

9

Materiais elétricos

9.1 Introdução

O dimensionamento e a especificação corretos de materiais, equipamentos e dispositivos constituem fatores determinantes no desempenho de uma instalação elétrica industrial.

Materiais e equipamentos não especificados adequadamente podem acarretar sérios riscos à instalação, bem como comprometê-la sob o ponto de vista da confiabilidade, além, é claro, dos prejuízos de ordem financeira com a paralisação temporária de alguns setores de produção.

O que se pretende, neste capítulo, é fornecer ao projetista os elementos mínimos necessários para a especificação de vários materiais e equipamentos empregados mais comumente nas instalações elétricas industriais, assim como descrevê-los de modo sumário, de tal sorte que seja facilitada a elaboração correta da relação de material para a obra. Não se pretende jamais fornecer detalhes da especificação técnica do equipamento. É uma tarefa desenvolvida por empresas concessionárias de energia e por escritórios de projeto.

O estudo dos materiais e equipamentos abordados neste capítulo é sucinto. Se o leitor deseja conhecer com maior profundidade o assunto, pode consultar o livro do autor *Manual de Equipamentos Elétricos* (LTC, 2013),

que estuda com detalhes os equipamentos empregados nos sistemas de média e alta-tensão.

9.2 Elementos necessários para especificar

Para elaborar uma especificação de material e equipamento, é necessário conhecer os dados elétricos em cada ponto da instalação, bem como as características do sistema. De modo geral, as grandezas mínimas, que caracterizam determinado equipamento ou material, podem ser assim resumidas:

- Tensão nominal.
- Corrente nominal.
- Frequência nominal.
- Potência nominal.
- Tensão suportável de impulso.
- Capacidade de corrente simétrica e assimétrica de curto-circuito.

As outras grandezas elétricas e/ou mecânicas fundamentais e particulares a cada tipo de equipamento serão mencionadas nos itens pertinentes.

9.3 Materiais e equipamentos

Para melhor entendimento da especificação técnica, foi elaborado um diagrama unifilar, mostrado na [Figura 9.1](#), referente a uma instalação elétrica industrial, contendo os principais materiais, equipamentos e dispositivos que devem ser especificados sumariamente em função das características de cada ponto do sistema em que estão localizados.

As características do sistema são:

- Tensão nominal primária: 13,80 kV.
- Tensão nominal secundária: 380 V.
- Tensão de fornecimento: 13,80 kV.
- Potência simétrica de curto-circuito no ponto de entrega (ponto A): 250 MVA.
- Tensão suportável de impulso: 95 kV.
- Tensão máxima de operação entre fase e terra: 12 kV.
- Capacidade de transformação: 2×750 kVA.
- Corrente de curto-circuito simétrica no ponto B: 40 kA.
- Corrente de curto-circuito simétrica no ponto C: 20 kA.
- Motores:
 - M1: 50 cv - 380 V/IV polos, do tipo rotor em curto-circuito.
 - M2: 75 cv - 380 V/IV polos, do tipo rotor em curto-circuito.
 - M3: 100 cv - 380 V/IV polos, do tipo rotor em curto-circuito.
 - M4: 125 cv - 380 V/IV polos, do tipo rotor em curto-circuito.
 - M5: 200 cv - 380 V/IV polos, do tipo rotor em curto-circuito.
- Cargas:
 - Iluminação: 100 kVA.
 - Outras cargas: 730 kVA.

O diagrama unifilar da [Figura 9.1](#) é característico de uma instalação elétrica industrial com entrada de serviço subterrânea. Estão mostrados apenas os principais elementos de uso mais comum em uma planta industrial, cujo conhecimento é de importância relevante para a difícil tarefa de projetar e especificar.

É necessário observar que cada elemento especificado está identificado no diagrama unifilar por um número colocado nos subtítulos, entre parênteses.

Deve-se também alertar para o fato de que todos os materiais e equipamentos *especificados sumariamente* neste capítulo devem satisfazer, no todo, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e,

na falta destas, as da International Electrotechnical Commission (IEC).

9.3.1 Para-raios de distribuição a resistor não linear (1)

É um equipamento destinado à proteção de sobretensão provocada por descargas atmosféricas ou por chaveamento na rede. São as seguintes as características fundamentais de um para-raios, definidas pela ABNT.

a) Tensão nominal

É a máxima tensão eficaz, de frequência nominal, aplicável entre os terminais do para-raios e na qual este deve operar corretamente.

b) Frequência nominal

É a frequência utilizada no projeto do para-raios a qual deve coincidir com a frequência da rede a que será ligado.

c) Corrente de descarga nominal

É o valor de crista da corrente de descarga com forma de onda de 8/20 μ s, utilizado para classificar um para-raios. É também a corrente de descarga para iniciar a corrente subsequente no ensaio de ciclo de operação.

d) Corrente subsequente

É a corrente fornecida pelo sistema que percorre o para-raios depois da passagem da corrente de descarga.

e) Tensão disruptiva de impulso atmosférico

É o maior valor da tensão atingida antes do centelhamento do para-raios, quando uma tensão de impulso atmosférico, de forma de onda e polaridade dadas, é aplicada entre os terminais do para-raios.

f) Tensão disruptiva à frequência industrial

É o valor eficaz da tensão de ensaio de frequência industrial que, aplicado aos terminais do para-raios, causa centelhamento dos centelhadores série.

g) Tensão disruptiva de impulso normalizada

É o menor valor de crista de uma tensão de impulso normalizada que, aplicado a um para-raios, provoca centelhamento em todas as aplicações.

h) Tensão residual

É a tensão que aparece entre os terminais de um para-raios, durante a passagem da corrente de descarga.

Basicamente, os para-raios são constituídos de:

- Corpo de porcelana

Constituído de porcelana de alta resistência mecânica e dielétrica, no qual estão alojados os principais elementos ativos do para-raios.

- Resistores não lineares

São blocos cerâmicos feitos de material refratário, química e eletricamente estável. Esse material é capaz de conduzir altas correntes de descarga com baixas tensões residuais. Entretanto, o resistor não linear oferece uma alta impedância à corrente subsequente. São formados de carboneto de silício, que apresenta um coeficiente de temperatura negativo, isto é, sua condutibilidade aumenta com a temperatura. Atualmente, os resistores são, em sua maioria, fabricados com óxido de zinco.

- Desligador automático

É composto de um elemento resistivo colocado em série com uma cápsula explosiva protegida por um corpo de baquelite. Sua função é desconectar o cabo de aterramento do para-raios quando este é percorrido por uma corrente de alta intensidade capaz de provocar sua explosão. Isto ocorre, em geral, quando o para-raios está defeituoso, como, por exemplo, a perda de vedação.

O desligador automático é projetado para não operar com a corrente de

descarga e a corrente subsequente. Também serve como indicador de defeito do para-raios.

– Centelhador série

É constituído de um ou mais espaçamentos entre eletrodos, dispostos em série com os resistores não lineares, cuja finalidade é assegurar, sob quaisquer condições, uma característica de disrupção regular com uma rápida extinção da corrente subsequente.

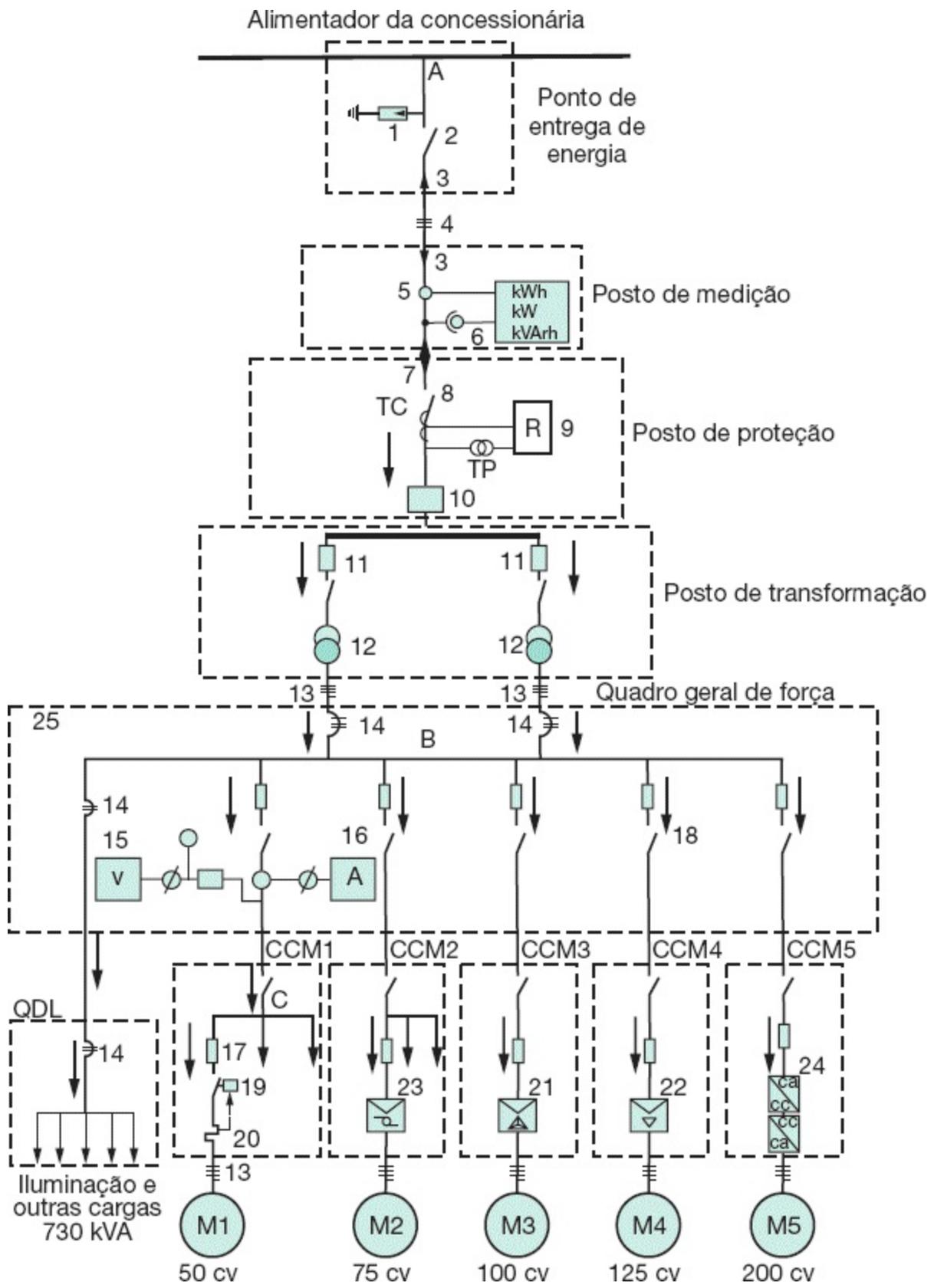


Figura 9.1 Diagrama unifilar.

– Protetor contra sobrepressão

É um dispositivo destinado a aliviar a pressão interna devida a falhas ocasionais do para-raios, cuja ação permite o escape dos gases antes que haja rompimento da porcelana.

A [Figura 9.2](#) mostra um para-raios, indicando seus principais elementos. Já a [Figura 9.3](#) mostra um para-raios montado em cruzeta, indicando os elementos usados na montagem e conexão. A [Figura 9.4](#) apresenta graficamente as variações de corrente e tensão durante a operação de um para-raios à resistência não linear.

Uma característica particularmente interessante de ser conhecida para se especificar corretamente um para-raios é o tipo de aterramento do neutro do transformador de força da subestação de distribuição da concessionária, o que caracterizará a tensão máxima de operação do sistema. Dependendo da configuração do sistema distribuidor, o transformador pode estar conectado em estrela não aterrada ou triângulo (sistema a três fios), ou em estrela aterrada, efetivamente, ou com impedância inserida (sistema a três fios), ou ainda em estrela aterrada e neutro multiaterrado (sistema a quatro fios). Para cada tipo de configuração é necessário que se especifique adequadamente o para-raios. A [Tabela 9.1](#) fornece os elementos de orientação para a seleção dos para-raios em função da tensão máxima de operação do sistema, enquanto a [Tabela 9.2](#) indica suas principais características elétricas.

9.3.1.1 Especificação sumária

Na especificação de um para-raios é necessário que se indiquem, no mínimo, os seguintes elementos:

- Tensão nominal eficaz, em kV.
- Frequência nominal.
- Máxima tensão disruptiva de impulso sob frente de onda, em kV.

- Máxima tensão residual de descarga, com onda de $8 \times 20 \mu\text{s}$, em kV.
- Máxima tensão disruptiva, à frequência industrial, em kV.

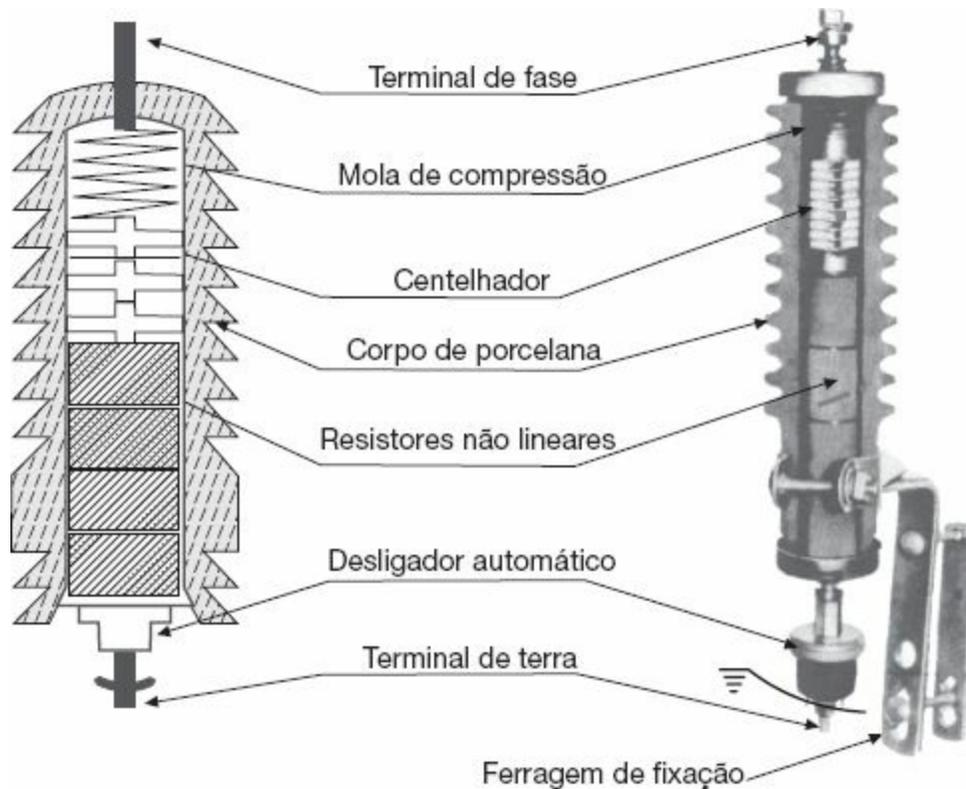


Figura 9.2 Parte interna de um para-raios a resistor não linear.

- Corrente de descarga, em A.
- Tipo (distribuição, ou estação).

Com base no diagrama unifilar da [Figura 9.1](#), tem-se:

Para-raios do tipo distribuição, a resistor não linear, com desligador automático, tensão nominal de 12 kV, corrente de descarga nominal de 5.000 A, máxima tensão disruptiva a impulso atmosférico de 70 kV, máxima tensão residual de descarga de 54 kV e máxima tensão disruptiva à frequência industrial de 18 kV.

9.3.2 Chave fusível indicadora unipolar (2)

É um equipamento destinado à proteção de sobrecorrente de rede, desde o ponto de entrega de energia até o disjuntor geral da subestação.

Seu elemento fusível, denominado elo fusível, deve coordenar com os outros elementos de proteção do sistema da concessionária local. Caso contrário, a chave fusível deve ser substituída por uma chave seccionadora.

É constituída, na versão mais comum, de um corpo de porcelana, com dimensões adequadas à tensão de isolamento e à tensão suportável de impulso, no qual está articulado um tubo, normalmente fabricado em fenolite ou fibra de vidro, que consiste no elemento fundamental que define a capacidade de interrupção da chave. Dentro desse tubo, denominado cartucho, é instalado o elo fusível.

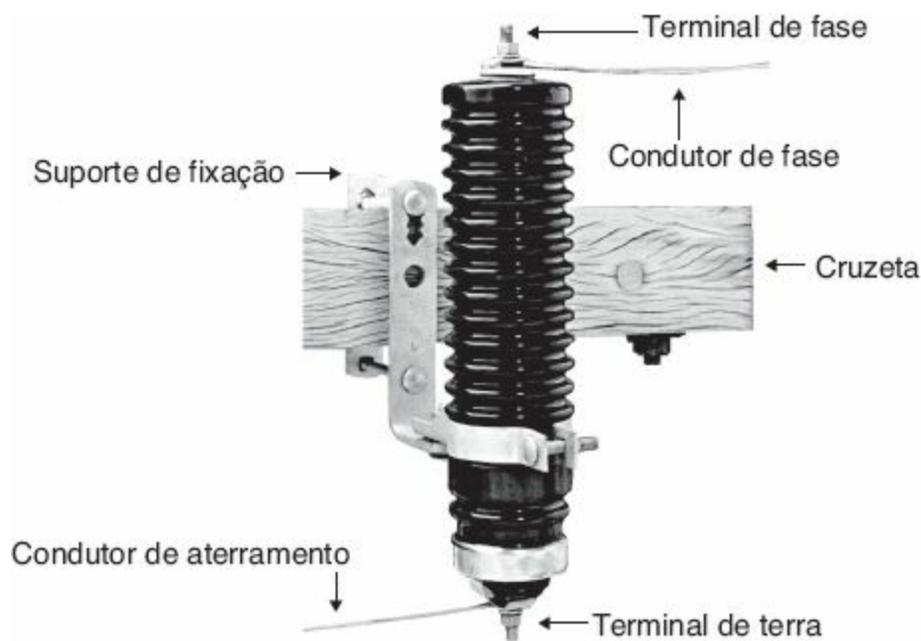


Figura 9.3 Montagem de um para-raios a resistor não linear.

Além das características nominais do sistema, a chave fusível deve ser dimensionada em função da capacidade da corrente de curto-circuito no ponto de sua instalação. Quanto maior a corrente de defeito, maiores são os esforços dinâmicos que o cartucho terá de suportar, e isto determina sua capacidade de ruptura. A [Figura 9.5](#) mostra uma chave fusível, indicando

seus principais elementos.

9.3.2.1 Especificação sumária

Para que uma chave fusível indicadora unipolar seja corretamente adquirida devem ser especificados, no mínimo, os seguintes dados:

- Tensão nominal eficaz, em kV.
- Corrente nominal, em A.
- Frequência nominal.
- Capacidade de ruptura, em kA.
- Tensão suportável de impulso, em kV.

De acordo com o diagrama unifilar da [Figura 9.1](#) pode-se designar a chave ali indicada como:

Tabela 9.1 Seleção de para-raios

Tensão nominal do para-raios (kV)	Sistema delta ou Y a três fios (kV)	Sistema Y - três fios com neutro efetivamente aterrado no transformador de alimentação (kV)	Sistema Y - quatro fios com neutro multiterrado (kV)
3	3	3,60	4,50
6	6	7,20	9,00
9	9	11,00	12,80
12	12	15,00	18,00
15	15	18,00	18,00
27	27	32,00	36,50

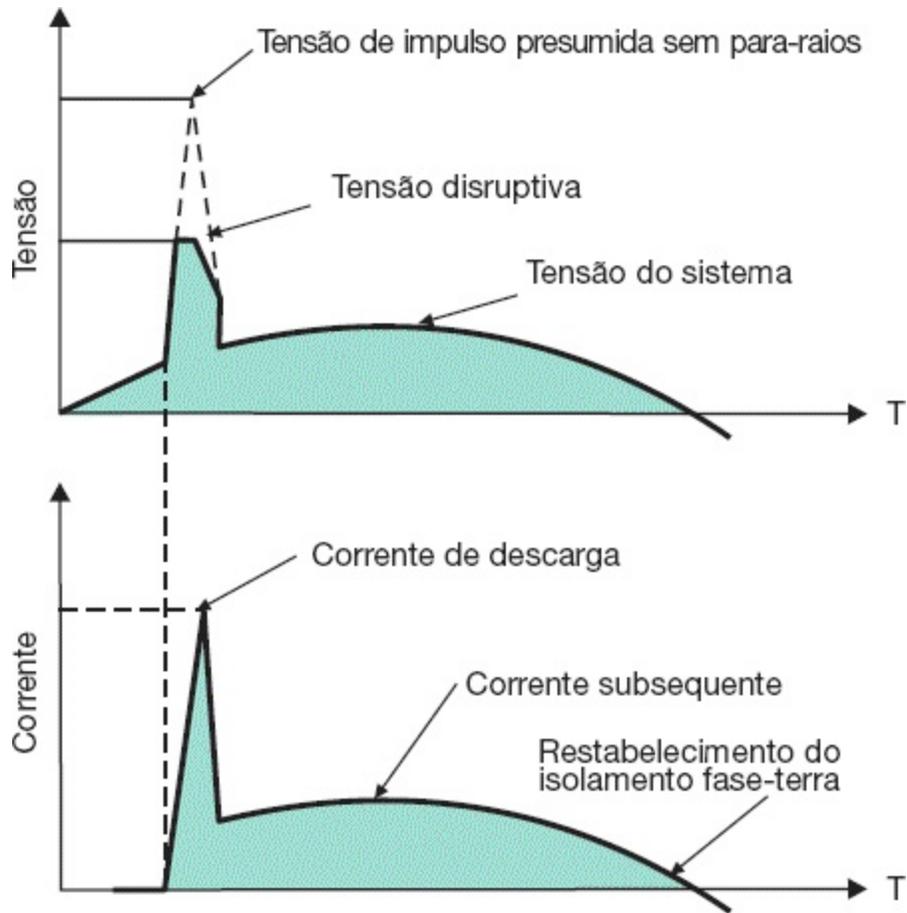


Figura 9.4 Atuação de um para-raios.

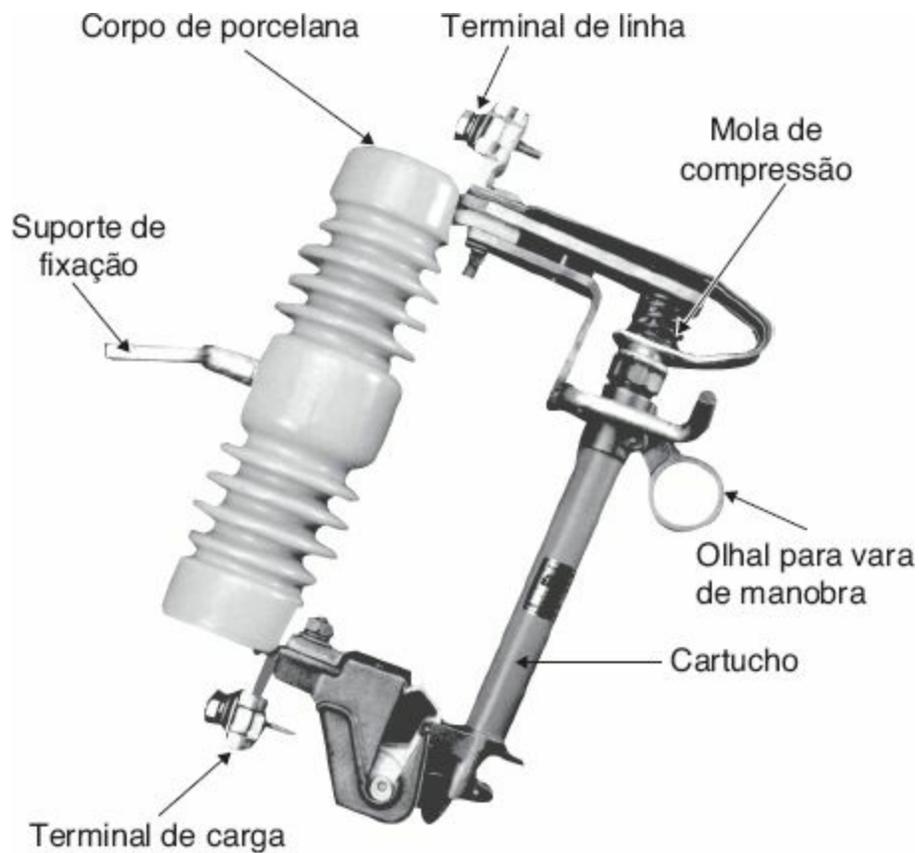


Figura 9.5 Chave fusível indicadora unipolar.

Tabela 9.2 Características elétricas dos para-raios com centelhador

Tensão nominal (kV eficaz)	Tensão disruptiva à frequência industrial (kV eficaz)	Máxima tensão disruptiva de impulso sob onda normalizada (kV de crista)	Máxima tensão de descarga com onda de $8 \times 20 \mu\text{s}$ (kV de crista)		Máxima tensão disruptiva por manobra (kV valor de crista)
			5.000 A Distribuição	10.000 A Estação	
3	4,4	21	18,0	13,0	8,25
6	9,0	40	31,0	22,6	15,50

9	13,5	58	46,0	32,5	23,50
12	18,0	70	54,0	43,0	31,00
15	22,5	80	64,0	54,0	39,00
27	40,5	126	99,0	97,0	70,00
39	58,5	-	141,0	141,0	101,00

Chave fusível indicadora unipolar, corrente nominal 100 A, tensão nominal 15 kV, tensão suportável de impulso de 95 kV e capacidade simétrica de curto-circuito 10 kA.

9.3.3 Terminal primário ou terminação (3)

É um dispositivo destinado a restabelecer as condições de isolamento da extremidade de um condutor isolado quando este for conectado a um condutor nu.

Os terminais primários têm a finalidade de garantir a deflexão do campo elétrico, obrigando que os gradientes de tensão radial e longitudinal se mantenham dentro de determinados limites.

Há uma grande variedade de terminais primários. Os mais conhecidos, porém, são as muflas de corpo de porcelana com enchimento de composto elastomérico. São fabricados não só terminais primários constituídos de material termocontrátil denominados terminações termocontráteis, mas também as chamadas terminações a frio. As primeiras são aplicadas sobre o condutor usando uma fonte de calor (maçarico com controle de chama), enquanto o segundo tipo é aplicado diretamente sobre o cabo, bastando retirar o dispositivo de plástico que arma o tubo da terminação.

O sistema de contração a frio mantém a terminação “pretensionada” até

o momento da instalação. Durante a aplicação, ela é contraída sob pressão no cabo, permanecendo fixa durante toda a sua vida útil. Disponíveis em vários tamanhos, podem servir a cabos desde seções de 6 a 1.000 mm². Tanto as terminações termocontráteis como as terminações a frio podem ser utilizadas em ambientes internos ou externos. A [Figura 9.6](#) mostra os componentes de uma mufla terminal unipolar, comumente utilizada em ramal de entrada primário subterrâneo. A [Figura 9.7](#) apresenta o aspecto externo da mufla vista na figura anterior. Já a [Figura 9.8](#) mostra uma terminação termocontrátil.

9.3.3.1 Especificação sumária

Os terminais primários devem ser dimensionados em função da seção transversal e do tipo de cabo a ser utilizado, das características elétricas do sistema e do local de utilização. Logo, na aquisição de uma terminação, é necessário conhecer os seguintes elementos:

- Tipo.
- Condutor isolado a ser conectado, em mm².
- Tensão nominal eficaz, em kV.
- Corrente nominal, em A.
- Tensão suportável de impulso, em kV.
- Uso (interno ou externo).

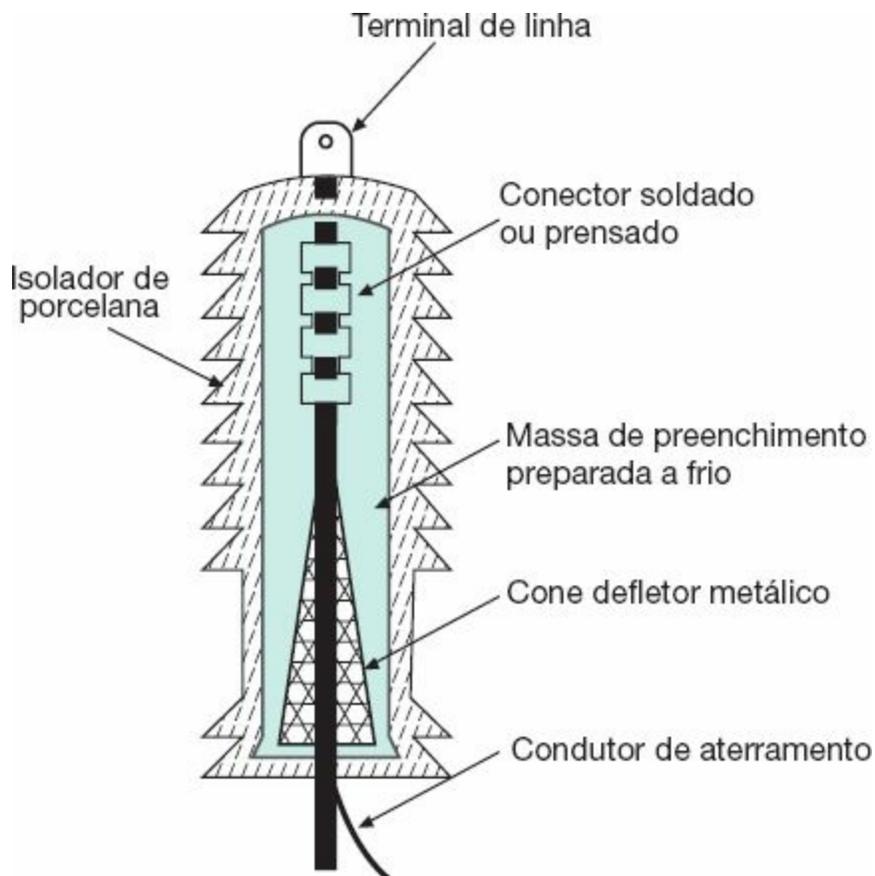


Figura 9.6 Elementos de uma mufla terminal primária.



Figura 9.7 Vista externa de uma mufla terminal unipolar.

De acordo com o diagrama unifilar da [Figura 9.1](#), pode-se assim designar o terminal primário ali indicado:

Mufla terminal primário unipolar, uso externo, do tipo composto elastomérico, para cabo isolado de 35 mm² com isolamento XLPE, tensão nominal de 15 kV, corrente nominal de 100 A, tensão suportável de impulso de 95 kV, fornecida com *kit* completo.

9.3.4 Cabo de energia isolado para 15 kV (4)

Atualmente, os cabos primários isolados mais comumente utilizados em instalações elétricas industriais são os de cobre, com isolação à base de PVC, de polietileno reticulado ou ainda os de borracha etileno-propileno.

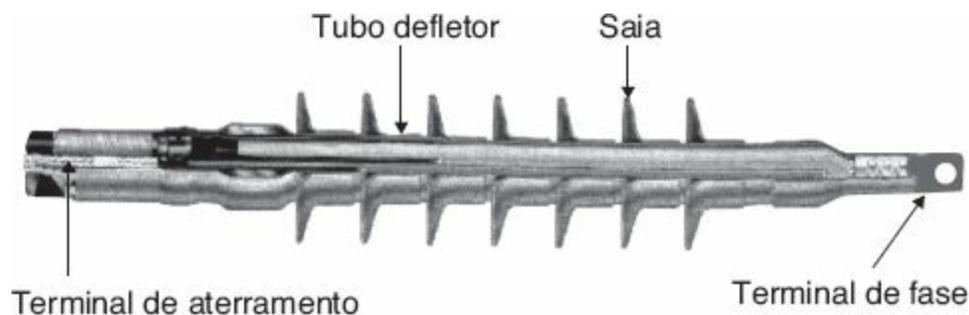


Figura 9.8 Terminal termocrátil unipolar.

Os cabos isolados da classe de tensão de 15 kV são constituídos de um condutor metálico revestido de uma camada de fita semicondutora por cima da qual é aplicada a isolação. Uma segunda camada de fita semicondutora é aplicada sob a blindagem metálica que pode ser composta de uma fita ou de fios elementares. Finalmente, o cabo é provido de uma capa externa de borracha, normalmente o PVC.

A primeira fita semicondutora é responsável pela uniformização do campo elétrico radial e transversal, distorcido pela irregularidade da superfície externa do condutor. A segunda fita semicondutora tem a finalidade de corrigir o campo elétrico sobre a superfície da isolação devido às irregularidades da blindagem metálica sobreposta a esta isolação.

A blindagem metálica tem a função de garantir o escoamento das

correntes de defeito para a terra.

Já a capa externa do cabo tem a função de agregar a blindagem metálica e dotar o cabo de uma proteção mecânica adequada, principalmente durante o puxamento no interior de dutos. A [Figura 9.9](#) mostra a seção transversal de um cabo classe 15 kV isolado com XLPE.

O esforço provocado pelo campo elétrico se distribui na camada isolante de forma exponencial decrescente, atingindo o máximo na superfície interna da isolação e o mínimo na superfície externa da mesma. Para que haja uniformidade do campo elétrico, a camada isolante deve estar livre de impurezas ou bolhas, pois, caso contrário, estas estariam funcionando em série com a isolação.

Considerando que a rigidez dielétrica do vazio nunca é superior a 1 kV/mm e que o gradiente da borracha XLPE, por exemplo, está situado entre 3 e 4 kV/mm, pode-se concluir que qualquer vazio ou impureza interior ao isolamento fica sujeita a solicitações superiores à rigidez dielétrica. Como a tensão a que está submetido o cabo é alternada, a bolha fica submetida a duas descargas por ciclo, o que corresponde a um bombardeio de elétrons nas paredes do vazio, desenvolvendo-se certa quantidade de calor e, conseqüentemente, provocando efeitos danosos à isolação, cujo resultado é uma falha inevitável para a terra.

A [Figura 9.10](#) apresenta, graficamente, a solicitação que uma bolha provoca à isolação de um condutor.

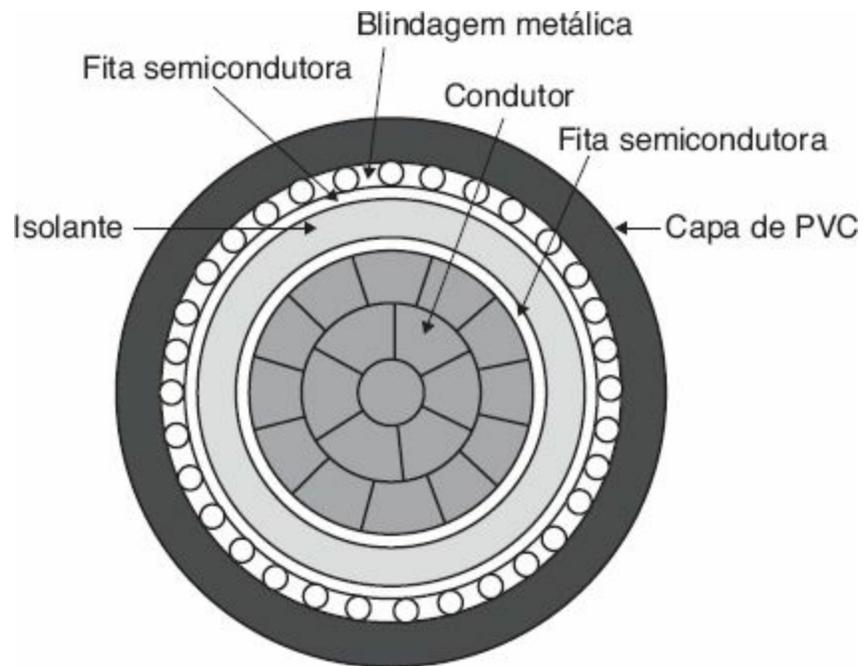


Figura 9.9 Bolha de ar em dielétrico sólido.

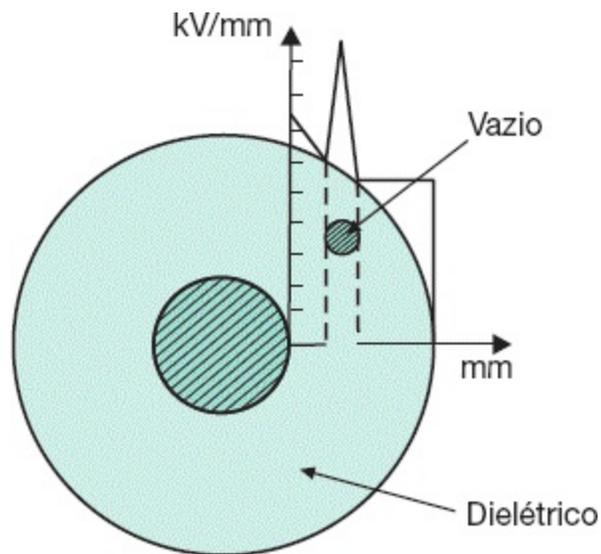


Figura 9.10 Cabo de energia isolado para 15 kV.

9.3.4.1 Especificação sumária

A especificação de um condutor requer a indicação mínima dos seguintes parâmetros:

- Seção quadrática, em mm^2 .
- Tipo do condutor: cobre ou alumínio.
- Blindagem metálica, em mm^2 .
- Tipo de isolamento: polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), ou ainda o cloreto de polivinila (PVC).
- Tensão nominal da isolamento, em kV.
- Tensão suportável de impulso, em kV.

A norma brasileira NBR 6251 identifica as tensões de isolamento por meio de dois valores (V_0/V_1). O primeiro valor identifica a tensão eficaz entre condutor e terra ou blindagem, enquanto o segundo permite determinar a tensão eficaz entre fases dos condutores (por exemplo: 8,7/15 kV).

A mesma norma classifica os sistemas elétricos em duas categorias, definidas segundo a possibilidade de uma falta fase-terra. A categoria 1 compreende os sistemas previstos para operarem, durante um curto intervalo de tempo, em condições de falta para a terra, em geral, não superior a uma hora. A categoria 2 abrange os sistemas não classificados na categoria 1, isto é, sistema com neutro isolado e que suporta condições de falta para a terra em um tempo de oito horas. Logo, a isolamento dos condutores deve ser escolhida em função dessas características dos sistemas. Para sistemas com neutro efetivamente aterrado, a isolamento dos condutores deve ser escolhida para a categoria 1, a não ser que seja esperada uma elevada frequência de operação dessa rede com defeito à terra.

Outro fator importante no dimensionamento do cabo é a blindagem metálica, responsável pela condução da corrente de curto-circuito fase e terra quando ocorre um defeito na isolamento. Seu valor é calculado considerando o tempo de atuação da proteção para a corrente de defeito monopolar. Quando não é especificado o valor da corrente de defeito, o fabricante fornece o cabo com a seção da blindagem metálica no valor de 6 mm^2 , mínimo indicado pela norma brasileira.

Considerando a carga do diagrama da [Figura 9.1](#), o cabo pode ser assim

descrito:

Cabo isolado para 8,7/15 kV, em cloreto de polivinila (PVC), condutor de cobre, seção transversal de 25 mm², blindagem metálica de 6 mm².

9.3.5 Transformador de corrente (5)

Os transformadores de corrente (TC) estão divididos em dois tipos fundamentais: transformadores de corrente para serviço de medição e transformadores de corrente para serviço de proteção.

O transformador de corrente é um equipamento capaz de reduzir a corrente que circula no seu primário para um valor inferior, no secundário, compatível com o instrumento registrador de medição (medidores).

Os transformadores de corrente são constituídos de um enrolamento primário, feito, normalmente, de poucas espiras de cobre, um núcleo de ferro e um enrolamento secundário para a corrente nominal padronizada, normalmente de 5 A.

A [Figura 9.11](#) mostra um transformador de corrente com isolação de resina epóxi, na qual estão identificadas suas principais partes componentes.

O valor da corrente secundária do TC varia segundo a corrente circulante no primário. Assim, um transformador de corrente de 100-5 A, inserido em um circuito com corrente de 80 A, fornece uma corrente secundária de:

$$\frac{100}{5} = \frac{80}{I_{stc}} \rightarrow I_{stc} = 4 \text{ A.}$$

Cuidados devem ser tomados para não deixar em aberto os terminais secundários dos transformadores de corrente, quando da desconexão dos equipamentos de medida a eles ligados, pois, do contrário, surgirão tensões elevadas, devido ao fato de não haver o efeito desmagnetizante no

secundário, tomando a corrente de excitação o valor da corrente primária e originando um fluxo muito intenso no núcleo, provocando elevadas perdas no ferro. Isto poderá danificar a isolamento do TC e levar perigo à vida das pessoas. Pode-se acrescentar também que, ao se retirar a carga do secundário do TC, a impedância secundária passa a ter valor igual a ∞ . Para manter a igualdade da Equação (9.2), isto é, $V_{ns} = Z_{nt} \times I_{ms}$, é necessário V_{ns} crescer indefinidamente, o que não ocorre porque o fluxo no ferro é limitado pela sua relutância magnética. A [Figura 9.12](#) mostra, esquematicamente, um TC ligado a um amperímetro, detalhando a chave C que permite curto-circuitar os terminais secundários do equipamento, quando da retirada do aparelho.

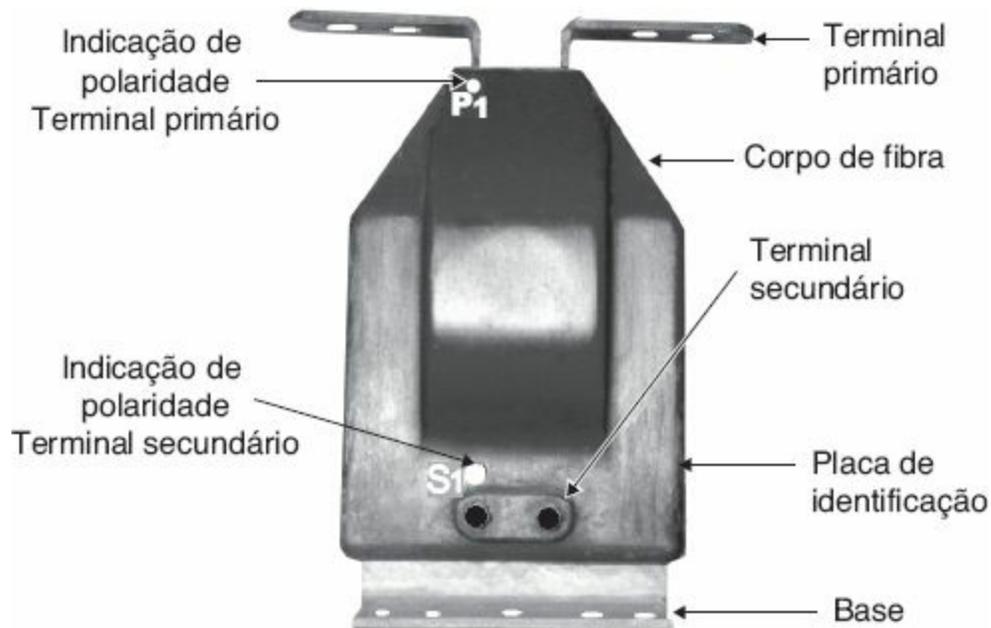


Figura 9.11 Transformador de corrente (TC).

Os TCs podem ser classificados nos seguintes tipos, de acordo com a disposição do enrolamento primário e a construção do núcleo.

a) TC do tipo barra

É aquele em que o primário é constituído por uma barra fixada através do núcleo, conforme mostrado na [Figura 9.13](#).

b) TC do tipo enrolado

É aquele em que o enrolamento primário é constituído de uma ou mais espiras, envolvendo o núcleo, conforme se vê na [Figura 9.14](#).

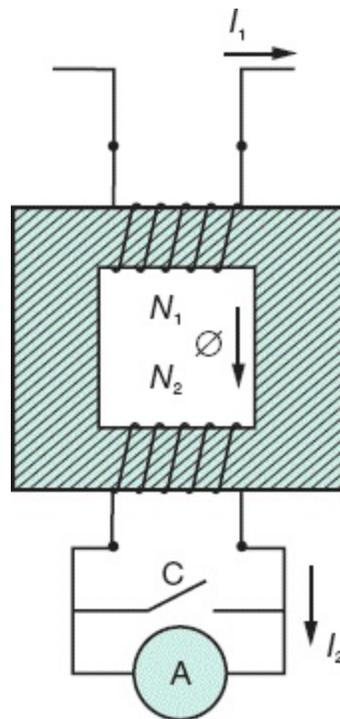


Figura 9.12 Chave do secundário do TC.

c) TC do tipo janela

É aquele constituído de uma abertura através do núcleo, por onde passa o condutor, fazendo a vez do enrolamento primário, conforme se observa na [Figura 9.15](#).

d) TC do tipo bucha

É aquele cujas características são semelhantes ao TC do tipo barra, porém sua instalação é feita na bucha dos equipamentos (transformadores, disjuntores etc.) que funciona como enrolamento primário. A [Figura 9.16](#) caracteriza esse tipo de TC.

e) TC do tipo núcleo dividido

É aquele cujas características são semelhantes ao TC do tipo janela, em que o núcleo pode ser separado para permitir envolver um condutor que funciona como o enrolamento primário, conforme está mostrado na [Figura 9.17](#).

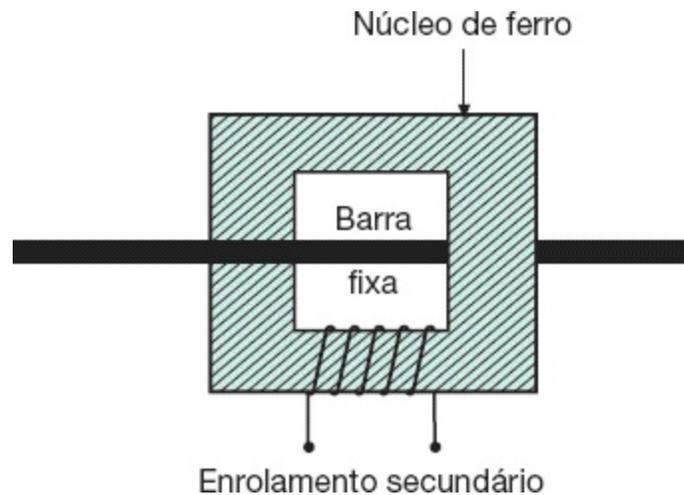


Figura 9.13 TC do tipo barra.

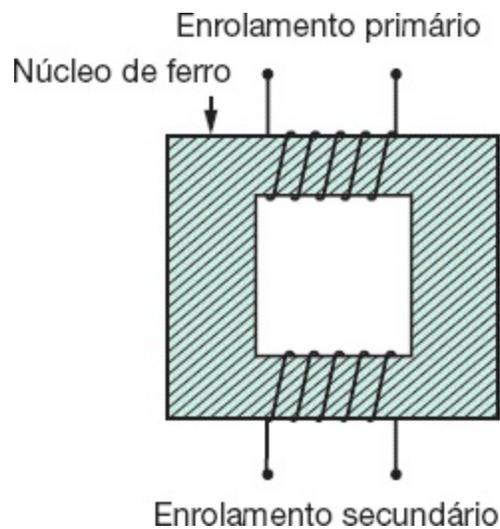


Figura 9.14 TC do tipo enrolado.

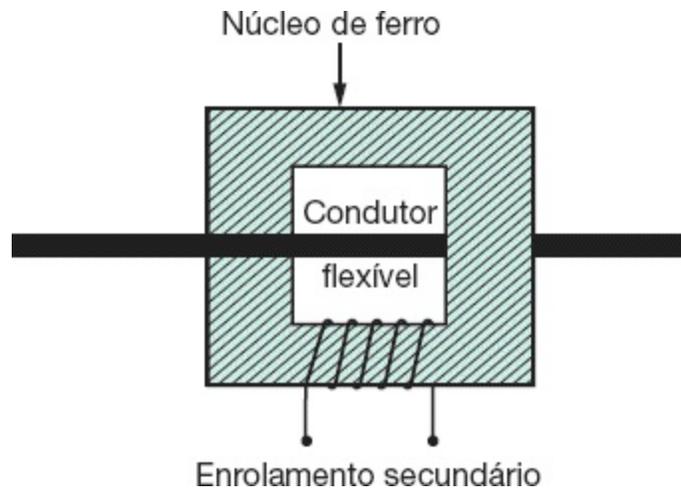


Figura 9.15 TC do tipo janela.

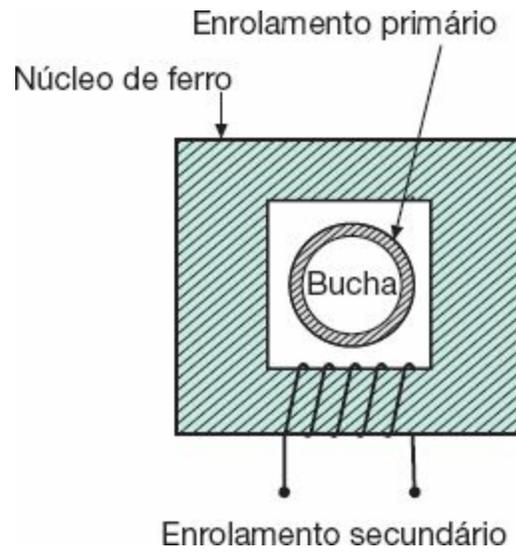


Figura 9.16 TC do tipo bucha.

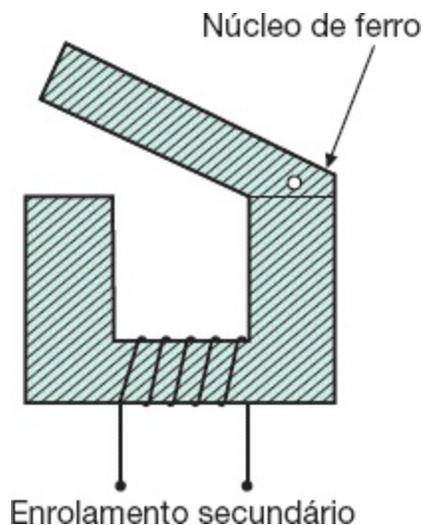


Figura 9.17 TC do tipo núcleo dividido.

9.3.5.1 Transformadores de corrente para serviço de medição

Os transformadores de corrente para serviço de medição devem ser projetados para assegurar a proteção aos aparelhos a que estão ligados (amperímetros, medidores de energia: kWh, kVArh etc.). Durante a ocorrência de um curto-circuito é necessário que a corrente no secundário do TC não aumente na mesma proporção da corrente primária. Por efeito de saturação do núcleo magnético, a corrente secundária é limitada a valores que não danifiquem os aparelhos, normalmente quatro vezes a corrente nominal.

Os transformadores de corrente para medição apresentam as seguintes características:

a) Corrente secundária nominal

Normalmente, a corrente nominal secundária dos TCs é de 5 A. Também são construídos TCs com corrente nominal igual a 1 A, destinados a aferição de medidores, ou quando se deseja obter no circuito secundário uma pequena queda de tensão, notadamente em circuitos de grande comprimento.

b) Corrente primária nominal

É aquela para a qual o TC foi projetado. Na especificação de um TC, deve-se escolher a corrente primária nominal próxima do valor da corrente de carga máxima do circuito. As correntes nominais padronizadas pela norma estão baseadas na [Tabela 9.3](#).

Tabela 9.3 Correntes nominais primárias dos TCs

Corrente primária	RTC	Corrente primária	RTC
5	1:1	300	60:1
10	2:1	400	80:1
15	3:1	500	100:1
20	4:1	600	120:1
25	5:1	800	160:1
30	6:1	1.000	200:1
40	8:1	1.200	240:1
50	10:1	1.500	300:1
60	12:1	2.000	400:1
75	15:1	2.500	500:1
100	20:1	3.000	600:1
125	25:1	4.000	800:1
150	30:1	5.000	1.000:1

200	40:1	6.000	1.200:1
250	50:1	8.000	1.600:1

c) Carga nominal

É aquela que deve suportar, nominalmente, o enrolamento secundário do TC e na qual estão baseadas as prescrições de sua exatidão.

d) Classe de exatidão

É o valor percentual máximo de erro que o TC pode apresentar na indicação de um aparelho de medição em condições especificadas em norma. Os TCs são fabricados com as seguintes classes de exatidão: 0,2–0,3–0,6–1,2.

Os TCs de medição para faturamento devem ter classe de exatidão 0,3, enquanto os TCs destinados, por exemplo, à medição para fins de determinação dos custos com energia elétrica em certos setores de carga elevada de uma indústria podem ter classe de exatidão 0,6. Já os TCs para uso em instrumentos de indicação de medidas, como, por exemplo, amperímetros, podem ter classe de exatidão 1,2.

e) Fator térmico

É o fator pelo qual se deve multiplicar a corrente nominal primária do TC, a fim de se obter uma corrente secundária capaz de ser conduzida, permanentemente, sem que os limites de elevação de temperatura especificados por norma sejam excedidos e que sejam mantidos os limites de sua classe de exatidão.

f) Corrente térmica nominal

Conhecida também como corrente de curta duração, é a corrente máxima que pode circular no primário do TC, estando o secundário em curto-circuito,

durante o período de um segundo, sem que seja excedida a elevação de temperatura especificada por norma.

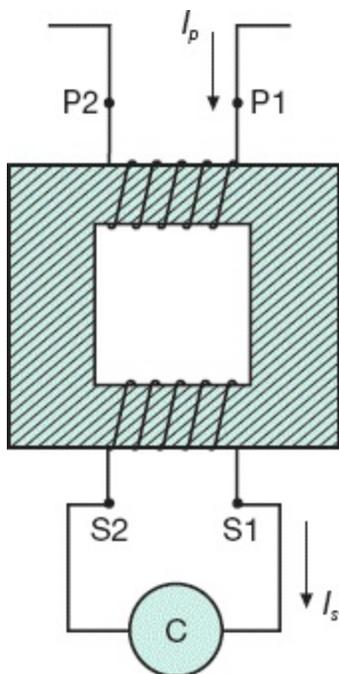


Figura 9.18 Representação da polaridade de um TC.

g) Corrente dinâmica nominal

É a corrente máxima, valor de crista, que pode circular no primário do TC, estando o secundário em curto-circuito durante o período do primeiro ciclo, sem que disso resulte danos eletromecânicos.

h) Polaridade

Para os TCs que alimentam aparelhos de medida de energia, é de extrema importância o conhecimento da polaridade, devido à necessidade da ligação correta das bobinas desses instrumentos.

Diz-se que um TC tem polaridade subtrativa se a corrente que circula no primário do terminal P1 para P2 corresponde a uma corrente secundária circulando no instrumento de medida do terminal S1 para S2, conforme está mostrado na [Figura 9.18](#). Normalmente, os TCs têm os terminais dos

enrolamentos, primário e secundário, de mesma polaridade postos em correspondência, conforme pode ser observado na [Figura 9.11](#).

Se, para uma corrente I_p circulando no primário de P1 para P2 corresponder uma corrente secundária no sentido inverso ao indicado na [Figura 9.18](#), diz-se que o TC tem polaridade aditiva.

9.3.5.2 Transformadores de corrente para serviço de proteção

São equipamentos a que devem ser conectados os relés do tipo ação indireta, ou simplesmente relés secundários.

A seguir serão descritas as principais características dos TCs de proteção.

9.3.5.2.1 Classe

Os transformadores de corrente, ou simplesmente TCs, destinados a serviço de relés, dividem-se em duas classes:

a) TCs de classe B

São aqueles cujo enrolamento secundário apresenta uma reatância que pode ser desprezada. Nesta classe, estão enquadrados os TCs com núcleo toroidal, ou simplesmente TCs de bucha.

b) TCs de classe A

São aqueles cujo enrolamento secundário apresenta reatância que não pode ser desprezada. Nesta classe, estão todos os TCs que não se enquadram na classe B.

9.3.5.2.2 Fator de sobrecorrente

É um fator que expressa a relação entre a máxima corrente com a qual o TC mantém sua classe de exatidão nominal e sua corrente nominal. A [Tabela 9.4](#) fornece as principais características dos TCs normalizados pela ABNT. A Equação (9.1) determina o valor da corrente mínima que deve ter o primário do TC, relativamente à corrente de curto-circuito simétrica, valor eficaz.

$$I_{np} = \frac{I_{cs}}{F_s} \quad (9.1)$$

I_{np} - corrente nominal primária do TC, em A;

I_{cs} - corrente de curto-circuito simétrica, de valor eficaz, em A;

F_s - fator de sobrecorrente.

É preciso lembrar que os TCs para proteção somente devem entrar em saturação para valores de elevada indução magnética, o que corresponde a uma corrente de 20 vezes a corrente nominal primária, conforme a NBR 5364: Transformadores de corrente – Especificação. Deve-se observar então que, para que a proteção atue dentro dos requisitos predeterminados, a corrente secundária do TC deve corresponder exatamente, por meio da relação de transformação, ao valor da corrente que circula no seu primário até o limite especificado de 20 vezes a corrente nominal. Caso não seja obedecida esta prescrição, o TC entrará em saturação modificando a resposta da proteção.

9.3.5.2.3 Classe de exatidão

Os TCs para serviço de relés devem ser enquadrados em uma das seguintes classes de exatidão:

- Classe 5: com erro percentual de 5 %.
- Classe 10: com erro percentual de 10 %.

Diz-se que um TC está dentro de sua classe de exatidão nominal,

quando, por exemplo, o erro percentual não for superior a 5 %, para a classe de exatidão 5, desde a sua corrente nominal até uma corrente dada pelo produto da corrente nominal pelo fator de sobrecorrente.

9.3.5.2.4 Carga admissível

É a carga máxima admitida no secundário do TC, sem que o erro percentual ultrapasse o valor especificado para a sua classe de exatidão. Seu valor é dado pela Equação (9.2).

$$Z_{ntc} = \frac{V_{ns}}{I_{ms}} \quad (9.2)$$

Z_{ntc} - carga máxima admitida no secundário do TC, em Ω ;

Tabela 9.4 Características elétricas dos TCs de proteção para $F_s = 20$

Carga nominal (VA)	Impedância (Ohm)	Tensão nominal secundária (V)	TC normalizado da classe A	TC normalizado da classe B
C 2,5	0,1	10	A10	B10
C 5,0	0,2	20	A20	B20
C 12,5	0,5	50	A50	B50
C 25	1,0	100	A100	B100
C 50	2,0	200	A200	B200
C 100	4,0	400	A400	B400
C 200	8,0	800	A800	B800

V_{ns} - tensão nominal secundária do TC, em V;

I_{ms} - corrente máxima no secundário do TC, em A.

A tensão nominal secundária do TC é aquela medida nos terminais da carga ligada a este, quando a corrente secundária é igual a 20 vezes a corrente nominal secundária, e na qual o erro de relação de transformação não seja superior ao valor especificado. A [Tabela 9.4](#) relaciona as cargas dos TCs com as respectivas tensões nominais. Para exemplificar o conceito, considerar o TC 10A400 da [Tabela 9.4](#). A tensão no secundário do TC quando a corrente é igual a 20 vezes a corrente nominal secundária vale:

$$V_{ns} = Z_{rts} \times I_{ms}$$

$$Z_{ntc} = 4 \text{ (Tabela 9.4)}$$

$$I_{ns} = 5 \text{ A (corrente nominal secundária)}$$

$$I_{ms} = 20 \times 5 = 100 \text{ A}$$

$$V_{ns} = 4 \times 100 = 400 \text{ V}$$

9.3.5.2.5 Limite da corrente de curta duração

É a maior corrente primária simétrica, de valor eficaz, que o transformador de corrente é capaz de suportar com o enrolamento secundário em curto-circuito, durante um tempo especificado. Os limites da corrente de curta duração podem assim ser dimensionados:

a) Corrente térmica

É o valor da corrente de curto-circuito para o qual a temperatura máxima especificada do enrolamento não seja excedida. É dada pela Equação (9.3).

$$I_{ter} = I_{cs} \times \sqrt{T_{op} + 0,0042} \text{ A} \quad (9.3)$$

I_{ter} - corrente de curto-circuito para efeito térmico, em A;

I_{cs} - corrente inicial simétrica de curto-circuito de valor eficaz, em A;

T_{op} - tempo de operação da proteção, em s.

Chama-se fator térmico de curto-circuito a relação entre a corrente térmica do TC e sua corrente nominal primária, ou seja:

$$F_{tc} = \frac{I_{ter}}{I_{np}} \quad (9.4)$$

F_{tc} - fator térmico de curto-circuito;

I_{np} - corrente nominal primária do TC, em A.

Em geral, os fatores térmicos de TCs são: 80–120–160–240–320–400.

b) Corrente dinâmica

É o maior valor de crista da corrente de curto-circuito segundo o qual os esforços eletrodinâmicos resultantes não danifiquem mecanicamente o transformador de corrente.

Segundo a NBR 5364, o valor da corrente dinâmica deve ser de:

$$I_{din} = 2,5 \times I_{ter} \quad (9.5)$$

Em função do valor do radicando da Equação (9.3), devem ser estabelecidas as seguintes condições de resistência aos curtos-circuitos para efeitos térmico e dinâmico:

$$T_{top} = T_{op} + 0,042 \quad (9.6)$$

- Se $T_{top} = 1$, deve-se ter:

$$I_{ter} = I_{cs} \rightarrow I_{din} = 2,5 \times I_{ter}$$

- Se $T_{top} < 1$, deve-se ter:

$$I_{din} \geq I_{cr}$$

I_{cr} - corrente de crista, em A.

Neste caso, o TC está protegido para o valor da corrente térmica.

- Se $T_{top} > 1$, deve-se ter:

$$I_{ter} \geq I_{cs} \rightarrow I_{din} = 2,5 \times I_{ter}$$

Exemplo de aplicação (9.1)

Considerar a proteção de sobrecorrente no primário de transformador de 2.500 kVA – 13.800/380 V, em que se utiliza um TC de alimentação do sistema de relés. A corrente de curto-circuito no primário do transformador é de 4.000 A e o tempo de atuação da proteção é de 1,5 s.

a) Cálculo da RTC

$$I_{tr} = \frac{2.500}{\sqrt{3} \times 13,80} = 104,5 \text{ A} \rightarrow \text{RTC} = 125-5: 25 \text{ (valor inicial)}$$

Sendo $F_s = 20$, tem-se a partir da Equação (9.1):

$$I_{np} = \frac{I_{cs}}{F_s} = \frac{4.000}{20} = 200 \text{ A} \rightarrow \text{RTC} = 200 - 5: 40$$

b) Cálculo da corrente térmica mínima do TC

De acordo com a Equação (9.3), tem-se:

$$I_{ter} = I_{cs} \times \sqrt{T_{top} + 0,042} \rightarrow I_{ter} = 4.000 \times \sqrt{1,5 + 0,042} \rightarrow I_{ter} = 4.967 \text{ A}$$

Logo, o fator térmico é dado pela Equação (9.4).

$$F_{tc} = \frac{I_{ter}}{I_{np}} = \frac{4.967}{200} = 24,8$$

c) Cálculo da corrente dinâmica mínima do TC

De acordo com a Equação (9.5), tem-se:

$$I_{din} = 2,5 \times I_{ter} = 2,5 \times 4.967 = 12.417 \text{ A}$$

d) Condições de resistência aos curtos-circuitos para efeitos térmicos e dinâmicos

Como o valor de $T_{top} > 1,0$, estão satisfeitas as condições de curto-circuito para efeitos térmicos e dinâmicos.

9.3.5.3 Especificação sumária

Para se especificar um TC é necessário que se indiquem, no mínimo, os seguintes elementos:

- Tipo (barra, enrolado, bucha etc.).
- Uso (interior ou exterior).
- Classe de tensão.
- Relação de transformação.
- Isolação (em banho de óleo, epóxi etc.).
- Tensão nominal primária.
- Frequência.
- Tensão suportável de impulso (TSI).
- Fator térmico.
- Carga nominal.
- Classe.
- Classe de exatidão.
- Fator térmico de curto-circuito.
- Polaridade.

Para o circuito da [Figura 9.1](#) pode-se descrever o TC como:

Transformador de corrente para uso em medição, do tipo enrolado, classe de tensão 15 kV, relação de transformação de 75-5 A, carga nominal de 12,5 VA (valor dos medidores de kWh e kVArh), classe de exatidão 0,30, tensão suportável de impulso 95 kV, polaridade subtrativa, fator térmico 1,2, classe B, para uso interno.

9.3.6 Transformador de potencial (6)

É um equipamento capaz de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a tensão máxima suportável pelos aparelhos de medida.

A tensão nominal primária do TP é função da tensão nominal do sistema elétrico ao qual está ligado. A tensão secundária, no entanto, é padronizada e tem valor fixo de 115 V para TPs de medição de faturamento. Variando-se a tensão primária, a tensão secundária varia na mesma proporção.

Os TPs podem ser construídos para serem ligados entre fases de um sistema ou entre fase e neutro ou terra. Os TPs devem suportar uma sobretensão permanente de até 10 %, sem que lhes ocorra nenhum dano. São próprios para alimentar instrumentos de impedância elevada, tais como voltímetros, bobinas de potencial de medidores de energia etc. A [Figura 9.19](#) representa um TP alimentando um voltímetro.

Em serviço de medição primária, os TPs, em geral, alimentam um medidor de kWh, com indicação de demanda e um medidor de kVArh. As cargas aproximadas desses instrumentos são dadas na [Tabela 9.5](#).

Quando forem utilizados TPs para medição de faturamento, medição operacional e relés de proteção, é necessário que se determine o valor da carga dos instrumentos a ser conectada, a fim de se poder especificar a carga correspondente do TP, o que pode ser dado na [Tabela 9.6](#).

A norma classifica os TPs em dois grupos de ligação. O grupo 1 abrange os TPs projetados para ligação entre fases, sendo o de maior aplicação na

medição industrial. O grupo 2 corresponde aos TPs projetados para ligação entre fase e neutro em sistemas com o neutro aterrado sob impedância.

Os TPs podem ser construídos para uso ao tempo ou abrigado. Também são fornecidos em caixa metálica, em banho de óleo ou em resina epóxi. Os primeiros são apropriados para instalações em cubículos de medição em alvenaria e/ou em cubículos metálicos de grandes dimensões; o segundo tipo é próprio para cubículos de dimensões reduzidas. A [Figura 9.20](#) mostra um TP de carcaça metálica em banho de óleo para ligação fase-fase (grupo 1).

Ao contrário dos TCs, quando se desconecta a carga do secundário em um TP, seus terminais devem ficar em aberto, pois, se um condutor de baixa resistência for ligado, ocorrerá um curto-circuito franco, capaz de danificar a isolação do mesmo.

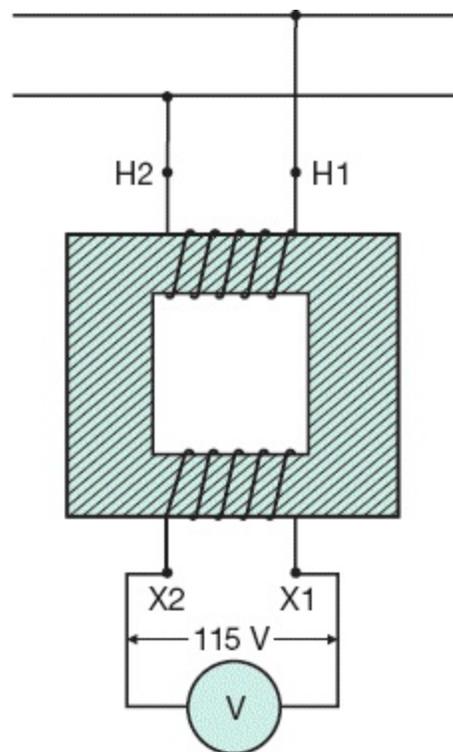


Figura 9.19 TP alimentando uma carga (voltímetro).

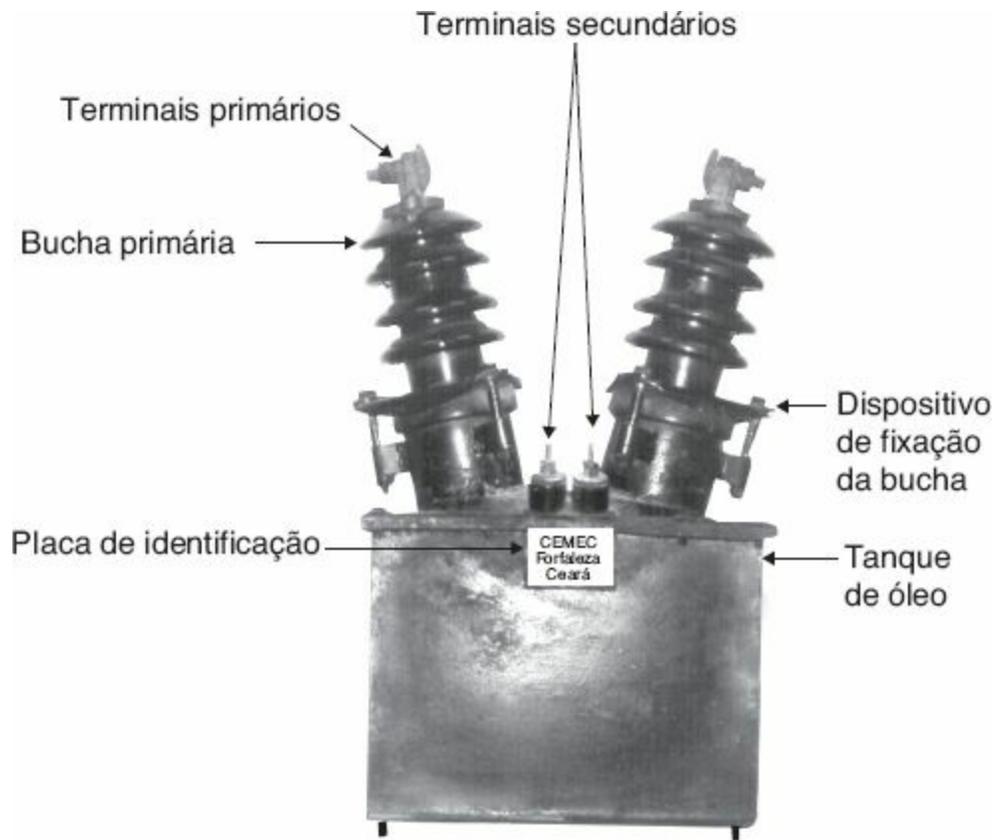


Figura 9.20 Transformador de potencial (TP).

Tabela 9.5 Cargas de aparelhos de medição

Aparelhos	Potência ativa (W)	Potência reativa (var)	Potência aparente (VA)
Voltímetro	7,0	0,9	7,0
Motor p/ conjunto de demanda	2,2	2,4	3,2
Autotransformador defasador	3,0	13,0	13,3
Wattímetro	4,0	0,9	4,1
Frequencímetro	5,0	3,0	5,8

Fasímetro	5,0	3,0	5,8
Cossímetro	-	-	12,0
Medidor de kWh (BP)	2,0	7,9	8,1
Medidor de kVAh (BP)	3,0	7,7	8,2
Medidor de indução (demanda)	2,2	2,4	3,2

Obs.: os aparelhos digitais possuem carga muito inferiores aos valores indicados.

Tabela 9.6 Cargas nominais padronizadas dos TPs

Designação	Potência aparente (VA)	Fator de potência	Resistência (Ohm)	Indutância (mH)	Impedância (Ohm)
P 12,5	12,5	0,70	115,2	3.042,0	1.152
P 25	25,0	0,70	403,2	1.092,0	576
P 75	75,0	0,85	163,2	268,0	192
P 200	200,0	0,85	61,2	101,0	72
P 400	400,0	0,85	30,6	50,4	36

As principais características elétricas dos TPs são:

a) Tensão nominal primária

É aquela para a qual o TP foi projetado.

b) Tensão nominal secundária

É aquela padronizada por norma e tem valor fixo igual a 115 V.

c) Classe de exatidão

É o maior valor de erro percentual que o TP pode apresentar quando ligado a um aparelho de medida em condições especificadas. São construídos, normalmente, para a classe de exatidão de 0,2–0,3–0,6–1,2. Quanto à aplicação, segue os mesmos princípios orientados para os TCs.

d) Carga nominal

É a carga admitida no secundário do TP sem que o erro percentual ultrapasse os valores estipulados para sua classe de exatidão. A [Tabela 9.6](#) indica as cargas nominais padronizadas dos TPs e as respectivas impedâncias.

e) Potência térmica

É o valor da maior potência aparente que o TP pode fornecer em regime contínuo sem que sejam excedidos os limites especificados de temperatura.

f) Tensão suportável de impulso (TSI)

É a maior tensão em valor de pico que o TP pode suportar quando submetido a uma frente de onda de impulso atmosférico de $1,2 \times 50 \mu\text{s}$.

g) Polaridade

Semelhantemente aos TCs, é necessário que se identifiquem nos TPs os terminais de mesma polaridade. Logo, diz-se que o terminal secundário X1 tem a mesma polaridade do terminal primário H1, em determinado instante, quando X1 e H1 são positivos ou negativos, relativamente aos terminais X2 e H2, conforme se pode observar na [Figura 9.21](#).

Normalmente, os TPs mantêm os terminais secundários e primários de mesma polaridade, adjacentes.

A ligação das bobinas dos medidores de energia nos terminais secundários de um TP deve ser feita de tal modo que se H1 corresponde ao terminal de entrada ligado ao circuito primário, o terminal de entrada da bobina de potencial dos instrumentos deve ser conectado ao terminal secundário X1, para o TP de polaridade subtrativa.

9.3.6.1 *Especificação sumária*

É necessário que sejam definidos, no mínimo, os seguintes parâmetros para se poder especificar corretamente um TP:

- Isolação (em banho de óleo, ou epóxi).
- Uso (interior ou exterior).
- Tensão suportável de impulso (TSI).
- Tensão nominal primária, em kV.
- Tensão nominal secundária, em V (115 V).
- Frequência nominal, em Hz.
- Classe de exatidão requerida.
- Carga nominal (baseada na carga das bobinas dos instrumentos a serem acoplados).
- Polaridade.

Com base na [Figura 9.1](#), o TP pode ser assim descrito:

Transformador de potencial para medição de energia, isolação em epóxi, grupo 1, uso interno, frequência nominal de 60 Hz, tensão nominal primária de 13.800 V, tensão nominal secundária de 115 V, classe de exatidão 0,3, carga nominal P 25, polaridade subtrativa e tensão suportável de impulso 95 kV.

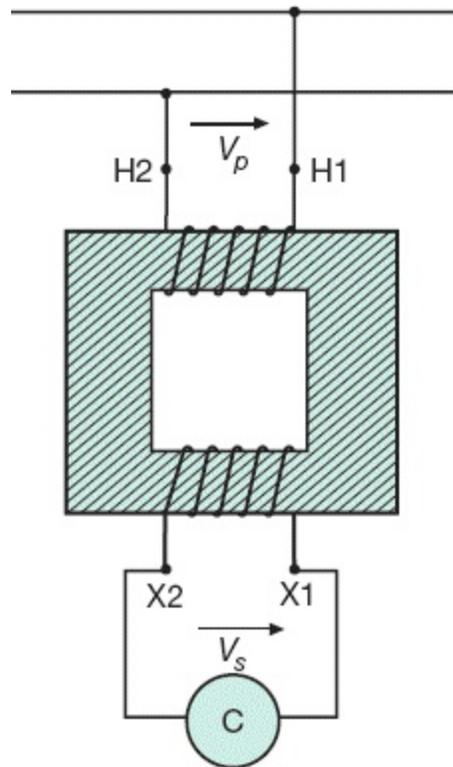


Figura 9.21 Representação da polaridade de um TP.

9.3.7 Medidores de energia

Por se tratar de aparelhos de uso exclusivo das concessionárias, este livro não contemplará suas especificações sumárias.

9.3.8 Bucha de passagem (7)

Quando se deseja passar um circuito interno de um cubículo fechado ao seu vizinho, normalmente são utilizadas buchas de passagem constituídas de um isolador de louça, tendo como fixação o seu ponto médio, conforme se mostra na [Figura 9.22](#).

Quanto ao uso, as buchas de passagem podem ser classificadas em:

a) Bucha de passagem para uso interno-interno

É aquela que deve ser aplicada em locais em que os dois ambientes sejam abrigados. Como exemplo, pode-se citar a bucha de passagem ligando os cubículos de medição e o cubículo de disjunção em uma subestação de alvenaria (veja [Capítulo 12](#)).

b) Bucha de passagem para uso interno-externo

É aquela que conecta um circuito aéreo, ao tempo, a um circuito abrigado. A [Figura 9.22](#) ilustra uma bucha de passagem para uso interno-externo. Como exemplo, pode-se citar a bucha de passagem ligando a rede aérea primária ao cubículo de medição de uma subestação de alvenaria (veja [Capítulo 12](#)). A parte da bucha exposta ao tempo deve ter a isolação dotada de saias, conforme a [Figura 9.22](#).

9.3.8.1 Especificação sumária

É necessário que sejam definidos, no mínimo, os seguintes elementos para se especificar uma bucha de passagem:

- Corrente nominal, em A.
- Tensão nominal, em kV.
- Tensão suportável a seco, em kV.
- Tensão suportável sob chuva, em kV.
- Tensão suportável de impulso (TSI), em kV.
- Uso (interno-interno ou interno-externo).

Com base na [Figura 9.1](#) pode-se assim especificar uma bucha de passagem:

Bucha de passagem para uso interno-interno, tensão nominal de 15 kV, corrente nominal de 100 A, tensão suportável de impulso (TSI) de 95 kV, tensão suportável a seco de 56 kV e tensão suportável sob chuva de 44 kV.

9.3.9 Chave seccionadora primária (8)

É um equipamento destinado a interromper, de modo visível, a continuidade metálica de determinado circuito. Devido ao seu poder de interrupção ser praticamente nulo, as chaves seccionadoras devem ser operadas com o circuito a vazio (somente tensão). Também são fabricadas chaves seccionadoras interruptoras, do tipo manual ou automático, capazes de desconectar um circuito operando a plena carga.

As chaves seccionadoras podem ser construídas com um só polo (unipolares) ou com três polos (tripolares). As primeiras são próprias para utilização em redes aéreas de distribuição; o segundo tipo, normalmente, é utilizado em subestações de instalação abrigada, em cubículo de alvenaria ou metálico.

A [Figura 9.23](#) representa uma chave seccionadora tripolar, própria para instalação em posto de alvenaria. Já a [Figura 9.24](#) mostra uma chave seccionadora tripolar de abertura em carga.

9.3.9.1 Especificação sumária

É necessário que sejam definidos os seguintes elementos para se especificar uma chave seccionadora tripolar:

- Corrente nominal, em A.
- Tensão nominal, em kV.



Figura 9.22 Bucha de passagem para uso interno-interno ou interno-externo.

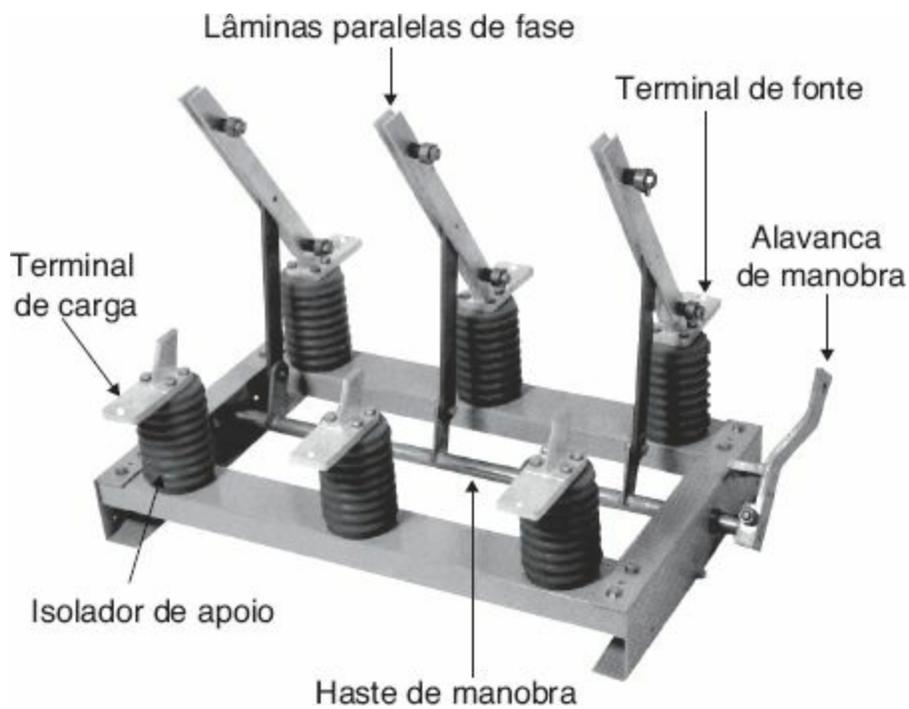


Figura 9.23 Chave seccionadora tripolar de altatensão.

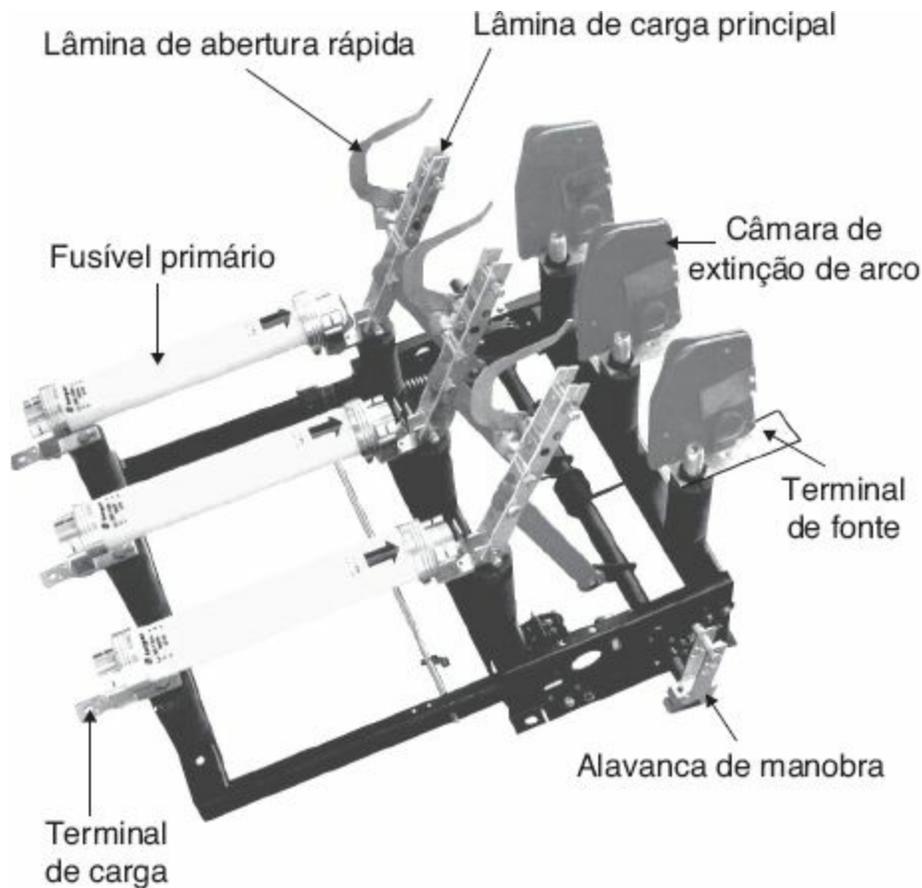


Figura 9.24 Chave seccionadora tripolar de alta-tensão.

- Tensão suportável de impulso (TSI), em kV.
- Uso (interno ou externo).
- Corrente de curta duração para efeito térmico, valor eficaz, em kA.
- Corrente de curta duração para efeito dinâmico, valor de pico, em kA.
- Tipo de acionamento (manual: através de alavanca de manobra, ou motorizada).

Em geral, as chaves seccionadoras tripolares, para a classe de tensão de 15 kV, têm corrente nominal de 400 A. Também são providas de contatos auxiliares, cuja quantidade deve ser especificada em função do tipo de serviço que irá desempenhar.

Com base na [Figura 9.1](#) pode-se, assim, descrever a chave seccionadora.

Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, uso interno, acionamento manual por alavanca de manobra, operação sem carga, corrente nominal de 400 A, classe de tensão 15 kV, corrente de curta duração para efeito térmico de 10 kA e para efeito dinâmico de 20 kA.

9.3.10 Relé primário de ação direta (9)

Os relés primários de ação direta são normalmente utilizados em subestação de consumidor de pequeno e médio portes (aproximadamente 3.000 kVA). Nesses relés, a corrente de carga age diretamente sobre sua bobina de acionamento, cujo deslocamento do êmbolo, imerso no campo magnético formado por essa corrente, faz movimentar o mecanismo de acionamento do disjuntor, conforme se mostra esquematicamente na [Figura 9.25](#).

Quando as correntes de carga envolvidas são muito grandes, a bobina de acionamento do relé pode ser alimentada pelo secundário de um transformador de corrente, conforme a [Figura 9.26](#).

Ao contrário dos relés de ação direta, existem os relés de ação indireta ou relés secundários, cuja bobina de acionamento está ligada diretamente ao secundário dos transformadores de corrente; o comando de disparo do disjuntor é feito, porém, a partir da energização de sua bobina de abertura por um sistema normalmente de corrente contínua.

Esse sistema de proteção requer, além dos relés propriamente ditos (dois ou três relés de fase e um relé de neutro), dois ou três transformadores de corrente para proteção, um conjunto retificador-carregador-flutuador, um banco de baterias e uma área fechada para abrigo desses elementos, o que torna essa proteção extremamente onerosa e utilizada apenas em subestações de capacidade superior a 3.000 kVA, em média.

Para subestações que possuam apenas um disjuntor (disjuntor geral de proteção) pode ser utilizado somente um *nobreak* de 600 a 1.000 W de

potência nominal, alimentado pelo TP do serviço de proteção

A [Figura 9.27](#) mostra o esquema simplificado de uma proteção de ação indireta.

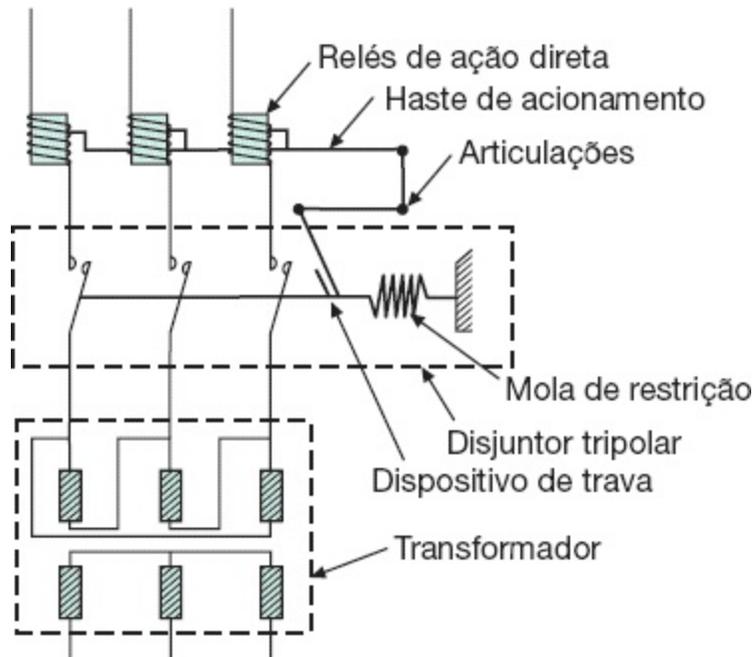
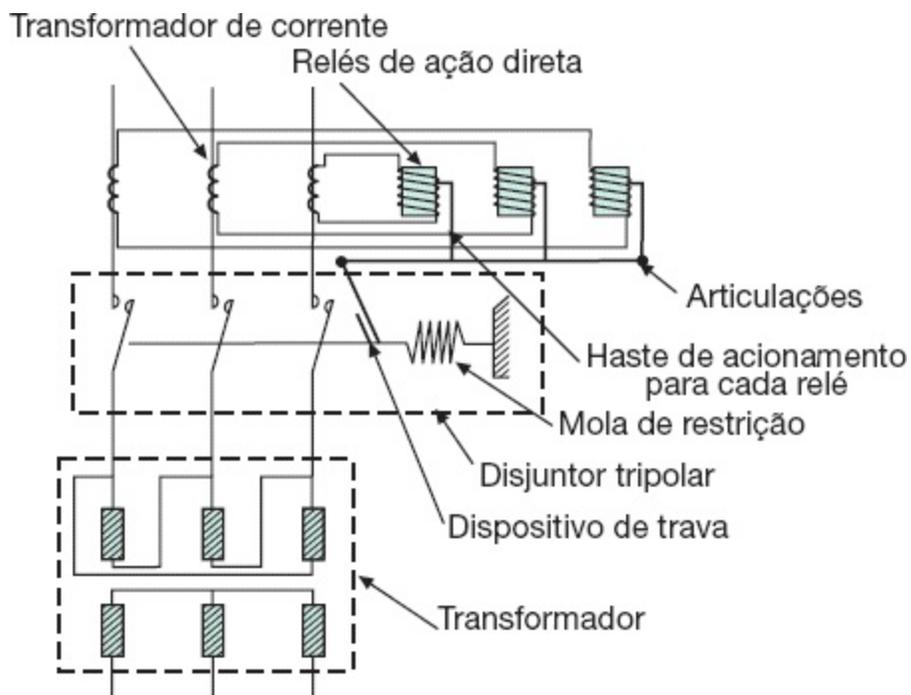


Figura 9.25 Relés de ação direta.



como a seguir.

9.3.10.1 Relés de sobrecorrente fluidodinâmicos

São constituídos de uma bobina de grossas espiras ligadas em série com o circuito a ser protegido. No interior da bobina pode-se deslocar um êmbolo metálico em cuja extremidade inferior é fixado um sistema de duas arruelas providas de furos de diâmetros adequados. A descentralização ou não desses furos, obtida pela rotação de uma das arruelas em torno do seu eixo, permite o disparo do relé através de duas curvas, cada uma delas definida por uma faixa de atuação, conforme se observa na [Figura 10.57](#), referente ao tipo RM2F, de fabricação Sace.

O relé dispõe de um êmbolo que está contido no interior de um copo metálico dentro do qual se coloca certa quantidade estabelecida de óleo de vaselina, cuja função principal é impedir o deslocamento do êmbolo mencionado em transitórios de curtíssima duração, como é o caso do fechamento do disjuntor que propicia uma elevada corrente de magnetização do transformador correspondente. A [Figura 9.28](#) mostra o conjunto copo-êmbolo com as respectivas arruelas.

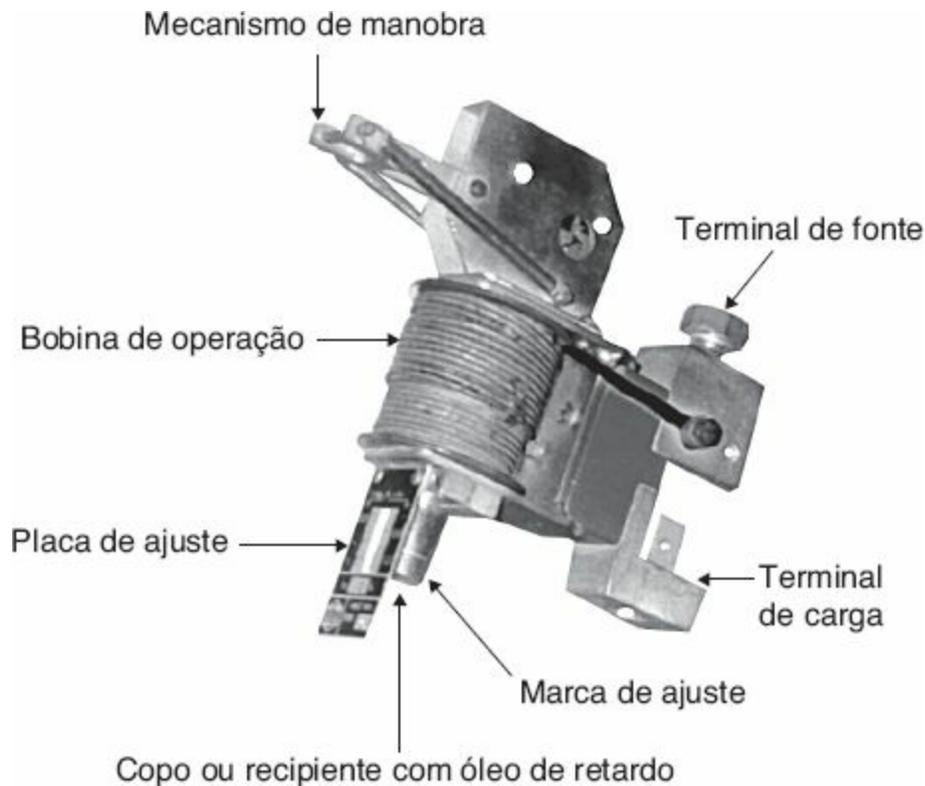


Figura 9.29 Relé fluidodinâmico.

Quando os orifícios das arruelas estão ajustados de forma coincidente, diz-se que o relé está com o diafragma de regulação aberto. Caso contrário, isto é, quando os furos são ajustados de modo não coincidente, diz-se que o relé está com o diafragma de regulação fechado. Na primeira condição, a curva de temporização é mais rápida devido à facilidade de escoamento do óleo entre os furos durante o movimento de ascensão do êmbolo. No segundo caso, como o escoamento do óleo somente se dá ao redor das arruelas, a temporização é mais lenta.

A temporização desses relés é obtida introduzindo-se mais ou menos o copo ou recipiente no interior da bobina de corrente, modificando, dessa forma, o comprimento do núcleo de ferro (êmbolo móvel) no interior da bobina mencionada. Quanto mais inserido está o copo e, conseqüentemente, o êmbolo, menor é o tempo de atuação do relé para uma mesma corrente no circuito, considerando ainda o efeito temporizador do óleo.

O disparo do relé se dá quando a extremidade superior do êmbolo, atraída fortemente para o interior da bobina, devido a uma elevação do módulo da corrente acima do valor ajustado, se choca com o dispositivo de travamento do mecanismo de disparo do relé que aciona o sistema de hastes, provocando a abertura do disjuntor. Uma escala graduada impressa em uma chapinha indica o múltiplo da corrente ajustada em relação à nominal. A calibração é feita fazendo-se coincidir a marca fendada do corpo do recipiente com o valor impresso na chapinha, que deve ser igual à corrente que se quer ajustar para a atuação do disjuntor.

O mecanismo de disparo do relé é preso às hastes de destrave do mecanismo do disjuntor por articulações apropriadas. A [Figura 9.29](#) mostra o perfil de um relé fluidodinâmico, do tipo RM2F de fabricação Sace, destacando suas principais partes componentes.

Os relés fluidodinâmicos apresentam as seguintes vantagens:

- Facilidade de instalação.
- Custo reduzido.
- Facilidade de regulação.

Em contrapartida, têm como desvantagens:

- A inadequação para sistemas seletivos em virtude de a sua operação se dar dentro de uma larga faixa de atuação.
- A manutenção periódica do óleo de vaselina a fim de mantê-lo dentro de suas características iniciais, pois a construção do relé permite uma leve penetração de poeira dentro do copo.
- A obrigatoriedade da desenergização do sistema durante sua manutenção, já que o relé está em série com o circuito principal.
- A inadequação para instalações industriais, nas quais a presença de máquinas de solda é preponderante, pois as fortes correntes de serviço provocam pequenos deslocamentos no êmbolo móvel, que não retorna à sua posição original devido à elevada frequência das

operações do trabalho, favorecendo o desligamento intempestivo do disjuntor.

Um dos cuidados que devem ser tomados na utilização dos relés fluidodinâmicos é a colocação, no recipiente, do óleo de vaselina, que acompanha cada unidade e que é armazenado em um pequeno frasco com a quantidade certa para cada unidade correspondente. É que a corrente de magnetização do transformador, que chega ao valor médio de oito vezes a corrente nominal, provoca a atuação dos relés, justamente por falta do elemento de retardo.

9.3.10.2 Relés de sobrecorrente eletromagnéticos

Existem alguns modelos de relés eletromagnéticos de largo uso nas instalações elétricas industriais e comerciais de média tensão. Seu uso nas subestações de potência das concessionárias de energia elétrica é praticamente nulo, devido à sua dificuldade de coordenar com os elos fusíveis de distribuição e com os demais relés de aplicação rotineira dessas instalações. São, porém, largamente utilizados em pequenas e médias subestações industriais.

Como exemplos de relés eletromagnéticos podem ser citados os relés de fabricação Sace modelo RM2R. Seu aspecto externo é semelhante ao dos relés fluidodinâmicos vistos anteriormente. Possui uma bobina de grossas espiras, cujo valor das correntes nominais coincide com o dos relés RM2F.

A temporização dos relés RM2R é dada por meio de um sistema de relojoaria que permite ajuste entre 1 e 5 s.

a) Relés de sobrecorrente estáticos

São dispositivos fabricados de componentes estáticos, montados em caixa metálica blindada para evitar a interferência do campo magnético dos condutores de alta-tensão em cujos bornes dos disjuntores estão instalados.

Esses relés dispensam alimentação auxiliar, o que torna sua aplicação bem mais conveniente nas subestações industriais e comerciais de pequeno e médio portes, em tensão inferior a 38 kV. O relé RPC-1 de fabricação Sprecher Energie é um exemplo desse tipo de relé, cujas características técnicas são exibidas no [Capítulo 10](#). O ajuste de suas funções é efetuado por seletores localizados no seu painel frontal, cada um deles contendo uma escala adequada. Para melhor entendimento, observar a [Figura 9.30](#) que mostra um relé eletrônico, detalhando os ajustes localizados em sua parte frontal, conforme a [Figura 9.30\(a\)](#), e sua vista em perfil, conforme [Figura 9.30\(b\)](#). Esses relés são constituídos basicamente de três módulos, tal como se apresenta o relé RPC-1 da Sprecher Energie:

- Transformadores de corrente

Cada unidade possui um transformador de corrente que determina a corrente nominal do relé e que deve ser compatível com a corrente máxima do circuito a ser protegido.

- Circuitos eletrônicos

É composto de um conjunto de placas de elementos estáticos, onde se processa toda a lógica de atuação do relé.

- Dispositivos de saída

É formado por um sistema mecânico que atua mediante um sinal elétrico enviado pelo processador lógico do relé. Esses relés são montados em cada polo do disjuntor. Devido à vibração do disjuntor no momento da desconexão de seus terminais, é aconselhável realizar a ligação do relé ao barramento da subestação por meio de um condutor flexível.

A característica de atuação dos relés RPC-1 não é afetada pela umidade, poeira e temperatura do meio ambiente no nível em que é afetado o relé fluidodinâmico. As características elétricas e os ajustes correspondentes estão definidos no [Capítulo 10](#).

9.3.10.3 Relés digitais

Após a emissão da NBR 14034, ficou estabelecido que a proteção geral das subestações de média tensão seria realizada por relés digitais de sobrecorrente, dispondo das funções 50/51-50/51N. Outras funções de proteção podem ser necessárias a depender das normas de cada concessionária.

Para que o leitor possa tomar conhecimento do assunto, consultar o item 10.3.2.5.

9.3.10.3.1 Especificação sumária

Sem entrar no assunto de proteção do sistema, o relé primário da [Figura 9.1](#) poderá ser assim descrito:

Relé digital de sobrecorrente, dotado no mínimo das funções 50/51, 50/51N, 27 e 59, corrente de entrada de 5 A, corrente de ajuste no valor da corrente primária do sistema, curvas temporizadas normalmente inversa, inversa longa, muito inversa, extremamente inversa, IT, e I²T, ajuste de tempo definido (TD) e atuação instantânea.

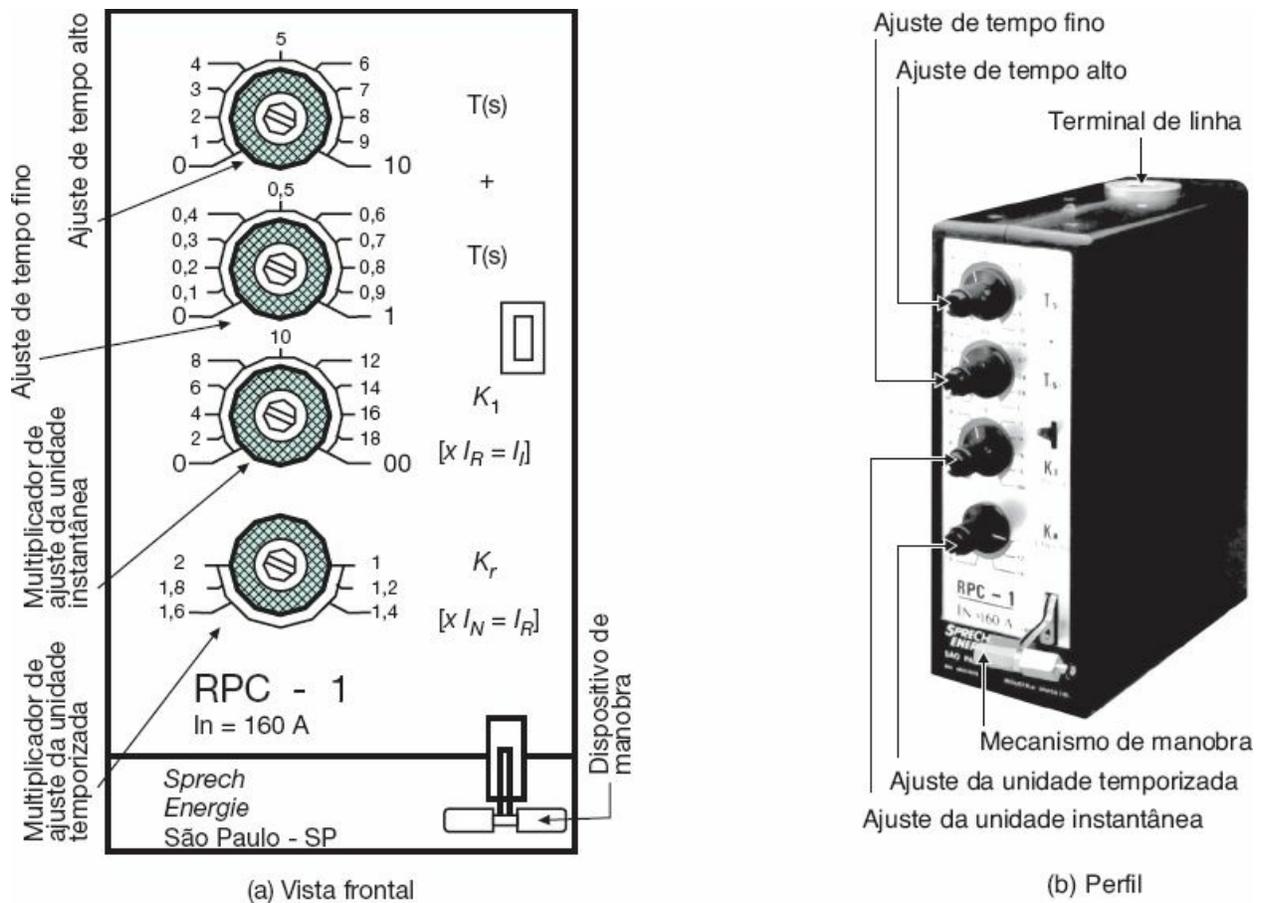


Figura 9.30 Relé eletrônico.

9.3.11 Disjuntor de potência (10)

É um equipamento destinado à manobra e à proteção de circuitos primários, capaz de interromper grandes potências de curto-circuito durante a ocorrência de um defeito.

Os disjuntores estão sempre associados a relés, sem os quais não passariam de simples chaves com alto poder de interrupção.

Entre os tipos mais conhecidos de disjuntores, podem ser citados:

- Disjuntores a grande volume de óleo, normalmente utilizados com relés primários diretos.
- Disjuntores a pequeno volume de óleo, atualmente utilizados com

relés digitais conectados a TCs internos.

- Disjuntores a vácuo, normalmente utilizados com relés digitais conectados a TCs internos.
- Disjuntores a hexafluoreto de enxofre (SF_6), normalmente utilizados com relés secundários conectados a TCs internos.

Na ordem cronológica de construção de disjuntores, surgiram, primeiramente, os disjuntores a grande volume de óleo. Devido ao seu baixo poder de interrupção foram, gradativamente, abandonados e substituídos pelos disjuntores a pequeno volume de óleo, que, atualmente, estão perdendo rapidamente mercado para os disjuntores a vácuo, que, inicialmente, eram especificados para instalações em que era necessário um grande número de operações por hora, como a operação de fornos a arco. Os disjuntores a hexafluoreto de enxofre (SF_6), em geral, são fabricados para níveis de tensão elevados (15 kV e acima). A interrupção da corrente se dá no interior de um recipiente estanque que contém SF_6 , a uma pressão aproximada de 16 kg/cm² para disjuntores de dupla pressão.

Atualmente, nas modernas instalações industriais de média tensão (classe 15 kV) são utilizados tanto disjuntores tripolares a pequeno volume de óleo como disjuntores tripolares a vácuo, ambos do tipo aberto. São constituídos dos seguintes elementos:

- Carrinho de apoio (não necessário ao seu funcionamento).
- Polos que abrigam os elementos de contato e a câmara de interrupção.
- Suporte metálico de sustentação dos polos e do mecanismo de comando.

A [Figura 9.31](#) mostra um disjuntor a grande volume de óleo (atualmente de pouca utilização), enquanto a [Figura 9.32](#) fornece os detalhes de um disjuntor a pequeno volume de óleo, ambos fixados no carrinho de apoio.

O princípio de interrupção dos disjuntores, em geral, está na absorção da

energia que se forma durante a abertura dos seus contatos. Uma parte do óleo em torno do arco se transforma em gases, notadamente o hidrogênio, o acetileno e o metano, provocando uma elevada pressão na câmara hermeticamente fechada, proporcional ao valor da corrente interrompida. Essa pressão gera um grande fluxo de óleo dirigido sobre o arco, extinguindo-o e devolvendo a rigidez dielétrica ao meio isolante. O fluxo de óleo atua sobre o arco em jato transversal, para correntes muito elevadas de interrupção, ou jato axial, para pequenas correntes capacitivas ou indutivas. Os gases, assim formados durante uma operação de interrupção de corrente, novamente se condensam, deixando muitas vezes pequenos resíduos.

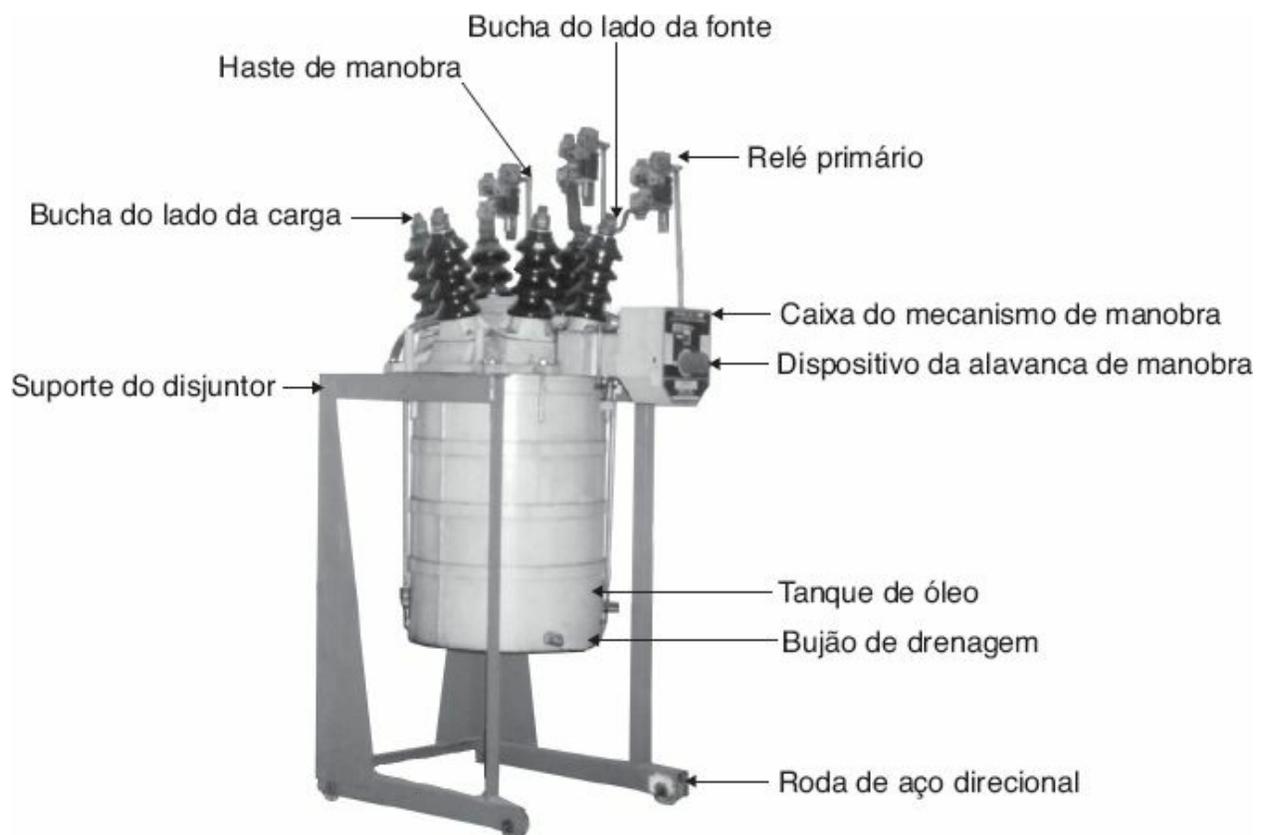


Figura 9.31 Disjuntor a grande volume de óleo.

Uma das funções principais dos dispositivos de extinção de arco é desionizar a zona de interrupção quando a corrente atingir o ponto zero do

ciclo alternado, evitando-se que haja formação de um novo arco, principalmente quando a abertura do circuito se dá na presença de correntes capacitivas.

Os disjuntores a pequeno volume de óleo a vácuo podem ser fabricados para montagem fixa ou extraível com operação de fechamento manual ou automática.

Cabe alertar que em projetos industriais não devem ser admitidos relés de religamento no acionamento de disjuntores. Uma vez que se efetue o desligamento do disjuntor, a equipe de manutenção da instalação deve identificar a causa, sanar o defeito para depois restabelecer o circuito.

A capacidade de interrupção de um disjuntor está ligada, diretamente, à sua tensão de serviço. Assim, se um disjuntor estiver operando em um circuito cuja tensão seja inferior à sua tensão nominal, sua capacidade de interrupção em kVA será, proporcionalmente, reduzida.

Existem vários fabricantes nacionais de disjuntores, da classe de 15 kV. A [Tabela 9.7](#) indica as principais características dos disjuntores a pequeno volume de óleo de fabricação Sace, do tipo RP. Quando da utilização de um determinado disjuntor, deve-se consultar o catálogo do fabricante.

Atualmente, há um emprego intensivo de disjuntores dos tipos a pequeno volume de óleo e a vácuo em pequenas e médias indústrias ligadas em média tensão (15 kV), dotados de transformadores de corrente, incorporados às respectivas estruturas, e de um relé de sobrecorrente com funções 50/51 e 51/51N, alimentado por meio de *nobreak*. Esse tipo de proteção torna-se economicamente vantajoso relativamente à utilização de outras soluções utilizando-se transformadores de corrente, relé e fonte de corrente contínua tradicional, atendendo aos requisitos mínimos da NBR 14034. Para instalações mais complexas, utilizando-se vários disjuntores para a proteção de diferentes alimentadores de média tensão internos à instalação, não se deve fugir de um sistema de proteção mais complexo e seguro.

As [Figuras 9.33\(a\)](#) e [\(b\)](#) mostram um disjuntor a vácuo em que estão

incorporados os transformadores de corrente e o relé de proteção correspondente.



Figura 9.32 Disjuntor a pequeno volume de óleo.

Tabela 9.7 Características dos disjuntores a óleo RP da Sace 15 kV

Descrição	Características				Unidade
Corrente nominal	400		630		A
Tensão nominal	11,4	15,2	11,4	15,2	kV
Frequência	50/60		50/60		Hz
Poder de ruptura nominal	250		250		MVA

Corrente nominal de ruptura	12,7	9,5	12,7	9,5	kA
Corrente nominal de fechamento	38				kA
Tempo de interrupção	0,085				s
Tempo de abertura	0,070				s
Tempo de fechamento	0,060				s
Tensão suportável de impulso	125				kV

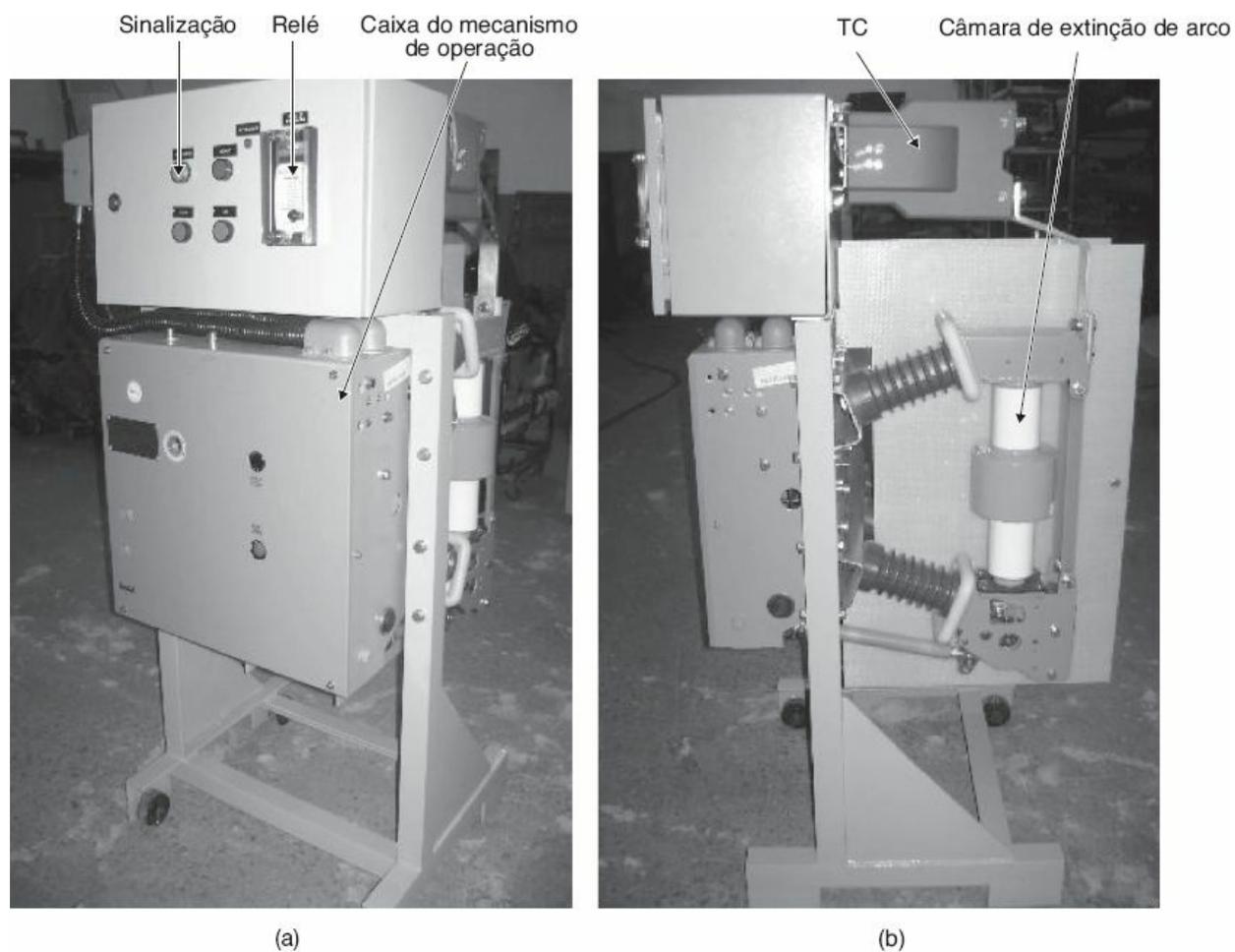


Figura 9.33 Disjuntor a vácuo com sistema de proteção incorporado.

9.3.11.1 Especificação sumária

No pedido de um disjuntor devem constar, no mínimo, as seguintes informações:

- Tensão nominal, em kV.
- Corrente nominal, em A.
- Capacidade de interrupção nominal, em kA.
- Tipo do meio extintor (óleo mineral, vácuo etc.)
- Tempo de interrupção, em s.
- Frequência nominal, em s.
- Tipo de comando: manual ou motorizado.
- Tensão suportável de impulso, em kV.
- Acionamento: frontal ou lateral.
- Montagem: fixa ou extraível.
- Construção: aberta ou blindada.

Relativamente ao diagrama unifilar base da [Figura 9.1](#), tem-se:

Disjuntor tripolar, a pequeno volume de óleo, comando manual, acionamento frontal, montagem fixa sobre o carrinho, construção aberta, tensão nominal de utilização de 15,2 kV, corrente nominal de 400 A, capacidade de interrupção simétrica de 250 MVA, tensão suportável de impulso de 125 kV, frequência de 60 Hz, dotados de três transformadores de corrente 15 kV, relação de transformação 50-5 A e um relé digital, funções 50/51 e 50/51N.

9.3.12 Fusíveis limitadores de corrente (11)

Os fusíveis limitadores primários são dispositivos extremamente eficazes na proteção de circuitos de média tensão devido às suas excelentes características de tempo e corrente.

São utilizados na proteção de transformadores de força, acoplados, em

geral, a um seccionador interruptor, ou ainda na substituição do disjuntor geral de uma subestação de consumidor de pequeno porte, quando associados a um seccionador interruptor automático.

A principal característica desse dispositivo de proteção é sua capacidade de limitar a corrente de curto-circuito devido aos tempos extremamente reduzidos em que atua. Além disso, possui elevada capacidade de ruptura, o que torna este tipo de fusível adequado para aplicação em sistemas nos quais o nível de curto-circuito é de valor muito alto.

Normalmente, os fusíveis limitadores podem ser utilizados tanto em ambientes internos aos painéis como externos a eles.

Os fusíveis limitadores primários são constituídos de um corpo de porcelana vitrificada, ou simplesmente esmaltada, de grande resistência mecânica, dentro do qual estão os elementos ativos desse dispositivo.

Os fusíveis limitadores primários são instalados em bases próprias individuais, conforme se mostra na [Figura 9.34](#), ou em bases incorporadas aos seccionadores sobre os quais vão atuar, conforme a [Figura 9.24](#).

A [Tabela 9.8](#) fornece, em ordem de grandeza, as principais dimensões das bases mencionadas.

Os fusíveis são compostos, geralmente, de vários elementos metálicos ligados em paralelo, apresentando, ao longo do seu comprimento, seções estreitas. Estão envolvidos, no interior de um corpo cilíndrico de porcelana, por uma homogênea camada de areia de quartzo de granulometria bastante reduzida e que se constitui no meio extintor.

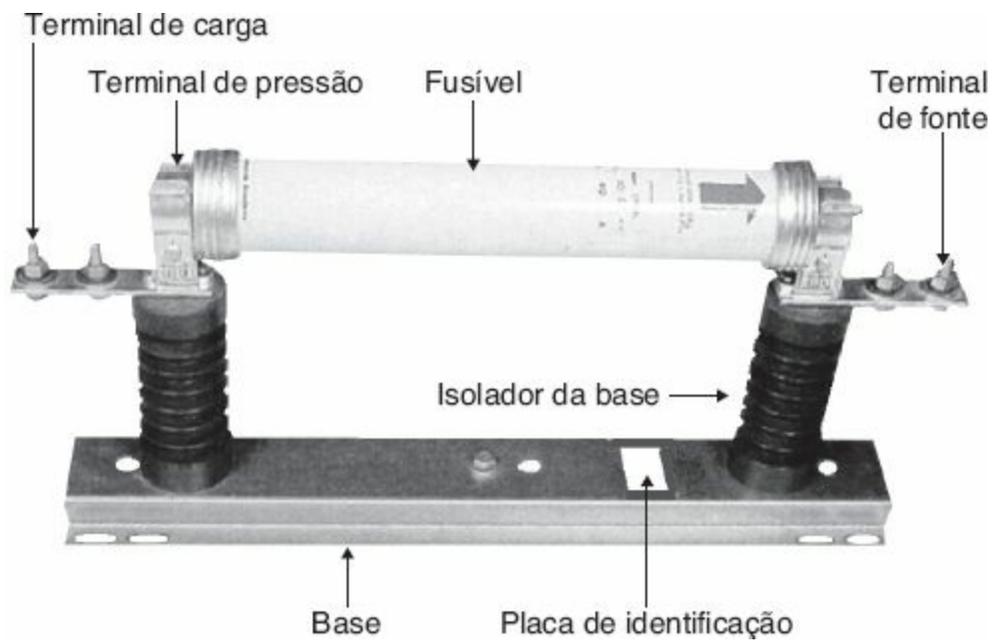


Figura 9.34 Base para fusível limitador de corrente.

Tabela 9.8 Dimensões das bases (ordem de grandeza)

Tensão nominal em kV	Dimensões em mm		
	A	B	C
7,2	246	275	292
12	374	275	292
17,5	374	290	292
24	568	330	443
36	605	410	537

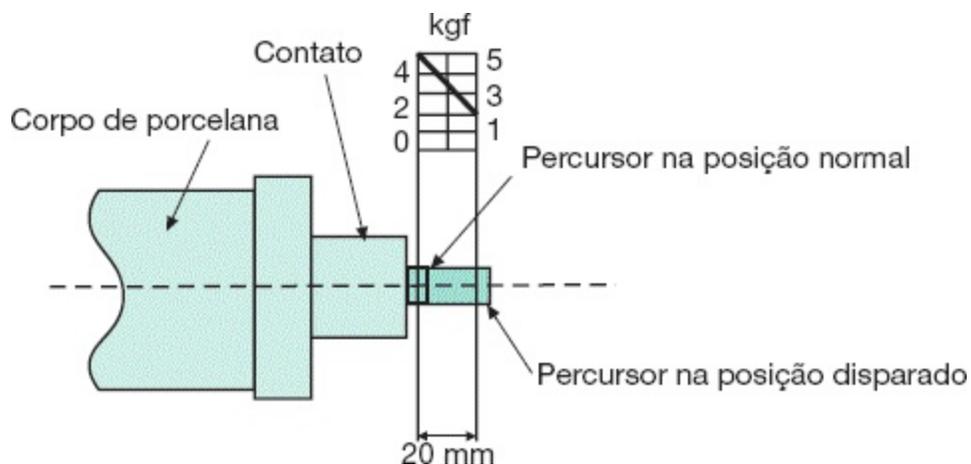


Figura 9.35 Curva de disparo do percussor.

Desta forma, quando o elemento fusível queima, o arco decorrente desta ação funde a areia de quartzo que envolve o local da ruptura, resultando um corpo sólido que ocupa o espaço aberto entre as extremidades que ficam do lado da fonte e da carga, garantindo a interrupção da continuidade do circuito elétrico.

Certos tipos de fusível são dotados de um percussor em uma de suas extremidades, que, após a fusão do elemento metálico, provoca disparo do seccionador interruptor ao qual está acoplado. A força resultante do percussor pode ser obtida a partir do diagrama da [Figura 9.35](#). Em vez do percussor, há fusíveis que trazem apenas um dispositivo de sinalização, indicando a condição de disparo.

A [Figura 9.36](#) fornece alguns detalhes construtivos deste tipo de fusível, enquanto a [Figura 9.37](#) mostra a parte externa do mesmo fusível.

Como será visto posteriormente, é importante a observância das características elétricas dos fusíveis limitadores primários, principalmente no seu comportamento quanto às pequenas correntes de interrupção. Essas características são:

a) Corrente nominal

É aquela em que o elemento fusível deve suportar continuamente sem que seja ultrapassado o limite de temperatura estabelecido.

Com frequência, as correntes nominais variam em função do fabricante, porém com diferenças relativamente pequenas. Da mesma forma, são as dimensões dos fusíveis e, conseqüentemente, suas bases. A [Tabela 9.9](#) fornece as correntes nominais dos fusíveis limitadores em função da tensão nominal.

Quando a corrente do circuito for superior a 150 A, podem ser utilizados dois fusíveis limitadores em paralelo.

b) Tensão nominal

É aquela para a qual o fusível foi dimensionado, respeitadas as condições de corrente e temperatura especificadas.

Os fusíveis limitadores apresentam duas tensões nominais, sendo uma indicativa da tensão de serviço e outra da sobretensão permanente do sistema. Em geral, esses fusíveis são fabricados para as seguintes tensões nominais: 3/3,6 – 6/7,2 – 10/12 – 15/17,5 – 20/24 – 30/36 kV.

c) Correntes de interrupção

São aquelas capazes de sensibilizar o dispositivo de operação do fusível. As correntes de interrupção podem ser reconhecidas em duas faixas distintas: correntes de curto-circuito e correntes de sobrecarga.

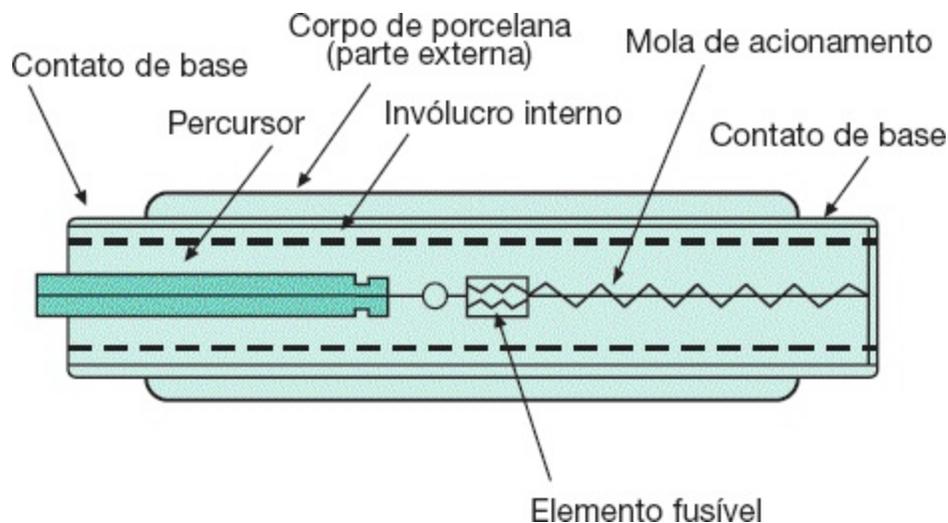


Figura 9.36 Parte interna de um fusível primário.

- Correntes de curto-circuito

São assim consideradas as correntes elevadas que provocam a atuação do fusível em tempos extremamente curtos. A interrupção dessas correntes é feita no primeiro semiciclo da onda, conforme se mostra na [Figura 9.38](#).

As correntes de curto-circuito podem ser interrompidas antes que atinjam seu valor de crista. Por esta peculiaridade, esses fusíveis são denominados fusíveis limitadores de corrente. É de extrema importância essa característica para os sistemas elétricos, já que os esforços resultantes das correntes de curto-circuito são extremamente reduzidos, podendo-se dimensionar os equipamentos com capacidade de corrente dinâmica inferior à corrente de crista do sistema em questão. As correntes de curto-circuito, cuja ordem de grandeza é de 15 a 30 vezes a corrente nominal dos fusíveis, são limitadas em um tempo inferior a 5 ms.

Tabela 9.9 Correntes nominais dos fusíveis para várias tensões

Correntes nominais dos fusíveis em A	Tensão nominal em kV					
	3/3,6	6/7,2	10/12	15/17,5	20/24	30/36

80,00	×		×	×	×	×	×	×	×	×
125,00	×		×	×	×		×	×		
160,00	×		×	×	×		×	×		
200,00	×		×	×			×	×		
250,00	×		×	×						
315,00	×		×	×						
400,00	×		×	×						
500,00	×		×	×						

Os fusíveis apresentam os seguintes tamanhos: 1 - 192 × 225 mm; 2 - 192 × 225 mm; 3 - 292 × 225 mm; 4 - 442 × 475 mm; 5 - 292 × 325 mm; 6 - 292 × 325 mm; 7 - 442 × 475 mm; 8 - 537 × 570 mm; 9 - 442 × 475 mm; 10 - 537 × 570 mm; × - indicação de que existe comercialmente o fusível.

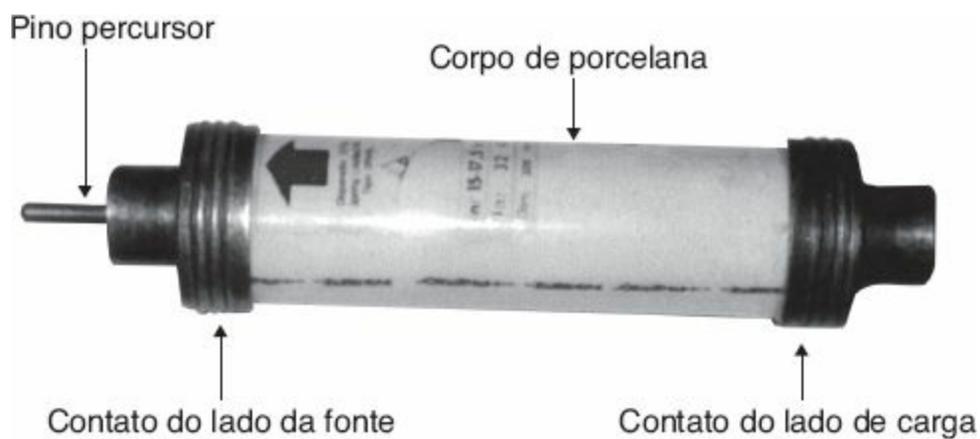


Figura 9.37 Parte externa de um fusível primário.

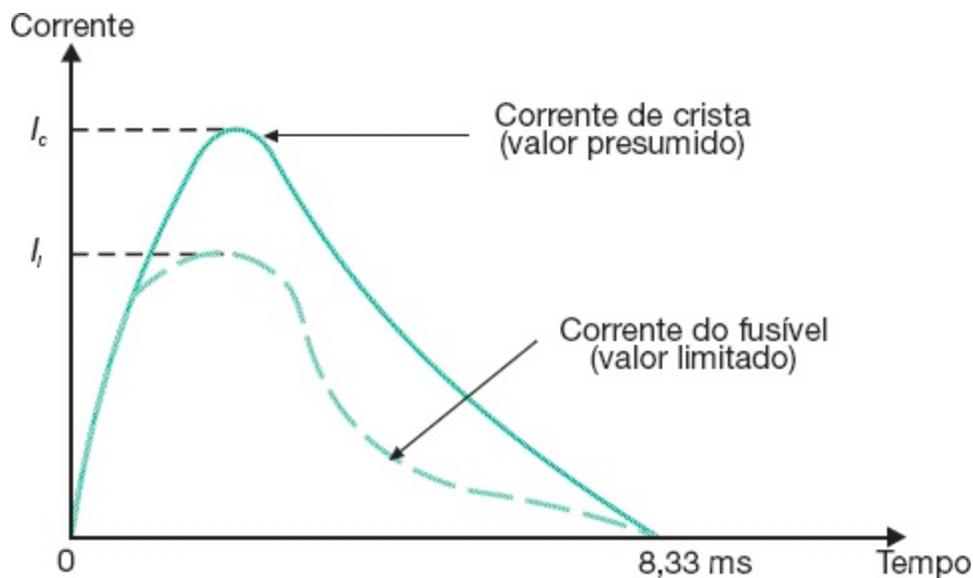


Figura 9.38 Representação senoidal do corte dos fusíveis limitadores.

A partir dos gráficos mostrados no [Capítulo 10](#) podem-se determinar os valores das correntes de curto-circuito limitadas pelos fusíveis em função de sua corrente nominal, considerando a corrente de curto-circuito simétrica, de valor eficaz, presente no sistema no ponto de sua instalação.

- Correntes de sobrecarga

Os fusíveis limitadores de corrente primária não apresentam um bom desempenho quando solicitados a atuar perante baixas correntes, em torno de 2,5 vezes a sua corrente nominal, valores característicos de sobrecarga nos sistemas elétricos. Desta forma, a norma IEC define a corrente mínima de interrupção como o menor valor da corrente presumida que um fusível limitador é capaz de interromper a uma dada tensão. Para correntes inferiores à mínima de interrupção, o tempo de fusão do elemento fusível torna-se extremamente elevado, podendo atingir frações de horas, liberando, deste modo, uma elevada quantidade de energia que poderia levar à ruptura o corpo de porcelana. Isso se deve ao fato de que os diversos elementos do fusível, possuindo coeficientes de dilatação diferentes e submetidos às mesmas condições térmicas, se dilatam de maneira desigual, resultando forças

internas extremamente elevadas que podem culminar com a explosão do invólucro de porcelana.

Adicionalmente a esse fenômeno surgem, porém, outras dificuldades de natureza dielétrica. Assim, para correntes um pouco acima da corrente mínima de fusão, pelo fato de o elemento fusível não se fundir uniformemente, verificam-se alguns pontos de reacendimento, dada a redução da rigidez dielétrica do meio isolante. Isso ocorre em virtude da geração de energia decorrente do tempo excessivamente longo de duração da corrente.

Pelo que se acabou de frisar, os fusíveis limitadores primários não apresentam uma resposta satisfatória para correntes baixas com características de sobrecarga, podendo, em muitos casos, chegar à ruptura do invólucro. Uma maneira de evitar isso é dotar os circuitos elétricos de elementos de sobrecarga capazes de atuar para as correntes perigosas aos fusíveis limitadores, antes que estes atinjam as condições anteriormente descritas.

Como consequência dos reacendimentos, devidos às baixas correntes, surgem sobretensões elevadas no sistema, que podem comprometer o desempenho da proteção.

d) Efeitos das correntes de curto-circuito

Como se sabe, as correntes de curto-circuito solicitam demasiadamente os sistemas elétricos através de dois parâmetros: a corrente térmica e a corrente dinâmica.

- Corrente térmica de curto-circuito

Como os fusíveis limitadores atuam em um tempo extremamente curto, os efeitos térmicos da corrente de curto-circuito são muito reduzidos, já que dependem do tempo que a corrente perdurou no circuito.

- Corrente dinâmica de curto-circuito

Os efeitos dinâmicos das correntes de curto-circuito podem afetar mecanicamente as chaves, barramentos, isoladores suportes etc., podendo até esses equipamentos chegar à ruptura. Como os fusíveis limitadores, dependendo da corrente, não permitem que a corrente de curto-circuito atinja seu valor de pico, como se mostra na [Figura 9.38](#), o sistema fica aliviado de receber uma carga mecânica, às vezes extremamente elevada.

e) Capacidade de ruptura

Os fusíveis limitadores apresentam elevada capacidade de ruptura que normalmente supera os valores encontrados na maioria dos casos práticos. A corrente nominal de ruptura é geralmente fornecida pelo fabricante para um fator de potência de curto-circuito muito baixo, da ordem de 0,15. Esse valor deve ser comparado com os valores obtidos nos circuitos, nos pontos em que serão instalados os fusíveis limitadores. A [Tabela 9.10](#) fornece, como valor médio, a capacidade de ruptura dos fusíveis limitadores.

Tabela 9.10 Capacidade de ruptura dos fusíveis limitadores

Tensão nominal (kV)	Potência (MVA)
3/3,6	700
7,2/12	1.000
15/17,5	1.000
20/24	1.000
30/36	1.500

9.3.12.1 Especificação sumária

No pedido de um fusível limitador de corrente devem constar no mínimo as seguintes informações:

- Tensão nominal, em kV.
- Corrente nominal, em A.
- Capacidade de interrupção nominal, em kA.
- Fornecimento com o sinalizador ou pino precursor.
- Designação da base na qual irá operar.

A sua especificação sumária pode assim ser formulada:

Fusível limitador de corrente, provido de pino precursor de disparo, tensão nominal de 15/17,5 kV, corrente nominal de 50 A, capacidade mínima de interrupção de 10 kA.

9.3.13 Transformador de potência (12)

É um equipamento estático que, por meio de indução eletromagnética, transfere energia de um circuito, chamado primário, para um ou mais circuitos, denominados secundários ou terciários, respectivamente, sendo mantida a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes.

Quanto ao meio isolante, os transformadores se classificam em:

- transformadores imersos em óleo mineral isolante;
- transformadores a seco.

Este livro contemplará somente os transformadores imersos em óleo, devido à quase exclusividade de sua utilização em projetos industriais. Os transformadores a seco são empregados mais especificamente em instalações de prédios de habitação ou em locais de alto risco para a vida das pessoas e do patrimônio. São construídos, em geral, em resina epóxi.

Um transformador imerso em óleo mineral é composto basicamente de três elementos:

- Tanque ou carcaça.
- Parte ativa (núcleo e enrolamentos).
- Acessórios (terminais, ganchos, registros etc.).

O seu funcionamento está fundamentado nos fenômenos de mútua indução magnética entre os dois circuitos (primário e secundário), eletricamente isolados, porém magneticamente acoplados.

A equação fundamental de operação de um transformador é:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2} \quad (9.7)$$

N_1 - número de espiras do enrolamento primário;

N_2 - número de espiras do enrolamento secundário;

V_1 - tensão aplicada nos terminais da bobina do primário;

V_2 - tensão de saída nos terminais da bobina do secundário;

I_1 - corrente que circula no enrolamento primário;

I_2 - corrente que circula no enrolamento secundário.

Os transformadores podem ser quanto ao número de fases:

- Monobucha (F-T).
- Monofásico (F-N).
- Bifásico (2F).
- Trifásico (3F).

Ao longo deste livro só se fará referência aos transformadores trifásicos, devido à sua quase total utilização em sistemas industriais, no Brasil. A [Figura 9.39](#) apresenta um transformador trifásico a óleo mineral, com a indicação de todos os seus elementos externos.

Quanto às características elétricas, os transformadores podem assim ser estudados:

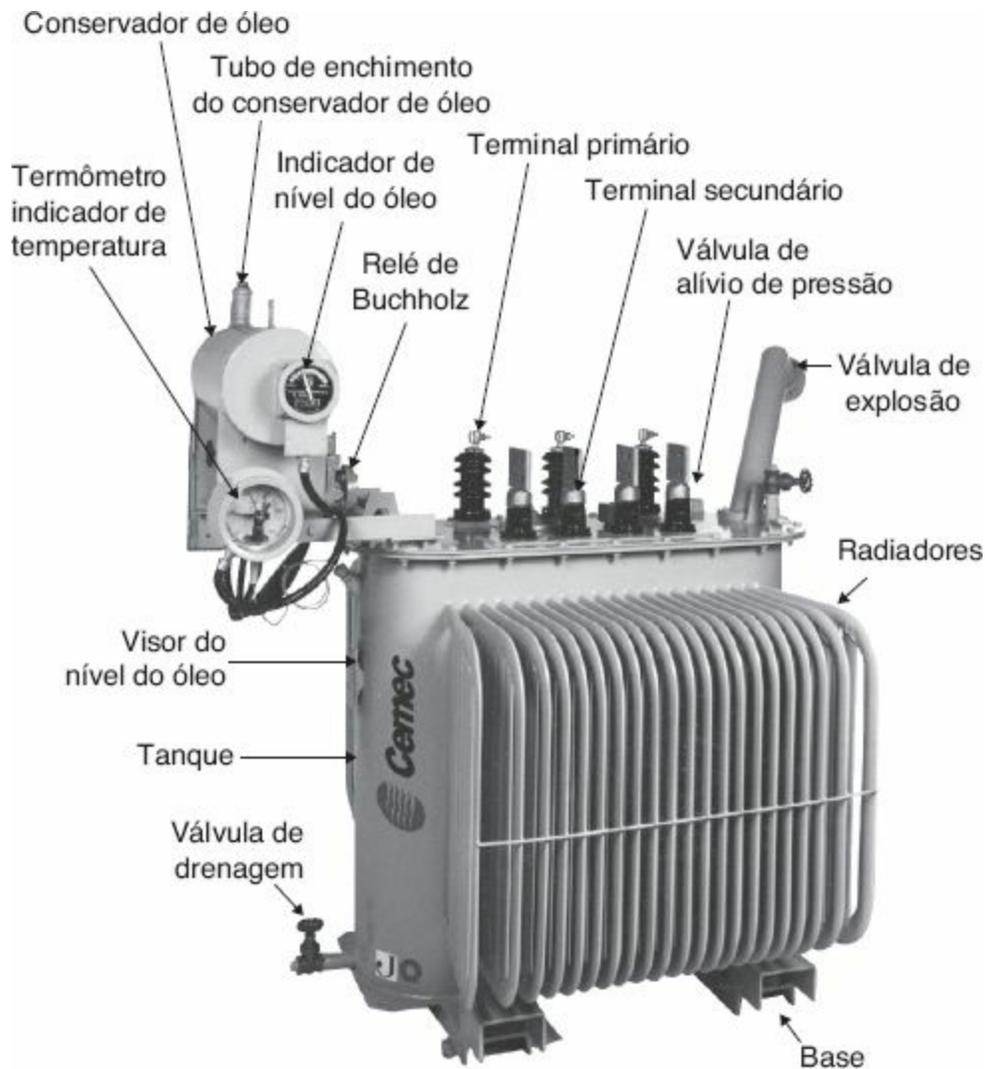


Figura 9.39 Transformador de distribuição.

a) Potência nominal

É a potência que o transformador fornece, continuamente, a determinada carga, sob condições de tensão e frequência nominais, dentro dos limites de temperatura especificados por norma. A determinação da potência nominal do transformador em função da carga que alimenta é dada pela Equação (9.8).

$$P_t = \frac{\sqrt{3} \times V_s \times I_c}{1.000} \text{ (kVA)} \quad (9.8)$$

V_s - tensão secundária de alimentação da carga, em V;

I_c - corrente da carga conectada, em A.

As potências nominais padronizadas e usuais estão discriminadas na [Tabela 9.11](#).

b) Tensão nominal

É o valor eficaz da tensão para a qual o transformador foi projetado, segundo perdas e rendimento especificados. Este livro se restringe a abordar transformadores projetados para a classe 15 kV.

Em geral, os transformadores são dotados de derivações ou tapes, utilizados quase sempre para elevar a tensão de saída do secundário, devido a uma tensão de fornecimento abaixo do valor adequado.

O tape de maior valor define a tensão nominal primária do transformador, isto é, a tensão para a qual foi projetado. Normalmente, o número máximo de derivações fica limitado a 3, variando de 3,0 a 9,6 % da tensão nominal especificada para o equipamento. Como exemplo, citando um transformador de tensão nominal de 13.800 V, os tapes disponíveis são: 12.600, 13.200 e 13.800 V.

É importante lembrar que é constante o produto da tensão e corrente no primário e secundário. Considerar, por exemplo, um transformador de 225 kVA, tensão nominal de 13.800/380 V, operando em uma rede com tensão nominal primária de mesmo valor, por motivo de abaixamento da tensão de fornecimento, o transformador foi religado no tape de 12.600 V; logo, a corrente será aumentada de:

$$V_{t1} \times I_{t1} = V_{t2} \times I_{t2}$$

V_{t1} - tensão no primário no tape 1;

V_{t2} - tensão no primário no tape 2;

I_{t1} - corrente no tape 1;

I_{l2} - corrente no tape 2.

$$13.800 \times I_{t1} = 12.600 \times I_{l2}$$

$$I_{t1} = \frac{225}{\sqrt{3} \times 13,80} = 9,4 \text{ A}$$

$$13.800 \times 9,4 = 12.600 \times I_{l2} \rightarrow I_{l2} = 10,29 \text{ A}$$

Se a tensão de fornecimento fosse de 12.400 V, a tensão secundária assumiria o valor de:

$$V_s = \frac{12.400}{12.600} \times 380 = 374 \text{ V}$$

Tabela 9.11 Dados característicos de transformadores trifásicos em óleo para instalação interior ou exterior (classe 15 kV) primário em estrela ou triângulo e secundário em estrela (60 Hz)

Potência kVA	Tensão V	Perdas em W		Rendimento	Regulação	Impedância
		A vazio	Cobre	(%)	(%)	(%)
15	220 a 440	120	300	96,24	3,32	3,5
30	220 a 440	200	570	96,85	3,29	3,5
45	220 a 440	260	750	97,09	3,19	3,5
75	220 a 440	390	1.200	97,32	3,15	3,5
112,5	220 a 440	520	1.650	97,51	3,09	3,5
150	220 a 440	640	2.050	97,68	3,02	3,5
225	380 ou 440	900	2.800	97,96	3,63	4,5

300	220	1.120	3.900	97,96	3,66	4,5
	380 ou 440		3.700	98,04	3,61	4,5
500	220	1.700	6.400	98,02	3,65	4,5
	380 ou 440		6.000	98,11	3,6	4,5
750	220	2.000	10.000	98,04	4,32	5,5
	380 ou 440		8.500	98,28	4,2	5,5
1.000	220	3.000	12.500	98,10	4,27	5,5
	380 ou 440		11.000	98,28	4,19	5,5
1.500	220	4.000	18.000	98,20	4,24	5,5
	380 ou 440		16.000	98,36	4,16	5,5

c) Tensão nominal de curto-circuito

É medida curto-circuitando-se os terminais secundários do transformador e alimentando-o no primário com uma tensão que faça circular nesse enrolamento a corrente nominal. O valor percentual desta tensão em relação à nominal é, numericamente, igual ao valor da impedância em porcentagem:

$$Z_{pt} = \frac{V_{nccp}}{V_{npt}} \times 100(\%) \quad (9.9)$$

Z_{pt} - tensão nominal de curto-circuito, em %;

V_{nccp} - tensão nominal de curto-circuito, aplicada aos terminais do enrolamento primário, em V;

V_{npt} - tensão nominal primária do transformador, em V.

Se se deseja conhecer a impedância do transformador em valor ôhmico, pode-se usar a Equação (9.10).

$$Z_{\Omega t} = \frac{10 \times Z_{pt} \times V_{nt}^2}{P_{nt}} (\Omega) \quad (9.10)$$

P_{nt} - potência nominal do transformador, em kVA;

V_{nt} - tensão nominal primária do transformador, em kV.

Uma impedância percentual de 5,5 % correspondente a um transformador de 1.000 kVA – 13.800/380 V tem como impedância ôhmica o valor de:

$$Z_{\Omega t} = \frac{10 \times 5,5 \times 13,80^2}{1.000} = 10,4 \Omega$$

d) Perdas elétricas

Os transformadores apresentam perdas elétricas pequenas quando comparadas com suas potências nominais. Mas, sendo uma máquina que opera, em geral, continuamente, a energia desperdiçada pode ser relevante e, portanto, considerada nas avaliações energéticas, conforme o [Capítulo 13](#).

As perdas dos transformadores são:

- Perdas no núcleo
- Perdas nos enrolamentos

e) Queda de tensão percentual

É determinada a partir da composição vetorial dos componentes de queda de tensão resistiva e reativa:

- Queda de tensão resistiva percentual

É o componente ativo da queda de tensão percentual, cujo valor é dado pela Equação (9.11).

$$R_{pt} = \frac{P_{cu}}{10 \times P_{nt}} (\%) \quad (9.11)$$

P_{cu} - perdas ôhmicas de curto-circuito, ou simplesmente perdas no cobre, em W (Tabela 9.11);

P_{nt} - potência nominal do transformador, em kVA.

- Queda de tensão reativa percentual

Conhecido o valor da queda de tensão percentual do transformador, fornecido pelo fabricante, aplica-se a Equação (9.12) para se obter o valor da queda de tensão reativa percentual:

$$X_{pt} = \sqrt{Z_{pt}^2 - R_{pt}^2} \quad (9.12)$$

Z_{pt} - impedância percentual de placa do transformador.

Exemplo de aplicação (9.2)

Considerar um transformador de 225 kVA, 13.800–380/220 V do qual se deseja saber os valores percentuais das quedas de tensão resistiva e reativa.

$$R_{pt} = \frac{P_{cu}}{10 \times P_{nt}} = \frac{2.800}{10 \times 225} = 1,24 \%$$

$$X_{pt} = \sqrt{Z_{pt}^2 - R_{pt}^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,24^2} = 4,32 \%$$

$$P_{cu} = 2.800 \text{ W (Tabela 9.11)}$$

$$Z_{pt} = 4,5 \% \text{ (Tabela 9.11)}$$

f) Regulação

Representa a variação de tensão no secundário do transformador, desde o seu funcionamento a vazio até a operação a plena carga, considerando a tensão primária constante.

Também denominada queda de tensão industrial, pode ser calculada em função dos componentes ativo e reativo, da impedância percentual do transformador, do fator de potência e do fator de carga, conforme a Equação (9.13).

$$R = F_c \times \left[R_{pt} \times \cos \psi + X_{pt} \times \sin \psi + \frac{(X_{pt} \times \cos \psi - R_{pt} \times \sin \psi)^2}{200} \right] \quad (9.13)$$

R - regulação;

F_c - fator de carga;

Ψ - ângulo do fator de potência.

O valor da tensão no secundário do transformador, correspondente às condições de carga a que está submetido, é dado pela Equação (9.14):

$$V_{st} = V_{nst} \times \left(1 - \frac{R}{100} \right) \quad (V) \quad (9.14)$$

V_{nst} - tensão nominal do secundário, em V.

Exemplo de aplicação (9.3)

Considerar um transformador de 225 kVA, 13.800–380/220 V operando em uma instalação cujo fator de carga é 0,75. Deseja-se determinar o valor da regulação ou variação de tensão no

secundário, sabendo-se que o fator de potência da carga é 0,80. Os valores de R_{pt} e X_{pt} foram calculados no exemplo anterior.

$$R = 0,75 \times \left[1,24 \times 0,80 + 4,32 \times 0,6 + \frac{(4,32 \times 0,80 - 1,24 \times 0,6)^2}{200} \right] \rightarrow R = 2,71 \%$$

Logo, a tensão secundária vale:

$$V_{st} = 380 \times \left(1 - \frac{2,71}{100} \right) = 369,7 \text{ V}$$

g) **Rendimento**

É a relação entre a potência elétrica fornecida pelo secundário do transformador e a potência elétrica absorvida pelo primário. Pode ser determinado pela Equação (9.15).

$$\eta = 100 - \frac{100 \times (P_{fe} + F_c^2 \times P_{cu})}{F_c \times P_{nt} \times \cos \psi + P_{fe} + F_c^2 \times P_{cu}} \quad (9.15)$$

P_{fe} - perdas no ferro, em kW;

Ψ - ângulo do fator de potência.

Exemplo de aplicação (9.4)

Tomando como exemplo as condições previstas anteriormente, determinar o rendimento do transformador de 225 kVA.

$$\eta = 100 - \frac{100 \times (0,90 + 0,75^2 \times 2,80)}{0,75 \times 225 \times 0,80 + 0,90 + 0,75^2 \times 2,8}$$

$$\eta = 100 - 1,8 = 98,2 \%$$

$$P_{fe} = 0,90 \text{ kW (Tabela 9.11)}$$

$$P_{cu} = 2,8 \text{ kW (Tabela 9.11)}$$

Para se determinar o rendimento máximo de um transformador, deve-se modular a carga de tal modo que se obtenha um fator de carga dado pela Equação (9.16).

$$F_c = \sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cu}}} \quad (9.16)$$

Logo, aplicando-se a fórmula anterior ao transformador de 225 kVA, tem-se um fator de carga igual a:

$$F_c = \sqrt{\frac{0,90}{2,80}} = 0,566 \rightarrow F_c = 56,6 \% \text{ de carregamento}$$

h) Deslocamento angular

É a diferença entre os fasores que representam as tensões entre o ponto neutro (real ou ideal) e os terminais correspondentes de dois enrolamentos, quando um sistema de sequência positiva de tensão é aplicado aos terminais de tensão mais elevada, na ordem numérica desses terminais. Admite-se que os fasores giram no sentido anti-horário (NBR 5356 – transformador de potência).

Sendo, por convenção, os terminais primários e secundários dos transformadores indicados, respectivamente, pelas referências H1–H2–H3 e X0–X1–X2–X3, os vários diagramas podem ser confrontados diretamente, estabelecendo-se que se trace, primeiramente, o triângulo das tensões

concatenadas primárias, posicionando para cima o vértice H2, correspondente à fase central, quando está o vértice H1 em adiantamento e o vértice H3 em atraso. A [Figura 9.40](#) representa um exemplo de conexão em que o deslocamento angular vale 30°.

A [Figura 9.41](#) mostra as ligações dos transformadores trifásicos e os respectivos defasamentos angulares.

i) Líquido isolante

O líquido isolante nos transformadores tem a função de transferir o calor gerado pelas partes internas do equipamento para as paredes do tanque e dos radiadores, resfriadas naturalmente ou por ventilação forçada, fazendo com que o óleo volte novamente ao interior, retirando calor e passando ao exterior, em um ciclo contínuo, segundo o fenômeno de convecção.

O óleo mineral para transformador deve apresentar uma alta rigidez dielétrica, excelente fluidez e, ainda, manter suas características naturais praticamente inalteradas perante temperaturas elevadas.

O óleo mineral é inflamável e, portanto, cuidados devem ser tomados na instalação de transformadores. No caso de projetos industriais de produtos de alto risco de incêndio, usando-se transformadores a óleo, estes devem ser localizados distantes e fora da área de risco.

Existe, entretanto, um tipo de líquido isolante, chamado *ascarel*, cujas propriedades elétricas se assemelham às do óleo mineral, com a vantagem de não ser inflamável. Devido ao seu alto poder de poluição, o governo federal proibiu sua utilização em novos equipamentos elétricos.

Quando for estritamente necessária à instalação de transformadores não inflamáveis, devem ser especificados transformadores a seco ou a silicone.

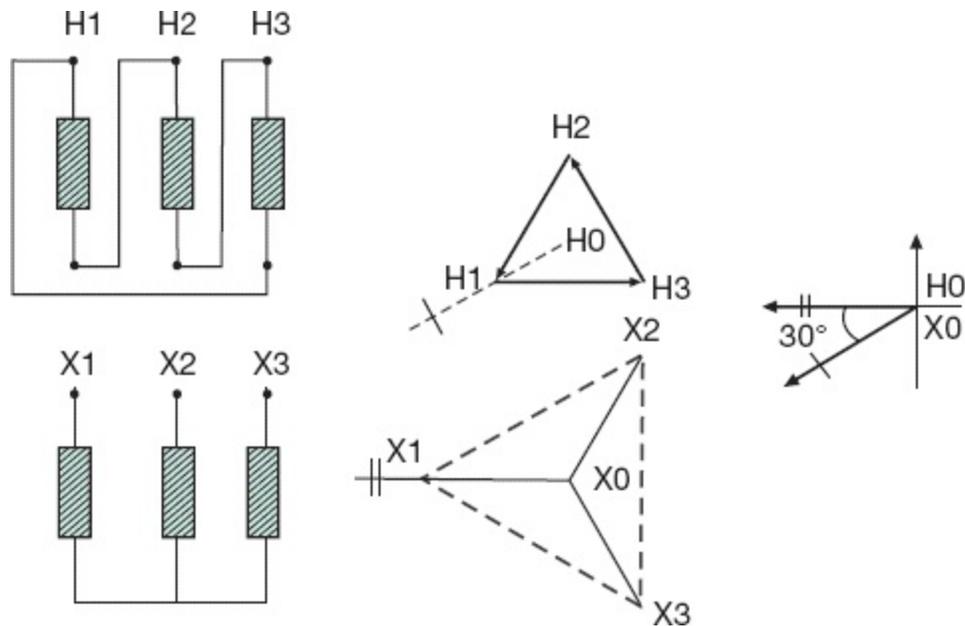


Figura 9.40 Exemplo de medida do deslocamento angular.

Os transformadores podem conter óleo mineral do tipo parafínico ou naftênico. Atualmente, as indústrias de transformadores nacionais utilizam o óleo do tipo parafínico para unidades transformadoras da classe de 15 kV.

j) Tanque ou carcaça

O tanque dos transformadores varia de formato, desde a aparência ovalar até a forma retangular. Os transformadores de maior potência possuem radiadores que servem para aumentar a área de dissipação de calor para o meio exterior.

Transformadores de potência igual ou superior a 500 kVA são providos de tanque de expansão de óleo montado na parte superior da carcaça.

k) Limites de temperatura de operação

Os transformadores devem operar dentro de suas características nominais, desde que a temperatura do meio ambiente não exceda os limites definidos em norma.

Quando instalados em altitudes superiores a 1.000 m, os limites de

temperatura são reduzidos, devido à diminuição da densidade do ar que, em consequência, reduz a transferência de calor para o meio exterior.

A NBR 5416:1981 estabelece no item 4.1 a limitação de temperatura dos transformadores de potência.

D) Carregamento

Como foi abordado no [Capítulo 1](#), o ciclo de carga de uma instalação é diário e irregular, existindo um período em que a carga solicitada alcança um valor superior aos demais, durante o período diário, ao que se chama ponta de carga do ciclo ou valor máximo de demanda.

A NBR 5416 estabelece as condições de carregamento de transformadores de potência e apresenta as tabelas apropriadas para a determinação da perda de vida útil, em função da duração da ponta, da temperatura ambiente e do carregamento percentual inicial. A [Tabela 9.12](#) indica o carregamento de transformadores de 55 °C (limite de elevação de temperatura) com um carregamento inicial de 70 %.

Ainda da NBR 5416, pode-se acrescentar que a carga equivalente da ponta de carga é o valor médio quadrático obtido da Equação (9.17) para o período limitado sobre o qual a maior parte da ponta irregular real parece existir. A duração estimada da ponta de carga tem considerável influência no cálculo da carga equivalente. Se a duração for superestimada, o valor médio quadrático da ponta poderá ficar consideravelmente abaixo da ponta de demanda máxima. Como precaução contra superaquecimento devido a sobrecargas breves e altas, durante o período da ponta, o valor médio quadrático não deve ser menor que 90 % da demanda máxima integrada no período de meia hora.

$$C_{eq} = \sqrt{\frac{P_1^2 \times T_1 + P_2^2 \times T_2 + \dots + P_n^2 \times T_n}{T_1 + T_2 + \dots + T_n}} \quad (9.17)$$

Ligações dos enrolamentos		Diagrama de ligação	Esquema de ligação	Defasamento angular (em graus)
AT	BT			
Triângulo D	Triângulo d			0
Estrela Y	Estrela y			0
Triângulo D	Zigue-zague z			0
Triângulo D	Estrela y			30
Estrela Y	Triângulo d			30
Estrela Y	Zigue-zague z			30

Figura 9.41 Ligação de transformadores trifásicos.

P_1, P_2, \dots, P_n - vários de graus de carga em porcentagem, pu, kVA ou corrente real;

T_1, T_2, \dots, T_n - durações respectivas dessas cargas.

Sugere-se que o intervalo de duração de carga seja de uma hora para

aplicação da Equação (9.17).

Esse método pode ser usado para converter um ciclo de carga irregular, como mostrado na [Figura 9.42](#), para um ciclo de carga retangular. Neste caso, a carga básica é 70 % e a ponta, 140 % da potência nominal.

Da [Tabela 9.12](#) pode-se observar que a carga permissível após um carregamento contínuo médio de 70 %, com temperatura ambiente de 30 °C, é de 167 % durante uma hora. Portanto, o transformador suportará esse ciclo de carga sem redução de sua vida normal esperada.

O cálculo do carregamento máximo do transformador, com base no que foi exposto, se faz bastante útil durante um período de contingência, quando se perde uma unidade de transformação e é necessário que a indústria continue em operação com as unidades remanescentes, durante certo período que pode, inclusive, ser determinado.

m) Acessórios

- Relé de Buchholz

Também conhecido como relé de gás, tem a finalidade de sinalizar o painel de controle e/ou acionar o equipamento de proteção quando há presença de gás no interior do transformador, em geral, devido à perda de isolação.

O relé de Buchholz é montado na parte intermediária do tubo de conexão, entre o tanque do transformador e o tanque de expansão. É provido de um flutuador que, ao ser atingido pelas bolhas de gás, provoca o fechamento de dois contatos elétricos responsáveis pelo acionamento do circuito de sinalização e ainda pode permitir a abertura do disjuntor de proteção do transformador.

São utilizados, normalmente, em unidades superiores a 750 kVA.

- Termômetro simples

4	Normal	151	119	71	140	118	75	128	117	79	114	114	83	94
	0,25	171	141	82	161	140	87	151	139	91	140	138	95	127
	0,50	177	149	86	168	148	91	158	147	95	147	145	99	136
	1,00	184	156	90	174	155	94	165	154	99	155	153	103	144
8	Normal	136	111	70	126	110	74	115	108	77	102	106	80	85
	0,25	154	131	81	145	131	85	135	130	89	125	129	93	114
	0,50	160	138	85	151	137	89	141	136	93	131	135	97	121
	1,00	166	145	89	157	145	93	148	144	97	138	143	101	128
	2,00	172	153	94	163	152	97	155	152	102	145	151	105	136
24	Normal	122	97	62	112	96	67	101	96	71	90	96	75	77
	0,25	139	115	73	130	115	77	120	115	81	110	115	86	99
	0,50	144	121	77	135	121	81	126	121	85	116	120	89	105
	1,00	149	128	80	141	128	84	132	128	89	122	127	93	112
	2,00	155	135	84	147	135	89	138	134	93	129	134	97	120
	4,00	161	142	89	153	142	93	145	142	97	135	141	101	126

A - duração da ponta em horas; B - perda de vida útil, em %; C - carga da ponta, em %; D - temperatura do ponto mais quente em °C; E - temperatura do topo do óleo em °C

- Tensão nominal primária.

- Tensão nominal secundária.
- Derivações desejadas (tapes).
- Meio refrigerante: óleo ou ar (transformadores a seco)
- Perdas máximas no ferro e no cobre.
- Ligação dos enrolamentos.

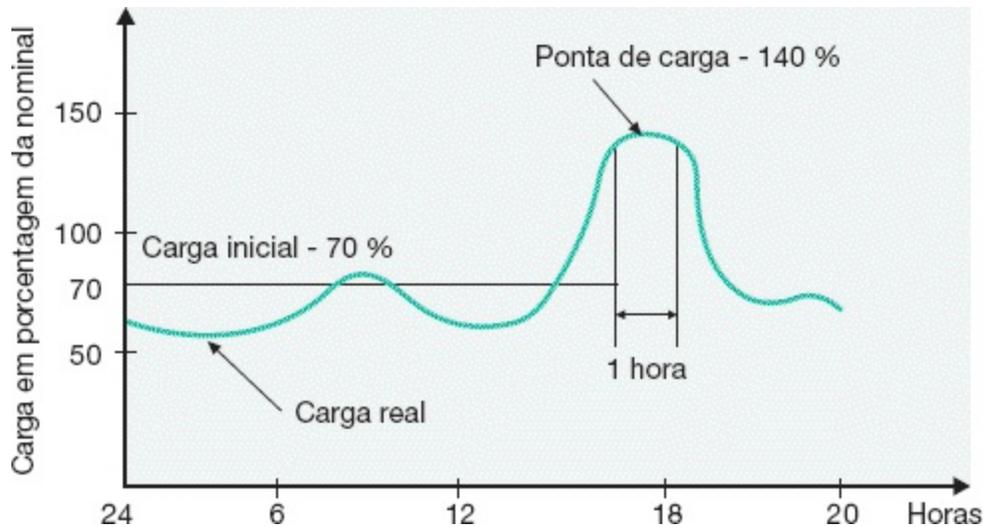


Figura 9.42 Representação de uma curva de carga correspondente à carga inicial de 70 %.

- Tensão suportável de impulso.
- Impedância percentual.
- Acessórios desejados (especificar).

Com base no diagrama unifilar da [Figura 9.1](#), tem-se:

Transformador trifásico de 750 kVA, tensão nominal primária 13.800 V, tensão nominal secundária 380 Y/220 V, com derivações 13.800/13.200/12.600 V, dispendo de ligação dos enrolamentos em triângulo primário e em estrela secundária com neutro acessível, impedância nominal percentual de 5,5 %, frequência nominal de 60 Hz, perdas máximas no cobre de 8.500 W, perdas máximas no ferro de 2.000 W e tensão suportável de impulso 95 kV.

9.3.14 Cabos de baixa tensão (13)

Os condutores isolados são constituídos de fios de cobre mole, em que a resistência mecânica à tração não é fator preponderante. Podem, mais comumente, ser assim construídos:

a) Fios e cabos com encordoamento simples

Quando o condutor é formado por um único fio ou por duas ou mais camadas de fios (coroas) de mesma seção transversal, concêntricas a um fio, conforme mostrado pela [Figura 9.43\(a\)](#) e [\(b\)](#).

b) Cabos redondos com encordoamento compacto

São aqueles resultantes da compactação do cabo de encordoamento simples, por meio de uma matriz, reduzindo sua seção transversal e os espaços existentes entre os fios, conforme visto na [Figura 9.9](#).

Em geral, os cabos singelos apresentam os seguintes tipos de encordoamento:

- Seções de 1,5 a 6 mm²: encordoamento redondo normal.
- Seções superiores a 6 mm²: encordoamento redondo compactado.

Em geral, os cabos são isolados com dielétricos sólidos, cujo comportamento térmico e mecânico está em seguida classificado.

a) Termoplásticos

São materiais isolantes que, ao serem submetidos a uma elevação de temperatura, se mantêm em estado sólido até 120 °C, tornando-se pastosos e finalmente líquidos se a temperatura sofrer acréscimos sucessivos.

O dielétrico termoplástico mais comumente utilizado é o cloreto de polivinila (PVC).

b) Termofixos

São materiais isolantes que, ao serem submetidos a temperaturas elevadas, acima do seu limite, se carbonizam, sem passarem pelo estado líquido.

Comparativamente ao isolamento termoplástico, o dielétrico termofixo permite, para uma mesma seção transversal de um condutor, uma capacidade nominal de corrente significativamente superior.

Os dielétricos termofixos mais comumente utilizados são o polietileno reticulado (XLPE) e a borracha etilenopropileno (EPR).

Muito se tem discutido sobre as vantagens de um ou outro isolante. Os cabos isolados em EPR são mais flexíveis do que aqueles isolados em XLPE. Outras vantagens são anuladas quando se está trabalhando em tensão secundária.

9.3.14.1 Especificação sumária

O pedido de aquisição de um condutor secundário deve conter no mínimo as seguintes informações:

- seção nominal, em mm²;
- classe de tensão;
- natureza do material condutor (cobre ou alumínio);
- material da isolação;
- material da capa de proteção;
- tipo (isolado, unipolar, bipolar, tripolar, quadripolar);
- tamanho da bobina.

Com base no diagrama unifilar da [Figura 9.1](#), tem-se:

Cabo de cobre unipolar isolado em PVC, 750 V, seção transversal de 300 mm², capa de PVC, em bobina de 100 m.

9.3.15 Disjuntor de baixa tensão (14)

É um equipamento de comando e de proteção de circuitos de baixa tensão, cuja finalidade é conduzir, continuamente, a corrente de carga sob condições nominais e interromper correntes anormais de sobrecarga e de curto-circuito.

9.3.15.1 Tipos de construção dos disjuntores

a) Disjuntores abertos

São aqueles em que o mecanismo de atuação, o dispositivo de disparo e outros são montados em estrutura, normalmente metálica, do tipo aberto. Em geral, são disjuntores trifásicos de corrente nominal elevada e próprios para montagem em quadros e painéis. Podem ser acionados manualmente ou a motor. São utilizados como chaves de comando e de proteção de circuitos de distribuição de motores, de transformadores e de capacitores. Nesse tipo de disjuntor, seus vários componentes podem ser substituídos em caso de avaria.

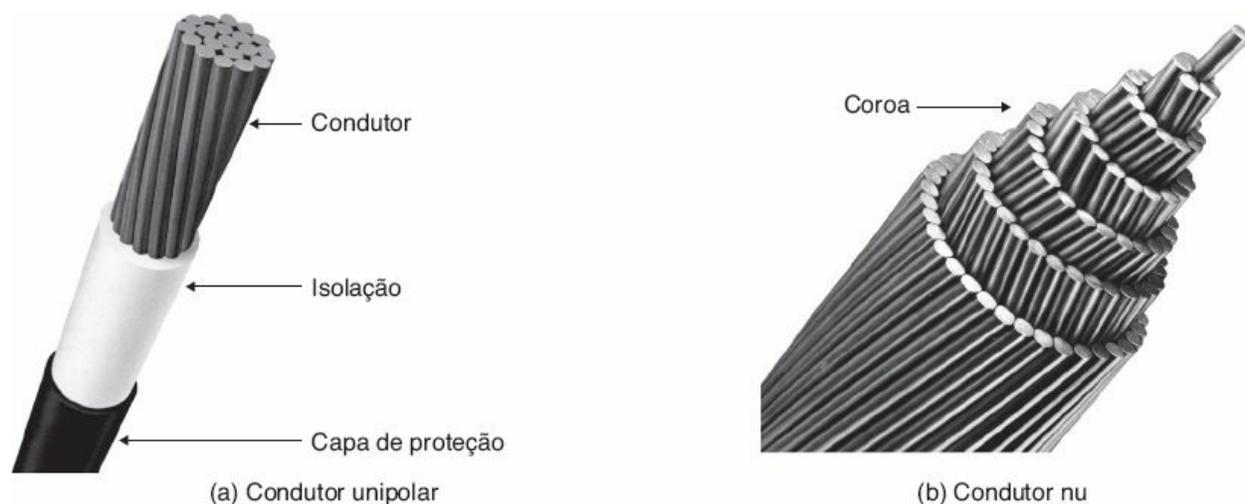


Figura 9.43 Formação dos condutores.

b) Disjuntores em caixa moldada

São aqueles em que o mecanismo de atuação, o dispositivo de disparo e outros são montados dentro de uma caixa moldada em poliéster especial ou fibra de vidro, oferecendo o máximo de segurança de operação e elevada

rigidez, e ocupando um espaço por demais reduzido em quadros e painéis. Esses disjuntores são do tipo descartável, pois quando quaisquer dos seus componentes apresentam defeito, tornam-se imprestáveis.

9.3.15.2 Tipos de operação dos disjuntores

a) Disjuntores termomagnéticos

São aqueles dotados de disparadores térmicos de sobrecarga e eletromagnéticos de curto-circuito.

b) Disjuntores somente térmicos

São destinados exclusivamente à proteção contra sobrecargas.

c) Disjuntores somente magnéticos

São semelhantes aos disjuntores termomagnéticos quanto ao aspecto externo. Diferenciam-se destes por serem dotados somente do disparador eletromagnético. São utilizados quando se deseja proteção apenas contra correntes de curto-circuito.

d) Disjuntores limitadores de corrente

São aqueles que limitam o valor e duração das correntes de curto-circuito, proporcionando uma redução substancial dos esforços térmicos e eletrodinâmicos. Nesses disjuntores, os contatos são separados pelo efeito das forças eletrodinâmicas de grande intensidade que se originam nas correntes de curto-circuito de valor elevado, fazendo o disjuntor abrir antes que o relé eletromagnético seja sensibilizado. A [Figura 9.44](#) mostra esquematicamente a parte interior de um disjuntor, enfocando os contatos e a câmara de interrupção.

e) Disjuntores eletrônicos

São disjuntores dotados de sensores de corrente constituídos de um circuito magnético responsável pela identificação do valor da corrente processada por um sistema eletrônico incorporado, capaz de enviar um sinal de abertura ao disjuntor quando a corrente do circuito supera o valor da corrente ajustada.

Os disparadores eletrônicos possuem as seguintes unidades de proteção:

- Unidade de proteção temporizada de retardo longo para atuação contra correntes de sobrecarga.
- Unidade de proteção de tempo definido (TD) com retardo curto para atuação contra correntes de curto-circuito distante.
- Unidade de proteção instantânea para atuação contra correntes de curto-circuito elevadas ocorridas nos pontos próximos à instalação do disjuntor.

O controle eletrônico normalmente é fixado ao corpo do disjuntor e extraível, podendo, em alguns tipos de disjuntor, ser extraíveis e substituíveis por outro. Pode ser estudado no Exemplo de aplicação (10.17).

Por meio do seu controle eletrônico é possível elaborar várias curvas ajustáveis, de acordo com as necessidades do projeto.

9.3.15.3 Tipos de construção do elemento térmico

a) Disjuntores sem compensação térmica

São aqueles calibrados a uma temperatura de 25 °C. Esses disjuntores, quando utilizados em ambientes cuja temperatura é superior a 25 °C, o que normalmente é comum nas instalações em quadros e painéis, devem ter sua corrente nominal corrigida de tal modo que fique reduzida a 70 % do seu valor. Isso se deve ao efeito térmico duplo a que o bimetal é submetido, tanto pela temperatura ambiente quanto pela dissipação de calor próprio produzido pela corrente de carga.

b) Disjuntores tropicalizados

São aqueles calibrados a uma temperatura de 50 °C, em média. Alguns fabricantes calibram seus disjuntores para uma temperatura de 50 °C, enquanto outros admitem uma temperatura de 55 °C.

Os disjuntores tropicalizados, quando utilizados em ambientes cuja temperatura é igual ou inferior aos limites anteriormente mencionados, podem ser carregados até uma corrente correspondente ao seu valor nominal. Para temperaturas superiores, porém, o que pode ocorrer em quadros e painéis de distribuição industriais, a corrente nominal dos disjuntores deve ser corrigida de tal modo que fique reduzida a 80 % do seu valor.

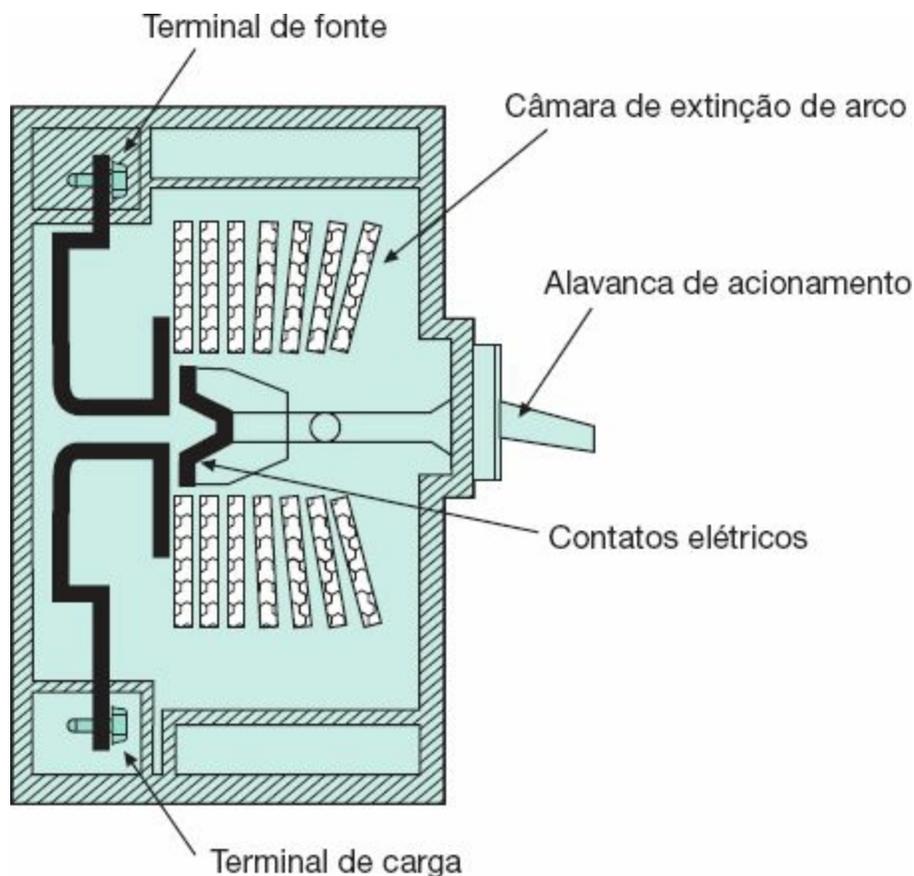


Figura 9.44 Vista interior do disjuntor limitador de corrente de baixa tensão.

9.3.15.4 Principais elementos de proteção de um disjuntor

a) Disparador térmico simples

É constituído de um elemento bimetálico que consiste em duas lâminas de metal soldadas, com diferentes coeficientes de dilatação térmica. Quando sensibilizadas por determinada quantidade de calor resultante de uma corrente de valor superior ao estabelecido para esta unidade, essas lâminas se curvam de modo que o metal de maior dilatação térmica adquire a posição, que corresponde ao maior arqueamento da lâmina, provocando o deslocamento da barra de disparo, que, por sua vez, destrava o mecanismo que mantém a continuidade do circuito. Assim, a alavanca do disjuntor assume a posição disparado, intermediária entre as posições ON (ligado) e OFF (desligado). A Figura 9.45 indica, esquematicamente, a atuação do elemento bimetálico simples, tanto na posição de operação normal quanto na posição de disparo.

b) Disparador térmico compensado

É constituído de um elemento térmico principal que atua, mecanicamente, sobre outro elemento térmico compensador, que neutraliza o efeito da elevação de temperatura do ambiente em que o disjuntor está operando.

Esse sistema proporciona a utilização da corrente nominal do disjuntor até a uma temperatura de 50 °C, em média. A Figura 9.46 ilustra a atuação do mecanismo de compensação desse disparador, que se assemelha no restante ao disparador térmico simples.

c) Disparador magnético

É constituído de uma bobina que, quando atravessada por determinada corrente de valor superior ao estabelecido para esta unidade, atrai o induzido e se processa a ação de desengate do mecanismo que mantém a continuidade do circuito, fazendo com que os contatos do disjuntor se separem. A Figura 9.47 indica o estado de operação.

Os disparadores magnéticos apresentam erro de operação que pode

variar de $\pm 10 \%$, em torno do valor da corrente de ajuste.

d) Disparadores termomagnéticos não compensados

Nos disjuntores em que se combinam as ações térmica e magnética, o dispositivo de disparo do bimetálico está mecanicamente acoplado ao dispositivo magnético de curto-circuito, proporcionando uma atuação combinada, que pode ser vista pelas curvas de característica de tempo \times corrente no Capítulo 10. A Figura 9.48 ilustra este tipo de atuação.

e) Disparadores termomagnéticos compensados

São aqueles cuja unidade térmica é composta dos elementos bimetálicos simples e de compensação, combinando suas ações com a unidade magnética, conforme ilustração da Figura 9.49.

Os disjuntores multipolares, quando submetidos a uma corrente de defeito ou sobrecarga em qualquer uma das fases isoladamente, abrem, simultaneamente, todos os polos, evitando uma operação unipolar, ao contrário do que ocorre com os elementos fusíveis.

A proteção de circuitos por disjuntores leva uma grande vantagem, relativamente à proteção por meio de fusíveis. As características de tempo \times corrente dos disjuntores podem ser ajustáveis, ao contrário dos fusíveis, que ainda podem ter suas características de tempo \times corrente alteradas quando submetidos à intensidade de corrente próxima à do valor de fusão. Entretanto, os disjuntores apresentam uma capacidade de interrupção, em geral, inferior à dos fusíveis, principalmente as unidades de corrente nominal abaixo de 1.500 A. Quando instalados em pontos do circuito cuja corrente de curto-circuito supera sua capacidade de interrupção, os disjuntores devem ser pré-ligados a fusíveis limitadores de corrente para protegê-los.

Os disjuntores são dotados de câmaras de extinção de arco que, em geral, consistem em uma série de placas metálicas em forma de veneziana, montadas em paralelo entre dois suportes de material isolante. As ranhuras

das referidas placas sobrepõem-se aos contatos, atraindo o arco que se forma, a partir do deslocamento do contato móvel, para o seu interior, confinando-o e dividindo-o em um tempo aproximado de meio ciclo.

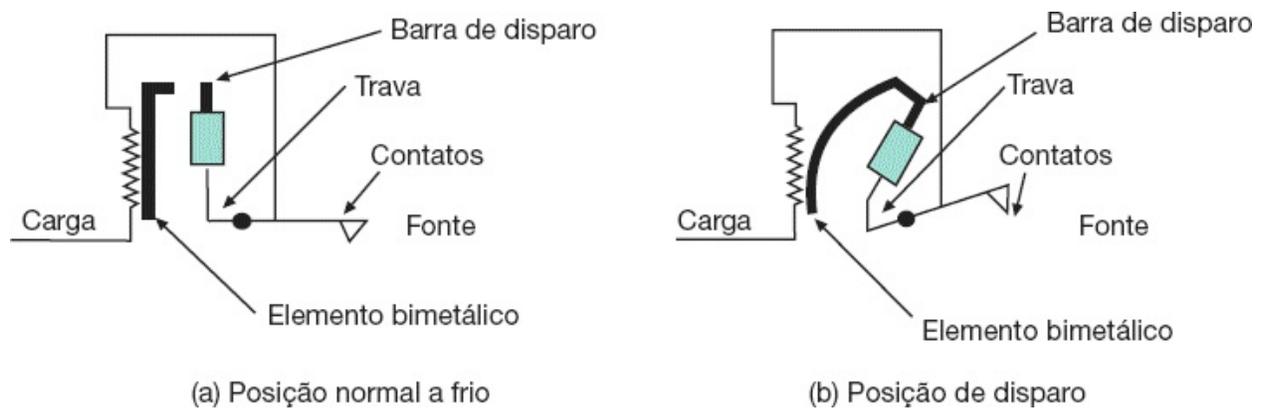


Figura 9.45 Disparador térmico simples.

Os disjuntores limitadores de corrente, quando atuam por efeito eletrodinâmico, o fazem em tempo aproximado de 2 ms. Como são dotados também de disparadores eletromagnéticos, estes são ajustados acima do valor que corresponde à atuação eletrodinâmica.

A Figura 9.50 mostra a parte frontal de um disjuntor de baixa tensão, indicando os dispositivos de ajuste dos disparadores térmicos e eletromagnéticos.

Os detalhes de dimensionamento de disjuntores e os ajustes necessários dos disparadores térmicos e eletromagnéticos serão abordados no Capítulo 10.

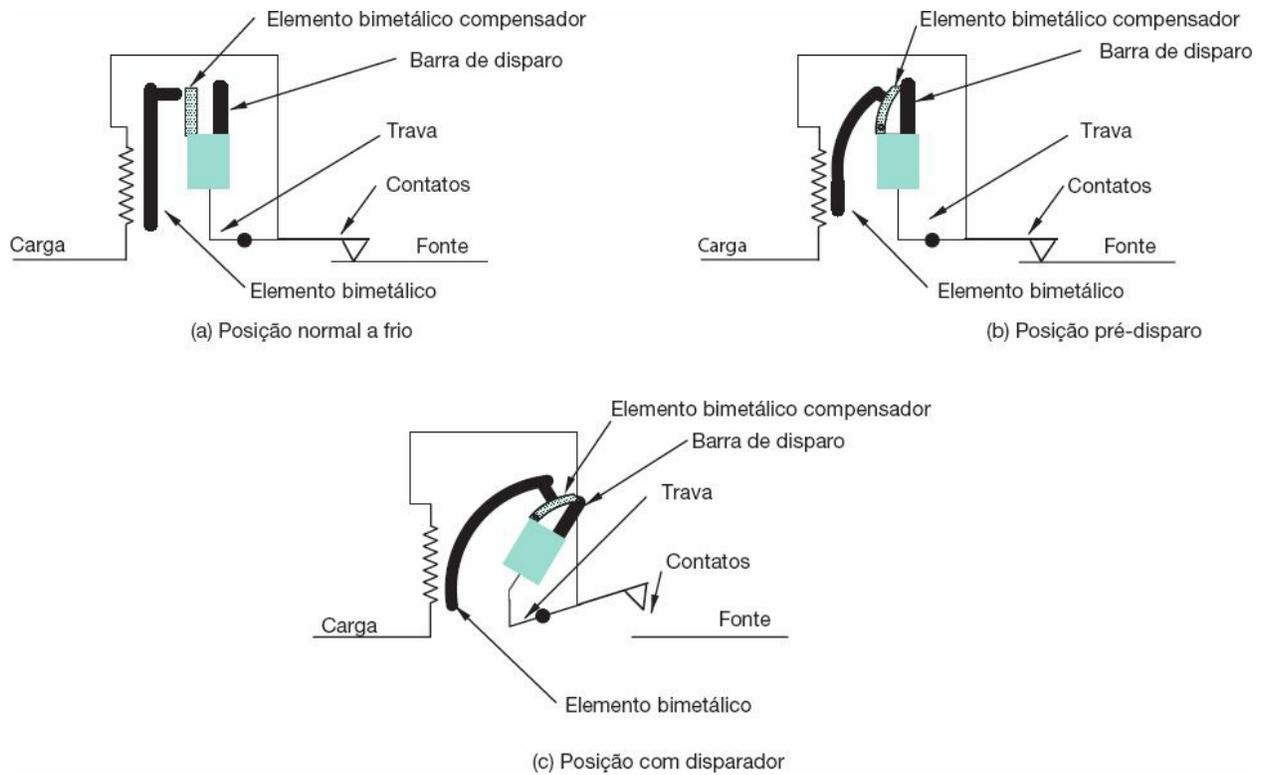


Figura 9.46 Disparador térmico compensado.

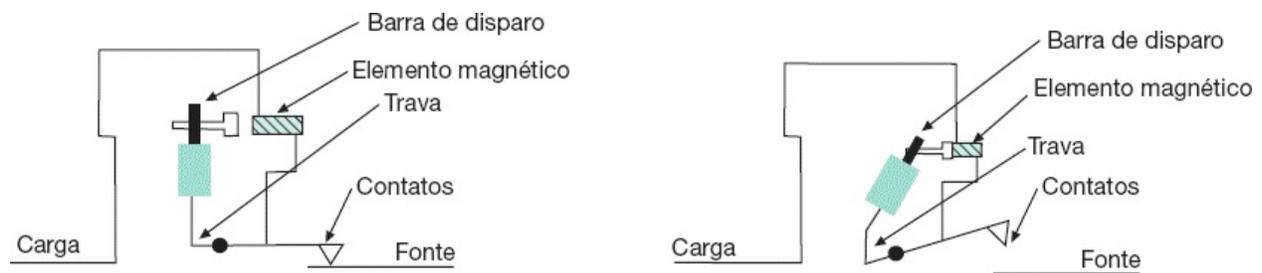


Figura 9.47 Disparador magnético.

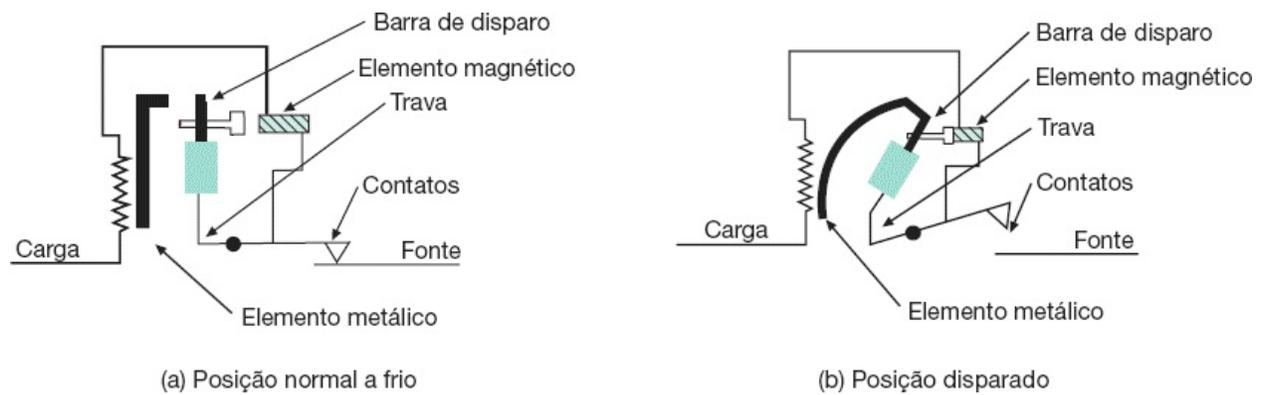


Figura 9.48 Disparadores termomagnéticos não compensados.

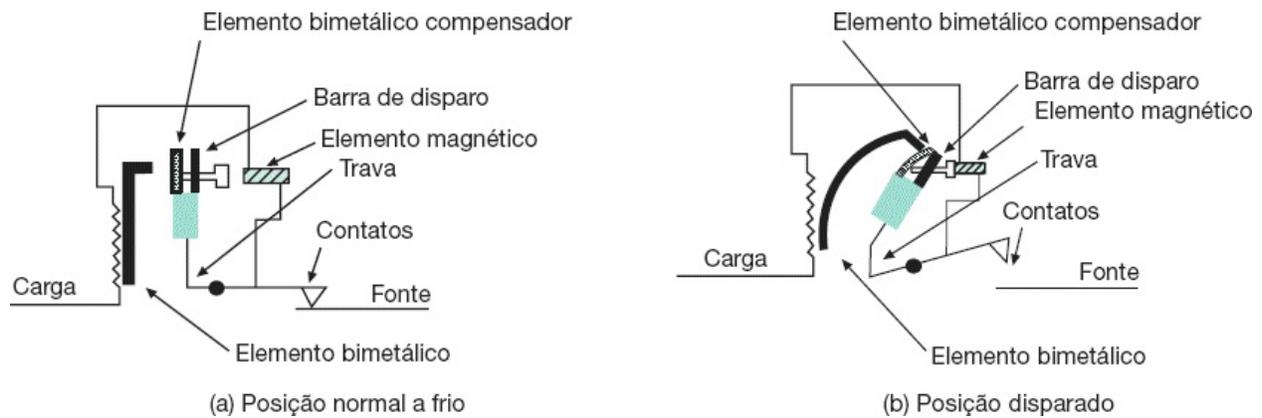


Figura 9.49 Disparadores termomagnéticos compensados.

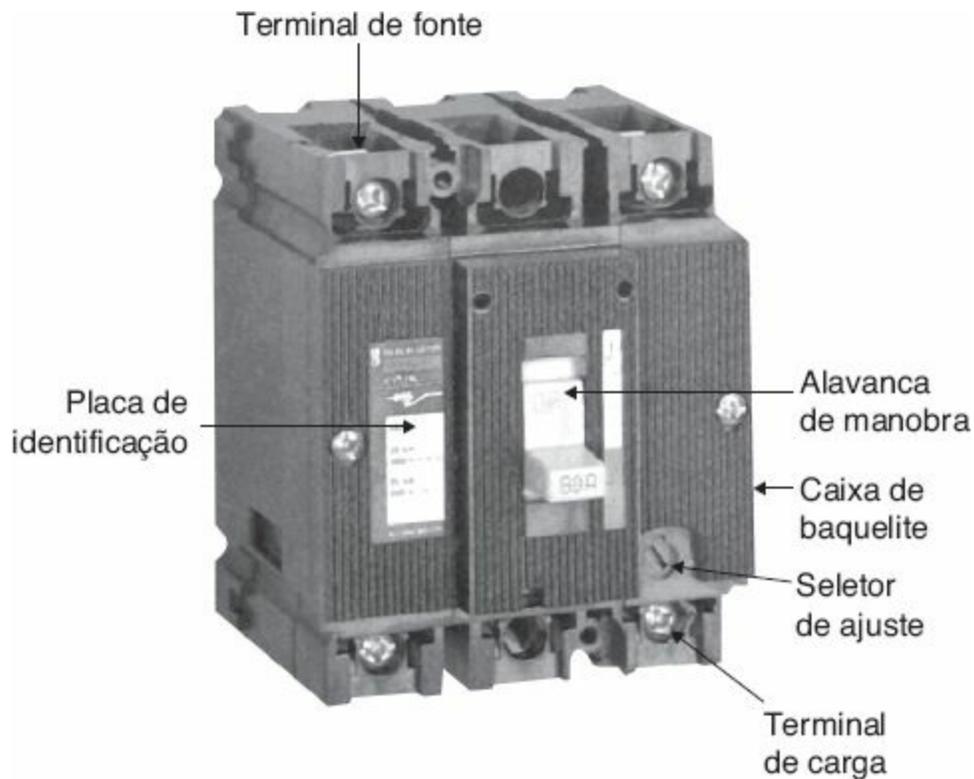


Figura 9.50 Vista frontal de um disjuntor de baixa tensão.

9.3.15.5 Especificação sumária

A aquisição de um disjuntor, para utilização em determinado ponto do

sistema, requer que sejam discriminados os seguintes elementos, no mínimo:

- Corrente nominal de operação.
- Capacidade de interrupção.
- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Faixa de ajuste dos disparadores.
- Tipo (termomagnético, limitador de corrente, somente magnético ou somente térmico).
- Acionamento (manual ou motorizado).

De acordo com o diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

Disjuntor tripolar termomagnético, corrente nominal de 1.250 A, corrente mínima de interrupção de 45 kA, faixa de ajuste do relé térmico (700 a 1.250) A, faixa de ajuste do relé eletromagnético (4.000 a 8.000) A, acionamento manual frontal, frequência nominal de 60 Hz e tensão nominal 660 V.

9.3.16 Voltímetro de ferro móvel (15)

É destinado ao registro instantâneo da tensão em sistemas de corrente alternada ou contínua.

Compõe-se de uma bobina fixa que age magneticamente sobre dois núcleos concêntricos de ferro doce não magnetizados, sendo um fixo e outro móvel. Ao alimentar a bobina, cria-se um campo magnético que atua sobre os dois núcleos referidos que, por estarem submetidos a polaridades iguais, tendem a se repelir. Estando um dos núcleos fixos, conseqüentemente o núcleo móvel a que está preso um ponteiro indicador sofrerá um deslocamento angular, registrando, em escala adequada, o valor correspondente da tensão do circuito. Quanto mais intenso for o campo magnético da bobina, maior será a deflexão do referido ponteiro. Quando o

núcleo móvel deflete em torno do seu eixo, movimentando também a câmara de amortecimento, o ponteiro e a mola de compressão que tem a finalidade de fazer o conjunto voltar à posição inicial, à medida que a intensidade do campo diminui.

A Figura 9.51 mostra, esquematicamente, um corte longitudinal de um voltímetro de ferro móvel cuja aplicação é mais acentuada, enquanto a Figura 9.52 apresenta a vista frontal do mesmo voltímetro.

Os voltímetros são comercializados mais comumente com as seguintes dimensões:

- 144×144 mm – abertura do painel: 138×138 mm.
- 96×96 mm – abertura no painel: 92×92 mm.
- 72×72 mm – abertura no painel: 69×69 mm.

Existem, também, voltímetros com dimensões retangulares e mais raramente com formato circular. A Figura 9.52 mostra um voltímetro de aplicação em painéis de controle com escala de 0 a 500 V.

O valor de fundo de escala deve ser pelo menos 25 % superior ao valor da tensão nominal do sistema.

Os voltímetros são ligados diretamente à rede em sistemas de baixa tensão, ou por meio de transformadores de potencial em sistemas primários.

9.3.16.1 Especificação sumária

É necessário que, na compra de voltímetros, se estabeleçam os seguintes elementos:

- Dimensões.
- Fundo de escala.
- Tipo (ferro móvel, bobina móvel — não descrito neste livro).
- Tensão de alimentação.
- Frequência nominal.

O voltímetro representado no diagrama unifilar da Figura 9.1 pode ser assim descrito:

Voltímetro de ferro móvel, dimensões 96×96 mm, escala de 0 a 500 V, tensão de alimentação 380 V e frequência de 60 Hz.

9.3.17 Amperímetro de ferro móvel (16)

É destinado à indicação instantânea de corrente, tanto em sistemas de corrente contínua como em sistemas de corrente alternada.

O seu princípio de funcionamento corresponde ao que já foi exposto para o voltímetro de ferro móvel.

Os amperímetros são comercializados com as mesmas dimensões padronizadas para os voltímetros. Normalmente, são fabricados para suportarem 50 vezes a carga nominal durante 1 s, quatro vezes a carga nominal, aproximadamente, durante três minutos e duas vezes a carga nominal durante 10 minutos.

Em geral, deve-se dimensionar o fundo de escala de um amperímetro para o mínimo de 150 % do valor da corrente prevista para o circuito a ser medido.

Os amperímetros, em geral, são conectados aos barramentos dos painéis por transformadores de corrente, que podem ser dimensionados em função da corrente de carga do ponto no qual será instalado. Os amperímetros de conexão direta são fabricados para corrente nominal de, no máximo, 100 A.

A Figura 9.53 mostra a vista frontal de um amperímetro, enquanto a Figura 9.54 indica as faixas de escala para medição e sobrecarga.

Em geral, os amperímetros conectados por meio de transformadores de corrente são comercializados com as escalas indicadas na Tabela 9.13.

9.3.17.1 Especificação sumária

É necessário que se estabeleçam no pedido de compra para amperímetros, no mínimo, os seguintes elementos:

- Dimensões.
- Fundo de escala ou faixa de escala.
- Corrente de entrada (1 ou 5 A).
- Tipo.
- Frequência nominal.

O amperímetro indicado no diagrama unifilar da Figura 9.1 pode ser assim descrito:

Amperímetro de ferro móvel, dimensões 96×96 mm, fundo de escala de 400 A, corrente de entrada 5 A e frequência de 60 Hz.

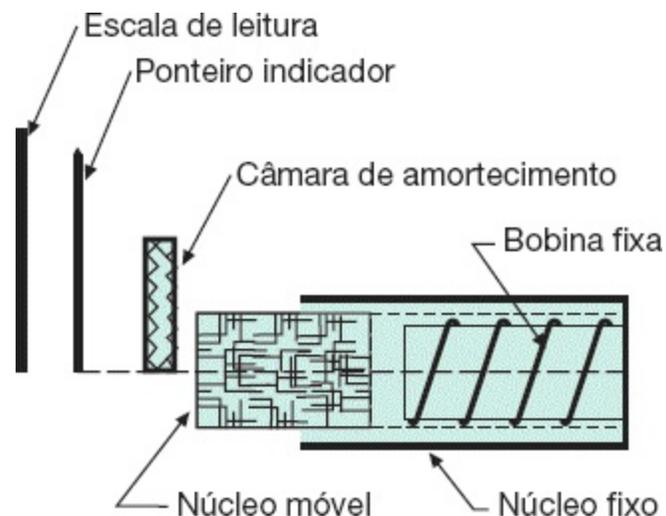


Figura 9.51 Componentes de um voltímetro.

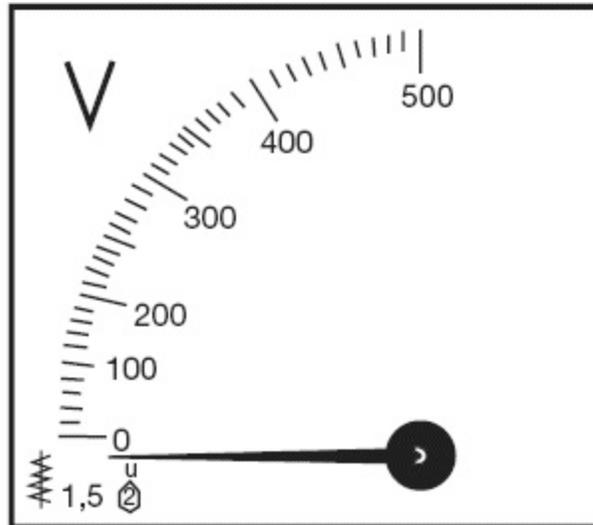
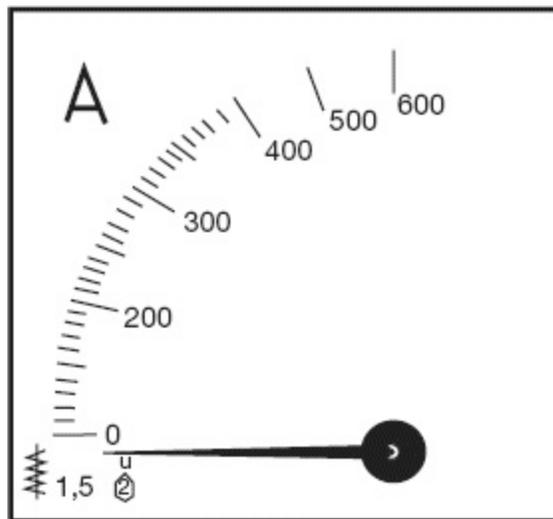


Figura 9.52 Vista frontal de um voltímetro.

Figura 9.52 Vista frontal de um voltímetro.

Figura 9.53 Vista frontal de um amperímetro.



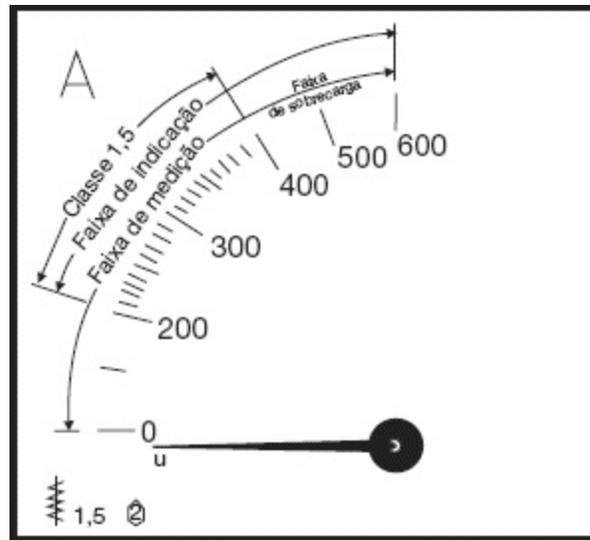


Figura 9.54 Faixa de escala de um amperímetro.

Tabela 9.13 Escalas de amperímetros

Dimensões	Escala	Dimensões	Escala
96 × 96	100/5	144 × 144	600/5
	200/5		800/5
	400/5		1.000/5
	600/5		1.500/5
	1.000/5		2.000/5
144 × 144	100/5		3.000/5
	200/5		4.000/5
	400/5		5.000/5

9.3.18 Fusível de baixa tensão (17)

É um dispositivo dotado de um elemento metálico, com seção reduzida na sua parte média, normalmente colocado no interior de um corpo de porcelana hermeticamente fechado, contendo areia de quartzo de granulometria adequada.

Segundo a IEC 269, os fusíveis para aplicações industriais apresentam a seguinte classificação:

- gI: são fusíveis limitadores de corrente que têm a capacidade de interromper desde a corrente mínima de fusão até a capacidade nominal de interrupção.
- gII: obedecem as mesmas características anteriores diferindo, no entanto, daquelas, nos seguintes aspectos:
 - até $I_{nf} \approx 50$ A, os fusíveis gII são mais rápidos do que os fusíveis gI;
 - entre $100 \leq I_{nf} < 1000$ A, os fusíveis gI e gII têm as mesmas características;
 - nas aplicações domésticas, as capacidades de interrupção dos fusíveis gI e gII são divergentes.

Os fusíveis gI e gII se caracterizam pela proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos.

- aM: são fusíveis limitadores de corrente que têm a capacidade de interromper a corrente desde determinado múltiplo de sua corrente nominal até a sua capacidade de interrupção.

Os fusíveis aM se caracterizam pela proteção somente contra as correntes de curtos-circuitos. Por isso, é necessário que se utilize, neste caso, uma proteção contra sobrecarga.

A IEC ainda classifica os fusíveis como de aplicação doméstica e industrial. Os primeiros são acessíveis a pessoas não qualificadas. Ao

segundo, somente devem ter acesso pessoas autorizadas. Essa classificação implica as características construtivas dos fusíveis quanto ao acesso às partes vivas no caso de substituição.

O elemento metálico, em geral, é de cobre, prata ou estanho. O corpo de porcelana é de alta resistência mecânica.

A atuação de um fusível é proporcionada pela fusão do elemento metálico, quando percorrido por uma corrente de valor superior ao estabelecido na sua curva de característica tempo \times corrente. Após a fusão do elemento fusível, a corrente não é interrompida instantaneamente, pois a indutância do circuito a mantém por um curto intervalo de tempo, circulando pelo do arco formado entre as extremidades do elemento metálico sólido.

A areia de quartzo, que é o elemento extintor do fusível, absorve toda a energia calorífica produzida pelo arco, cujo vapor do elemento metálico fundido fica envolvido por esta, resultando no final em um corpo sólido isolante que mantém a extremidade do fusível ligado à carga eletricamente separada da outra extremidade ligada à fonte. As principais características elétricas dos fusíveis são:

a) Corrente nominal

É aquela que pode percorrer o fusível por tempo indefinido sem que este apresente um aquecimento excessivo. O valor da corrente de fusão de um fusível é normalmente estabelecido em 60 % superior ao valor indicado como corrente nominal.

b) Tensão nominal

É aquela que define a tensão máxima de exercício do circuito em que o fusível deve operar regularmente.

c) Capacidade de interrupção

É o valor máximo eficaz da corrente simétrica de curto-circuito que o fusível

é capaz de interromper, dentro das condições de tensão nominal e do fator de potência estabelecido.

Os fusíveis do tipo NH e diazed devem operar satisfatoriamente nas condições de temperatura ambiente para as quais foram projetados. Quanto mais elevada a temperatura a que está submetido, mais rapidamente o elemento fusível alcança a temperatura de fusão.

Os fusíveis do tipo NH apresentam características de limitação da corrente de impulso. Isto é particularmente válido na proteção da isolação dos condutores e equipamentos de comando e manobra, pois a limitação da intensidade da corrente de curto-circuito implica valores mais reduzidos das solicitações térmicas e eletrodinâmicas sofridas por estes. A partir da Figura 10.27, pode-se determinar esta limitação entrando-se com o valor da corrente de curto-circuito simétrica (valor inicial efetivo), calculada no ponto de instalação do fusível ($I_{cs} = 40 \text{ kA}$), no eixo das ordenadas, traçando-se uma reta até atingir a curva do fusível ($I_n = 224 \text{ A}$), obtendo-se o valor da corrente limitada ($I_l = 20 \text{ kA}$). Sem o fusível, a corrente de curto-circuito atingiria o valor de crista igual a 80 kA. O gráfico é particularmente válido para um fator de potência de curto-circuito igual ou inferior a 0,7.

Quando as correntes de curto-circuito são de grande intensidade, a aplicação de disjuntores torna-se onerosa, na maioria dos casos. Portanto, a utilização de fusíveis limitadores de corrente é bastante comum como proteção contra as correntes de defeito, deixando-se a proteção contra sobrecarga para a responsabilidade do disjuntor, cuja capacidade de ruptura poderá ser bastante reduzida e, portanto, de custo inferior.

A atuação dos fusíveis do tipo diazed e NH obedece às características de tempo \times corrente, definidas pelas normas específicas como a curva média de fusão \times corrente que caracteriza o tempo médio correspondente à fusão do elemento fusível.

Os fusíveis NH e diazed são providos de indicadores de atuação do elemento fusível. O indicador é constituído de um fio ligado em paralelo ao

elemento fusível, que, quando se funde, provoca a fusão do fio mencionado que sustenta uma mola pressionada, provocando a liberação do dispositivo indicador, normalmente caracterizado pela cor vermelha.

Os fusíveis são fabricados com duas características distintas de atuação: rápida e retardada. O fusível de característica rápida é mais comumente empregado nos circuitos que operam em condições de corrente inferior à corrente nominal, como é o caso de circuitos que suportam cargas resistivas. Já o fusível de efeito retardado é mais adequado aos circuitos sujeitos a sobrecargas periódicas, como no caso de motores e capacitores.

Não é aconselhável a aplicação dos fusíveis limitadores como elemento de proteção dos circuitos elétricos submetidos a correntes que definem uma sobrecarga, pois, devido às suas características de abertura para corrente com intensidade variando em torno de 1,4 vez a sua corrente nominal, não se obtém desses dispositivos uma margem de segurança aceitável para tal finalidade. Assim, esses fusíveis devem somente ser dimensionados tendo em vista a proteção da rede para correntes de curto-circuito, ou de sobrecarga caracterizada por motor de indução com rotor bloqueado, apesar de se constituir em uma proteção pouco segura.

A Figura 9.55 mostra os diversos elementos componentes de um fusível do tipo diazed. Já a Figura 9.56 apresenta os detalhes construtivos dos fusíveis NH, enquanto a Figura 9.57 mostra, respectivamente, o fusível do tipo NH e sua base correspondente.

9.3.18.1 Especificação sumária

No pedido de compra de um fusível, devem constar, no mínimo, os seguintes elementos:

- Corrente nominal.
- Tamanho da base (fusível NH).
- Capacidade de ruptura.

- Característica da curva tempo \times corrente (rápido ou com retardo).
- Componentes (fusível diazed: base, tampa, parafuso de ajuste, anel de proteção e fusível).

O fusível indicado no diagrama da Figura 9.1 pode ser assim descrito:

Fusível do tipo NH, corrente nominal de 160 A, capacidade de ruptura de 100 kA, base tamanho 2, tipo com retardo.

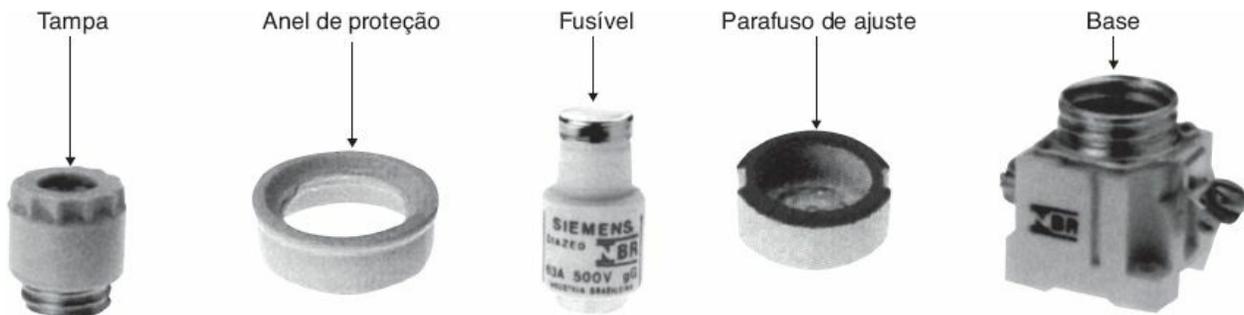


Figura 9.55 Conjunto fusível diazed.

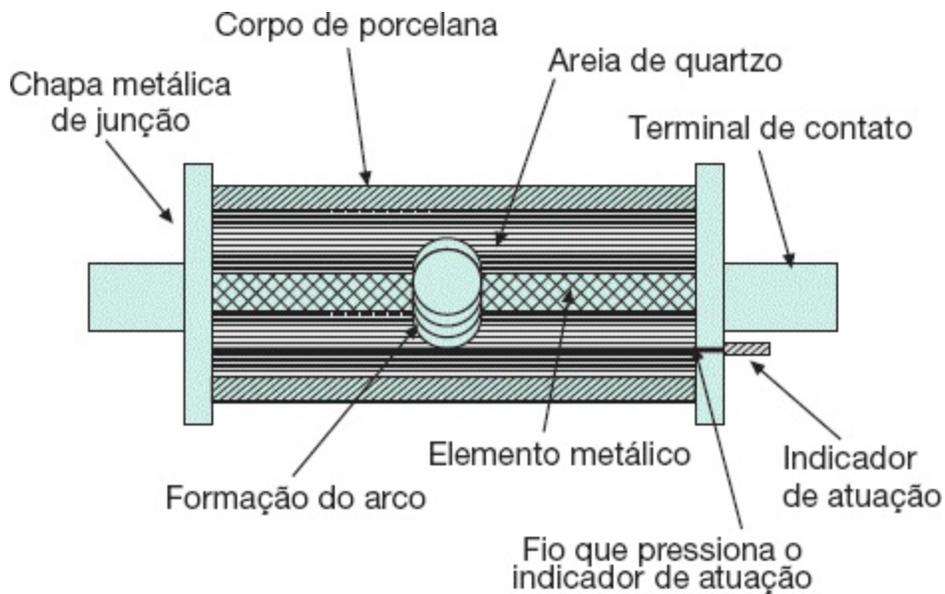


Figura 9.56 Fusível do tipo NH.

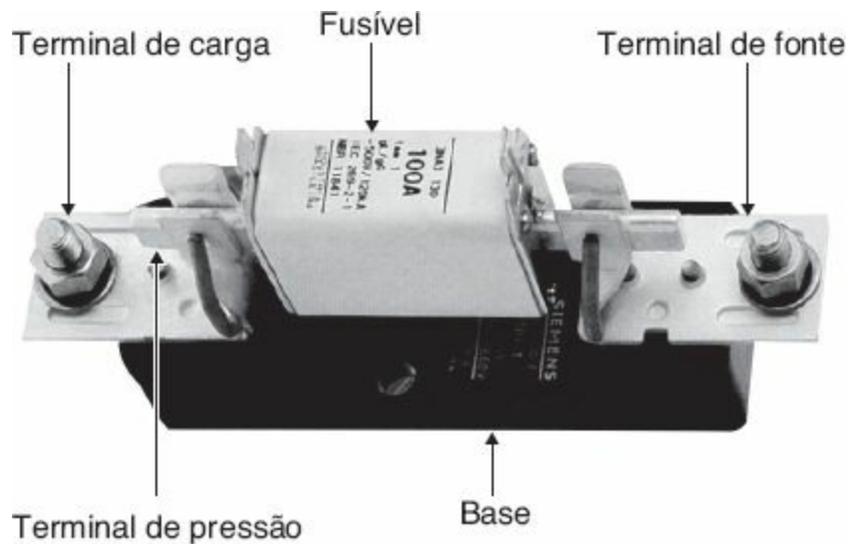


Figura 9.57 Base para fusível NH.

9.3.19 Chave seccionadora tripolar de baixa tensão (18)

É um equipamento capaz de permitir a abertura de todos os condutores não aterrados de um circuito, de tal modo que nenhum polo possa ser operado independentemente. Os seccionadores podem ser classificados em dois tipos:

a) Seccionador com abertura sem carga

É aquele que somente deve operar com o circuito desenergizado ou sob tensão. É o caso das chaves seccionadoras com abertura sem carga.

b) Seccionador sob carga ou interruptor

É aquele capaz de operar com o circuito desde a condição de carga nula até a de plena carga.

Os seccionadores de atuação em carga são providos de câmaras de extinção de arco e de um conjunto de molas capaz de imprimir uma velocidade de operação elevada.

A principal função dos seccionadores é permitir que seja feita manutenção segura em determinada parte do sistema. Quando os

seccionadores são instalados em circuitos de motores, devem-se desligar tanto os motores como o dispositivo de controle.

Sobre os dispositivos de seccionamento, pode-se estabelecer:

- A posição dos contatos ou dos outros meios de seccionamento deve ser visível do exterior ou indicada de forma clara e segura.
- Os dispositivos de seccionamento devem ser projetados e/ou instalados de forma a impedir qualquer restabelecimento involuntário. Esse restabelecimento poderia ser causado, por exemplo, por choque ou vibrações.
- Devem ser adotadas medidas para impedir a abertura inadvertida ou desautorizada dos dispositivos de seccionamento, apropriados à abertura sem carga.

O NEC (National Electric Code) recomenda que os seccionadores utilizados em circuitos de motores de até 600 V devem ser dimensionados pelo menos para 115 % da corrente nominal, isto é:

$$I_{\text{sec}} = 1,15 \times I_{\text{nm}} \quad (9.18)$$

Quando são instalados em circuitos de capacitor, devem ser dimensionados pelo menos para 135 % da corrente nominal do banco, ou seja:

$$I_{\text{sec}} = 1,35 \times I_{\text{cap}} \quad (9.19)$$

A Figura 9.58 mostra uma chave seccionadora de abertura em carga, indicando-se seus principais componentes.

As chaves seccionadoras devem ser dimensionadas para suportar, durante o tempo de 1 s, a corrente de curto-circuito, o valor eficaz (corrente térmica) e o valor de crista da mesma corrente (corrente dinâmica).

A Tabela 9.14 fornece as principais características elétricas das chaves

seccionadoras dos tipos 5TH e S32 de fabricação Siemens. Para outros detalhes, consultar catálogo específico do fabricante. De acordo com a Tabela 9.14, devem-se esclarecer as seguintes definições:

- Corrente máxima de estabelecimento

É o valor de crista do primeiro semiciclo, em um polo da chave, durante o período transitório que se segue, em uma operação de fechamento.

Tabela 9.14 Chaves seccionadoras dos tipos 5HT e S32 da Siemens

Tipo	Corrente nominal (A)			Corrente de interrupção para FP = 0,35		Corrente máxima de estabelecimento	Corrente presumida de curto-circuito com fusíveis	Corrente de corte com fusíveis	F m pe
	AC21	AC22	AC23	440 V	500 V				
-	500 V	500 V	380 V	A	A	kA	kA	kA	
5TH0 1040	40	40	32	304	-	1,36	50	8,2	
5TH0 1063	63	63	45	304	-	2,15	50	9,55	
5TH0 1125	125	125	60	480	-	4,25	50	13,5	
S32- 160/3	160	160	102	-	507	17	50	16	

S32- 250/3	250	250	139	-	1.020	22	50	27
S32- 400/3	400	400	190	-	1.020	26	50	42
S32- 630/3	630	630	382	-	2.530	59	50	54
S32- 1000/3	1.000	1.000	447	-	2.530	78	50	70
S32- 1250/3	1.250	1.250	870	-	3.780	110	50	70
S32- 1600/3	1.600	1.250	870	-	3.780	110	50	-

AC21 - para ligação de cargas ôhmicas, incluindo pequenas sobrecargas.

AC22 - para ligação de cargas mistas, ôhmicas e indutivas, incluindo pequenas sobrecargas.

AC23 - para ligação de motores e outras cargas indutivas.

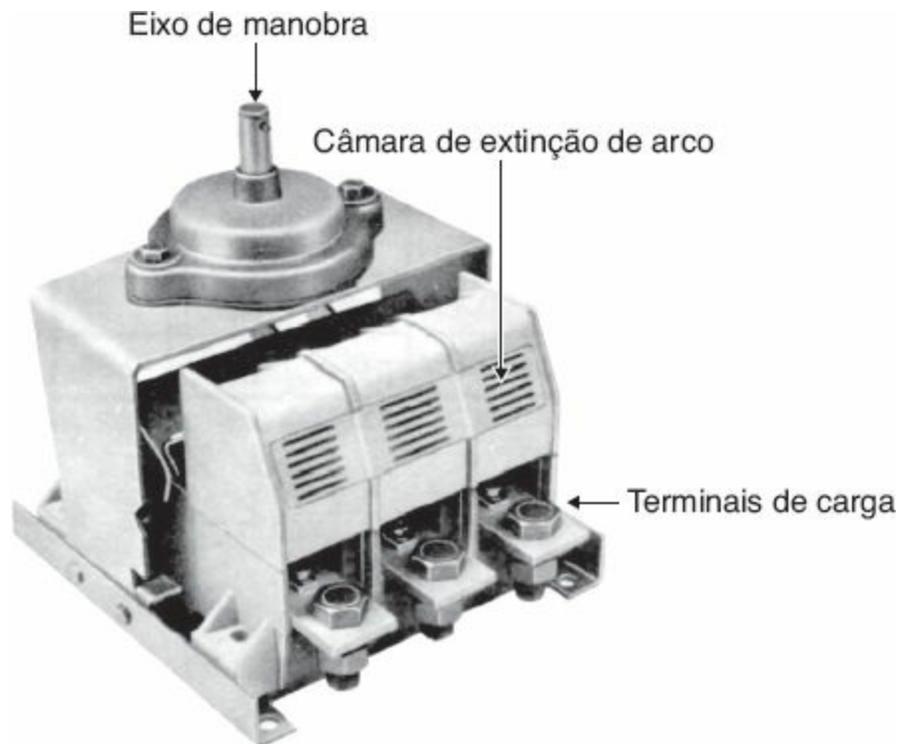


Figura 9.58 Chave seccionadora tripolar de baixa tensão.

- Corrente presumida de curto-circuito

É a corrente que circularia no circuito, se os polos de carga da chave fossem conectados por um condutor de impedância desprezível.

- Corrente de corte ou de interrupção

É aquela que se estabelece no circuito no início do processo de interrupção.

9.3.19.1 Especificação sumária

A compra de uma chave seccionadora deve ser acompanhada, no mínimo, dos seguintes elementos:

- Tensão nominal.
- Corrente nominal.
- Corrente presumida de curto-circuito.
- Fusível máximo admitido (especificar).

- Acionamento (manual rotativo ou motorizado).
- Contatos auxiliares (se necessário).
- Operação (em carga ou a vazio).
- Vida mecânica mínima (se necessário).
- Frequência nominal.

Relativamente à chave seccionadora indicada no diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal 500 V, corrente nominal de 250 A, acionamento manual rotativo, sem contatos auxiliares.

9.3.20 Contator magnético tripolar (19)

É um dispositivo de atuação magnética destinado à interrupção de um circuito em carga ou a vazio.

O seu princípio de funcionamento baseia-se na força magnética que tem origem na energização de uma bobina e na força mecânica proveniente do conjunto de molas preso à estrutura dos contatos móveis.

Quando a bobina é energizada, sua força eletromecânica sobrepõe-se à força mecânica das molas, obrigando os contatos móveis a se fecharem sobre os contatos fixos aos quais estão ligados os terminais do circuito. A Figura 9.59 mostra as principais partes de um contator acoplado ao respectivo relé térmico.

Os contadores são construídos para suportar elevado número de manobras. São dimensionados em função da corrente nominal do circuito, do número de manobras desejado e da corrente de desligamento no ponto de instalação.

A corrente de partida dos motores não tem, praticamente, nenhuma influência na vida dos contatos dos contadores. No entanto, o ricochete pode

reduzir drasticamente a duração dos contatos. Em geral, os contadores pequenos, quando têm os seus contatos danificados, tornam-se imprestáveis; porém, os contadores de corrente nominal elevada possibilitam, em geral, a reposição dos contatos danificados.

A Figura 9.60 mostra um diagrama de comando de um contator de acionamento local com recurso de comando a distância, muito característico na aplicação de motores elétricos.

A Tabela 9.15 permite a escolha dos contadores da série 3TF de fabricação Siemens.

9.3.20.1 Especificação sumária

Na compra de contadores devem ser fornecidos, no mínimo, os seguintes elementos:

- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Corrente nominal.
- Número mínimo de manobras.
- Tensão nominal da bobina.
- Número de contatos: NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado).

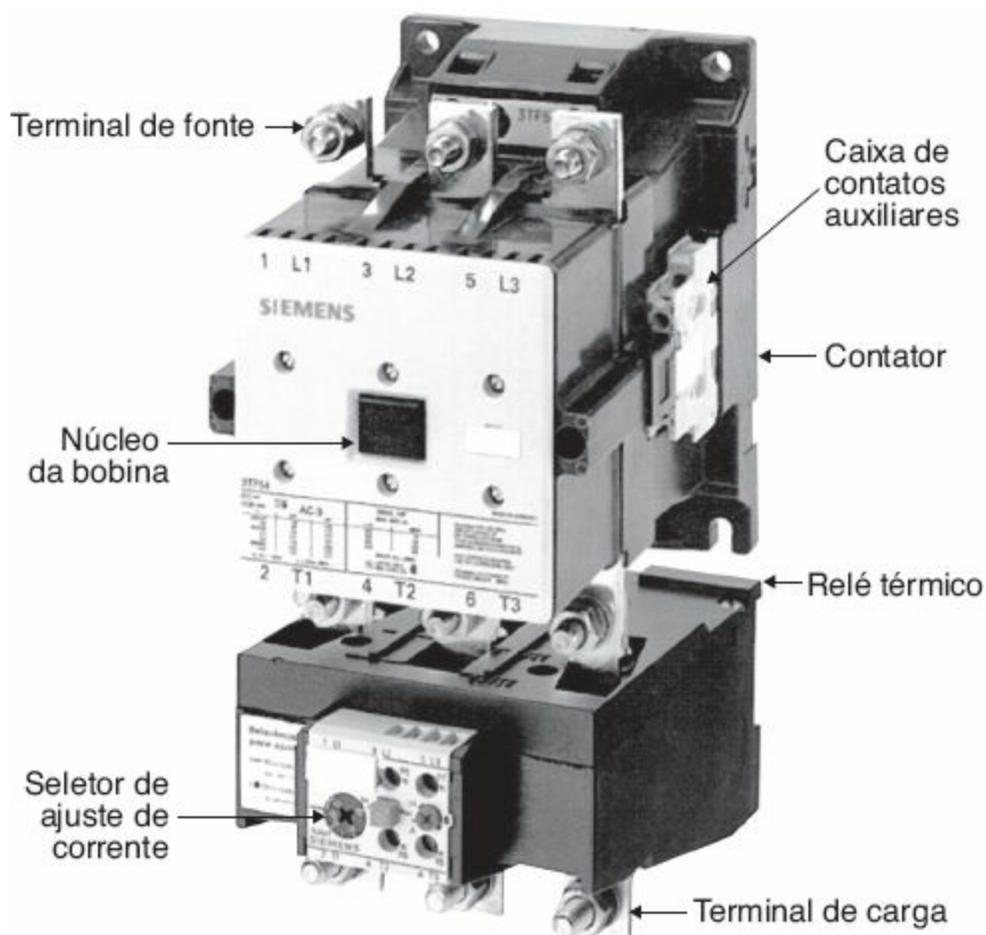


Figura 9.59 Componentes de um contator.

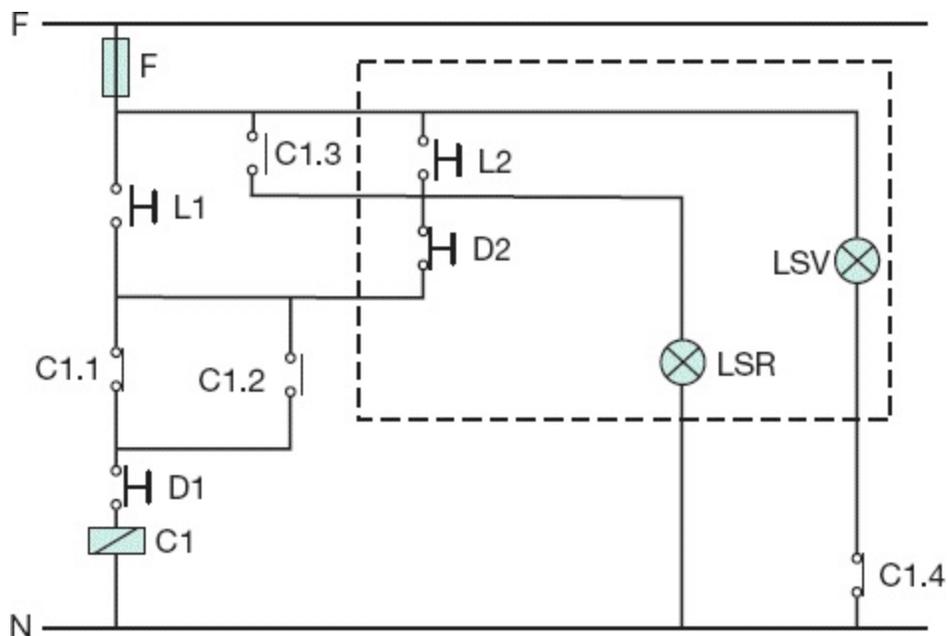


Figura 9.60 Esquema de comando de um contator.

Assim, com base no diagrama unifilar da Figura 9.1, pode-se descrever o contator como:

Contator magnético tripolar para motor de 50 cv/380 V, tensão nominal 500 V, corrente nominal 75 A, número de manobras mínimo de 50.000, com bobina para tensão de 220 V, frequência de 60 Hz, com 2 contatos NA e 2 NF.

9.3.21 Relé bimetálico de sobrecarga para contadores (20)

São dispositivos dotados de um par de lâminas construídas com metais de diferentes coeficientes de dilatação linear que, quando sensibilizados pelo efeito térmico produzido por uma corrente de intensidade ajustada, aquecendo o bimetal, provocam, pela dilatação térmica de suas lâminas, a operação de um contato móvel.

Os relés bimetálicos de sobrecarga são constituídos de modo a permitir ajustes de corrente nominal dentro de determinadas faixas que podem ser escolhidas conforme o valor da corrente e a natureza da carga. Quanto maior for o valor da corrente de sobrecarga, menor será o tempo decorrido para a atuação do relé térmico.

Normalmente, os relés de sobrecarga são acoplados a contadores, de largo emprego no acionamento de motores elétricos, podendo também manobrar circuitos em geral. Também os relés de sobrecarga são destinados à proteção de motores trifásicos, que, por uma razão qualquer, como a queima de um fusível em determinada fase, operam com alimentação bifásica.

9.3.21.1 Especificação sumária

Para qualificar um relé são necessários, no mínimo, os seguintes dados:

- Potência do motor a que vai proteger.
- Faixa de ajuste desejada.
- Fusível máximo a ser utilizado.
- Tipo do contator a que vai ser acoplado.

Relativamente à Figura 9.1 pode-se especificar assim o relé térmico.

Relé térmico de sobrecarga para motor de 50 cv/380 V, faixa de ajuste de (63–90) A, acoplado ao contator (especificar o contator) e fusível máximo de proteção de 125 A, tipo aM.

9.3.22 Chave estrela-triângulo (21)

É um equipamento destinado à partida, com redução de corrente, de motores trifásicos do tipo indução, com disponibilidade de seis bornes para ligação.

As chaves estrela-triângulo são fabricadas para a operação manual ou automática. No primeiro caso, o tempo para a mudança da conexão estrela para triângulo é definido pelo operador, enquanto nas chaves automáticas toda operação é comandada por um relé de tempo que atua sobre os contadores componentes da chave, de acordo com o ajuste selecionado.

As chaves estrela-triângulo automáticas são compostas de:

- 3 fusíveis no circuito de comando;
- 3 fusíveis no circuito de força;
- 3 contadores;
- 1 relé bimetálico;
- 2 botoeiras;
- 1 relé de tempo;
- 1 lâmpada de sinalização verde;
- 1 lâmpada de sinalização vermelha;

- indicadores de medidas de tensão e corrente;
- 1 transformador de comando.

Os relés de sobrecarga, quando aquecidos à temperatura de serviço, têm, nas suas curvas características de disparo, os tempos reduzidos, em geral, a 25 % ou a 50 % dos tempos indicados, dependendo do fabricante.

Os relés de sobrecarga devem ser protegidos contra as elevadas correntes de curto-circuito. Normalmente, os fabricantes fornecem a capacidade máxima dos fusíveis que devem ser empregados no circuito para garantir a integridade do relé e que em nenhuma hipótese deve ser superada.

A Tabela 10.2 fornece as principais características dos relés 3UA de fabricação Siemens. Também no Capítulo 10 estão definidos os critérios para proteção por meio dos relés de sobrecarga, incluindo-se aí as curvas de atuação.

A Figura 9.61 representa o diagrama de comando de uma chave estrela-triângulo automática. A sua operação é iniciada quando o contator C3 é energizado pelo acionamento da botoeira L que, em seguida, volta à sua posição inicial (aberta). Nesse instante, o contato auxiliar CA3.2 é fechado, permitindo a operação do contator C1, que se mantém fechado pelo seu próprio contato auxiliar CA1.1, iniciando, desse modo, o processo de partida do motor na configuração estrela. Já acionado pelo fechamento da botoeira L, o relé de tempo RT inicia sua operação. Decorrido o tempo previsto para que o motor adquira a velocidade próxima à velocidade de regime, o relé de tempo RT abre o contato CRT1, desenergizando o contator C3, cujo contato CA3.3 é acionado, energizando a bobina do contator C2. Nesse instante, o motor inicia o funcionamento na ligação triângulo.

Tabela 9.15 Seleção de contatores do tipo de 3TF da Siemens

Dados técnicos	Tipo	3TF40	3TF41	3TF42	3TF43	3TF44	3TF45	3TF46	3TF47
		10	10	10	10	11	11	22	22

Corrente permanente em A	Tensão (V)	9	12	16	22	32	38	45	63
CATEGORIA AC1: manobra de cargas resistivas para FP superior 0,95	Até 690 V	21	21	32	32	65	65	90	100
CATEGORIA AC2: manobra de motores com rotor bobinado, em serviço normal.	220	3	4	6	7,5	10	15	20	25
	380	5	7,5	10	15	20	25	30	40
	440	6	7,5	10	15	25	30	30	50
CATEGORIA AC3: Manobra de motores com rotor de curto-circuito, em regime normal. Potência em cv									
CATEGORIA AC4: manobra de motores	220	1	1,5	2	3	5	6	7,5	10
	380	1,5	2	4	5	10	12,5	15	15

com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	440	2	3	5	5	10	12,5	15	20
Fusível máximo -DZ ou NH (A)		16	16	25	25	63	63	100	125
Corrente permanente em A	Tensão (V)	110	140	170	205	250	300	400	475
CATEGORIA AC1: manobra de cargas resistivas para FP superior 0,95	Até 690 V	170	170	230	240	325	325	425	600
CATEGORIA AC2: manobra de motores com rotor bobinado, em	220	50	60	75	75	100	125	150	200
	380	75	100	125	150	175	200	250	300
	440	75	100	125	150	200	250	300	350

serviço normal. CATEGORIA AC3: manobra de motores com rotor de curto-circuito, em regime normal. Potência em cv									
CATEGORIA AC4: manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	220	20	20	30	30	40	50	60	60
	380	30	40	50	60	75	75	100	100
	440	40	50	60	75	75	100	125	125
Fusível máximo -DZ ou NH (A)		224	224	224	224	224	400	400	500

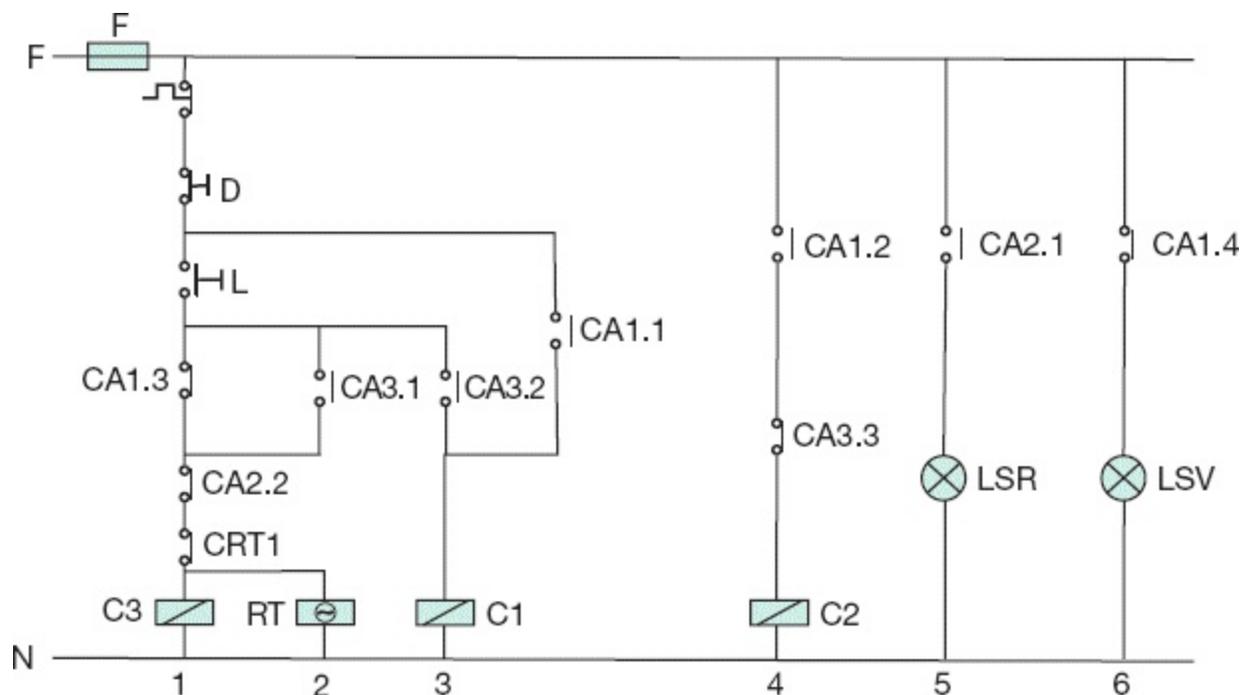


Figura 9.61 Esquema de comando de uma chave estrela-triângulo

A Figura 9.62 mostra o diagrama de ligação da chave estrela-triângulo, anteriormente descrita.

As chaves estrela-triângulo têm seu uso limitado pela frequência de manobras permitida pelo relé de sobrecarga. Em geral, essa limitação condiciona as chaves a um máximo de 15 manobras por hora.

Os contadores C1, C2 e C3 podem ser dimensionados de acordo com as seguintes expressões:

- Contator C1 e C2

$$I_{nc} = \frac{\sqrt{3}}{I_{nm}} \quad (9.20)$$

I_{nc} - corrente nominal do contator, em A;

I_{nm} - corrente nominal do motor, em A.

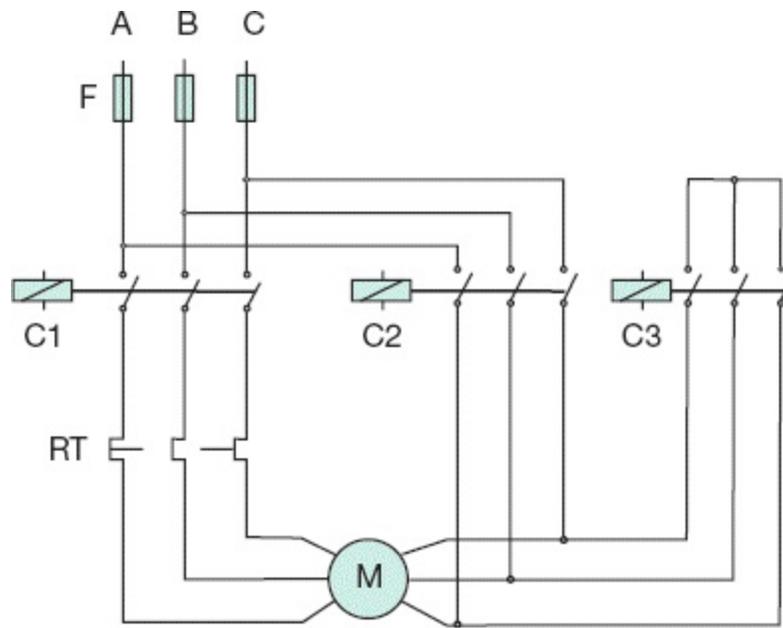


Figura 9.62 Esquema de ligação dos contadores de uma chave estrela-triângulo.

- Contador C3

$$I_{nc} = \frac{I_{nm}}{3} \text{ (A)} \quad (9.21)$$

- Relé bimetálico

$$R_t = 0,58 \times I_{nm} \quad (9.22)$$

A Tabela 9.16 permite a escolha das chaves estrela-triângulo de fabricação Siemens em função da potência nominal do motor.

9.3.22.1 Especificação sumária

Na compra de uma chave estrela-triângulo é necessário que se forneçam, pelo menos, os seguintes dados:

- Tensão nominal (a da rede).
- Corrente nominal (ou potência do motor).
- Frequência nominal.

- Tensão do circuito de comando.
- Número de manobras desejadas.
- Tipo de operação (manual ou automática).
- Tipo de execução (blindada ou aberta).
- Medidores indicadores (para execução blindada).

Relativamente à chave estrela-triângulo representada na Figura 9.1, tem-se:

Chave estrela-triângulo automática, tensão nominal 380 V, para motor de potência nominal de 100 cv, frequência nominal de 60 Hz, tensão do circuito de comando 220 V, número mínimo de manobras por hora, 5, execução blindada, corrente nominal de 145 A, provida de um amperímetro de 300-5 A.

9.3.23 Chaves de partida estática (22)

Atualmente, este tipo de chave está ganhando o mercado de instalações industriais em substituição às chaves estrela-triângulo e compensadora devido às suas vantagens operacionais e de desempenho. Assim, podem-se conseguir melhores resultados no controle da partida dos motores elétricos de indução comparativamente às tradicionais chaves de partida anteriormente mencionadas.

Tabela 9.16 Escolha de chaves estrela-triângulo da Siemens

Motores trifásicos		Relé de sobrecarga		
Potências máximas nominais admissíveis em	Corrente	Contatores tipo 3TF	Faixa de regulagem	Fusível máximo com retardo (A)
			Tipo 3UA	

serviço AC3 - cv									
220 V	380 V	440 V	A	C1 e C2	C3		A	DZ	NH
10	15	20	28	3TF42-22	3TF40-11	3UA52 00-2A	10 - 16	25	25
12,5	20	25 - 30	36	3TF43-22	3TF41-11	3UA52 00-2C	16 - 25	25	25
15	25	-	38	3TF43-22	3TF42-11	3UA52 00-2C	16 - 25	25	25
-	30	-	43	3TF44-22	3TF42-11	3UA55 00-2D	20 - 32	50	50
20	40	40	56	3TF44-22	3TF43-11	3UA55 00-2D	20 - 32	63	63
25	-	50	63	3TF45-22	3TF43-11	3UA55 00 -2R	32 - 40	63	63
30	50	60	74	3TF46-22	3TF44-11	3UA58 00 -2F	32 - 50	80	80
40	60 - 75	75	105	3TF47-22	3TF45-11	3UA58 00-2P	50 - 63	80	80
50	-	100	120	3TF48-22	3TF46-22	3UA58 00-2U	63 - 80	125	125
60	100	-	145	3TF49-22	3TF47-	3UA58	70 - 88	160	160

					22	00-8W			
75	125	125 - 150	180	3TF50-22	3TF47- 22	3UA60 00-3H	90 - 120	160	160
-	150	175	215	3TF51-22	3TF48- 22	3UA61 00-3K	120 - 150	160	160
100	175	200	250	3TF51-22	3TF49- 22	3UA61 00-3K	120 - 150	224	224
125	200	250	290	3TF52-22	3TF50- 22	3UA62 00-3M	150 - 180		224
150	250	300	350	3TF53-22	3TF51- 22	3UA45 00-8YG	160 - 250		224
-	300	350	410	3TF54-22	3TF51- 22	3UA45 00-8YG	160 - 250		224
175	-	-	430	3TF54-22	3TF52- 22	3UA45 00-8YG	160 - 250		224
200	350	400	475	3TF55-22	3TF52- 22	3UA45 00-8YH	200 - 320		315

Muitos dados técnicos das chaves de partida estáticas foram estudados no Capítulo 7. Para aplicação dessas chaves, é necessário que se conheça os seguintes procedimentos.

a) Dados da instalação

- Tensão de alimentação do motor.

- Frequência.
- Temperatura do ambiente onde irá operar o motor.

b) Dados do motor

- Potência nominal.
- Tensão nominal.
- Corrente nominal.
- Velocidade angular.
- Conjugado nominal.
- Curva conjugado \times velocidade angular na partida direta.
- Curva corrente \times velocidade angular na partida direta.

c) Dados da carga

- Potência da carga.
- Velocidade angular.
- Momento de inércia.
- Curva conjugado \times velocidade angular.
- Característica do conjugado de carga:
 - Constante.
 - Linear.
 - Quadrática.
 - Decrescente.

Para caracterizar qual o tipo de conjugado para diferentes tipos de carga, estudar o Capítulo 7.

d) Condições de partida

- Quantidade de partida por hora.
- Intervalo mínimo entre partidas sucessivas.
- Corrente máxima admitida pela instalação, em função da queda de tensão permitida, de acordo com o que foi estudado no

Capítulo 7.

- Tempo de partida máximo desejado.

A Tabela 9.17 fornece os elementos básicos de uma chave de partida estática de fabricação WEG.

Com base nesses dados e seguindo a metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 7, pode-se especificar a chave de partida estática da seguinte forma:

Chave de partida estática para motor de 125 cv/380 V/IV polos, frequência 60 Hz, para carga diretamente solidária ao eixo do motor e de conjugado constante, para máximo de 5 partidas por hora.

Tabela 9.17 Seleção da chave de partida estática SSW-02 da WEG

Modelo	Corrente do motor			Tensão da rede					
	(3 × In por 30 s)	(4,5 × In por 30 s)	220 V		380 V		440 V		
			Potência do motor						
	A	A	kW	cv	kW	cv	kW	cv	
SSW-02.16	16	11	4	5,5	7,5	10	10	12,5	
SSW-02.25	25	16	7	9	11	15	14,5	20	
SSW-02.30	30	25	8	10	15	20	20	25	
SSW-02.45	45	30	12	15	22	30	30	40	
SSW-02.60	60	45	17	20	30	40	40	55	
SSW-02.75	75	50	22	30	37	50	50	68	

SSW-02.85	85	75	26	35	45	60	60	82
SSW-02.120	120	100	37	50	63	85	83	110
SSW-02.145	145	120	45	60	75	100	100	130
SSW-02.170	170	145	52	70	90	125	120	160
SSW-02.205	205	170	63	85	110	150	145	190
SSW-02.225	255	190	76	100	132	175	175	240
SSW-02.290	290	205	87	120	150	200	200	275
SSW-02.340	340	255	107	145	186	250	245	335
SSW-02.410	410	175	130	175	225	300	300	380
SSW-02.475	475	410	150	200	260	350	340	450
SSW-02.580	580	410	182	240	315	450	415	550
SSW-02.670	670	450	216	295	375	500	490	650
SSW-02.800	800	540	260	350	450	600	590	800
SSW-02.900	900	600	317	450	550	725	725	950
SSW-02.1.100	1.100	750	364	500	630	850	830	1.050
SSW-02.1.400	1.400	950	462	600	800	1.050	1.050	1.300

9.3.24 Chave compensadora (23)

É um equipamento destinado à partida, com tensão reduzida, de motores de indução trifásicos.

As chaves compensadoras são, normalmente, constituídas de:

- 3 fusíveis no circuito de comando;
 - 3 fusíveis no circuito de força;
 - 3 contatores;
 - 1 autotransformador;
 - 1 relé bimetálico;
 - 2 botoeiras;
 - 1 relé de tempo;
 - 1 lâmpada de sinalização verde;
 - 1 lâmpada de sinalização vermelha;
 - 1 transformador de comando.

O Capítulo 7 aborda, também, este assunto no que diz respeito à sua aplicação e ao conjugado de partida do motor, fazendo comparações com as chaves estrela-triângulo. A Figura 9.63 representa o diagrama de comando de uma chave compensadora automática. A sua operação é iniciada quando, pressionando-se a botoeira L, se energiza a bobina do contator C3, conectando o autotransformador ATR (Figura 9.64) em estrela e energizando a bobina do contator C2 e do relé de tempo RT, por meio do contato auxiliar CA3.1.

Com a abertura natural da botoeira L, a partir da ação de sua mola, as bobinas dos contatores C2, C3 e do relé de tempo RT continuam energizadas por meio do contato auxiliar CA2.1 do contator C2. O motor, então, inicia o arranque sob tensão reduzida, de acordo com o ajuste do tape do autotransformador ATR.

Decorrido determinado tempo, previamente ajustado, de maneira que o motor adquira uma velocidade próxima da velocidade nominal, o relé de tempo RT abre seu contato CRT1 desligando o contator C3, permitindo que o

motor fique energizado com tensão de alimentação reduzida, ainda por algumas espiras do autotransformador. O contator C1 é energizado pelo contato auxiliar CA3.2, acionado pela operação de retorno do contator C3. O contator C1, quando operado, abre o contato auxiliar CA1.3, desenergizando o contator C2, permitindo, assim, que o motor fique submetido à tensão normal de alimentação.

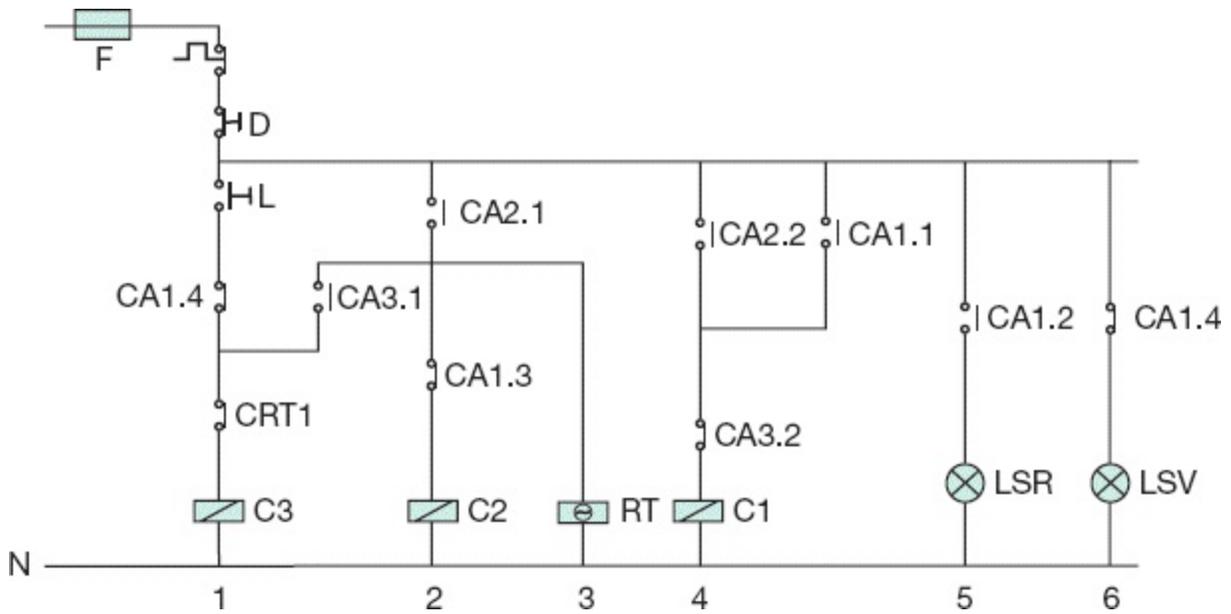


Figura 9.63 Esquema de comando de uma chave compensadora automática.

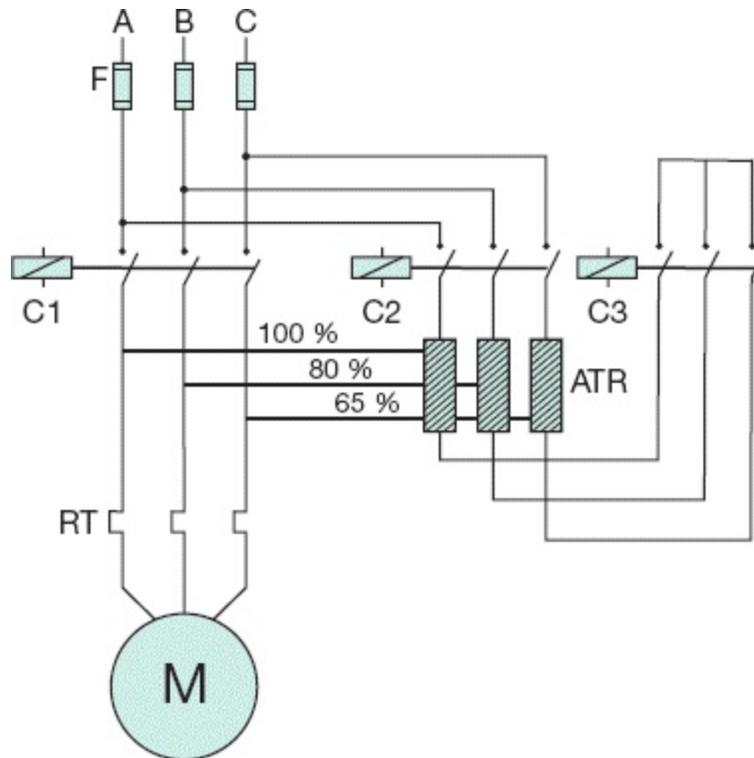


Figura 9.64 Esquema trifilar de chave compensadora automática.

A Figura 9.64 mostra o diagrama de ligação da chave compensadora, anteriormente descrita. Os contadores C1, C2 e C3 podem ser dimensionados de acordo com as seguintes expressões:

- Contator C1

$$I_{nc} = I_{nm} \quad (9.23)$$

- Contator C2

$$I_{nc} = R_{trs}^2 \times I_{nm} \quad (9.24)$$

R_{trs} - maior tape de ajuste (por exemplo, de 80 %).

- Contator C3

$$I_{nc} = R_{tri} \times (1 - R_{tri}) \times I_{nm} \quad (9.25)$$

R_{tri} - menor tape de ajuste (por exemplo, 65 %).

A Tabela 9.18 permite que se escolham as chaves compensadoras de fabricação Siemens, em função da potência nominal do motor.

A utilização de chaves compensadoras e os ajustes de tapes do autotransformador foram abordados no Capítulo 7. Além, disso, foram também analisadas as questões técnicas e econômicas quanto à aplicação alternativa das chaves compensadoras e estrela-triângulo.

As chaves compensadoras têm seu uso limitado pelo número máximo de manobras. Em geral, essa limitação condiciona as chaves a um máximo de cinco operações por hora, com duração não superior a 15 s, podendo ser duas seguidas com intervalos de cinco minutos.

9.3.24.1 *Especificação sumária*

Na compra de uma chave compensadora é necessário que se forneçam, pelo menos, os seguintes dados:

- Tensão nominal (a da rede).
- Corrente nominal (ou potência do motor).
- Frequência nominal.
- Tensão do circuito de comando.
- Número mínimo de manobras desejadas.
- Tipo de operação (manual ou automática).
- Indicadores de medidas de tensão e corrente (para o tipo de execução blindado).

Relativamente à chave compensadora indicada no diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

Chave compensadora automática, tensão nominal 380 V, para motor de 75 cv/380 V/IV polos, frequência nominal de 60 Hz, tensão do circuito de comando 220 V, número mínimo de manobras por hora, 5, execução

blindada, provida de um amperímetro de 300-5 A.

9.3.25 Chave inversora de frequência (24)

É utilizada no controle da velocidade dos motores de indução que, desta forma, podem substituir com as vantagens que lhes são peculiares os motores de corrente contínua nos processos industriais nos quais é importante a variação de velocidade.

As chaves inversoras de frequência estão sendo utilizadas também com um objetivo adicional de tornar eficiente o uso da energia em certos tipos de aplicações, como, por exemplo, ventiladores industriais, nos quais se pode reduzir a velocidade, mantendo o torque constante, ao mesmo tempo reduzindo a potência disponibilizada pelo motor, na medida exata das necessidades da carga.

Tabela 9.18 Seleção de chaves compensadoras da Siemens

Motores trifásicos			Corrente	Contatores tipo 3TF			Relé de sobrecarga	Faixa de regulagem A	Fusível máximo com retardo (A)	
220 V	380 V	440 V		C1	C2	C3			Tipo 3UA	DZ
15	25	30	38	3TF45-22	3TF44-22	3TF41-11	3UA5500-2R	32 - 40	63	63
20	30	30	50	3TF46-22	3TF45-22	3TF42-11	3UA5800-2F	32 - 50	125	63

25	40	40-50	63	3TF47-22	3TF46-22	3TF43-11	3UA58 00-2P	50 - 63	125	80
30	50	60	74	3TF48-22	3TF47-22	3TF43-11	3UA58 00-2U	63 - 80	160	125
30	60	60	84	3TF49-22	3TF47-22	3TF44-11	3UA58 00-8W	70 - 88	160	125
40-50	75	75	120	3TF50-22	3TF49-22	3TF45-11	3UA60 00-3H	90 - 120	224	160
50-60	100	100	145	3TF51-22	3TF50-22	3TF46-22	3UA61 00-3K	120 - 150	224	160
75	125	125	175	3TF52-22	3TF51-22	3TF47-22	3UA62 00-3M	150 - 180	224	200
75	150	150	205	3TF53-22	3TF51-22	3TF48-22	3UA45 00-8YG	160 - 250	224	200
100	175	200	250	3TF54-22	3TF52-22	3TF49-22	3UA45 00-8YH	200 - 320	315	224
125	200	250	300	3TF55-22	3TF53-22	3TF50-22	3UA45 00-8YH	200 - 320	315	224
125-	250-			3TF56-	3TF54-	3TF51-	3UA45			

150	300	300	400	22	22	22	00-8YJ	250 - 400	500	315
175-200	300-350	350-400	475	3TF57-22	3TF55-22	3TF52-22	3UA46 00-8YK	320 - 500	500	315
250	400-450	450-500	600	3TF58-14	3TF56-22	3TF53-22	3UA46 00-8YL	400 - 630	630	500
300	500	550	700	3TF69-44	3TF57-22	3TF54-22	3RB12 62-OL	200 - 820	1.000	500
350	500-600	600-750	820	3TF69-44	3TF58-14	3TF55-22	3RB12 62-OL	200 - 820	1.250	630

No Capítulo 7 foi estudada a chave inversora de frequência com ênfase à aplicação de partida de motores trifásicos. Nesta seção, serão abordados seus aspectos construtivos.

As chaves inversoras são compostas por dois módulos com funções distintas, porém integrados em um só equipamento. O primeiro módulo conectado diretamente à rede de energia é formado por uma ponte retificadora a diodos de 4 a 6 pulsos ligados a um banco de capacitores, a qual transforma a tensão e a corrente alternadas em valores contínuos que alimentam o segundo módulo, chamado de inversor, que tem a função de transformá-las em corrente e tensão na forma de blocos retangulares, utilizando técnicas de controle vetorial de fluxo.

O inversor fornece aos terminais do motor tensão e frequência variáveis, que permitem ser trabalhadas de forma a manter o torque constante, reduzir a potência de operação e a corrente de partida etc.

Devido ao processo de geração da onda de tensão na forma anteriormente mencionada, as chaves inversoras provocam sérias distorções harmônicas no sistema de alimentação, prejudicando a operação dos bancos de capacitores instalados na indústria e, portanto, degradando a qualidade da energia.

É importante acrescentar que, no caso de motores que operam com contracorrente, a energia gerada nesse processo é disponibilizada à rede elétrica, pela ação do circuito de potência da chave que permite a reversão da polaridade da corrente contínua.

Por meio do chaveamento do inversor é gerada uma corrente trifásica na forma de uma onda senoidal retangular. O inversor autocontrolado funciona de acordo com o princípio básico da comutação por sucessão de fases, em que após o disparo de um tiristor o mesmo que anteriormente conduzia corrente é desligado.

O conversor de frequência possui um controle eletrônico dedicado ao inversor autocontrolado representado por um regulador de frequência, cuja referência é o valor da tensão de corrente alternada de saída, resultando uma frequência de saída do inversor proporcional à tensão de referência aplicada aos terminais da chave. Se for mantida uma proporção entre a tensão e a frequência aplicadas aos terminais do motor, mantém-se constante o fluxo da máquina.

À medida que a tecnologia da comutação avança, novos componentes surgem comercialmente. De início empregaram-se os SCRs (*Silicon Controlled Rectifier*), que comutavam a uma frequência de 300 Hz. Na sequência do desenvolvimento tecnológico, surgiram os transistores com frequência de chaveamento superior, vindo em seguida os GTOs (*Gate Turn-off*) e finalmente foram desenvolvidos os modernos comutadores com frequência de chaveamento da ordem de 20 kHz, denominados IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

Os conversores de frequência possuem como características básicas uma

frequência variável, em geral, de 1 a 100 Hz. Podem ser fornecidos nos modelos de tensão imposta ou de corrente imposta. O interfaceamento para sinais externos de controle é normalmente feito pela variação de corrente de 4 a 20 mA ou de tensão entre 0 e 10 V. O controle de velocidade pode ser feito por potenciômetro instalado no próprio conversor.

As principais características das chaves inversoras são:

- Frequência máxima de saída: 100 Hz.
- Faixa de controle.
- Faixa de referência: 0–10 V ou 0–2 mA ou ainda 4 a 20 mA.
- Torque de partida ajustável.
- Relação tensão/corrente ajustável.
- Funções de supervisão e proteção.

A Tabela 9.19 fornece os elementos necessários para selecionar uma chave inversora de frequência de fabricação WEG.

O uso das chaves inversoras se faz sentir notadamente nas seguintes atividades industriais:

- Elevação e transporte de cargas.
- Bobinamento e desbobinamento de bobinas de papéis.
- Laminação de aço.
- Extrusão de materiais plásticos.

9.3.25.1 Especificação sumária

Com base o diagrama da Figura 9.1 tem-se:

Chave inversora de frequência para motor de 200 cv/380 V/IV polos, para uso a torque constante do motor, faixa de referência por corrente de 0–20 mA, dotada dos elementos de proteção térmica de sobrecarga e de curto-circuito.

9.3.26 Painéis para instalações elétricas (25)

São caixas metálicas convenientemente construídas para abrigar equipamentos de seccionamento, proteção, comando, sinalização, instrumentos de medida ou outros destinados ao controle e supervisão da instalação.

Quanto ao grau de proteção (veja Capítulo 1), podem ser classificados em:

- IP53

São aqueles protegidos contra acúmulo de poeira prejudicial ao equipamento e água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical.

- IP54

São aqueles à prova de poeira e respingos em todas as direções.

Também são construídos painéis à prova de explosão, destinados a locais de grande risco, dotados de recursos que impossibilitam acidentes eventuais.

Normalmente, os painéis contêm barramentos condutores suportados por isoladores fixados na estrutura metálica apropriada. Cuidados devem ser tomados tanto nas dimensões das barras coletoras quanto na distância entre seus apoios, a fim de evitar deformações durante a ocorrência de curto-circuito no sistema. O cálculo dos esforços eletromecânicos está detalhado no Capítulo 5.

Existe, entre os fabricantes, uma tendência generalizada de padronização das dimensões dos painéis, a partir da construção de módulos, que podem ser acoplados para formarem um quadro de distribuição do tamanho desejado.

Os painéis devem conter internamente uma resistência elétrica, a fim de evitar a formação de umidade nos equipamentos elétricos ali instalados.

As superfícies das chapas de que são construídos os painéis devem

sofrer o seguinte tratamento:

a) Pré-tratamento

Consiste na imersão em tanques contendo desengraxante alcalino, desencapante ou fostatizante.

b) Proteção e acabamento

Consiste na aplicação de tinta em pó à base de epóxi (ou equivalente) por processo eletrostático, com espessura aproximada de 70 μm .

A superfície acabada deve ser resistente à abrasão, à gordura, à água, à umidade e às intempéries, bem como aos produtos químicos agressivos.

A Figura 9.65 mostra esquematicamente a vista frontal de um painel de comando. São utilizadas chapas de aço, em geral de nº 12 e 14 USSG.

Quanto à execução, são providos de porta frontal ou traseira, e parte lateral ou traseira aparafusadas.

Tabela 9.19 Características técnicas das chaves inversoras CFW-06 da WEG

Inversor			Tensão	Motor máximo aplicável			
Corrente nominal (A)				Torque constante		Torque variável	
Modelo			Potência		Potência		
	Torque constante	Torque variável	V	cv	kW	cv	kW
18 / 220 - 230	18	22		6	4,4	7,5	5,5
25 / 220 - 230	25	32		7,5	5,5	10	7,5
35 / 220 - 230	35	41		12,5	9,2	15	11

52 / 220 - 230	52	64		20	15	25	18,5
67 / 220 - 230	67	80	220	25	18,5	30	22
87 / 220 - 230	87	107		30	22	40	30
107 / 220 - 230	107	126		40	30	50	37
158 / 220 - 230	158	182		60	45	75	55
18 / 380 - 480	18	22		10	7,5	12,5	9,2
25 / 380 - 480	25	32		15	11	20	15
35 / 380 - 480	35	41		20	15	25	18,5
52 / 380 - 480	52	64		30	22	40	30
67 / 380 - 480	67	80		50	37	50	37
87 / 380 - 480	87	107		60	45	75	55
107 / 380 - 480	107	126		75	55	75	55
158 / 380 - 480	158	182		100	75	125	92
200 / 380 - 480	200	225		125	92	150	110
			380				

230 / 380 - 480	230	260		150	110	175	130
320 / 380 - 480	320	350		200	150	250	185
400 / 380 - 480	400	430		270	200	300	225
450 / 380 - 480	450	500		300	225	350	250
570 / 380 - 480	570	630		400	280	450	315
700 / 380 - 480	700	770		500	355	550	400
900 / 380 - 480	900	1.000		700	500	750	560
18 / 380 - 480	18	22		12,5	9,2	15	11
25 / 380 - 480	25	32		20	15	25	18,5
35 / 380 - 480	35	41		25	18,5	30	22
52 / 380 - 480	52	64		40	30	50	37
67 / 380 - 480	67	80		50	37	60	45
87 / 380 - 480	87	107		60	45	75	55
107 / 380 -							

480	107	126		75	55	100	75
158 / 380 - 480	158	182		125	92	150	110
200 / 380 - 480	200	225	440	150	110	175	130
230 / 380 - 480	230	260		175	130	200	150
320 / 380 - 480	320	350		250	185	270	200
400 / 380 - 480	400	430		300	225	350	250
450 / 380 - 480	450	500		350	250	450	330
570 / 380 - 480	570	630		450	330	550	400
700 / 380 - 480	700	770		600	450	700	500
900 / 380 - 480	900	1.000		750	560	850	630

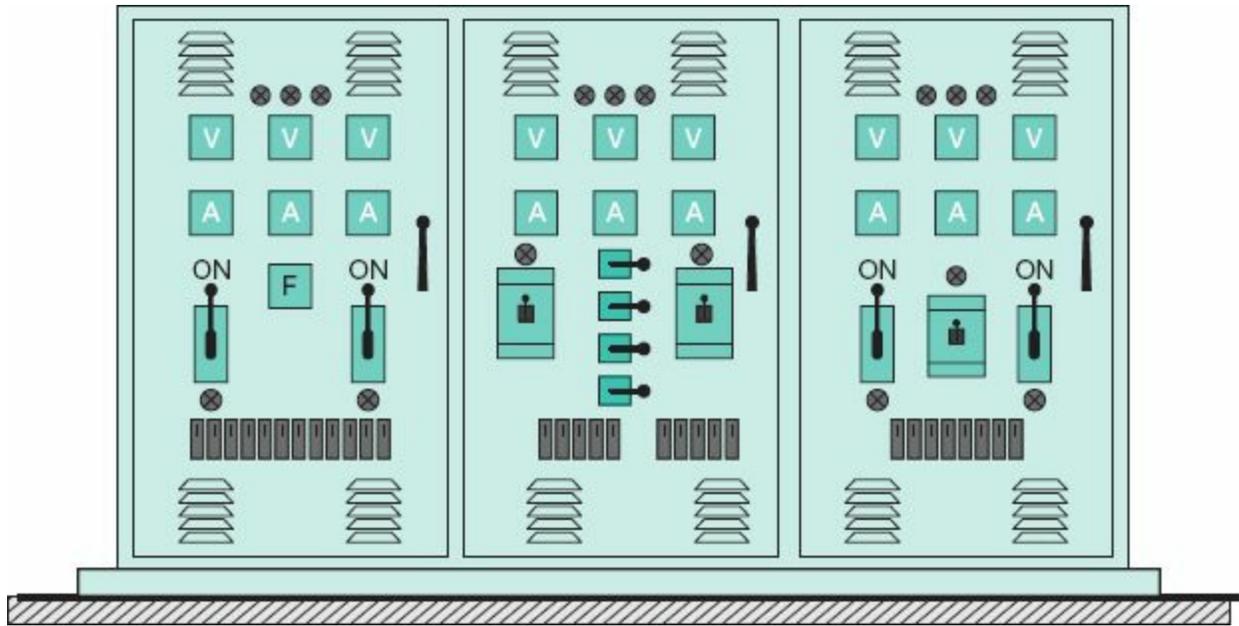


Figura 9.65 Vista frontal de um painel de comando.