APÊNDICE

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Com a finalidade de mostrar ao leitor o desenvolvimento completo de um projeto de instalação elétrica industrial numa seqüência racional de cálculo, será apresentado a seguir, a título de exemplo, um projeto de complexo fabril a partir da planta de *layout* das máquinas, da planta de arquitetura das dependências administrativas e de produção e do corte do galpão industrial, conforme as plantas em anexo.

Escolheu-se como exemplo uma planta industrial de produção têxtil, compreendendo basicamente todos os setores essenciais à fabricação de fio e tecido. Claro que várias simplificações foram adotadas em relação ao projeto real, visando, sobretudo, facilitar a compreensão do leitor.

Em seguida, conforme a planta 1, serão discriminadas as cargas por setor de produção, através da Tabela 1.

O sistema de alimentação da companhia fornecedora de energia elétrica apresenta as seguintes características:

- tensão nominal: 13,80 kV;
- tensão de fornecimento: 13,80 kV;
- potência de curto-circuito no ponto de alimentação da indústria (ponto de entrega): 176,5 MVA;
- tipo de sistema: radial sem recurso;
- resistência de contato do cabo com o solo: nula.

A indústria tem um plano de expansão que prevê a construção de um segundo andar sobre a parte correspondente à área administrativa, estimando uma carga adicional de 180 kVA.

TABELA 1
Quadro da carga motriz

Setor	Setor de Produção	Setor Elétrico	N.º de Motores	Potência Unitária (cv)	Corrente (A)	Fator de Potência	I_p/I_n	η	Potência Total (cv)
A	Batedores	CCM1	2	30	43,3	0,83	6,8	0,90	60
B	Cardas		6	7,5	11,9	0,81	7,0	0,84	45
C	Cortadeiras	CCM2	6	5	7,9	0,83	7,0	0,83	30
D	Manteiras		9	3	5,5	0,73	6,6	0,82	27
F	Passadores	CCM3	7	10	15,4	0,85	6,6	0,86	70
G	Encontreiras		3	5	7,9	0,83	7,0	0,83	15
E	Maçaroqueiras	CCM5	3	7,5	11,9	0,81	7,0	0,84	22,5
H	Teares		6	15	26,0	0,75	7,8	0,86	90
I	Conicaleiras	CCM6	8	20	28,8	0,86	6,8	0,88	160
J	Filatórios I	CCM8	10	25	35,5	0,84	6,7	0,90	250
K	Filatórios II	CCM7	10	30	43,3	0,83	6,8	0,90	300
M	Central de climatização	CCM4	2	250	327,4	0,87	6,8	0,95	500

Nota: As potências aqui atribuídas aos motores nem sempre estão de acordo com os valores normais das potências dos motores acoplados às suas respectivas máquinas de uma indústria têxtil real.

A partir dos dados anteriores postos à disposição do projetista, o que geralmente na prática é o que se consegue do responsável pelo projeto industrial, ou de informações obtidas dos catálogos das máquinas previstas, pode-se iniciar o desenvolvimento do projeto da instalação.

1 DIVISÃO DA CARGA EM BLOCOS

A carga foi dividida em blocos de acordo com o traçado da planta 1, em anexo. Esta etapa exige elevados conhecimentos do projetista e não há métodos rígidos a serem adotados. Veja a Seção 1.4.1.

2 LOCALIZAÇÃO DOS QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO

De acordo com os pré-requisitos, estabelecidos na Seção 1.4.2, os quadros de distribuição, chamados doravante de Centro de Controle de Motores (CCM), foram localizados conforme a planta 1.

3 LOCALIZAÇÃO DO QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO GERAL

Por conveniência técnica deverá ficar localizado no interior da subestação, conforme a Seção 1.4.3.

4 LOCALIZAÇÃO DA SUBESTAÇÃO

Conforme a planta de *layout*, o local da subestação, como muitas vezes acontece na prática, já vem preestabelecido, dando, nestes casos, poucas alternativas de mudanças ao projetista. A planta 1 mostra o local onde deverá ser instalada a subestação.

5 DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Pelo porte da indústria, será adotado o sistema de distribuição radial sem recurso, tanto no primário como no secundário.

6 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA PREVISTA

A carga é composta somente de iluminação, tomadas e motores.

6.1 CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO

6.1.1 Iluminação da Área Administrativa

6.1.1.1 Controle de qualidade

a) Tomadas de uso geral (veja a Seção 1.8.2.2)

$S = 16 \times 6 + 7{,}2 \times 4{,}8 = 130{,}5\ m^2$

- Para os primeiros 37 m^2: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{130{,}5 - 37}{37} = 2{,}5 \approx 3 \rightarrow 3 \times 3 = 9$ tomadas
- Total: $8 + 9 = 17$ tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro. Tratando-se de uma área irregular, será determinada a área equivalente, ou seja:

$$L = \frac{130,5}{16} = 8,15 \text{ m}$$

$$A \times B = 16 \times 8,15 \text{ m}$$

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{16 \times 8,15}{5,2 \times (16 + 8,15)} = 1,0$$

H_{tp} = $H_{te} - H_{pt} = 6 - 0,8 = 5,2$ m (luminária fixada no teto que corresponde ao forro branco no plano de fixação das luminárias, cujo detalhe não está mostrado em planta)
H_{te} = 6 m (altura do teto)
H_{pt} = 0,80 m (altura do plano de trabalho)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,47 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TCK – 427: 4 × 40 W)
E = 800 lux (Tabela 2.6 – Indústrias têxteis: inspeção – valor adotado superior ao mínimo recomendado, em função da exigência da tarefa a ser executada no ambiente)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{800 \times 130,5}{0,47 \times 0,75} = 296.170 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{296.170}{4 \times 3.000} = 24,6 \rightarrow N_{lu} = 27 \text{ luminárias (número que melhor se acomoda no recinto, conforme a planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

Área: 16 × 6 m
$16 = 6 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,2$ m
$6 = 2Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 2,0$ m
Área: 7,2 × 4,8 m
$7,2 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 1,8$ m
$4,8 = 3 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 1,2$ m

Observar que é necessário acomodar esteticamente as luminárias, pois, na direção da maior dimensão, as distâncias das luminárias entre as paredes divergem, ou seja, 2,2 m e 1,8 m, respectivamente.

6.1.1.2 Laboratório

a) Tomadas de uso geral

$S = 8,2 \times 4 = 32,8 \text{ m}^2$

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Total: 6 tomadas de altura 1,30 m (valor atribuído).

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8,2 \times 4}{3 \times (8,2 + 4)} = 0,89 \approx 1,0$$

H_{tp} = $H_{te} - H_{pt} = 3,8 - 0,80 = 3$ m (luminária diretamente fixada no teto)
H_{te} = 3,8 m (altura do teto: veja planta 4)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,47 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TCK – 427: 4 × 40 W)
E = 600 lux (valor adotado)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{600 \times 32,8}{0,47 \times 0,75} = 55.829 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{55.829}{4 \times 3.000} = 4,6 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$8{,}2 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2{,}7$ m
$4 = 2 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 1{,}3$ m

6.1.1.3 Armazém de produto acabado

a) Tomadas

As tomadas, se usadas, devem ser do tipo blindado, por motivo de segurança. Serão adotadas quatro tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{16 \times 14}{5{,}2 \times (16 + 14)} = 1{,}43 \approx 1{,}50$$

$H_{tp} = H_{te} - H_{pt} = 6 - 0{,}8 = 5{,}2$ m (luminária fixada no teto: detalhe não mostrado em planta)
$F_{dl} = 0{,}75$ (Tabela 2.8 – luminária comercial)
$F_u = 0{,}56$ (Tabela 2.9 – luminária do tipo TCK – 427: 4 × 40 W)
$E = 200$ lux (valor adotado)
$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{200 \times 224}{0{,}56 \times 0{,}75} = 106.666 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{106.666}{4 \times 3.000} = 8{,}8 \rightarrow N_{lu} = 9 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$16 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 5{,}3$ m
$14 = 2 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 4{,}6$ m

6.1.1.4 Armazém de matéria-prima

Como este galpão é igual ao de produto acabado, serão adotados os mesmos valores anteriormente calculados.

6.1.1.5 Subestação

$S = 14 \times 10 = 140$ m²

a) Tomadas de uso geral

Serão adotadas 4 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{14 \times 10}{4{,}3 \times (14 + 10)} = 1{,}35 \approx 1{,}25$$

$H_{tp} = H_{te} - H_{pt} = 5{,}1 - 0{,}8 = 4{,}3$ m (luminária diretamente fixada no teto, conforme planta 4)
$F_{dl} = 0{,}75$ (Tabela 2.8 – luminária comercial)
$F_u = 0{,}52$ (Tabela 2.9 – luminária do tipo TCK – 427: 4 × 40 W)
$E = 150$ lux (valor adotado)
$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{150 \times 140}{0{,}52 \times 0{,}75} = 53.846 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{53.846}{4 \times 3.000} = 4{,}8 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

Deverá obedecer à disposição prática mostrada na planta 2. Não se deve localizar nenhuma luminária sobre os equipamentos de média tensão.

6.1.1.6 Banheiro coletivo feminino (1)

a) Tomadas de uso geral

Serão adotadas 4 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 5{,}3}{3 \times (8 + 5{,}3)} = 1{,}06 \approx 1{,}00$$

$H_{lp} = H_{te} - H_{pt} = 3{,}8 - 0{,}8 = 3$ m (luminária diretamente fixada no teto)
$H_{te} = 3{,}8$ m (altura do teto: veja planta 4)
$F_{dl} = 0{,}75$ (Tabela 2.8 – luminária comercial)
$F_u = 0{,}50$ (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
$E = 200$ lux (valor adotado)
$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)
$S = 8 \times 5{,}3 = 42{,}4$ m²

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{200 \times 42{,}4}{0{,}50 \times 0{,}75} = 22.613 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{22.613}{2 \times 3.000} = 3{,}7 \rightarrow N_{lu} = 4 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2{,}0$ m

6.1.1.7 Banheiro coletivo masculino (2)

a) Tomadas de uso geral

Serão adotadas 3 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 3{,}2}{3 \times (8 + 3{,}2)} = 0{,}76 \approx 0{,}80$$

$H_{lp} = 3$ m (luminária diretamente fixada no teto)
$F_{dl} = 0{,}75$ (Tabela 2.8 – luminária comercial)
$F_u = 0{,}43$ (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
$E = 200$ lux (valor adotado)
$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)
$S = 8 \times 3{,}2 = 25{,}6$ m²

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{200 \times 25{,}6}{0{,}43 \times 0{,}75} = 15.875 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{15.875}{2 \times 3.000} = 2{,}6 \rightarrow N_{lu} = 3 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2{,}6$ m (foram obedecidas às condições físicas locais)

6.1.1.8 Diretoria técnica

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 7 = 56$ m²

Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas

Para o restante da área: $\frac{56 - 37}{37} = 0{,}51 \rightarrow 3$ tomadas

Total: 8 + 3 = 11 tomadas

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 7}{3 \times (8 + 7)} = 1{,}24 \approx 1{,}25$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{df} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,56 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 300 lux (acima do valor mínimo estabelecido na Tabela 2.5 – escritório: sala de trabalho)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{df}} = \frac{300 \times 56}{0{,}56 \times 0{,}75} = 40.000 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{40.000}{2 \times 3.000} = 6{,}6 \rightarrow N_{lu} = 8 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2{,}0$ m
$7 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3{,}5$ m

No banheiro, será adotada a seguinte carga:

- tomadas: 1 × 100 W
- pontos de luz: 1 × 40 W

Estes valores serão adotados para todos os banheiros privativos.

6.1.1.9 Diretoria de produção

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 6{,}5 - 1{,}0 \times 1{,}5 = 50{,}5$ m²

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{50{,}5 - 37}{37} = 0{,}36 \rightarrow 3$ tomadas
- Total: 8 + 3 = 11 tomadas (serão adotadas 10 tomadas).

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 6{,}5}{3 \times (8 + 6{,}5)} = 1{,}19 \approx 1{,}25$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,56 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 300 lux (valor adotado)
ψ = 3.000 lúmens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{300 \times 50,5}{0,56 \times 0,75} = 36.071 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{36.071}{2 \times 3.000} = 6 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0$ m
$6,5 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,2$ m

6.1.1.10 Presidência

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 5,5 - 1,0 \times 1,5 = 42,5$ m²

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{42,5 - 37}{37} = 0,14 \rightarrow 3$ tomadas
- Total: 8 + 3 = 11 tomadas

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 5,5}{3 \times (8 + 5,5)} = 1,0$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,50 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 300 lux (valor adotado)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{300 \times 42,5}{0,50 \times 0,75} = 34.000 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{34.000}{2 \times 3.000} = 5,6 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0$ m
$5,5 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 2,7$ m

6.1.1.11 Departamento administrativo

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 6 = 48$ m²

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{48 - 37}{37} = 0,29 \rightarrow 3$ tomadas
- Total: 8 + 3 = 11 tomadas

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 6}{3 \times (8 + 6)} = 1{,}14 \approx 1{,}25$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,56 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 250 lux (Tabela 2.6 – escritório: sala de trabalho)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 48}{0{,}56 \times 0{,}75} = 28.571 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{28.571}{2 \times 3.000} = 4{,}7 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias na planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2{,}6$ m
$6 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3{,}0$ m

6.1.1.12 Escritório

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 7 = 56$ m²

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{56 - 37}{37} = 0{,}51 \rightarrow 3$ tomadas
- Total: 8 + 3 = 11 tomadas

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 7}{3 \times (8 + 7)} = 1{,}24 \approx 1{,}25$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,56 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 250 lux (Tabela 2.6 – escritório: sala de trabalho)
ψ = 3.000 lúmens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 56}{0{,}56 \times 0{,}75} = 33.333 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{33.333}{2 \times 3.000} = 5{,}5 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias na planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2{,}6$ m
$7 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3{,}5$ m

6.1.1.13 Recepção

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 8{,}8 = 70{,}4$ m²

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas

- Para o restante da área: $\frac{70,4 - 37}{37} = 0,90 \rightarrow 3$ tomadas
- Total: $8 + 3 = 11$ tomadas

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 8,8}{3 \times (8 + 8,8)} = 1,39 \approx 1,50$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,61 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 250 lux (Tabela 2.6 – escritório: recepção)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 70,4}{0,61 \times 0,75} = 38.469 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{38.469}{2 \times 3.000} = 6,4 \rightarrow N_{lu} = 8 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias na planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0$ m
$8,8 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 4,4$ m

6.1.1.14 Sala de manutenção

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 7 = 56$ m²

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{56 - 37}{37} = 0,51 \rightarrow 3$ tomadas
- Total: $8 + 3 = 11$ tomadas

b) Tomadas de uso específico

Serão adotadas duas tomadas trifásicas de 6 kW.

c) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 7}{3 \times (8 + 7)} = 1,24 \approx 1,25$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,56 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 250 lux (valor adotado)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 56}{0,56 \times 0,75} = 33.333 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{33.333}{2 \times 3.000} = 5,5 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

c) Distância entre as luminárias

$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,6$ m
$7 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,5$ m

6.1.1.15 Sala de climatização

a) Tomadas de uso geral

$S = 8 \times 6{,}8 = 54{,}4\ m^2$

Serão adotadas duas tomadas.

b) Tomadas de uso específico

Será adotada uma tomada trifásica de 6 kW.

c) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{tp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 6{,}8}{3 \times (8 + 6{,}8)} = 1{,}22 \approx 1{,}25$$

H_{tp} = 3 m (luminária diretamente fixada no teto)
F_{dl} = 0,75 (Tabela 2.8 – luminária comercial)
F_u = 0,56 (Tabela 2.9 – luminária do tipo TMS – 426: 2 × 40 W)
E = 150 lux (valor adotado)
ψ = 3.000 lumens (fluorescente comum – Tabela 2.1)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{150 \times 54{,}4}{0{,}56 \times 0{,}75} = 19.428 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{19.428}{2 \times 3.000} = 3{,}2 \rightarrow N_{lu} = 4 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

d) Distância entre as luminárias

$8 = X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 4$ m
$6{,}8 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3{,}4$ m

6.1.2 Iluminação da Área Industrial

a) Tomadas de uso geral

$S = 66 \times 42 = 2.772\ m^2$

Serão adotadas 12 tomadas unipolares.

b) Tomadas de uso específico

Serão adotadas 10 tomadas trifásicas de 6 kW.

c) Iluminação

- Pintura do ambiente: teto claro, paredes claras e piso escuro
- Escolha da luminária e lâmpada
  - Tipo de luminária: refletor T 38 – VM Tabela 2.12
  - Categoria de manutenção: IV
  - Lâmpada adotada: vapor de mercúrio de 700 W (valor inicial)
  - Vida útil da lâmpada: 18.000 horas com queima de 100% das lâmpadas no final do período
  - Período de manutenção (limpeza) das luminárias: 12 meses
  - Período de manutenção inicial (substituição) das luminárias queimadas: 6 meses
- Tipo de ambiente do interior industrial: muito sujo (devido à poluição de pó de algodão)
- Cálculo do fator de relação

$$K = \frac{5 \times (A + B)}{A \times B} = \frac{5 \times (66 + 42)}{66 \times 42} = 0{,}194$$

- Cálculo das relações das cavidades zonais
  - Cavidade do recinto

$$R_{cr} = K \times H_{tp} = 0{,}194 \times 6{,}2 = 1{,}20$$

$H_{lp} = 7 - 0{,}80 = 6{,}2$ (luminárias com corpo de 80 cm e altura do plano de trabalho de 80 cm, de acordo com o Corte B-B′ da planta 4)

– Cavidade do piso

$R_{cp} = K \times H_{pp} = 0{,}194 \times 0{,}80 = 0{,}15$

– Cavidade do teto

$R_{ct} = K \times H_{tl} = 0{,}194 \times 0{,}80 = 0{,}15$

• Cálculo da refletância da cavidade do piso (ρ_{cp})

$\rho_{pi} = 10\%$ (piso escuro) $\rightarrow \rho_{pa} = 50\%$ (paredes claras) $\rightarrow R_{ct} = 0{,}15 \rightarrow \rho_{cp} = 10\%$ (Tabela 2.11)

• Cálculo da refletância efetiva da cavidade do teto (ρ_{ct})

$\rho_{pt} = 50\%$ (teto claro) $\rightarrow \rho_{pa} = 50\%$ (paredes claras) $\rightarrow R_{ct} = 0{,}15 \rightarrow \rho_{ct} = 49\%$ (Tabela 2.11)

• Cálculo do fator de utilização

Utilizando-se a Tabela 2.12, tem-se:

$$\frac{50-10}{0{,}72-0{,}67} = \frac{50-49}{0{,}72-F_{u1}} \rightarrow F_{u1} = 0{,}72$$

$$\frac{50-10}{0{,}67-0{,}63} = \frac{50-49}{0{,}67-F_{u2}} \rightarrow F_{u2} = 0{,}67$$

$$\frac{1-2}{0{,}72-0{,}67} = \frac{1-1{,}2}{0{,}72-F_{u}} \rightarrow F_{u} = 0{,}71$$

Para corrigir o fator de utilização, deve-se utilizar a Tabela 2.13.

$$\frac{50-10}{1{,}05-1{,}01} = \frac{50-49}{1{,}05-F_{c1}} \rightarrow F_{c1} = 1{,}05$$

$$\frac{50-10}{1{,}04-1{,}01} = \frac{50-49}{1{,}04-F_{c2}} \rightarrow F_{c2} = 1{,}04$$

$$\frac{1-2}{1{,}05-1{,}04} = \frac{1-1{,}20}{1{,}05-F_{c}} \rightarrow F_{c} = 1{,}04$$

$$F_{uc} = \frac{0{,}71}{1{,}04} = 0{,}68$$

• Cálculo do fator de depreciação do serviço da luminária

– Fator de depreciação da superfície

Categoria IV → 12 meses → Ambiente MS → $F_d = 0{,}61$ (Figura 2.30)

– Fator de depreciação das superfícies do ambiente devido à sujeira

Para 12 meses a percentagem de sujeira esperada vale 29% ≅ 30% (Figura 2.31).
Sujeira esperada de 30% → Luz direta → $R_{cr} = 1{,}20 \rightarrow F_{su} = 94\%$ (Figura 2.15)

– Fator de perda do fluxo luminoso por queima de lâmpadas

$$F_{ql} = 1 - \frac{6 \text{ meses}}{18.000 \text{ horas}} = 1 - \frac{6 \times 30 \times 24}{18.000} \times \frac{100}{100} = 0{,}76 = 76\%$$ (permitem-se, neste caso, 24% de lâmpadas queimadas, ou ainda: sempre que houver 24% de lâmpadas queimadas, estas serão substituídas, independentemente do período de limpeza das luminárias. Na prática, procura-se ajustar as duas datas para reduzir os custos de manutenção e os transtornos na operação da indústria).

A grande maioria das indústrias têxteis que o autor conhece troca as lâmpadas queimadas a cada semana ou a cada mês.

– Fator de depreciação do fluxo luminoso

Considerando-se que as lâmpadas fiquem em operação, em média, durante 50% de sua vida útil, a depreciação do fluxo luminoso vale:

50% de sua vida útil → $F_f = 0{,}91$ (Figura 2.32)

- Fator de depreciação total

$$F_{dt} = F_d \times F_s \times F_q \times F_f$$
$$F_{dt} = 0{,}61 \times 0{,}94 \times 0{,}76 \times 0{,}91 = 0{,}396$$

- Cálculo do fluxo luminoso

Como a área industrial é constituída de um ambiente único e contém vários setores de produção, cada um com nível de iluminação diferente, conforme a Tabela 2.6, será adotado o valor médio de:

$$E = 300 \text{ lux}$$

$$\phi_t = \frac{E \times S}{F_{dt} \times F_{uc}} = \frac{300 \times 2.772}{0{,}396 \times 0{,}68} = 3.088.235 \text{ lumens}$$

- Cálculo do número de projetores

$$N_{lu} = \frac{3.088.235}{35.000} = 88 \approx 84 \text{ projetores (conforme disposição adotada na planta 2)}$$

d) Distância entre as luminárias

$$66 = 13 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 4{,}7 \text{ m}$$
$$42 = 5 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 7{,}0 \text{ m}$$

6.1.3 Quadro de Carga

Com base na planta 2, pode-se sumariar o Quadro de Carga da Tabela 2. Dado o grande número de tomadas, foi considerada uma carga de 100 W por tomada.

6.2 CÁLCULO DA DEMANDA PREVISTA

A demanda total da indústria é a soma da demanda de iluminação e da área industrial.

6.2.1 Demanda dos QDLs

Para este cálculo será tomada como base a Tabela 2.

6.2.1.1 QDL1

$$P_{qdl1} = 10.200 + 9.800 + 9.800 + 30.000 = 59.800 \text{ W}$$

- Primeiros 20.000 W: 100% ..... 20.000 W
- Acima de 20.000 W: 70% ..... 27.860 W

$$P = (59.800 - 20.000) \times 0{,}70 = 27.860 \text{ W}$$
$$D_{qdl1} = 20.000 + 27.860 = 47.860 \text{ W}$$

Foi considerada a ausência de harmônicos.

6.2.1.2 QDL2

$$P_{qdl2} = 9.800 + 10.600 + 9.800 + 42.000 = 72.200 \text{ W}$$

- Primeiros 20.000 W: 100% ..... 20.000 W
- Acima de 20.000 W: 70% ..... 36.540 W

$$D_{qdl2} = 20.000 + 36.540 = 56.540 \text{ W}$$

Foi considerada a ausência de harmônicos.

6.2.1.3 QDL3

$$P_{qdl3} = 1.200 + 2.720 + 4.060 = 7.980 \text{ W}$$

6.2.1.4 QDL4

$$P_{qdl4} = 1.440 + 1.440 + 1.900 = 4.780 \text{ W}$$

6.2.1.5 QDL5

$$P_{qdl5} = 4.600 + 5.280 + 4.000 = 13.880 \text{ W}$$

6.2.1.6 QDL6

$$P_{qdl6} = 800 + 2.600 + 1.120 + 12.000 = 16.520 \text{ W}$$

6.2.2 Demanda Total do QDLs

$$D_{qdl} = D_{qdl1} + D_{qdl2} + D_{qdl3} + D_{qdl4} + D_{qdl5} + D_{qdl6}$$
$$D_{qdl} = 47.860 + 56.540 + 7.980 + 4.780 + 13.880 + 16.520$$
$$D_{qdl} = 147.560 \text{ W} = 147,56 \text{ kW}$$

Considerando um fator de potência médio de 0,90, tem-se:

$$D_{qdla} = \frac{147,56}{0,9} = 163,95 \text{ kVA}$$

$$D_{qdlr} = 163,95 \times \text{sen}(\arccos 0,90) = 71,46 \text{ kVAr}$$

6.2.3 Demanda Máxima da Área Industrial

A demanda individual de cada motor é dada pela expressão

$$D_m = \frac{P_m \times 0,736}{F_p \times \eta} \times F_{um} \text{ (kVA)}$$

D_m – demanda dos motores, em kVA
P_m – potência nominal do motor, em cv
F_{um} – fator de utilização (Tabela 1.3)
F_p – fator de potência do motor (Tabela 6.3)
η – rendimento do motor (Tabela 6.3)

- Motores de 3 cv

$$D_m = \frac{3 \times 0,736}{0,73 \times 0,82} \times 0,83 = 3,06 \text{ kVA}$$

- Motores de 5 cv

$$D_m = \frac{5 \times 0,736}{0,83 \times 0,83} \times 0,83 = 4,43 \text{ kVA}$$

- Motores de 7,5 cv

$$D_m = \frac{7,5 \times 0,736}{0,81 \times 0,84} \times 0,83 = 6,73 \text{ kVA}$$

- Motores de 10 cv

$$D_m = \frac{10 \times 0,736}{0,85 \times 0,86} \times 0,83 = 8,35 \text{ kVA}$$

- Motores de 15 cv

$$D_m = \frac{15 \times 0,736}{0,75 \times 0,86} \times 0,83 = 14,20 \text{ kVA}$$

TABELA 2
Quadro de carga de iluminação

QDLs	Circuito	Designação da Carga	Pólos	Quant.	Potência	Potência Monofásica W			Potência Trifásica
						A	B	C	W
QDL1	1	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	2	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	3	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	4	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	5	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	6	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	13	Tomadas	1	4	100	400	-	-	-
	14	Tomadas	3	4	6.000	-	-	-	24.000
	15	Reserva	3	-	6.000	-	-	-	6.000
Subtotal						10.200	9.800	9.800	30.000
QDL2	7	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	8	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	9	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	10	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	11	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	12	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	16	Tomadas	3	6	6.000	-	-	-	36.000
	17	Tomadas	1	8	100	-	800	-	-
	18	Reserva	3	-	6.000	-	-	-	6.000
Subtotal						9.800	10.600	9.800	42.000
QDL3	19	Tomadas	1	15	100	-	-	1.500	-
	20	Tomadas	1	12	100	1.200	-	-	-
	21	Iluminação	1	68	40	-	2.720	-	-
	22	Iluminação	1	64	40	-	-	2.560	-
Subtotal						1.200	2.720	4.060	-
QDL4	23	Iluminação	1	36	40	1.440	-	-	-
	24	Iluminação	1	36	40	-	1.440	-	-
	25	máquina de embalag.	1	1	1.900	-	-	1.900	-
Subtotal						1.440	1.440	1.900	-
QDL5	26	Tomadas	1	12	100	-	1.200	-	-
	27	Iluminação	1	32	40	-	1.280	-	-
	28	Iluminação	1	35	40	1.400	-	-	-
	29	Tomadas	1	18	100	-	1.800	-	-
	30	Iluminação	1	25	40	-	1.000	-	-
	31	Tomadas	1	32	100	3.200	-	-	-
	32	Iluminação	1	10	400	-	-	4.000	-
Subtotal						4.600	5.280	4.000	-
QDL6	33	Iluminação	1	12	40	-	-	480	-
	34	Iluminação	1	16	40	-	-	640	-
	35	Tomadas	1	26	100	-	2.600	-	-
	36	Iluminação	1	20	40	800	-	-	-
	37	Tomadas	3	2	6.000	-	-	-	12.000
Subtotal						800	2.600	1.120	12.000
Total						28.040	32.440	30.680	84.000

- Motores de 20 cv

$$D_m = \frac{20 \times 0,736}{0,86 \times 0,88} \times 0,85 = 16,53 \text{ kVA}$$

- Motores de 25 cv

$$D_m = \frac{25 \times 0,736}{0,84 \times 0,90} \times 0,85 = 20,68 \text{ kVA}$$

- Motores de 30 cv

$$D_m = \frac{30 \times 0,736}{0,83 \times 0,90} \times 0,85 = 25,12 \text{ kVA}$$

- Motores de 250 cv

$$D_m = \frac{250 \times 0,736}{0,87 \times 0,95} \times 0,87 = 193,68 \text{ kVA}$$

6.2.3.1 Demanda dos CCMs

6.2.3.1.1 CCM1

a) Batedores

$D_a = N_m \times D_m \times F_{sm}$
$D_a = 2 \times 25,12 \times 0,80 = 40,19$ kVA
$N_m = 2$ (número de motores: veja planta 1, em anexo)
$D_m = 25,15$ kVA
$F_{sm} = 0,80$ (veja Tabela 1.2)

b) Cardas

$D_b = 6 \times 6,73 \times 0,75 = 30,28$ kVA
$D_{ccm1} = 40,19 + 30,28 = 70,47$ kVA

6.2.3.1.2 CCM2

a) Cortadeiras

$$D_c = 6 \times 4,43 \times 0,75 = 19,93 \text{ kVA}$$

b) Manteiras

$D_d = 9 \times 3,06 \times 0,70 = 19,27$ kVA
$D_{ccm2} = 19,93 + 19,27 = 39,20$ kVA

6.2.3.1.3 CCM3

a) Passadores

$$D_f = 7 \times 8,35 \times 0,75 = 43,83 \text{ kVA}$$

b) Encontreiras

$D_g = 3 \times 4,43 \times 0,80 = 10,63$ kVA
$D_{ccm3} = 43,83 + 10,63 = 54,46$ kVA

6.2.3.1.4 CCM4

a) Climatização

$D_m = 2 \times 193,68 \times 0,90 = 348,62$ kVA
$D_{ccm4} = 348,62$ kVA

6.2.3.1.5 CCM5

a) Maçaroqueiras

$$D_f = 3 \times 6{,}73 \times 0{,}80 = 16{,}15 \text{ kVA}$$

b) Teares

$$D_h = 6 \times 14{,}20 \times 0{,}75 = 63{,}90 \text{ kVA}$$
$$D_{ccm5} = 16{,}15 + 63{,}90 = 80{,}05 \text{ kVA}$$

6.2.3.1.6 CCM6

a) Conicaleiras

$$D_f = 8 \times 16{,}53 \times 0{,}75 = 99{,}18 \text{ kVA}$$
$$D_{ccm6} = 99{,}18 \text{ kVA}$$

6.2.3.1.7 CCM7

a) Filatórios II

$$D_h = 10 \times 25{,}12 \times 0{,}65 = 163{,}28 \text{ kVA}$$
$$D_{ccm7} = 163{,}28 \text{ kVA}$$

6.2.3.1.8 CCM8

a) Filatórios I

$$D_f = 10 \times 20{,}68 \times 0{,}65 = 134{,}42 \text{ kVA}$$
$$D_{ccm8} = 134{,}42 \text{ kVA}$$

Nota: Segundo observações feitas pelo autor, na aplicação das tabelas dos fatores de simultaneidade e de utilização em várias indústrias em operação no Estado do Ceará, constatou-se que a demanda prevista em projeto, conforme a metodologia anteriormente apresentada, se aproxima bastante da demanda máxima verificada por medição registrada no medidor de demanda, durante o período de operação das indústrias pesquisadas. Verificou-se, porém, que nas indústrias têxteis, de fiação e tecelagem, havia distorção de resultados, isto é, o valor de demanda previsto em projeto era inferior aos resultados registrados no medidor de demanda dessas indústrias. Em face dessas observações, cabe alertar o projetista da necessidade de conhecer o processo de operação das indústrias antes de decidir aplicar os fatores de simultaneidade na carga motriz. Como regra geral, para as indústrias que mantêm em operação simultânea basicamente todas as máquinas de produção, como é o caso das indústrias têxteis, onde a curva de carga é aproximadamente plana, durante um ciclo completo de atividade somente devem ser aplicados os fatores de utilização. No entanto, para fins de exemplificação, o autor resolveu aplicar, por completo, a metodologia de cálculo da demanda máxima prevista para as cargas motrizes.

6.2.3.2 Demanda total dos CCMs

$$D_{ccm} = D_{ccm1} + D_{ccm2} + D_{ccm3} + D_{ccm4} + D_{ccm5} + D_{ccm6} + D_{ccm7} + D_{ccm8}$$
$$D_{ccm} = 70{,}47 + 39{,}20 + 54{,}46 + 348{,}62 + 80{,}05 + 99{,}18 + 163{,}28 + 134{,}42$$
$$D_{ccm} = 989{,}69 \text{ kVA}$$

6.2.4 Demanda Máxima Coincidente da Indústria

$$D_{ind} = D_{qdl} + D_{ccm} + D_{exp} = 163{,}95 + 989{,}68 + 180$$
$$D_{exp} = 180 \text{ kVA (demanda de expansão prevista)}$$
$$D_{ind} = 1.333 \text{ kVA}$$

7 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DA SUBESTAÇÃO

$P_{ss} = 2 \times 750 = 1.500$ kVA

A potência máxima sobejante da subestação vale:

$P = 1.500 - 1.333 = 167$ kVA

8 FATOR DE POTÊNCIA

8.1 CÁLCULO DO FATOR DE POTÊNCIA PREVISTO

8.1.1 Determinação das Potências Ativa e Reativa por Setor de Produção

a) CCM1

$30 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}83$
$7{,}5 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0{,}81$
$P_a = 2 \times 30 \times 0{,}736 + 6 \times 7{,}5 \times 0{,}736 = 44{,}16 + 33{,}12 = 77{,}28$ kW
$P_r = 44{,}16 \times \text{tg arccos } 0{,}83 + 33{,}12 \times \text{tg, arccos } 0{,}81 = 53{,}65$ kVAr

b) CCM2

$3 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}73$
$5 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0{,}83$
$P_a = 9 \times 3 \times 0{,}736 + 6 \times 5 \times 0{,}736 = 19{,}87 + 22{,}08 = 41{,}95$ kW
$P_r = 19{,}87 \times \text{tg arccos } 0{,}73 + 22{,}08 \times \text{tg, arccos } 0{,}83 = 33{,}44$ kVAr

c) CCM3

$5 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}83$
$10 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0{,}85$
$P_a = 7 \times 10 \times 0{,}736 + 3 \times 5 \times 0{,}736 = 51{,}52 + 11{,}04 = 62{,}56$ kW
$P_r = 51{,}52 \times \text{tg arccos } 0{,}85 + 11{,}04 \times \text{tg, arccos } 0{,}83 = 39{,}34$ kVAr

d) CCM4

$250 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}87$
$P_a = 2 \times 250 \times 0{,}736 = 368{,}00$ kW
$P_r = 368 \times \text{tg arccos } 0{,}87 = 208{,}55$ kVAr

e) CCM5

$7{,}5 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}81$
$15 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0{,}75$
$P_a = 3 \times 7{,}5 \times 0{,}736 + 6 \times 15 \times 0{,}736 = 16{,}56 + 66{,}24 = 82{,}80$ kW
$P_r = 16{,}56 \times \text{tg arccos } 0{,}81 + 66{,}24 \times \text{tg, arccos } 0{,}75 = 70{,}40$ kVAr

f) CCM6

$20 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}86$
$P_a = 8 \times 20 \times 0{,}736 = 117{,}76$ kW
$P_r = 117{,}76 \times \text{tg arccos } 0{,}86 = 69{,}87$ kVAr

g) CCM7

$30 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}83$
$P_a = 10 \times 30 \times 0{,}736 = 220{,}80$ kW
$P_r = 220{,}80 \times \text{tg arccos } 0{,}83 = 148{,}37$ kVA

h) CCM 8

$25 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0{,}84$
$P_a = 10 \times 25 \times 0{,}736 = 184{,}00$ kW
$P_r = 184{,}00 \times \text{tg arccos } 0{,}84 = 118{,}85$ kVAr

i) Carga de iluminação

Como todos os reatores são compensados, está-se estimando o fator de potência médio de toda a carga de iluminação e tomadas igual a 0,90.

P_a = 147.560 W = 147,56 kW (já calculado na Seção 6.2.2)
P_r = 147,56 × tg arccos 0,90
P_r = 71,46 kVAr

j) Fator de potência médio da carga total

$P_{ta} = \Sigma P_{pa}$ = 77,28 + 41,95 + 62,56 + 368,00 + 82,80 + 117,76 + 220,80 + 184,00 + 147,56
P_{ta} = 1.302,71 kW
$P_{tr} = \Sigma P_r$ = 53,65 + 33,44 + 39,34 + 208,55 + 70,40 + 69,87 + 148,37 + 118,85 + 71,46
P_{tr} = 813,93 kW

$$F_p = \cos \text{arctg} \frac{P_{tr}}{P_{ta}} = \cos \text{arctg} \frac{813,93}{1.302,71}$$

F_p = 0,84

8.2 CÁLCULO DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência deve ser elevado para 0,92, devendo-se manter aproximadamente fixo com a operação contínua do banco de capacitores, já que o fator de carga da indústria é muito elevado.

$P_c = P_{ta} \times (\text{tg}\psi_1 - \text{tg}\psi_2)$
ψ_1 = arccos 0,84 = 32,8°
ψ_2 = arccos 0,92 = 23,0°
P_c = 1.302,71 × (tg 32,8 − tg 23,0) = 286 kVAr

8.3 POTÊNCIA NOMINAL DO BANCO DE CAPACITORES

$$N_{bc} = \frac{286}{50} = 5,7 \rightarrow N_{bc} = 6$$
P_{bc} = 6 × 50 = 300 kVAr

9 DETERMINAÇÃO DA SEÇÃO DOS CONDUTORES E ELETRODUTOS

Foi considerado que a temperatura ambiente é de 30°C.

9.1 CIRCUITOS TERMINAIS DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS

Todos os condutores são de cobre, isolados em PVC/70°C, e embutidos em eletrodutos. Os eletrodutos aparentes são de ferro galvanizado (série extra), enquanto os eletrodutos embutidos nas paredes são de PVC, classificação B. A queda máxima de tensão admitida é de 2%.

- Circuitos de 1 a 12: iluminação (circuito em eletroduto aparente)
  - Capacidade de corrente

$$I_c = \frac{P_c}{V \times \cos\psi} = \frac{4.900}{220 \times 0,90} = 24,7 \text{ A}$$

I_c = 24,7 A → S_c = 4 mm² (Tabela 3.6 – para 2 condutores carregados – referência: B1 da Tabela 3.4 – método de instalação 3 – condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente e de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma)

– Fator de correção para agrupamento

$N_{cir} = 4 \rightarrow F_a = 0{,}65$ (Tabela 3.15)

Foi considerado o trecho de eletroduto de subida do QDL1 até a primeira luminária (circuitos 1 – 2 – 3 – 4).

$$I_c = \frac{24{,}7}{0{,}65} = 38 \text{ A} \rightarrow S_c = 6 \text{ mm}^2$$

– Queda da tensão (para a condição mais severa: 53 m)

De forma simplificada e de acordo com a Eq. (3.16), tem-se:

$$S_c = \frac{200 \times \rho \times L_c \times I_c}{V \times \Delta V\%} = \frac{200 \times (1/56) \times 53 \times 24{,}7}{220 \times 2} = 10{,}6 \text{ mm}^2$$

– Condutor adotado: $S_c = 16$ mm² (fase e neutro)
– Condutor de proteção: $S_p = 16$ mm²

Ou ainda pela Tabela 3.11

$P_c = 5000 \text{ W} \rightarrow L_c = 60 \text{ m} \rightarrow S_c = 16 \text{ mm}^2$

– Eletroduto para cada linha de luminárias

Através da Tabela 3.48, obtém-se a seção externa dos condutores, ou seja:

$S_c = 5 \times 37{,}4 = 187 \text{ mm}^2 \rightarrow$ (Tabela 3.46 – coluna: > 3 cabos – extra) $\rightarrow \phi_{el} = 1''$

– Eletroduto de subida dos circuitos 1 – 2 – 3 – 4

$S_{el} = 5 \times 4 \times 37{,}4 = 748 \text{ mm}^2 \rightarrow$ (Tabela 3.46 – coluna: > cabos – extra) $\rightarrow \phi_{el} = 2''$

• Circuito 13: tomadas monofásicas (circuito em eletroduto aparente)

$P_c = 400 \text{ W} \rightarrow I_c = 1{,}8 \text{ A} \rightarrow S_c = 2{,}5 \text{ mm}^2$ (valor mínimo)
$S_p = 2{,}5 \text{ mm}^2$

– Fator de correção para agrupamento

$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}8$

$$I_c = \frac{1{,}8}{0{,}80} = 2{,}5 \text{ A}$$

Em função da seção $S_c = 16$ mm² do circuito 14 adiante calculado, que deve ocupar o mesmo eletroduto, a seção do circuito 13 será $S_c = 6$ mm², o que caracteriza um grupo de *cabos semelhantes*. De acordo com a Seção 3.5.1.1.4.3 (a) do Capítulo 3, os condutores do circuito 13 não devem ser contados para compor o número de conduzirem apenas 5% de sua capacidade de corrente, ou seja: $\frac{1{,}8}{36} \times 100 = 5\%$.

– Eletroduto

$S_{el} = 3 \times 18{,}8 = 56{,}4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1/2''$ (utilizado nas derivações)

• Circuito 14: tomadas trifásicas (circuito em eletroduto aparente)
– Capacidade de corrente

$$I_c = \frac{P_c}{V \times \cos\psi} = 4 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 4 \times 10{,}12 = 40{,}5 \text{ (cabos de saída do QDL1)}$$

$I_c = 40{,}5 \text{ A} \rightarrow S_c = 10 \text{ mm}^2$ (referência: método de instalação 3 – Tabela 3.4 – coluna B1 para três condutores carregados da Tabela 3.6)

– Queda da tensão (para a condição mais severa: 25 m e 3 tomadas)

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \ (R \times \cos\phi + X \times \text{sen}\phi)}{10 \times N_{cp} \times V_{ff}}$$

arccos 0,90 = 25,84°

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times 3 \times 10{,}12 \times 25 \times (2{,}2221 \times \cos 25{,}84 + 0{,}1207 \times \text{sen } 25{,}84)}{10 \times 1 \times 380} = 0{,}71\%$$

Os valores de R e X são dados na Tabela 3.22.
De forma simplificada, tem-se:

$$S_c = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{V \times \Delta V\%} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times (50/2) \times 3 \times 10{,}12}{380 \times 2} = 3{,}0 \text{ mm}^2$$ (veja o circuito na planta 2)

- Condutor de fase adotado: $S_c = 10$ mm²
- Condutor de proteção: $S_p = 10$ mm²
- Eletroduto: circuito 14

$S_{el} = 4 \times 37{,}4 + 3 \times 18{,}8 = 206 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$

- Circuito 15: reserva
- Circuito 16: tomadas trifásicas
- Capacidade de corrente

$$I_c = \frac{P_c}{V \times \cos\psi} = 6 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 6 \times 10{,}12 = 60{,}7 \text{ A}$$ (cabos de saída do QDL2)

$I_c = 60{,}6 \text{ A} \rightarrow S_c = 16 \text{ mm}^2$ (método de instalação 3 – Tabela 3.4 – coluna B1 para 3 condutores carregados da Tabela 3.4)

- Fator de correção para agrupamento

$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80$

$$\frac{60{,}7}{0{,}80} = 75{,}8 \rightarrow S_c = 25 \text{ mm}^2$$

- Queda da tensão (para a condição mais severa: 25 m e 4 tomadas)

$$S_c = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{V \times \Delta V\%} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times (50/2) \times 4 \times 10{,}1}{380 \times 2} = 4{,}1 \text{ mm}^2$$ (veja o circuito na planta 2)

- Condutor adotado: $S_c = 25$ mm²
- Condutor de proteção: $S_p = 16$ mm²
- Eletroduto: circuito 16

$S_{el} = 3 \times 56{,}7 + 1 \times 37{,}4 + 3 \times 27{,}3 = 289{,}4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 11/4''$
$S_{el} = 3 \times 56{,}7 + 1 \times 37{,}4 = 207{,}5 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$

- Circuito 17: tomadas monofásicas

A partir deste ponto a seção dos condutores será determinada de forma expedita, utilizando-se a Tabela 3.11. Será omitido doravante o cálculo da seção dos eletrodutos. O leitor deve seguir o mesmo método anterior. O valor de L_c é tomado pela metade do comprimento em planta do circuito que corresponde ao centro de carga. Será aplicado o método de instalação 1 – Tabela 3.4 e o método de referência A1.

$P_c = 800 \text{ W} \rightarrow I_c = 4{,}0 \text{ A} \rightarrow L_c = 20 \text{ m} \rightarrow S_c = 2{,}5 \text{ mm}^2$ (valor mínimo)

Como os circuitos 16 e 17 estão no mesmo eletroduto, a seção mínima do circuito 17 vale $S_c = 10$ mm², o que resulta um eletroduto de $\phi_{el} = 1/2''$. Como também os condutores do circuito 17 conduzem apenas 19% da capacidade nominal dos condutores, logo não será aplicado nenhum fator de agrupamento.

- Circuito 18: reserva
- Circuito 19: tomadas

$P_c = 1.500\ \text{W} \rightarrow I_c = 7{,}5\ \text{A} \rightarrow L_c = 17\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo)
$S_p = 2{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 20: tomadas

$P_c = 1.200\ \text{W} \rightarrow I_c = 6{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 10\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo)
$S_p = 2{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 21: iluminação

$P_c = 2.720\ \text{W} \rightarrow I_c = 13{,}7\ \text{A} \rightarrow L_c = 8\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$
$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{13{,}7}{0{,}80} = 17{,}1\ \text{A} \rightarrow L_c = 8\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$

De acordo com a Seção 13.1.3 deste Apêndice, o condutor deve ter seção $S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$.

- Circuito 22 (iluminação):

$P_c = 2.560\ \text{W} \rightarrow I_c = 12{,}9\ \text{A} \rightarrow L_c = 9\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$
$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 23: iluminação

$P_c = 1.440\ \text{W} \rightarrow I_c = 7{,}2\ \text{A} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$
$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 24: iluminação

$P_c = 1.440\ \text{W} \rightarrow I_c = 7{,}2\ \text{A} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$
$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 25 (máquina de embalagem)

$P_c = 1.900\ \text{W} \rightarrow I_c = 9{,}5\ \text{A} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo)
$S_p = 2{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 26: tomadas

$P_c = 1.200\ \text{W} \rightarrow I_c = 6{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 18\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo)
$S_p = 2{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 27: iluminação

$P_c = 1.280\ \text{W} \rightarrow I_c = 6{,}4\ \text{A} \rightarrow L_c = 17\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$
$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 28: iluminação

$P_c = 1.400\ \text{W} \rightarrow I_c = 7{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 15\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$

$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{6{,}3}{0{,}80} = 7{,}8\ \text{A} \rightarrow L_c = 15\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$

$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 29: tomadas

$P_c = 1.800\ \text{W} \rightarrow I_c = 9{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 15\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo)

$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{9{,}0}{0{,}80} = 11{,}2\ \text{A} \rightarrow L_c = 15\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2\ \text{(valor mínimo)}$$

- Circuito 30: iluminação

$P_c = 1.000\ \text{W} \rightarrow I_c = 5\ \text{A} \rightarrow L_c = 25\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$

$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{5{,}0}{0{,}80} = 6{,}2\ \text{A} \rightarrow L_c = 25\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$

$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$

- Circuito 31: tomadas

$P_c = 3.200\ \text{W} \rightarrow I_c = 16{,}1\ \text{A} \rightarrow L_c = 35\ \text{m} \rightarrow S_c = 4\ \text{mm}^2$

$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{16{,}1}{0{,}80} = 20\ \text{A} \rightarrow L_c = 35\ \text{m} \rightarrow S_c = 6\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 6\ \text{mm}^2$$

- Circuito 32: iluminação

$$P_c = 4.000\ \text{W} \rightarrow I_c = 20{,}2\ \text{ou}\ 2.800\ \text{W} \rightarrow L_c = 60\ \text{m} \rightarrow I_c = 14{,}1\ \text{A} \rightarrow S_c = 10\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 10\ \text{mm}^2$$

O valor de 2.800 W corresponde à parte do circuito mais carregada (veja planta 2).

- Circuito 33: iluminação

$$P_c = 480\ \text{W} \rightarrow I_c = 2{,}4\ \text{A} \rightarrow L_c = 15\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$
$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{2{,}4}{0{,}80} = 3{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 15\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$$

- Circuito 34: iluminação

$$P_c = 640\ \text{W} \rightarrow I_c = 3{,}2\ \text{A} \rightarrow L_c = 10\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$
$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{3{,}2}{0{,}80} = 4{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 10\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$$

- Circuito 35: tomadas

$$P_c = 2.600\ \text{W} \rightarrow I_c = 13{,}1\ \text{A} \rightarrow L_c = 10\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2\ \text{(valor mínimo)}$$
$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{13{,}1}{0{,}80} = 16{,}3\ \text{A} \rightarrow L_c = 10\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 2{,}5\ \text{mm}^2$$

- Circuito 36: iluminação

$$P_c = 800\ \text{W} \rightarrow I_c = 4{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 13\ \text{m} \rightarrow S_c = 1{,}5\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 1{,}5\ \text{mm}^2$$

- Circuito 37: tomadas trifásicas

$$P_c = 12.000\ \text{W} \rightarrow I_c = 20{,}2\ \text{A} \rightarrow L_c = 12\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2\ \text{(valor mínimo)}$$
$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0{,}80 \rightarrow I_c = \frac{20{,}2}{0{,}80} = 25{,}0\ \text{A} \rightarrow L_c = 12\ \text{m} \rightarrow S_c = 2{,}5\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 2{,}5\ \text{mm}^2$$

De acordo com a Seção 13.1.6 deste Apêndice, o condutor deve ter seção:

$$S_c = 4\ \text{mm}^2$$
$$S_p = 4\ \text{mm}^2$$

9.2 CIRCUITOS TERMINAIS DOS MOTORES

Condições de todos os circuitos para os condutores de fase, neutro e de proteção: condutor unipolar em PVC/70°C embutido em eletroduto de PVC e queda de tensão máxima permitida de 2%. O menor eletroduto utilizado deve ser de 1/2". Os eletrodutos serão de PVC, classificação B. Os eletrodutos serão enterrados sob o piso (método de instalação 61A – método de referência D). Admitir que a resistividade térmica do solo é de 2,5 K · m/W. Como não é permitido instalar condutor nu no interior de eletroduto, o condutor de proteção é da mesma característica do condutor de fase.

9.2.1 CCM1

9.2.1.1 Motor A: 30 cv

a) Condutores de fase

– Capacidade de condução de corrente

$I_c = 43{,}3\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 10\ \text{m}^2$ (Tabela 3.4 – método de instalação n.º 61 A – referência D)

– Limite da queda de tensão

arccos 0,83 = 33,90°

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times 43{,}3 \times 5 \times 25 \times (2{,}2221 \times \cos 33{,}90 + 0{,}1207 \times \text{sen } 33{,}90)}{10 \times 1 \times 380} = 0{,}18\%$$

Os valores de R e X são dados na Tabela 3.22.

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 5 \times 43{,}3}{2 \times 380} = 0{,}88\ \text{mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 10\ \text{mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 10\ \text{mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 10\ \text{mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{ei} = 3 \times S_{ecf} + 1 \times S_{ecp}$
$S_{ei} = 3 \times 50{,}2 + 1 \times 50{,}2 = 200{,}8\ \text{mm}^2$ (Tabela 3.46 – classificação B – 3 cabos: $> 40\%$) $\rightarrow \phi_{ei} = 1''$
$S_{ecf} = 50{,}2\ \text{mm}^2$ (Tabela 3.48)
S_{ecf} – seção externa do condutor fase
S_{ecp} – seção externa do condutor de proteção
$S_{cp} = 10\ \text{mm}^2$

9.2.1.2 Motor B: 7,5 cv

a) Condutores de fase

– Capacidade de condução da corrente

$I_c = 11{,}9\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo permitido)

– Fator de correção de agrupamento

$N_{ch} = 6 \rightarrow F_a = 0{,}57$

$$I_c = \frac{11{,}9}{0{,}57} = 20{,}8\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$$

– Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 30 \times 11{,}9}{2 \times 380} = 1{,}45\ \text{mm}^2 \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2{,}5\ \text{mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{ei} = 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 112{,}8 \rightarrow \phi_{ei} = 3/4''$
$S_{ecf} = 28{,}2\ \text{mm}^2$ (Tabela 3.48)

d) Eletrodutos de distribuição

– Trecho 1 – 2

$S_{ei} = 6 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 535{,}8\ \text{mm}^2$ (Tabela 3.46 – classificação B – 3 cabos: $> 40\%$) $\rightarrow \phi_{ei} = 1\ 1/2''$

– Trecho 2 – 3

$S_{ei} = 4 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 366{,}6\ \text{mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1\ 1/4''$

– Trecho 3 – 4

$S_{el} = 2 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 197{,}4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$

9.2.2 CCM2

9.2.2.1 Motor C: 5 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

  $I_c = 7{,}9 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\text{mm}^2$ (valor mínimo permitido)

- Fator de correção de agrupamento

  $N_{ctr} = 15 \rightarrow F_a = 0{,}45$

$$I_c = \frac{7{,}9}{0{,}45} = 17{,}5 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 25 \times 7{,}9}{2 \times 380} = 0{,}80 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2{,}5 \text{ mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{el} = 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 112{,}8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3/4''$

9.2.2.2 Motor D: 3 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução da corrente

  $I_c = 5{,}5 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$ (valor mínimo permitido)

- Fator de correção de agrupamento

  $N_{ctr} = 15 \rightarrow F_a = 0{,}45$

$$I_c = \frac{5{,}5}{0{,}45} = 12{,}2 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 26 \times 5{,}5}{2 \times 380} = 0{,}58 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2{,}5 \text{ mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{el} = 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 112{,}8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3/4''$

d) Eletrodutos de distribuição

– Trecho 1 – 2

$S_{el} = 15 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 1.297{,}2 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2\ 1/2''$

– Trecho 2 – 3

$S_{el} = 7 \times 3 \times 28{,}2 + 2 \times 28{,}2 = 620{,}4\ \text{mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2''$

– Trecho 3 – 4, 2 – 5, 6 – 7 e 8 – 9

$S_{el} = 2 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 197{,}4\ \text{mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$

– Trecho 2 – 6

$S_{el} = 7 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 620{,}4\ \text{mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2''$

– Trecho 6 – 8

$S_{el} = 3 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 282\ \text{mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1\ 1/4''$

9.2.3 CCM3

9.2.3.1 Motor F: 10 cv

a) Condutores de fase

Capacidade de condução de corrente

$I_c = 15{,}4\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo permitido)

- Fator de correção de agrupamento

$N_{cir} = 7 \rightarrow F_a = 0{,}54$

$$I_c = \frac{15{,}4}{0{,}54} = 28{,}5\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 4\ \text{mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 20 \times 15{,}4}{2 \times 380} = 1{,}2\,\text{mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 4\ \text{mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 4\ \text{mm}^2 \rightarrow S_{cf} = 4\ \text{mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{el} = 3 \times 36{,}3 + 1 \times 36{,}3 = 145{,}2\ \text{mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$

9.2.3.2 Motor G: 5 cv

a) Condutores de fase

– Capacidade de condução da corrente

$I_c = 7{,}9\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$ (valor mínimo permitido)

– Fator de correção de agrupamento

$N_{cir} = 3 \rightarrow F_a = 0{,}70$

$$I_c = \frac{7{,}9}{0{,}70} = 11{,}2\ \text{A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 17 \times 7{,}9}{2 \times 380} = 0{,}54\,\text{mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 2{,}5\ \text{mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2{,}5\ \text{mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{ei} = 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 112{,}8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 3/4''$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$S_{ei} = 7 \times 3 \times 36{,}3 + 1 \times 36{,}3 = 798{,}6 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 2''$

- Trecho 3 – 4

$S_{ei} = 3 \times 3 \times 36{,}3 + 1 \times 36{,}3 = 363 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1\ 1/4''$

- Trecho 1 – 5

$S_{ei} = 3 \times 3 \times 28{,}2 + 1 \times 28{,}2 = 282 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1\ 1/4''$

9.2.4 CCM4

9.2.4.1 Motor M: 250 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 327{,}4 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 300 \text{ mm}^2$ (método de instalação 61 A – referência D)

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 10 \times 327{,}4}{2 \times 380} = 13{,}3 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 300 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 300 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 150 \text{ mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{ei} = 3 \times S_{ecf} + 1 \times S_{ecp}$
$S_{ecf} = 683{,}5 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.48)
$S_{ecp} = 359{,}6 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.48)
$S_{ei} = 3 \times 683{,}5 + 1 \times 359{,}6 = 2.410{,}1 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 3\ 1/2''$ (aço carbono extra)

9.2.5 CCM5

9.2.5.1 Motor E: 7,5 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 11{,}9 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$ (valor mínimo permitido)

- Fator de correção de agrupamento

$N_{cir} = 9 \rightarrow F_a = 0{,}50$

$$I_c = \frac{11{,}9}{0{,}50} = 23{,}8 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2{,}5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 20 \times 11{,}9}{2 \times 380} = 0{,}96 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 4 \text{ mm}^2$

Veja nota da Seção 9.2.5.2.

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 4 \text{ mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{ei} = 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 145,2 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1''$

9.2.5.2 Motor H: 15 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução da corrente

$I_c = 26,0 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 4 \text{ mm}^2$

- Fator de correção de agrupamento

$N_{cir} = 9 \rightarrow F_a = 0,50$

$I_c = \frac{26,0}{0,50} = 52,0 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_f} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 18 \times 26}{2 \times 380} = 1,9 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 10 \text{ mm}^2$

Nota: como não é permitido instalar no mesmo duto condutores com 4 seções de diferença, optou-se por elevar a seção dos condutores dos motores de 7,5 cv de 2,5 mm² para 4 mm², ou seja, 4, 6 e 10 mm², caracterizando assim um agrupamento de *cabos semelhantes*. Poder-se-ia optar por adotar eletrodutos separados para os motores de 7,5 e 15 cv.

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{ei} = 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 = 200,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1''$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$S_{ei} = 3 \times 3 \times 36,3 + 6 \times 3 \times 50,2 + 1 \times 36,3 + 1 \times 50,2 = 1.316,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 2\ 1/2''$

- Trecho 2 – 3

$S_{ei} = 3 \times 3 \times 36,3 + 3 \times 3 \times 50,2 + 1 \times 36,3 + 1 \times 50,2 = 865,0 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 2''$

- Trecho 3 – 4

$S_c = 3 \times 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 = 502,0 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1\ 1/2''$

- Trecho 3 – 5

$S_{ei} = 3 \times 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 363 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1\ 1/4''$

9.2.6 CCM6

9.2.6.1 Motor I: 20 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 28,8 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 4 \text{ mm}^2$

- Fator de correção de agrupamento

$N_{ch} = 8 \rightarrow F_a = 0{,}52$

$$I_c = \frac{28{,}8}{0{,}52} = 55{,}3 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 16 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 24 \times 28{,}8}{2 \times 380} = 2{,}8 \text{ mm}^2$$

Seção adotada: $S_{cf} = 16 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 16 \text{ mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{el} = 3 \times 63{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 254{,}4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1\ 1/4''$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$S_{el} = 8 \times 3 \times 63{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 1.590 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3''$

- Trecho 2 – 3

$S_{el} = 4 \times 3 \times 63{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 826{,}8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2''$

9.2.7 CCM7

9.2.7.1 Motor K: 30 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 43{,}3 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$

- Fator de correção de agrupamento

$N_{ch} = 5 \rightarrow F_a = 0{,}60$

$$I_c = \frac{43{,}3}{0{,}60} = 72{,}1 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 22 \times 43{,}3}{2 \times 380} = 3{,}8 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 16 \text{ mm}^2$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{el} = 3 \times 91{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 338{,}4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1\ 1/4''$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1–2 e 1–3

$S_{el} = 5 \times 3 \times 91{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 1.437{,}6 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3''$

- Trecho 2–4 e 3–5

$S_{el} = 3 \times 3 \times 91{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 888 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2\ 1/2''$

9.2.8 CCM8

9.2.8.1 Motor J: 25 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 35{,}5$ A $\rightarrow$ $S_{cf} = 6$ mm²

- Fator de correção de agrupamento

$N_{cir} = 10 \rightarrow F_a = 0{,}50$

$$I_c = \frac{35{,}5}{0{,}50} = 71{,}0 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 23 \times 35{,}5}{2 \times 380} = 3{,}3 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 25$ mm²

b) Condutor de proteção

$S_{cf} = 25$ mm² $\rightarrow$ $S_{cp} = 16$ mm²

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$S_{el} = 3 \times 91{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 338{,}4$ mm² $\rightarrow \phi_{el} = 1\ 1/4''$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1–2

$S_{el} = 10 \times 3 \times 91{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 2.811{,}6$ mm² $\rightarrow \phi_{el} = 3\ 1/2''$ (eletroduto de aço carbono – Tabela 3.46)

- Trecho 2–3

$S_{el} = 6 \times 3 \times 91{,}6 + 1 \times 63{,}6 = 1.712{,}4$ mm² $\rightarrow \phi_{el} = 3''$

9.3 CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS CCMs E QDLs

Condições de todos os circuitos para os condutores de fase, neutro e de proteção: condutor unipolar, isolação em PVC/70°C, instalado em canaleta fechada (método de instalação 61A – referência D da Tabela 3.4) e queda de tensão máxima permitida de 3%. Os cabos são instalados na canaleta, juntos sem espaçamento entre eles. Cada circuito será instalado no interior da canaleta na formação trifólio, amarrado com abraçadeira plástica e identificado através de plaquetas. Para cada circuito será determinada a seção do condutor de proteção para que se possa, no final, indicar a maior seção do condutor de proteção como sendo uma única seção para cada linha de dutos, ou seja: 1) canaleta na direção QGF–CCM8; 2) canaleta na direção QGF–CCM6. O cabo de proteção é isolado e da mesma natureza que os condutores de fase.

9.3.1 Circuito QGF-QDL1

Será instalado na canaleta 1 (veja planta 1).

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl1} = \frac{D_{qdl1}}{\sqrt{3} + V_{ff}} = \frac{47.860}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 80{,}7 \text{ A} \rightarrow S_{qdl1} = 25 \text{ mm}^2$$ (Tabela 3.6, de acordo com o método de instalação 61A – Tabela 3.4 – método de referência D)

- Fator de correção de agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

  N_{cond} = 3 circuitos × 4 condutores carregados (QDL1 – QDL3 – QDL4) + 2 circuitos × 3 condutores carregados (CCM7 – CCM8) = 12 + 6 = 18 condutores carregados.

Como o CCM7 e o CCM8 deverão ser alimentados cada um por um circuito com dois condutores por fase, logo o valor N_{cond} = 18 + 6 = 24 condutores carregados. Veja Seção 9.3.13 deste Apêndice.

N_{cond} = 24 condutores

$$N_{cr} = \frac{24}{3} = 8 \rightarrow F_a = 0{,}52$$

$$I_{qdl1} = \frac{80{,}7}{0{,}52} = 155{,}1 \text{ A} \rightarrow S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2$$ (Tabela 3.6 – referência D para 3 condutores carregados)

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdl1} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 32 \times 80{,}7}{3 \times 380} = 7{,}0 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl1} = 50 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pqdl1} = 50 \text{ mm}^2$

9.3.2 Circuito QGF-QDL2

Será instalado na canaleta 2 (veja planta 1).

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl2} = \frac{D_{qdl2}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{56.540}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 95{,}4 \text{ A} \rightarrow S_{qdl2} = 35 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

  N_{cond} = 3 circuitos × 4 condutores carregados (QDL2 – QDL5 – QDL6) + 6 circuitos × 3 condutores carregados (CCM1 – CCM2 – CCM3 – CCM4 – CCM5 – CCM6) = 12 + 18 = 30 condutores carregados.

Como os CCM4 e CCM6 deverão ser alimentados cada um por um circuito, respectivamente com quatro e dois condutores por fase. Logo, o valor N_{cond} = 30 + 12 = 42 condutores carregados. Veja Seções 9.3.10 e 9.3.12 deste Apêndice.

$$N_{cr} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0{,}45$$

$$I_{qdl2} = \frac{95{,}4}{0{,}45} = 212 \text{ A} \rightarrow S_{qdl2} = 150 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdl2} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 92 \times 95{,}4}{3 \times 380} = 23{,}8 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{qdl2} = 150 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{qdl2} = 150\ mm^2 \rightarrow S_{nqdl2} = 70\ mm^2$

c) Condutor de proteção

$S_{qdl2} = 150\ mm^2 \rightarrow S_{pqdl2} = 70\ mm^2$

9.3.3 Circuito QGF-QDL3

$$I_{qdl3} = \frac{D_{qdl3}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{7.980}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90}$$

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl3} = \frac{D_{qdl3}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{7.980}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 13,4\ A \rightarrow S_{qdl3} = 2,5\ mm^2$$ (valor mínimo permitido)

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$N_{cond} = 24$ condutores

$$N_{cir} = \frac{24}{3} = 8 \rightarrow F_a = 0,52$$

$$I_{qdl3} = \frac{13,4}{0,52} = 25,7\ A \rightarrow S_{qdl3} = 4\ mm^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdl3} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 48 \times 13,4}{3 \times 380} = 1,74\ mm^2$$

– Seção adotada: $S_{qdl3} = 4\ mm^2$

b) Condutor neutro

$S_{qdl3} = 4\ mm^2 \rightarrow S_{nqdl3} = 4\ mm^2$

c) Condutor de proteção

$S_{qdl3} = 4\ mm^2 \rightarrow S_{pqdl3} = 4\ mm^2$

9.3.4 Circuito QGF-QDL4

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl4} = \frac{D_{qdl4}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{4.780}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 8,0\ A \rightarrow S_{qdl4} = 2,5\ mm^2$$ (valor mínimo permitido)

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$N_{cond} = 24$ condutores

$$N_{cir} = \frac{24}{3} = 8 \rightarrow F_a = 0,52$$

$$I_{qdl4} = \frac{8,0}{0,52} = 15,3\ A \rightarrow S_{qdl6} = 2,5\ mm^2$$ (valor mínimo permitido)

Como os condutores de seção de 2,5 mm² conduzem 30% de sua capacidade nominal de corrente, podem não ser considerados para efeito do fator de agrupamento.

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdl4} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 29 \times 8,0}{3 \times 380} = 0,62 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{qdl4} = 2,5$ mm² (valor mínimo)

b) Condutor neutro

$S_{qdl4} = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl4} = 2,5 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{qdl4} = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl4} = 2,5 \text{ mm}^2$

9.3.5 Circuito QGF-QDL5

a) Condutores de fase

• Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl5} = \frac{D_{qdl5}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{13.880}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 23,4 \text{ A} \rightarrow S_{qdl5} = 2,5 \text{ mm}^2$$

• Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$N_{ccocl} = 42$ condutores

$$N_{cir} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_{qdl5} = \frac{23,4}{0,45} = 52 \text{ A} \rightarrow S_{qdl5} = 10 \text{ mm}^2$$

– Limite da queda de tensão

$$S_{qdl5} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 18 \times 23,4}{3 \times 380} = 1,1 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{qdl5} = 10$ mm²

b) Condutor neutro

$S_{qdl5} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl5} = 10 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{qdl5} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl5} = 10 \text{ mm}^2$

9.3.6 Circuito QGF-QDL6

a) Condutores de fase

• Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl6} = \frac{D_{qdl6}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{16.520}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 27,8 \text{ A} \rightarrow S_{qdl6} = 4 \text{ mm}^2$$

• Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$N_{cond} = 42$ condutores

$$N_{cir} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_{qdl6} = \frac{27,8}{0,45} = 61,7 \text{ A} \rightarrow S_{qdl6} = 16 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdf6} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 64 \times 27{,}8}{3 \times 380} = 4{,}8 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{qdf6} = 16 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{qdf6} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdf6} = 16 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{qdf6} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pqdf6} = 16 \text{ mm}^2$

9.3.7 Circuito QGF-CCM1

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$S_{ccm1} = 2 \times 43{,}3 + 6 \times 11{,}9 = 158{,}0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm1} = 95 \text{ mm}^2$ (método de instalação n.º 61A – referência D)

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$N_{cond} = 42$ condutores

$$N_{cir} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0{,}45$$

$$I_{ccm1c} = \frac{158{,}0}{0{,}45} = 351{,}1 \text{ A} \rightarrow S_{ccm1c} = 400 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm1} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 17 \times 158{,}0}{3 \times 380} = 7{,}2 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm1} = 400 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{ccm1} = 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm1} = 240 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm1} = 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm1} = 240 \text{ mm}^2$

9.3.8 Circuito QGF-CCM2

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_{ccm2} = 6 \times 7{,}9 + 9 \times 5{,}5 = 96{,}9 \text{ A} \rightarrow S_{ccm2} = 35 \text{ mm}^2$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm2c} = \frac{96{,}6}{0{,}45} = 214{,}6 \text{ A} \rightarrow S_{ccm2c} = 150 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm2} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 47 \times 96{,}5}{3 \times 380} = 12{,}3 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm2} = 150 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{ccm2} = 150\ mm^2 \rightarrow S_{nccm2} = 70\ mm^2$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm2} = 150\ mm^2 \rightarrow S_{pccm2} = 70\ mm^2$

9.3.9 Circuito QGF-CCM3

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_{ccm3} = 7 \times 15,4 + 3 \times 7,9 = 131,5\ A \rightarrow S_{ccm3} = 70\ mm^2$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm3c} = \frac{131,5}{0,45} = 292,2\ A \rightarrow S_{ccm3c} = 240\ mm^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm3} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 61 \times 131,5}{3 \times 380} = 21,7\ mm^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm3} = 240\ mm^2$

b) Condutor neutro

$S_{ccm3} = 240\ mm^2 \rightarrow S_{nccm3} = 120\ mm^2$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm3} = 240\ mm^2 \rightarrow S_{pccm3} = 120\ mm^2$

9.3.10 Circuito QGF-CCM4

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_{ccm4} = 2 \times 327,4 = 654,8\ A \rightarrow S_{ccm4} = 2 \times 300\ mm^2$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm4c} = \frac{654,8}{0,45} = 1.445,1\ A$$

$$\frac{I_{ccm4c}}{4} = \frac{1.445,1}{4} = 361,2\ A \rightarrow S_{ccm4c} = 4 \times 400\ mm^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm4} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 75 \times 654,8/4}{3 \times 380} = 33,3\ mm^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm4} = 4 \times 400\ mm^2$

b) Condutor neutro

$S_{ccm4} = 4 \times 400\ mm^2 \rightarrow S_{nccm4} = 2 \times 400\ mm^2$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm4} = 4 \times 400\ mm^2 \rightarrow S_{pccm4} = 2 \times 400\ mm^2$

9.3.11 Circuito QGF-CCM5

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm5} = 3 \times 11{,}9 + 6 \times 26 = 191{,}7 \text{ A} \rightarrow S_{ccm5c} = 120 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm5c} = \frac{191{,}7}{0{,}45} = 426{,}0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm5c} = 500 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm5} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_g} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 97 \times 191{,}7}{3 \times 380} = 50{,}4 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm5} = 500 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm5} = 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm5} = 185 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm5} = 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm5} = 240 \text{ mm}^2$$

9.3.12 Circuito QGF-CCM6

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm6} = 8 \times 28{,}8 = 230{,}4 \text{ A} \rightarrow S_{ccm6} = 150 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm6c} = \frac{230{,}4}{0{,}45} = 512{,}0 \text{ A} \rightarrow \frac{512}{2} = 256 \text{ A} \rightarrow S_{ccm6c} = 2 \times 185 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm6} = \frac{173{,}2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_g} = \frac{173{,}2 \times (1/56) \times 115 \times 230{,}4/2}{3 \times 380} = 35{,}9 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm6} = 2 \times 185 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm6} = 2 \times 185 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm6} = 185 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm6} = 2 \times 185 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm6} = 185 \text{ mm}^2$ (adotado 240 mm² em conformidade com o condutor de proteção do CCM4)

9.3.13 Circuito QGF-CCM7

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm7} = 10 \times 43{,}3 = 433 \text{ A} \rightarrow S_{ccm7} = 500 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$$I_{ccm7c} = \frac{433}{0{,}52} = 832{,}6 \text{ A}$$

$$\frac{832,6}{2} = 416,3 \text{ A} \rightarrow S_{ccm7c} = 2 \times 500 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm1} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 57 \times 433/2}{3 \times 380} = 33,4 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm7} = 2 \times 500 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{ccm7} = 2 \times 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm7} = 1 \times 500 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm7} = 2 \times 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm7} = 1 \times 500 \text{ mm}^2$

9.3.14 Circuito QGF-CCM8

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_{ccm8} = 10 \times 35,5 = 355,0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm8} = 400 \text{ mm}^2$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$$I_{ccm8c} = \frac{355}{0,52} = 682 \text{ A}$$

$$\frac{682}{2} = 341,0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm8c} = 2 \times 400 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm8} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 87 \times 355,0/2}{3 \times 380} = 41,9 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{ccm8} = 2 \times 400 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$S_{ccm8} = 2 \times 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm8} = 400 \text{ mm}^2$

c) Condutor de proteção

$S_{ccm8} = 2 \times 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm8} = 400 \text{ mm}^2$

9.3.15 Seção do Condutor de Proteção

Em cada linha de duto será instalado um condutor de proteção que atenda à condição de maior seção dentre aquelas determinadas para cada circuito.

a) Canaleta na direção QGF-CCM8

$S_{cp} = 1 \times 500 \text{ mm}^2$ (condutor nu)

b) Canaleta na direção QGF-CCM6

$S_{cp} = 2 \times 400 \text{ mm}^2$ (condutor nu)

9.3.16 Dimensionamento das Canaletas

Os cabos serão arranjados no interior das canaletas, conforme já explanado na Seção 9.3. As dimensões da canaleta serão determinadas através do seu perímetro P_c que os cabos irão ocupar.

a) Canaleta na direção QGF-CCM8

$$P_c = 3 \times S_{95} + 1 \times S_{50N} + 3 \times S_4 + 1 \times S_{4N} + 3 \times S_{2,5} + 1 \times S_{2,5N} + 2 \times 3 \times S_{500} + 1 \times S_{500N} + 2 \times 3 \times S_{400} + 1 \times S_{400N} + 1 \times S_{500}$$

$$P_c = 3 \times 246 + 151,7 + 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 + 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 + 2 \times 3 \times 1.092,7 + 2 \times 1.092,7 + 2 \times 3 \times 881,40 + 1 \times 881,40 + 1 \times 1.092,7$$

$$S_{can} = 16.059,1 \text{ mm}^2$$

$$S_{can} = \frac{16.059,1}{0,30} = 53.530 \text{ mm}^2$$

- Dimensões da canaleta: 500 × 500 mm (valor adotado) → $P_c = 500 \times 500 = 250.000$ mm².

Nota.: os cabos devem ser arranjados no interior da canaleta de forma que os conjuntos em trifólio sejam reunidos em agrupamento de *cabos semelhantes*.

b) Canaleta na direção QGF-CCM6

$$P_c = 3 \times S_{150} + 1 \times S_{70N} + 3 \times S_{10} + 1 \times S_{10N} + 3 \times S_{16} + 1 \times S_{16N} + 3 \times S_{400} + 1 \times S_{240N} + 3 \times S_{150} + 1 \times S_{70N} + 3 \times S_{240} + 1 \times S_{120N} + 4 \times 3 \times S_{400} + 2 \times S_{400N} + 3 \times S_{500} + 1 \times S_{185} + 2 \times 3 \times S_{185} + 1 \times S_{185N} + 2 \times S_{400N}$$

$$P_c = 3 \times 359,60 + 188,7 + 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 + 3 \times 63,6 + 1 \times 63,6 + 3 \times 881,4 + 559,9 + 3 \times 359,6 + 188,7 + 3 \times 559,9 + 1 \times 289,5 + 4 \times 3 \times 881,4 + 2 \times 881,4 + 3 \times 1.092,7 + 1 \times 444,8 + 2 \times 3 \times 444,8 + 1 \times 444,8 + 2 \times 881,4$$

$$S_{can} = 29.102,4 \text{ mm}$$

$$S_{can} = \frac{29.102,4}{0,30} = 97.008 \text{ mm}^2$$

- Dimensões da canaleta: 500 × 500 mm (valor adotado) → $P_c = 500 \times 500 = 250.000$ mm² (veja Nota da Seção 9.3.16(a) deste Apêndice)

O leitor deve observar que o custo dos circuitos de distribuição poderiam ser reduzidos se adotado um arranjo dos condutores em que esses condutores fossem espaçados de um valor igual ao dobro do seu diâmetro. Neste caso, não haveria necessidade de aplicar o fator de agrupamento que elevou em muito a seção dos condutores. As canaletas, no entanto, deveriam ser redimensionadas.

9.4 CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO DO QGF

Condições dos circuitos para os condutores de fase, neutro e de proteção: condutor unipolar, isolação em XLPE/90°C, embutido em canaleta fechada e queda de tensão máxima permitida de 2%. Os condutores são distribuídos nas paredes e fundo da canaleta com um espaçamento igual ao dobro do seu diâmetro. Será adotado, portanto, o método de instalação 61A – método de referência D.

a) Condutores de fase para cada transformador

- Capacidade de condução da corrente

$$I_{tr1} = I_{tr2} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.139,5 \text{ A} \rightarrow \frac{1.139,5}{3} = 379,8 \text{ A} \rightarrow S_{tr1} = S_{tr2} = 3 \times 300 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento

Os cabos serão fixados espaçados no interior da canaleta com o dobro do seu diâmetro. Portanto, não haverá necessidade de aplicar nenhum fator de agrupamento.

- Limite da queda de tensão

$$S_{tr1} = S_{tr2} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 16 \times (1.139,5/3)}{2 \times 380} = 24,7 \text{ mm}^2$$

b) Condutor neutro

$$S_{ntr1} = S_{ntr2} = 2 \times 300 \text{ mm}^2$$

Adotou-se a seção dos condutores neutros com a mesma seção dos condutores de fase para facilidade de manutenção de emergência, quando, por ocasião de um defeito num dos condutores de fase, este possa ser permutado por um condutor neutro.

- Condutor de proteção

$$S_{tr1} = S_{tr2} = 4 \times 300 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{ptr1} = S_{ptr2} = 500 \text{ mm}^2$$

10 DETERMINAÇÃO DA IMPEDÂNCIA DOS CIRCUITOS

Serão consideradas somente as impedâncias dos circuitos desde o ponto de entrega de energia (inclusive) até os terminais dos circuitos de distribuição, isto porque as correntes de curto-circuito serão também calculadas até os referidos pontos, onde estão localizadas todas as proteções dos motores e os dispositivos de comando e seccionamento. Serão escolhidas as seguintes bases:

$$P_b = 750 \text{ kVA}$$
$$V_b = 380 \text{ V} = 0{,}38 \text{ kV}$$
$$I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3} \times V_b} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 0{,}38} = 1.139 \text{ A}$$

10.1 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL

10.1.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_{ss} \approx 0$$

b) Reatância

$$X_{ss} = \frac{P_b}{P_{cc}} = \frac{750}{176.500} = j0{,}00425pu$$

$$P_{cc} = 176{,}5 \text{ MVA} = 176.500 \text{ kVA}$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ss} = 0 + j0{,}00425pu$$

10.1.2 Impedância de Seqüência Zero

Tratando-se de um transformador Δ primário e Y aterrado no secundário, tem-se:

a) Resistência

$$R_{s0s} = 0$$

b) Reatância

$$X_{s0s} = 0$$

10.2 TRANSFORMADOR DE FORÇA

10.2.1 Impedância de Seqüência Positiva

$$Z_{pt} = 5{,}5\% = 0{,}055pu$$
$$P_{cu} = 8.500 \text{ W}$$

a) Resistência

$$R_{pt} = \frac{P_{cu}}{10 \times P_{nt}} = \frac{8.500}{10 \times 750} = 1,133 = 0,011pu \text{ (nas bases de 750 kVA e 0,38 kV)}$$

b) Reatância

$$X_{nt} = \sqrt{0,055^2 - 0,011^2} = 0,053pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{nt} = 0,011 + j0,053pu$$

10.2.2 Impedância de Seqüência Zero

Como, em geral, a impedância de seqüência zero dos transformadores é muito próxima do valor da impedância de seqüência positiva, pode-se adotar:

a) Resistência

$$R_{t0t} = 0,011pu$$

b) Reatância

$$X_{at0t} = j0,053pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{t0t} = 0,011 + j0,053pu$$

10.3 Circuitos TR1-QGF ou TR2-QGF

10.3.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_{tc1} = \left(\frac{R_{at\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{cp}}\right) \times \left(\frac{P_b}{1.000 \times V_b^2}\right)$$

Sendo o termo $\frac{P_b}{1.000 \times V_b^2}$ constante, tem-se:

$$K = \frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} = \frac{750}{1.000 \times 0,38^2} = 5,193$$

$$R_{tc1} = \left(\frac{R_{at\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{cp}}\right) \times K = \left(\frac{0,0781 \times 12}{1.000 \times 3}\right) \times 5,193 = 0,00162pu$$

b) Reatância

$$X_{tc1} = \left(\frac{X_{at\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{cp}}\right) \times \left(\frac{P_b}{1.000 \times V_b^2}\right)$$

$$X_{tc1} = \left(\frac{X_{at\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1068 \times 12}{1.000 \times 3}\right) \times 5,193 = 0,00221pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{tc1} = 0,00162 + j0,00221pu$$

10.3.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{uc01} = \left(\frac{R_{u0\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{cp}}\right) \times K = \left(\frac{1,8781 \times 12}{1.000 \times 3}\right) \times 5,193 = 0,03901 pu$$

b) Reatância

$$X_{uc01} = \left(\frac{X_{u0\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{2,4067 \times 12}{1.000 \times 3}\right) \times 5,193 = 0,04999 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{uc01} = 0,03901 + j0,04999 pu$$

10.4 IMPEDÂNCIA PARALELA DOS DOIS TRANSFORMADORES E SEUS RESPECTIVOS CIRCUITOS

10.4.1 Impedância de Seqüência Positiva

$$\vec{Z}_{upp} = \frac{(\vec{Z}_{at} + \vec{Z}_{uc1}) \times (\vec{Z}_{at} + \vec{Z}_{uc1})}{(\vec{Z}_{at} + \vec{Z}_{uc1}) + (\vec{Z}_{at} + \vec{Z}_{uc1})} = \frac{\vec{Z}_1 \times \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2}$$

$$\vec{Z}_1 = \vec{Z}_2 = 0,011 + j0,053 + 0,00162 + j0,00221$$

$$\vec{Z}_1 = \vec{Z}_2 = 0,01262 + j0,05521 pu$$

$$\vec{Z}_{upt} = \frac{(0,01262 + j0,05521) \times (0,01262 + j0,05521)}{(0,01262 + j0,05521) + (0,01262 + j0,05521)}$$

$$\vec{Z}_{upt} = 0,00631 + j0,02760 pu$$

10.4.2 Impedância de Seqüência Zero

$$\vec{Z}_{u0pt} = \frac{(\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01}) \times (\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01})}{(\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01}) + (\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01})}$$

ou ainda:

$$\vec{Z}_{u0pt} = \frac{\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01}}{2} = \frac{0,011 + j0,053 + 0,03901 + j0,04999}{2}$$

$$\vec{Z}_{u0pt} = \frac{0,05001 + j0,10229}{2} = 0,02500 + j0,05149 pu$$

10.5 BARRAMENTOS DO QGF

Serão adotadas barras retangulares de cobre com 1/fase.

10.5.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_{ub1} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{nbp}}\right) \times K = \left(\frac{0,0273 \times 3,7}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,00052 pu$$

L_{b1} = 7,4 m (considerou-se metade da barra, admitindo-se que a alimentação da mesma seja efetuada no seu ponto central)

- Dimensão da barra: I_n = 1.139 A → 80" × 10" (Tabela 3.38 – valor inicial)

b) Reatância

$$X_{ab1} = \left(\frac{X_{ad1} \times L_c}{1.000 \times N_{nbp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1530 \times 3,7}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,00294\,pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ab1} = 0,00052 + j0,00294\,pu$$

10.5.2 Impedância de Seqüência Zero

Não será considerada, ou seja:

$$\vec{Z}_{ab01} = 0$$

10.6 IMPEDÂNCIA ACUMULADA ATÉ OS TERMINAIS DE SAÍDA DO QGF

10.6.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_{at} = 0,00631 + 0,00062 = 0,00693pu$$

b) Reatância

$$X_{at} = j0,00425 + j0,02760 + j0,00294 = j0,03479pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{at} = 0,00693 + j0,03479\,pu$$

10.6.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{at0} = 0,02500pu$$

b) Reatância

$$X_{at0} = j0,05149pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{at0} = 0,02500 + j0,05149\,pu$$

10.7 QGF-QDL1

10.7.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_a = \left(\frac{R_{at\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,2352 \times 32}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,03908\,pu$$

b) Reatância

$$X_{a} = \left(\frac{X_{a\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1090 \times 32}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,01811 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{a} = 0,03908 + j0,01811 pu$$

10.7.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o QDL1

a) Resistência

$$R_{at} = 0,00693 + 0,03908 = 0,04601 pu$$

b) Reatância

$$X_{at} = j0,03479 + j0,01811 = j0,05290 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{at} = 0,04601 + j0,05290 pu$$

10.7.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{a0} = \left(\frac{R_{a\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2,0352 \times 32}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,33820 pu$$

b) Reatância

$$X_{a0} = \left(\frac{X_{a\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2,5325 \times 32}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,42084 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{a0} = 0,33820 + j0,42084 pu$$

10.7.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o QDL1

a) Resistência

$$R_{at0} = 0,02500 + 0,33820 = 0,36320 pu$$

b) Reatância

$$X_{at0} = j0,05149 + j0,42084 = j0,47233 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{at0} = 0,36320 + j0,47233 pu$$

10.8 QGF-QDL2

10.8.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1502 \times 92}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,07175pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1074 \times 92}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,05131pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0,07175 + j0,07131pu$$

10.8.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o QDL2

a) Resistência

$R_{ac} = 0,00693 + 0,07175 = 0,07868pu$

b) Reatância

$X_{ac} = j0,03479 + j0,05131 = j0,08610pu$

c) Impedância

$\vec{Z}_{ac} = 0,07868 + j0,08610pu$

10.8.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1,9502 \times 92}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,93171pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2,4843 \times 92}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 1,18688pu$$

c) Impedância

$\vec{Z}_{u0} = 0,93171 + j1,18688pu$

10.8.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o QDL2

a) Resistência

$R_{ac0} = 0,02500 + 0,93171 = 0,95671pu$

b) Reatância

$X_{ac0} = j0,05149 + j1,18688 = j1,23837pu$

c) Impedância

$\vec{Z}_{ac0} = 0,95671 + j1,23837pu$

10.9 QGF-QDL3

10.9.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{5{,}5518 \times 48}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 1{,}38386 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1279 \times 48}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}03188 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 1{,}38386 + j0{,}03188 pu$$

10.9.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o QDL3

a) Resistência

$R_{ut} = 0{,}00693 + 1{,}38386 = 1{,}39079 pu$

b) Reatância

$X_{ut} = j0{,}03479 + j0{,}03188 = j0{,}06667 pu$

c) Impedância

$\vec{Z}_{ut} = 1{,}39079 + j0{,}06667 pu$

10.9.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{7{,}3552 \times 48}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 1{,}83338 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2{,}8349 \times 48}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}70663 pu$$

c) Impedância

$\vec{Z}_{u0} = 1{,}83338 + j0{,}70663 pu$

10.9.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o QDL3

a) Resistência

$R_{u0t} = 0{,}02500 + 1{,}83338 = 1{,}85838\ pu$

b) Reatância

$X_{u0t} = j0{,}05149 + j0{,}70663 = j0{,}75812\ pu$

c) Impedância

$\vec{Z}_{u0t} = 1{,}85838 + j0{,}75812\ pu$

10.10 QGF-QDL4

10.10.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_{u} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{8,8882 \times 29}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 1,33853\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1345 \times 29}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,02025\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u} = 1,33853 + j0,02025\ pu$$

10.10.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o QDL4

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,00693 + 1,33853 = 1,34546\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = j0,03479 + j0,02025 = j0,05504\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 1,34546 + j0,05504\ pu$$

10.10.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{10,6882 \times 29}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 1,60961\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2,8755 \times 29}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,43304\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 1,60961 + j0,43304\ pu$$

10.10.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o QDL4

a) Resistência

$$R_{ut0} = 0,02500 + 1,60961 = 1,63461\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ut0} = j0,05149 + j0,43304 = j0,48453\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0i} = 1{,}63461 + j0{,}48453\ pu$$

10.11 QGF-QDL5

10.11.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times \mathrm{K} = \left(\frac{2{,}2221 \times 18}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}20770\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1207 \times 18}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}01128\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0{,}20770 + j0{,}01128\ pu$$

10.11.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o QDL5

a) Resistência

$$R_{uc} = 0{,}00693 + 0{,}20770 = 0{,}21463\ pu$$

b) Reatância

$$X_{uc} = j0{,}03479 + j0{,}01128 = j0{,}04607\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{uc} = 0{,}21463 + j0{,}04607\ pu$$

10.11.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times \mathrm{K} = \left(\frac{4{,}0222 \times 18}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}37597\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2{,}7639 \times 18}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}25835\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 0{,}37597 + j0{,}25835\ pu$$

10.11.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o QDL5

a) Resistência

$$R_{u0r} = 0{,}02500 + 0{,}37597 = 0{,}40097\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0r} = j0{,}05149 + j0{,}25835 = j0{,}30984\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{u0r} = 0{,}40097 + j0{,}30984\ pu$$

10.12 QGF-QDL6

10.12.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1{,}3899 \times 64}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}46193\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1173 \times 64}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}03898\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_u = 0{,}46193 + j0{,}03898\ pu$$

10.12.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o QDL6

a) Resistência

$$R_{ur} = 0{,}00693 + 0{,}46193 = 0{,}46886\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ur} = j0{,}03479 + j0{,}03898 = j0{,}07377\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{ur} = 0{,}46886 + j0{,}07377\ pu$$

10.12.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{3{,}1890 \times 64}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 1{,}05987\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2{,}7173 \times 64}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}90310\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{u0} = 1{,}05987 + j0{,}90310\ pu$$

10.12.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o QDL6

a) Resistência

$$R_{u0t} = 0{,}02500 + 1{,}05987 = 1{,}08487\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = j0{,}05149 + j0{,}90310 = j0{,}95459\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 1{,}08487 + j0{,}95459\ pu$$

10.13 QGF-CCM1

10.13.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}0608 \times 17}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}00536\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1058 \times 17}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}00934\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0{,}00536 + j0{,}00934\ pu$$

10.13.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM1

a) Resistência

$$R_{ut} = 0{,}00693 + 0{,}00536 = 0{,}01229\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = j0{,}03479 + j0{,}00934 = j0{,}04413\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 0{,}01229 + j0{,}04413\ pu$$

10.13.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{1{,}8608 \times 17}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}16427\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{2{,}3757 \times 17}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}20972\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 0{,}16427 + j0{,}20972\ pu$$

10.13.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM1

a) Resistência

$$R_{u0} = 0{,}02500 + 0{,}16427 = 0{,}18927\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = j0{,}05149 + j0{,}20972 = j0{,}26121\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 0{,}18927 + j0{,}26121\ pu$$

10.14 QGF-CCM2

10.14.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1502 \times 47}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}03665\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1074 \times 47}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}02621\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0{,}03665 + j0{,}02621\ pu$$

10.14.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM2

a) Resistência

$$R_{u1} = 0{,}00693 + 0{,}03665 = 0{,}04358\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u1} = j0{,}03479 + j0{,}02621 = j0{,}06100\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u1} = 0{,}04358 + j0{,}06100\ pu$$

10.14.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1{,}9502 \times 47}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}47598\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{2,4843 \times 47}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,60634\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{u0} = 0,47598 + j0,60634\ pu$$

10.14.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM2

a) Resistência

$$R_{u0r} = 0,02500 + 0,47598 = 0,50098\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0r} = j0,05149 + j0,60634 = j0,65783\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{u0r} = 0,50098 + j0,65783\ pu$$

10.15 QGF-CCM3

10.15.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{0,0958 \times 61}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,03034\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1070 \times 61}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,03389\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_u = 0,03034 + j0,03389\ pu$$

10.15.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM3

a) Resistência

$$R_{ur} = 0,00693 + 0,03034 = 0,03727\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ur} = j0,03479 + j0,03389 = j0,06868\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{ur} = 0,03727 + j0,06868\ pu$$

10.15.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8958 \times 61}{1.000 \times 1} \right) \times 5,193 = 0,60053\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,4312 \times 61}{1.000 \times 1} \right) \times 5,193 = 0,77013\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 0,60053 + j0,77013\ pu$$

10.15.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM3

a) Resistência

$$R_{u0r} = 0,02500 + 0,60053 = 0,62553\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0r} = j0,05149 + j0,77013 = j0,82162\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0r} = 0,62553 + j0,82162\ pu$$

10.16 QGF-CCM4

10.16.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0608 \times 75}{1.000 \times 4} \right) \times 5,193 = 0,00592\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1058 \times 75}{1.000 \times 4} \right) \times 5,193 = 0,01030\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0,00592 + j0,01030\ pu$$

10.16.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM4

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,00693 + 0,00592 = 0,01285\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = j0,03479 + j0,01030 = j0,04509\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 0,01285 + j0,04509\ pu$$

10.16.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1,8608 \times 75}{1.000 \times 4}\right) \times 5,193 = 0,18118\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2,3757 \times 75}{1.000 \times 4}\right) \times 5,193 = 0,23131\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 0,18118 + j0,23131\ pu$$

10.16.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM4

a) Resistência

$$R_{u0t} = 0,02500 + 0,18118 = 0,20618\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = j0,05149 + j0,23131 = 0,28280\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 0,20618 + j0,28280\ pu$$

10.17 QGF-CCM5

10.17.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,0507 \times 97}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,02553\ pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1051 \times 97}{1.000 \times 1}\right) \times 5,193 = 0,05294\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0,02553 + j0,05294\ pu$$

10.17.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM5

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,00693 + 0,02553 = 0,03246\ pu$$

b) Reatância

$$X_{at} = j0{,}03479 + j0{,}05294 = j0{,}08773\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{at} = 0{,}03246 + j0{,}08773\ pu$$

10.17.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{a0} = \left(\frac{R_{a\Omega 1} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1{,}8550 \times 97}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 0{,}93440\ pu$$

b) Reatância

$$X_{a0} = \left(\frac{X_{a\Omega 1} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2{,}3491 \times 97}{1.000 \times 1}\right) \times 5{,}193 = 1{,}18329\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{a0} = 0{,}93440 + j1{,}18329\ pu$$

10.17.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM5

a) Resistência

$$R_{a0t} = 0{,}02500 + 0{,}93440 = 0{,}95940\ pu$$

b) Reatância

$$X_{a0t} = j0{,}05149 + j1{,}18329 = 1{,}23478\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{a0t} = 0{,}95940 + j1{,}23478\ pu$$

10.18 QGF-CCM6

10.18.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_a = \left(\frac{R_{a\Omega 1} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1226 \times 115}{1.000 \times 2}\right) \times 5{,}193 = 0{,}03660\ pu$$

b) Reatância

$$X_a = \left(\frac{X_{a\Omega 1} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1073 \times 115}{1.000 \times 2}\right) \times 5{,}193 = 0{,}03203\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_a = 0{,}03660 + j0{,}03203\ pu$$

10.18.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM6

a) Resistência

$$R_{a0} = 0{,}00693 + 0{,}03660 = 0{,}04353\ pu$$

b) Reatância

$$X_{a0} = j0{,}03479 + j0{,}03203 = j0{,}06682\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{a0} = 0{,}04353 + j0{,}06682\ pu$$

10.18.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{a0} = \left(\frac{R_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1{,}9226 \times 115}{1.000 \times 2}\right) \times 5{,}193 = 0{,}57408\ pu$$

b) Reatância

$$X_{a0} = \left(\frac{X_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2{,}4594 \times 115}{1.000 \times 2}\right) \times 5{,}193 = 0{,}73437\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{a0} = 0{,}57408 + j0{,}73437\ pu$$

10.18.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM6

a) Resistência

$$R_{a0} = 0{,}02500 + 0{,}57408 = 0{,}59908\ pu$$

b) Reatância

$$X_{a0} = j0{,}05149 + j0{,}73437 = 0{,}78586\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{a02} = 0{,}59908 + j0{,}78586\ pu$$

10.19 QGF-CCM7

10.19.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_a = \left(\frac{R_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}0507 \times 65}{1.000 \times 2}\right) \times 5{,}193 = 0{,}00855\ pu$$

b) Reatância

$$X_a = \left(\frac{X_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0{,}1051 \times 65}{1.000 \times 2}\right) \times 5{,}193 = 0{,}01773\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{at} = 0,00855 + j0,01773\ pu$$

10.19.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM7

a) Resistência

$$R_{at} = 0,00693 + 0,00855 = 0,01548\ pu$$

b) Reatância

$$X_{at} = j0,03479 + j0,01773 = j0,05252\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{at} = 0,01548 + j0,05252\ pu$$

10.19.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{a0} = \left(\frac{R_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{1,8550 \times 65}{1.000 \times 2}\right) \times 5,193 = 0,31307\ pu$$

b) Reatância

$$X_{a0} = \left(\frac{X_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{2,3491 \times 65}{1.000 \times 2}\right) \times 5,193 = 0,39646\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{a0} = 0,31307 + j0,39646\ pu$$

10.19.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM7

a) Resistência

$$R_{at0} = 0,02500 + 0,31307 = 0,33807\ pu$$

b) Reatância

$$X_{at0} = j0,05149 + j0,39646 = j0,44795\ pu$$

c) Impedância

$$\bar{Z}_{at0} = 0,33807 + j0,44795\ pu$$

10.20 QGF-CCM8

10.20.1 Impedância de Seqüência Positiva

a) Resistência

$$R_a = \left(\frac{R_{a\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ucp}}\right) \times K = \left(\frac{0,0608 \times 87}{1.000 \times 2}\right) \times 5,193 = 0,01373\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{0,1058 \times 87}{1.000 \times 2}\right) \times 5,193 = 0,02389\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u} = 0,01373 + j0,02389\ pu$$

10.20.1.1 Impedância de seqüência positiva acumulada até o CCM8

a) Resistência

$$R_{ur} = 0,00693 + 0,01373 = 0,02066\ pu$$

b) Reatância

$$X_{ur} = j0,03479 + j0,02389 = j0,05868\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ur} = 0,02066 + j0,05868\ pu$$

10.20.2 Impedância de Seqüência Zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{1,8608 \times 87}{1.000 \times 2}\right) \times 5,193 = 0,42034\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_{c}}{1.000 \times N_{ncp}}\right) \times K = \left(\frac{2,3757 \times 87}{1.000 \times 2}\right) \times 5,193 = 0,53665\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 0,42034 + j0,53665\ pu$$

10.20.2.1 Impedância de seqüência zero acumulada até o CCM8

a) Resistência

$$R_{u0r} = 0,02500 + 0,42034 = 0,44534\ pu$$

b) Reatância

$$X_{u0r} = j0,05149 + j0,53665 = j0,58814\ pu$$

c) Impedância

$$Z_{u0r} = 0,44534 + j0,58814\ pu$$

11 CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

11.1 PONTO DE ENTREGA DE ENERGIA

$$I_{c} = \frac{176.500}{\sqrt{3} \times 13,80} = 7.384\ \text{A} = 7,3\ \text{kA}$$

11.2 BARRAMENTO DO QGF

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \bar{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,00693 + j0,03479)} = \frac{1.139}{35,4} = 32,1\,\text{kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 32,1 = 27,8\,\text{kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,03479}{0,00693} = 5,0 \rightarrow F_a = 1,43$$

$$I_{cat} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,43 \times 32,1 = 64,9\,\text{kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase e terra, valor eficaz
Esse valor servirá de base para o cálculo do condutor da malha de terra.

$$I_{ftma} = \frac{3 \times I_b}{\bar{Z}_{sp} + \bar{Z}_{sn} + \bar{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \bar{Z}_{at} + \bar{Z}_{at0}}$$

$$I_{ftma} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,00693 + j0,03479) + 0,02500 + j0,05149]} = \frac{3.417}{(38 + j121)}$$

$$I_{ftma} = 26,9\,\text{kA}$$

Esse valor servirá de base para o cálculo das tensões de passo e de toque.

e) Corrente de defeito fase-terra, valor eficaz, para uma resistência de malha de terra considerada inicialmente de 5Ω.

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times \mathrm{I_b}}{\bar{Z}_{sp} + \bar{Z}_{sn} + \bar{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \bar{Z}_{at} + \bar{Z}_{at0} + \bar{Z}_{mat}}$$

$$\bar{Z}_{mat} = R_{mat} + jX_{mat} \rightarrow R_{mat} + j0$$

$$R_{mat} = 5 \times 5,193 = 25,96\,pu$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,00693 + j0,03479) + 0,02500 + j0,05149 + 25,96]}$$

$$= \frac{3.417}{(25.998 + j121)}$$

$$I_{ftmi} = 0,131\,\text{kA} = 131\,\text{A}$$

11.3 BARRAMENTO DO QDL1

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \bar{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,04601 + j0,05290)} = \frac{1.139}{70,1} = 16,2\,\text{kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 16,2 = 14\,\text{kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,05290}{0,04601} = 1,14 \rightarrow F_a = 1,07$$

$$I_{cat} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,07 \times 16,2 = 24,5 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmx} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,04601 + j0,05290) + 0,36320 + j0,47233]} = \frac{3.417}{(455 + j578)}$$

$$I_{fmx} = 4,6 \text{ kA}$$

11.4 BARRAMENTO DO QDL2

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,07868 + j0,08610)} = \frac{1.139}{116} = 9,8 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 9,8 = 8,4 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,08610}{0,07868} = 1,0 \rightarrow F_a = 1,04$$

$$I_{cat} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,04 \times 9,8 = 14,4 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmx} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,07868 + j0,08610) + 0,95671 + j1,23837]} = \frac{3.417}{(1.114 + j1.410)}$$

$$I_{fmx} = 1,9 \text{ kA}$$

11.5 BARRAMENTO DO QDL3

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times Z_{cr}} = \frac{1.139}{1.000 \times (1,39079 + j0,06667)} = \frac{1.139}{1.392} = 0,81 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 0,81 = 0,70 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,06667}{1,39079} = 0,047 \rightarrow F_a = 1$$

$$I_{cat} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1 \times 0,81 = 1,14 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmá} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (1,39079 + j0,06667 + 1,85838 + j0,75812]} = \frac{3.417}{(4.639 + j891)}$$

$$I_{fmá} = 0,72 \text{ kA}$$

11.6 BARRAMENTO DO QDL4

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \bar{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (1,34546 + j0,05504)} = \frac{1.139}{1.346} = 0,84 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 0,84 = 0,72 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,05504}{1,34546} = 0,04 \rightarrow F_a = 1$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1 \times 0,84 = 1,18 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmá} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (1,34546 + j0,05504) + 1,63461 + j0,48453]} = \frac{3.417}{(4.325 + j594)}$$

$$I_{fmá} = 0,78 \text{ kA}$$

11.7 BARRAMENTO DO QDL5

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \bar{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,21463 + j0,04607)} = \frac{1.139}{219} = 5,2 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 5,2 = 4,5 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,04607}{0,21463} = 0,21 \rightarrow F_a = 1$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1 \times 5,2 = 7,3 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmá} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,21463 + j0,04607) + 0,40097 + j0,30984]} = \frac{3.417}{(830 + j402)}$$

$$I_{fmá} = 3,7 \text{ kA}$$

11.8 BARRAMENTO DO QDL6

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,46886 + j0,07377)} = \frac{1.139}{474} = 2,40 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 2,40 = 2,07\ pu$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,07377}{0,46886} = 0,15 \rightarrow F_a = 1$$

$$I_{cat} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1 \times 2,40 = 3,39 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{ftma} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,46886 + j0,07377) + 1,08487 + j0,95459]} = \frac{3.417}{(2.022 + j1.102)}$$

$$I_{ftma} = 1,48 \text{ kA}$$

11.9 BARRAMENTO DO CCM1

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,01229 + j0,04413)} = \frac{1.139}{45} = 25,3 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 25,3 = 21,9 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,04413}{0,01229} = 3,5 \rightarrow F_a = 1,35$$

$$I_{cat} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,35 \times 25,3 = 48,3 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{ftma} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,01229 + j0,04413) + 0,18927 + j0,26121]} = \frac{3.417}{(213 + j349)}$$

$$I_{ftma} = 8,35 \text{ kA}$$

11.10 BARRAMENTO DO CCM2

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,04358 + j0,06100)} = \frac{1.139}{74} = 15,4 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 15,4 = 13,3 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,06100}{0,04358} = 1,39 \rightarrow F_a = 1,10$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,10 \times 15,4 = 23,6 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fima} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,04358 + j0,06100) + 0,50098 + j0,65783]} = \frac{3.417}{(588 + j779)}$$

$$I_{fima} = 3,5 \text{ kA}$$

11.11 BARRAMENTO DO CCM3

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,03727 + j0,06868)} = \frac{1.139}{78} = 14,6 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 14,6 = 12,6 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,06868}{0,03727} = 1,84 \rightarrow F_a = 1,16$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,16 \times 14,6 = 23,9 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fima} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,03727 + j0,06868) + 0,62553 + j0,82162]} = \frac{3.417}{(700 + j959)}$$

$$I_{fima} = 2,9 \text{ kA}$$

11.12 BARRAMENTO DO CCM4

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,01285 + j0,04509)} = \frac{1.139}{46} = 24,7 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 24,7 = 21,3 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,04509}{0,01285} = 3,5 \rightarrow F_a = 1,35$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,35 \times 24,7 = 47,1 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fima} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,01285 + j0,04509) + 0,20618 + j0,28280]} = \frac{3.417}{(231 + j378)}$$

$$I_{fima} = 7,7 \text{ kA}$$

11.13 BARRAMENTO DO CCM5

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \bar{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,03246 + j0,08773)} = \frac{1.139}{93} = 12,2 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 12,2 = 10,5 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,08773}{0,03246} = 2,70 \rightarrow F_a = 1,27$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,27 \times 12,2 = 21,9 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fima} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,03246 + j0,08773) + 0,95940 + j1,23478]} = \frac{3.417}{(1.024 + j1.410)}$$

$$I_{fima} = 1,9 \text{ kA}$$

11.14 BARRAMENTO DO CCM6

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \bar{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,04353 + j0,06682)} = \frac{1.139}{79} = 14,4 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 14,4 = 12,4 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,06682}{0,04353} = 1,5 \rightarrow F_a = 1,12$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,12 \times 14,4 = 22,8 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fima} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,04353 + j0,06682) + 0,59908 + j0,78586]} = \frac{3.417}{(686,1 + j919,5)}$$

$$I_{fima} = 2,97 \text{ kA}$$

11.15 BARRAMENTO DO CCM7

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,01548 + j0,05252)} = \frac{1.139}{54} = 21,0 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 21,0 = 18,18 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,05252}{0,01548} = 3,3 \rightarrow F_a = 1,3$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,3 \times 21,0 = 38,6 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmx} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,01548 + j0,05252) + 0,33807 + j0,44795]} = \frac{3.417}{(369 + j552)}$$

$$I_{fmx} = 5,1 \text{ kA}$$

11.16 BARRAMENTO DO CCM8

a) Corrente trifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{1.000 \times \vec{Z}_{at}} = \frac{1.139}{1.000 \times (0,02066 + j0,05868)} = \frac{1.139}{62} = 18,3 \text{ kA}$$

b) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 18,3 = 15,8 \text{ kA}$$

c) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{0,05868}{0,02066} = 2,8 \rightarrow F_a = 1,28$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,28 \times 18,3 = 33,1 \text{ kA}$$

d) Corrente máxima de defeito fase-terra, valor eficaz

$$I_{fmx} = \frac{3 \times 1.139}{1.000 \times [2 \times (0,02066 + j0,05868) + 0,44534 + j0,58814]} = \frac{3.417}{(486 + j705)}$$

$$I_{fmx} = 4,0 \text{ kA}$$

12 CONDIÇÃO DE PARTIDA DOS MOTORES

Fica estabelecido que a queda de tensão, durante a partida de um motor qualquer, não poderá ultrapassar 4% na barra do seu respectivo CCM. Todos os motores, a princípio, devem partir sob tensão plena e em carga nominal. O tempo de partida para todos motores é de 3 s.

12.1 MOTOR DE 250 CV

Será analisado o motor de 250 cv (o de maior potência) ligado ao CCM4.

$$P_{nm} = \frac{250 \times 0,736}{0,95 \times 0,87} = 222,6 \text{ kVA}$$

12.1.1 Impedância de Seqüência Positiva do Motor

a) Resistência

$R_{um} \approx 0$ (valor muito pequeno quando comparado à reatância)

b) Reatância

$$X_{um} = \frac{I_{nm}}{I_p} = \frac{1}{6,8} = 0,147\ pu \text{ (na base de 250 cv)}$$

$$X_{um1} = X_{um} \times \frac{P_b}{P_{nm}} \times \left(\frac{V_{nm}}{V_b}\right)^2$$

$$X_{umm} = 0,147 \times \frac{750}{222,6} \times \left(\frac{0,38}{0,38}\right)^2 = 0,49528\ pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{um} = 0 + j0,49528\ pu$$

d) Corrente de partida

$$I_p = \frac{1}{\vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{utcb} + \vec{Z}_{umb}} = \frac{1}{\vec{Z}_{tm}} = \frac{1}{\vec{Z}_{ccm4}}$$

$$I_p = \frac{1}{0,01285 + j0,04509 + j0,49528} = \frac{1}{0,01285 + j0,54037}$$

$$I_p = 1,85\ pu$$

$$I_p = 1,85 \times I_b = 1,85 \times 1.139 = 2.107 \text{ A}$$

12.1.2 Queda de Tensão nos Terminais do CCM4 na Partida Direta

$$\Delta\vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm4} \times I_p = (0,01285 + j0,04509) \times 1,85$$

$$\Delta\vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm4} \times I_p = 0,04688 \times 1,85 = 0,086\ pu$$

$$\Delta\vec{V}_{um} = 8,6\% > 4\% \text{ (condição não satisfeita).}$$

12.1.3 Queda de Tensão nos Terminais do CCM4 na Partida Através de Chave Compensadora

a) Ajuste do tape da chave: 80%

$$\Delta\vec{V}_{um} = 0,04688 \times 0,64 \times 1,85 = 0,055\ pu$$

$$\Delta\vec{V}_{um} = 5,5\% > 4\% \text{ (condição não satisfeita).}$$

b) Ajuste do tape da chave: 65%

$$\Delta\vec{V}_{mm} = 0,04688 \times 0,42 \times 1,85 = 0,036\ pu$$

$\Delta\vec{V}_{mm} = 3,6\% < 4\%$ (condição satisfeita)

12.1.4 Queda de Tensão nos Terminais do CCM4 na Partida Através de Chave Estrela-triângulo

$$\Delta\vec{V}_{mm} = 0,04688 \times 0,33 \times 1,85 = 0,028 pu$$

$\Delta\vec{V}_{mm} = 2,8\% < 4\%$ (condição satisfeita).

A aplicação da chave estrela-triângulo é opção alternativa.

12.1.5 Conjugado de Partida Durante o Acionamento Através de Chave Estrela-triângulo

$$C_{ap} = C_{amp} \times \left(\frac{1 - \Delta V_{mm}}{\sqrt{3}}\right)^2 = C_{amp} \times \left(\frac{1-0,028}{\sqrt{3}}\right)^2 = 0,314 \times C_{amp}$$

$$C_{ap} = 31,4\%\ C_{amp}$$

12.1.6 Queda de Tensão nos Terminais do CCM4 na Partida Através de Chave de Partida Estática

Para manter a queda de tensão em 4% a corrente ajustada na chave estática deve ser de:

$$\Delta\vec{V} = \vec{Z}_{ccm4} \times I_p$$

Para se ter $\Delta V\% = 4\% = 0,04\ pu$ como limite de queda de tensão deve-se ter:

$$0,04 = 0,046881 \times I_p$$

$$I_p = 0,853\ pu \rightarrow I_p = 0,853 \times I_b = 0,853 \times 1.139 = 971,5\ \text{A}$$

$$R_{cpm} = \frac{I_p}{I_{nm}} = \frac{971,5}{327,4} = 2,9$$

Logo, a corrente limitada pela chave *softstarter* deve ser de $2,9 \times I_{nm}$. Será adotado, portanto, a chave de partida estática SSW-02-340-WEG.

12.2 MOTOR DE 30 CV

Será analisado o motor de 30 cv ligado ao CCM7 por apresentar a segunda condição mais desfavorável na partida.

$$P_{nm} = \frac{30 \times 0,736}{0,90 \times 0,83} = 29,5\ kVA$$

12.2.1 Impedância de Seqüência Positiva do Motor

a) Resistência

$R_{nm} \approx 0$ (valor muito pequeno quando comparado à reatância)

b) Reatância

$$X_{nm} = \frac{I_{nm}}{I_p} = \frac{1}{6,8} = 0,147 pu \text{ (na base de 30 cv)}$$

$$X_{um1} = X_{um} \times \frac{P_b}{P_{nm}} \times \left(\frac{V_{nm}}{V_b}\right)^2$$

$$X_{umm} = 0,147 \times \frac{750}{29,5} \times \left(\frac{0,38}{0,38}\right)^2 = 3,73728 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{um} = 0 + j3,73728 pu$$

c) Corrente de partida

$$I_p = \frac{1}{\vec{Z}_{ss} + \vec{Z}_{at} + \vec{Z}_{ucb} + \vec{Z}_{umb}} = \frac{1}{\vec{Z}_{tm}} = \frac{1}{\vec{Z}_{ccm7}}$$

$$I_p = \frac{1}{0,01548 + j0,05252 + j3,73728} = \frac{1}{0,01548 + j3,78980}$$

$$I_p = 0,26 pu$$

$$I_p = 0,26 \times I_b = 0,26 \times 1.139 = 296,1 \text{ A}$$

12.2.2 Queda de Tensão nos Terminais do CCM7 na Partida Direta

$$\Delta\vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm7} \times I_p = (0,01548 + j0,05252) \times I_p$$

$$\Delta\vec{V}_{um} = 0,05475 \times 0,26 = 0,014 pu$$

$$\Delta\vec{V}_{um} = 1,4\% < 4\% \text{ (condição satisfeita)}$$

12.3 MOTOR DE 20 CV

Será analisado o motor de 20 cv ligado ao CCM6 por estar mais distante do QGF.

$$P_{nm} = \frac{20 \times 0,736}{0,88 \times 0,86} = 19,4 \text{ kVA}$$

12.3.1 Impedância de Seqüência Positiva do Motor

a) Resistência

$R_{um} \approx 0$ (valor muito pequeno quando comparado à reatância)

b) Reatância

$$X_{um} = \frac{I_{nm}}{I_p} = \frac{1}{6,8} = 0,147 pu \text{ (na base de 20 cv)}$$

$$X_{um1} = X_{um} \times \frac{P_b}{P_{nm}} \times \left(\frac{V_{nm}}{V_b}\right)^2$$

$$X_{umm} = 0,147 \times \frac{750}{19,4} \times \left(\frac{0,38}{0,38}\right)^2 = 5,68298 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{um} = 0 + j5,68298 pu$$

c) Corrente de partida

$$I_p = \frac{1}{\vec{Z}_{ss} + \vec{Z}_{sa} + \vec{Z}_{acb} + \vec{Z}_{amb}} = \frac{1}{\vec{Z}_{cn}} = \frac{1}{\vec{Z}_{ccm6}}$$

$$I_p = \frac{1}{0,04353 + j0,06682 + j5,68298} = \frac{1}{0,04353 + j5,74980}$$

$I_p = 0,173\ pu$

$I_p = 0,173 \times I_n = 0,173 \times 1.139 = 197,0$ A

12.3.2 Queda de Tensão nos Terminais do CCM6 na Partida Direta

$$\Delta\vec{V}_{am} = \vec{Z}_{ccm6} \times I_p = (0,04353 + j0,06682) \times 0,173$$

$$\Delta\vec{V}_{am} = 0,08 \times 0,173 = 0,013 pu$$

$\Delta\vec{V}_{am} = 1,3\% < 4\%$ (condição satisfeita)

Com base nos cálculos anteriores, pode-se afirmar:

- Somente o motor de 250 cv deve partir através de chave de compensação (chave *softstarter*).
- Todos os demais motores devem partir a plena tensão, através de chave contatora.

13 PROTEÇÃO E COORDENAÇÃO DO SISTEMA

Foi considerado que a temperatura no interior dos cubículos (QGF, CCMs e QDLs) é de 40°C.

13.1 CIRCUITOS TERMINAIS

13.1.1 QDL1

a) Circuitos: de 1 a 6

$S = 16$ mm^2 $\rightarrow$ $I_{ac} = 68$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0,90} = 24,7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 35,3 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 40 \text{ A (Tabela 10.4)}$$

I_{nd} – corrente nominal do disjuntor

$I_a = 40 \times 0,70 = 28,0$ A (corrente de acionamento ou de ajuste)

$F_{cd} = 0,70$ (fator de correção de corrente para disjuntores não-tropicalizados)

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 28 \text{ A} > 24,7 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{ac} \rightarrow 28 \text{ A} < 68 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura

$I_{cs} = 4,6$ kA $\rightarrow I_{cd} = 6$ kA – Tabela 10.4 (satisfaz)

b) Circuitos: 13

$S = 2,5$ mm^2 $\rightarrow$ $I_{ac} = 21$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{400}{220 \times 0{,}90} = 2{,}0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{400}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 2{,}8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A (corrente nominal do disjuntor)}$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 2 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 21 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura

$I_{cs} = 4{,}6$ kA $\rightarrow I_{rd} = 3{,}5$ kA (não satisfaz)

É necessário pré-ligar um fusível no condutor fase, ou seja:

$I_{nf} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 2 \geq 2{,}3 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 6 \text{ A} - \text{NH}$

$I_{cs} = 4{,}6 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 6 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 0{,}80 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} > I_{corte}$ (satisfaz)

c) Circuitos: 14

$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 50 \text{ A}$

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = 4 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 40{,}5 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = 4 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 57{,}8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 60 \text{ A}$$

$I_a = 60 \times 0{,}70 = 42$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 42 \text{ A} > 40{,}5 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 42 \text{ A} < 50 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura

$I_{cs} = 16{,}2$ kA $\rightarrow I_{rd} = 4$ kA (não satisfaz)

É necessário pré-ligar um fusível nos condutores fase, ou seja:

$I_{nf} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 40{,}5 \geq 46{,}5 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 50 \text{ A} - \text{NH}$

$I_{cs} = 16{,}2 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 50 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 4{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} \cong I_{corte}$ (satisfaz)

13.1.2 QDL2

a) Circuitos: 7 a 12

$S = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 68 \text{ A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0{,}90} = 24{,}7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 35{,}5 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 40 \text{ A}$$

$I_a = 40 \times 0{,}70 = 28$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 28 \text{ A} > 24{,}7 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 28 \text{ A} < 68 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura

$I_{cs} = 1{,}9 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 6 \text{ kA}$ (satisfaz)

b) Circuitos: 16

$S = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 89$ A

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{36.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 60{,}7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{36.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 86{,}8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 100 \text{ A}$$

$I_a = 100 \times 0{,}70 = 70$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 70 \text{ A} > 60{,}7 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 70 \text{ A} > 89 \text{ A}$

- Capacidade de ruptura

$I_{cs} = 9{,}8 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 4 \text{ kA}$ (não satisfaz)

É necessário pré-ligar um fusível nos condutores fase, ou seja:

$I_{nf} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 60{,}7 \geq 69{,}8 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 80$ A

$I_{cs} = 9{,}8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 6 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} < I_{corte}$ (não satisfaz)

Neste caso é necessário utilizar um disjuntor de 40 A/65 *K*A-HHED6 (Tabela 10.5).

c) Circuito: 17

$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 50$ A (veja Seção 9.1 deste Apêndice – circuito 17)

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0{,}90} = 4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 5{,}7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 4 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 50 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_{adc} \leq I_{nc}$

$I_{adc} = K \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1{,}35 \times 7 = 9{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_{nc}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura

$I_{cr} = 1{,}9 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 3{,}5 \text{ kA}$ (satisfaz)

Deixa-se para o leitor determinar doravante a capacidade de ruptura dos disjuntores monopolares e tripolares utilizando o mesmo procedimento. Caso a corrente de corte para um determina-

do fusível seja superior ainda à capacidade de ruptura do disjuntor, é necessário adotar um disjuntor com características adequadas.

13.1.3 QDL3

a) Circuito: 19

$S = 2{,}5\ \text{mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21\ \text{A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.500}{220 \times 0{,}90} = 7{,}5\ \text{A}$$

$$I_{cd} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.500}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 10{,}8\ \text{A} \rightarrow I_{nd} = 15\ \text{A}$$

$I_a = 15 \times 0{,}70 = 10{,}5\ \text{A}$

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 10{,}5\ \text{A} > 7{,}5\ \text{A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10{,}5\ \text{A} < 21\ \text{A}$ (satisfaz)

b) Circuito: 20

$S = 2{,}5\ \text{mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21\ \text{A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0{,}90} = 6\ \text{A}$$

$$I_{cd} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 8{,}6\ \text{A} \rightarrow I_{nd} = 10\ \text{A}$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7\ \text{A}$

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7\ \text{A} > 6\ \text{A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7\ \text{A} < 21\ \text{A}$ (satisfaz)

c) Circuito: 21

$S = 1{,}5\ \text{mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15{,}5\ \text{A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{2.720}{220 \times 0{,}90} = 13{,}7\ \text{A}$$

$$I_{cd} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{2.720}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 19{,}6\ \text{A} \rightarrow I_{nd} = 20\ \text{A}$$

$I_a = 20 \times 0{,}70 = 14\ \text{A}$

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 14\ \text{A} > 13{,}7\ \text{A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14\ \text{A} < 15{,}5\ \text{A}$ (satisfaz)

d) Circuito: 22

$S = 1{,}5\ \text{mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15{,}5\ \text{A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{2.560}{220 \times 0{,}90} = 12{,}9\ \text{A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{2.560}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 18,4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 20 \text{ A}$$

$I_a = 20 \times 0,70 = 14$ A

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 14 \text{ A} > 12,9 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14 \text{ A} < 15,5 \text{ A}$ (satisfaz)

13.1.4 QDL4

a) Circuito: 23 e 24

$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.440}{220 \times 0,90} = 7,2 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.440}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 10,3 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5$ A

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 7,2 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10,5 \text{ A} < 15,5 \text{ A}$ (satisfaz)

b) Circuito da máquina de embalagem

$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21$ A (valor mínimo)

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.900}{220 \times 0,90} = 9,5 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.900}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 13,7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5$ A

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 9,5 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10,5 \text{ A} < 21 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_{adc} \leq I_{nc}$

$I_{adc} = K \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1,35 \times 10,5 = 14,1 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_{nc}$ (satisfaz)

13.1.5 QDL5

a) Circuito: 26

$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0,90} = 6,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 8,6 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7$ A $> 6{,}0$ A (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7$ A < 21 A (satisfaz)

b) Circuito: 27

$S = 1{,}5$ mm^2 $\rightarrow I_{nc} = 15{,}5$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.280}{220 \times 0{,}90} = 6{,}4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.280}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 9{,}2 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7$ A $> 6{,}4$ A (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7$ A $< 15{,}5$ A (satisfaz)

$I_{adc} \leq I_{nc}$

$I_{adc} = K \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1{,}35 \times 7 = 9{,}4$ A $\rightarrow I_{adc} < I_{nc}$ (satisfaz)

c) Circuito: 28

$S = 1{,}5$ mm^2 $\rightarrow I_{nc} = 15{,}5$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.400}{220 \times 0{,}90} = 7{,}0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.400}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 10{,}1 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$I_a = 15 \times 0{,}70 = 10{,}5$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 10{,}5$ A $> 7{,}0$ A (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10{,}5$ A $< 15{,}5$ A (satisfaz)

d) Circuito: 29

$S = 2{,}5$ mm^2 $\rightarrow I_{nc} = 21$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.800}{220 \times 0{,}90} = 9{,}0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.800}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 12{,}9 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$I_a = 15 \times 0{,}70 = 10{,}5$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 10{,}5$ A $> 9{,}0$ A (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10{,}5$ A < 21 A (satisfaz)

e) Circuito: 30

$S = 1{,}5$ mm^2 $\rightarrow I_{nc} = 15{,}5$ A

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.000}{220 \times 0,90} = 5,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.000}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 7,2 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 5 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 15,5 \text{ A}$ (satisfaz)

f) Circuito: 31

$S = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 36 \text{ A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{3.200}{220 \times 0,90} = 16,1 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{3.200}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 23 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

$I_a = 25 \times 0,70 = 17,5 \text{ A}$

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 17,5 \text{ A} > 16,1 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 17,5 \text{ A} < 36 \text{ A}$ (satisfaz)

g) Circuito: 32

$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 50 \text{ A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{4.000}{220 \times 0,90} = 20,2 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{4.000}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 28,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 30 \text{ A}$$

$I_a = 30 \times 0,70 = 21 \text{ A}$

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 21 \text{ A} > 20,2 \text{ A}$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 21 \text{ A} < 50 \text{ A}$ (satisfaz)

13.1.6 QDL6

a) Circuito: 33

$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{480}{220 \times 0,90} = 2,4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{480}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 3,46 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$

$F_{cd} = 0,70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7\ A > 2{,}4\ A$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7\ A < 15{,}5\ A$ (satisfaz)

b) Circuito: 34

$S = 1{,}5\ mm^2 \rightarrow I_{nc} = 15{,}5\ A$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{640}{220 \times 0{,}90} = 3{,}2\ A$$

$$I_{cd} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{640}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 4{,}6\ A \rightarrow I_{nd} = 10\ A$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7\ A$

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7\ A > 3{,}2\ A$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7\ A < 15{,}5\ A$ (satisfaz)

c) Circuito: 35

$S = 2{,}5\ mm^2 \rightarrow I_{nc} = 21\ A$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{2.600}{220 \times 0{,}90} = 13{,}1\ A$$

$$I_{cd} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{2.600}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 18{,}7\ A \rightarrow I_{nd} = 20\ A$$

$I_a = 20 \times 0{,}70 = 14\ A$

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 14\ A > 13{,}1\ A$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14\ A < 21\ A$ (satisfaz)

d) Circuito: 36

$S = 1{,}5\ mm^2 \rightarrow I_{nc} = 15{,}5\ A$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0{,}90} = 4\ A$$

$$I_{cd} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 5{,}7\ A \rightarrow I_{nd} = 10\ A$$

$I_a = 10 \times 0{,}70 = 7\ A$

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 7\ A > 4\ A$ (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7\ A < 15{,}5\ A$ (satisfaz)

e) Circuito: 37

$S = 4\ mm^2 \rightarrow I_{nc} = 28\ A$

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{12.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 20{,}2\ A$$

$$I_{cd} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{12.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}70 \times 0{,}90} = 28{,}9\ A \rightarrow I_{nd} = 30\ A$$

$I_a = 30 \times 0{,}70 = 21$ A

$F_{cd} = 0{,}70$

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 21$ A $> 20{,}2$ A (satisfaz)

$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 21$ A $= 28$ A (satisfaz)

13.1.7 CCM1

Foi considerado que o tempo de partida de todos os motores é de $T_{pm} = 3$ s.

Foi considerado que a corrente de partida do motor coresponderia à corrente nominal de partida (motor ligado a uma barra infinita). Assim, não se considerou a queda de tensão na partida do motor para reduzir o trabalho de cálculo. Esse procedimento para a forma aqui empregada é perfeitamente válido e está a favor da segurança.

a) Motor de 30 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 43{,}3 \times 6{,}8 = 294{,}4$ A

$I_{nm} = 43{,}3$ A

$R_{cpm} = 6{,}8$

$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$

$K = 0{,}4$

$I_{nf} \leq 294{,}4 \times 0{,}4 \leq 117{,}7$ A $\rightarrow I_{nf} = 100$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 294{,}4$ A $\rightarrow T_{af} = 9$ s (9 a 120 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator

– Tipo: 3TF 46 – Siemens (Tabela 9.15)

$I_{nf} = 100$ A $\rightarrow I_{nf} = I_{nf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

– Tipo: 3UA58-00-2F – Siemens (Tabela 10.2)

$I_{nf} = 100$ A $\rightarrow I_{nf} = I_{nf}$ (satisfaz)

– Faixa de ajuste: (32 – 50) A

$I_{nm} = 43{,}3$ A $\rightarrow I_{ar} = 44$ A

– Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{294{,}4}{44} = 6{,}69 \rightarrow T_{ar} = 5{,}5 \text{ A} \rightarrow T_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

Será admitida a corrente de curto-circuito na barra dos CCMs que é superior à corrente de curto-circuito na extremidade de carga do cabo (não calculada).

$I_{cs} = 25{,}3$ kA $\rightarrow I_{nf} = 100$ A $\rightarrow T_{af} << 0{,}01$ s (Figura 10.21)

$I_{cs} = 25{,}3$ kA $\rightarrow I_{nf} = 100$ A $\rightarrow I_{corte} = 10$ kA (Figura 10.27)

Com base na Equação (3.19), pode-se determinar o valor do tempo de suportabilidade da isolação do condutor perante às correntes de curto-circuito.

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 10^2}{10^2} = 0{,}013 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

b) Motor de 7,5 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 11{,}9 \times 7 = 83{,}3$ A
$I_{nm} = 11{,}9$ A
$R_{cpm} = 7$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$
$I_{nf} \leq 83{,}3 \times 0{,}4 \leq 33{,}3$ A $\rightarrow I_{nf} = 25$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 83{,}3$ A $\rightarrow T_{af} = 1$ s (1,0 a 20 s) $\rightarrow T_{pm} > T_{af}$ (não satisfaz)

Como o fusível pode atuar durante a partida do motor, deve-se redimensionar a sua corrente nominal, ou seja:

$I_{nf} = 32$ A $\rightarrow T_{af} = 4$ s (4 a 120 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

– Proteção do contator

– Tipo: 3TF 41-10 – Siemens (Tabela 9.15)

$I_{mf} = 16$ A $\rightarrow I_{nf} > I_{mf}$ (não satisfaz)

O contator deve ser alterado para o tipo: 3TF 44-11 – Siemens

$I_{mf} = 63$ A $\rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

– Tipo: 3UA 55-00-2A – Siemens (Tabela 10.2)

$I_{mf} = 32$ A $\rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

– Faixa de ajuste: (10 – 16) A

$I_{nm} = 11{,}9$ A $\rightarrow I_{ar} = 12$ A

– Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{83{,}3}{12} = 6{,}9 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 25{,}3$ kA $\rightarrow I_{nf} = 32$ A $\rightarrow T_{af} << 0{,}01$ s (Figura 10.22)
$I_{cs} = 25{,}3$ kA $\rightarrow I_{nf} = 32$ A $\rightarrow I_{corte} = 4$ kA (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 2{,}5^2}{4^2} = 0{,}005 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz: veja Figura 10.22)

13.1.8 CCM2

a) Motor de 3 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 5{,}5 \times 6{,}6 = 36{,}3$ A
$I_{nm} = 5{,}5$ A
$R_{cpm} = 6{,}6$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}5$
$I_{nf} \leq 36{,}3 \times 0{,}5 \leq 18{,}1$ A $\rightarrow I_{nf} = 16$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 36{,}3$ A $\rightarrow T_{af} = 4$ s (4 a 140 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator

– Tipo: 3TF 40-10 – Siemens (dispositivo adotado em função do relé constante da Tabela 10.2)

$I_{mf} = 25\ A \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

– Tipo: 3UA 55-00-1J – Siemens

$I_{mf} = 25\ A \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

– Faixa de ajuste: (6,3 – 10) A

$I_{nm} = 5{,}5\ A \rightarrow I_{ar} = 6\ A$

– Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{36{,}3}{6} = 6{,}0 \rightarrow T_{ar} = 6\ s \rightarrow T_{pm} < T_{ar}\ \text{(satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 15{,}4\ kA \rightarrow I_{nf} = 16\ A \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ s$ (Figura 10.21)
$I_{cs} = 15{,}4\ kA \rightarrow I_{nf} = 16\ A \rightarrow I_{corte} = 2\ kA$ (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 2{,}5^2}{2^2} = 0{,}020\ s$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

b) Motor de 5 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 7{,}9 \times 7 = 55{,}3\ A$
$I_{nm} = 7{,}9\ A$
$R_{cpm} = 7$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$
$I_{nf} \leq 55{,}3 \times 0{,}4 \leq 22{,}1\ A \rightarrow I_{nf} = 20\ A$

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 55{,}3\ A \rightarrow T_{af} = 15\ s$ (15 a 40 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator

– Tipo: 3TF 40-10 – Siemens

$I_{mf} = 16\ A \rightarrow I_{nf} > I_{mf}$ (não satisfaz)

O contator deve ser alterado para o tipo 3TF 43-10 $\rightarrow I_{mf} = 25\ A \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

– Tipo: 3UA 55-00-1J – Siemens

$I_{mf} = 25\ A \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

– Ajuste do relé térmico

– Faixa de ajuste: (6,3 – 10) A

$I_{nm} = 7{,}9\ A \rightarrow I_{ar} = 8\ A$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{55{,}3}{8} = 6{,}9 \rightarrow T_{ar} = 5\ s \rightarrow T_{pm} < T_{ar}\ \text{(satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 15{,}4\ kA \rightarrow I_{af} = 20\ A \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ s$ (Figura 10.22)

$I_{cc} = 15{,}4$ kA $\rightarrow I_{nf} = 20$ A $\rightarrow I_{corte} = 2{,}7$ kA (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 2{,}5^2}{2{,}7^2} = 0{,}011 \text{ s}$$

$T_{nf} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.1.9 CCM3

a) Motor de 10 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 15{,}4 \times 6{,}6 = 101{,}6$ A

$I_{nm} = 15{,}4$ A

$R_{cpm} = 6{,}6$

$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$

$K = 0{,}4$

$I_{nf} \leq 101{,}6 \times 0{,}4 \leq 40{,}6$ A $\rightarrow I_{nf} = 32$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 101{,}6$ A $\rightarrow T_{nf} = 3{,}5$ s (3,5 a 100 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{nf}$ (satisfaz)

- Proteção do contator

– Tipo: 3TF 42-10 – Siemens

$I_{mf} = 25$ A $\rightarrow I_{nf} > I_{mf}$ (não satisfaz)

Alterar o contator para o tipo 3TF 44-11 – Siemens.

$I_{mf} = 63$ A $\rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

– Tipo: 3UA 55-00-2B – Siemens

$I_{mf} = 50$ A $\rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

– Faixa de ajuste: (12,5 – 20) A

$I_{nm} = 15{,}4$ A $\rightarrow I_{ar} = 16$ A

– Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{101{,}6}{16} = 6{,}3 \rightarrow T_{ar} = 6 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 14{,}6$ kA $\rightarrow I_{nf} = 32$ A $\rightarrow T_{nf} << 0{,}01$ s (Figura 10.22)

$I_{cc} = 14{,}6$ kA $\rightarrow I_{nf} = 32$ A $\rightarrow I_{corte} = 3{,}5$ kA (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 4^2}{3{,}5^2} = 0{,}017 \text{ s}$$

$T_{nf} < T_{sc}$ (satisfaz)

b) Motor de 5 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 7{,}9 \times 7 = 55{,}3$ A

$I_{nm} = 7{,}9$ A

$R_{cpm} = 7$

$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$

$K = 0{,}4$

$I_{nf} \leq 55{,}3 \times 0{,}4 \leq 22{,}1$ A $\rightarrow I_{nf} = 20$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 55{,}3$ A $\rightarrow T_{af} = 4$ s (4 a 200 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator

– Tipo: 3TF 40-10 – Siemens

$I_{mf} = 25$ A $\rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

– Tipo: 3UA 55-00-1J – Siemens

$I_{mt} = 25$ A $\rightarrow I_{nt} < I_{mt}$ (satisfaz)

– Faixa de ajuste: (6,3 – 10) A

$I_{nm} = 7{,}9$ A $\rightarrow I_{ar} = 8$ A

– Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{55{,}3}{8} = 6{,}9 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 14{,}6$ kA $\rightarrow I_{nf} = 20$ A $\rightarrow T_{af} << 0{,}01$ s (Figura 10.22)
$I_{cc} = 14{,}6$ kA $\rightarrow I_{nf} = 20$ A $\rightarrow I_{corte} = 2{,}8$ kA (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 2{,}5^2}{2{,}8^2} = 0{,}010 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.1.10 CCM4

O motor será acionado através de chave partida estática.

a) Motor de 250 cv

$I_{pm} = 2.107$ A (veja Seção 12.1.6 deste Apêndice)
$I_{nf} \leq 0{,}40 \times 2.107 \leq 842{,}8$ A
$I_{nf} \geq 2{,}9 \times I_{nm}$
$I_{nf} \geq 2{,}9 \times 327{,}4 \geq 949{,}4$ A
$I_{nf} = 1.000$ A

- Tipo do fusível: partida rápida

Deve-se utilizar um fusível de característica rápida, tipo NH, para garantir a proteção dos componentes semicondutores da chave. O fusível deve garantir a partida do motor.

- Chave de partida adotada: chave de partida estática (*softstarter*)

– Tipo: SSW-02-340 – WEG (Tabela 9.17)

- Relé térmico eletrônico incorporado à chave

Deve-se ajustar a proteção de sobrecarga de acordo com o catálogo do fabricante da chave *softstarter*.

13.1.11 CCM5

a) Motor de 15 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 26 \times 7{,}8 = 202{,}8$ A
$I_{nm} = 26$ A
$R_{cpm} = 7{,}8$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$

$I_{nf} \leq 202{,}8 \times 0{,}4 \leq 81{,}1\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 80\ \text{A}$

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 202{,}8\ \text{A} \rightarrow T_{af} = 40\ \text{s}\ (40\ \text{a}\ 500\ \text{s}) \rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator
  - Tipo: 3TF 43-10 – Siemens

$I_{mf} = 25\ \text{A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf}$ (não satisfaz)

Alterar o contator para o tipo 3TF 44-11 e também a corrente nominal do fusível para $I_{nf} = 63$ A, ou seja:

$I_{mf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)
$I_{pm} = 202{,}8\ \text{A} \rightarrow T_{af} = 4\ \text{s}\ (4\ \text{a}\ 40\ \text{s})$
$T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Relé térmico
  - Tipo: 3UA 55-00-2D – Siemens

$I_{mf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

  - Faixa de ajuste: (20 – 32) A

$I_{nm} = 26\ \text{A} \rightarrow I_{ar} = 27\ \text{A}$

  - Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{202{,}8}{27} = 7{,}5 \rightarrow T_{ar} = 5\ \text{s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar}\ \text{(satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 12{,}2\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 63\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s}$ (Figura 10.21)
$I_{cs} = 12{,}2\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{corte} = 6\ \text{kA}$ (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 10^2}{6^2} = 0{,}036\ \text{s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

b) Motor de 7,5 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 11{,}9 \times 7 = 83{,}3\ \text{A}$
$I_{nm} = 11{,}9\ \text{A}$
$R_{cpm} = 7$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$
$I_{nf} \leq 83{,}3 \times 0{,}4 \leq 33{,}3\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 25\ \text{A}$

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 83{,}3\ \text{A} \rightarrow T_{af} = 1\ \text{s}\ (1\ \text{a}\ 20\ \text{s}) \rightarrow T_{pm} > T_{af}$ (não satisfaz)

Deve-se elevar o valor da corrente nominal do fusível para 32 A.

$I_{pm} = 83{,}3\ \text{A} \rightarrow T_{af} = 3{,}5\ \text{s}\ (3{,}5\ \text{a}\ 120\ \text{s}) \rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator
  - Tipo: 3TF 41-10 – Siemens

$I_{mf} = 16\ \text{A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf}$ (não satisfaz)

Alterar o contator para o tipo 3TF 44-11 – Siemens

$I_{mf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico

- Tipo: 3UA 55-00-2A – Siemens

  $I_{mf} = 32\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

- Faixa de ajuste: (10 – 16) A

  $I_{nm} = 11{,}9\ \text{A} \rightarrow I_{ar} = 12\ \text{A}$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{83{,}3}{12} = 6{,}9 \rightarrow T_{ar} = 5\ \text{s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar}\ \text{(satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 12{,}2\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 32\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s}$ (Figura 10.22)
$I_{cs} = 12{,}2\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 32\ \text{A} \rightarrow I_{corte} = 3{,}5\ \text{kA}$ (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 4^2}{3{,}5^2} = 0{,}017\ \text{s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.1.12 CCM6

a) Motor de 20 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 28{,}8 \times 6{,}8 = 195{,}8\ \text{A}$
$I_{nm} = 28{,}8\ \text{A}$
$R_{cpm} = 6{,}8$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$
$I_{Inf} \leq 195{,}8 \times 0{,}4 \leq 78{,}3\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 63\ \text{A}$

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 195{,}8\ \text{A} \rightarrow T_{af} = 5\ \text{s}$ (5 a 40 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator
  - Tipo: 3TF 44-11 – Siemens

    $I_{mf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico
  - Tipo: 3UA 58-00-2D – Siemens

    $I_{mf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

  - Faixa de ajuste: (20 – 32) A

    $I_{nm} = 28{,}8\ \text{A} \rightarrow I_{ar} = 30\ \text{A}$

  - Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{195{,}8}{30} = 6{,}5 \rightarrow T_{ar} = 5{,}5\ \text{s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar}\ \text{(satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 14{,}4\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 63\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s}$ (Figura 10.21)
$I_{cs} = 14{,}4\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 63\ \text{A} \rightarrow I_{corte} = 6\ \text{kA}$ (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 16^2}{6^2} = 0{,}092\ \text{s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.1.13 CCM7

a) Motor de 30 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 43{,}3 \times 6{,}8 = 294{,}4$ A
$I_{nm} = 43{,}3$ A
$R_{cpm} = 6{,}8$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$
$I_{Inf} \leq 294{,}4 \times 0{,}4 \leq 117{,}7$ A $\rightarrow I_{nf} = 100$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 294{,}4$ A $\rightarrow T_{af} = 10$ s (10 a 160 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator
  - Tipo: 3TF 46-22 – Siemens

$I_{mf} = 100$ A $\rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

- Proteção do relé térmico
  - Tipo: 3UA 58-00-2F – Siemens

$I_{mf} = 100$ A $\rightarrow I_{nf} = I_{mf}$ (satisfaz)

  - Faixa de ajuste: (32 – 50) A

$I_{nm} = 43{,}3$ A $\rightarrow I_{ar} = 44$ A

  - Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{294{,}4}{44} = 6{,}6 \rightarrow T_{ar} = 5{,}5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 21$ kA $\rightarrow I_{nf} = 100$ A $\rightarrow T_{af} << 0{,}01$ s (Figura 10.21)
$I_{cc} = 21$ kA $\rightarrow I_{nf} = 100$ A $\rightarrow I_{corte} = 9$ kA (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 25^2}{9^2} = 0{,}100 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.1.14 CCM8

a) Motor de 25 cv

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 35{,}5 \times 6{,}7 = 237{,}8$ A
$I_{nm} = 35{,}5$ A
$R_{cpm} = 6{,}7$
$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$
$K = 0{,}4$
$I_{nf} \leq 237{,}8 \times 0{,}4 \leq 95{,}1$ A $\rightarrow I_{nf} = 80$ A

- Condição de partida: fusível

$I_{pm} = 237{,}8$ A $\rightarrow T_{af} = 13$ s (13 a 160 s) $\rightarrow T_{pm} < T_{af}$ (satisfaz)

- Proteção do contator

Tipo: 3TF 45-11 – Siemens

$I_{mf} = 63$ A $\rightarrow I_{nf} > I_{mf}$ (não satisfaz)

Alterar o contator para o tipo 3TF 46-22 – Siemens.

$I_{mf} = 100$ A $\rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

A redução da corrente nominal do fusível para $I_{nf} = 63$ A não é possível em função da partida do motor.

- Relé térmico
  - Tipo: 3UA 55-00-2F – Siemens

    $I_{nrj} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{nrj}$ (satisfaz)
  - Faixa de ajuste: (32 – 50) A

    $I_{nm} = 35{,}5 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 36 \text{ A}$
  - Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{237{,}8}{36} = 6{,}6 \rightarrow T_{ar} = 5{,}5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 18{,}3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A} \rightarrow T_{nf} << 0{,}01$ s (Figura 10.22)
$I_{cs} = 18{,}3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 9$ kA (Figura 10.27)

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 25^2}{9^2} = 0{,}100 \text{ s}$$

$T_{nf} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.2 CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO

13.2.1 QGF-QDL1

- Disjuntor compensado

$S = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 179$ A (Tabela 3.6)

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{47.860}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 80{,}7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 100 \text{ A}$$

- Tipo: 3VF 31 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (80 – 100) A
- Ajuste: $I_a = 85$ A
- Capacidade de ruptura: $I_{rd} = 65$ kA

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 85 \text{ A} > 80{,}7 \text{ A}$ (satisfaz)
$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 85 \text{ A} < 179 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$I_{cr} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{cr} < I_{rd}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

Será admitida a corrente de curto-circuito na barra do QGF que é superior à corrente de curto-circuito na extremidade de carga do cabo.

$$I_{cr} = 32{,}4 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{32.100}{85} = 377 \rightarrow T_{ad} = 0{,}013 \text{ s (Figura 10.16)}$$

$S_c = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{cr} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow T_{sc} = 8$ ciclos (0,133 s) (Figura 3.26) $\rightarrow T_{ad} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.2.2 QGF-QDL2

- Disjuntor compensado

$S = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 230$ A (Tabela 3.6)

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{56.540}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 95{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 160 \text{ A}$$

- Tipo: 3VF 32 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (100 – 125) A
- Ajuste: $I_a = 100$ A
- Capacidade de ruptura: $I_{rd} = 65$ kA

- Condição de proteção

  $I_a \geq I_c \rightarrow 100 \text{ A} > 95{,}4 \text{ A}$ (satisfaz)
  $I_a \leq I_{nc} \rightarrow 100 \text{ A} < 230 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura do disjuntor

  $I_{cs} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

  $I_{cs} = 32{,}4 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{32.100}{100} = 321 \rightarrow T_{ad} = 0{,}013$ s (Figura 10.11)

  $S_c = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{cs} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow T_{sc} = 16$ ciclos (0,266 s) $\rightarrow T_{ad} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.2.3 QGF-QDL3

- Disjuntor compensado

  $S = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 31$ A (Tabela 10.4)

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{7.980}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 13{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU13 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (10 – 16) A
- Ajuste: $I_a = 14$ A

- Condição de proteção

  $I_a \geq I_c \rightarrow 14 \text{ A} > 13{,}4 \text{ A}$ (satisfaz)
  $I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14 \text{ A} < 31 \text{ A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura do disjuntor

  $I_{cs} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 10$ kA (Tabela 10.6) $\rightarrow I_{cs} > I_{rd}$ (não satisfaz)

É necessário pré-ligar ao disjuntor um fusível que obedeça às seguintes condições:

$I_c = 13{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} \geq 1{,}15 \times 13{,}4 \geq 15{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 16$ A
$I_{cs} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 16 \text{ A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01$ s $\rightarrow I_{corte} = 2{,}8$ kA (Fig. 10.24)
$I_{corte} < I_{rd}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 4^2}{2{,}8^2} = 0{,}026 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.2.4 QGF-QDL4

- Disjuntor compensado

  $S = 2{,}5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 24$ A

$$I_{ad} = \frac{P_c}{V \times F_p} = \frac{4.780}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU13 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (10 – 16) A
- Ajuste: $I_a = 12$ A

• Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 12 \text{ A} > 8 \text{ A}$ (satisfaz)
$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 12 \text{ A} < 24 \text{ A}$ (satisfaz)
$I_{adc} = 1,35 \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1,35 \times 12 = 16,2 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_{nc}$ (satisfaz)

• Capacidade de ruptura do disjuntor

$I_{cs} = 32,1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 10 \text{ kA}$ (Tabela 10.6) $\rightarrow I_{cs} > I_{rd}$ (não satisfaz)

É necessário pré-ligar ao disjuntor um fusível que obedeça às seguintes condições:

$I_c = 8 \text{ A} \rightarrow I_{nf} \geq 1,15 \times 8 \geq 9,2 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 10 \text{ A}$
$I_{cs} = 32,1 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 10 \text{ A} \rightarrow T_{af} << 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 2,5 \text{ kA}$
$I_{corte} < I_{rd}$ (satisfaz)

• Proteção do condutor contra curtos-circuitos

Como a atuação do fusível é mais rápida do que a do disjuntor e corta a corrente de defeito em 2,5 kA, num tempo de $T_{af} << 0,001$ s, tem-se:

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 2,5^2}{2,5^2} = 0,013 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.2.5 QGF-QDL5

• Disjuntor compensado

$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 52 \text{ A}$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{13.880}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 23,4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU 13 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (18 – 25) A
- Ajuste: $I_a = 24$ A
- Capacidade de ruptura: 6 kA (Tabela 10.6)

• Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 24 \text{ A} > 23,4 \text{ A}$ (satisfaz)
$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 24 \text{ A} < 52 \text{ A}$ (satisfaz)

• Capacidade de ruptura do disjuntor

$I_{cs} = 32,1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 6 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} > I_{rd}$ (não satisfaz)

É necessário pré-ligar ao disjuntor um fusível que obedeça às seguintes condições:

$I_c = 23,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} \geq 1,15 \times 23,4 \geq 26,9 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A}$
$I_{cs} = 32,1 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow T_{af} << 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 4,5 \text{ kA}$
$I_{corte} < I_{rd}$ (satisfaz)

– Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times 10^2}{4,5^2} = 0,064 \text{ s}$$

$T_{af} < T_{sc}$ (satisfaz)

13.2.6 QGF-QDL6

- Disjuntor compensado

$S = 16\ \text{mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 67\ \text{A}$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{16.520}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}90} = 27{,}8\ \text{A} \rightarrow I_{nd} = 52\ \text{A}$$

- Tipo: 3VU16 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (28 – 40) A
- Ajuste: $I_a = 30$ A
- Capacidade de ruptura: 35 kA

- Condição de proteção

$I_a \geq I_c \rightarrow 30\ \text{A} > 27{,}8\ \text{A}$ (satisfaz)
$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 30\ \text{A} < 67\ \text{A}$ (satisfaz)

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$I_{cs} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{rd} = 35\ \text{kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{32.100}{30} = 1.070 \rightarrow T_{ad} = 0{,}0038\ \text{s (Figura 10.13)}$$

$$T_{nc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0{,}01302 \times 16^2}{32{,}1^2} = 0{,}0032\ \text{s} \rightarrow T_{ad} \cong T_{nc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.7 QGF-CCM1

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$
$I_{nf} \leq 43{,}3 \times 6{,}8 \times 0{,}4 + 6 \times 11{,}9 + 43{,}3 \leq 232{,}4\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 200\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times (2 \times 43{,}3 + 6 \times 11{,}9) \geq 1{,}15 \times 158 \geq 181{,}7\ \text{A}$

– Tipo: S32 – 400/3 $\rightarrow I_{nch} = 190$ A/380 V – Siemens (Tabela 9.14)

$I_{nf} = 400\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{nf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 200\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s} \rightarrow I_{corte} = 13\ \text{kA}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 400^2}{13^2} = 12{,}3\ \text{s} \rightarrow T_{af} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.8 QGF-CCM2

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$
$I_{nf} \leq 7{,}9 \times 7 \times 0{,}4 + 5 \times 7{,}9 + 9 \times 5{,}5 \leq 111{,}12\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 100\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times (6 \times 7{,}9 + 9 \times 5{,}5) \geq 1{,}15 \times 96{,}9 \geq 111{,}4\ \text{A}$

– Tipo: S32 – 250/3 $\rightarrow I_{nch} = 160$ A – Siemens

$I_{nf} = 250\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{nf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 100\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s} \rightarrow I_{corte} = 11\ \text{kA}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 150^2}{11^2} = 2{,}4\ \text{s} \rightarrow T_{af} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.9 QGF-CCM3

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pmm} \times K + \Sigma I_{nm}$
$I_{nf} \leq 15{,}4 \times 6{,}6 \times 0{,}4 + 6 \times 15{,}4 + 3 \times 7{,}9 \leq 156{,}7\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 125\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times (7 \times 15{,}4 + 3 \times 7{,}9) \geq 1{,}15 \times 131{,}5 \geq 151{,}2\ \text{A}$

– Tipo: S32 – 400/3 $\rightarrow I_{nch} = 190$ A/380 V – Siemens

$I_{nf} = 400\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{nf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 125\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s} \rightarrow I_{corte} = 12\ \text{kA}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 240^2}{12^2} = 5{,}2\ \text{s} \rightarrow T_{af} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.10 QGF-CCM4

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pmm} \times K + \Sigma I_{nm}$
$I_{nf} \leq 327{,}4 \times 6{,}8 \times 0{,}3 + 327{,}4 \leq 995{,}2\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 800\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 2 \times 327{,}4 \geq 1{,}15 \times 654{,}8 \geq 753{,}0\ \text{A}$

- Tipo: S32 – 1.250/3 $\rightarrow I_{nch} = 870$ A/380 – Siemens (Tabela 9.14)

$I_{nf} = 1.250\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{nf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 800\ \text{A} \rightarrow T_{af} << 0{,}01\ \text{s}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0{,}01302 \times (4 \times 400)^2}{32{,}1^2} = 32{,}3\ \text{s} \rightarrow T_{af} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.11 QGF-CCM5

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pmm} \times K + \Sigma I_{nm}$
$I_{nf} \leq 26 \times 7{,}8 \times 0{,}4 + 5 \times 26 + 3 \times 11{,}9 \leq 246{,}8\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 200\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times (6 \times 26 + 3 \times 11{,}9) \geq 1{,}15 \times 191{,}7 \geq 220{,}4\ \text{A}$

– Tipo: S32 – 630/3 $\rightarrow I_{nch} = 382$ A/380 V – Siemens

$I_{nf} = 630\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{nf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 200\ \text{A} \rightarrow T_{nf} << 0{,}01\ \text{s} \rightarrow I_{corte} = 13\ \text{kA}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0{,}01302 \times 500^2}{32{,}1^2} = 19{,}2\ \text{s} \rightarrow T_{nf} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.12 QGF-CCM6

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$

$I_{nf} \leq 28{,}8 \times 6{,}8 \times 0{,}4 + 7 \times 28{,}8 \leq 279{,}9\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 250\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 8 \times 28{,}8 \geq 1{,}15 \times 230{,}4 \geq 264{,}9\ \text{A}$

– Tipo: S32-630/3 $\rightarrow I_{nch} = 382$ A/380 V – Siemens

$I_{mf} = 630\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 250\ \text{A} \rightarrow T_{nf} << 0{,}01\ \text{s} \rightarrow I_{corte} = 25\ \text{kA}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{cc}^2} = \frac{0{,}01302 \times (2 \times 185)^2}{25^2} = 2{,}85\ \text{s} \rightarrow T_{nf} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.13 QGF-CCM7

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$

$I_{nf} \leq 43{,}3 \times 6{,}8 \times 0{,}4 + 9 \times 43{,}3 \leq 507{,}4\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 500\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 10 \times 43{,}3 \geq 1{,}15 \times 433 \geq 497{,}9\ \text{A}$

– Tipo: S32 – 1250/3 $\rightarrow I_{nch} = 870$ A/380 V – Siemens

$I_{mf} = 1.000\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cc} = 32{,}1\ \text{kA} \rightarrow I_{nf} = 500\ \text{A} \rightarrow T_{nf} << 0{,}01\ \text{s}$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{cc}^2} = \frac{0{,}01302 \times (2 \times 500)^2}{32{,}1^2} = 12{,}6\ \text{s} \rightarrow T_{nf} < T_{sc}\ \text{(satisfaz)}$$

13.2.14 QGF-CCM8

- Corrente nominal do fusível

$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$

$I_{nf} \leq 35{,}5 \times 6{,}7 \times 0{,}4 + 9 \times 35{,}5 \leq 414{,}6\ \text{A} \rightarrow I_{nf} = 400\ \text{A}$

- Chave seccionadora

$I_{nch} \geq 1{,}15 \times I_c \geq 1{,}15 \times 10 \times 35{,}5 \geq 1{,}15 \times 355 \geq 408{,}2\ \text{A}$

– Tipo: S32 – 1000/3 $\rightarrow I_{nch} = 447$ A/380 V – Siemens

$I_{mf} = 1.000\ \text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cc} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 400 \text{ A} \rightarrow T_{nf} << 0{,}01 \text{ s}$$

$$T_{sc} = \frac{0{,}01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0{,}01302 \times (2 \times 400)^2}{32{,}1^2} = 8{,}0 \text{ s} \rightarrow T_{nf} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

13.2.15 TR-QGF (Circuito de Cada Transformador)

$$S_c = 3 \times 300 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{sc} = 3 \times 396 \text{ A} = 1.188 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P_{tr}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 0{,}38} = 1.139 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 1.250 \text{ A (Tabela 10.6)}$$

- Tipo: 3WN6 – Siemens
- Relé térmico: 500 – 1.250 A
- Relé magnético: 5.000 – 10.000 A
- Classe de temperatura da unidade magnética: 80 ms
- Capacidade de ruptura: 65 kA/380 V
- Ajuste do relé térmico: $I_a = 1.200$ A
- Condição de proteção

  $I_a \geq I_c \rightarrow 1.200 \text{ A} > 1.139 \text{ A (satisfaz)}$
  $I_a \leq I_{sc} \rightarrow 1.200 \text{ A} \cong 1.180 \text{ A (satisfaz)}$

- Capacidade de ruptura

  $I_{cc} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$

13.2.16 Banco de Capacitores

- Corrente nominal do fusível por célula

  $I_{nf} \leq 1{,}65 \times I_{nca}$

  $$I_{nca} = \frac{50}{\sqrt{3} \times 0{,}38} = 75{,}9 \text{ A}$$

  $I_{nf} \leq 1{,}65 \times 75{,}9 \leq 125{,}2 \text{ A}$
  $I_{nf} = 125 \text{ A}$

- Corrente nominal da chave seccionadora por célula

  $I_{nch} \geq 1{,}35 \times I_{nca}$
  $I_{nch} \geq 1{,}35 \times 75{,}9 = 102{,}4 \text{ A}$

  Tipo: S32 – 160/3 $\rightarrow I_{nch} = 102$ A/380 V (Siemens – Tabela 9.14)

  $I_{nf} = 160 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{nf} \text{ (satisfaz)}$

13.3 COORDENAÇÃO

13.3.1 Coordenação entre os QDLs e CCMs e o QGF

No caso dos CCMs e QGF, está praticamente assegurada a coordenação pela diferença de valores das correntes nominais ou de ajuste das proteções. No caso de alguns circuitos dos QDLs, devido às baixas correntes envolvidas, a coordenação poderá não ocorrer.

13.3.2 Coordenação entre o QGF e o Relé Primário

- Disjuntor secundário

  $$I_{cs} = \frac{32{,}1}{2} = 16{,}0 \text{ kA} = 16.000 \text{ A}$$

$$N = \frac{I_{cc}}{I_a} = \frac{16.000}{1.200} = 13{,}5 \rightarrow T_{ad} = 0{,}015 \text{ s (Figura 10.17)}$$

$T = 0{,}40$ s (tempo de coordenação)

- Relé primário

$$I_{cc} = 32{,}1 \text{ kA} \rightarrow 32.100 \times \frac{380}{13.800} = 883 \text{ A} \rightarrow T_{ad} = 0{,}010 + 0{,}4 = 0{,}410 \text{ A}$$

$T_{ad} = 0{,}5$ s (valor a ser ajustado no relé)

– Corrente nominal

$$I_m = 1{,}5 \times I_{nt} = 1{,}5 \times \frac{2 \times 750}{\sqrt{3} \times 13{,}80} = 94 \text{ A} \rightarrow I_m = 100 \text{ A}$$

– Faixa de ajuste: (60 – 120) A
– Ajuste: $I_a = 100$ A

14 CÁLCULO DA MALHA DE TERRA

14.1 MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO

Será considerado que foram realizadas em campo as medições de resistividade que resultaram na Tabela 3.

Não há desvio de qualquer valor de resistividade superior a 50% em relação à média para a distância considerada, como, por exemplo,

$$\rho_m = \left|\frac{270 - 190}{190}\right| \times 100 = 42\% < 50\%.$$

a) Resistividade aparente do solo

Traçar a curva das resistividades médias, conforme a Figura 1.

- Resistividade média do solo (ρ_m), em $\Omega \cdot$ m

Da Figura 1, tem-se:

$\rho_1 = 373\ \Omega \cdot \text{m}$
$\rho_2 = 150\ \Omega \cdot \text{m}$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{150}{373} = 0{,}40$$

Com o valor de $\rho_m/\rho_1 = 0{,}40$ obtém-se na Tabela 11.3 o valor do fator de multiplicação K.

$$\rho_m = K \times \rho_1 = 0{,}8517 \times 373 = 317\ \Omega \cdot \text{m}$$

TABELA 3
Resistividade medida do solo

Posição dos Eletrodos	Resistividade Média					
Distância (m)	Pontos Medidos					Valor Médio
	A	B	C	D	E	ρ_m
2	380	365	345	350	335	355
4	340	327	273	220	190	270
8	255	222	240	190	170	215
16	190	165	145	150	140	158

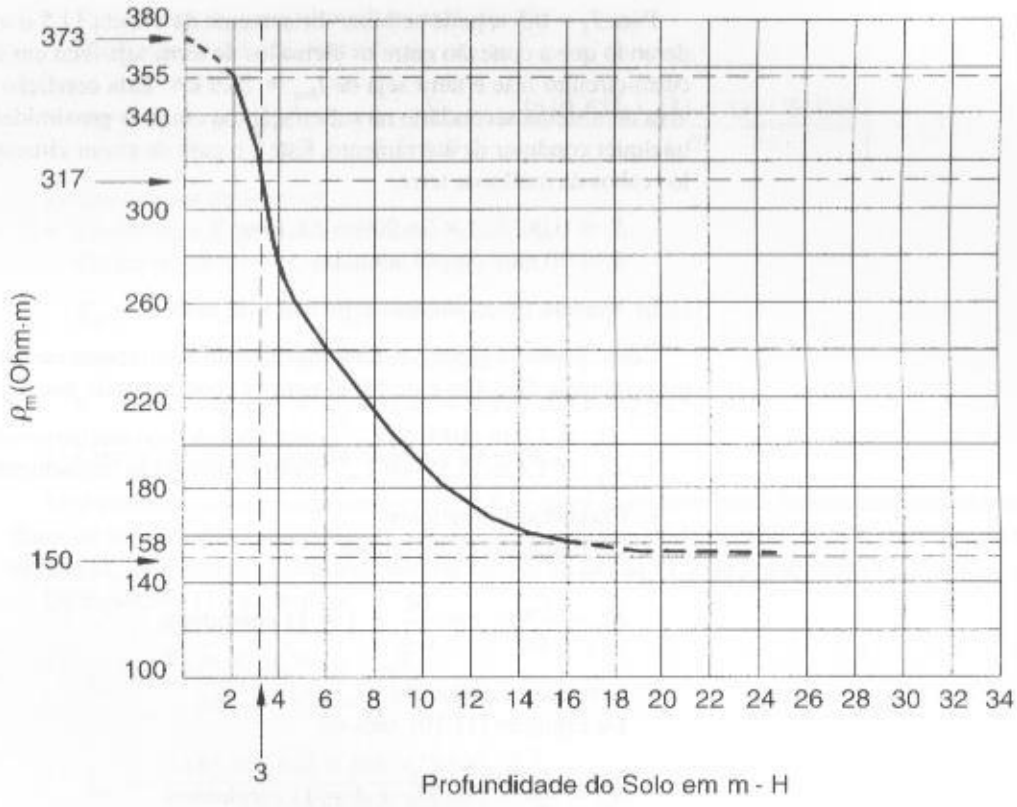


FIGURA 1
Curva profundidade × resistividade do solo

- Profundidade da camada de solo correspondente à resistividade média (ρ_m)

De acordo com a Equação (11.5), tem-se:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{140}{\pi}} = 6{,}6 \text{ m}$$

$$S = 14 \times 10 = 140 \text{ m}$$

$$R/D_p = \frac{6{,}6}{3} = 2{,}2$$

O valor dado de D_p é obtido a partir da curva da Figura 1, em função de $\rho_m = 317\ \Omega \cdot \text{m}$, ou seja:

$$\rho_m = 317\ \Omega \cdot \text{m} \rightarrow D_p = 3\text{m}$$

- Resistividade aparente

Com o valor de $R/D_p = 1{,}13$ m e de $\rho_2/\rho_1 = 0{,}40$, obtém-se no gráfico da Tabela 11.4, através de interpolação, o valor de K:

$$\frac{0{,}20 - 0{,}50}{0{,}99 - 1{,}00} = \frac{0{,}20 - 0{,}40}{0{,}99 - X} \rightarrow X = 0{,}996$$

$$\frac{0{,}20 - 0{,}50}{1{,}13 - 1{,}20} = \frac{0{,}20 - 0{,}40}{1{,}13 - Y} \rightarrow Y = 1{,}17$$

$$\frac{0{,}50 - 2}{0{,}996 - 1{,}12} = \frac{0{,}20 - 0{,}40}{0{,}996 - \text{K}} \rightarrow K = 1{,}04$$

$$\rho_a = K \times \rho_1 = 1{,}04 \times 373 = 388\ \Omega\text{m}$$

Para $T_f = 0{,}5$ s, pode-se obter diretamente da Tabela 11.5 o valor da seção em mm²/A, considerando que a conexão entre os eletrodos de terra seja feita em solda exotérmica e a corrente de curto-circuito fase e terra seja de $I_{fmá} = 26{,}9$ kA. Esta condição é obtida quando qualquer parte viva do sistema secundário na subestação ou em suas proximidades entra em contato direto com qualquer condutor de aterramento. Este é o caso de maior circulação de corrente diretamente pelos cabos da malha de terra.

$S_c = 0{,}002533 \times 26.900 = 68{,}1$ mm²
$S_c = 70$ mm² (seção adotada)

b) Número de condutores principal e de junção

Como primeira tentativa, será considerado arbitrariamente um espaçamento entre os condutores principais de 1,4 m e de 1,0 m para os condutores de junção, ou seja:

$D_j = 1{,}0$ m (10% de L_m – valor considerado inicialmente)
$D_p = 1{,}4$ m (6,5% de C_m – valor considerado inicialmente)

- Condutores principais
  Da Equação (11.9), tem-se:

$$N_{cp} = \frac{C_m}{D_p} + 1 = \frac{14}{1{,}4} + 1 = 11 \text{ condutores}$$

- Condutores de junção
  Da Equação (11.10), tem-se:

$$N_{cj} = \frac{L_m}{D_c} + 1 = \frac{10}{1{,}0} + 1 = 11 \text{ condutores}$$

c) Comprimento dos condutores da malha de terra
Da Equação (11.11), tem-se:

$L_{cm} = 1{,}05 \times [(C_m \times N_{cj}) + (L_m \times N_{cp})]$
$L_{cm} = 1{,}05 \times [(14 \times 11) + (10 \times 11)] = 277{,}2$ m

d) Coeficientes de ajuste

- Coeficiente K_m para os condutores principais
  Da Equação (11.12), tem-se:

$$K_m = \frac{1}{2 \times \pi} \times \ln\left(\frac{D^2}{4 \times \pi \times (N-1) \times H \times D_{ca}}\right)$$

$H = 0{,}5$ m (profundidade considerada da malha de terra)

$$K_{mp} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \ln\left(\frac{1{,}4^2}{4 \times \pi \times (11-1) \times 0{,}5 \times 0{,}00975}\right) = 0{,}185$$

$Sc = 70$ mm² $\rightarrow D_{ca} = 9{,}75$ mm $= 0{,}00975$ mm (Tabela 3.47)

- Coeficiente K_m para os condutores de junção
  Da Equação (11.12), tem-se:

$$K_{mj} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \ln\left(\frac{1{,}0^2}{4 \times \pi \times (11-1) \times 0{,}5 \times 0{,}00975}\right) = 0{,}077$$

e) Coeficiente de ajuste K_i

- Coeficiente K_i para os condutores principais
  Da Equação (11.13), tem-se:

$$K_i = \frac{1}{\pi} \times \left\{\frac{1}{2 \times H} + \frac{1}{D+H} + \ln\left[\frac{0{,}655 \times (N-1) - 0{,}328}{D}\right]\right\}$$

$$K_{ip} = \frac{1}{\pi} \times \left\{\frac{1}{2 \times 0{,}5} + \frac{1}{1{,}4+0{,}5} + \frac{\ln\left[0{,}655 \times (11-1) - 0{,}328\right]}{1{,}4^2}\right\} = 0{,}785$$

- Coeficiente K_s para os condutores de junção
  Da Equação (11.13), tem-se:

$$K_{sj} = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \frac{1}{2 \times 0,5} + \frac{1}{1,0 + 0,5} + \frac{\ln [0,655 \times (11 - 1) - 0,328]}{1,0^2} \right\} = 1,117$$

f) Coeficiente de ajuste K_i

- Coeficiente K_i para os condutores principais
  Da Equação (11.14), tem-se:

$$K_{ip} = 0,65 + 0,172 \times N_{cp} = 0,65 + 0,172 \times 11 = 2,542$$

- Coeficiente K_i para condutores de junção

$$K_{ij} = 0,65 + 0,172 \times N_{cj} = 0,65 + 0,172 \times 11 = 2,542$$

g) Comprimento mínimo do condutor da malha

Será utilizada a corrente de curto-circuito fase-terra que não envolva diretamente nenhum condutor de aterramento, ou seja, $I_{fmi} = 131$ A. Considerou-se ainda uma resistência da malha de terra de 5 Ω, conforme está demonstrado no item e) da Seção 11.2 do presente texto.

Da Equação (11.16), tem-se:

$$L_c = \frac{K_m \times K_i \ \rho_s \times I_{cfi} \times \sqrt{T_f}}{116 + 0,174 \times \rho_s}$$

$$L_c = \frac{0,185 \times 2,542 \times 388 \times 131 \times \sqrt{0,5}}{116 + 0,174 \times 3.000} = 32,3 \text{ m}$$

$\rho_s = 3.000\ \Omega \cdot \text{m}$ (camada superficial de brita de 15 cm)

Adotar o maior produto $K_m \times K_i$ para uma direção considerada, ou seja, $K_{mp} \times K_{ip}$.

$L_{cm} > L_c$ (condição satisfeita)

h) Tensão máxima de passo
Da Equação (11.19), tem-se:

$$E_{pa} = \frac{116 + 0,7 \times \rho_s}{\sqrt{T_f}} \rightarrow \frac{116 + 0,7 \times 3.000}{\sqrt{0,5}} = 3.133 \text{ V}$$

i) Tensão de passo existente na periferia da malha
Da Equação (11.20), tem-se:

$$E_{per} = \frac{K_s \times K_i \times \rho_i \times I_{cfi}}{L_{cm}} \rightarrow E_{per} = \frac{1,117 \times 2,542 \times 373 \times 131}{277,2} = 500,5 \text{ V}$$

Adotar o maior produto $K_s \times K_i$ para uma direção considerada, ou seja, $K_{sj} \times K_{ij}$.

j) Tensão máxima de toque
Da Equação (11.22), tem-se:

$$E_{tm} = \frac{116 + 0,174 \times \rho_s}{\sqrt{T_f}} \rightarrow E_{tm} = \frac{116 + 0,174 \times 3.000}{\sqrt{0,5}} = 902,2 \text{ V}$$

k) Tensão de toque existente
Da Equação (11.23), tem-se:

$$E_{te} = \frac{K_m \times K_i \times \rho_i \times I_{cfim}}{L_{cm}} \rightarrow E_{te} = \frac{1,185 \times 2,542 \times 373 \times 131}{277,2} = 82,2 \text{V}$$

$E_{tm} > E_{te}$ (condição satisfeita)

l) Corrente máxima de choque
Da Equação (11.25), tem-se:

$$I_{ch} = \frac{116}{\sqrt{T_f}}\ (\text{mA}) \rightarrow I_{ch} = \frac{116}{\sqrt{0,5}} = 164\ \text{mA}$$

m) Corrente de choque existente devido à tensão do passo, sem brita na periferia
Da Equação (11.26), tem-se:

$$I_{pmsb} = \frac{1.000 \times E_{per}}{1.000 + 6 \times \rho_1} \rightarrow I_{pmsb} = \frac{1.000 \times 500,5}{1.000 + 6 \times 373} = 154,5\ \text{mA}$$

$I_{pmsb} < I_{ch}$ (condição satisfeita)

n) Corrente de choque existente na periferia da malha devido à tensão de passo, com a camada de brita
Da Equação (11.28), tem-se:

$$I_{pmcb} = \frac{1.000 \times E_{per}}{1.000 + 6 \times (\rho_1 \times \rho_s)}\ (\text{mA}) \rightarrow I_{pmcb} = \frac{1.000 \times 500,5}{1.000 + 6 \times (373 + 3.000)} = 25,7\ \text{mA}$$

$I_{pmcb} < I_{ch}$ (condição satisfeita)

o) Corrente de choque devido à tensão de toque existente, sem brita

$$I_{tmsb} = \frac{1.000 \times E_{per}}{1.000 + 1,5 \times \rho_1} \rightarrow I_{tmsb} = \frac{1.000 \times 500,5}{1.000 + 1,5 \times 373} = 320,7\ \text{mA}$$

$I_{tmsb} > I_{ch}$ (condição satisfeita)

Com a utilização de brita, pode-se aplicar a Equação (11.32):

$$I_{tmcb} = \frac{1.000 \times E_{per}}{1.000 + 1,5 \times (\rho_1 \times \rho_s)} \rightarrow I_{tmcb} = \frac{1.000 \times 82,2}{1.000 + 1,5 \times (355 + 3.000)} = 13,6\ \text{mA}$$

$I_{tmcb} < I_{ch}$ (condição satisfeita)

p) Corrente mínima de acionamento do relé de terra
Da Equação (11.34), tem-se:

$$I_a = \frac{(R_{ch} + 1,5 \times \rho_s) \times 9 \times L_{cm}}{1.000 \times K_m \times K_i \times \rho} \rightarrow I_a = \frac{(1.000 + 1,5 \times 3.000) \times 9 \times 277,2}{1.000 \times 0,185 \times 2,542 \times 373} = 78,2\ \text{A}$$

$R_{ch} = 1.000\ \Omega$ (resistência considerada do corpo humano)

q) Resistência da malha de terra
Da Equação (11.37), tem-se:

$$R_{mc} = \frac{\rho_a}{4 \times R} + \frac{\rho_a}{L_{cm}} \rightarrow R_{mc} = \frac{388}{4 \times 6,6} + \frac{388}{277,2} = 16\ \Omega$$

O valor da resistência de terra não satisfaz plenamente ao máximo estabelecido pela norma, que é de 10 Ω para subestações de 15 kV.

r) Resistência de um aterramento de eletrodo vertical
Da Equação (11.38), tem-se:

$$R_{ie} = \frac{\rho_a}{2 \times \pi \times L_h} \times \ln\left(\frac{400 \times L_h}{2,54 \times D_h}\right) \rightarrow R_{ie} = \frac{388}{2 \times \pi \times 3} \times \ln\left(\frac{400 \times 3}{2,54 \times 3/4}\right) = 132,6\ \Omega$$

$D_h = 3/4''$
$L_h = 3\ \text{m}$

s) Coeficiente de redução da resistência de um eletrodo vertical
Da Equação (11.39), tem-se:

$$K_h = \frac{1 + A \times B}{N_h} \rightarrow K_h = \frac{1 + 0,0543 \times 5,8917}{9} = 0,14665$$

N_h = 9 hastes de terra (valor adotado arbitrariamente e visto em planta)
A = 0,0543 (Tabela 11.7 para nove hastes de terra)
B = 5,8917 (Tabela 11.8), conforme a seguir:

t) Resistência de aterramento do conjunto de eletrodos verticais
Da Equação (11.40), tem-se:

$$R_{ne} = K_h \times R_{ie} = 0{,}1629 + 132{,}6 = 21{,}6\ \Omega$$

u) Resistência mútua dos cabos e eletrodos verticais
Da Equação (11.41), tem-se:

$$R_{mu} = \frac{\rho_m}{\pi \times L_{cm}} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times L_{cm}}{L_{th}} + K_1 \times \frac{L_{cm}}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right) \right]$$

$$R_{mu} = \frac{317}{\pi \times 277{,}2} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times 277{,}2}{9 \times 3} + \frac{1{,}081 \times 277{,}2}{\sqrt{140}} - 5{,}287 + 1 \right) \right]$$

$$R_{mu} = 1{,}06\ \Omega$$

$$K = \frac{C_m}{L_m} = \frac{14}{10} = 1{,}4$$

$$L_{th} = N_h \times L_{th} = 9 \times 3 = 27\ \text{m}$$

$$K_1 = 1{,}14125 - 0{,}0425 \times K = 1{,}14125 - 0{,}0425 \times 1{,}4 = 1{,}081$$

$$K_2 = 5{,}49 - 0{,}1443 \times K = 5{,}49 - 0{,}1443 \times 1{,}4 = 5{,}287$$

v) Resistência total da malha
Da Equação (11.46), tem-se:

$$R_{tm} = \frac{R_{mc} \times R_{ne} - R_{mu}^2}{R_{mc} + R_{ne} - 2 \times R_{mu}} \rightarrow R_{tm} = \frac{13{,}8 \times 21{,}6 - 1{,}06^2}{13{,}8 + 21{,}6 - 2 \times 1{,}06} = 8{,}9\ \Omega < 10\ \Omega$$

15 DIMENSÕES DA SUBESTAÇÃO

15.1 CUBÍCULOS DE MEDIÇÃO

C_1 = 1.600 mm
L_2 = 2.422 mm (adotou-se a dimensão do cubículo do transformador)

15.2 CUBÍCULOS DO DISJUNTOR

$C_2 = D_d + 1.000 = 700 + 1.000 = 1.700$ mm
D_d = 700 mm
L_2 = 2.422 mm

15.3 CUBÍCULOS DE TRANSFORMAÇÃO

$L_3 = D_t + 1.000 = 2.540 + 1.000 = 3.540$ mm
D_t = 2.540 mm
$L_2 = D_t + 1.000 = 1.422 + 1.000 = 2.422$ mm
D_t = 1.422 mm (Tabela 12.4)

Logo, as dimensões finais ocupadas pelos equipamentos são:

L = 1.600 + 150 + 1.700 + 150 + 3.540 + 150 + 3.540 + 150 = 10.980 mm (veja planta 5)

Como a dimensão da subestação é de 14.400, será reservado um cubículo para ampliação com a seguinte dimensão:

L_r = 14.400 − 10.980 = 3.420 mm (veja planta 5)

Em função da largura de 9.500 mm já considerada, foram definidas as dimensões internas da subestação de conformidade com a planta 5.

15.4 ALTURA MÍNIMA DA SUBESTAÇÃO

$$H_{se} = H_1 + H_{ar} + H_c + H_i + H_{ab}$$
$$H_{se} = 2.085 + 300 + 600 + 250 + 1.500 = 4.735 \text{ mm} = 4{,}7 \text{ m}$$

O valor final de $H_{se} = 5{,}1$ m que corresponde à altura existente do prédio.

15.5 DIMENSÕES DA JANELA DE VENTILAÇÃO

$$A_v = \frac{2 \times 750 \times 0{,}30}{100} = 4{,}5 \text{ m}^2$$
$$A_v = 1{,}5 \times 3 \text{ m (valor mínimo)}$$
$$A_v = 1{,}8 \times 2{,}50 \text{ m (valor adotado)}$$

16 DIMENSIONAMENTO DOS APARELHOS DE MEDIÇÃO

16.1 MEDIÇÃO DE ENERGIA

Os transformadores de medida (TCs e TPs) serão fornecidos pela concessionária local, de acordo com as suas normas e especificações particulares.

16.2 MEDIÇÃO DE CORRENTE INDICATIVA

16.2.1 Transformadores de Corrente (TCs)

- QDL1
  $I_{qdl1} = 80{,}7 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 100 - 5 \text{ A}$
- QDL2
  $I_{qdl2} = 95{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 100 - 5 \text{ A}$
- QDL3
  $I_{qdl3} = 13{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 15 - 5 \text{ A}$
- QDL4
  $I_{qdl4} = 8 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 10 - 5 \text{ A}$
- QDL5
  $I_{qdl5} = 23{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 25 - 5 \text{ A}$
- QDL6
  $I_{qdl6} = 27{,}8 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 30 - 5 \text{ A}$
- CCM1
  $I_{ccm1} = 158 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 200 - 5 \text{ A}$
- CCM2
  $I_{ccm2} = 96{,}9 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 150 - 5 \text{ A}$
- CCM3
  $I_{ccm3} = 131{,}5 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 150 - 5 \text{ A}$
- CCM4
  $I_{ccm4} = 654{,}8 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 800 - 5 \text{ A}$
- CCM5
  $I_{ccm5} = 191{,}7 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 250 - 5 \text{ A}$
- CCM6
  $I_{ccm6} = 230{,}4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 300 - 5 \text{ A}$

- CCM7
  $I_{ccm7} = 433\ A \rightarrow I_{tc} = 600 - 5\ A$
- CCM8
  $I_{ccm8} = 355\ A \rightarrow I_{tc} = 400 - 5\ A$
- Capacitores
  $I_{nc} = 75{,}9\ A \rightarrow I_{tc} = 75{,}9 \times 6 = 455{,}4\ A \rightarrow I_{tc} = 500 - 5\ A$
- Transformador (secundário)
  $I_{nt} = 1.139\ A \rightarrow I_{tc} = 1.500 - 5\ A$

16.2.2 Amperímetros

Todos os amperímetros têm um valor de fundo de escala 50% superior ao valor do limite da faixa de medição.

- QDL1
  $I_{qdl1} = 80{,}7\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{qdl1} = 1{,}5 \times 80{,}7 = 121{,}0\ A$
  $I_{esc} = 0 - 125\ A$
- QDL2
  $I_{qdl2} = 95{,}4\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{qdl2} = 1{,}5 \times 95{,}4 = 143{,}1\ A$
  $I_{esc} = 0 - 150\ A$
- QDL3
  $I_{qdl3} = 13{,}4\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{qdl3} = 1{,}5 \times 13{,}4 = 20{,}1\ A$
  $I_{esc} = 0 - 20\ A$
- QDL4
  $I_{qdl4} = 8\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{qdl4} = 1{,}5 \times 8 = 12{,}0\ A$
  $I_{esc} = 0 - 15\ A$
- QDL5
  $I_{qdl5} = 23{,}4\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{qdl5} = 1{,}5 \times 23{,}4 = 35{,}1\ A$
  $I_{esc} = 0 - 40\ A$
- QDL6
  $I_{qdl6} = 27{,}8\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{qdl6} = 1{,}5 \times 27{,}8 = 41{,}7\ A$
  $I_{esc} = 0 - 50\ A$
- CCM1
  $I_{ccm1} = 158\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm1} = 1{,}5 \times 158 = 237\ A$
  $I_{esc} = 0 - 400\ A$
- CCM2
  $I_{ccm2} = 96{,}9\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm2} = 1{,}5 \times 96{,}9 = 145\ A$
  $I_{esc} = 0 - 200\ A$
- CCM3
  $I_{ccm3} = 131{,}5\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm3} = 1{,}5 \times 131{,}5 = 197\ A$
  $I_{esc} = 0 - 200\ A$
- CCM4
  $I_{ccm4} = 654{,}8\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm4} = 1{,}5 \times 654{,}8 = 982\ A$
  $I_{esc} = 0 - 1.000\ A$
- CCM5
  $I_{ccm5} = 191{,}7\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm5} = 1{,}5 \times 191{,}7 = 287\ A$
  $I_{esc} = 0 - 400\ A$
- CCM6
  $I_{ccm6} = 230{,}4\ A \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm6} = 1{,}5 \times 230{,}4 = 345\ A$
  $I_{esc} = 0 - 600\ A$

- CCM7

$$I_{ccm7} = 433\ \text{A} \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm7} = 1{,}5 \times 433 = 649\ \text{A}$$
$$I_{esc} = 0 - 800\ \text{A}$$

- CCM8

$$I_{ccm8} = 355\ \text{A} \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times I_{ccm8} = 1{,}5 \times 355 = 532\ \text{A}$$
$$I_{esc} = 0 - 600\ \text{A}$$

- Capacitadores

$$I_{cc} \rightarrow I_{amp} = 1{,}5 \times 75{,}9 + 5 \times 75{,}9 = 493{,}3\ \text{A}$$
$$I_{esc} = 0 - 600\ \text{A}$$

- Transformador (secundário)

A corrente de fundo de escala será 30% superior à corrente nominal do transformador.

$$I_{nt} = 1.139\ \text{A} \rightarrow I_{amp} = 1{,}30 \times 1.139 = 1.480\ \text{A}$$
$$I_{esc} = 0 - 1.500\ \text{A}$$

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
			1 - ENTRADA DE ENERGIA		
1	um	3	Pára-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 54 kV, máxima tensão residual de descarga de 39 kV.		
2	uma	3	Chave seccionadora unipolar, corrente nominal de 100 A/15 kV, TSI de 95 kV, tensão máxima de operação de 15,5 kV e capacidade assimétrica de interrupção de 10 kA.		
3	uma	3	Mufla terminal primária unipolar, uso externo, tipo composto elastomérico, para cabo unipolar de 25 mm², isolacão em PVC, terminal externo para 100 A, tensão nominal de 15 kV, corrente nominal de 100 A, tensão máxima de operação de 15,5 kV, TSI de 95 kV, fornecida com *kit* completo.		
4	m	70	Cabo de cobre unipolar, isolação em PVC para 8,7/15 kV, seção de 25 mm².		
5	uma	3	Cruzeta de concreto armado de 1,90 m, tipo N (ABNT).		
6	m	6	Eletroduto de ferro galvanizado de 100 mm (3 1/2").		
7	um	2	Suporte metálico para fixação do eletroduto de ferro galvanizado.		
			2 - CUBÍCULO DE MEDIÇÃO		
8	um	1	Suporte metálico para fixação dos transformadores para medição: corrente e potencial.		
9	uma	3	Mufla terminal primária unipolar, uso interno, tipo composto elastomérico, para cabo unipolar de 25 mm², isolacão em PVC, terminal externo para 100 A, tensão nominal de 15 kV, TSI de 95 kV, fornecida com *kit* completo.		
10	um	1	Suporte metálico para fixação das muflas.		
11	uma	1	Tela metálica de 13 mm de abertura, de 2.550 × 2.950 mm, conforme desenho.		
12	um	9	Isolador suporte para uso interno, 15 kV.		
			3 - CUBÍCULO DE PROTEÇÃO		
13	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, uso interno, acionamento manual através de alavanca de manobra, operação sem carga, corrente nominal de 200 A, classe de tensão de 15 kV, corrente de curta duração para efeito térmico de 10 kA e para efeito dinâmico de 20 kA, nível de isolamento de 15,5 kV e TSI de 95 kV.		
14	um	3	Relé primário de ação direta, corrente nominal de 100 A, tipo RM2F, faixa de ajuste (60–120) A.		
15	um	9	Suporte metálico para fixação de chave seccionadora tripolar.		
16	um	9	Isolador suporte para uso interno, 15 kV.		
17	uma	3	Bucha de passagem de 15 kV/100 A, uso interno-interno.		
18	uma	1	Disjuntor tripolar a pequeno volume de óleo, comando manual, acionamento frontal,		

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
			montagem fixa sobre carrinho, construção aberta, tensão nominal de utilização 15 kV, corrente nominal de 400 A, capacidade de interrupção simétrica de 250 MVA, tensão de impulso de 125 kV e freqüência nominal de 60 Hz.		
19	uma	1	Chapa de passagem de 1.500 × 500 mm para fixação de bucha de passagem.		
20	uma	1	Tela metálica de 13 mm de abertura com dimensões de 1.270 × 2.950 mm, conforme desenho.		
			4 - CUBÍCULO DE TRANSFORMAÇÃO		
21	uma	2	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, uso interno, acionamento manual, através de alavanca de manobra, operação sem carga, corrente nominal de 200 A, classe de tensão de 15 kV, corrente de curta duração para efeito térmico de 10 kA e para efeito dinâmico de 20 kA, nível de isolamento de 15,5 kV e TSI de 95 kV.		
22	um	2	Transformador trifásico de 750 kVA, tensão nominal primária de 13.800/13.200/12.600 V, tensão nominal secundária de 380/220 V dispondo de ligação dos enrolamentos triângulo primário e estrela secundário, impedância nominal percentual de 5,5%, freqüência de 60 Hz e TSI de 95 kV.		
23	um	6	Isolador suporte, uso interno, para 15 kV.		
24	m	68	Vergalhão de cobre nu de 35 mm^2 (barramento total de SE).		
25	uma	2	Tela metálica de 13 mm de abertura com dimensões de 4.490 × 1.800 mm, conforme desenho.		
			5 - ATERRAMENTO DA SUBESTAÇÃO		
26	m	277	Cabo de cobre nu de 70 mm^2.		
27	uma	9	Haste de terra de aço cobreado de 3/4" × 3.000 mm.		
			6 - QUADRO GERAL DE FORÇA - QGF		
28	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, com espessura de 70 $\mu \cdot$ m e dimensão de 4.500 × 2.000 mm, com 750 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 4" × 1/4".		
29	um	54	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
30	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 102 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-160/3 - Siemens.		
31	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 139 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-250/3 - Siemens.		
32	uma	2	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 190 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-400/3 - Siemens.		
33	uma	2	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 382 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-630/3 - Siemens.		
34	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 447 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1000/3 - Siemens.		
35	uma	2	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 870 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1.250/3 - Siemens.		
36	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 10 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
37	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 16 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
38	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 32 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
39	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 100 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
40	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 125 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
41	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 200 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 1, tipo retardado.		

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
42	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 250 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 1, tipo retardado.		
43	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 400 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 1, tipo retardado.		
44	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 500 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 2, tipo retardado.		
45	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 800 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 3, tipo retardado.		
46	uma	15	Base para fusível NH, tamanho 1/125 A.		
47	uma	3	Base para fusível NH, tamanho 1/250 A.		
48	uma	6	Base para fusível NH, tamanho 3/630 A.		
49	uma	3	Base para fusível NH, tamanho 4/1.250 A.		
50	uma	51	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
51	um	3	Transformador de corrente de 10-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.		
52	um	3	Transformador de corrente de 15-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.		
53	um	3	Transformador de corrente de 25-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.		
54	um	3	Transformador de corrente de 30-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.		
55	um	6	Transformador de corrente de 100-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.		
56	um	6	Transformador de corrente de 150-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.		
57	um	3	Transformador de corrente de 250-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.		
58	um	3	Transformador de corrente de 300-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
59	um	3	Transformador de corrente de 400-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
60	um	3	Transformador de corrente de 500-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
61	um	3	Transformador de corrente de 600-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
62	um	3	Transformador de corrente de 800-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
63	um	6	Transformador de corrente de 1.500-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
63	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-15 A/60 Hz, classe 1,5.		
64	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-20 A/60 Hz, classe 1,5.		
65	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-40 A/60 Hz, classe 1,5.		
66	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-50 A/60 Hz, classe 1,5.		
67	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-125 A/60 Hz, classe 1,5.		
68	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-150 A/60 Hz, classe 1,5.		
69	um	2	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-250 A/60 Hz, classe 1,5.		
70	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-400 A/60 Hz, classe 1,5.		
71	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-500 A/60 Hz, classe 1,5.		
72	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-600 A/60 Hz, classe 1,5.		
73	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-800 A/60 Hz, classe 1,5.		
74	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-1.000 A/60 Hz, classe 1,5.		
75	um	2	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-1.500 A/60 Hz, classe 1,5.		
76	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
77	uma	17	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
78	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 1.500 V, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
79	um	1	Disjuntor termagnético de 25 A/600 V, capacidade de ruptura de 10 kA, faixa de ajuste térmico (10 – 16) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VU13 - Siemens.		
80	um	2	Disjuntor termagnético de 25 A /600 V, capacidade de ruptura de 6 kA, faixa de ajuste térmico (18 – 25) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VU13 - Siemens.		
81	um	1	Disjuntor termagnético de 52 A/600 V, capacidade de ruptura de 35 kA, faixa de ajuste térmico (28 – 40) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VU 16 - Siemens.		
82	um	1	Disjuntor termagnético de 100 A/600 V, capacidade de ruptura de 65 kA, faixa de ajuste térmico (80 – 100) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VF 31 - Siemens.		
83	um	1	Disjuntor termagnético de 160 A/600 V, capacidade de ruptura de 65 kA, faixa de ajuste térmico (100 – 125) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VF 32 - Siemens.		
84	um	2	Disjuntor tripolar de 1.250 A/600 V, provido de unidade térmica (500 - 1.250) A e unidade magnética de (5.000–10.000) A, tropicalizado, capacidade de ruptura simétrica de 65 kA, tipo 3WN6 - Siemens.		

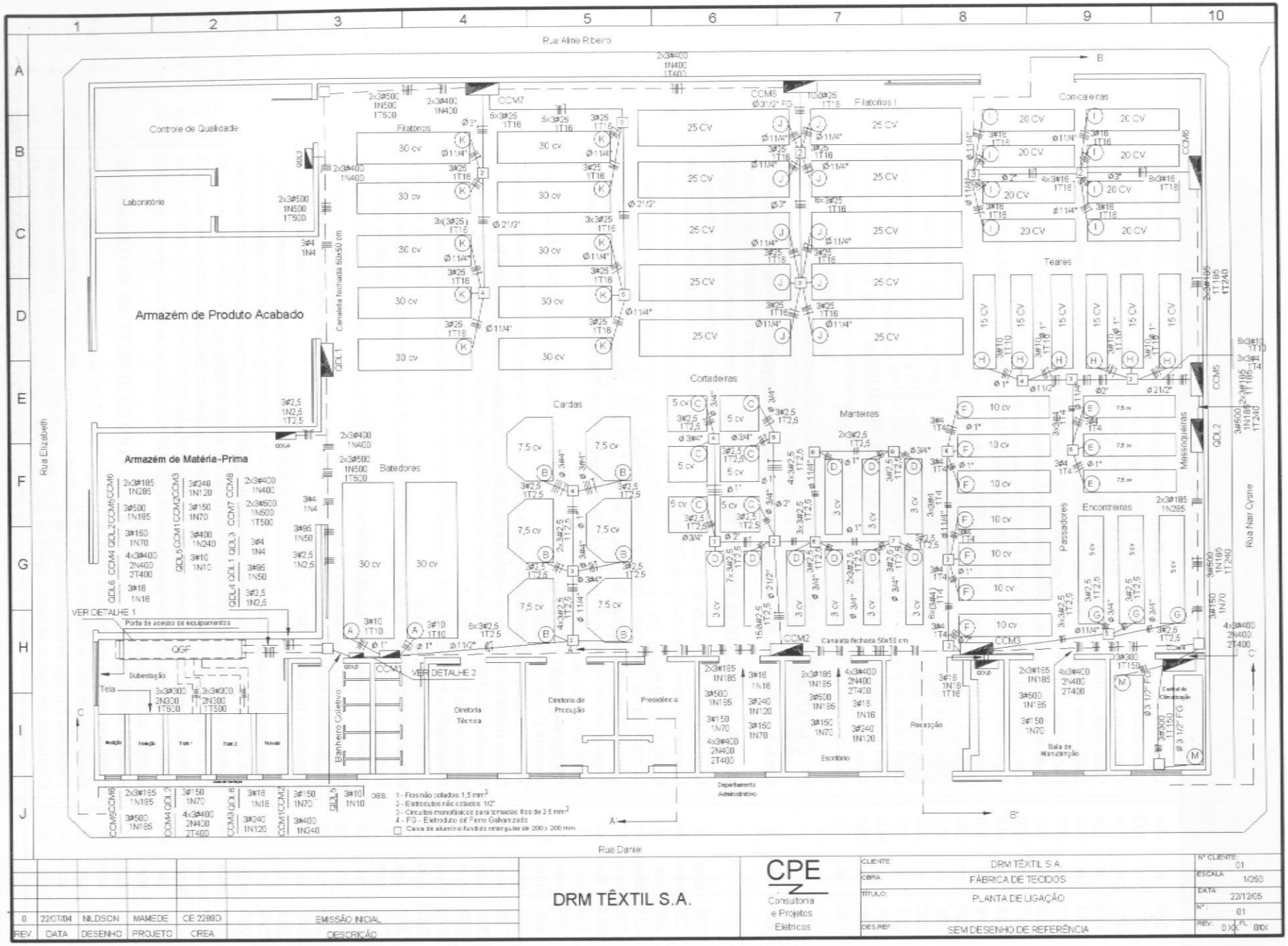
Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
			7 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM1		
85	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
86	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 400 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
87	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz, classe 1,5.		
88	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
89	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
90	um	27	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
91	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 190 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-400/3 - Siemens.		
92	um	18	Fusível tipo NH, corrente nominal de 32 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
93	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 100 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
94	uma	24	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
95	uma	24	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
96	um	3	Transformador de corrente de 200-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.		
97	um	6	Contator magnético tripolar para motor de 7,5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF41-10 - Siemens.		
97	um	2	Contator magnético tripolar para motor de 30 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF46-32 - Siemens.		
98	um	6	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (10 – 16) A, tipo 3UA 55-00-2A - Siemens.		
99	um	2	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (32 – 50) A, tipo 3UA 58-00-2F - Siemens.		
			8 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM2		
100	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
101	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.		
102	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 200 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
103	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
104	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
105	um	48	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
106	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 139 A/380 V acionamento frontal, tipo S32-25-/3 - Siemens.		
107	um	27	Fusível tipo NH, corrente nominal de 16 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
108	um	18	Fusível tipo NH, corrente nominal de 20 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
109	uma	45	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
110	uma	45	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
111	um	3	Transformador de corrente de 150-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.		
112	um	15	Contator magnético tripolar para motor de 5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF43-10 - Siemens.		
113	um	15	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (6,3 - 10) A, tipo 3UA 55-00-1J - Siemens.		

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
			9 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM3		
114	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
115	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz, classe 1,5.		
116	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 200 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
117	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
118	uma	10	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
119	um	33	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
120	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 190 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-400/3 - Siemens.		
121	um	9	Fusível tipo NH, corrente nominal de 20 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
122	um	21	Fusível tipo NH, corrente nominal de 32 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
123	uma	30	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
124	uma	30	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
125	um	3	Transformador de corrente de 150-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.		
126	um	3	Contator magnético tripolar para motor de 5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF43-10 - Siemens.		
127	um	3	Contator magnético tripolar para motor de 10 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF44-11 - Siemens.		
128	um	3	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (6,3 – 10) A, tipo 3UA 55-00-1J - Siemens.		
129	um	7	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (12,5 – 20) A, tipo 3UA 55-00-2B - Siemens.		
			10 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM4		
130	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
131	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.		
132	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 1.000 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
133	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
134	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
135	um	9	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
136	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 870 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1250/3 - Siemens.		
137	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 800 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 3, tipo retardado.		
138	uma	6	Base para fusível NH, tamanho 3/630 A.		
139	uma	6	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
139	um	3	Transformador de corrente de 800-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
140	uma	2	Chave de partida estática para motor de 250 cv/380 V, tipo SSW-02-340 - WEG.		
			11 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM5		
141	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
142	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz, classe 1,5.		
143	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 400 A,		

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
			freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
144	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
145	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
146	um	30	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 382 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-630/3 - Siemens.		
147	um	9	Fusível tipo NH, corrente nominal de 25 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
148	um	18	Fusível tipo NH, corrente nominal de 63 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
149	uma	27	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
150	uma	27	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
151	um	3	Transformador de corrente de 250-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.		
152	um	3	Contator magnético tripolar para motor de 7,5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF41-10 - Siemens.		
153	um	6	Contator magnético tripolar para motor de 15 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF44-11 - Siemens.		
154	um	3	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (10 – 16) A, tipo 3UA 55-00-2A - Siemens.		
155	um	6	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (20 – 32) A, tipo 3UA55-00-2D - Siemens.		
			12 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM6		
156	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
157	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.		
158	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 600 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
159	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
160	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
161	um	27	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
162	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 382 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-630/3 - Siemens.		
163	um	24	Fusível tipo NH, corrente nominal de 63 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
164	uma	24	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
165	uma	24	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
166	um	3	Transformador de corrente de 300-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
167	um	8	Contator magnético tripolar para motor de 20 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF44-11 - Siemens.		
168	um	8	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (20 – 32) A, tipo 3UA-58-00-2D - Siemens.		
			13 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM7		
169	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
170	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.		
171	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 800 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
172	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
173	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
174	um	33	Conjunto fusível *diazed* de 4 A.		
175	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 870A/380V, acionamento frontal, tipo S32-1250/3 - Siemens.		

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
176	um	30	Fusível tipo NH, corrente nominal de 100 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
177	uma	30	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
178	uma	30	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
179	um	10	Contator magnético tripolar para motor de 30 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF46-22 - Siemens.		
180	um	10	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (32 – 50) A, tipo 3UA-58-00-2F Siemens.		
			14 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM8		
181	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.		
182	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.		
183	uma	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 600 A, freqüência de 60 Hz, classe 1,5.		
184	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 447 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1000/3 - Siemens.		
185	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.		
186	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.		
187	um	30	Fusível tipo NH, corrente nominal de 80 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.		
188	uma	30	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.		
189	uma	30	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.		
190	um	10	Contator magnético tripolar para motor de 25 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF45-11 - Siemens.		
191	um	10	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (32 – 50) A, tipo 3UA-42 - Siemens.		
192	um	3	Transformador de corrente de 400-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.		
			15 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE LUZ (QDL1 - QDL2 - QDL3 - QDL5 - QDL6)		
193	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2 mm de espessura (14 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintado com tinta em pó, à base de epóxi, com espessura de 70 μ · m e dimensão de 400 × 300 mm, com 150 mm de pronfundidade, com espaço disponível para 10 disjuntores monopolares.		
194	um	1	Disjuntor tripolar termomagnético de 30 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.		
195	um	1	Disjuntor tripolar termomagnético de 35 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.		
196	um	1	Disjuntor tripolar termomagnético de 60 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.		
197	um	2	Disjuntor tripolar termomagnético de 100 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.		
198	um	7	Disjuntor monopolar termomagnético de 10 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.		
199	um	6	Disjuntor monopolar termomagnético de 15 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.		
200	um	3	Disjuntor monopolar termomagnético de 20 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.		
201	um	1	Disjuntor monopolar termomagnético de 25 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.		
202	um	2	Disjuntor monopolar termomagnético de 30 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.		
202	um	2	Disjuntor monopolar termomagnético de 35 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.		
204	um	12	Disjuntor monopolar termomagnético de 40 A/660 V, interrupção de 6 kA.		
			16 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE LUZ (QDL1 - QDL2 - QDL3 - QDL5 - QDL6)		
205	m	4.500	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70°C, seção de 1,5 mm^2.		
206	m	2.200	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70°C, seção de 2,5 mm^2.		
207	m	720	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70°C, seção de 6 mm^2.		
208	m	610	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70°C, seção de 10 mm^2.		
209	m	2.890	Cabo cobre isolado - 750 V em PVC/70°C, seção de 16 mm^2.		

Relação de Material					
Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total
210	m	686	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 2,5 mm².		
211	m	455	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 4 mm².		
212	m	350	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 10 mm².		
213	m	326	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 16 mm².		
214	m	490	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 25 mm².		
215	m	247	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 35 mm².		
216	m	340	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 50 mm².		
217	m	270	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 70 mm².		
218	m	810	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 95 mm².		
219	m	210	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 120 mm².		
220	m	250	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 150 mm².		
221	m	530	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 185 mm².		
222	m	420	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 240 mm².		
223	m	750	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 400 mm².		
224	m	660	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70°C, seção de 500 mm².		
225	m	265	Cabo de cobre nu, seção de 400 mm².		
226	m	135	Cabo de cobre nu, seção de 500 mm².		
			17 - CAPACITORES		
227	um	6	Capacitor trifásico de 50 kVAr, tensão nominal de 380 V/60 Hz.		
			18 - ILUMINAÇÃO E ELETRODUTOS		
228	uma	2	Lâmpada incandescente de 40 W/220 V.		
229	uma	84	Lâmpada a vapor de mercúrio de 700 W/220 V.		
230	um	2	Globo esférico de 6".		
231	uma	56	Luminária para 2 lâmpadas fluor. de 40 W, tipo TMS-426 - Philips.		
232	uma	57	Luminária para 4 lâmpadas fluor. de 40 W, tipo TMS-427 - Philips.		
233	um	84	Projetor industrial de alumínio para 1 lâmpada vapor de mercúrio, tipo T-38 - Peterco.		
234	um	2	Interruptor tripolar de 10 A/220 V.		
235	um	14	Interruptor simples de 10 A/220 V.		
236	uma	119	Tomada simples de 10 A/220 V.		
237	uma	10	Tomada tripolar de 4 pinos de 20 A/380 V.		
238	um	170	Reator duplo de alto fator de potência para lâmpada fluorescente de 40 W/220 V.		
238	vara	82	Eletroduto de PVC de 1/2".		
239	vara	28	Eletroduto de PVC de 3/4".		
240	vara	13	Eletroduto de PVC de 1".		
241	vara	12	Eletroduto de PVC de 1 1/4".		
242	vara	10	Eletroduto de PVC de 1 1/2".		
243	vara	5	Eletroduto de PVC de 2 1/2".		
244	m	66	Eletroduto de ferro galvanizado de 3/4".		
245	m	60	Eletroduto de ferro galvanizado de 1".		
246	m	38	Eletroduto de ferro galvanizado de 3".		
247	m	70	Eletroduto flexível de 3/4".		
248	m	53	Eletroduto flexível de 1".		
249	m	32	Eletroduto flexível de 11/4".		
250	rolo	60	Fita isolante de 20 mm de largura, em rolo de 15 m.		
251	uma	66	Caixa de ferro esmaltada octogonal - fundo móvel de 50 × 100 mm.		
252	uma	96	Caixa de ferro esmaltada octogonal - fundo móvel de 100 × 100 mm.		
253	uma	29	Caixa de alumínio fundido retangular de 200 × 300 mm.		
254	par	180	Bucha e arruela de alumínio para eletroduto de 3/4".		
255	par	40	Bucha e arruela de alumínio para eletroduto de 1".		
256	par	25	Bucha e arruela de alumínio para eletroduto de 1 1/2".		
257	um	72	Condulete em liga de alumínio tipo I de 1".		
258	um	8	Condulete em liga de alumínio tipo T de 1".		
259	um	4	Condulete em liga de alumínio tipo L de 1".		
260	um	12	Condulete em liga de alumínio tipo I de 3/4".		

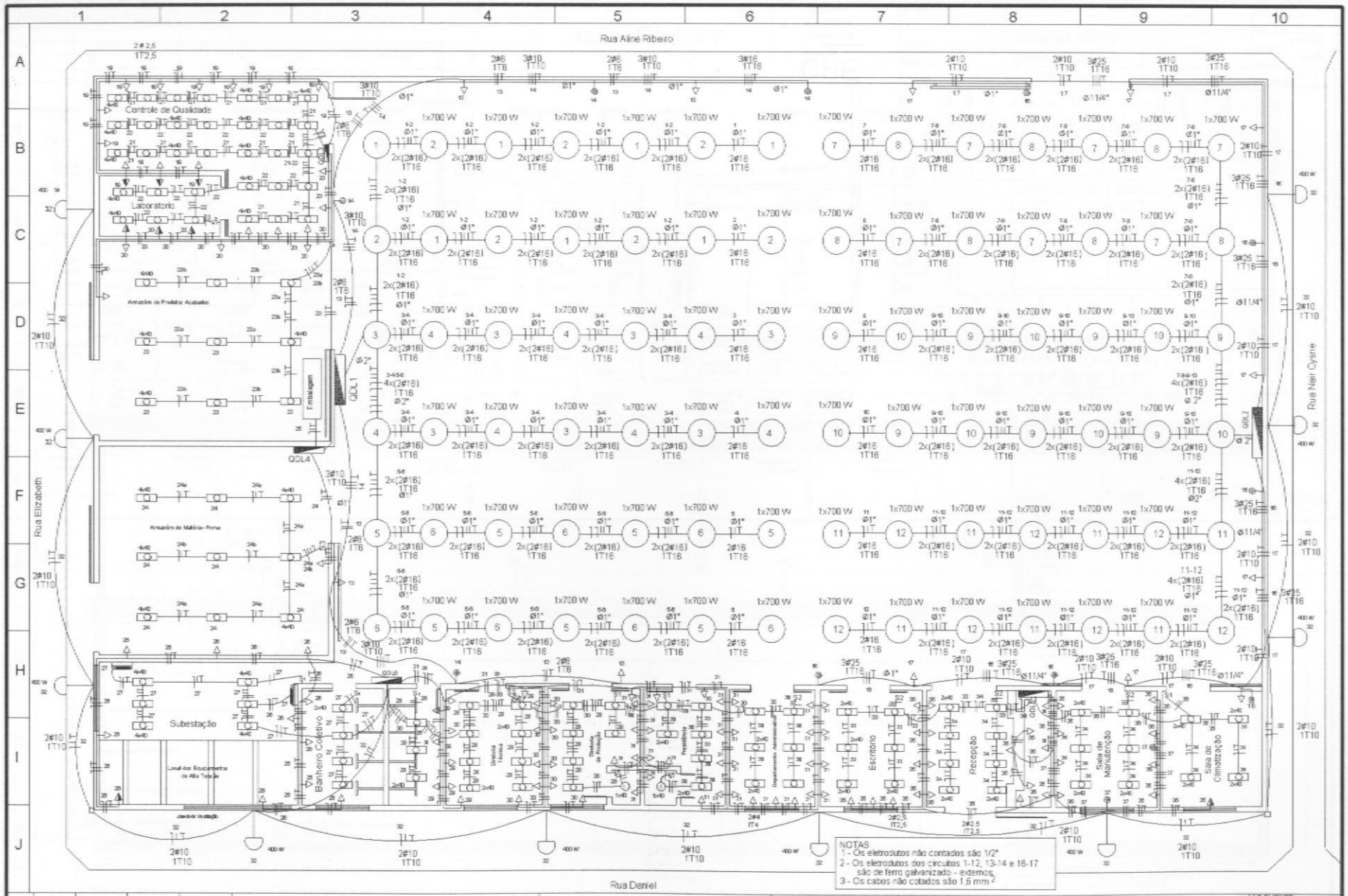


REV	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	22/07/04	NILDSON	MAMEDE	CE 2289D	EMISSÃO INICIAL

DRM TÊXTIL S.A.

CPE Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A.
OBRA:	FÁBRICA DE TECIDOS
TÍTULO:	PLANTA DE LIGAÇÃO
DES./REF.:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA
Nº CLIENTE:	01
ESCALA:	1/250
DATA:	22/12/05
Nº:	01
REV.:	0X0 FL. 0X0

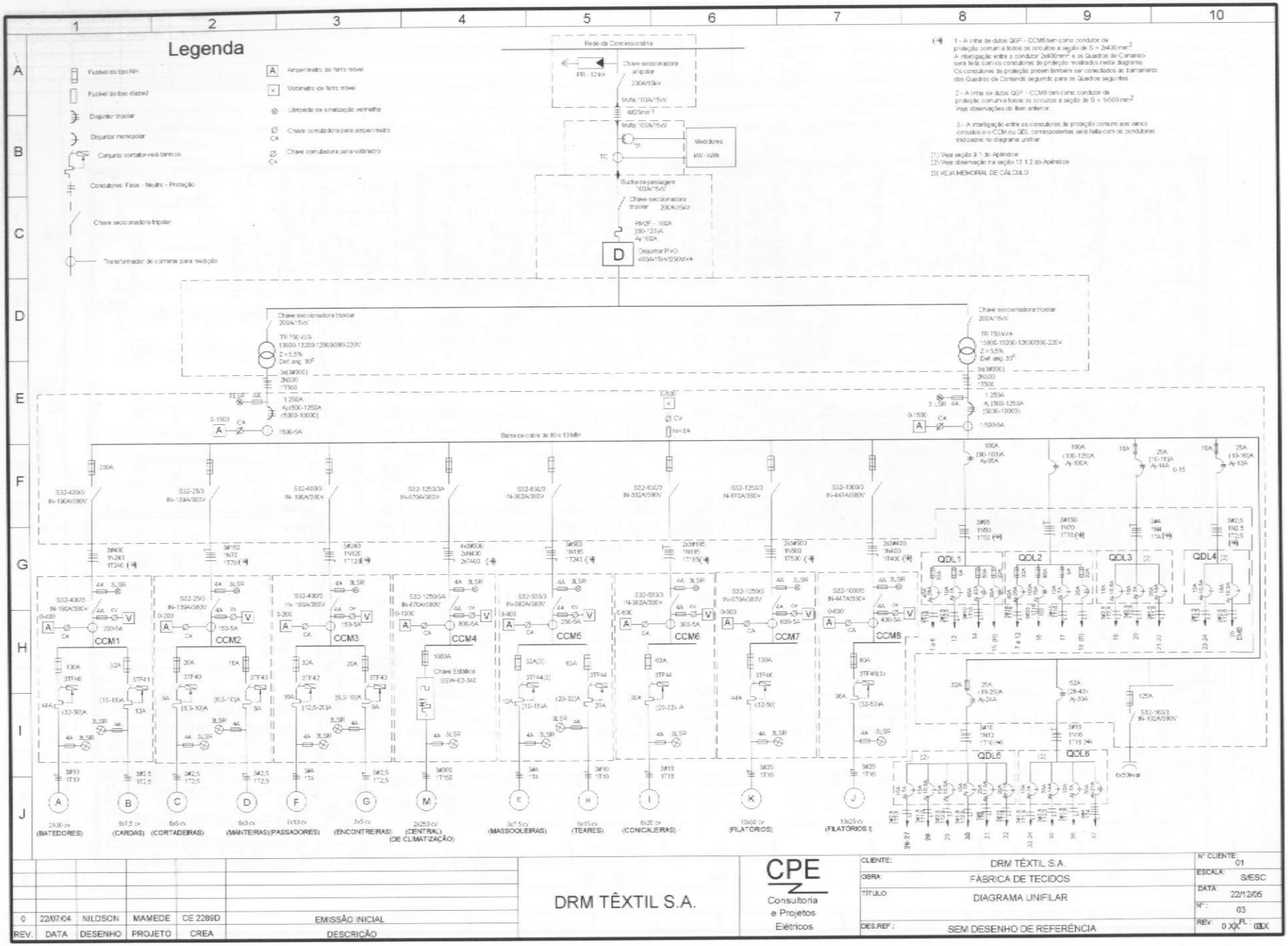


REV.	DATA	DESENHO	PROJETO	CRE	DESCRIÇÃO
0	22/07/04	NILDSON	MAMEDE	CE 2289D	EMISSÃO INICIAL

DRM TÊXTIL S.A.

CPE Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE	DRM TÊXTIL S.A.
OBRA	FÁBRICA DE TECIDOS
TÍTULO	PLANTA DE ILUMINAÇÃO
DES REF.	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA
Nº CLIENTE	01
ESCALA	1/250
DATA	22/12/05
Nº	02
REV.	0
FL.	02



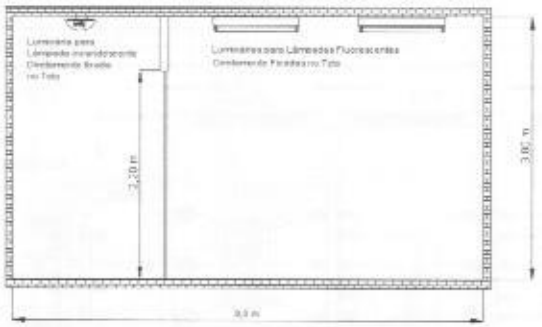
REV.	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	22/07/04	NILDSON	MAMEDE	CE 2289D	EMISSÃO INICIAL

DRM TÊXTIL S.A.

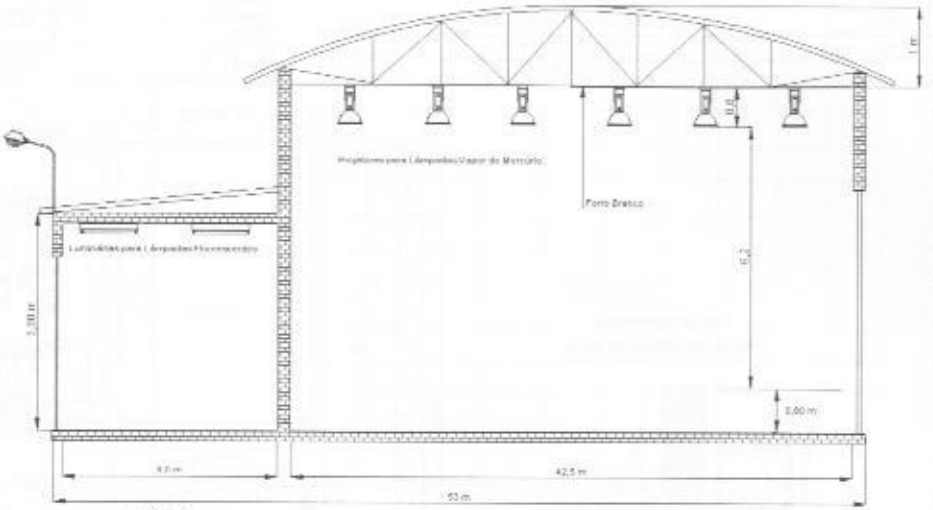
CPE
Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A.
OBRA:	FÁBRICA DE TECIDOS
TÍTULO:	DIAGRAMA UNIFILAR
DES.REF.:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA

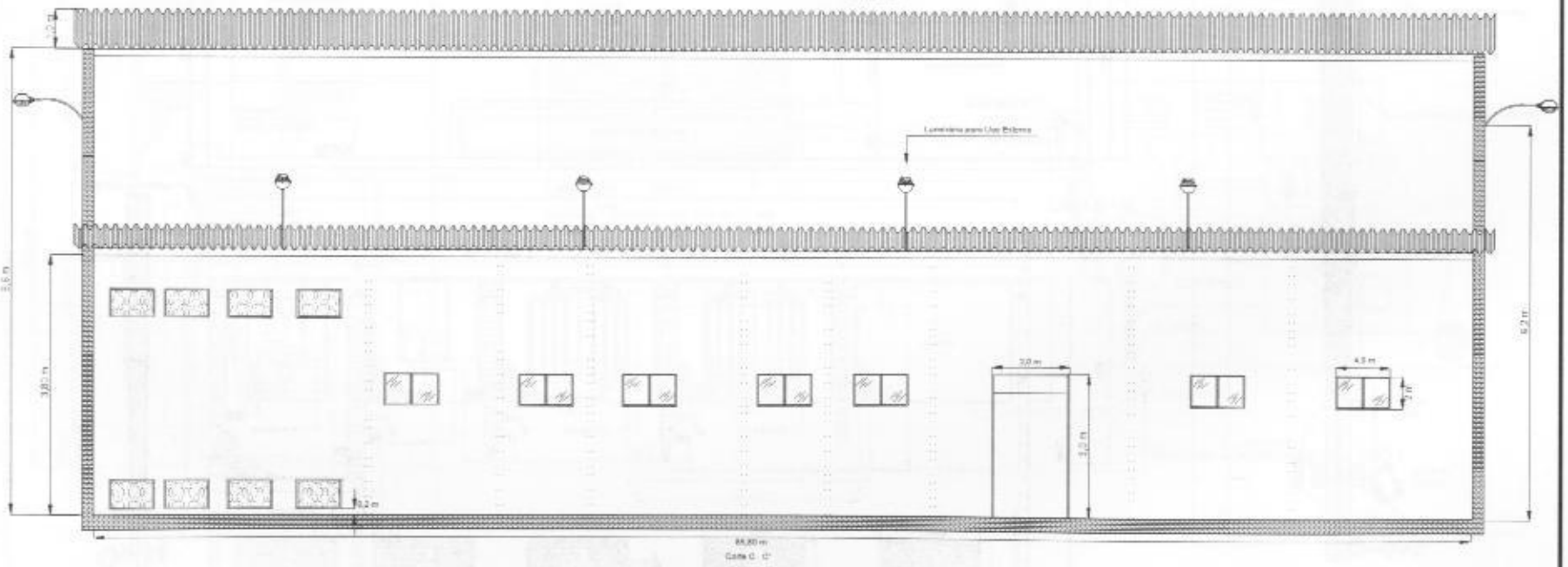
Nº CLIENTE:	01
ESCALA:	S/ESC
DATA:	22/12/05
Nº:	03
REV.:	0 XX FL.: 00X



Corte A-A



Corte B-B'



Corte C-C'

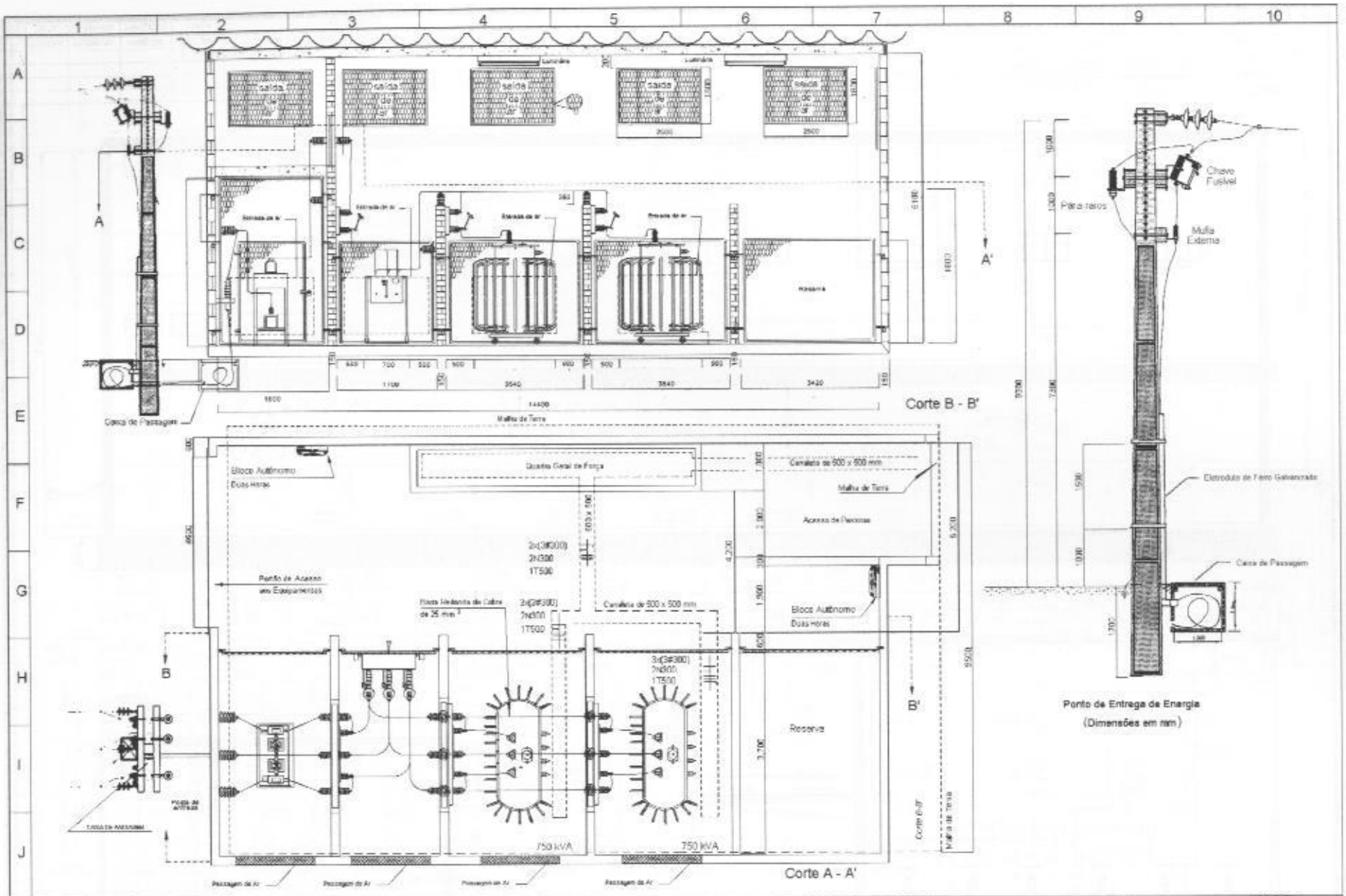
REV.	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	22/12/05	NILDSON	MAMEDE	CE 2289D	EMISSÃO INICIAL

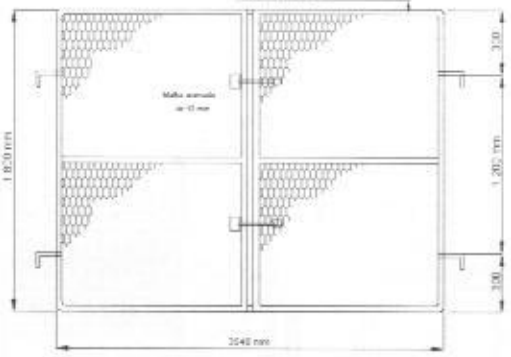
DRM TÊXTIL S.A.

CPE
Consultoria
e Projetos
Elétricos

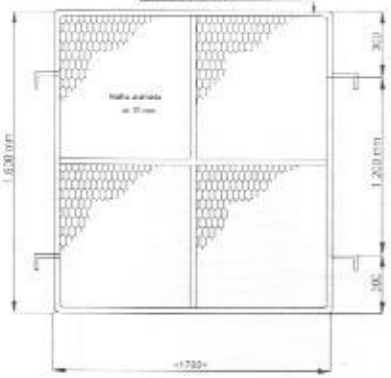
CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A.
OBRA:	FABRICA DE TECIDOS
TÍTULO:	PLANTA DE DETALHES CONSTRUTIVOS
DESENHO:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA

Nº CLIENTE:	01
ESCALA:	S/ESC
DATA:	22/12/05
Nº:	04
REV:	0


Corte B - B'
Corte A - A'
Chave Fusível
Mufla Externa
Para-raios
Eletroduto de Ferro Galvanizado
Caixa de Passagem
Malha de Terra
Bloco Autônomo
Duas Horas
Quadro Geral de Força
Canaleta de 500 x 500 mm
Acesso de Pessoas
Portão de Acesso aos Equipamentos
Reserva
750 kVA
Passagem de Ar
Ponto de Entrega de Energia
(Dimensões em mm)
0 22/07/04 NILDSON MAMEDE CE 22080 EMISSÃO INICIAL
REV DATA DESENHO PROJETO CREA DESCRIÇÃO
DRM TÊXTIL S.A.
CPE
Consultoria e Projetos Elétricos
DRM TÊXTIL S.A.
FÁBRICA DE TECIDOS
SUBESTAÇÃO DE 1500 KVA
SEM DESENHO DE REFERÊNCIA
Nº CLIENTE 01
ESCALA S/ESC
DATA 22/12/05
Nº 05
REV 0 FL 05

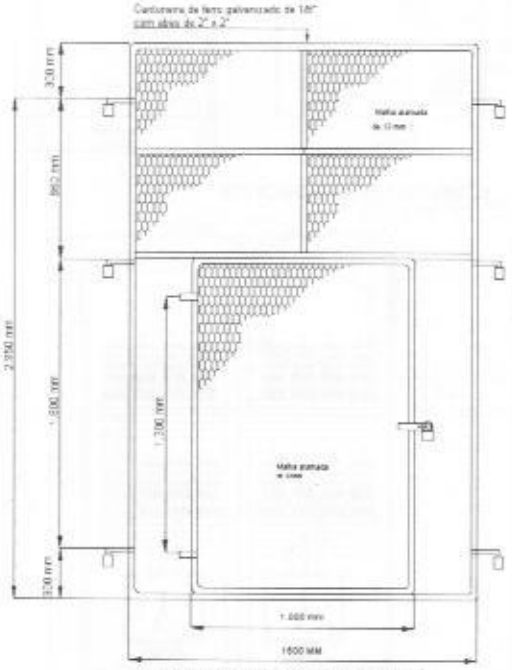


Grade de Proteção do Cubículo de Transformação

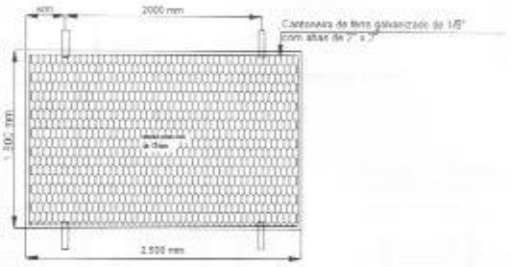


Grade de Proteção do Cubículo de Disjunção

Detalhe Construtivo da Malha de Terra

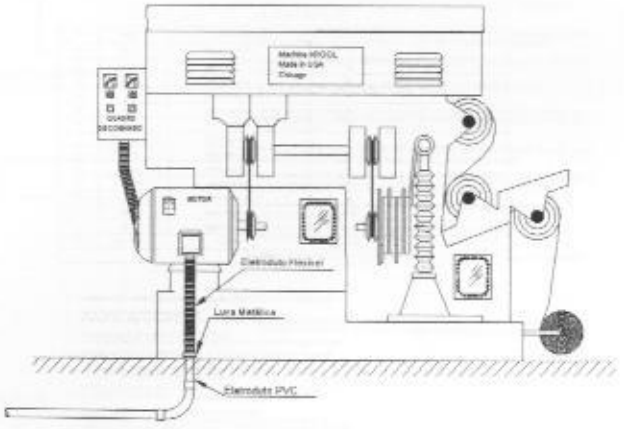


Grade de Proteção do Cubículo de Medição



Janela de Ventilação com Tela de 13 mm

Detalhe Construtivo da Canaleta



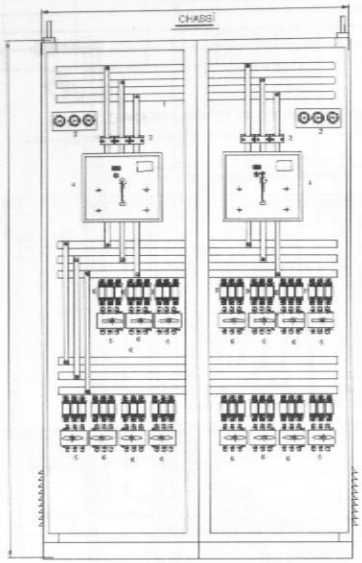
Detalhe de Ligação do Motor - TIPO 1

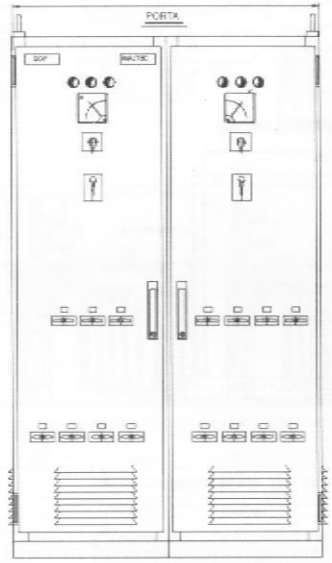
REV.	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	22/07/05	NILDSON	MAMEDE	CE 22880	EMISSÃO INICIAL

DRM TÊXTIL S.A.

CPE Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A
OBRA:	FÁBRICA DE TECIDOS
TÍTULO:	PLANTA DE DETALHES
DES./REF.:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA
Nº CLIENTE:	01
PROJETO:	SIESC
DATA:	22/12/05
Nº	06
REV.	0
FL.	06





QUADRO GERAL DE FORÇA

ESPECIFICAÇÕES:

1 - DIMENSÕES: CONFORME PROJETO DO FORNECEDOR.

2 - GRAU DE PROTEÇÃO : IP 54

3 - BARRAMENTOS EM COBRE ELETROLÍTICO, DIMENSIONADOS PARA CORRENTE NOMINAL DE 250A E DE CURTO-CIRCUITO, VALOR DE PICO 12 kA, PINTADO NAS CORES: FASE A - AZUL, DEL REY, FASE B - BRANCA, FASE C - VIOLETA, TERRA - VERDE.

4 - MATERIAL: CHAPA EM AÇO CARBONO SAE 1020.

5 - TRATAMENTO DA CHAPA: DESENGRAXE E FOSFATIZAÇÃO ATRAVÉS DE BANHO CATÓDICO.

6 - PINTURA ELETROSTÁTICA PÓ A BASE DE EPÓXI POLIÉSTER, COR RAL 7032 EM 2 DEMÃOS DE 30 MICRÔMETROS CADA UMA (60 MICRÔMETROS).

7 - PORTA FRONTAL COM FECHO TRIÁNGULO TIPO BANDEIRA.

8 - ENTRADA E SAÍDA DOS CABOS PELA PARTE SUPERIOR DO PAINEL.

9 - OS CABOS DOS CIRCUITOS TERMINAIS SERÃO LIGADOS DIRETAMENTE NOS TERMINAIS DAS CHAVES SECCIONADORAS.

10 - OS BARRAMENTOS E BUSWAYS DEVEM SER PROVIDOS DE BARREIRA DE PROTEÇÃO, ATRAVÉS DE BARREIRA TRANSPARENTE DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA, TIPO MACROLON.

11 - INSTALAR CANALETAS PLÁSTICAS PARA ACOMODAÇÃO DA FIAÇÃO.

12 - FORNECER DESENHOS DIMENSIONAIS (VISTAS, CORTES E BASES, ARRANJOS FÍSICOS E BARRAMENTOS), UNIFILARES, MULTIFILARES, FUNCIONAIS E DE FIAÇÃO TERMINAL, PARA ANÁLISE E APROVAÇÃO E POSTERIORMENTE REVISADOS COM O FIEL CONSTRUÍDO.

13 - FORNECER DESENHOS DE DETALHES DA ENTRADA, SAÍDA, ACOMODAÇÃO, FIXAÇÃO E CONEXÕES ELÉTRICAS DOS CABOS EXTERNOS PARA ANÁLISE E APROVAÇÃO E POSTERIORMENTE REVISADO COM O FIEL CONSTRUÍDO.

14 - O CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DE CADA COMPONENTE DEVE SER INDICADO NA RELAÇÃO DE MATERIAL E EM TODOS OS DESENHOS E NAS PLACAS METÁLICAS INTERNAS.

15 - FORNECER RELAÇÃO DE MATERIAL COM CÓDIGOS DE IDENTIFICAÇÃO, CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, TIPO, REFERÊNCIA, FABRICANTE E QUANTIDADES.

16 - FORNECER E INSTALAR PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO INTERNAS E EXTERNAS.

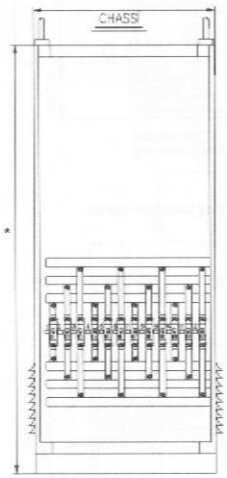
17 - RELAÇÃO DE MATERIAL E DESENHOS SUJEITOS À ANÁLISE E APROVAÇÃO 7 DIAS ANTES DO INÍCIO DA FABRICAÇÃO DO QUADRO.

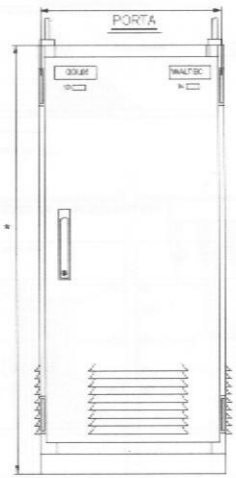
18 - NORMAS: NBR 6808, NBR 5410, NBR 5410 E DEMAIS CITADAS (QUANDO NOS CASOS NÃO DEFINIDOS NAS NORMAS ANTERIORES).

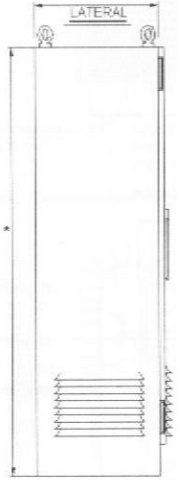
19 - DEMAIS CARACTERÍSTICAS CONFORME ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA VTC-G-ET-01.

LISTA DE FIAÇÃO ETIQUETAS

POS.	DIM. (MM)	1ª LINHA	2ª LINHA	3ª LINHA
1	60X20	DISJUNTOR 01	25-27	440VAC - 60Hz - 3F+N+T
2	60X20	DISJUNTOR 02	25-27	-
3	60X20	DISJUNTOR 03	29	-
4	60X20	DISJUNTOR 04	25	-
5	60X20	DISJUNTOR 05	29	-
6	60X20	DISJUNTOR 06	29	-
7	60X20	DISJUNTOR 07	38	-
8	60X20	DISJUNTOR 08	30	-
9	60X20	DISJUNTOR 09	31	-
10	60X20	DISJUNTOR 10	31	-
11	60X20	DISJUNTOR 11	32	-
12	60X20	DISJUNTOR 12	32	-
13	60X20	QUADRO DE LUZ	QDL5	-
14	60X20	FABRICANTE	-	-







QUADRO DE LUZ QDL5

* As dimensões do QGF, CCM e QDL's são de responsabilidade do fabricante

LISTA DE FIAÇÃO ETIQUETAS

POS.	DIM. (MM)	1ª LINHA	2ª LINHA	3ª LINHA
1	60X20	DISJUNTOR 01	25-27	440VAC - 60Hz - 3F+N+T
2	60X20	DISJUNTOR 02	25-27	-
3	60X20	DISJUNTOR 03	29	-
4	60X20	DISJUNTOR 04	25	-
5	60X20	DISJUNTOR 05	29	-
6	60X20	DISJUNTOR 06	29	-
7	60X20	DISJUNTOR 07	38	-
8	60X20	DISJUNTOR 08	30	-
9	60X20	DISJUNTOR 09	31	-
10	60X20	DISJUNTOR 10	31	-
11	60X20	DISJUNTOR 11	32	-
12	60X20	DISJUNTOR 12	32	-
13	60X20	QUADRO DE LUZ	QDL5	-
14	60X20	FABRICANTE	-	-

ESPECIFICAÇÕES:

1 - DIMENSÕES: CONFORME PROJETO DO FORNECEDOR.

2 - GRAU DE PROTEÇÃO : IP 54

3 - BARRAMENTOS EM COBRE ELETROLÍTICO, DIMENSIONADOS PARA CORRENTE NOMINAL DE 250A E DE CURTO-CIRCUITO, VALOR DE PICO 12 kA, PINTADO NAS CORES: FASE A - AZUL, DEL REY, FASE B - BRANCA, FASE C - VIOLETA, TERRA - VERDE.

4 - MATERIAL: CHAPA EM AÇO CARBONO SAE 1020.

5 - TRATAMENTO DA CHAPA: DESENGRAXE E FOSFATIZAÇÃO ATRAVÉS DE BANHO CATÓDICO.

6 - PINTURA ELETROSTÁTICA PÓ A BASE DE EPÓXI POLIÉSTER, COR RAL 7032 EM 2 DEMÃOS DE 30 MICRÔMETROS CADA UMA (60 MICRÔMETROS).

7 - PORTA FRONTAL COM FECHO TRIÁNGULO TIPO BANDEIRA.

8 - ENTRADA E SAÍDA DOS CABOS PELA PARTE SUPERIOR DO PAINEL.

9 - OS CABOS DOS CIRCUITOS TERMINAIS SERÃO LIGADOS DIRETAMENTE NOS TERMINAIS DAS CHAVES SECCIONADORAS.

10 - OS BARRAMENTOS E BUSWAYS DEVEM SER PROVIDOS DE BARREIRA DE PROTEÇÃO, ATRAVÉS DE BARREIRA TRANSPARENTE DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA, TIPO MACROLON.

11 - INSTALAR CANALETAS PLÁSTICAS PARA ACOMODAÇÃO DA FIAÇÃO.

12 - FORNECER DESENHOS DIMENSIONAIS (VISTAS, CORTES E BASES, ARRANJOS FÍSICOS E BARRAMENTOS), UNIFILARES, MULTIFILARES, FUNCIONAIS E DE FIAÇÃO TERMINAL, PARA ANÁLISE E APROVAÇÃO E POSTERIORMENTE REVISADOS COM O FIEL CONSTRUÍDO.

13 - FORNECER DESENHOS DE DETALHES DA ENTRADA, SAÍDA, ACOMODAÇÃO, FIXAÇÃO E CONEXÕES ELÉTRICAS DOS CABOS EXTERNOS PARA ANÁLISE E APROVAÇÃO E POSTERIORMENTE REVISADO COM O FIEL CONSTRUÍDO.

14 - O CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DE CADA COMPONENTE DEVE SER INDICADO NA RELAÇÃO DE MATERIAL E EM TODOS OS DESENHOS E NAS PLACAS METÁLICAS INTERNAS.

15 - FORNECER RELAÇÃO DE MATERIAL COM CÓDIGOS DE IDENTIFICAÇÃO, CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, TIPO, REFERÊNCIA, FABRICANTE E QUANTIDADES.

16 - FORNECER E INSTALAR PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO INTERNAS E EXTERNAS.

17 - RELAÇÃO DE MATERIAL E DESENHOS SUJEITOS À ANÁLISE E APROVAÇÃO 7 DIAS ANTES DO INÍCIO DA FABRICAÇÃO DO QUADRO.

18 - NORMAS: NBR 6808, NBR 5410, NBR 5410 E DEMAIS CITADAS (QUANDO NOS CASOS NÃO DEFINIDOS NAS NORMAS ANTERIORES).

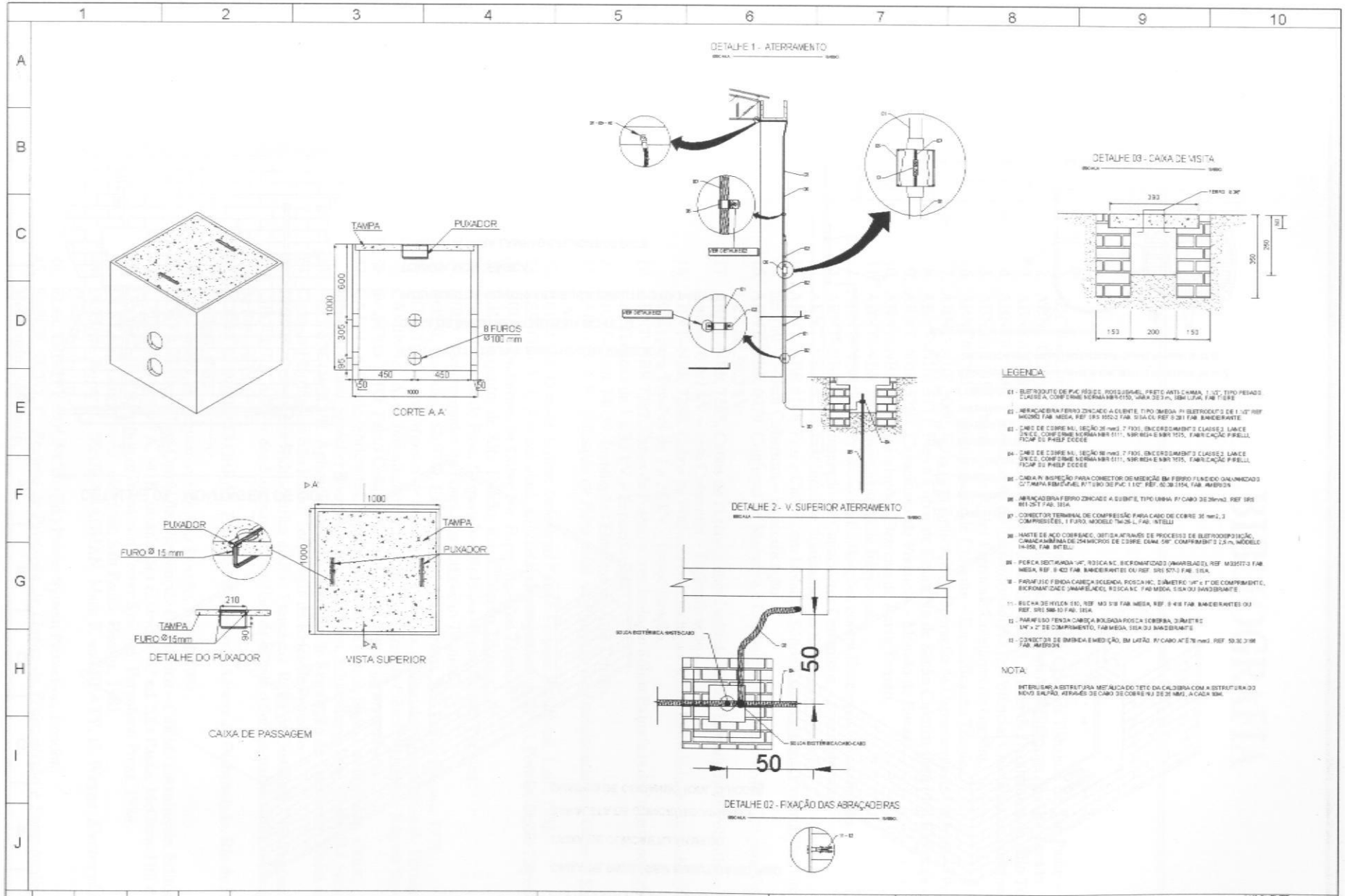
19 - DEMAIS CARACTERÍSTICAS CONFORME ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA VTC-G-ET-01.

REV.	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	12/09/04	NILDSON	MAMEDE	CE 22880	EMISSÃO INICIAL

DRM TÊXTIL S.A.

CPE
Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A.
OBRA:	FÁBRICA DE TECIDOS
TÍTULO:	QUADRO GERAL DE FORÇA - QGF QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE LUZ - QDL
DES.REF.:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA
Nº CLIENTE:	01
ESCALA:	S/ESC
DATA:	12/12/05
Nº:	07
REV:	0
FL:	07



REV.	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	12/09/04	NILDSON	MAMEDE	CE 2289D	EMISSÃO INICIAL

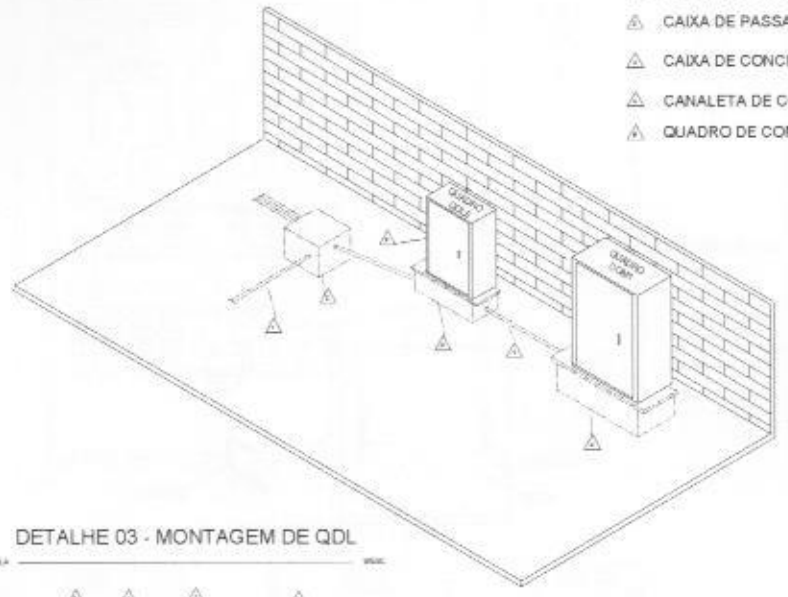
DRM TÊXTIL S.A.

CPE
Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A.	Nº CLIENTE:	01
OBRA:	FÁBRICA DE TECIDOS	ESCALA:	S/ESC
TÍTULO:	DETALHES CONSTRUTIVOS	DATA:	12/12/05
		Nº:	08
DES REF.:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA	REV: 0	FL 08

DETALHE 01- QDL E CCM

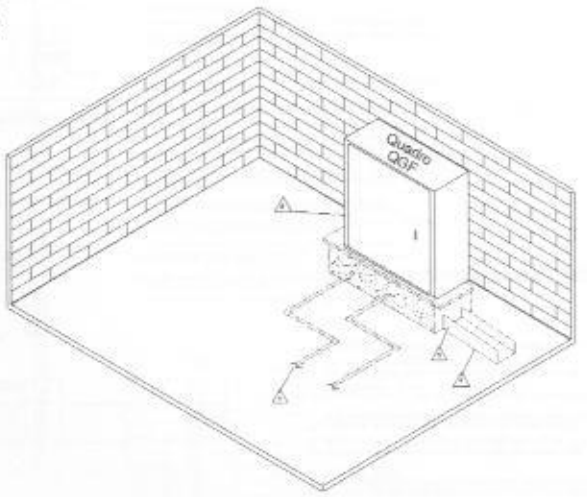
ESCALA ——— S/ESCALA



- ELETRODUTO DE PVC EMBUTIDO NO PISO
- CAIXA DE PASSAGEM EMBUTIDA NO PISO
- CAIXA DE CONCRETO ARMADO
- CANALETA DE CONCRETO ARMADO
- QUADRO DE COMANDO (QDL OU CCM)

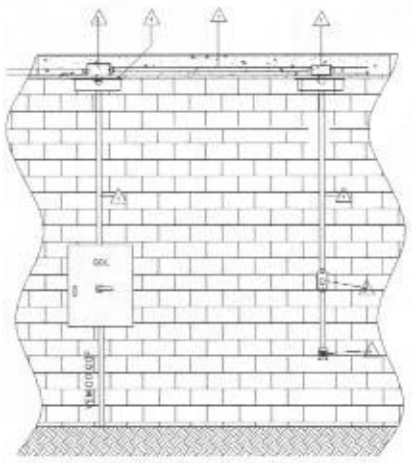
DETALHE 02 - QGF

ESCALA ——— S/ESCALA



DETALHE 03 - MONTAGEM DE QDL

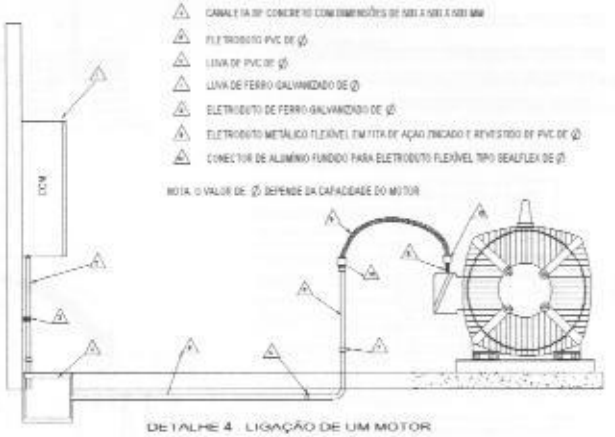
ESCALA ——— S/ESC



- ELETRODUTO DE PVC EMBUTIDO NA PAREDE
- CAIXA DE PASSAGEM EMBUTIDA NO TETO
- INTERRUPTOR MONOPLAR DE 10 A EMBUTIDO NA PAREDE
- TOMADA MONOFÁSICA
- LUMINÁRIA PARA LÂMPADA FLUORESCENTE

- CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES
- ELETRODUTO DE FERRO GALVANIZADO COM DIÂMETRO Z (MAIOR QUE Ø)
- ABRAÇADEIRA METÁLICA PARA ELETRODUTO DE FERRO GALVANIZADO DE Ø
- CANALETA DE CONCRETO COM DIMENSÕES DE 500 A 500 A 500 MM
- ELETRODUTO PVC DE Ø
- LUVA DE PVC DE Ø
- LUVA DE FERRO GALVANIZADO DE Ø
- ELETRODUTO DE FERRO GALVANIZADO DE Ø
- ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL EM FITA DE AÇÃO ZINCADO E REVESTIDO DE PVC DE Ø
- CONECTOR DE ALUMÍNIO FUNDIDO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL TIPO SEALFLEX DE Ø

NOTA: O VALOR DE Ø DEPENDE DA CAPACIDADE DO MOTOR



DETALHE 4 - LIGAÇÃO DE UM MOTOR

REV	DATA	DESENHO	PROJETO	CREA	DESCRIÇÃO
0	22/07/04	NILDSON	MAMEDE	CE 22880	EMISSÃO INICIAL

DRM TÊXTIL S.A.

CPE Consultoria e Projetos Elétricos

CLIENTE:	DRM TÊXTIL S.A.	Nº CLIENTE:	01
OBRA:	FÁBRICA DE TECIDOS	ESCALA:	S / E
TÍTULO:	DETALHES DOS QUADROS ELÉTRICOS	DATA:	22/12/05
		Nº:	01
DESENHO:	SEM DESENHO DE REFERÊNCIA	REV: 0	FL: 09