

## Capítulo VII

# Circuitos elétricos internos, conexões e refrigeração

Por Nunziante Graziano\*

Prezado leitor, este fascículo pretende apresentar em detalhes o projeto de revisão da norma brasileira para construção de quadros elétricos e barramentos blindados de baixa tensão.

No capítulo inicial deste fascículo apresentamos ao leitor os objetivos deste trabalho, que contemplou a apresentação do panorama atual da ABNT NBR IEC 60439 vigente no Brasil, suas subdivisões, principais pontos de interesse, como a classificação dos painéis em TTA e PTTA, suas interpretações e seus abusos.

No segundo capítulo, iniciamos a análise das principais definições e dos termos usuais. No seguinte, continuamos a análise das principais definições, condições de instalação, características de isolamento, proteção contra os choques elétricos e características nominais.

No quarto capítulo, finalizamos a apresentação de todas as características construtivas, requisitos de marcação, condições da instalação dos conjuntos e iniciamos os requisitos de construção, apresentando resistência dos materiais e das partes, verificação dos materiais no tocante à corrosão, entre outras propriedades. No quinto capítulo da série, analisamos as principais condições de verificação, construção e performance, quais sejam: grau de proteção, distâncias de isolamento e escoamento, proteção contra choques elétricos.

No capítulo anterior, analisamos as condições para proteção contra choques elétricos e os métodos de incorporação de dispositivos de manobra e de componentes

conjuntos. E este artigo abordará os circuitos elétricos internos, as conexões e a refrigeração.

A proteção contra qualquer contato com as partes vivas deve ser mantida quando da utilização dos dispositivos ou quando da substituição de componentes. O grau de proteção mínimo deve ser IP XXC. As aberturas mais relevantes que aquelas definidas para o grau de proteção IP XXC são permitidas durante a substituição de certas lâmpadas ou de certos fusíveis.

Se as portas ou fechamentos do conjunto podem ser abertas por pessoas autorizadas por desbloquear o intertravamento para obter acesso às partes vivas, o intertravamento deve então ser restabelecido automaticamente, no fechamento das portas ou na recolocação dos fechamentos.

O conjunto deve ser construído de tal modo que certas operações podem ser executadas, conforme acordo entre o montador do conjunto e o usuário, quando o conjunto está em serviço e sob tensão. Tais operações podem consistir de: inspeção visual de dispositivos de manobra e outros componentes; ajustes e indicações de relés e disparadores; conexões dos condutores e marcações; ajuste de relés, disparadores e dispositivos eletrônicos; substituição de elementos fusíveis; substituição de lâmpadas de sinalização; certas operações para localização de faltas, por exemplo, medição de tensão e de corrente com dispositivos adequadamente projetados e isolados.

Para permitir manutenção como acordado entre o montador do conjunto e o usuário

em uma unidade funcional desconectada ou grupo de unidades funcionais desconectado no conjunto, com unidades funcionais adjacentes ou grupos de unidades funcionais adjacentes, ainda sob tensão, devem ser tomadas medidas necessárias. A escolha destas medidas depende de fatores, como: condições de serviço, frequência de manutenção, competência da pessoa autorizada, regras dos locais de instalação. Tais medidas podem incluir:

- Distância suficiente entre a unidade ou grupo funcional considerado e as unidades ou os grupos funcionais adjacentes. É recomendado que as partes prováveis de serem removidas para manutenção tenham, tanto quanto possível, meios de fixação imperdíveis;
- Uso de barreiras ou obstáculos projetados e dispostos para proteger contra contato direto com os equipamentos em unidades ou grupos funcionais adjacentes;
- Uso de proteção de terminais;
- Uso de compartimentos para cada unidade ou grupo funcional;
- Inserção de meios adicionais de proteção fornecidos ou especificados pelo montador do conjunto.

A extensão de barramentos e a conexão de unidades adicionais para sua alimentação de entrada não devem ser feitas sob tensão, a menos que o conjunto seja projetado para este propósito. Para impedir acesso indevido, obstáculos devem impossibilitar a aproximação não intencional às partes vivas, ou o contato

não intencional com as partes vivas do equipamento energizado em serviço normal. Os obstáculos podem ser removidos sem o uso de uma chave ou ferramenta, mas devem estar fixados de maneira que impeça a remoção não intencional. A distância entre um obstáculo condutivo e as partes vivas que eles protegem não deve ser inferior aos valores especificados para as distâncias de isolamento e escoamento. Onde um obstáculo condutivo está separado das partes vivas perigosas somente por proteção básica, constitui uma parte condutiva exposta e medidas para proteção contra as faltas também devem ser aplicadas.

### **INCORPORAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE MANOBRA E DE COMPONENTES**

Para as partes fixas, as conexões dos circuitos principais só devem ser conectadas ou desconectadas quando o conjunto não está sob tensão. Em geral, a remoção e a instalação de partes fixas requerem o uso de uma ferramenta. A desconexão de uma parte fixa deve requerer o seccionamento do conjunto completo ou parte dele.

Para prevenir uma manobra não autorizada, o dispositivo de manobra pode ser equipado de meios para mantê-lo em uma ou mais de suas posições. Onde o trabalho em circuitos energizados é permitido, precauções de segurança apropriadas podem ser necessárias.

As partes removíveis devem ser projetadas de maneira que o seu equipamento elétrico possa ser removido ou conectado com toda segurança ao circuito principal mesmo com o circuito energizado. As partes removíveis podem ser fornecidas com um intertravamento de inserção. As distâncias de escoamento e de isolamento devem ser mantidas durante a transferência de uma posição para outra. A parte removível deve ser equipada com um dispositivo que garanta que ela somente possa ser removida e inserida após o seu circuito principal ter sido desenergizado. Para se impedir uma manobra não autorizada, as partes removíveis ou suas localizações associadas nos conjuntos podem ser providas de um dispositivo de bloqueio para permitir a utilização em uma ou mais posições.

Os dispositivos de manobra e componentes devem ser apropriados para aplicação particular com respeito à apresentação externa do conjunto (por exemplo, tipo aberto ou fechado), as suas tensões nominais, correntes nominais, frequência nominal, vida útil, capacidades de estabelecimento e de interrupção, corrente suportável de curto-circuito, etc. A tensão nominal de isolamento e a tensão nominal de impulso suportável dos dispositivos instalados no circuito devem ser superiores ou iguais ao valor das tensões do circuito correspondente. Neste caso, a proteção contra as sobretensões pode ser necessária, por exemplo, para os equipamentos de categoria de

sobretensão II. Os dispositivos de manobra e componentes que têm uma corrente suportável de curto-circuito e/ou uma capacidade de interrupção que é insuficiente para resistir aos esforços suscetíveis de ocorrerem no ponto de sua instalação, devem ser protegidos por meio de dispositivos de proteção limitadores de corrente, por exemplo, fusíveis ou disjuntores. Na seleção de dispositivos de proteção limitadores de corrente para os dispositivos de manobra incorporados, devem ser levados em conta os valores máximos admissíveis especificados pelo fabricante do dispositivo, levando em consideração a coordenação.

A coordenação de dispositivos de manobra e componentes, por exemplo, de partida de motor com dispositivos de proteção contra curto-circuito, deve atender às normas IEC pertinentes.

Os dispositivos de manobra e os componentes devem ser instalados e conectados no conjunto conforme instruções fornecidas pelo fabricante e de modo que o seu bom funcionamento não seja prejudicado pelas influências, tais como: o calor, os arcos elétricos, as vibrações e os campos eletromagnéticos, que estão presentes em serviço normal. Quando fusíveis são instalados, o fabricante original deve informar o tipo e as características nominais dos fusíveis a serem utilizados.

Dispositivos com ajustes e rearme que devem ser operados no interior do conjunto devem ser facilmente acessíveis. Unidades

funcionais montadas no mesmo suporte (placa de montagem, estrutura de montagem) e seus bornes para condutores externos devem ser dispostos de maneira que sejam acessíveis para montagem, instalação elétrica, manutenção e substituição.

Salvo acordo em contrário entre o montador do conjunto e o usuário, os requisitos de acessibilidade seguintes associados aos conjuntos montados sobre o piso devem ser aplicados:

- Os bornes, exceto os bornes para condutores de proteção, devem estar situados pelo menos 0,2 m acima da base dos conjuntos e, além disso, ser colocados de forma que os cabos possam ser conectados facilmente a eles;
- Os instrumentos de indicação que precisam ser lidos pelo operador devem estar localizados entre 0,2 m e 2,2 m da base do conjunto;
- Os elementos de comando como alavancas, botões de pressão ou elementos semelhantes devem estar localizados a uma altura que eles possam ser facilmente manobrados; isto significa que a linha de centro deve ficar entre 0,2 m e 2 m acima da base do conjunto. Os dispositivos

que são manobrados com pouca frequência, por exemplo menos de uma vez por mês, podem ser instalados a uma altura de até 2,2 m;

- Os elementos de comando dos dispositivos de manobra de emergência devem estar acessíveis entre 0,8 m e 1,6 m acima da base do conjunto.

As barreiras para dispositivos de manobra manual devem ser projetadas de forma que as emissões típicas geradas pelas manobras não apresentem perigo para o operador. Para minimizar o perigo quando da substituição dos fusíveis, devem ser aplicadas barreiras entre fases, a menos que o projeto e a localização dos fusíveis tornem isso desnecessário.

As posições de funcionamento de componentes e dispositivos devem ser claramente identificadas. Se o sentido de manobra não estiver conforme IEC 60447, então, o sentido de manobra deve ser claramente identificado.

### CIRCUITOS ELÉTRICOS INTERNOS E CONEXÕES

Os barramentos (nus ou isolados) devem

estar dispostos de tal forma que um curto-circuito interno não seja esperado. Eles devem ser dimensionados, pelo menos em conformidade com as informações relativas à corrente suportável de curto-circuito e projetados para suportar pelo menos os esforços da corrente de curto-circuito limitada pelos dispositivos de proteção instalados no lado da alimentação dos barramentos. No interior de uma coluna, os condutores (inclusive barramentos de distribuição) entre os barramentos principais e o lado de alimentação das unidades funcionais, bem como os componentes incluídos nestas unidades, podem ser dimensionados com base nos esforços da corrente de curto-circuito reduzida que ocorre no lado da carga do respectivo dispositivo de proteção contra curto-circuito no interior de cada unidade, contanto que estes condutores sejam dispostos de forma que, sob condições normais de funcionamento, um curto-circuito interno entre fases e/ou entre fases e terra não é esperado.

Salvo acordo em contrário entre o montador do conjunto e o usuário, a seção mínima do neutro em um circuito trifásico e neutro deve ser:

- Para circuitos com uma seção de condutor de fase até e inclusive 16 mm<sup>2</sup>, 100% das fases correspondentes;
- Para circuitos com uma seção de condutor de fase acima de 16 mm<sup>2</sup>, 50% das fases correspondentes com um mínimo de 16 mm<sup>2</sup>.

É assumido que as correntes de neutro não excedem 50% das correntes de fase.

Entretanto, para certas aplicações, as quais levam a altos valores de harmônicas de seqüência zero (por exemplo, as harmônicas de 3ª ordem), maiores seções do condutor de N podem ser necessárias na medida em que essas harmônicas de fases são adicionadas no condutor de N e resultam em uma alta corrente às frequências mais elevadas. Esses requisitos são submetidos a um acordo particular entre o fabricante do conjunto e o usuário.

O projeto dos circuitos auxiliares deve levar em conta o esquema de aterramento da alimentação e assegurar que uma falta à terra ou uma falta entre uma parte viva e uma parte condutiva exposta não causará funcionamento perigoso não intencional. Em geral, os circuitos auxiliares devem ser protegidos contra os efeitos de curtos-circuitos. Porém, um dispositivo de proteção contra curto-circuito não deve ser aplicado se o seu funcionamento estiver sujeito a causar perigo. Nesse caso, os condutores dos circuitos auxiliares devem ser dispostos de tal maneira que não são esperados curtos-circuitos.

As conexões das partes condutoras de corrente não devem sofrer alterações indevidas, como resultado da elevação da temperatura normal, do envelhecimento dos materiais isolantes e das vibrações que ocorrem em funcionamento normal. Em particular, os efeitos da dilatação térmica e da ação eletrolítica, no caso de metais diferentes, e os efeitos da resistência dos materiais para as temperaturas atingidas devem ser considerados. Conexões entre partes condutoras de corrente devem ser estabelecidas por meios que assegurem uma pressão de contato suficiente e durável. Se a verificação de elevação de temperatura for realizada com base em ensaios, a seleção de condutores e as seções deles utilizados no interior do conjunto devem ser de responsabilidade do fabricante original. Além da capacidade condutora de corrente, a seleção leva em conta:

- Os esforços mecânicos aos quais o conjunto pode ser submetido;
- O método utilizado para acomodar e fixar os condutores;
- O tipo de isolamento;
- O tipo de componentes que são conectados (por exemplo, dispositivos de manobra e comando conforme a série ABNT NBR IEC 60947, dispositivos ou equipamentos eletrônicos).

No caso de condutores isolados

sólidos ou flexíveis, os mesmos devem ser dimensionados, pelo menos, em função da tensão nominal de isolamento do circuito considerado. Os condutores que conectam dois pontos de terminação não devem ter junção intermediária, por exemplo, uma emenda ou uma solda.

Os condutores com somente isolamento básica devem ser impedidos de entrar em contato com partes vivas nuas de potenciais diferentes. O contato de condutores com arestas vivas deve ser evitado e condutores de alimentação de dispositivos e instrumentos de medição montados em fechamentos ou portas devem ser instalados de maneira que nenhum dano mecânico possa ocorrer aos condutores, como resultado de movimento destes fechamentos ou portas. Entretanto, conexões soldadas ao dispositivo devem ser permitidas em conjuntos somente em casos em que existir preparação para este tipo de conexão e o tipo especificado de condutor é utilizado.

Para os dispositivos diferentes daqueles mencionados anteriormente, terminais de condutores soldados ou extremidades de condutores retorcidas soldadas, não são aceitáveis sob condições de fortes vibrações. Em locais onde existem fortes vibrações durante o serviço normal, por exemplo, no caso de operação de escavadeira e guindaste, operação a bordo de navios, equipamento de transporte e locomotivas, é conveniente que seja dada atenção para a sustentação dos condutores. Na forma usual, só um condutor deveria ser

**TABELA 1 – REQUISITOS PARA SELEÇÃO E INSTALAÇÃO DE CONDUTOR (8.6.4)**

Tipo de condutor	Requisitos
Condutores nus ou condutores de único núcleo com isolamento básica, por exemplo, cabos conforme a IEC 60227-3	O contato mútuo ou o contato com as partes condutoras deve ser evitado, por exemplo, pelo uso de espaçadores
Condutores de único núcleo com isolamento básica e uma temperatura máxima permitível para utilização do condutor de pelo menos 90 °C, por exemplo, cabos conforme a IEC 60245-3, ou cabos termoplásticos isolados resistentes ao calor (PVC) conforme a IEC 60227-3	O contato mútuo ou o contato com as partes condutoras é permitido se não tiver pressão externa aplicada. O contato com arestas vivas deve ser evitado.
Os condutores com isolamento básica, por exemplo, cabos conforme a IEC 60227-3, tendo uma isolamento secundária adicional, por exemplo, cabos cobertos individualmente com luva retrátil ou cabos individualmente colocados em eletrodutos plásticos	Estes condutores podem ser somente carregados de maneira que a temperatura de funcionamento seja inferior a 80 % da temperatura máxima permitível de utilização do condutor.
Os condutores isolados com material com alta resistência mecânica, por exemplo, isolamento Etileno Tetrafluor Etileno (ETFE), ou condutores com dupla isolamento com revestimento externo reforçado para utilização até 3 kV, por exemplo, cabos conforme a IEC 60502	Sem requisitos adicionais
Cabos com único núcleo ou múltiplos núcleos, por exemplo, cabos conforme a IEC 60245-4 ou IEC 60227-4	

conectado a um borne; a conexão de dois ou mais condutores em um borne é permitida somente naqueles casos em que os bornes são projetados para este fim. O dimensionamento da isolação sólida entre circuitos distintos deve ser baseado no circuito de tensão nominal de isolamento mais elevada.

Condutores vivos em um conjunto, que não são protegidos por dispositivos de proteção contra curto-circuito, devem ser selecionados e instalados ao longo de todo o conjunto de tal maneira que um curto-circuito interno entre fases ou entre fase e terra seja uma possibilidade remota. Os condutores vivos não protegidos selecionados e instalados conforme a Tabela 1 deve ter um comprimento total não excedendo 3 m entre o barramento principal e cada DPCC.

O método e a extensão da identificação de condutores, por exemplo, por disposição, por cores ou por símbolos, nos bornes aos quais eles são conectados ou nas extremidades dos condutores em si, são responsabilidades do montador do conjunto e devem estar de acordo

com as indicações nos esquemas de ligações e desenhos. Onde apropriado, a identificação de acordo com IEC 60445 deve ser aplicada.

O condutor de proteção deve ser facilmente distinguível pela localização e/ou pela marcação ou pela cor. Se for utilizada a identificação pela cor, deve ser verde ou verde e amarelo (dupla cor), que são cores estritamente reservadas para o condutor de proteção. Quando o condutor de proteção é um cabo isolado de único núcleo, esta identificação de cor deve ser utilizada, de preferência, por toda a extensão. Todo condutor de neutro do circuito principal deve ser facilmente distinguível pela localização e/ou pela marcação ou pela cor (ver IEC 60445 que exige o azul claro).

Os conjuntos podem ser providos de um dispositivo de refrigeração natural e/ou refrigeração ativa (por exemplo, refrigeração forçada, climatização interna, trocador de calor, etc.). Se forem requeridas precauções especiais no local de instalação, para assegurar refrigeração adequada, o montador

do conjunto deve fornecer a informação necessária (por exemplo, indicação da necessidade de ter espaço entre as partes que estão impedidas de dissipar calor ou delas mesmo produzirem calor).

No próximo capítulo deste fascículo continuaremos a análise da IEC 61439-1 em suas condições de refrigeração, conexão de condutores externos e iniciaremos a análise de requisitos de desempenho. Até lá!

*\*Nunziane Graziano é engenheiro eletricista, mestre em energia, redes e equipamentos pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP), Doutor em Business Administration pela Florida Christian University, membro da ABNT/CB-003/CE 003 121 002 – Conjuntos de Manobra e Comando de Baixa Tensão – e diretor da Gimi Pogliano Blindosbarra Barramentos Blindados e da Gimi Quadros Elétricos.*

#### CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)