

g - Corrente Corrigida (I'_p)

É um valor fictício da corrente do circuito, obtida pela aplicação dos fatores de correção FCT e FCA à corrente de projeto.

$$I'_p = \frac{I_p}{FCT \cdot FCA}$$

Com o valor da Corrente Corrigida (I'_p), calculado pela expressão acima, entramos nas Tabelas 7.3 a 7.6 e determinamos a bitola do condutor.

EXEMPLOS:

- 1- Consideremos, agora, que o circuito terminal do chuveiro do exemplo 1 do item "e" anterior, esteja instalado em um eletroduto, no qual, em certo trecho, também contenha mais três circuitos monofásicos (F-N). Determine qual será a nova bitola do condutor do circuito que alimenta o chuveiro.

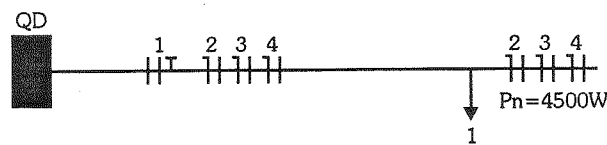


Figura 7.4 - Circuitos Terminais de Iluminação e Tomadas

Solução:

a- Corrente de Projeto: $I_p = 20,45 \text{ A}$

b- Fator de Correção de Temperatura: $FCT = 1,00$

c- Fator de Correção de Agrupamento:

Neste caso, temos quatro circuitos com dois condutores carregados cada um ($8/2 = 4$).

Então, na tabela 7.8, para quatro circuitos contidos em eletroduto, encontramos o valor de $FCA = 0,65$.

d - Corrente Corrigida: $I'_p = 20,45 / 1,00 \cdot 0,65 \Rightarrow I'_p = 31,46 \text{ A}$

e - Bitola do Condutor:

Com o valor de I'_p entramos na Tab. 7.3, coluna B, 2cc, e temos o valor 32 A (por excesso), que corresponde ao condutor de cobre de bitola 4 mm^2 .

- 2 - Tomemos, agora, o circuito alimentador do exemplo 2 do item "e" anterior. Consideremos que a temperatura ambiente seja de 35°C e que na mesma calha estejam passando outros circuitos, conforme mostrado na figura abaixo. Determine a nova seção do alimentador do exemplo anterior.

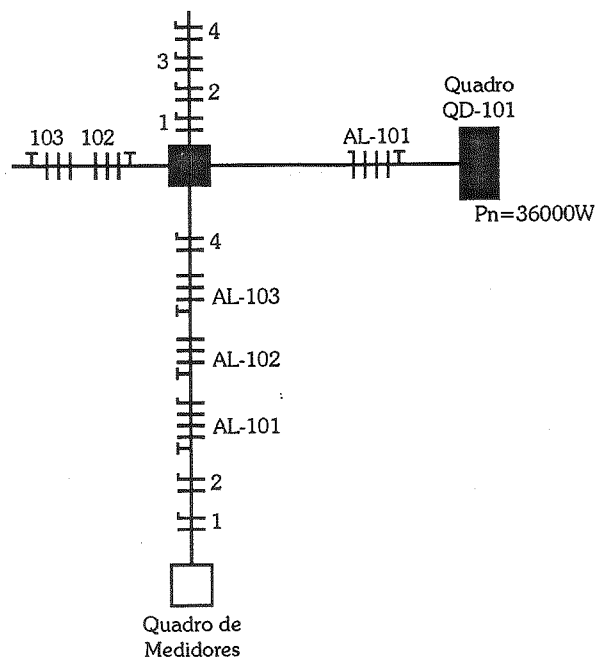


Figura 7.5 - Circuitos Alimentadores e Terminais

Solução:

a- Corrente de Projeto: $I_p = 110,14 \text{ A}$

b- Fator de Correção de Temperatura:

Entramos na Tab. 7.7 com isolação em XLPE e temperatura ambiente de 35°C e encontramos: $FCT = 0,96$.

c- Fator de Correção de Agrupamento:

Ao todo teremos 15 condutores carregados, equivalentes a $15/3 = 5$ circuitos com três condutores carregados (os condutores PE não são considerados). A Tabela 7.8 fornecerá o valor de $FCA = 0,60$.

d- Corrente Corrigida: $I'_p = 110,14 / 0,96 \cdot 0,60 \Rightarrow I'_p = 191,21 \text{ A}$.

e- Bitola do Condutor:

Com este valor de I'_p entramos na Tab. 7.4, coluna D, 3 cc, e temos o valor 211 A (por excesso), que corresponde ao condutor de cobre de bitola 95 mm^2 .

7.3

Critério do Limite de Queda de Tensão

A queda de tensão provocada pela passagem de corrente elétrica nos condutores dos circuitos de uma instalação deve estar dentro de determinados limites máximos, a fim de não prejudicar o funcionamento dos equipamentos de utilização ligados aos circuitos terminais.

Os efeitos de uma queda de tensão acentuada nos circuitos alimentadores e terminais de uma instalação levarão os equipamentos a receber em seus terminais, uma tensão inferior aos valores nominais. Isto é prejudicial ao desempenho dos equipamentos, que além de não funcionarem satisfatoriamente (redução de iluminância em circuitos de iluminação, redução de torque ou impossibilidade de partida de motores etc) poderão ter a sua vida útil reduzida.

A NBR-5410/90 estabelece as faixas nominais de tensão dos sistemas elétricos, conforme a Tabela 7.13 (Anexo A da NBR-5410/90).

Tabela 7.13 - Faixas de Tensão (em Volts)

Faixas	Sistemas Diretamente Aterrados				Sistemas não Diretamente Aterrados	
	Corrente Alternada		Corrente Contínua		Corrente Alternada	Corrente Contínua
	Entre fase e terra	Entre fases	Entre pólo e terra	Entre pólos	Entre fases	Entre pólos
I	$U \leq 50$	$U \leq 50$	$U \leq 120$	$U \leq 120$	$U \leq 50$	$U \leq 120$
II	$50 < U < 600$	$50 < U < 1000$	$120 < U < 900$	$120 < U < 1500$	$50 < U < 1000$	$120 < U < 1500$

Fonte: Anexo A da NBR 5410/90

A queda de tensão em uma instalação, considerada desde a origem da mesma até o último ponto de utilização de qualquer circuito terminal, deverá estar dentro dos limites prefixados pela Tabela 7.14. A referida tabela fixa os valores percentuais máximos admissíveis para a queda de tensão, em função do valor da tensão nominal, para os diversos tipos de instalação e cargas.

Tabela 7.14 - Limites de Queda de Tensão

	Iluminação	Outros Usos
A - Instalações alimentadas diretamente por um ramal de baixa tensão, a partir de uma rede de distribuição pública de baixa tensão.	4%	4%
B - Instalações alimentadas por subestação de transformação ou transformador, a partir de uma instalação de alta tensão.	7%	7%
C - Instalações que possuam fonte própria.	7%	7%

Fonte: Tabela 42 da NBR-5410/90

Notas:

- 1) Nos casos **B e C**, as quedas de tensão nos circuitos terminais não devem ser superiores aos valores indicados em **A**;
- 2) Nos casos **B e C**, quando as linhas principais de instalação tiverem um comprimento superior a **100 m**, as quedas de tensão podem ser aumentadas de **0,005%** por metro de linha superior a **100m**, sem que no entanto, essa suplementação seja superior a **0,5%**.
- 3) Quedas de tensão maiores que as da tabela acima, são permitidas para equipamentos com corrente de partida elevada, durante o período de partida, desde que dentro dos limites permitidos em suas normas respectivas.

A **NBR-5410/90** estabelece o limite máximo de **7 %** para queda de tensão, em instalações que tenham subestação ou transformador próprio. Este valor é tomado desde a origem da instalação (transformador) até o final do circuito terminal (carga).

Muitas vezes as concessionárias estabelecem percentuais limites mais rigorosos. É o caso da **COPEL**, que estabelece em **5,5 %** o mesmo limite máximo acima referido.

As figuras 7.6 e 7.7 mostram os valores máximos de queda de tensão admitidos pela NBR-5410 e pela COPEL, bem como uma **sugestão** (didática) de distribuição destes percentuais nos diversos trechos de uma instalação.

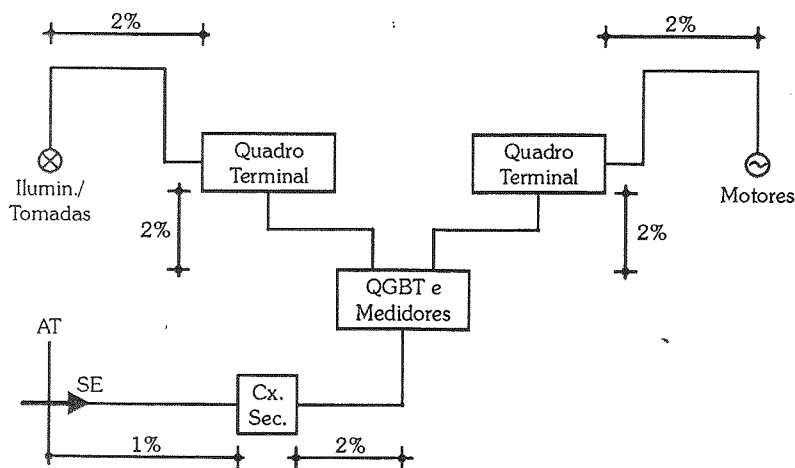


Figura 7.6 - Sugestão de Aplicação de Percentuais de Queda de Tensão nos Diversos Trechos de uma Instalação Alimentada Diretamente por Subestação de Transformação, de forma a obter-se o Limite Máximo Admissível de 7% de Queda de Tensão (Conforme NBR-5410/90)

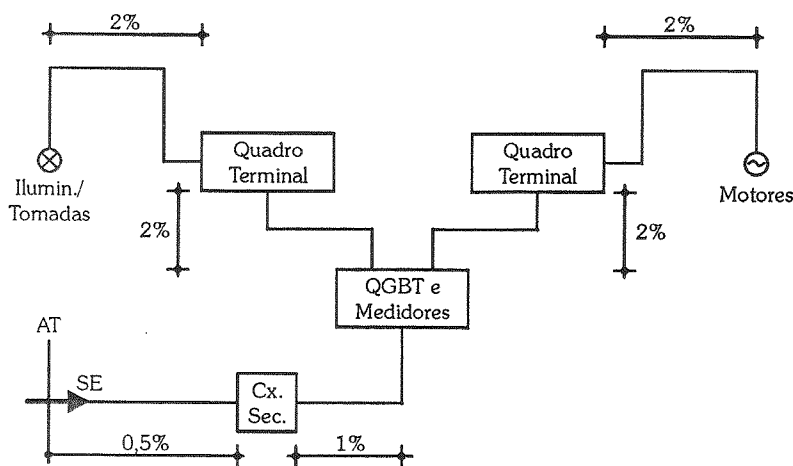


Figura 7.7 - Sugestão de Aplicação de Percentuais de Queda de Tensão nos Diversos Trechos de uma Instalação Alimentada Diretamente por Subestação de Transformação, de forma a obter-se o Limite Máximo Admissível de 5,5% de Queda de Tensão (Conforme a NTC 9-01110 - COPEL)

Roteiro para Dimensionamento pela Queda de Tensão

a- Dados Necessários:

- Maneira de Instalar do Circuito;
- Material do Eletroduto (Magnético ou Não Magnético);
- Tipo do Circuito (Monofásico, ou Trifásico);
- Corrente de Projeto, I_p , em Ampères;
- Fator de Potência Médio, $\cos\phi$, do Circuito;
- Comprimento, l , do Circuito, em km;
- Tipo de isolamento do condutor;
- Tensão, V , do Circuito, em Volts;
- Queda de Tensão, $e(\%)$, Admissível.

b- Cálculo da Queda de Tensão Unitária:

A Queda de Tensão Unitária, ΔV_{unit} , em Volts/Ampère.km, do circuito, é calculada pela expressão:

$$\Delta V_{unit} = \frac{e(\%) \cdot V}{I_p \cdot l}$$

c- Escolha do Condutor:

Com o valor de ΔV_{unit} calculado, entramos em uma das tabelas de queda de tensão para condutores (ver Tabelas 7.15, 7.16 e 7.17 anexas) que apresente as condições de instalação indicadas no item "a", e nesta encontramos o valor cuja queda de tensão seja igual ou imediatamente inferior à calculada, encontrando daí a bitola nominal do condutor correspondente.

Importante:

O processo de cálculo indicado acima é usado para *circuito de distribuição* e para *circuito terminais que servem a uma única carga*, sendo " l " o comprimento do circuito, desde a origem até a carga (ou ao quadro de distribuição).

Em circuitos com várias cargas distribuídas, teremos que calcular a queda de tensão trecho a trecho, ou aplicar o Método Simplificado Watts.metros, conforme veremos adiante.

Tabela 7.15 - Queda de Tensão Unitária, em Volt/Ampère.km, Condutores com Isolação em PVC (Cortesia: Siemens S/A)

Seção Nominal (mm ²)	Instalação ao ar livre c)												Cabo Chumbo BWF ² condutores		Cabo Chumbo BWF Sistema trifásico							
	Eletroduto e calha fechada (material magnético)		Eletroduto, calha fechada, bloco alveolado (material não magnético)		Cabos unipolares d)						Cabo tri/tetrapolar		Cabo unipolar		Cabo Chumbo BWF ² condutores		Cabo Chumbo BWF Sistema trifásico					
	Fio e Cabo Nofilam BWF Caro Nofilam Flex Cabo Vnil b)		Fio e Cabo Nofilam BWF Caro Nofilam Flex Cabo Vnil b)		Sistema trifásico						Sistema trifásico		Sistema trifásico		Sistema trifásico		Sistema trifásico					
	Sistema monofásico e trifásico		Sistema trifásico		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D		S = 10cm		S = 20cm		S = 2D	
1,5	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	F.P. 0,8	
2,5	23	27,4	23,3	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,2	23,9	23,6	27,8	23,7	27,8	23,4	27,6	20,5	24	20,5	24,1	20,3	23,9
4	14	16,8	14,3	16,9	14,7	17,1	14,4	17	14,8	12,7	14,8	12,7	14,8	12,7	14,8	12,7	14,8	12,7	14,8	12,7	14,8	12,7
6	9	10,5	8,96	10,6	9,25	10,7	9,35	10,7	9,06	8,02	9,27	8,08	9,3	8,02	9,27	8,08	9,3	8,02	9,27	8,08	9,3	8,02
10	5,87	7	6,03	7,07	6,14	7,18	6,41	7,18	6,11	7,09	5,47	6,25	5,52	6,28	5,32	6,17	5,25	6,14	5,47	6,25	5,52	6,28
16	3,54	4,2	3,63	4,23	3,88	4,35	3,95	4,36	3,71	4,26	3,38	3,79	3,44	3,81	3,24	3,71	3,17	3,67	3,44	3,81	3,24	3,71
25	2,27	2,7	2,32	2,68	2,56	2,79	2,64	2,82	2,4	2,72	2,42	2,44	2,29	2,47	2,1	2,37	2,03	2,33	2,32	2,68	2,01	2,32
35	1,5	1,72	1,51	1,71	1,33	1,49	1,73	1,83	1,86	1,59	1,76	1,52	1,6	1,57	1,62	1,4	1,53	1,33	1,49	1,51	1,71	1,31
50	1,12	1,25	1,12	1,25	0,98	1,09	1,33	1,36	1,39	1,2	1,29	1,17	1,19	1,22	1,06	1,13	0,98	1,09	1,12	1,25	0,97	1,08
70	0,86	0,95	0,85	0,94	0,76	0,82	1,05	1,04	1,12	1,08	0,93	0,98	0,93	0,91	0,94	0,86	0,76	0,82	0,85	0,94	0,74	0,81
95	0,64	0,67	0,62	0,67	0,55	0,59	0,81	0,76	0,87	0,8	0,7	0,71	0,72	0,67	0,7	0,63	0,62	0,55	0,62	0,67	0,54	0,58
120	0,5	0,51	0,48	0,5	0,43	0,44	0,65	0,59	0,71	0,62	0,56	0,58	0,52	0,64	0,55	0,5	0,47	0,43	0,44	0,48	0,5	0,42
150	0,42	0,42	0,4	0,41	0,36	0,36	0,57	0,49	0,63	0,52	0,48	0,44	0,51	0,43	0,56	0,46	0,39	0,36	0,36	0,4	0,41	0,35
185	0,37	0,35	0,35	0,34	0,31	0,3	0,5	0,42	0,56	0,45	0,42	0,38	0,45	0,37	0,51	0,4	0,38	0,34	0,31	0,3	0,35	0,3
240	0,32	0,3	0,3	0,29	0,27	0,25	0,44	0,36	0,51	0,39	0,37	0,32	0,4	0,32	0,46	0,35	0,29	0,27	0,25	0,3	0,29	0,25
	0,27	0,22	0,23	0,2	0,21	0,18	0,35	0,26	0,41	0,29	0,3	0,23	0,32	0,23	0,37	0,26	0,21	0,21	0,18	0,23	0,2	0,17

Notas:

- a) As dimensões do eletroduto e da calha fechada adotadas, são tais que a área dos fios ou cabos não ultrapasse 40% da área interna dos mesmos (taxa de ocupação 40%).
- b) Nos blocos alveolados, só devem ser usados cabos vnil 0,6/1kV.
- c) Aplicável à fixação direta à parede ou teto, calha aberta, ventilada ou fechada, poço, espaço de construção, bandeja, prateleira, suportes sobre isoladores e linha aérea.
- d) Aplicável também aos condutores isolados, por exemplo, fios e cabos nofilam BWF sobre isoladores e em linha aérea.
- e) Os valores tabelados são para fios e cabos com condutores de cobre.

Tabela 7.16 - Queda de Tensão Unitária, em Volt/Ampère.km, condutores com isolação em EPR (Cortesia: Siemens S/A)









Seção Nominal (mm ²)	Cabos unipolares				Cabos Tripolares Cabos Quadripolares	
						
	FP = 0,80	FP = 0,90	FP = 0,80	FP=0,90	FP = 0,80	FP = 0,90
1,5	21,54	24,16	21,52	24,15	21,49	24,12
2,5	13,25	14,84	13,23	14,82	13,20	14,80
4	8,30	9,27	8,28	9,26	8,26	9,23
6	5,59	6,22	5,57	6,21	5,55	6,20
10	3,38	3,74	3,36	3,72	3,33	3,71
16	2,17	2,38	2,15	2,37	2,13	2,35
25	1,42	1,54	1,40	1,53	1,38	1,51
35	1,06	1,14	1,04	1,12	1,02	1,11
50	0,81	0,86	0,80	0,85	0,78	0,84
70	0,60	0,62	0,58	0,61	0,57	0,60
95	0,46	0,47	0,45	0,46	0,43	0,45
120	0,39	0,39	0,38	0,38	0,36	0,37
150	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31	0,32
185	0,30	0,29	0,28	0,27	0,27	0,27
240	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22
300	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19
400	0,20	0,18	0,19	0,17	-	-
500	0,18	0,16	0,17	0,16	-	-

Tabela 7.17 - Queda de Tensão Unitária, em Volt/Ampère.km, condutores com isolamento em EPR (Cortesia: Siemens S/A)

Seção Nominal (mm ²)	Cabos unipolares				Cabos Tripolares Cabos Quadripolares	
						
	FP = 0,80	FP = 0,90	FP = 0,80	FP=0,90	FP = 0,80	FP = 0,90
1,5	21,53	24,15	21,52	24,14	21,48	24,11
2,5	13,24	14,83	13,23	14,82	13,19	14,80
4	8,29	9,27	8,28	9,25	8,24	9,23
6	5,59	6,22	5,57	6,21	5,54	6,19
10	3,37	3,73	3,35	3,72	3,33	3,70
16	2,16	2,38	2,15	2,37	2,12	2,35
25	1,42	1,54	1,40	1,53	1,38	1,51
35	1,05	1,13	1,03	1,12	1,02	1,11
50	0,81	0,86	0,79	0,85	0,77	0,83
70	0,60	0,62	0,58	0,61	0,56	0,60
95	0,46	0,47	0,44	0,46	0,43	0,45
120	0,39	0,39	0,37	0,38	0,36	0,37
150	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31
185	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
240	0,25	0,24	0,24	0,22	0,23	0,22
300	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19
400	0,20	0,18	0,19	0,17	-	-
500	0,18	0,16	0,17	0,15	-	-

EXEMPLOS:

- 1- Consideremos que o circuito terminal do Chuveiro Elétrico do exemplo 1 anterior tenha um comprimento de 15 metros (distância do Quadro de Distribuição do Apartamento à tomada de ligação do chuveiro). Dimensione o circuito.

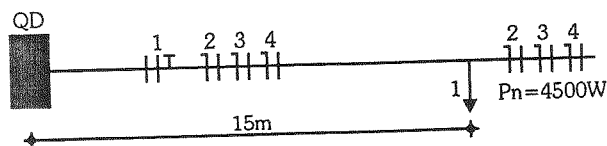


Figura 7.8 - Circuitos Terminais de Iluminação e Tomadas

Solução:

Dados:

Maneira de Instalar: Eletroduto Embutido em alvenaria;

Eletroduto: PVC (Não Magnético);

Circuito: Bifásico (considera-se a coluna monofásico da tabela 7.15)

Corrente de Projeto: $I_p = 20,45 \text{ A}$;

Fator de Potência: $\cos\phi = 1,00$ (considera-se a coluna 0,95, tabela 7.15, isolação PVC);

Comprimento do Circuito: $l = 15\text{m} = 0,015 \text{ km}$;

Isolação do condutor: PVC;

Tensão do circuito: 220 V;

Queda de Tensão Admissível: 2 % (ver tabela 7.14 e figura 7.7);

Queda de Tensão Unitária:

$$\Delta V_{\text{unit}} = 0,02 \cdot 220 / 20,45 \cdot 0,015 \Rightarrow \Delta V_{\text{unit}} = 14,34 \text{ V/A.km}$$

Com este valor, entramos na tabela 7.15, eletroduto PVC, circ. monofásico, fator de potência = 0,95, e encontraremos o valor 10,6 V/A.km, imediatamente inferior ao calculado, que determina a bitola do condutor de cobre de 4 mm².

Conclusão:

Dimensionamento do condutor fase pela capacidade de corrente: 4 mm².

Dimensionamento do condutor fase pela queda de tensão: 4 mm².

Condutor fase adotado: 4 mm²(caso encontrem-se valores diferentes entre o critério da capacidade de corrente e o critério do limite da queda de tensão, adota-se sempre a maior seção nominal).

Condutor de proteção adotado: 4 mm² (determinado a partir da seção nominal do condutor fase, conforme a tabela 7.22).

2- Consideremos agora que o circuito alimentador do exemplo 2 tenha um comprimento de 60 metros (distância do Quadro de Medidores ao QL-101) e que a calha seja de perfis metálicos. Dimensione o circuito.

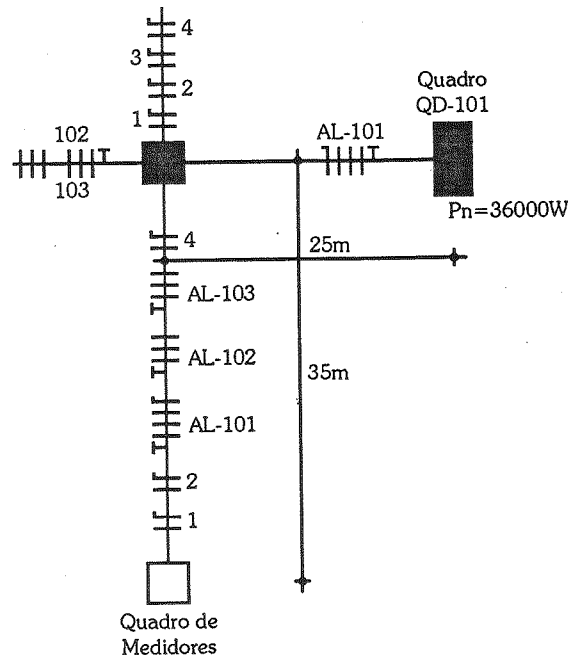


Figura 7.9 - Circuitos Alimentadores e Circuitos Terminais

Solução:

Dados:

Maneira de Instalar: Calha fechada;

Material: Magnético;

Tipo do Circuito: Trifásico;

Corrente de Projeto: $I_p = 114,10 \text{ A}$;

Fator de Potência: $FP = 0,90$;

Comprimento do circuito: $l = 60 \text{ m} = 0,06 \text{ km}$;

Tensão do Circuito: 220 V ;

Isolação do Condutor: XLPE;

Queda de Tensão Admissível: 2% ;

Queda de Tensão Unitária:

$$DV_{unit} = 0,02 \cdot 220 / 114,10 \cdot 0,06 \Rightarrow \Delta V_{unit} = 0,64 \text{ V/A.km.}$$

Com este valor entramos na tabela 7.16 e encontramos o valor $0,62 \text{ V/A.km}$ (imediatamente inferior ao calculado), que leva ao condutor de cobre bitola nominal 70 mm^2 .

Conclusão:

Dimensionamento pela capacidade de corrente: 95 mm^2 .

Dimensionamento pela queda de tensão: 70 mm^2 .

Condutor fase adotado: 95 mm² (adota-se o maior valor).

Condutor neutro adotado: 50 mm² (o condutor neutro é dimensionado a partir do condutor fase, conforme a tabela 7.21).

Condutor de proteção adotado: 50 mm² (ver tabela 7.22).

Cálculo da Queda de Tensão pelo Método dos Watts . metros

Podemos utilizar um método simplificado para calcular a queda de tensão em circuitos com pequenas cargas. Este método pode ser aplicado a circuitos terminais de instalações de casas e apartamentos, nos quais temos diversas cargas (lâmpadas e tomadas) distribuídas ao longo dos mesmos.

O Método tem por base o emprego das Tabelas Watts . metros (Tabela 7.18 e Tabela 7.19), referentes respectivamente às tensões 110 V e 220 V. O valor, $\Sigma(P(\text{Watts}) \cdot l(\text{metros}))$, representa:

P: Potência da carga, em Watts;

l: Distância, em metros, da carga ao quadro que alimenta a mesma.

Este método considera apenas a resistência ôhmica dos condutores, não considerando a reatância indutiva, que também influi na queda de tensão. Também parte do princípio de que a corrente elétrica distribui-se de forma homogênea pelo condutor, o que não ocorre na realidade, devido ao efeito pelicular, criado pelo campo magnético gerado pela própria corrente elétrica que passa pelo condutor. Como consequência do efeito pelicular, a densidade de corrente é maior na periferia do condutor. Para condutores com diâmetros relativamente pequenos, a reatância indutiva e o efeito pelicular têm influência limitada e este método produz uma aproximação aceitável.

Fundamento do Método:

- A queda de tensão percentual pode ser expressa por:

$$\Delta V_{(\%)} = \frac{R \cdot I}{V} \cdot 100$$

- Para circuitos a dois condutores temos:

$$R = \frac{2 \cdot l}{\sigma \cdot S}$$

- Substituindo I e R na primeira equação, teremos:

$$\Delta V_{(\%)} = \frac{\frac{2 \cdot l}{\sigma \cdot S} \cdot \frac{P}{V}}{V} \cdot 100 = \frac{200 \cdot l \cdot P}{\sigma \cdot S \cdot V^2}$$

- logo:

$$P \cdot l = \frac{\sigma \cdot S \cdot V^2 \cdot \Delta V_{(\%)}}{200}$$