

## Capítulo IX

# Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão em invólucros metálicos

## Desafios relacionados à especificação e ao uso

Por Luiz Felipe Costa\*

É sempre preciso estar alerta para as situações que apresentem desvios dos valores considerados como padrões nas normas para aplicação dos equipamentos, tais como: temperatura ambiente, condições atmosféricas (abrigado ou ao tempo), grau de poluição, altitude ou condições especiais de serviço.

As quantidades de unidades funcionais e de circuitos principais em um conjunto de manobra e controle podem ser altas, logo, um ponto relevante na definição de um Conjunto de Manobra e Controle de Potência (CMCP) de baixa tensão é máxima corrente que irá circular no barramento principal e nos barramentos de derivação. Esta informação, junto com a quantidade e tipo de cargas (UFs) associadas é fundamental para garantirmos um desempenho térmico adequado na condição de máximo regime de corrente a circular no equipamento.

A fim de otimizar o dimensionamento dos barramentos principais e derivação, a IEC sugere, caso o fabricante não defina, valores usuais para se estabelecer a quantidade de elementos que estarão energizados em um mesmo momento (fator de diversidade). Este valor representa, numericamente, a relação entre a quantidade de circuitos energizados e o total instalado. Esta

consideração é importante para o dimensionamento térmico e a configuração física que será adotada para o CMC. A norma ABNT NBR IEC 60439-1 sugere, na falta de mais informações do usuário e, até mesmo, do fabricante do conjunto, a adoção dos valores típicos da tabela “1” da seção “4.7” (reproduzida na Tabela 1). Estes valores para o fator nominal de diversidade de um conjunto ou de sua parte representam a relação entre a máxima soma das correntes de operação dos circuitos principais, em qualquer instante do período de operação do conjunto, e a soma de todas as correntes nominais dos circuitos principais envolvidos, seja no CMC ou na parte selecionada do conjunto.

**TABELA 1 – VALORES DE FATOR NOMINAL DE DIVERSIDADE, SEGUNDO A ABNT NBR IEC 60439-1**

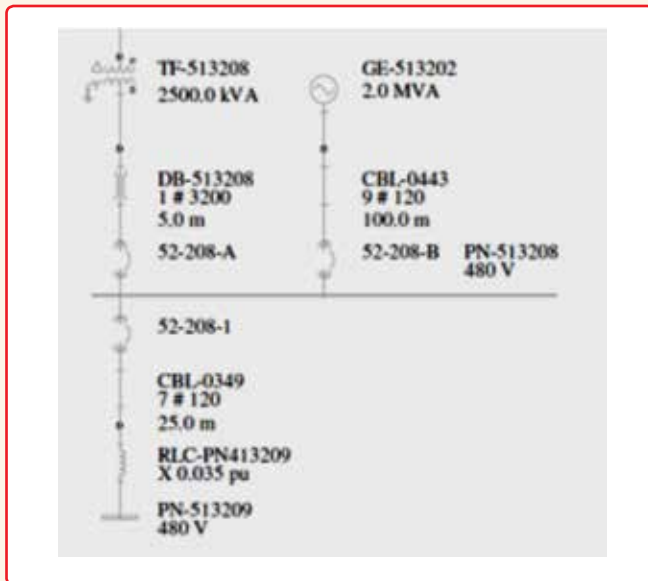
Número de circuitos principais	Fator nominal de diversidade
2 e 3	0,9
4 e 5	0,8
6 a 9 (inclusive)	0,7
10 (e acima)	0,6

No caso de equipamentos de baixa tensão, a relação entre o valor de pico da maior alternância no primeiro semiciclo e o valor eficaz de uma corrente de curto-circuito presumida é conhecida como fator

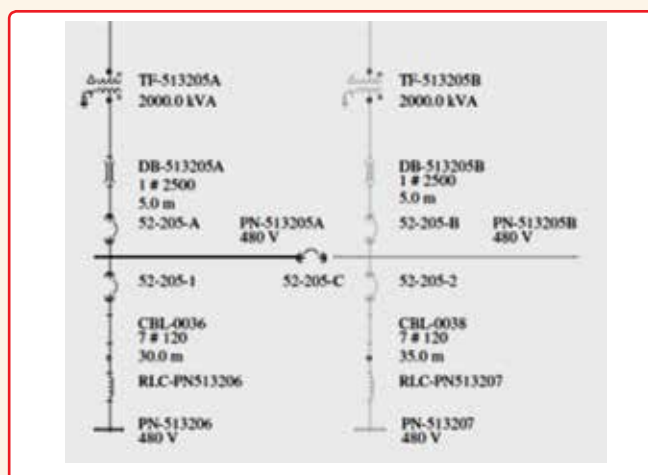
“n”. A IEC estabeleceu valores baseados nos níveis de corrente e nos fatores de potência dos curtos-circuitos observados nos tipos mais comuns de sistemas de BT, como os exemplificados nas vistas parciais dos diagramas unifilares das Figuras 1 e 2. Na Tabela 2 estão listados os valores constantes da “Tabela 7” da ABNT NBR IEC 60439-1 (“Valores normalizados para o fator n”).

**TABELA 2 – VALORES DO FATOR DE POTÊNCIA, RELAÇÃO X/R ASSOCIADA E DO FATOR “N” PARA AS FAIXAS DE CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO EM BT, SEGUNDO A IEC**

Corrente de curto-circuito kA (valor eficaz)	cos $\varphi$ p.u.	X/R	n p.u.
1   5	0,7	1,02	1,5
5 < 1   10	0,5	1,73	1,7
10 < 1   20	0,3	3,18	2,0
20 < 1   50	0,25	3,87	2,1
50 < 1	0,2	4,90	2,2



**Figura 1 – Parte de DU com a possibilidade de paralelismo com geração própria.**

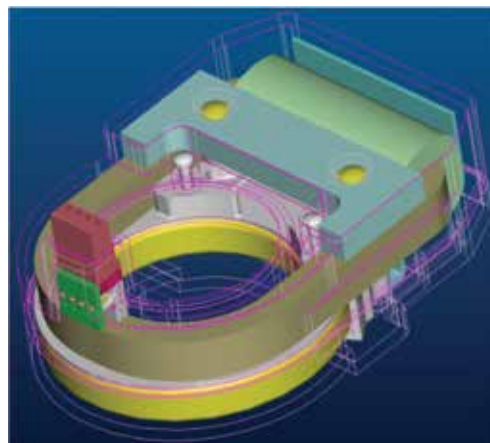


**Figura 2 – Parte de um DU com a possibilidade de paralelismo de transformadores.**

Deve-se atentar para o fato de que o uso de TCs e relés secundários, em vez de disjuntores incorporados aos disjuntores de potência, pode dificultar o atendimento ao tipo de forma de separação interna requerida para o conjunto. Os tipos de forma de separação permitem que o usuário escolha o arranjo que melhor atende aos seus requisitos de segurança e continuidade de serviço, conforme a instalação existente.

No caso de aplicação dos disjuntores de potência de BT, é interessante salientar que os sistemas de proteção, quando incorporados a eles, têm evoluído muito ao longo dos anos. Nos últimos anos, todos os fabricantes tradicionais deste tipo de equipamento têm incorporado aos seus produtos o uso de bobinas de “Rogowski” em substituição aos já tradicionais e consagrados sensores de corrente (transformadores de corrente com valores secundários na ordem de miliampères). Isso permitiu uma melhoria do desempenho das unidades microprocessadas utilizadas como elementos de proteção de sobrecorrente. A antiga solução já tinha demonstrado alta confiabilidade com o casamento entre os sensores de corrente e as unidades de disparos, graças ao correto encaminhamento dos cabos entre sensor e disparador, e o casamento da carga à capacidade dos sensores (TCs) utilizados. Mas a indústria buscava um novo patamar, em que um único sensor pudesse cobrir, com confiabilidade, uma faixa maior de atuação, permitindo que um único dispositivo atendesse, sem saturação, às necessidades de unidades microprocessadas para disjuntores de 630 A a 6.300 A.

As bobinas de “Rogowski”, exemplificada na Figura 3, para uso em conjunto com disparadores microprocessados já são uma realidade nos novos disjuntores de potência de BT. Associadas a elas, existe também a adição de novas características aos disparadores microprocessados. Além das já clássicas funções de medição de grandezas elétricas (corrente, demanda, energias ativas e reativas, fator de potência, etc.) e de informações de qualidade de energia (quantificação das harmônicas, níveis de distorção, etc.), têm sido acrescentadas funções que permitem a redução de níveis de energia incidente no ponto de instalação do disjuntor graças à possibilidade de alteração temporária dos ajustes das proteções. Esta nova abordagem é baseada no uso de grupos de ajustes memorizados na unidade microprocessada, conforme mostrado na Figura 4, na qual se pode ver, além do frontal da unidade de disparo com o seletor de ajustes preestabelecidos, um comparativo de resposta (níveis de energia incidente) do sistema de proteção em relação aos níveis das correntes de curto-circuito.



**Figura 3 – Exemplo de bobina de Rogowski.**



**Figura 4 – Redução da energia incidente pela alteração dos ajustes da proteção durante uma intervenção.**

Apesar destas abordagens inovadoras, tem sido observada, em alguns casos, em fornecimentos mais recentes, a solicitação, por parte dos clientes finais, de se adotar proteção secundária para os disjuntores de potência de BT, ou seja, o uso de TCs externos associados a um relé de proteção. Este arranjo tem sido empregado em conjuntos de manobra de BT, do tipo Centro de Distribuição de Cargas (CDC), com base em duas premissas:

- Em caso de necessidade de troca de um disjuntor, não existe a obrigatoriedade de se verificar a adequação dos ajustes da unidade de disparo ou, caso seja preciso, reprogramá-la;
- Os relés secundários de corrente, diferentes das unidades de disparos incorporados (as quais trabalham com protocolos do tipo proprietário ou outros disseminados mundialmente, como o Modbus ou o Profibus), permitem a adoção de sistemas de comunicação com base na norma IEC 61850. E este tem sido a nova referência para os sistemas supervisórios e de controle dos sistemas de potência.

Este tipo de enfoque, exemplificado na Figura 5, mesmo que tenha os seus méritos, implica em outros pontos que podem se tornar críticos. A necessidade de adequar os TCs a níveis de corrente nominal e de curto-circuito pode levar ao uso de transformadores com maior relação ou exatidão (capacidade de lidar com maior carga secundária – maior “Burden”). Isso é similar ao que já foi descrito para os CMCP de MT, porém, neste caso, o problema não é relativo aos riscos de alteração no arranjo espacial dos campos elétricos e o surgimento de novos gradientes. Aqui muitas vezes se encontram problemas puramente de espaço físico disponível, quando não ocorrem implicações piores, como a limitação de troca de calor para dissipação térmica da parte interna do CMC de BT devido a dificuldades de circulação de ar (convecção) ou da radiação de pontos de partes condutoras.



**Figura 5 – CMCP-BT com forma de separação “4b” e proteção secundária.**

Deve-se atentar, também, para o fato de que o uso de TCs e relés secundários, em vez de disparadores incorporados aos disjuntores de potência de BT, podem vir a dificultar o atendimento do tipo de forma de separação interna requerida para o conjunto.

Além dos pontos mencionados nos parágrafos anteriores, existem três outros fatores interessantes dentro do contexto dos desafios encontrados na aplicação de CMCP de BT. Os dois primeiros estão relacionados diretamente ao uso de disjuntores, conforme descrito na IEC 60947-2 (“*Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*”). Um se refere à capacidade de suportar um valor de corrente de curta-duração ( $I_{cw}$ ) por um tempo definido, fato este que está, diretamente, associado à forma como o equipamento irá se comportar num esquema seletivo de proteção. E o outro estabelece os níveis de capacidade de interrupção, tanto em serviço quanto máximo, para o disjuntor. Esta última relação é associada à primeira

pela tabela de escolha da capacidade de serviço em relação ao percentual da capacidade máxima segundo o tipo de seletividade, conforme mostrado na Tabela 3.

Os disjuntores podem ser classificados em duas categorias de seletividade:

- A: são os disjuntores para os quais não se prever seletividade, em condições de curto-circuito, com os dispositivos (SCPD) a jusante. Eles não possuem valores para ajustes de curto-retardamento e nem a capacidade de corrente suportável de curta-duração ( $I_{cw}$ );
- B: são os disjuntores que conseguem ter seletividade, em condições de curto-circuito, com os dispositivos (SCPD) a jusante. Eles possuem ajustes para o curto-retardamento e, também, a capacidade de corrente suportável de curta-duração ( $I_{cw}$ ).

**TABELA 3 – VALORES DA RELAÇÃO ENTRE  $I_{cs}$  E  $I_{cu}$**

<b>Categoria de seletividade: A</b> <b>% de <math>I_{cu}</math></b>	<b>Categoria de seletividade: B</b> <b>% de <math>I_{cu}</math></b>
25	- -
50	50
75	75
100	100

Além disso, os disjuntores apresentam duas capacidades de interrupção:

- $I_{cs}$ : Capacidade de Interrupção de Serviço – corresponde ao valor da corrente de curto-circuito, expresso em porcentagem do valor de  $I_{cu}$ , que um disjuntor pode interromper na sua tensão nominal de operação; sendo que, após este evento, o mesmo ainda deve poder conduzir a sua corrente nominal de regime.
- $I_{cu}$ : Capacidade de Interrupção Máxima – corresponde ao valor eficaz da corrente de curto-circuito que um disjuntor pode interromper na sua tensão nominal de operação; sendo que, após este evento, não precisa ser capaz de conduzir a sua corrente nominal de regime.

Apesar da condição de um disjuntor apresentar o valor de  $I_{cs}$  igual ao de  $I_{cu}$  representar uma situação ótima, ela não é obrigatória e pode, dependendo da aplicação e do sistema em questão, até ser uma solução mais onerosa: o projeto do dispositivo precisaria ser “sobredimensionado”.

O terceiro ponto está relacionado com o uso de partidas com contatores do tipo eletromecânico, conforme a IEC 60947-4-1 (“*Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors*”).

and motor-starters”). Uma “partida” (combinação de todos os dispositivos e conexões necessárias para manobrar um motor, com proteção contra sobrecargas inclusa) protegida (partida que possui um dispositivo de proteção contra curto-circuito – SCPD) pode apresentar dois tipos de coordenação entre os seus elementos.

Os tipos de coordenação para partidas protegidas são:

- Tipo 1: a partida, sob condições de curto-circuito, não deve causar perigo às pessoas ou instalações e pode, após a interrupção da falta, não estar apta a serviços futuros sem reparos ou substituição de peças;
- Tipo 2: a partida, sob condições de curto-circuito, não deve causar perigo às pessoas ou instalações e tem de, após a interrupção da falta, estar apta a serviços futuros. É aceitável o risco de soldagem dos contatos principais do contator (neste caso, o fabricante deve informar os procedimentos adequados de manutenção).

Estes tipos de coordenação estão associados à categoria de uso AC-3 (manobra de motores de indução com rotor em curto-circuito) para os contatores (e, respectivamente, para as

partidas).

É óbvio que uma partida protegida com coordenação tipo 2 permite uma maior continuidade de serviço e um nível menor de manutenção, especialmente quando associada ao uso de disjuntores como SCPD, em vez de fusíveis (o disparo por curto-circuito não obriga a troca dos elementos fusíveis). Porém, dependendo do projeto dos componentes e as suas capacidades de suportabilidade térmica e dinâmica, pode haver a necessidade de aumento de seu tamanho (estrutura), do volume ocupado pela UF ou o incremento nos custos da solução. Este tipo de característica tem sido constantemente solicitado nas aplicações de CCM de BT para plataformas marítimas, como exemplificada na Figura 5.

Vale chamar a atenção para o fato de o CCM mostrado na Figura 6 possuir um reator limitador de corrente na entrada, garantindo que o nível de curto-circuito disponível no ponto ficasse limitado a 18 kA eficazes, conforme definições de projeto do cliente final. Esta solução foi adotada como forma de reduzir os níveis de energia incidente no ponto da instalação, visando um aumento da segurança operacional. Claro que, como em todas as soluções adotadas em engenharia, houve alguns compromissos:

- Estudo de fluxo de carga e avaliação da queda de tensão no



**Figura 6 – CCM de BT típico do setor marítimo. Na coluna de entrada do conjunto (a primeira à direita), tem-se um reator limitador de corrente trifásico (atentar para as venezianas de ventilação).**

caso de partidas rotóricas diretas;

- Com base nos dados do item anterior, foram definidos limites menores de potência das gavetas com partida direta (inclusive, na terceira coluna, contando-se da direita para a esquerda, houve a aplicação de uma unidade eletrônica para partida suave – “Soft-starter”, para adequação da máquina a capacidade do sistema em garantir uma partida sem queda de tensão excessiva).

Para auxiliar no levantamento das necessidades para a definição dos principais requisitos construtivos de um projeto específico, pode-se usar a Tabela 4.

## Conclusões

Como discutido nos tópicos anteriores, o uso de Conjuntos de Manobra e Controle de Potência (CMCP) de baixa tensão em sistemas elétricos industriais, comerciais e de infraestrutura requer sempre um conhecimento detalhado da aplicação final dos equipamentos e das condições, físicas e elétricas, do local da instalação. Não existe uma regra única e nem um modelo mestre para se definir a forma e a filosofia construtiva a ser adotada. Os pontos cruciais e inegociáveis foram e sempre serão a segurança humana e patrimonial.

O que se pode sugerir é, sempre que possível e

**TABELA 4 – REQUISITOS ESPECÍFICOS DE PROJETO**

Tensão e frequência de alimentação		V		Hz
Capacidade de corrente (barramentos)				A
Nível de curto-circuito do sistema		kA		s
Temperatura ambiente, se acima de 35 °C				C
Umidade se acima de 50% @ 40C		%		C
Outras condições especiais da Instalação				
Classificação IP	Externo	IP	Interno	IP
Forma construtiva	Fixa		Extraível	
Acessibilidade da instalação	Frontal		Traseira	
Entrada / Saída para instalação dos cabos	Superior		Inferior	
Acessibilidade para manutenção	Frontal		Traseira	
Forma de separação	Forma			

economicamente viável, seguir algumas premissas que devem ser validadas conforme cada caso. Estas podem ser listadas como:

- Adotar soluções que possuam os relatórios de ensaios aplicáveis que comprovem sua adequação à aplicação;
- Adotar estruturas construtivas que minimizem os riscos de choques elétricos e exposições a arcos elétricos:
  - ✓ Em aplicações de potência, dar preferência por tipos construtivos do tipo “armário”, “multicolunas” ou “multimodular”;
  - ✓ Formas construtivas 3b e 4b, quando for necessário acesso com sistema energizado;
  - ✓ Unidades funcionais extraíveis ou removíveis;
  - ✓ Partidas rotóricas com elementos com coordenação tipo 2;
  - ✓ Escolha de componentes adequados para a real condição de uso (por exemplo, não aplicar, diretamente, um disjuntor de 2.500 A, que foi ensaiado conforme a IEC 60947-2, em um circuito de mesma corrente de regime, sem saber se ele está adequado para condições de temperatura e poluição do ambiente interno do painel – às vezes, se faz necessário o uso de fatores de redução de capacidade de condução de corrente permanente ao elemento de manobra, obrigando o projetista a adotar, por exemplo, um disjuntor de 3.200 A);
  - ✓ Escolher a categoria de sobretensão correta, conforme a tensão nominal do circuito e o local da instalação (nível de exposição a sobretensão. Consultar a tabela G.1 da ABNT NBR IEC 60439-1;
  - ✓ Sistemas inteligentes que permitam a supervisão, operação, medição, monitoramento e intervenções remotas;
  - ✓ Adotar soluções de engenharia que minimizem, conforme cada caso, os riscos associados aos níveis de energia incidente (escolha do aterramento do neutro, uso de seletividade lógica, sistemas de redução de níveis de energia para serviços de intervenção, etc.);
  - ✓ Escolher o grau de proteção adequado ao local da instalação;
  - ✓ Para situações de exposição contínua de operadores ao local da instalação, buscar soluções quanto a riscos oriundos de um arco interno, sejam do tipo ditas “ativas” ou “reativas”.

Da mesma forma como comentado sobre a aplicação de conjuntos em média tensão, aqui se aplicam as mesmas diretrizes básicas:

- Definição das características nominais;
- Conhecimento das condições ambientais e espaciais do local da instalação;
- Consolidação dos estudos de engenharia elétricas necessários;
- Conhecer as filosofias de operação e manutenção que serão adotadas.

Listar características adicionais que possam vir a aumentar a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança, tanto humana quanto patrimonial, conforme a experiência, tanto da equipe responsável pelo projeto quanto do usuário final.

Para finalizar, é importante salientar o trabalho que está sendo desenvolvido, no Brasil, pela Comissão de Estudos C 17.02, da ABNT, e que se encontra bem adiantado, no sentido de termos, se possível ainda neste ano, a publicação das duas primeiras normas baseadas na série IEC 61439 (partes 1 e 2).

### Referências

- ABNT NBR IEC 60439-1. *Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão – Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaio de tipo parcialmente testados (PTTA)*. ABNT, maio 2003.
- IEC 61439-1. *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*. IEC; 2nd. Edition, 2011.
- IEC 61439-2. *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies*. IEC; 2nd. Edition, 2011.
- IEEE Std C37.20.1 – 2002: *IEEE Standard for Metal-Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear*.
- NR 10: *Norma regulamentadora Número 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade*. Ministério do Trabalho e Emprego – Governo Federal do Brasil, 2004.
- *Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces, NFPA 70E*, 2009.
- *IEEE Guide for Performing Arc-Flashes Hazard Calculations, IEEE Std 1584*, 2002.

---

\*LUIZ FELIPE COSTA é especialista sênior da Eaton. É formado em engenharia elétrica pela Escola de Engenharia da UFRJ e pós-graduado em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá.

**Continua na próxima edição**

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)