

Capítulo IV

Linhas elétricas – Parte 2

Por Eduardo Daniel*

As linhas elétricas de uma instalação de baixa tensão são tratadas pela norma ABNT NBR 5410:2004 em sua seção 5.1.2.3.4 e seus requisitos estão definidos na seção 6.2. Este assunto foi iniciado no capítulo anterior e continuará sendo tratado neste artigo, a partir dos requisitos ligados ao agrupamento de circuitos.

RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

Nas tabelas 36 e 37 da ABNT NBR 5410:2004, as capacidades de condução de corrente indicadas para linhas subterrâneas são válidas para uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. Quando a resistividade térmica do solo for superior a 2,5 K.m/W, caso de solos muito secos, os valores indicados nas tabelas devem ser adequadamente reduzidos, a menos que o solo na vizinhança imediata dos condutores seja substituído por terra ou material equivalente com dissipação térmica mais favorável. A tabela 41 da referida norma fornece fatores de correção para resistividades térmicas do solo diferentes de 2,5 K.m/W.

O valor de 2,5 K.m/W é o recomendado pela IEC quando o tipo de solo e a localização geográfica não são especificados. Os valores de capacidade de condução de corrente indicados nas tabelas 36 e 37 para linhas subterrâneas referem-se apenas a percursos no interior ou em torno das edificações. Para outras instalações, quando

for possível conhecer valores mais precisos da resistividade térmica do solo, em função da carga, os valores de capacidade de condução de corrente podem ser calculados pelos métodos especificados na ABNT NBR 11301.

AGRUPAMENTO DE CIRCUITOS

Os valores de capacidade de condução de corrente fornecidos pelas tabelas 36 a 39 da mesma norma são válidos para o número de condutores carregados que se encontra indicado em cada uma de suas colunas. Para linhas elétricas contendo um total de condutores superior às quantidades indicadas nas tabelas 36 a 39, a capacidade de condução de corrente dos condutores de cada circuito deve ser determinada, usando-se as tabelas 36 a 39, com a aplicação dos fatores de correção pertinentes dados nas tabelas 42 a 45 (fatores de agrupamento).

Os fatores de agrupamento das tabelas 42 a 45 são aplicáveis a condutores com mesma temperatura máxima para serviço contínuo. Para grupos contendo condutores

com diferentes temperaturas máximas para serviço contínuo, a determinação da capacidade de condução de corrente dos condutores, para todos os circuitos do grupo, deve ser baseada não na temperatura máxima para serviço contínuo do condutor considerado, mas na menor temperatura máxima admissível em serviço contínuo encontrada entre os condutores do grupo, acompanhada da aplicação do fator de agrupamento incorrido.

Os condutores para os quais se prevê uma corrente de projeto não superior a 30% de sua capacidade de condução de corrente já determinada, observando-se o fator de agrupamento incorrido, podem ser desconsiderados para efeito de cálculo do fator de correção aplicável ao restante do grupo.

As capacidades de condução de corrente indicadas nas tabelas 36 e 37 são válidas para maneiras de instalar que se enquadrem nos métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D, e para:

- Dois condutores carregados (dois condutores isolados, dois cabos unipolares

TABELA 1 — FATORES DE CORREÇÃO PARA LINHAS SUBTERRÂNEAS EM SOLO COM RESISTIVIDADE TÉRMICA DIFERENTE DE 2,5 K.M/W (TABELA 41 DA ABNT NBR 5410)

RESISTIVIDADE TÉRMICA K.M/W	1	1,5	2	3
FATOR DE CORREÇÃO	1,18	1,1	1,05	0,96

Notas:

1. Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 36 e 37, com uma dispersão geralmente inferior a 5%.
2. Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8 m.
3. Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K.m/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.

ou um cabo bipolar);

- Três condutores carregados (três condutores isolados, três cabos unipolares ou um cabo tripolar).
- Para um número maior de condutores agrupados, devem ser aplicados os fatores de correção especificados nas tabelas 42 a 45.

Os fatores de agrupamento foram calculados admitindo-se todos os condutores vivos permanentemente carregados com 100% de sua carga. Caso o carregamento seja inferior a 100%, os fatores de correção podem ser aumentados.

Os fatores de correção da tabela 42 são aplicáveis a condutores agrupados em feixe, seja em linhas abertas ou fechadas (os fatores pertinentes são os da linha 1 da tabela 42), e a condutores agrupados num mesmo plano e numa única camada (demais linhas da tabela).

Já os fatores de correção da tabela 43 são aplicáveis a agrupamentos consistindo em mais de uma camada de condutores. Assim,

no caso de agrupamento em camadas, os fatores de correção aplicáveis são os da tabela 42, quando a camada for única, ou os da tabela 43, quando houver mais de uma camada.

Os fatores de agrupamento das tabelas 44 e 45 são aplicáveis a linhas subterrâneas: os da tabela 44 a cabos diretamente enterrados e os da tabela 45 a linhas em eletrodutos enterrados.

As capacidades de condução de corrente indicadas nas tabelas 38 e 39 são válidas para maneiras de instalar que se enquadrem nos métodos de referência E, e, e para:

- a) Dois condutores carregados (dois condutores isolados, dois cabos unipolares ou um cabo bipolar);
- b) Três condutores carregados (três condutores isolados, três cabos unipolares ou um cabo tripolar).

Para um número maior de condutores agrupados devem ser aplicados os fatores de correção especificados na tabela 42, quando

os condutores forem dispostos em feixe ou num mesmo plano, em camada única; ou então os fatores de agrupamento da tabela 43, quando os condutores forem dispostos em mais de uma camada.

Os fatores de redução para agrupamento de circuitos são valores médios calculados para as dimensões de condutores, tipos de cabos e condições de instalação considerados. Deve-se atentar para as notas de cada tabela. Em alguns casos, pode ser desejável um cálculo mais preciso. Os fatores de correção foram calculados admitindo-se um agrupamento de condutores semelhantes igualmente carregados. Quando um grupo contiver condutores de dimensões diferentes, devem ser tomadas precauções quanto ao carregamento dos condutores de menor seção.

Os fatores de agrupamento indicados nas tabelas 42 a 45 são válidos para grupos de condutores semelhantes, igualmente carregados. São considerados condutores

TABELA 2 - FATORES DE CORREÇÃO APLICÁVEIS A CONDUTORES AGRUPADOS EM FEIXE (EM LINHAS ABERTAS OU FECHADAS) E A CONDUTORES AGRUPADOS NUM MESMO PLANO, EM CAMADA ÚNICA (TABELA 42 DA ABNT NBR 5410)

REF.	FORMA DE AGRUPAMENTO DOS CONDUTORES	NÚMERO DE CIRCUITOS OU DE CABOS MULTIPOLARES												TABELAS DOS MÉTODOS DE REFERÊNCIA
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				38 e 39 (métodos E e F)
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Camada (mica sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

NOTAS

- Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.
- Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.
- O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se
 - à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou
 - à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).
- Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 36 a 39, deve ser então efetuada:
 - na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares; e
 - na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.
- Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.
- Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

TABELA 3 - FATORES DE AGRUPAMENTO PARA LINHAS EM ELETRODUTOS ENTERRADOS (TABELA 45 DA ABNT NBR 5410)

CABOS MULTIPOLARES EM ELETRODUTOS - UM CABO POR ELETRODUTO				
Número de circuitos	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,9
3	0,75	0,85	0,90	5
4	0,70	0,80	0,85	0,9
5	0,65	0,80	0,85	5
6	0,60	0,80	0,80	0,9

CONDUTORES ISOLADOS OU CABOS UNIPOLARES EM ELETRODUTOS ²⁾ - UM CONDUTOR POR ELETRODUTO

Número de circuitos (grupos de dois ou três condutores)	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,9
3	0,70	0,80	0,85	5
4	0,65	0,75	0,80	0,9
5	0,60	0,70	0,80	0
6	0,60	0,70	0,80	0,9

NOTAS

- Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as seções de condutores constantes nas tabelas 36 e 37. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ±10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.
- Deve-se atentar para as restrições e problemas que envolvem o uso de condutores isolados

"semelhantes" aqueles cujas capacidades de condução de corrente baseiam-se na mesma temperatura máxima para serviço contínuo e cujas seções nominais estão contidas

no intervalo de três seções normalizadas sucessivas. Quando os condutores de um grupo não preencherem essa condição, os fatores de agrupamento aplicáveis devem

ser obtidos recorrendo-se a qualquer das duas alternativas seguintes:

- Cálculo caso a caso, utilizando, por exemplo, a ABNT NBR 11301; ou

- Caso não seja viável um cálculo mais específico, adoção do fator F da expressão:

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Em que:

F é o fator de correção;

n é o número de circuitos ou de cabos multipolares.

O cálculo de fatores de correção para grupos contendo condutores das mais diferentes seções nominais depende da quantidade total de condutores e da combinação de seções, o que torna virtualmente inviável a elaboração de tabelas de uso prático, tantas seriam as variáveis envolvidas.

A expressão indicada na alínea acima está a favor da segurança e reduz os perigos de sobrecarga nos condutores de menor seção nominal. Pode, no entanto, resultar no superdimensionamento dos condutores de seções mais elevadas.

NÚMERO DE CONDUTORES CARREGADOS

O número de condutores carregados a ser considerado é aquele indicado na tabela 46, de acordo com o esquema de condutores vivos do circuito. Em particular, no caso de circuito trifásico com neutro, quando a circulação de corrente no neutro não for acompanhada de redução correspondente na carga dos condutores de fase, o neutro deve ser computado como condutor carregado. É o que acontece quando a corrente nos condutores de fase contém componentes harmônicas de ordem três e múltiplos em uma taxa superior a 15%. Nessas condições, o circuito trifásico com neutro deve ser considerado como constituído de quatro condutores carregados e a determinação da capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser afetada do "fator de correção devido ao carregamento do neutro". Tal fator, que em caráter geral é de 0,86, independentemente do método de instalação, é aplicável então às capacidades de condução de corrente válidas para três condutores carregados.

As tabelas de capacidade de condução de corrente (tabelas 36 a 39) trazem colunas para dois e para três condutores carregados, mas nenhuma coluna válida especificamente para quatro condutores carregados. Por isso, a determinação da capacidade de condução de corrente para quatro condutores carregados deve ser feita aplicando-se o fator de 0,86 às capacidades de condução de corrente válidas para três condutores carregados - sem prejuízo dos demais fatores de correção eventualmente aplicáveis, como os referentes à temperatura ambiente, resistividade térmica do solo e agrupamento de circuitos.

Alternativamente, o fator de correção devido ao carregamento do neutro pode ser determinado caso a caso, de acordo com o método de instalação, assumindo-se que quatro condutores carregados correspondem a dois circuitos de dois condutores carregados cada. Nessas condições, o fator de correção devido ao carregamento do neutro corresponde então ao fator de agrupamento válido para dois circuitos e para o método de instalação considerado (os fatores de agrupamento são dados nas tabelas 42 a 45, de acordo com o método de instalação), e é aplicável às capacidades de condução de corrente válidas para dois condutores carregados.

O fator de correção devido ao carregamento do neutro só é pertinente a circuitos trifásicos com neutro. O fator de correção devido ao carregamento do neutro pode ser dispensado nos casos em que a definição da seção dos condutores embutir um sobredimensionamento dos condutores de fase, nos níveis mencionados em F.2 e F.3.

Os condutores utilizados unicamente como condutores de proteção (PE) não são considerados. Os condutores PEN são considerados como condutores neutros.

CONDUTORES EM PARALELO

Quando dois ou mais condutores forem ligados em paralelo na mesma fase ou polaridade, isso não deve comprometer o atendimento das condições da norma. Para tanto, devem ser tomadas medidas que garantam igual divisão de corrente entre os condutores em paralelo, conforme 6.2.5.7.2; ou realizado um estudo específico sobre a divisão da corrente entre os condutores em paralelo, de modo que o atendimento de 6.2.5.2.1 possa ser equacionado para cada conduto, individualmente.

A exigência apresentada na alínea a) de 6.2.5.7.1 é considerada atendida se os condutores em paralelo tiverem a mesma constituição, a mesma seção nominal, aproximadamente o mesmo comprimento, não apresentarem derivações ao longo de seu percurso e, além disso, forem:

- Veias de cabos multipolares ou de cabos multiplexados, qualquer que seja a seção nominal, cada cabo contendo todas as fases ou polaridades e o respectivo neutro, se existir; ou
- Condutores isolados ou cabos unipolares em trifólio, em formação plana ou em conduto fechado, com seção igual ou inferior a 50 mm² em cobre, ou 70 mm² em alumínio, cada grupo ou conduto fechado contendo todas as fases ou polaridades e o respectivo neutro, se existir; ou, ainda,
- Cabos unipolares com seção superior a 50 mm² em cobre, ou 70 mm² em alumínio,

TABELA 4 - NÚMERO DE CONDUTORES CARREGADOS A SER CONSIDERADO EM FUNÇÃO DO TIPO DE CIRCUITO (TABELA 46 DA ABNT NBR 5410)

ESQUEMA DE CONDUTORES VIVOS DO CIRCUITO	NÚMERO DE CONDUTORES CARREGADOS A SER ADOTADO
Monofásico a dois condutores	2
Monofásico a três condutores	2
Duas fases sem neutro	2
Duas fases com neutro	3
Trifásico sem neutro	3
Trifásico com neutro	3 ou 4 ¹

¹) Ver 6.2.5.6.1 da ABNT NBR 5410:2004.

agrupados segundo configurações especiais adaptadas a cada caso, cada grupo contendo todas as fases e o respectivo neutro, se existir, sendo as configurações definidas de modo a obter o maior equilíbrio possível entre as impedâncias dos condutores de cada fase.

Quando forem identificadas, ao longo do percurso previsto de uma linha elétrica, diferentes condições de resfriamento (dissipação de calor), as capacidades de condução de corrente dos seus condutores devem ser determinadas com base nas condições mais desfavoráveis encontradas.

SEÇÃO DOS CONDUTORES DE FASE

A seção dos condutores de fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente dado na tabela 5.

A seção dos condutores deve ser determinada de forma a que sejam atendidos, no mínimo, todos os seguintes critérios da ABNT NBR 5410:2004:

- A capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser igual ou superior à corrente de projeto do circuito, incluindo as componentes harmônicas, afetada dos fatores de correção aplicáveis;
- A proteção contra sobrecargas, conforme 5.3.4 e 6.3.4.2;
- A proteção contra curtos-circuitos e solicitações térmicas, conforme 5.3.5 e 6.3.4.3;
- A proteção contra choques elétricos por seccionamento automático da alimentação em esquemas TN e IT, quando pertinente (5.1.2.2.4);
- Os limites de queda de tensão, conforme 6.2.7; e
- As seções mínimas indicadas em 6.2.6.1.1.

CONDUTOR NEUTRO

O condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito. O condutor neutro de um circuito monofásico deve ter a mesma seção do condutor de fase. Quando, em um circuito trifásico com neutro, a taxa de terceira harmônica

TABELA 5 — SEÇÃO MÍNIMA DOS CONDUTORES LI (TABELA 47 DA ABNT NBR 5410)

TIPO DE LINHA	UTILIZAÇÃO DO CIRCUITO	SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR MM ²	
		MATERIAL	
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 AI
		Circuitos de força	2,5Cu 16 AI
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu
	Condutores nus	Circuitos de força	10 Cu 16 AI
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
Linhas flexíveis com cabos isolados	Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu	
	Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu	

e seus múltiplos for superior a 15%, a seção do condutor neutro não deve ser inferior à dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se essa taxa não for superior a 33%.

Tais níveis de correntes harmônicas são encontrados, por exemplo, em circuitos que alimentam luminárias com lâmpadas de descarga, incluindo as fluorescentes. O caso de taxas superiores a 33% é tratado em 6.2.6.2.5 na NBR 5410:2004. A seção do condutor neutro de um circuito com duas fases e neutro não deve ser inferior à seção dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%.

Quando, em um circuito trifásico com neutro ou em um circuito com duas fases e neutro, a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 33%, pode ser necessário um condutor neutro com seção superior à dos condutores de fase.

Tais níveis de correntes harmônicas são encontrados, por exemplo, em circuitos que alimentam principalmente computadores ou outros equipamentos de tecnologia de informação. Para se determinar a seção do condutor neutro, com confiança, é necessária uma estimativa segura do conteúdo de terceira harmônica das correntes

de fase e do comportamento imposto à corrente de neutro pelas condições de desequilíbrio em que o circuito pode vir a operar. O anexo F fornece subsídios para esse dimensionamento. Em um circuito trifásico com neutro e cujos condutores de fase tenham uma seção superior a 25 mm², a seção do condutor neutro pode ser inferior à dos condutores de fase, sem ser inferior aos valores indicados na tabela 48, em função da seção dos condutores de fase, quando as três condições seguintes forem simultaneamente atendidas:

- O circuito for presumivelmente equilibrado, em serviço normal;
- A corrente das fases não contiver uma taxa de terceira harmônica e múltiplos superior a 15%; e
- O condutor neutro for protegido contra sobrecorrentes conforme 5.3.2.2.

** *Eduardo Daniel é engenheiro eletricista, pós-graduado em sistemas de potência, mestre em Energia pelo PPGE do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. É consultor da MDJ Assessoria e Engenharia Consultiva, superintendente da Certiel Brasil e coordenador da Comissão de Estudos 03:64-001 do CB3 da ABNT, que revisa a norma de instalações elétricas de baixa tensão.*

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br. Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudedeeditorial.com.br