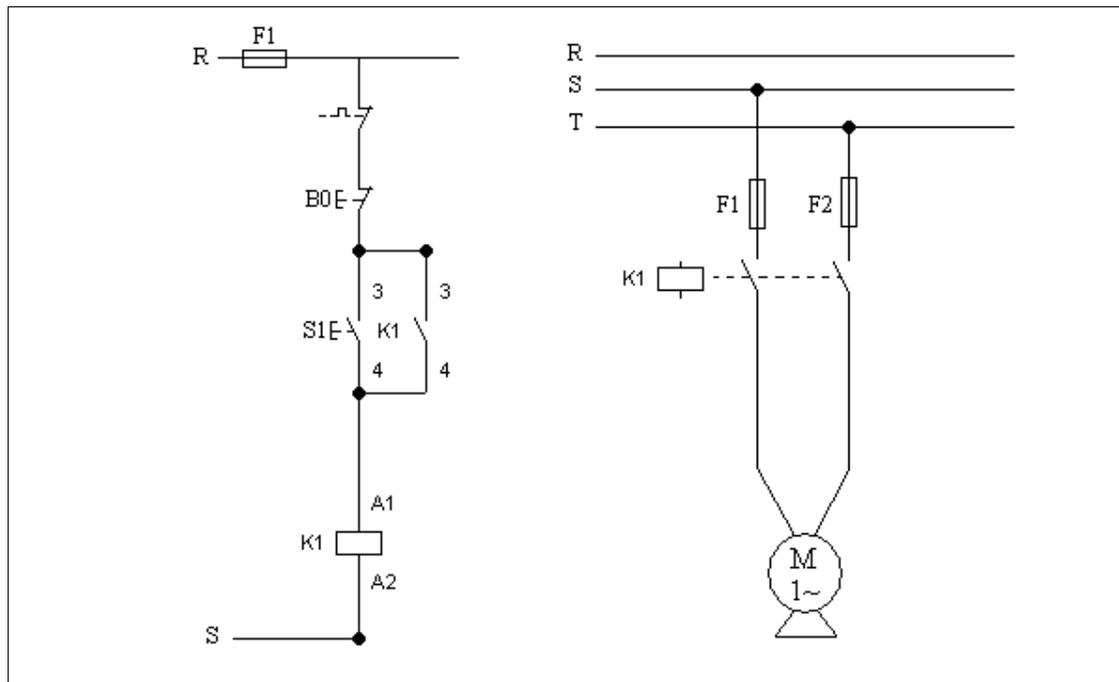




**Exercício 15:** Fazer um circuito utilizando-se de dois contatores  $K_1$  e  $K_2$ , acionando-se dois dispositivos diferentes intertravados, de maneira que quando liga um não ligue o outro e vice-versa:

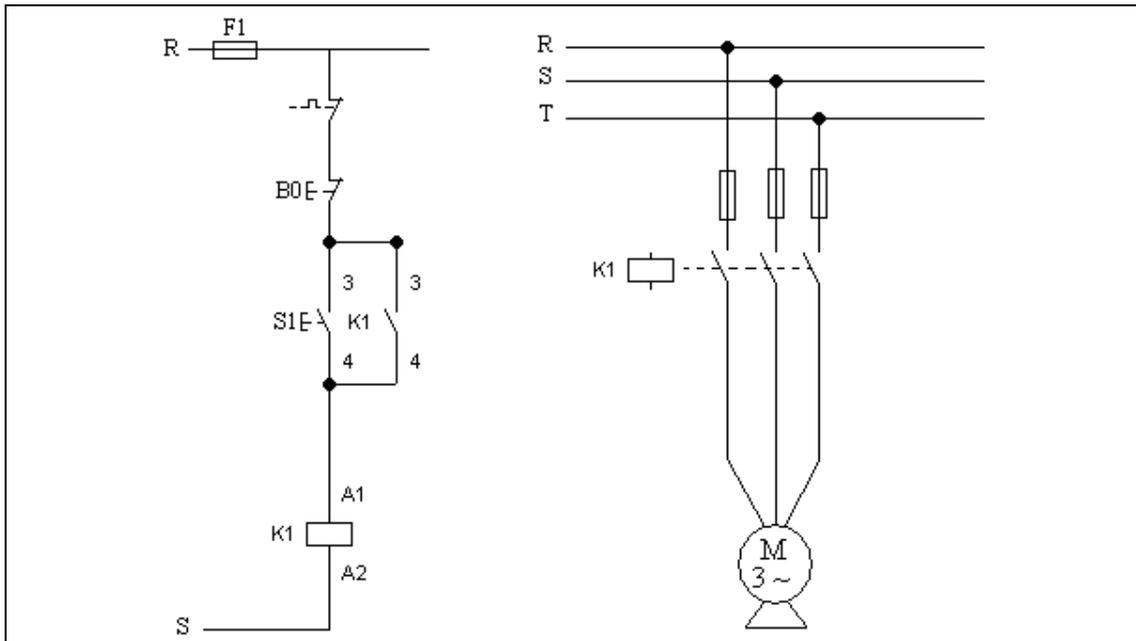


**Exercício 16:** Fazer um circuito de comando de um motor monofásico, partida direta e seu circuito de força:

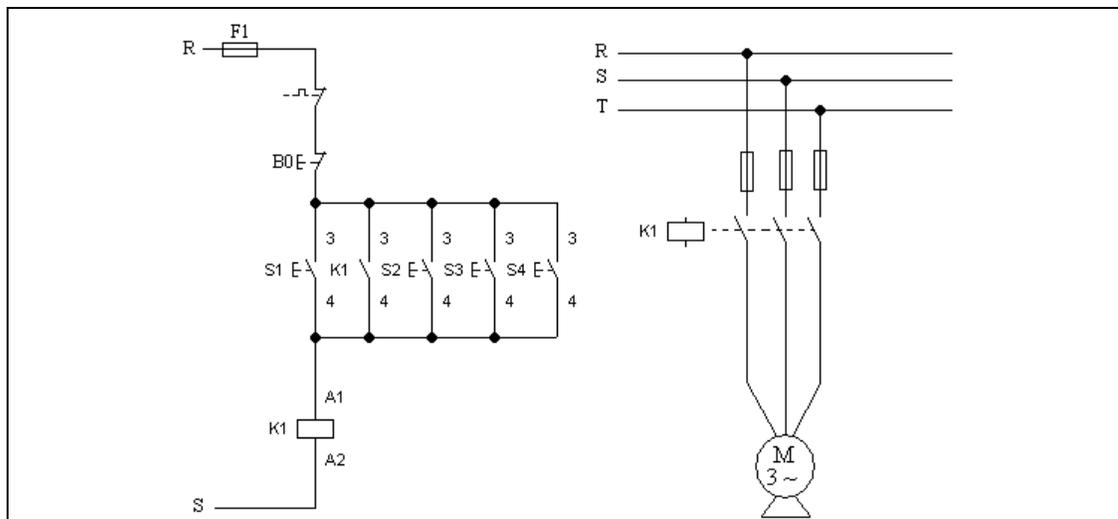




**Exercício 17:** Fazer um circuito de comando de um motor trifásico, partida direta e seu circuito de força:



**Exercício 18:** Fazer um circuito de comando de um motor trifásico, partida direta acionado por diversos pontos ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) e seu circuito de força:



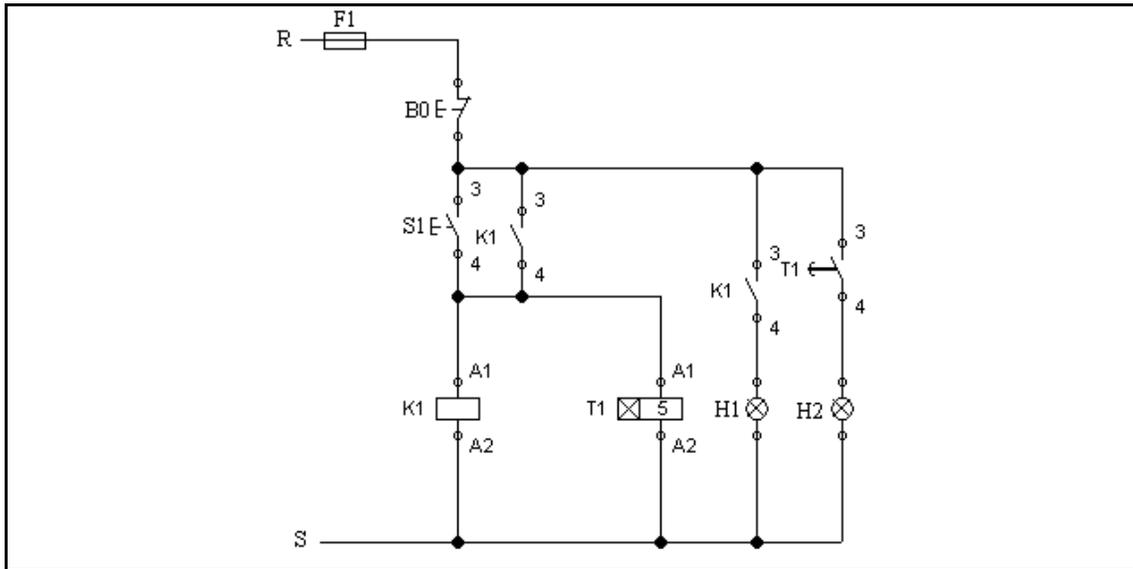
### Temporizador

Em um circuito de comando podemos usar um dispositivo de retardo, para atrasar a atuação no tempo, esse dispositivo chama-se temporizador. Ele é utilizado em comandos que necessitam de um retardo no acionamento subsequente para garantir a segurança do equipamento ou dispositivo.

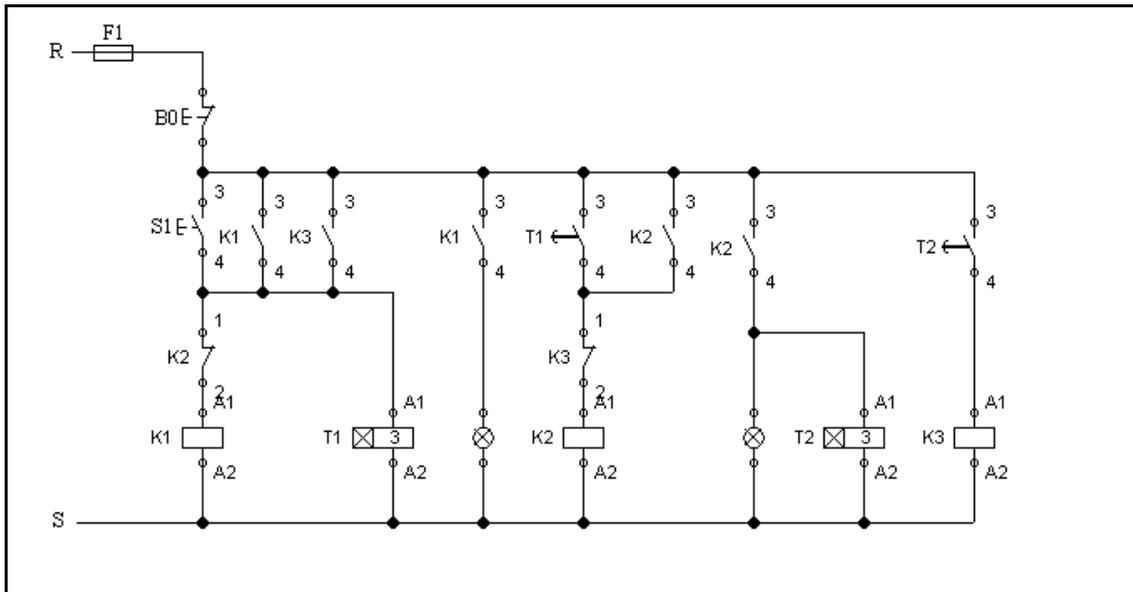


O símbolo do temporizador e semelhante ao da bobina, porém com um pequeno x no lado esquerdo. O valor indica o tempo que o temporizador irá retardar a energização.

**Exercício 19:** Fazer um circuito de comando acionando duas lâmpadas a segunda cinco segundos após a primeira:



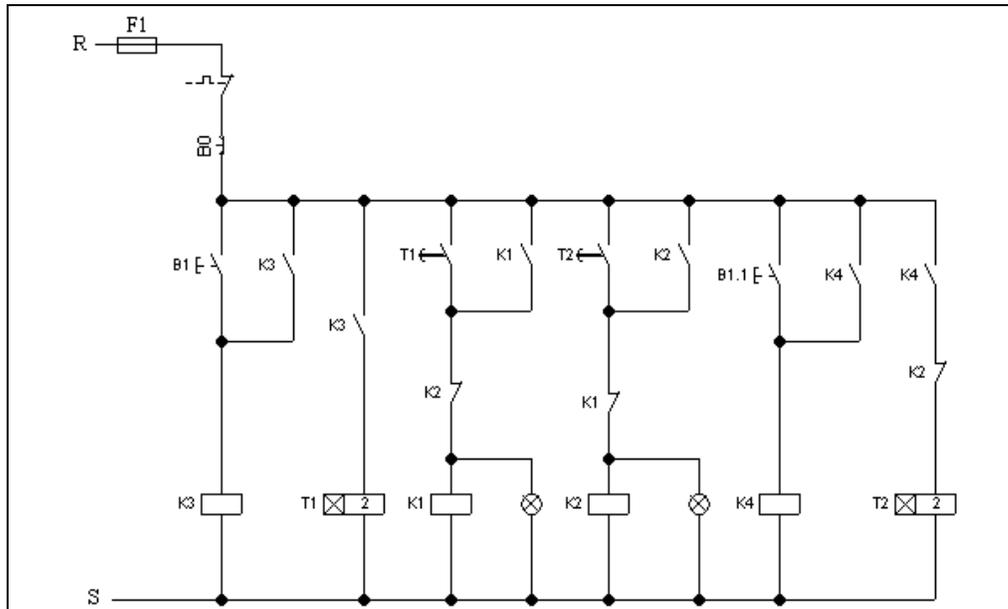
**Exercício 20:** Fazer um circuito de comando acionando duas lâmpadas, a primeira liga quando aciono o botão, a segunda três segundos depois da primeira, fazendo esse ciclo infinitamente:



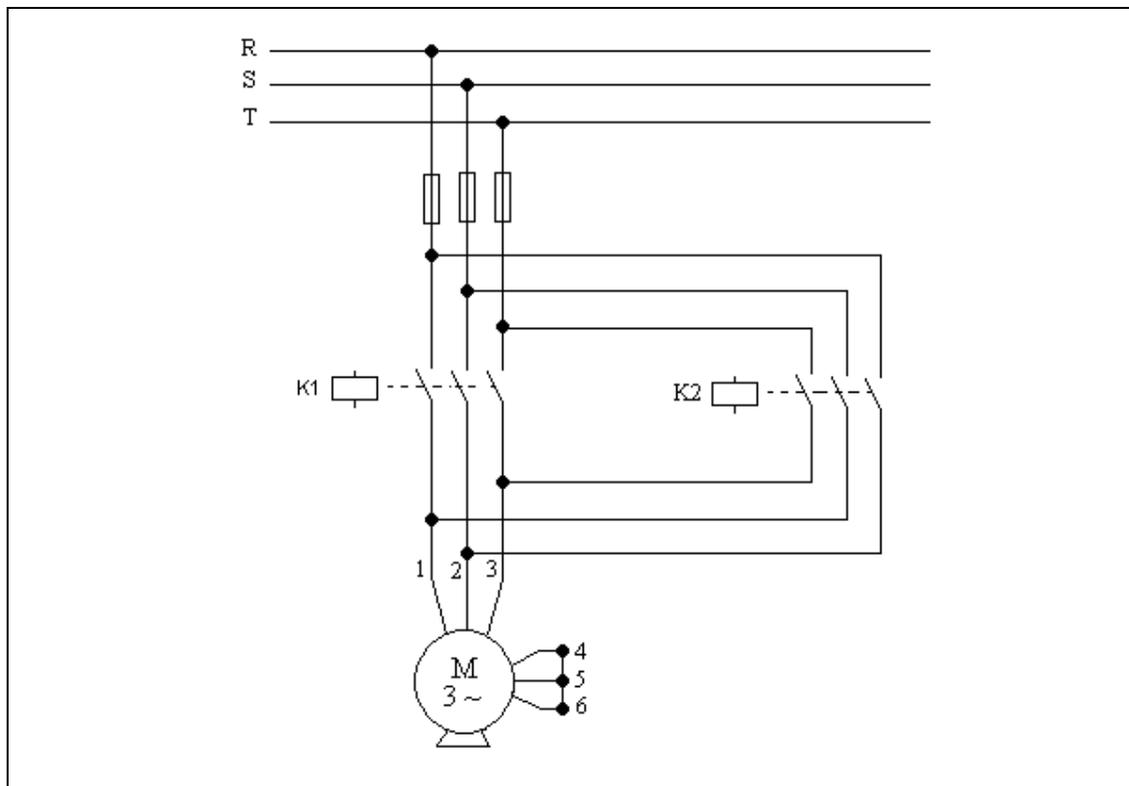


### Exercícios VIII - Circuitos de Comando

**Exercício 1:** Fazer um circuito de comando de um motor trifásico, partida reversora:

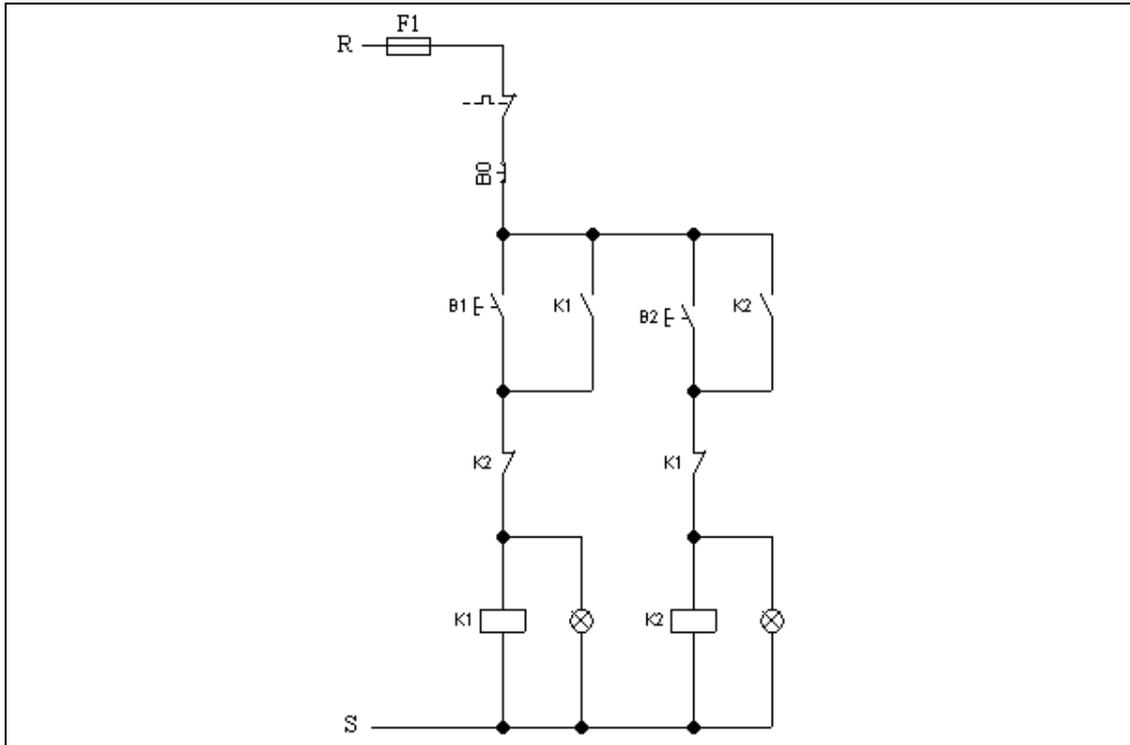


**Exercício 2:** Fazer o circuito de força do comando do exercício 1:

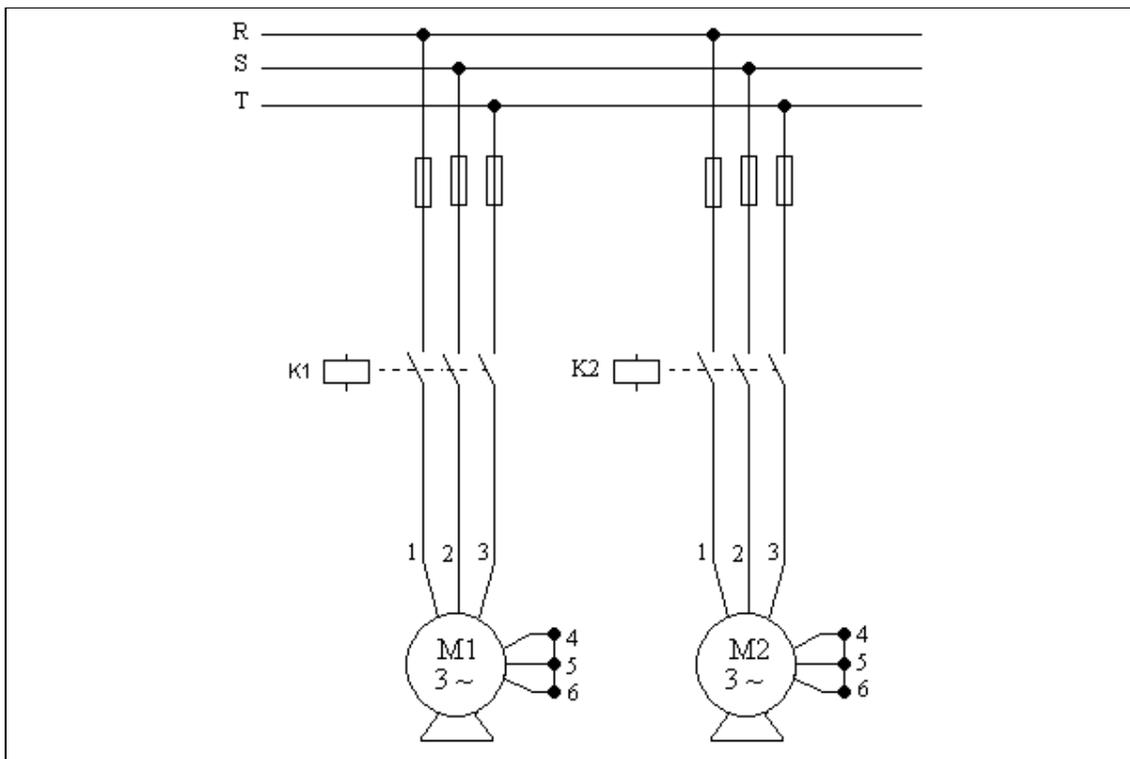




**Exercício 3:** Fazer acionamento de dois motores intertravados:

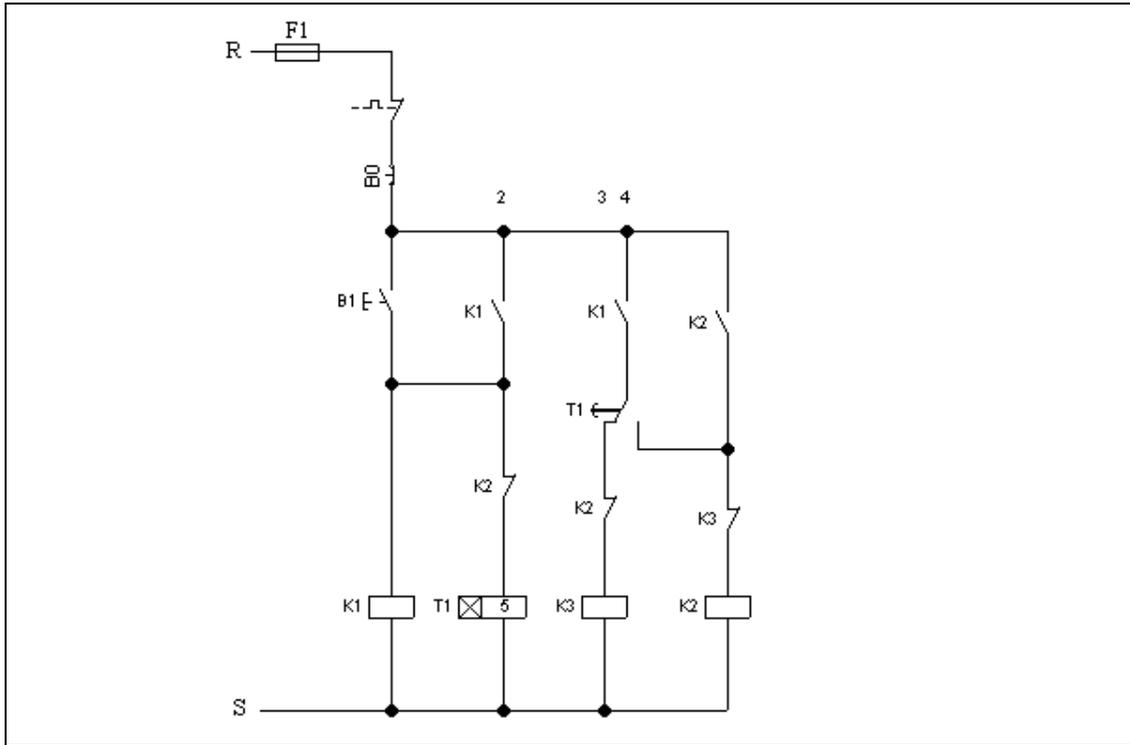


**Exercício 4:** Fazer o circuito de força do comando do exercício 3:

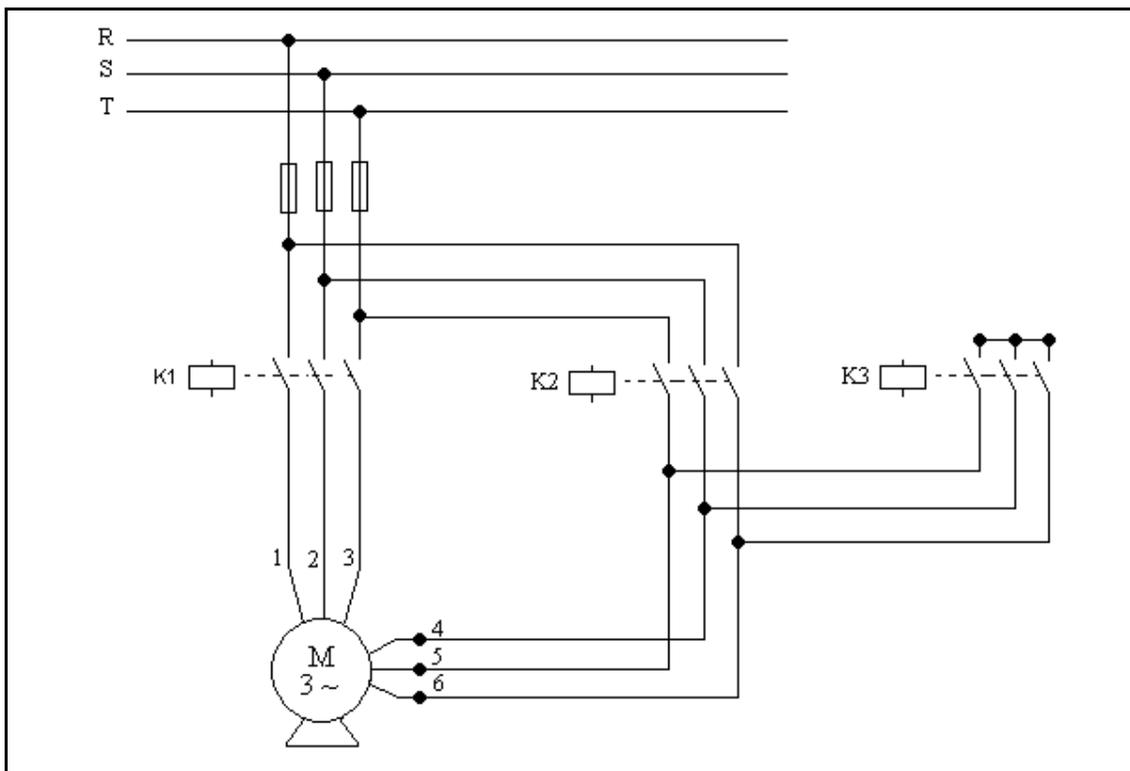




**Exercício 5:** Fazer um circuito de comando de um motor trifásico de partida estrela/triângulo:

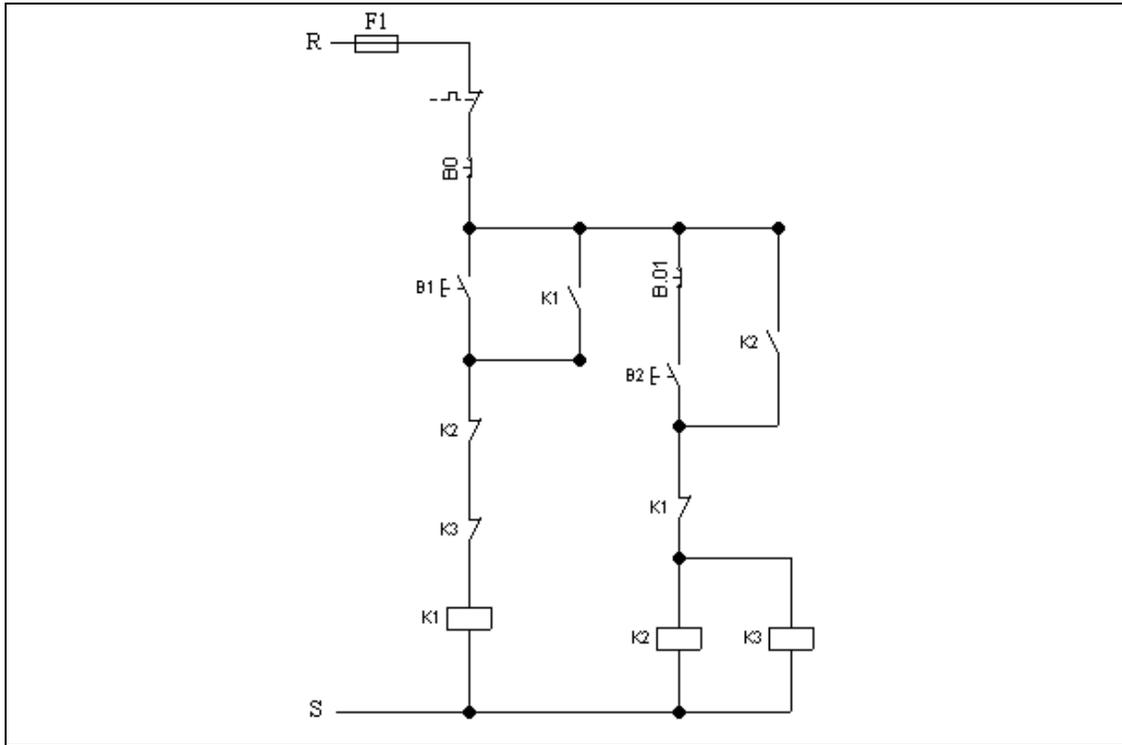


**Exercício 6:** Fazer o circuito de força do comando do exercício 5:

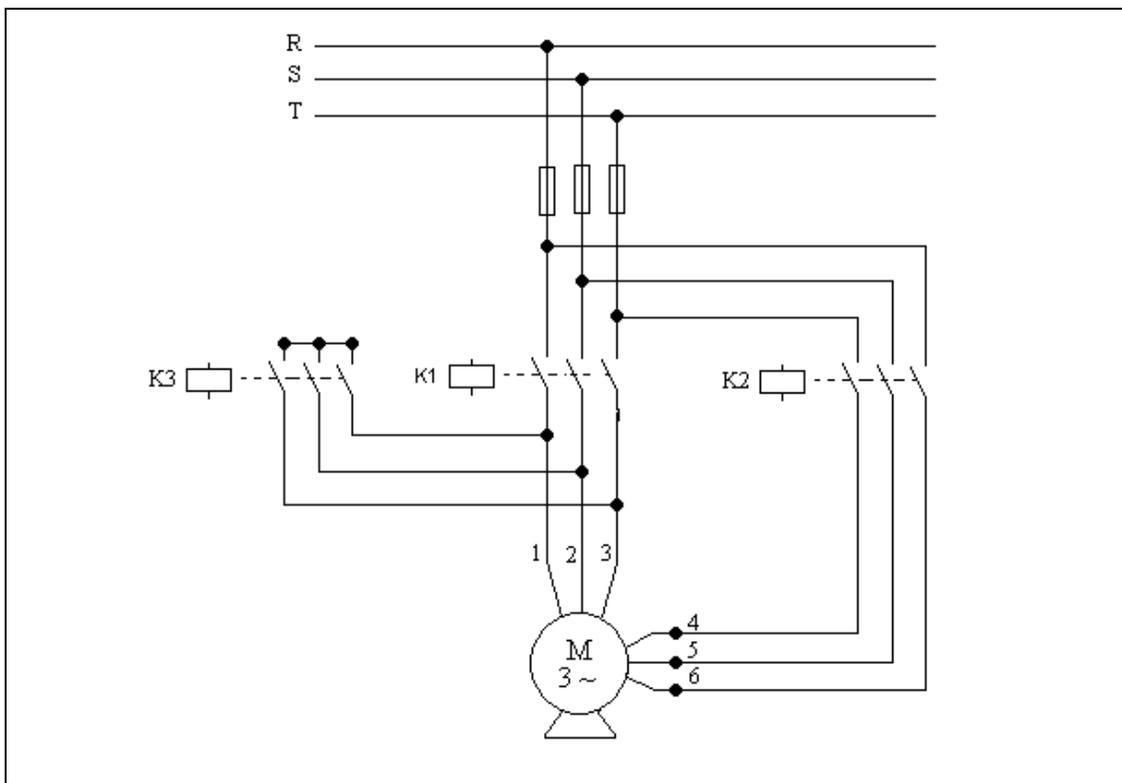




Exercício 7: Fazer um circuito de comando de um motor trifásico, partida baixa/alta rotação:



Exercício 8: Fazer o circuito de força do comando do exercício 7:





## SENSORES

São dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma energia de forma neutra, são chamados de transdutores. Os de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância, sob a ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle, e nos instrumentos de medição, que frequentemente estão associados aos SC de malha aberta (não automáticos), orientado o usuário.

### Características dos sensores

#### Linearidade

O grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Quanto maior, mais fiel é a resposta do sensor ao estímulo. Os sensores mais usados são os mais lineares, conferindo a precisão ao SC. Os sensores não lineares são usados em faixas limitadas, em que os desvios são aceitáveis, ou com adaptadores especiais, que corrigem o sinal.

#### Faixa de atuação

É o intervalo de valores da grandeza em que pode ser usado o sensor, sem destruição ou imprecisão.

### Tipos de sensores

#### I - Sensores de temperatura

O controle de temperatura é necessário em processos industriais e comerciais, como a refrigeração de alimentos e compostos químicos, fornos de fusão (produção de metais e ligas, destilação fracionada (produção de bebidas e derivados de petróleo), usinas nucleares e aquecedores e refrigeradores Domésticos (fornos elétricos e microondas, freezers e geladeiras).

#### NTC e PTC

São resistores dependentes de temperatura. NTC (*Negative Temperature Coeficient*) tem resistência inversamente proporcional á temperatura. Ele é feito de compostos semicondutores, como os óxidos de ferro, magnésio e cromo. Segue a equação abaixo:

$$R = A \times e \times \frac{B}{T}$$



Termistores NPC e PTC



Onde,  $A$  e  $B$  são coeficientes que variam com a composição química e ( $e$ ) é o número de Neper, 2,718,  $T$  é a temperatura, em graus Kelvin (soma-se 273 à temperatura em Celsius, para conversão). Sua curva característica é, exponencial decrescente. Devido a seu comportamento não linear, o NTC é utilizado numa faixa pequena de temperaturas. É usado em temperaturas até 150°C.

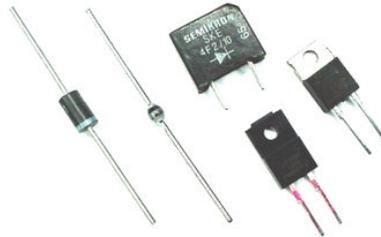
O PTC (*Positive Temperature Coefficient*) tem resistência proporcional à temperatura, e atua numa faixa restrita. A variação da resistência é maior que a de um NTC, na mesma faixa. Seu uso é mais frequente como sensor de sobretemperatura, em sistemas de proteção, por exemplo, de motores.

### Diodos

O diodo comum de silício, polarizado diretamente com corrente de 1 mA, tem queda de tensão próxima de 0,62 V, a 25°C. Esta tensão cai aproximadamente 2mV para cada °C de aumento na temperatura, e pode ser estimada pela equação:

$$V_d = A - B \times T$$

$A$  e  $B$  variam um pouco conforme o diodo. Esta equação é de uma reta, e vale até mais ou menos de 125 °C, limite para o silício. Abaixo tipos de diodos.



### Curva térmica do diodo

O diodo é encontrado em controles e termômetros de baixo custo e razoável precisão, até mais ou menos 100 °C.

### Termopar

Quando dois metais encostados são submetidos a uma temperatura, surge nos extremos deles uma tensão proporcional à temperatura. Este é o efeito Seebeck.

$$V = K \times T$$

Onde:  $K$  é uma constante para cada par de metais, que é utilizável até seu limite térmico.

Metal	Temperatura Máxima	Constante K
Cobre-constante	375 °C	0,1 mV/°C
Ferro-constante	750 °C	0,0514mV/°C

O custo dos termopares é elevado, são empregados em aplicações profissionais, onde se requer alta confiabilidade e precisão. Na figura a seguir um termopar tipo K universal.



### Sensores integrados

Há circuitos integrados sensores de temperatura, como o LM 335, da National. Oferecem alta precisão, por conterem circuitos linearizados. Operam de 0 à 100 °C, aproximadamente.

### II - Sensores de luz

Além de seu uso em fotometria (incluindo analisadores de radiações e químicos), é a parte de sistemas de controle de luminosidade, como os relés fotoelétricos de iluminação pública e sensores indireto de outras grandezas, como velocidade e posição (fim de curso).

### LDR

O LDR (*Ligth Dependent Resistor*), resistor dependente de luz, tem sua resistência diminuída ao ser iluminado. É composto de um material semicondutor, o sulfeto de cádmio, Cds. A energia luminosa desloca elétrons da camada de valência para a de condução (mais longe do núcleo), aumentando o número destes, diminuindo a resistência. A resistência varia de alguns  $M\Omega$ , no escuro, até centenas de  $\Omega$ , com luz solar direta. A aplicação mais comum do LDR é em relés fotoelétricos, fotômetros e alarmes. Sua desvantagem está na lentidão de resposta, que limita a sua operação. Abaixo um LDR 10mm.



### Fotodiodo

É um diodo semicondutor em que a junção está exposta à luz. A energia luminosa desloca elétrons para a banda de condução, reduzindo a barreira de potencial pelo aumento do número de elétrons, que podem circular se aplicada polarização reversa. A corrente nos fotodiodos é da ordem de  $mA$  com alta luminosidade, e a resposta é rápida. Há fotodiodos para todas as faixas de comprimentos de onda, do infravermelho ao ultravioleta, dependendo do material.

O fotodiodo é usado como sensor em controle remoto, em sistemas de fibra óptica, leitoras de código de barras, scanner (digitalizador de imagens, para computador), canetas ópticas (que permitem escrever na tela do computador), toca-discos CD, fotômetros e como sensor indireto de posição e velocidade.

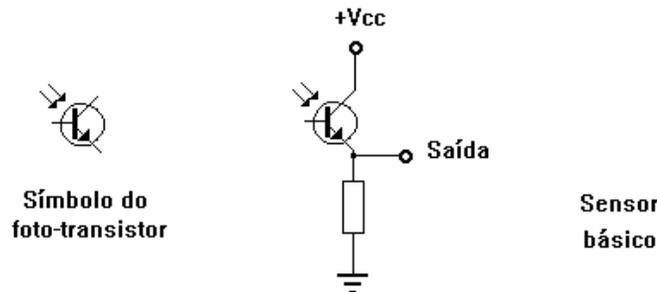




### Foto-transistor

É um transistor cuja junção coletor-base fica exposta à luz e atua como um fotodiodo. O transistor amplifica a corrente, e fornece alguns *mA* com alta luminosidade. Sua velocidade é menor que a do fotodiodo.

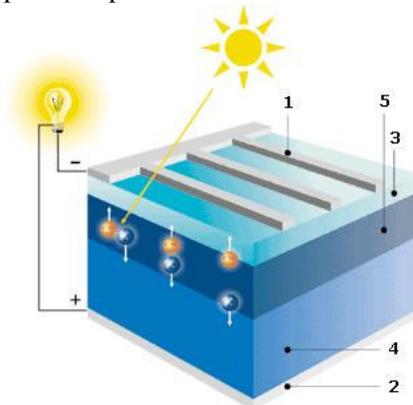
Suas aplicações são as mesmas do fotodiodo, exceto sistemas de fibras ópticas, pela operação em alta frequência.



### Células fotovoltaicas

São dispositivos que convertem energia luminosa em elétrica. O diodo iluminado intensamente na junção pode reverter a barreira de potencial em fonte de elétrons, produzindo energia. A eficiência do processo é baixa devido a pouca transparência da junção (somente as camadas superficiais são iluminadas), apenas alguns %. Seu uso principal está nos painéis solares.

Outro dispositivo é a foto-célula de selênio (um semiconductor), de operação similar. Usam-se em medidores de luminosidade e aparelhos de análise química (como fotocolorímetros). Abaixo pequeno esquema do funcionamento de uma célula fotovoltaica.



### III - Sensores de velocidade

Empregam-se nos controles e medidores de velocidade de motores dentro de máquinas industriais, eletrodomésticos como videocassete e CD, unidade de disquetes e winchesters de computadores, na geração de eletricidade (garantindo a frequência da CA), entre outros.

### Tacogeradores

É um pequeno gerador elétrico de CC, com campo fornecido por um ímã. A tensão gerada, pela lei de Faraday é proporcional á velocidade com que o fluxo magnético cortado pelo enrolamento do rotor. Assim, o Tacogerador é um transdutor mecânico elétrico linear.

$$V = K \times n$$

Onde *K* é uma constante que depende do campo do ímã, do número de espiras e pólos e das dimensões do rotor; *n* é a rotação do eixo (por minuto, *rpm*, ou por segundo, *rps*). A



polaridade da tensão gerada depende do sentido de rotação. A seguir modelos de tacogeneradores da empresa Flateck.



### Interruptor de lâminas

Conhecido como *reeds-witch*, (tipo relé de lingueta) compõe-se de duas lâminas de ferro próximas, dentro de um pequeno invólucro de vidro. Ao se aproximar um ímã ou um solenóide as duas lâminas se encostam, fechando os contatos externos.

Instalando-se um ímã na periferia de uma roda, que gira poucos mm em frente ao interruptor de lâminas, este fechará os contatos a cada volta. Se este for ligado a uma tensão contínua, gerará pulsações uma frequência proporcional a rotação da roda.

Além de seu uso como sensor de velocidade, é encontrado em alarmes, indicando porta ou janela fechada (um ímã é instalado nesta, o *reeds-witch* no batente), e em sensores de fim de curso, em máquinas industriais, CD, videocassetes, etc...

### Sensores ópticos

Empregam fotodiodos ou foto-transistor e uma fonte luminosa, lâmpada, *LE* ou laser. Há tipos dois básicos, de reflexão e de interrupção de luz.

**Sensor de reflexão:** Um feixe luminoso atinge um disco com um furo ou marca de cor contrastante, que gira. O sensor recebe o feixe refletido, mas na passagem do furo a reflexão é interrompida (ou no caso de marca de cor clara a reflexão é maior), e é gerado um pulso pelo sensor.

**Sensor de interrupção de luz:** Usa também um disco com furo, e a fonte de luz e o sensor ficam em lados opostos. Na passagem pelo furo, o feixe atinge o sensor, gerando um pulso. A frequência destes pulsos é igual à velocidade, em rps, nos dois tipos. As vantagens destes sensores são o menor tamanho e custo, a maior durabilidade e a leitura à distância. É usado em sistemas de controle e tacômetros portáteis.

### IV - Sensores de vazão

Servem para medir fluxo de líquidos em tubulações.

#### Sensor de turbina

Se instalarmos uma turbina ou roda dentada uma tubulação, o fluxo fará esta girar, convertendo a vazão em velocidade, que pode ser medida como já visto.

#### Sensor por diferença de pressão



Quando uma tubulação se estrangula, pela redução de diâmetro, há uma queda de pressão, e a velocidade do fluido aumenta. Medindo-se a diferença de pressão através do desnível numa coluna de mercúrio, pode-se calcular a vazão.

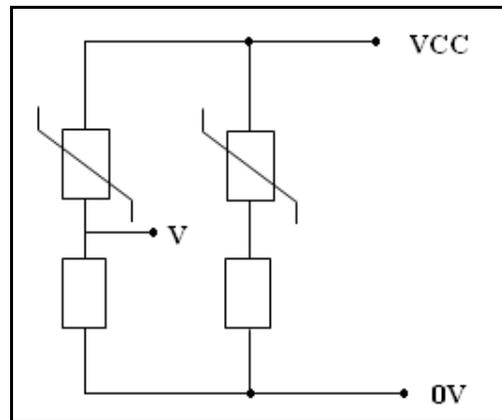
Este processo é usado em medidores de vazão em processos industriais, não automáticos.

### Sensor térmico

Quando um gás ou líquido flui sobre um corpo aquecido, retira calor deste, reduzindo a temperatura de forma proporcional à velocidade do fluido.

Se colocarmos um sensor de temperatura, como um NTC, aquecido a uma temperatura maior que a do fluido, podemos avaliar a vazão pela variação da resistência.

Para obtermos um sinal que compense as variações na temperatura do fluido, usamos um sensor em ponte de Wheatstone diferencial. Há dois NTC's em contato com o fluido, mas um deles protegido do fluxo, numa cavidade, o qual faz a compensação de temperatura. A diferença de tensão indica a vazão. Também são usadas na medição diferenças de temperatura.



### V - Sensores de posição

Em aplicações em que se necessita monitorar a posição de uma peça, como tornos automáticos industriais, ou contagem de produtos, ou verificar a posição de um braço de um robô ou o alinhamento de uma antena parabólica com um satélite, usam-se sensores de posição.

Os sensores de posição se dividem em: sensores de passagem, que indicam que foi atingida uma posição no movimento, os detectores fim de curso e contadores, e sensores de posição que indicam a posição atual de uma peça, usados em medição e posicionamento.

### Chaves fim de curso

São interruptores que são acionados pela própria peça monitorada. Há diversos tipos e tamanhos, conforme aplicação.

Em gavetas de toca-discos laser e videocassetes há chaves fim de curso que indicam que a gaveta está fechada, ou há fita. Estas informações são necessárias ao microprocessador, para o acionamento dos motores (e do LED laser). Também se usam com motores, na limitação do movimento, como no caso de um plotter ou impressora, ou abertura/fechamento de um registro.

### Sensores fim de curso magnético

Quando se aplica um campo magnético num condutor, as cargas elétrica se distribuem de modo que as positivas ficam de um lado e as negativa do lado oposto da borda do condutor. No caso de um semiconductor o efeito é mais pronunciado. Surge então uma



pequena tensão nas bordas do material. É o efeito Hall. Ele é a base do sensor magnético Hall. Atualmente são construídos sensores em circuito integrado na forma de um transistor. Este pode ser usado com o sensor de posição se usado junto a um pequeno ímã, colocado na peça. Quando esta é aproximada, o sensor atua, saturando o transistor Hall, fazendo a tensão entre coletor e o emissor próxima 0V.

### **Sensor com interruptor de lâminas**

Como o anterior, mas usando este interruptor acionado pelo ímã. Os dois últimos também se usam como sensores de posição angular. Uma aplicação interessante é o motor CC, sem escovas (*brush-less*), onde a comutação é eletrônica, feita quando o rotor, com ímãs, passa por um sensor Hall, que envia um sinal ao C.I., controlador, invertendo os pólos do motor. É usado em videocassetes, CDP's e unidades de disco de computadores, pela grande precisão e facilidade de controle da velocidade.

### **Sensores ópticos**

Há duas formas básicas de usar este: Sensor por reflexão, que detectam a posição pela luz que retorna a um fotosensor (fotodiodo ou foto transistor, LDR), emitida por um LED ou lâmpada e refletida pela peça, e sensor por interrupção, no qual a luz emitida é captada por um fotosensor alinhado, que percebe a presença da peça, quando esta intercepta o feixe. Este sensor é usado para contagem de peças, numa linha de produção, além das aplicações como fim de curso.

## **VI - Sensores de posição específica**

Como vimos anteriormente, estes indicam a posição atual de uma peça, num sistema posicionado, esta podendo ser linear ou angular.

### **Potenciômetro**

Quando se aplica uma tensão nos extremos de um potenciômetro linear, a tensão entre o extremo inferior e o centro (eixo) é proporcional á posição linear (potenciômetro deslizante) ou angular (rotativo).

Nos sistemas de controle usam-se potenciômetros especiais de alta linearidade e dimensões adequadas, de fio metálico em geral, com menor desgaste.



### **Sensores capacitivos**

A capacitância depende da área das placas  $A$ , da constante dielétrica do meio,  $K$ , e da distância entre as placas,  $d$ :

$$C = K \times \frac{A}{d}$$

Nos sensores capacitivos podemos variar qualquer destes fatores, sendo mais prático alterar a distância entre uma placa fixa e uma móvel, ou a área, fazendo uma placa móvel cilíndrica ou em semicírculo (ou várias paralelas, como no capacitor variável de sintonia) se mover em direção á outra fixa.



A variação na capacitância pode ser convertida num desvio na frequência de um oscilador, ou num desvio do equilíbrio (tensão) numa ponte feita com dois capacitores e dois resistores, alimentada com CA. O desvio de tensão será inversamente proporcional ao desvio na capacitância, neste caso, e usando um sensor por distância entre as placas, será proporcional ao deslocamento entre as placas.



Este método é usado em sensores de posição, força e pressão, havendo uma mola ou diafragma circular suspenso por borda elástica (como o cone de um alto-falante), suportando a placa móvel.

Há também o sensor por diferença de capacitância, que é um capacitor duplo, com duas placas fixas e uma móvel no centro. Também é usada a ponte para converter a diferença de capacitância em tensão.

### **Sensores indutivos**

Num indutor, a indutância depende do número de espiras, da largura do enrolamento, ou área da espira, do comprimento do enrolamento e da permeabilidade do núcleo.

Nos sensores práticos, se altera em geral a permeabilidade do núcleo, deslizando um núcleo ferromagnético para dentro ou fora do enrolamento, ou aproximando uma parte do enrolamento móvel de outra fixa.

Também se usam sensores que detectam variações na permeabilidade do meio, como nos detectores de metais. Esta variação é facilmente convertida em variação na frequência de um oscilador LC, e o desvio na frequência acusado por um demodulador FM.

Para uso em medida de posição é comum se usar a indutância mútua, ou coeficiente de acoplamento entre dois enrolamentos num transformador. Uma das bobinas se move em direção à outra, aumentando o acoplamento e o sinal CA, captado nesta outra.

Todos os sensores indutivos até aqui são lineares, o que limita o uso. Já LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), transformador diferencial linear variável, tem esta característica, dentro de uma faixa em torno de metade do comprimento do núcleo móvel, ferromagnético. Usa três enrolamentos fixos, alinhados, sendo aplicada a alimentação no central, os dois outros estão em série, mas os terminais invertidos, de modo que as tensões se subtraem. Quando o núcleo fica na posição central, a tensão induzida nos dois enrolamentos são iguais se cancelando. Ao deslocar o núcleo, o acoplamento entre o enrolamento central e cada um dos outros, varia, e as tensões não se cancelam, resultando uma tensão de saída cuja fase é diferente, conforme o núcleo penetre mais numa ou noutra bobina.

O LVDT é usado em posicionadores de precisão, desde frações de mm até dezenas de cm. É usado em máquinas ferramentas, CNC e robôs industriais.





### Sensores ópticos

Como já vimos são sensores que atuam por transmissão de luz. Além dos já vistos, há os *encoders* (codificadores), que determinam a posição através de um disco ou trilho marcado.

Se dividem em relativos, nos quais a posição é demarcada por contagem de pulsos transmitidos, acumulado ao longo do tempo, e absolutos, onde há um código digital gravado no disco ou trilho, lido por um conjunto de sensores ópticos (fonte de luz e sensor). Os códigos adotados são os de Gray, nos quais de um número para o seguinte só muda um bit, o que facilita a identificação e correção de erros.

A demarcação do disco ou trilho é feita através de furo ou ranhuras, ou por pintura num disco plástico transparente, que podem ser feitos através de técnicas fotolitográficas, permitindo grande precisão e dimensões micrométricas.

A fonte de luz é geralmente o LED, e o sensor um fotodiodo ou fototransistor. Estes sensores são muito precisos e práticos em sistemas digitais (encoder absoluto), e usa-se em robôs, máquinas-ferramentas, CNC e outros.



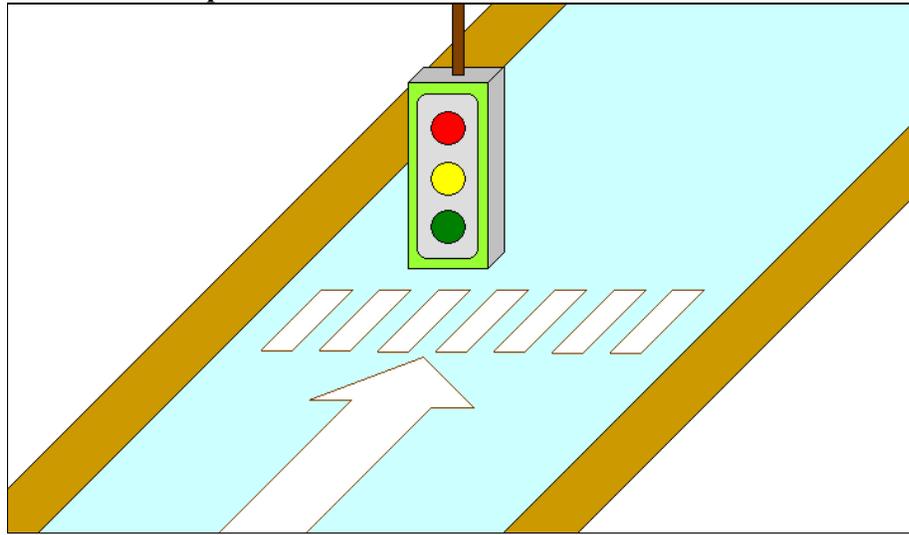
### Exercícios IX - Sensores

- 1) Qual a definição de sensores? O que são?
- 2) O que é Linearidade?
- 3) Cite tipos de Sensores de Temperatura:
- 4) Qual é o efeito físico utilizado pelo Termopar?
- 5) O que são sensores integrados cite um deles?
- 6) O que é um fotodiodo e como funciona?
- 7) O que é um fototransistor?
- 8) Para que servem os sensores de posição?
- 9) O que é um potenciômetro?



## PROJETOS DE COMANDOS E LABORATÓRIO

### 1. Semáforo simples com três lanternas



a) Elaborar um projeto de um semáforo simples de modo que o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:

B1 Liga semáforo.

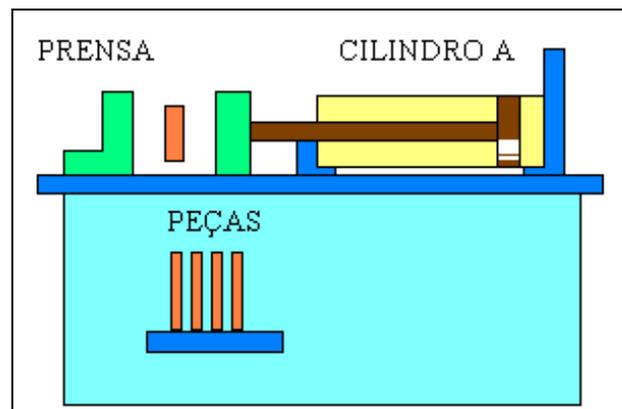
Verde 5 seg

Amarelo 1 seg

Vermelho 6 seg

B0 Desliga o semáforo

### 2. Prensa temporizada



a) Elaborar um projeto de uma prensa temporizada que obedeça aos seguintes passos:

B1 Distende o cilindro A.

Prensa a peça durante um tempo pré-programado.

Abre a prensa depois do tempo estipulado pelo operador.

b) Elaborar um projeto de uma prensa temporizada que obedeça aos seguintes passos:

B1 Distende o cilindro A.

Prensa a peça durante um tempo pré-programado.

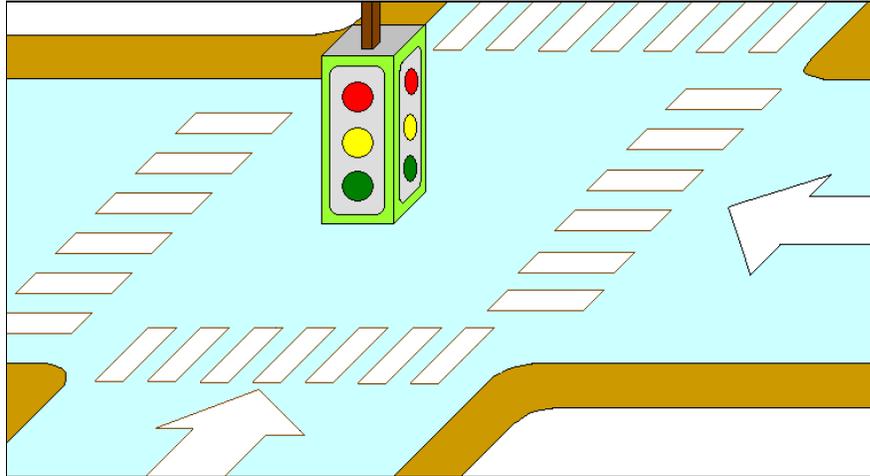
Abre a prensa depois do tempo estipulado pelo operador.

Fecha a prensa depois de um tempo pré-programado novamente.

B2 volta a prensa a qualquer tempo e desliga tudo.



### 3. Semáforo duplo com três lanternas



b) Elaborar um projeto de um semáforo duplo sentido de modo que o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:

B1 Liga semáforo.

SENTIDO 1

Verde 2 seg

Amarelo 1 seg

Vermelho 3 seg

SENTIDO 2

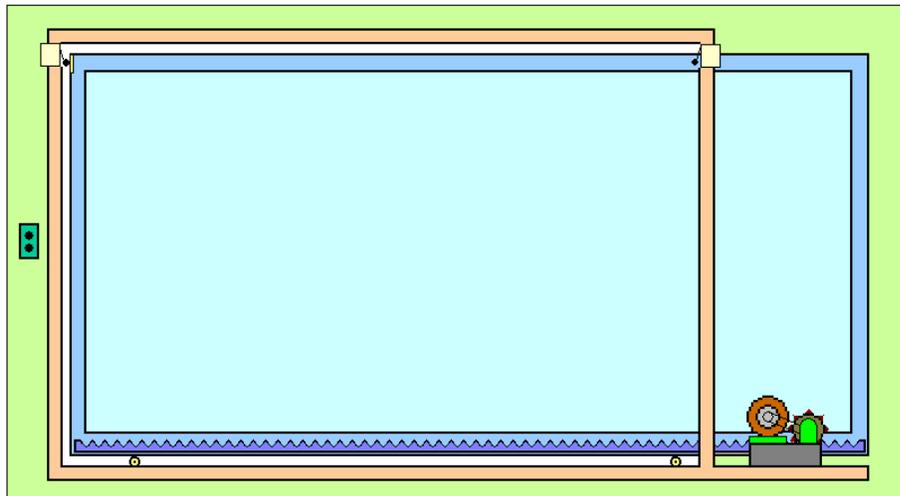
Verde 2 seg

Amarelo 1 seg

Vermelho 3 seg

B0 Desliga o semáforo

### 4. Portão de Garagem



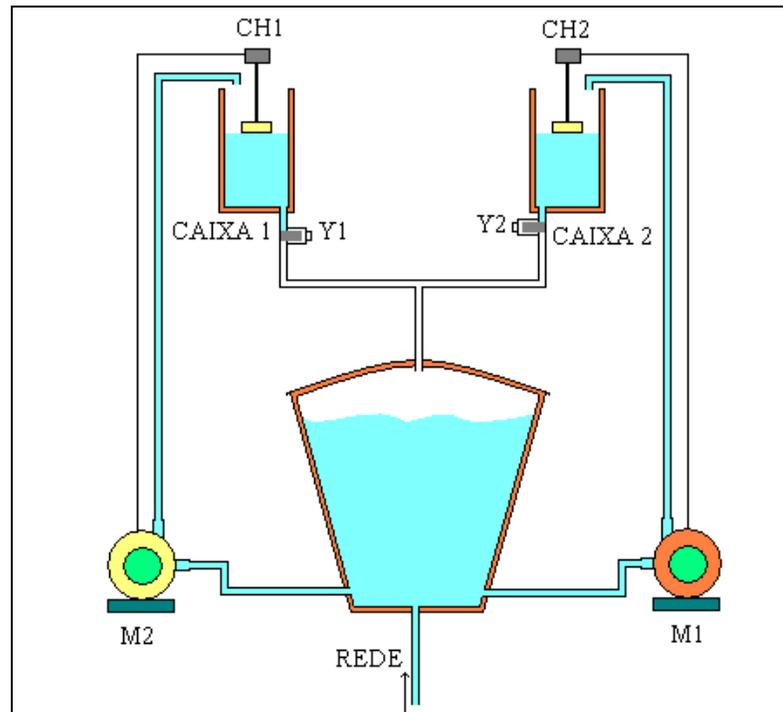
a) Elaborar um projeto de um circuito de comando de um portão de garagem para que ocorram os seguintes passos:

B1 Abre o portão.

B2 Fecha o portão.



## 5. Planta com caixas d'água



- a) Elaborar um projeto de um circuito de comando para uma caixa d'água de modo que ocorram os seguintes passos:

B1 aciona a planta

Liga Motobomba 1 – Enche caixa 1

Liga Motobomba 2 – Enche caixa 2

Esvazia caixa 1

Esvazia caixa 2

B2 desliga a planta

- b) Elaborar um projeto de um circuito de comando para uma caixa d'água de modo que ocorram os seguintes passos:

B1 aciona a planta

Liga Motobomba 1 – Enche caixa 1

Liga Motobomba 2 – Enche caixa 2

Esvazia caixa 1

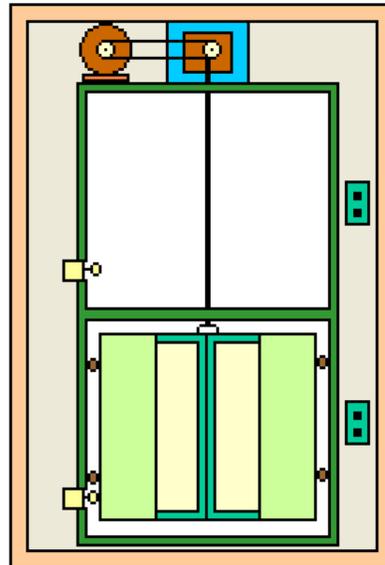
Esvazia caixa 2

Repete a sequência até que seja desligada

B2 desliga a planta

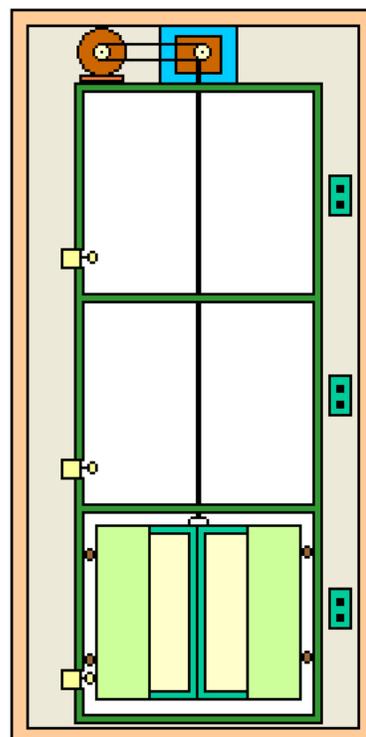


## 6. Elevador de carga dois andares



- c) Elaborar um projeto de um elevador de carga de dois andares: Desenvolver o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:
- B2 Chama o elevador no segundo piso.
  - BT Desce o elevador para o térreo.
  - B1 Chama o elevador no térreo.

## 7. Elevador de carga de três andares

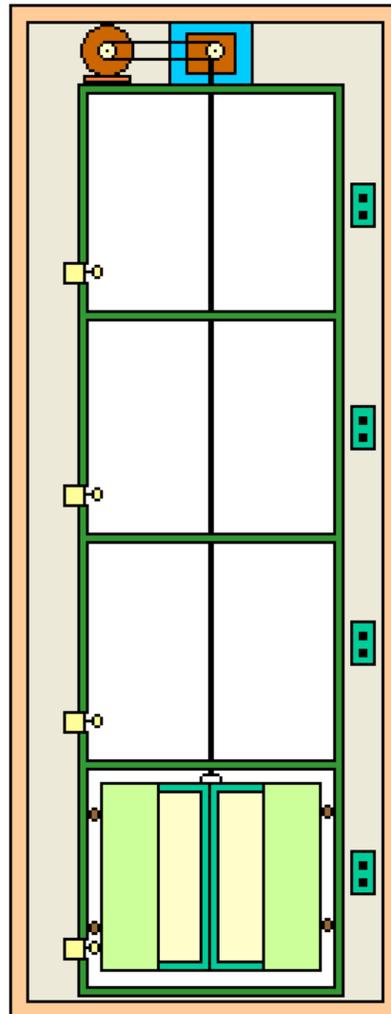




- d) Elaborar um projeto de um elevador de carga de três andares: Desenvolver o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:
- B3 Chama o elevador no terceiro piso.
  - B2 Chama o elevador no segundo piso.
  - B1 Chama o elevador no térreo.
  - BC Desce o elevador para o térreo de qualquer andar.

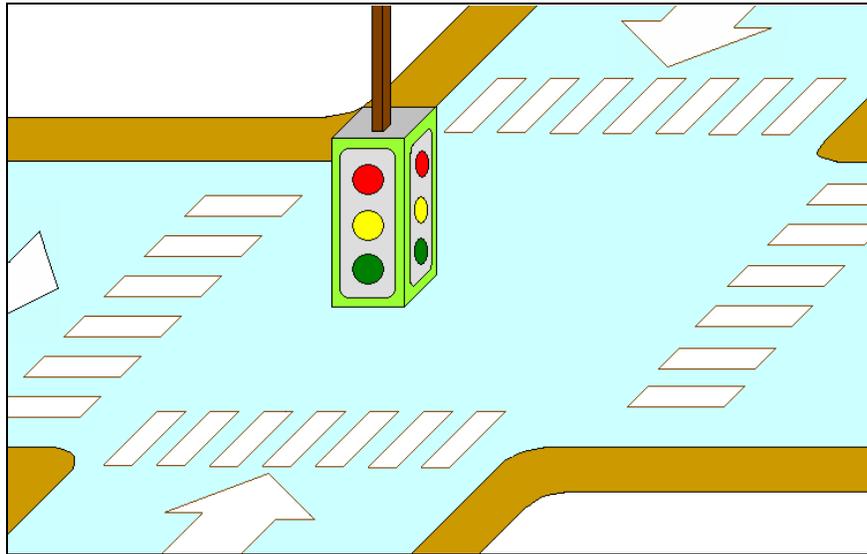
### 8. Elevador de carga quatro andares

- a) Elaborar um projeto de um elevador de carga de modo que o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:
- B4 Chama o elevador no quarto piso.
  - B3 Chama o elevador no terceiro piso.
  - B2 Chama o elevador no segundo piso.
  - B1 Chama o elevador no térreo.





## 9. Semáforo quatro tempos com três lanternas



a. Elaborar um projeto de um semáforo quatro tempos de modo que ocorram os seguintes passos:

B1 Liga semáforo.

SENTIDO 1

Verde 5 seg  
Amarelo 1 seg  
Vermelho 5

SENTIDO 2

Vermelho 5  
Amarelo 1 seg  
Amarelo 1 seg

SENTIDO 3

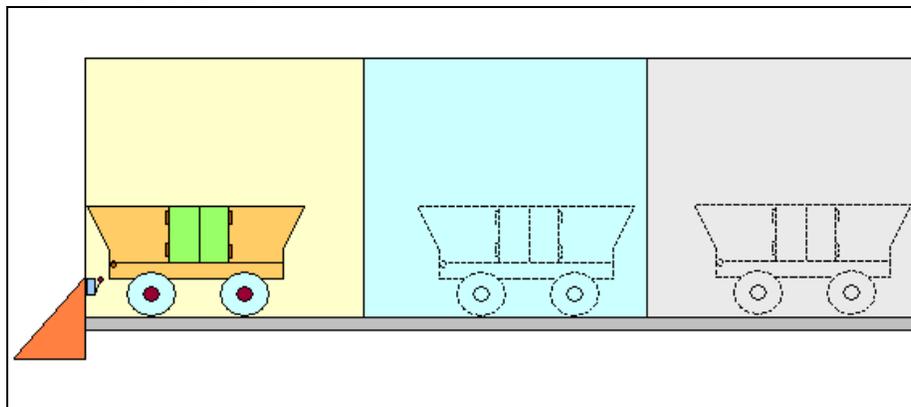
Verde 5 seg  
Amarelo 1 seg  
Vermelho 5

SENTIDO 4

Verde 5 seg  
Amarelo 1 seg  
Vermelho 5

B0 Desliga o semáforo

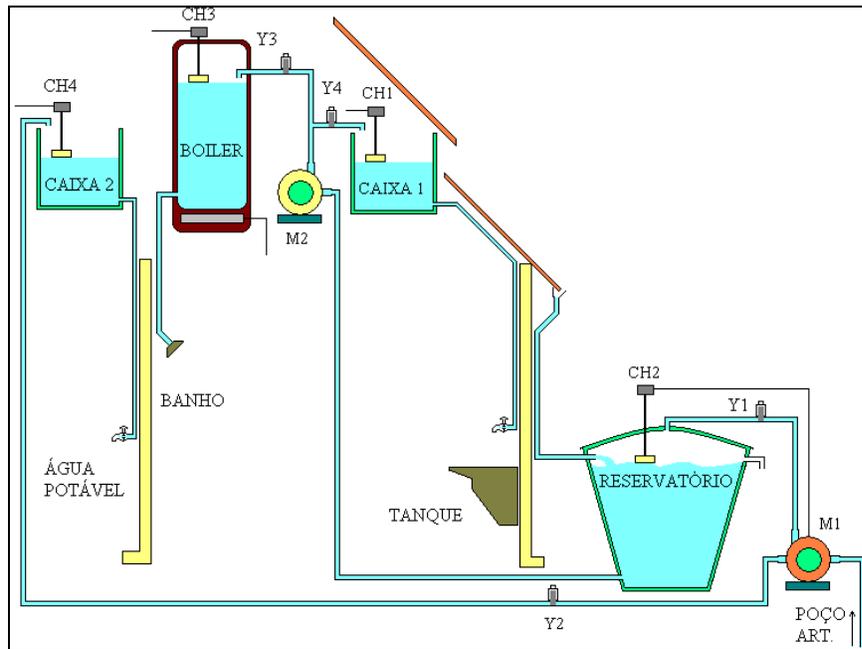
## 10. Carro recolhedor



a) Elaborar um projeto de um Carro recolhedor de modo que o carro possa ser chamado de três estações de trabalho diferentes, não se desloque com as portas abertas ou sem ser liberado pelo carregador.

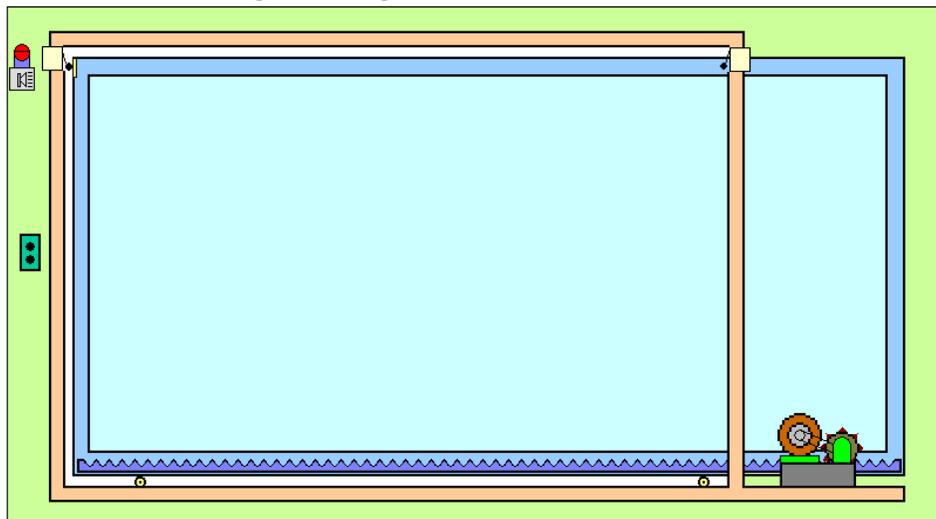


## 11. Projeto de abastecimento eletrohidráulico residencial



- a) Elaborar um projeto de um circuito de comando hidráulico residencial:  
B1 aciona a planta;  
Ocorra o bombeamento automático nos níveis dos reservatórios.  
B0 desliga a planta.

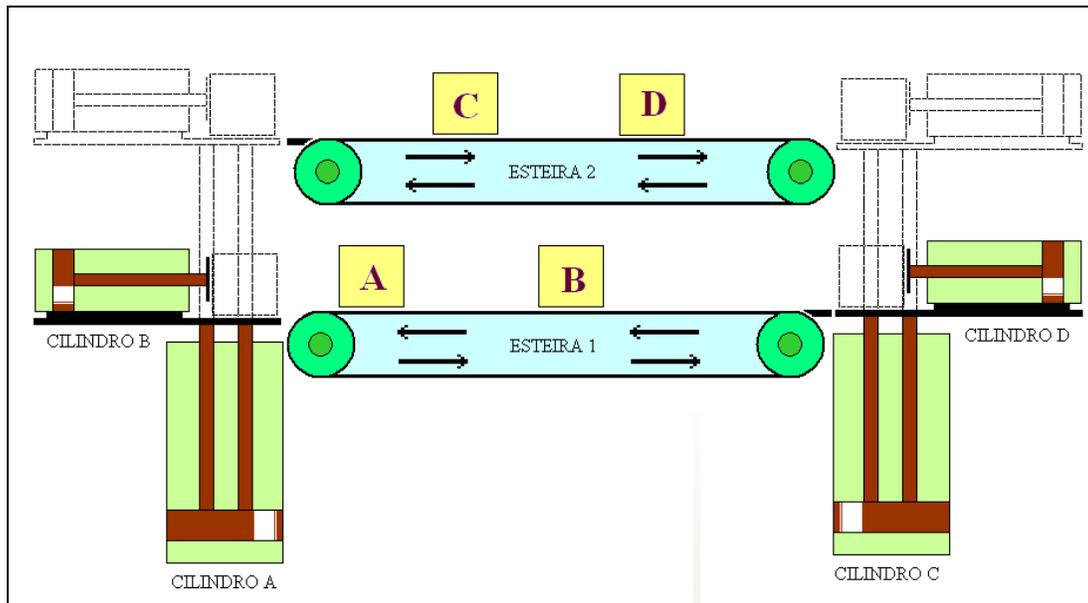
## 12. Portão de Garagem inteligente



- a) Elaborar um projeto de um portão de modo que o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:
- B1 Abre o portão.
  - B2 Fecha o portão.
  - Com o portão em movimento emite um sinal sonoro e de uma lâmpada sinalizadora. O portão deve parar instantaneamente quando em seu curso estiverem pessoas ou carros.
  - Isso evita que o portão seja fechado por outra pessoa quando ocorre a entrada ou saída de outros transeuntes.
  - O portão é acionado por controle.

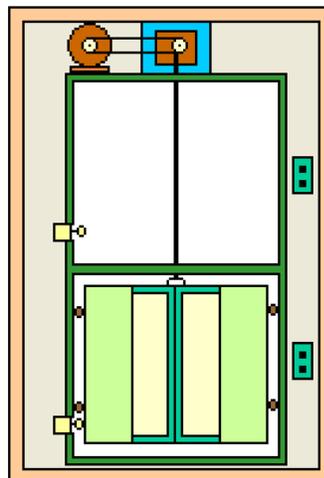


### 13. Projeto de duas esteiras



a) Desenvolver o circuito de comando para que todas as caixas dêem uma volta no sentido horário e estejam no mesmo ponto, considerar os dois motores da esteira e utilizar chaves fim de curso para substituir sensores que detectam as caixas:

### 14. Projeto para elevador com porta de dois andares



a) Elaborar um projeto de um elevador de carga de dois andares: Desenvolver o circuito de comando para que ocorram os seguintes passos:

B2 Chama o elevador no segundo piso.

Bt Desce o elevador para o térreo.

B1 Chama o elevador no térreo.

O elevador não pode movimentar-se sem que a porta esteja fechada em qualquer um dos andares.

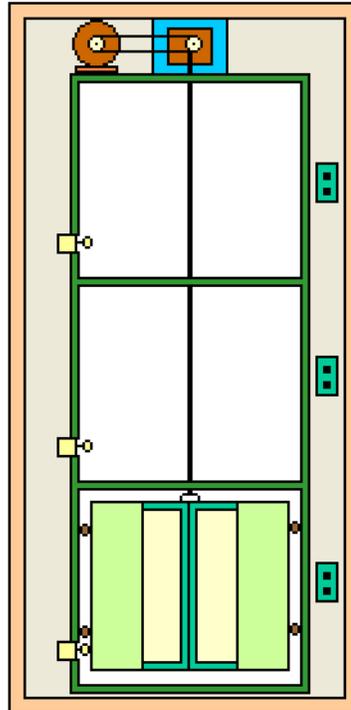
Um cilindro pneumático fecha e abre a porta quando o elevador estiver no andar que foi chamado.

Utilizar um botão com trava simbolizando o sensor impedindo do elevador de fechar a porta e se movimentar.

Obs. Colocar um cilindro pneumático simbolizando o elevador. A porta pode ser fechada quando é acionado o Bt.

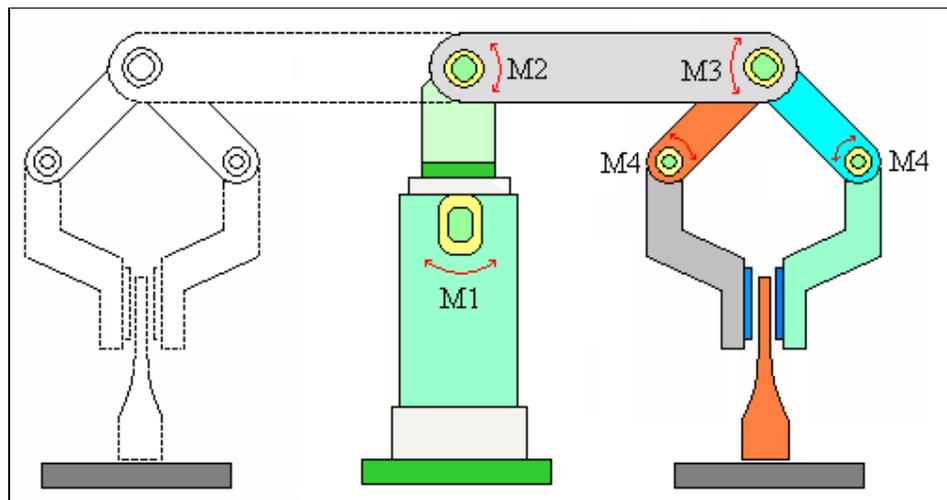


### 15. Projeto para elevador com porta de três andares



Mesmas orientações do exercício I considerando agora que o elevador possui três e quatro andares.

### 16 Projeto de braço robótico

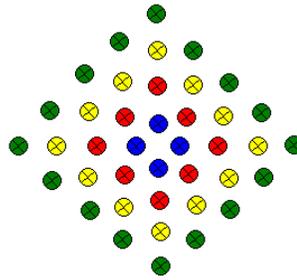


a) Elaborar um projeto de um braço robótico que reposiciona uma peça de aço incandescente: Desenvolver o circuito de comando para que ocorra a transposição da peça através de motores CC:



## EXERCÍCIOS DE COMANDOS

- 1) Faça o comando para acionar uma eletro-válvula hidráulica de 4/2 vias que aciona um cilindro de dupla ação de modo que o retorno seja automático, fazendo essa manobra durante 15 vezes de maneira automatizada, (avançando e retornando)
- 2) Faça o comando para uma prensa onde o operador deverá acionar dois botões elétricos simultaneamente. Assegurar que o operador não possa burlar o acionamento prendendo ou travando um dos botões. Fazer também o circuito hidráulico.
- 3) Faça o comando para uma prensa temporizada onde o operador deverá acionar dois botões simultaneamente até que a prensa feche. A prensa deve permanecer fechada durante dez segundos, e não fechar se o operador ou algo estiver no curso do cilindro ou espaço que será fechado (garantir a segurança evitando acidentes). Fazer também o circuito hidráulico.
- 4) Faça o comando para acionar uma resistência de aquecimento, de modo que após o operador pressionar a botoeira, a resistência permaneça 10 min ligada, desligando após este tempo. Controlar o número de vezes que o operador aciona a máquina para saber o número de acionamentos.
- 5) Faça o comando para uma partida com reversão trifásica de modo que ao pressionar a botoeira para reverter a rotação passe um tempo de 15s para que o motor efetue a reversão. Enquanto o motor reverte utilize um sinal luminoso intermitente para sinalizar a inversão.
- 6) Faça um comando para manobrar dois motores de modo que o primeiro pode ser ligado de forma independente. O segundo pode ser ligado apenas quando o primeiro for ligado, mas pode se manter ligado mesmo quando se desliga o primeiro motor.
- 7) Desenhe um circuito de comando para acionar um motor de indução monofásico, ligado em 220 V, de forma que o operador tenha que utilizar as duas mãos para realizar o acionamento.
- 8) Desenhe um circuito de comando para um motor de indução trifásico de forma que o operador possa realizar o ligamento por dois pontos independentes. Para evitar problemas com sobrecarga deve-se utilizar um relé térmico.
- 9) Faça o comando para uma partida com reversão monofásica de modo que ao pressionar a botoeira para reverter a rotação haja um tempo de 10s para que o motor efetue a reversão. Enquanto o motor reverte utilize um sinal sonoro para sinalizar a inversão.
- 10) Faça o comando de um cilindro eletropneumático que distenda deslocando uma peça, permaneça cinco segundos nesta posição, retorne e permaneça cinco segundos nesta posição. Automatize esta manobra de forma que o operador possa selecionar a quantidade de vezes desejado desta manobra.
- 11) Faça o comando de um sinalizador de modo aconteçam os seguintes efeitos:
  - Liguem as luzes verdes. (Primeira borda)
  - Liguem as luzes amarelas. (Segunda borda)
  - Liguem as luzes vermelhas. (Terceira borda)
  - Liguem as luzes azuis. (Centro)



- 12) Inverta a sequência de funcionamento do sinalizador fazendo-o de modo a repetir a manobra criando um efeito visual decrescente.
- 13) Faça o comando para uma partida Y/ $\Delta$  de dois motores de modo que ao ligar o primeiro desliga o segundo e vice-versa. Emitir um sinal contínuo de 24V que possa ser utilizado para emitir uma mensagem ao operador sobre qual dos dois motores está acionado.
- 14) Faça o comando de um motor trifásico com controle de velocidade (RPM) e reversão através de um sensor fim de curso.
- 15) Faça o comando para uma partida compensadora com reversão de modo que ao pressionar a botoeira para reverter a rotação haja um tempo de 10s para que o motor efetue a reversão.
- 16) Faça o comando para partida de motor Dahlander.
- 17) Faça o comando para partida de motor Dahlander com reversão.
- 18) Faça o comando de partida de um motor trifásico de indução para proteção contra falta de fase. Utilizar o relé  .
- 19) Faça o comando de partida de um motor monofásico de modo que eu possa ligar o motor em 220 e 110 Volts.
- 20) Faça o comando de partida de dois motores monofásicos de modo que ligue M1 em um sentido e M2 em outro. Uma botoeira inverte o sentido dos dois e outra volta ao sentido original.



## PARTIDA ELETRÔNICA (SOFT STARTER E INVERSOR DE FREQUÊNCIA)

Com o advento da eletrônica de potência, torna-se cada vez mais economicamente viável e prático o uso de chaves eletrônicas de partida de motores. A seguir temos a descrição das chaves eletrônicas de partida utilizadas: os soft-starters e inversores de frequência.

### Soft-Starters

As chaves de partida soft-starters são destinadas ao comando de motores de corrente contínua e alternada, assegurando a aceleração e desaceleração progressiva e permitindo uma adaptação a velocidade às condições de operação.

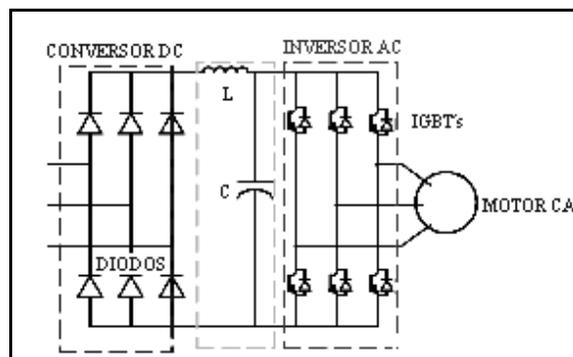
O funcionamento das soft-starters está baseada na utilização de SCR's (tiristores), ou melhor, de uma ponte tiristorizada na configuração antiparalelo, que é comandada por uma placa eletrônica de controle, afim de ajustar a tensão de saída conforme programação feita pelo usuário.

As principais funções da soft-starter é controle nas rampas de aceleração e desaceleração, limitação da corrente ajustável, conjugado na partida, frenagem por injeção de corrente contínua, proteção do acionamento por sobrecarga, proteção do motor contra aquecimentos devido a sobrecargas ou a partidas demasiadamente freqüentes, detecção de desequilíbrio ou falta de fases e de defeitos nos tiristores.

### Inversores de frequência

O avanço da Eletrônica de Potência permitiu o desenvolvimento de conversores de frequência com dispositivos de estado sólido, inicialmente com tiristores e depois também utilizando os transistores, mais especificamente IGBT, onde sua denominação é transistor bipolar de porta isolada. Os cicloconversores antecederam de certa forma os atuais inversores, eles eram utilizados para converter 60Hz da rede em uma frequência mais baixa, era uma conversão CA-CA, já os inversores utilizam a conversão CA-CC e por fim em CA novamente. Os inversores podem ser classificados pela sua topologia, esta por sua vez é dividida em três partes, sendo a primeira para o tipo de retificação de entrada, a segunda para o tipo de controle do circuito intermediário e a terceira para a saída. Em uma segunda parte iremos comentar sobre estas topologias e suas siglas como CSI, PAM, PWM/VVC e etc.

Independente da topologia utilizada, temos agora uma tensão CC em nosso circuito intermediário e deveremos transformar em tensão CA para acionar o motor AC. Na figura abaixo apresentamos um circuito em blocos de um inversor com a topologia tipo PWM, esta topologia é a mais utilizada nos inversores de frequência atuais.



Na figura acima vemos a cor azul o módulo simbolizando de entrada, de cor vermelha o módulo de saída e de cor verde o circuito intermediário, como a tensão é fixa em nosso diagrama, deveremos então chavear os transistores de saída pela modulação de largura de



pulso para obtermos uma forma de tensão CA sintetizada e de frequência variável, com isto estamos agora apto a variar a velocidade do motor. A variabilidade da frequência é muito grande, atualmente seu valor está entre 0 e 400 Hz, esta pode ser de forma escalar ou vetorial, como a escalar é mais comum, vamos comentar sobre ela. A escalar como o próprio nome sugere, é uma relação direta entre frequência e tensão.

### Gráfico Escalar

No gráfico abaixo mostramos de uma forma mais sucinta esta descrição.

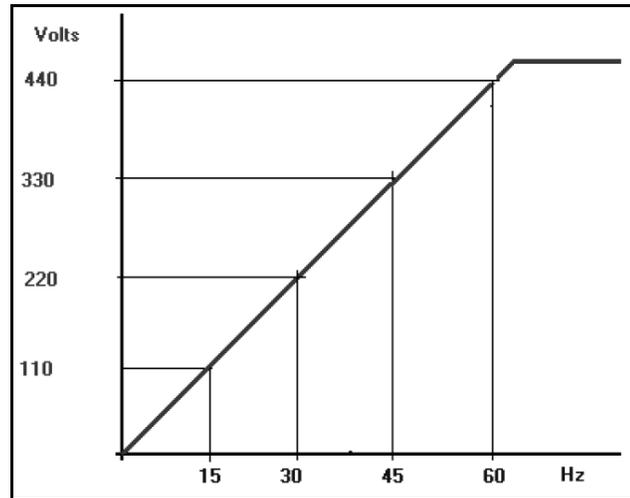
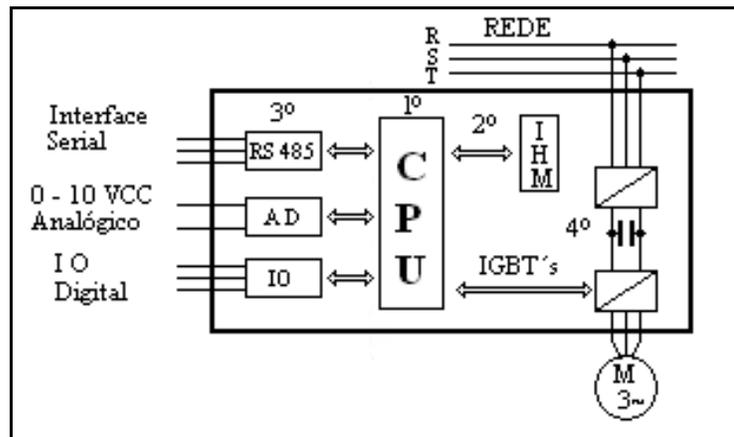


Gráfico escalar

### Blocos componentes do inversor



#### 1º bloco - CPU

CPU- A CPU (unidade central de processamento) de um inversor de frequência pode ser formada por um micro processador ou por um micro controlador (PLC). Isso depende apenas do fabricante. De qualquer forma, é nesse bloco que todas as informações (parâmetros e dados do sistema) estão armazenadas, visto que também uma memória está integrada a esse conjunto. A CPU não apenas armazena os dados e parâmetros relativos aos equipamentos, como também executa a função mais vital para o funcionamento do inversor:

Geração dos pulsos de disparo, através de uma lógica de controle coerente, para os IGBT's.



## 2º Bloco - IHM

O segundo bloco é o IHM (interface Homem máquina). É através desse dispositivo que podemos visualizar o que está ocorrendo no inversor (display), e parametrizá-lo de acordo com a aplicação (teclas).

## 3º Bloco - Interfaces

A maioria dos inversores pode ser comandada através de dois tipos de sinais: Analógicos ou digitais. Normalmente, quando queremos controlar a velocidade de rotação de um motor AC no inversor, utilizamos uma tensão analógica de comando. Essa tensão se situa entre 0 á 10 Vcc. A velocidade de rotação (RPM) será proporcional ao seu valor, por exemplo:

1 Vcc = 1000 RPM, 2Vcc = 2000 RPM.

Para inverter o sentido de rotação basta inverter a polaridade do sinal analógico (de 0 á 10 Vcc sentido horário, e -10 á 0 Vcc sentido anti-horário).

Esse é sistema mais utilizados em máquinas-ferramenta automáticas, sendo que a tensão analógica de controle é proveniente do controle numérico computadorizado (CNC). Além da interface analógica, o inversor possui entradas digitais. Através de um parâmetro de programação, podemos selecionar qual entrada é válida (Analógica ou digital).

## 4º Bloco – Etapa de potência

A etapa de potência é constituída por um circuito retificador, que alimenta (através de um circuito intermediário chamado “barramento DC”), o circuito de saída inversor (módulo IGBT).

### Dimensionamento:

Para a escolha do inversor devemos saber modelo tipo e potência do inversor de acordo com a necessidade de utilização do mesmo.

### 1º Potência do Inversor:

Para calcularmos a potência do inversor, temos que saber qual o motor (e qual carga) ele acionará. Normalmente a potência dos motores é dada em CV ou HP. Basta fazer a conversão em watts, por exemplo:

Rede elétrica = 380Vca

Motor = 1 HP

Aplicação = Exaustor industrial

Cálculos:

1HP = 746W. Portanto, como a rede elétrica é de 380Vca e os inversores (normalmente) possuem fator de potência igual a 0,8 ( $\cos\phi = 0,80$ ), teremos:

CI = Corrente do inversor

CI = Potência em Watts

Tensão na rede  $\times \cos\phi$

CI =  $\frac{746 \text{ Watts}}{380 \times 0,8} = 2,45 \text{ A}$

$380 \times 0,8$

Tensão de entrada = 380 Vca

Tensão de entrada = 380 Vca (arredondando 2,45 para cima)

## 2º Tipos de inversor

A maioria dos inversores utilizados são do tipo escalar. Só utilizamos o tipo vetorial em duas ocasiões: Extrema precisão de rotação, torque elevado para rotação baixa ou zero (guindastes, pontes rolantes, elevadores, etc).



### 3º Modelo e Fabricante

Para escolher o modelo, basta consultarmos os catálogos dos fabricantes, ou procurar um que atenda as seguintes características mínimas como no caso do exemplo acima.

Tensão de entrada = 380 Vca

Tensão de entrada = 380 Vca

Tipo = escalar

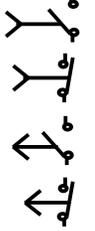
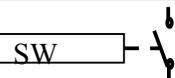
Quanto ao fabricante o preço deve determinar a escolha. Os mais encontrados nas indústrias são : Siemens, Weg, YasKawa e GE (Fanuc).

#### *Tipos de Inversores:*

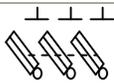
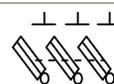
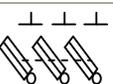
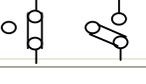
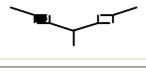
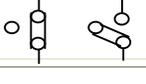
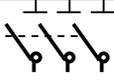
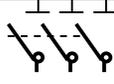
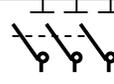
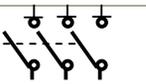
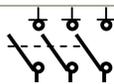
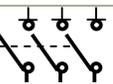
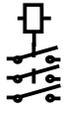
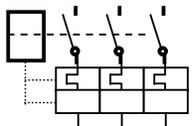
- Inversor monofásico com terminal central
- Inversor monofásico em ponte
- Inversor trifásico em ponte
- Inversor com fonte de corrente constante
- Inversor a transistor de potência



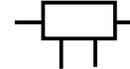
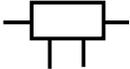
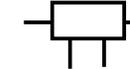
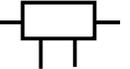
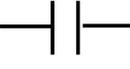
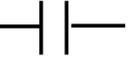
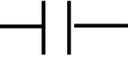
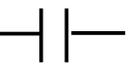
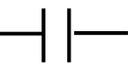
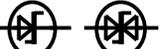
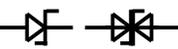
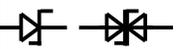
### SIMBOLOGIA ELÉTRICA

Nº	Significado	ABNT	DIN	ANSI	IEC
61	Elemento de comando c/ 1 rele de sobrecarga				
62	Elemento de comando c/ 1 rele de curto-circuito				
Contatos e peças de contatos, com comandos diversos					
63	Fechador (normalmente aberto)				
64	Abridor (normalmente fechado)				
65	Comutador				
66	Comutador sem interrupção				
67	Temporizado: No fechamento Na abertura No fechamento				
68	Fechador de comando manual				
69	Abridor por comando excêntrico				
70	Fechador com comando por bobina				
71	Fechador com comando por mecanismo				
72	Abridor com comando por pressão				

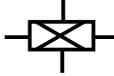
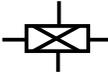


Nº	Significado	ABNT	DIN	ANSI	IEC
73	Fechador com comando por temperatura				
Dispositivo de comando e de proteção					
74	Tomada e plug				
75	Fusível				
76	Fusível com indicação de lado ligado à rede				
77	Seccionador – Fusível tripolar				
78	Lâmina ou barra de conexão reversora				
Nº	Significado	ABNT	DIN	ANSI	IEC
79	Seccionador tripolar				
80	Interruptor tripolar (sob carga)				
81	Disjuntor				
82	Seccionador-disjuntor				
83	Contator				
84	Disjuntor tripolar com reles térmicos, eletromagnéticos e contatos auxiliares				



Nº	Significado	ABNT	DIN	ANSI	IEC
Componentes de circuitos					
85	Resistor				
86	Resistor com derivações				
87	Indutor, enrolamento, bobina				
88	Indutor com derivações				
89	Capacitor				
90	Capacitor com derivações				
91	Capacitor eletrolítico				
92	Imã permanente				
93	Diodo semicondutor				
94	Diodo zener, uni e bidirecional				
95	Foto resistor				
96	Foto diodo				
97	Foto-elemento				



Nº	Significado	ABNT	DIN	ANSI	IEC
98	Gerador Hall				
99	Centelhador				
100	Para raios				
101	Acumulador, bateria e pilhas				
102	Mufra terminal				
103	Mufra de junção				
104	Mufra com derivação				
105	Mufra com dupla derivação				
106	Termopar				

### Lista de Normas:

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, atua em todas as áreas técnicas do país. Os textos das normas são adotados pelos órgãos governamentais (federais, estaduais e municipais) e pelas firmas. Compõe-se de normas: NB, TB (terminologia), SB (simbologia), EB (especificação), MB (método de ensaio) e PB (padronização)

ANSI – American National Standards Institute, Instituto de normas dos Estados Unidos que publica recomendações e normas em praticamente todas as áreas técnicas. Na área dos dispositivos de comando de baixa tensão, tem adotado frequentemente especificações da UL e da NEMA.

BS – British Standards, Normas técnicas da Grã Bretanha, já em grande parte adaptadas à IEC

CEE – International Commission on Rules of the Approval of Electrical Equipment. Especificações internacionais destinadas sobretudo ao material de instalação.

CEMA – Canadian Electric Manufactures Association, associação canadense dos fabricantes de material elétrico.



- CSA – Canadian Standards Association, Entidade canadense de normas técnicas que publica as normas e concede certificado de conformidade.
- DEMKO – Danmarks Elektriske Materielkontrol, Autoridade Dinamarquesa de controle dos materiais elétricos e que publica normas e concede certificados de conformidade.
- DIN – Deutsche Industrie Normen, Associação de normas industriais alemãs. Suas publicações são devidamente coordenadas com as da VDE.
- IEC – International Electrotechnical Commission, Comissão formada por representantes de todos os países industrializados. As recomendações do IEC, publicadas por esta comissão, são normalmente adotadas na íntegra pelos diversos países ou, em outros casos, está se processando uma aproximação das normas nacionais ao texto destas internacionais.
- KEMA – Kenning van Elektrotechnische Materialen, Associação holandesa de ensaio de materiais elétricos.
- NEMA – National Electrical Manufacturers Association, Associação americana dos fabricantes de materiais elétricos.
- ÖVE – Österreichischer Verband für Elektrotechnik, associação austriaca de normas técnicas, cujas determinações geralmente coincidem com as do IEC e VDE.
- SEM – Svensk Standard, Associação sueca de normas técnicas.
- UL – Underwriters’ Laboratories Inc., Entidade nacional de ensaio da área de proteção contra incêndio, nos Estados Unidos, que entre outras coisas, realiza ensaios de equipamentos elétricos e publica as suas prescrições.
- UTE – Union Technique de l’électricité, Associação francesa de normas técnicas.
- VDE – Verband Deutscher Elektrotechniker, Associação de normas alemãs que publica normas e recomendações da área de eletricidade.



## NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

Publicação D.O.U.

Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 06/07/78

Alterações/Atualizações D.O.U.

Portaria SSMT n.º 12, de 06 de junho de 1983 14/06/83

Portaria GM n.º 598, de 07 de dezembro de 2004 08/09/04

Portaria GM n.º 484, de 09 de novembro de 2005 10/11/05

(Texto dado pela Portaria GM n.º 598, de 07 de dezembro de 2004)

### 10.1 - OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

10.1.1 Esta Norma Regulamentadora – NR estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

10.1.2 Esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

### 10.2 - MEDIDAS DE CONTROLE

10.2.1 Em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho.

10.2.2 As medidas de controle adotadas devem integrar-se às demais iniciativas da empresa, no âmbito da preservação da segurança, da saúde e do meio ambiente do trabalho.

10.2.3 As empresas estão obrigadas a manter esquemas unifilares atualizados das instalações elétricas dos seus estabelecimentos com as especificações do sistema de aterramento e demais equipamentos e dispositivos de proteção.

10.2.4 Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:

- a) conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas a esta NR e descrição das medidas de controle existentes;
- b) documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;
- c) especificação dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina esta NR;
- d) documentação comprobatória da qualificação, habilitação, capacitação, autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados;
- e) resultados dos testes de isolamento elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva;
- f) certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;
- g) relatório técnico das inspeções atualizadas com recomendações, cronogramas de adequações, contemplando as alíneas de “a” a “f”.



10.2.5 As empresas que operam em instalações ou equipamentos integrantes do sistema elétrico de potência devem constituir prontuário com o conteúdo do item 10.2.4 e acrescentar ao prontuário os documentos a seguir listados:

- a) descrição dos procedimentos para emergências;
- b) certificações dos equipamentos de proteção coletiva e individual;

10.2.5.1 As empresas que realizam trabalhos em proximidade do Sistema Elétrico de Potência devem constituir prontuário contemplando as alíneas “a”, “c”, “d” e “e”, do item 10.2.4 e alíneas “a” e “b” do item 10.2.5.

10.2.6 O Prontuário de Instalações Elétricas deve ser organizado e mantido atualizado pelo empregador ou pessoa formalmente designada pela empresa, devendo permanecer à disposição dos trabalhadores envolvidos nas instalações e serviços em eletricidade.

10.2.7 Os documentos técnicos previstos no Prontuário de Instalações Elétricas devem ser elaborados por profissional legalmente habilitado.

### 10.2.8 - MEDIDAS DE PROTEÇÃO COLETIVA

10.2.8.1 Em todos os serviços executados em instalações elétricas devem ser previstas e adotadas, prioritariamente, medidas de proteção coletiva aplicáveis, mediante procedimentos, às atividades a serem desenvolvidas, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores.

10.2.8.2 As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a desenergização elétrica conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança.

10.2.8.2.1 Na impossibilidade de implementação do estabelecido no subitem 10.2.8.2., devem ser utilizadas outras medidas de proteção coletiva, tais como: isolamento das partes vivas, obstáculos, barreiras, sinalização, sistema de seccionamento automático de alimentação, bloqueio do religamento automático.

10.2.8.3 O aterramento das instalações elétricas deve ser executado conforme regulamentação estabelecida pelos órgãos competentes e, na ausência desta, deve atender às Normas Internacionais vigentes.

### 10.2.9 - MEDIDAS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

10.2.9.1 Nos trabalhos em instalações elétricas, quando as medidas de proteção coletiva forem tecnicamente inviáveis ou insuficientes para controlar os riscos, devem ser adotados equipamentos de proteção individual específicos e adequados às atividades desenvolvidas, em atendimento ao disposto na NR 6.

10.2.9.2 As vestimentas de trabalho devem ser adequadas às atividades, devendo contemplar a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas.

10.2.9.3 É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas ou em suas proximidades.

### 10.3 - SEGURANÇA EM PROJETOS

10.3.1 É obrigatório que os projetos de instalações elétricas especifiquem dispositivos de desligamento de circuitos que possuam recursos para impedimento de reenergização, para sinalização de advertência com indicação da condição operativa.

10.3.2 O projeto elétrico, na medida do possível, deve prever a instalação de dispositivo de seccionamento de ação simultânea, que permita a aplicação de impedimento de reenergização do circuito.

10.3.3 O projeto de instalações elétricas deve considerar o espaço seguro, quanto ao dimensionamento e a localização de seus componentes e as influências externas, quando da operação e da realização de serviços de construção e manutenção.



10.3.3.1 Os circuitos elétricos com finalidades diferentes, tais como: comunicação, sinalização, controle e tração elétrica devem ser identificados e instalados separadamente, salvo quando o desenvolvimento tecnológico permitir compartilhamento, respeitadas as definições de projetos.

10.3.4 O projeto deve definir a configuração do esquema de aterramento, a obrigatoriedade ou não da interligação entre o condutor neutro e o de proteção e a conexão à terra das partes condutoras não destinadas à condução da eletricidade.

10.3.5 Sempre que for tecnicamente viável e necessário, devem ser projetados dispositivos de seccionamento que incorporem recursos fixos de equipotencialização e aterramento do circuito seccionado.

10.3.6 Todo projeto deve prever condições para a adoção de aterramento temporário.

10.3.7 O projeto das instalações elétricas deve ficar à disposição dos trabalhadores autorizados, das autoridades competentes e de outras pessoas autorizadas pela empresa e deve ser mantido atualizado.

10.3.8 O projeto elétrico deve atender ao que dispõem as Normas Regulamentadoras de Saúde e Segurança no Trabalho, as regulamentações técnicas oficiais estabelecidas, e ser assinado por profissional legalmente habilitado.

10.3.9 O memorial descritivo do projeto deve conter, no mínimo, os seguintes itens de segurança:

- a) especificação das características relativas à proteção contra choques elétricos, queimaduras e outros riscos adicionais;
- b) indicação de posição dos dispositivos de manobra dos circuitos elétricos: (Verde – “D”, desligado e Vermelho - “L”, ligado);
- c) descrição do sistema de identificação de circuitos elétricos e equipamentos, incluindo dispositivos de manobra, de controle, de proteção, de intertravamento, dos condutores e os próprios equipamentos e estruturas, definindo como tais indicações devem ser aplicadas fisicamente nos componentes das instalações;
- d) recomendações de restrições e advertências quanto ao acesso de pessoas aos componentes das instalações;
- e) precauções aplicáveis em face das influências externas;
- f) o princípio funcional dos dispositivos de proteção, constantes do projeto, destinados à segurança das pessoas;
- g) descrição da compatibilidade dos dispositivos de proteção com a instalação elétrica.

10.3.10 Os projetos devem assegurar que as instalações proporcionem aos trabalhadores iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, de acordo com a NR 17 – Ergonomia.

#### 10.4 - SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO, MONTAGEM, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

10.4.1 As instalações elétricas devem ser construídas, montadas, operadas, reformadas, ampliadas, reparadas e inspecionadas de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores e dos usuários, e serem supervisionadas por profissional autorizado, conforme dispõe esta NR.

10.4.2 Nos trabalhos e nas atividades referidas devem ser adotadas medidas preventivas destinadas ao controle dos riscos adicionais, especialmente quanto a altura, confinamento, campos elétricos e magnéticos, explosividade, umidade, poeira, fauna e flora e outros agravantes, adotando-se a sinalização de segurança.

10.4.3 Nos locais de trabalho só podem ser utilizados equipamentos, dispositivos e ferramentas elétricas compatíveis com a instalação elétrica existente, preservando-se as características de proteção, respeitadas as recomendações do fabricante e as influências externas.



10.4.3.1 Os equipamentos, dispositivos e ferramentas que possuam isolamento elétrico devem estar adequados às tensões envolvidas, e serem inspecionados e testados de acordo com as regulamentações existentes ou recomendações dos fabricantes.

10.4.4 As instalações elétricas devem ser mantidas em condições seguras de funcionamento e seus sistemas de proteção devem ser inspecionados e controlados periodicamente, de acordo com as regulamentações existentes e definições de projetos.

10.4.4.1 Os locais de serviços elétricos, compartimentos e invólucros de equipamentos e instalações elétricas são exclusivos para essa finalidade, sendo expressamente proibido utilizá-los para armazenamento ou guarda de quaisquer objetos.

10.4.5 Para atividades em instalações elétricas deve ser garantida ao trabalhador iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, de acordo com a NR 17 – Ergonomia, de forma a permitir que ele disponha dos membros superiores livres para a realização das tarefas.

10.4.6 Os ensaios e testes elétricos laboratoriais e de campo ou comissionamento de instalações elétricas devem atender à regulamentação estabelecida nos itens 10.6 e 10.7, e somente podem ser realizados por trabalhadores que atendam às condições de qualificação, habilitação, capacitação e autorização estabelecidas nesta NR.

## 10.5 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DESENERGIZADAS

10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a seqüência abaixo:

- a) seccionamento;
- b) impedimento de reenergização;
- c) constatação da ausência de tensão;
- d) instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada (Anexo I);
- f) instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

10.5.2 O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a seqüência de procedimentos abaixo:

- a) retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos;
- b) retirada da zona controlada de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização;
- c) remoção do aterramento temporário, da equipotencialização e das proteções adicionais;
- d) remoção da sinalização de impedimento de reenergização;
- e) destravamento, se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento.

10.5.3 As medidas constantes das alíneas apresentadas nos itens 10.5.1 e 10.5.2 podem ser alteradas, substituídas, ampliadas ou eliminadas, em função das peculiaridades de cada situação, por profissional legalmente habilitado, autorizado e mediante justificativa técnica previamente formalizada, desde que seja mantido o mesmo nível de segurança originalmente preconizado.

10.5.4 Os serviços a serem executados em instalações elétricas desligadas, mas com possibilidade de energização, por qualquer meio ou razão, devem atender ao que estabelece o disposto no item 10.6.

## 10.6 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS ENERGIZADAS

10.6.1 As intervenções em instalações elétricas com tensão igual ou superior a 50 Volts em corrente alternada ou superior a 120 Volts em corrente contínua somente podem ser realizadas por trabalhadores que atendam ao que estabelece o item 10.8 desta Norma.

10.6.1.1 Os trabalhadores de que trata o item anterior devem receber treinamento de segurança para trabalhos com instalações elétricas energizadas, com currículo mínimo, carga horária e demais determinações estabelecidas no Anexo II desta NR.



10.6.1.2 As operações elementares como ligar e desligar circuitos elétricos, realizadas em baixa tensão, com materiais e equipamentos elétricos em perfeito estado de conservação, adequados para operação, podem ser realizadas por qualquer pessoa não advertida.

10.6.2 Os trabalhos que exigem o ingresso na zona controlada devem ser realizados mediante procedimentos específicos respeitando as distâncias previstas no Anexo I.

10.6.3 Os serviços em instalações energizadas, ou em suas proximidades devem ser suspensos de imediato na iminência de ocorrência que possa colocar os trabalhadores em perigo.

10.6.4 Sempre que inovações tecnológicas forem implementadas ou para a entrada em operações de novas instalações ou equipamentos elétricos devem ser previamente elaboradas análises de risco, desenvolvidas com circuitos desenergizados, e respectivos procedimentos de trabalho.

10.6.5 O responsável pela execução do serviço deve suspender as atividades quando verificar situação ou condição de risco não prevista, cuja eliminação ou neutralização imediata não seja possível.

## 10.7 - TRABALHOS ENVOLVENDO ALTA TENSÃO (AT)

10.7.1 Os trabalhadores que intervenham em instalações elétricas energizadas com alta tensão, que exerçam suas atividades dentro dos limites estabelecidos como zonas controladas e de risco, conforme Anexo I, devem atender ao disposto no item 10.8 desta NR.

10.7.2 Os trabalhadores de que trata o item 10.7.1 devem receber treinamento de segurança, específico em segurança no Sistema Elétrico de Potência (SEP) e em suas proximidades, com currículo mínimo, carga horária e demais determinações estabelecidas no Anexo II desta NR.

10.7.3 Os serviços em instalações elétricas energizadas em AT, bem como aqueles executados no Sistema Elétrico de Potência – SEP, não podem ser realizados individualmente.

10.7.4 Todo trabalho em instalações elétricas energizadas em AT, bem como aquelas que interajam com o SEP, somente pode ser realizado mediante ordem de serviço específica para data e local, assinada por superior responsável pela área.

10.7.5 Antes de iniciar trabalhos em circuitos energizados em AT, o superior imediato e a equipe, responsáveis pela execução do serviço, devem realizar uma avaliação prévia, estudar e planejar as atividades e ações a serem desenvolvidas de forma a atender os princípios técnicos básicos e as melhores técnicas de segurança em eletricidade aplicáveis ao serviço.

10.7.6 Os serviços em instalações elétricas energizadas em AT somente podem ser realizados quando houver procedimentos específicos, detalhados e assinados por profissional autorizado.

10.7.7 A intervenção em instalações elétricas energizadas em AT dentro dos limites estabelecidos como zona de risco, conforme Anexo I desta NR, somente pode ser realizada mediante a desativação, também conhecida como bloqueio, dos conjuntos e dispositivos de religamento automático do circuito, sistema ou equipamento.

10.7.7.1 Os equipamentos e dispositivos desativados devem ser sinalizados com identificação da condição de desativação, conforme procedimento de trabalho específico padronizado.

10.7.8 Os equipamentos, ferramentas e dispositivos isolantes ou equipados com materiais isolantes, destinados ao trabalho em alta tensão, devem ser submetidos a testes elétricos ou ensaios de laboratório periódicos, obedecendo-se as especificações do fabricante, os procedimentos da empresa e na ausência desses, anualmente.

10.7.9 Todo trabalhador em instalações elétricas energizadas em AT, bem como aqueles envolvidos em atividades no SEP devem dispor de equipamento que permita a comunicação permanente com os demais membros da equipe ou com o centro de operação durante a realização do serviço. (210.078-9/I-4)

## 10.8 - HABILITAÇÃO, QUALIFICAÇÃO, CAPACITAÇÃO E AUTORIZAÇÃO DOS TRABALHADORES



10.8.1 É considerado trabalhador qualificado aquele que comprovar conclusão de curso específico na área elétrica reconhecido pelo Sistema Oficial de Ensino.

10.8.2 É considerado profissional legalmente habilitado o trabalhador previamente qualificado e com registro no competente conselho de classe.

10.8.3 É considerado trabalhador capacitado aquele que atenda às seguintes condições, simultaneamente:

a) receba capacitação sob orientação e responsabilidade de profissional habilitado e autorizado; e

b) trabalhe sob a responsabilidade de profissional habilitado e autorizado.

10.8.3.1 A capacitação só terá validade para a empresa que o capacitou e nas condições estabelecidas pelo profissional habilitado e autorizado responsável pela capacitação.

10.8.4 São considerados autorizados os trabalhadores qualificados ou capacitados e os profissionais habilitados, com anuência formal da empresa.

10.8.5 A empresa deve estabelecer sistema de identificação que permita a qualquer tempo conhecer a abrangência da autorização de cada trabalhador, conforme o item 10.8.4.

10.8.6 Os trabalhadores autorizados a trabalhar em instalações elétricas devem ter essa condição consignada no sistema de registro de empregado da empresa.

10.8.7 Os trabalhadores autorizados a intervir em instalações elétricas devem ser submetidos a exame de saúde compatível com as atividades a serem desenvolvidas, realizado em conformidade com a NR 7 e registrado em seu prontuário médico.

10.8.8 Os trabalhadores autorizados a intervir em instalações elétricas devem possuir treinamento específico sobre os riscos decorrentes do emprego da energia elétrica e as principais medidas de prevenção de acidentes em instalações elétricas, de acordo com o estabelecido no Anexo II desta NR.

10.8.8.1 A empresa concederá autorização na forma desta NR aos trabalhadores capacitados ou qualificados e aos profissionais habilitados que tenham participado com avaliação e aproveitamento satisfatórios dos cursos constantes do ANEXO II desta NR.

10.8.8.2 Deve ser realizado um treinamento de reciclagem bienal e sempre que ocorrer alguma das situações a seguir:

a) troca de função ou mudança de empresa;

b) retorno de afastamento ao trabalho ou inatividade, por período superior a três meses;

c) modificações significativas nas instalações elétricas ou troca de métodos, processos e organização do trabalho.

10.8.8.3 A carga horária e o conteúdo programático dos treinamentos de reciclagem destinados ao atendimento das alíneas “a”, “b” e “c” do item 10.8.8.2 devem atender as necessidades da situação que o motivou.

10.8.8.4 Os trabalhos em áreas classificadas devem ser precedidos de treinamento específico de acordo com risco envolvido.

10.8.9 Os trabalhadores com atividades não relacionadas às instalações elétricas desenvolvidas em zona livre e na vizinhança da zona controlada, conforme define esta NR, devem ser instruídos formalmente com conhecimentos que permitam identificar e avaliar seus possíveis riscos e adotar as precauções cabíveis.

## 10.9 - PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO

10.9.1 As áreas onde houver instalações ou equipamentos elétricos devem ser dotadas de proteção contra incêndio e explosão, conforme dispõe a NR 23 – Proteção Contra Incêndios.

10.9.2 Os materiais, peças, dispositivos, equipamentos e sistemas destinados à aplicação em instalações elétricas de ambientes com atmosferas potencialmente explosivas devem ser avaliados quanto à sua conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação.

10.9.3 Os processos ou equipamentos susceptíveis de gerar ou acumular eletricidade estática devem dispor de proteção específica e dispositivos de descarga elétrica.



10.9.4 Nas instalações elétricas de áreas classificadas ou sujeitas a risco acentuado de incêndio ou explosões, devem ser adotados dispositivos de proteção, como alarme e seccionamento automático para prevenir sobretensões, sobrecorrentes, falhas de isolamento, aquecimentos ou outras condições anormais de operação.

10.9.5 Os serviços em instalações elétricas nas áreas classificadas somente poderão ser realizados mediante permissão para o trabalho com liberação formalizada, conforme estabelece o item 10.5 ou supressão do agente de risco que determina a classificação da área.

#### 10.10 - SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA

10.10.1 Nas instalações e serviços em eletricidade deve ser adotada sinalização adequada de segurança, destinada à advertência e à identificação, obedecendo ao disposto na NR-26 – Sinalização de Segurança, de forma a atender, dentre outras, as situações a seguir:

- a) identificação de circuitos elétricos;
- b) travamentos e bloqueios de dispositivos e sistemas de manobra e comandos;
- c) restrições e impedimentos de acesso;
- d) delimitações de áreas;
- e) sinalização de áreas de circulação, de vias públicas, de veículos e de movimentação de cargas;
- f) sinalização de impedimento de energização;
- g) identificação de equipamento ou circuito impedido.

#### 10.11 - PROCEDIMENTOS DE TRABALHO

10.11.1 Os serviços em instalações elétricas devem ser planejados e realizados em conformidade com procedimentos de trabalho específicos, padronizados, com descrição detalhada de cada tarefa, passo a passo, assinados por profissional que atenda ao que estabelece o item 10.8 desta NR.

10.11.2 Os serviços em instalações elétricas devem ser precedidos de ordens de serviço específicas, aprovadas por trabalhador autorizado, contendo, no mínimo, o tipo, a data, o local e as referências aos procedimentos de trabalho a serem adotados.

10.11.3 Os procedimentos de trabalho devem conter, no mínimo, objetivo, campo de aplicação, base técnica, competências e responsabilidades, disposições gerais, medidas de controle e orientações finais.

10.11.4 Os procedimentos de trabalho, o treinamento de segurança e saúde e a autorização de que trata o item 10.8 devem ter a participação em todo processo de desenvolvimento do Serviço Especializado de Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho - SESMT, quando houver.

10.11.5 A autorização referida no item 10.8 deve estar em conformidade com o treinamento ministrado, previsto no Anexo II desta NR.

10.11.6 Toda equipe deverá ter um de seus trabalhadores indicado e em condições de exercer a supervisão e condução dos trabalhos.

10.11.7 Antes de iniciar trabalhos em equipe os seus membros, em conjunto com o responsável pela execução do serviço, devem realizar uma avaliação prévia, estudar e planejar as atividades e ações a serem desenvolvidas no local, de forma a atender os princípios técnicos básicos e as melhores técnicas de segurança aplicáveis ao serviço.

10.11.8 A alternância de atividades deve considerar a análise de riscos das tarefas e a competência dos trabalhadores envolvidos, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho.

#### 10.12 - SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

10.12.1 As ações de emergência que envolvam as instalações ou serviços com eletricidade devem constar do plano de emergência da empresa.



10.12.2 Os trabalhadores autorizados devem estar aptos a executar o resgate e prestar primeiros socorros a acidentados, especialmente por meio de reanimação cardio-respiratória.

10.12.3 A empresa deve possuir métodos de resgate padronizados e adequados às suas atividades, disponibilizando os meios para a sua aplicação.

10.12.4 Os trabalhadores autorizados devem estar aptos a manusear e operar equipamentos de prevenção e combate a incêndio existentes nas instalações elétricas.

#### 10.13 - RESPONSABILIDADES

10.13.1 As responsabilidades quanto ao cumprimento desta NR são solidárias aos contratantes e contratados envolvidos.

10.13.2 É de responsabilidade dos contratantes manter os trabalhadores informados sobre os riscos a que estão expostos, instruindo-os quanto aos procedimentos e medidas de controle contra os riscos elétricos a serem adotados.

10.13.3 Cabe à empresa, na ocorrência de acidentes de trabalho envolvendo instalações e serviços em eletricidade, propor e adotar medidas preventivas e corretivas.

10.13.4 Cabe aos trabalhadores:

- a) zelar pela sua segurança e saúde e a de outras pessoas que possam ser afetadas por suas ações ou omissões no trabalho;
- b) responsabilizar-se junto com a empresa pelo cumprimento das disposições legais e regulamentares, inclusive quanto aos procedimentos internos de segurança e saúde; e
- c) comunicar, de imediato, ao responsável pela execução do serviço as situações que considerar de risco para sua segurança e saúde e a de outras pessoas.

#### 10.14 - DISPOSIÇÕES FINAIS

10.14.1 Os trabalhadores devem interromper suas tarefas exercendo o direito de recusa, sempre que constatarem evidências de riscos graves e iminentes para sua segurança e saúde ou a de outras pessoas, comunicando imediatamente o fato a seu superior hierárquico, que diligenciará as medidas cabíveis.

10.14.2 As empresas devem promover ações de controle de riscos originados por outrem em suas instalações elétricas e oferecer, de imediato, quando cabível, denúncia aos órgãos competentes.

10.14.3 Na ocorrência do não cumprimento das normas constantes nesta NR, o MTE adotará as providências estabelecidas na NR 3.

10.14.4 A documentação prevista nesta NR deve estar permanentemente à disposição dos trabalhadores que atuam em serviços e instalações elétricas, respeitadas as abrangências, limitações e interferências nas tarefas.

10.14.5 A documentação prevista nesta NR deve estar, permanentemente, à disposição das autoridades competentes.

10.14.6 Esta NR não é aplicável a instalações elétricas alimentadas por extra-baixa tensão.

#### GLOSSÁRIO

1. Alta Tensão (AT): tensão superior a 1000 volts em corrente alternada ou 1500 volts em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra.
2. Área Classificada: local com potencialidade de ocorrência de atmosfera explosiva.
3. Aterramento Elétrico Temporário: ligação elétrica efetiva confiável e adequada intencional à terra, destinada a garantir a equipotencialidade e mantida continuamente durante a intervenção na instalação elétrica.
4. Atmosfera Explosiva: mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, névoa, poeira ou fibras, na qual após a ignição a combustão se propaga.



5. Baixa Tensão (BT): tensão superior a 50 volts em corrente alternada ou 120 volts em corrente contínua e igual ou inferior a 1000 volts em corrente alternada ou 1500 volts em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra.
6. Barreira: dispositivo que impede qualquer contato com partes energizadas das instalações elétricas.
7. Direito de Recusa: instrumento que assegura ao trabalhador a interrupção de uma atividade de trabalho por considerar que ela envolve grave e iminente risco para sua segurança e saúde ou de outras pessoas.
8. Equipamento de Proteção Coletiva (EPC): dispositivo, sistema, ou meio, fixo ou móvel de abrangência coletiva, destinado a preservar a integridade física e a saúde dos trabalhadores, usuários e terceiros.
9. Equipamento Segregado: equipamento tornado inacessível por meio de invólucro ou barreira.
10. Extra-Baixa Tensão (EBT): tensão não superior a 50 volts em corrente alternada ou 120 volts em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra.
11. Influências Externas: variáveis que devem ser consideradas na definição e seleção de medidas de proteção para segurança das pessoas e desempenho dos componentes da instalação.
12. Instalação Elétrica: conjunto das partes elétricas e não elétricas associadas e com características coordenadas entre si, que são necessárias ao funcionamento de uma parte determinada de um sistema elétrico.
13. Instalação Liberada para Serviços (BT/AT): aquela que garanta as condições de segurança ao trabalhador por meio de procedimentos e equipamentos adequados desde o início até o final dos trabalhos e liberação para uso.
14. Impedimento de Reenergização: condição que garante a não energização do circuito através de recursos e procedimentos apropriados, sob controle dos trabalhadores envolvidos nos serviços.
15. Invólucro: envoltório de partes energizadas destinado a impedir qualquer contato com partes internas.
16. Isolamento Elétrico: processo destinado a impedir a passagem de corrente elétrica, por interposição de materiais isolantes.
17. Obstáculo: elemento que impede o contato acidental, mas não impede o contato direto por ação deliberada.
18. Perigo: situação ou condição de risco com probabilidade de causar lesão física ou dano à saúde das pessoas por ausência de medidas de controle.
19. Pessoa Advertida: pessoa informada ou com conhecimento suficiente para evitar os perigos da eletricidade.
20. Procedimento: seqüência de operações a serem desenvolvidas para realização de um determinado trabalho, com a inclusão dos meios materiais e humanos, medidas de segurança e circunstâncias que impossibilitem sua realização.
21. Prontuário: sistema organizado de forma a conter uma memória dinâmica de informações pertinentes às instalações e aos trabalhadores.
22. Risco: capacidade de uma grandeza com potencial para causar lesões ou danos à saúde das pessoas.
23. Riscos Adicionais: todos os demais grupos ou fatores de risco, além dos elétricos, específicos de cada ambiente ou processos de Trabalho que, direta ou indiretamente, possam afetar a segurança e a saúde no trabalho.
24. Sinalização: procedimento padronizado destinado a orientar, alertar, avisar e advertir.
25. Sistema Elétrico: circuito ou circuitos elétricos inter-relacionados destinados a atingir um determinado objetivo.



26. Sistema Elétrico de Potência (SEP): conjunto das instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica até a medição, inclusive.
27. Tensão de Segurança: extra baixa tensão originada em uma fonte de segurança.
28. Trabalho em Proximidade: trabalho durante o qual o trabalhador pode entrar na zona controlada, ainda que seja com uma parte do seu corpo ou com extensões condutoras, representadas por materiais, ferramentas ou equipamentos que manipule.
29. Travamento: ação destinada a manter, por meios mecânicos, um dispositivo de manobra fixo numa determinada posição, de forma a impedir uma operação não autorizada.
30. Zona de Risco: entorno de parte condutora energizada, não segregada, acessível inclusive acidentalmente, de dimensões estabelecidas de acordo com o nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados e com a adoção de técnicas e instrumentos apropriados de trabalho.
31. Zona Controlada: entorno de parte condutora energizada, não segregada, acessível, de dimensões estabelecidas de acordo com o nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados.

## ANEXO II

### ZONA DE RISCO E ZONA CONTROLADA

Tabela de raios de delimitação de zonas de risco, controlada e livre.

<i>Faixa de tensão Nominal da instalação elétrica em kV</i>	<i>Rr - Raio de delimitação entre zona de risco e controlada em metros</i>	<i>Rc - Raio de delimitação entre zona controlada e livre em metros</i>
<1	0,20	0,70
≥1 e <3	0,22	1,22
≥3 e <6	0,25	1,25
≥6 e <10	0,35	1,35
≥10 e <15	0,38	1,38
≥15 e <20	0,40	1,40
≥20 e <30	0,56	1,56
≥30 e <36	0,58	1,58
≥36 e <45	0,63	1,63
≥45 e <60	0,83	1,83
≥60 e <70	0,90	1,90
≥70 e <110	1,00	2,00
≥110 e <132	1,10	3,10
≥132 e <150	1,20	3,20
≥150 e <220	1,60	3,60
≥220 e <275	1,80	3,80
≥275 e <380	2,50	4,50
≥380 e <480	3,20	5,20
≥480 e <700	5,20	7,20

Figura 1 - Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre.

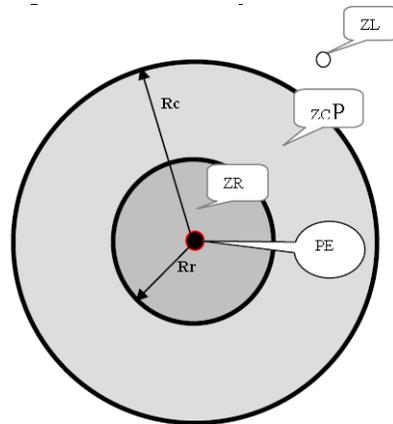
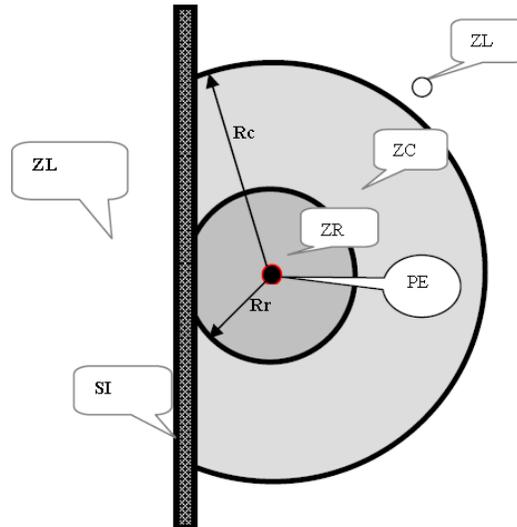


Figura 2 - Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre, com interposição de superfície de separação física adequada.



ZL = Zona livre

ZC = Zona controlada, restrita a trabalhadores autorizados.

ZR = Zona de risco, restrita a trabalhadores autorizados e com a adoção de técnicas, instrumentos e equipamentos apropriados ao trabalho.

PE = Ponto da instalação energizado.

SI = Superfície isolante construída com material resistente e dotada de todos dispositivos de segurança.

### ANEXO III

#### TREINAMENTO

#### 1. CURSO BÁSICO – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS COM ELETRICIDADE

I - Para os trabalhadores autorizados: carga horária mínima – 40h:

Programação Mínima:

1. Introdução à segurança com eletricidade.
2. Riscos em instalações e serviços com eletricidade:
  - a) o choque elétrico, mecanismos e efeitos;



- b) arcos elétricos; queimaduras e quedas;
- c) campos eletromagnéticos.
- 3. Técnicas de Análise de Risco.
- 4. Medidas de Controle do Risco Elétrico:
  - a) desenergização.
  - b) aterramento funcional (TN / TT / IT); de proteção; temporário;
  - c) equipotencialização;
  - d) seccionamento automático da alimentação;
  - e) dispositivos a corrente de fuga;
  - f) extra baixa tensão;
  - g) barreiras e invólucros;
  - h) bloqueios e impedimentos;
  - i) obstáculos e anteparos;
  - j) isolamento das partes vivas;
  - k) isolação dupla ou reforçada;
  - l) colocação fora de alcance;
  - m) separação elétrica.
- 5. Normas Técnicas Brasileiras – NBR da ABNT: NBR-5410, NBR 14039 e outras;
- 6. Regulamentações do MTE:
  - a) NRs;
  - b) NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade);
  - c) qualificação; habilitação; capacitação e autorização.
- 7. Equipamentos de proteção coletiva.
- 8. Equipamentos de proteção individual.
- 9. Rotinas de trabalho – Procedimentos.
  - a) instalações desenergizadas;
  - b) liberação para serviços;
  - c) sinalização;
  - d) inspeções de áreas, serviços, ferramental e equipamento;
- 10. Documentação de instalações elétricas.
- 11. Riscos adicionais:
  - a) altura;
  - b) ambientes confinados;
  - c) áreas classificadas;
  - d) umidade;
  - e) condições atmosféricas.
- 12. Proteção e combate a incêndios:
  - a) noções básicas;
  - b) medidas preventivas;
  - c) métodos de extinção;
  - d) prática;
- 13. Acidentes de origem elétrica:
  - a) causas diretas e indiretas;
  - b) discussão de casos;
- 14. Primeiros socorros:
  - a) noções sobre lesões;
  - b) priorização do atendimento;
  - c) aplicação de respiração artificial;
  - d) massagem cardíaca;
  - e) técnicas para remoção e transporte de acidentados;
  - f) práticas.



## 15. Responsabilidades.

### 2. CURSO COMPLEMENTAR – SEGURANÇA NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA (SEP) E EM SUAS PROXIMIDADES.

É pré-requisito para freqüentar este curso complementar, ter participado, com aproveitamento satisfatório, do curso básico definido anteriormente.

Carga horária mínima – 40h

(\*) Estes tópicos deverão ser desenvolvidos e dirigidos especificamente para as condições de trabalho características de cada ramo, padrão de operação, de nível de tensão e de outras peculiaridades específicas ao tipo ou condição especial de atividade, sendo obedecida a hierarquia no aperfeiçoamento técnico do trabalhador.

#### I - Programação Mínima:

1. Organização do Sistema Elétrico de Potencia – SEP.
2. Organização do trabalho:
  - a) programação e planejamento dos serviços;
  - b) trabalho em equipe;
  - c) prontuário e cadastro das instalações;
  - d) métodos de trabalho; e
  - e) comunicação.
3. Aspectos comportamentais.
4. Condições impeditivas para serviços.
5. Riscos típicos no SEP e sua prevenção (\*):
  - a) proximidade e contatos com partes energizadas;
  - b) indução;
  - c) descargas atmosféricas;
  - d) estática;
  - e) campos elétricos e magnéticos;
  - f) comunicação e identificação; e
  - g) trabalhos em altura, máquinas e equipamentos especiais.
6. Técnicas de análise de Risco no S E P (\*)
7. Procedimentos de trabalho – análise e discussão. (\*)
8. Técnicas de trabalho sob tensão: (\*)
  - a) em linha viva;
  - b) ao potencial;
  - c) em áreas internas;
  - d) trabalho a distância;
  - e) trabalhos noturnos; e
  - f) ambientes subterrâneos.
9. Equipamentos e ferramentas de trabalho (escolha, uso, conservação, verificação, ensaios) (\*).
10. Sistemas de proteção coletiva (\*).
11. Equipamentos de proteção individual (\*).
12. Posturas e vestuários de trabalho (\*).
13. Segurança com veículos e transporte de pessoas, materiais e equipamentos(\*).
14. Sinalização e isolamento de áreas de trabalho(\*).
15. Liberação de instalação para serviço e para operação e uso (\*).
16. Treinamento em técnicas de remoção, atendimento, transporte de acidentados (\*).
17. Acidentes típicos (\*) – Análise, discussão, medidas de proteção.
18. Responsabilidades (\*).



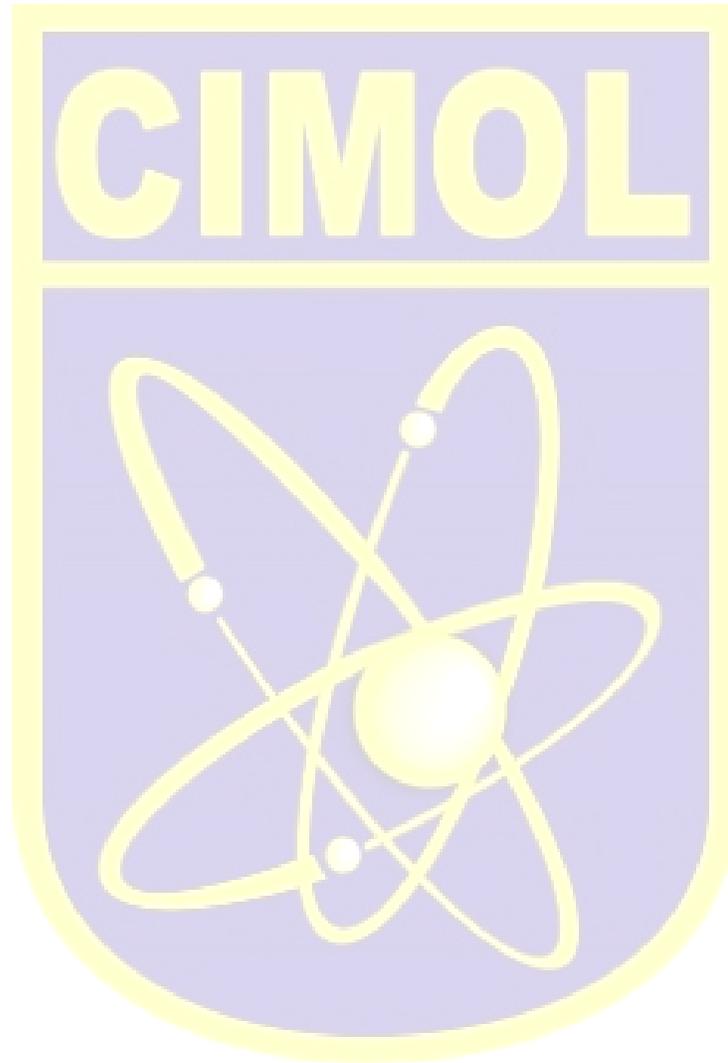
## **BIBLIOGRAFIA**

1. FRANCHI, Clainton, **Acionamentos Eléctricos**. 3ª ed. Editora Érica - 2008
2. KOSTENKO, M. P & PIOTROVSKI, M. P **Máquinas Eléctricas**. Editora Lopes da Silva
3. CARVALHO, Geraldo, **Máquinas Eléctricas**. 2ª ed. Editora Érica - 2007
4. CARRISSO, António, **Máquinas Eléctricas**, edição da AEIST
5. FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, Jr, Charles, KUSKO, Alexander **Máquinas Eléctricas**, Editora McGraw-Hill do Brasil LTDA
6. **Cadernos Técnicos da WEG do Brasil**
7. **Apostila de Eletrônica de Potência** do Prof. Antenor da Unicamp
8. **Apostila de Dispositivos Eletromagnéticos** do Prof. Castro
9. **Apostila de Eletrotécnica Básica** do Prof. Fujio Sato
10. **Apostila do Curso de Eletrotécnica** da USP
11. **MANUAL DE ELETROHIDRÁULICA E EELTROPNEUMÁTICA** – Prof José de Souza
12. **NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE**



### Sobre o Autor

Possui Graduação Tecnologia da Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), atuou em diversas áreas, inclusive no setor metalmeccânico e siderúrgico na empresa SMS-Demag em Siegen-Alemanha. É Licenciado para o Ensino Técnico profissionalizante nas disciplinas de Mecânica, Eletrotécnica e Automação. Possui Mestrado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. É projetista de sistemas de controle para plantas de Reatores e Micro-Usinas de Biometano na empresa P&D Engenharia em Energia e Biotecnologia. É professor na Escola Monteiro Lobato desde 2008.



*Agradecimentos à escola Estadual Monteiro Lobato – Cimol, aos colegas Professores pelo apoio à montagem dos Materiais didáticos das disciplinas dos Cursos Técnicos.*