PROJETO DE SUBESTAÇÕES EXTERNAS

DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

CELESC N-321.0002

Prof. Marcos Fergütz
setembro/2025

INTRODUÇÃO

PARA A ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE UMA SUBESTAÇÃO, É NECESSÁRIO:

- O LEVANTAMENTO DE DADOS DA CARGA INSTALADA;

- O CÁLCULO DA DEMANDA DA INSTALAÇÃO, CARACTERIZADA PELA ATIVIDADE FIM;

- O CÁLCULO DA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO NA ENTRADA DA INSTALAÇÃO;

EXEMPLO

PARA DESENVOLVER OS CONCEITOS TÉCNICOS, VAMOS NOS UTILIZAR DO SEGUINTE EXEMPLO DE UMA INDÚSTRIA DE PLÁSTICO:

- CARGA DE TOMADAS DO ESCRITÓRIO ➔ 12kVA;
- CARGA DE ILUMINAÇÃO INTERNA (ESCRITÓRIO+FABRIL) ➔ 25kVA;
- CARGA DE ILUMINAÇÃO EXTERNA ➔ 7,5kVA;
- EXTRUSORA 1 ➔ 70kVA e FP=0,92at;
- EXTRUSORA 2 ➔ 55kVA e FP=0,92at;
- INJETORA ➔ 57kVA/092at
- MOINHOS ➔ 2x18kVA (36kVA) e FP=0,92at;
- SILO ➔ 30kVA e FP=0,92at;
- COMPRESSOR DE AR ➔ 35kVA e FP=0,92at.

1. Levantamento da Potência Instalada (S_{inst})

$$S_{inst} = 12 + 25 + 7{,}5 + 70 + 55 + 57 + 36 + 30 + 35$$

$$S_{inst} = 327{,}5kVA$$

2. Determinação do Fator de Demanda e Fator de Carga

O Fator de Demanda (FD) relaciona a Demanda Máxima (D_{max}) da instalação e a Potência Instalada (S_{inst}).

$$FD = \frac{D_{max}}{S_{inst}}$$

O FD já está definido pelo ramo de atividade da instalação e, para a CELESC, há uma tabela na Norma N321.002. Nesta tabela, também é apresentado o Fator de Carga (FC) típico por ramos de atividade.

O FC relaciona a Demanda Média (D_{med}) da instalação e a Demanda Máxima.

$$FC = \frac{D_{med}}{D_{max}}$$

Consultando o item 7.7, da N-321.0002, se obtém os Valores de FC e FD

RAMO DE ATIVIDADE	CÓDIGO DO RAMO	FATOR DE DEMANDA TÍPICO	FATOR DE CARGA TÍPICO
Confecções de outras peças do vestuário (roupas e agasalhos)	1812	52,54	56,59
Curtimento e outras preparações de couro e peles	1910	49,28	23,20
Fabricação de calçados de couro	1931	45,26	30,77
Fabricação de tênis de qualquer material	1932	45,26	30,77
Fabricação de calçados de plástico	1933	45,26	30,77
Fabricação de calçados de outros materiais	1939	45,26	30,77
Desdobramento de madeiras	2010	47,58	13,28
Fabricação de chapas e placas de madeira, aglomerados ou prensado	2021	39,08	18,89
Fabricação de esquadrias de madeiras, de casas de madeira pré-fabricadas, de estruturas de madeira e artigos de carpintaria; produção de casas de madeira pré-fabricadas; fabricação de esquadrias de madeira, venezianas e peças de madeira para instalações industriais e comerciais; fabricação de outros artigos de carpintaria	2022	50,38	16,51
Fabricação de papel	2121	58,94	65,98
Fabricação de papelão, cartolina e cartão	2122	58,94	65,98
Fabricação de outros artefatos de pastas, papel, papelão, cartolina e cartão (não associada à produção de papel)	2149	84,27	34,92
Serviço de impressão de material escolar e de material para usos industrial e comercial	2222	60,28	30,84
Fabricação de inseticidas	2461	46,02	23,11
Fabricação de outros defensivos agrícolas (adubos, fertilizantes e corretivos de solo)	2469	46,02	23,11
Fabricação de outros produtos químicos não especificados ou não classificados	2499	39,54	33,34
Fabricação de artefatos de material plástico para usos industriais – exclusive na indústria de construção civil, artefatos diversos de plástico e para outros usos	2529	40,66	53,17
Fabricação de artigos de material plástico para embalagem e acondicionamento	2529	68,46	54,31
Fabricação de outros artigos de material plástico não especificados ou não classificados	2529	49,90	24,78
Fabricação de outros artefatos ou produtos de concreto, cimento. Fibrocimento gesso e estuque (peças, ornatos e estruturas de gesso e amianto)	2630	29,49	24,85
Fabricação de telhas, tijolos	2641	68,49	16,37
Fabricação de material cerâmico, exclusive barro cozido	2641	46,00	27,10

FD

3. Fator de Crescimento da Demanda (FCD)

Todo empreendimento deve prever um fator de expansão dos negócios. Na parte industrial, o crescimento gera aumento de demanda de energia. Portanto, o projeto elétrico deve prever uma taxa de crescimento para que se possa fazer um sobredimensionamento adequado para atender as expectativas da expansão.

O FCD deve ser previsto por um Fator Anual de Crescimento ($FAC_{\%}$), dentro de um Período Estipulado de Anos (PEA), assim, pode-se escrever:

$$FCD = \left(1 + \frac{FAC_{\%}}{100}\right)^{PEA}$$

Para o nosso exemplo, vamos considerar: FAC% = 8% e PEA = 5anos

Então:

$$FCD = (1 + 0{,}08)^5 = 1{,}47$$

4. Determinação da Demanda Provável (DP) e Demanda da Instalação (D_{inst})

Uma vez determinada a potência Instalada, o fator de demanda e o fator de crescimento da demanda, pode-se calcular a demanda da instalação por:

$$DP = FDxS_{inst}$$

$$D_{inst} = FCDxFDxS_{inst}$$

Para o exemplo em questão, tem-se:

FCD = 1,47
FD = 0,4066
S_{inst} = 327,5kVA

Então,

$$DP = 0{,}4066x327{,}5$$

$$D_{inst} = 1{,}47x0{,}4066x327{,}5$$

$$DP = 133{,}2kVA$$

$$D_{inst} = 195{,}7kVA$$

5. Determinação do Transformador

$$D_{inst} = 195{,}7\,kVA$$

POTÊNCIA FINAL (kVA)
45
75
112,5
150
225
300
500
750
1000

TABELA 04 - Dimensionamento do poste para o transformador.

TRANSFORMADOR		POSTE
POTÊNCIA DE TRANSFORMAÇÃO (kVA)	PESO MÁXIMO (kg)	RESISTÊNCIA (altura/daN)
até 75		11/300
112,5		11/600
150		11/600
225	1200	11/1000
300	1200	11/1000

NOTAS:

1) Para o poste Duplo T a resistência dever ser considerada na fase lisa do poste.

2) Para transformadores mais antigos é imprescindível a conferência da massa do mesmo para a aplicação do poste.

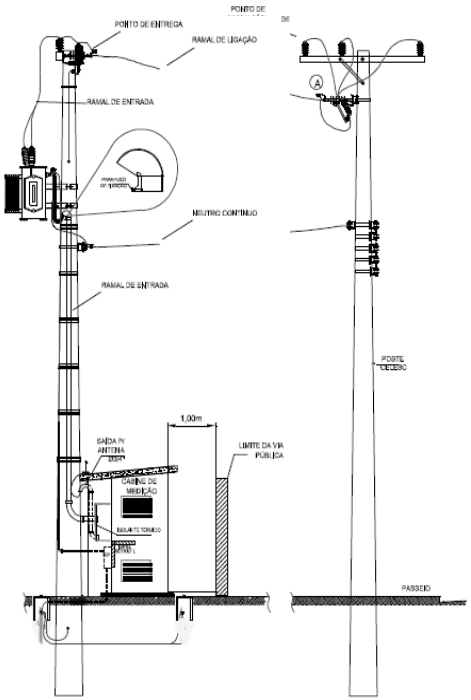
6. Definição da Medição e da Entrada de Serviço

Observando a alínea a, do item 5.13.2, da N-321.0002, da CELESC, tem-se:

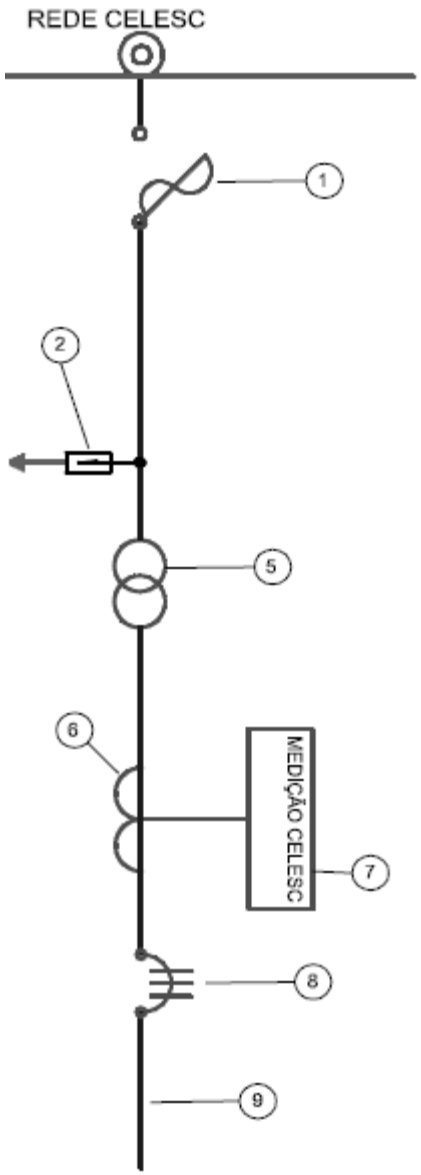
a medição deverá ser efetuada em tensão secundária quando a potência de transformação for igual ou inferior a 300kVA, na tensão de 380/220V e 225kVA na tensão de 220V entre fases e 220/127V, para unidades consumidoras individuais. Para agrupamentos de unidades consumidoras atendidas em tensão primária por subestação compartilhada, quando a demanda provável for inferior aos valores acima mencionados, a medição também deverá ser efetuada em tensão secundária. Para atendimentos acima destes limites a medição deverá ser efetuada em tensão primária;

Para a Entrada de Serviço, toma-se por base o Desenho No. 3 da Norma N-321.002, da CELESC, com ramal de ligação aéreo.

Para o exemplo em questão, tomar-se-á que o secundário do trafo estará a 21m do Quadro Geral de Baixa Tensão, situado no interior da edificação fabril.



- DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO



Uma vez definido o Diagrama Unifilar, pode-se partir para a especificação do:

- Ramal de Ligação;
- Chave e Elo Fusível (1);
- Pára-Raio (2);
- Transformador de Corrente p/ Medição (6);
- Disjuntor Geral (8) e Alimentador Geral (9).

7. Dimensionamento das Chaves e Elos Fusíveis

A nova norma N-321.0002, da CELESC, apresenta a Tabela 01A, com os valores para chave e para o elo fusível

TABELA 01A - Dimensionamento das Chaves e Elos Fusíveis (Transformador Trifásico à óleo).

POTÊNCIA DE TRANSFORMAÇÃO (kVA)	TENSÃO NOMINAL			
	13,8 kV		23,1 kV	
	CHAVE (A)	ELOS (H, K)	CHAVE (A)	ELOS (H, K)
30	100	2H	100	1H
45	100	3H	100	2H
75	100	5H	100	3H
112,5	100	6K	100	5H
150	100	6K	100	5H
225	100	8K	100	6K
300	100	12K	100	8K
400	100	15K	100	10K
500	100	20K	100	12K
600	100	25K	100	15K
750	200	30K	200	20K
1000	200	40K	200	25K
1500	200	65K	200	40K
2000		NOTA 4	200	50K
2300		NOTA 4	200	50K
2500		NOTA 4	200	65K
>2500		NOTA 4		NOTA 4

NOTAS:

1) Acima de 300kVA a Celesc Definirá o valor do elo, através do estudo de proteção. Os valores apresentados para este nível de potência de transformação são orientativos;

2) Os elos fusíveis deverão seguir as especificações padrão da CELESC nas E-313.0015 – Elos Fusíveis de Distribuição e E-313.0048 - Equipamentos;

3) As chaves fusíveis deverão seguir as especificações padrão da Celesc nas E-313.0014 – Chaves Fusíveis de Distribuição e E-313.0048.

4) Acima de 65K a Celesc D definirá a proteção pelo estudo de proteção apresentado.

O problema é que, na tabela, há valores que não estão compatíveis com os valores nominais da potência de Transformação. Abaixo, segue os valores das correntes nominais do primário (I_{np}) de alguns trafos:

Potência (kVA)	**I_{np} (A)**
112,5	4,7
150	6,3
225	9,4
300	12,6
500	20,9

Portanto, não parece razoável se utilizar os valores da Tabela para realizar a especificação da chave/elo.

Este problema da Tabela 01 foi reportada ao setor técnico da CELESC, porém, não há pronunciamento a respeito até o presente momento (setembro/2016).

Abaixo, segue a Tabela 01, da NT-01, que era a norma vigente até maio/2016. Pode-se observar valores diferentes dos que estão indicados na norma vigente.

Celesc

FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO PRIMÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO	NT 01-AT	PÁGINA 37
	EMISSÃO 01/75	REVISÃO 2001

10.1. TABELAS

10.1.1. DIMENSIONAMENTO DAS CHAVES E ELOS FUSÍVEIS PRIMÁRIOS

INSTALAÇÃO CONSUMIDORA		TENSÃO NOMINAL			
		13,8 kV		23,1 kV	
POTÊNCIA TOTAL DE TRANSFORMADORES (kVA)		CHAVES (A)	ELOS (H, K)	CHAVES (A)	ELOS (H, K)
ATÉ	15	100	1H	100	——
ATÉ	30	100	2H	100	2H
ATÉ	45	100	3H	100	2H
ATÉ	50	100	3H	100	2H
ATÉ	75	100	5H	100	3H
ATÉ	100	100	6K	100	5H
ATÉ	112,5	100	6K	100	5H
ATÉ	150	100	8K	100	6K
ATÉ	225	100	10K	100	6K
ATÉ	250	100	12K	100	8K
ATÉ	300	100	15K	100	10K
ATÉ	400	100	20K	100	12K
ATÉ	500	100	25K	100	15K
ATÉ	600	100	30K	100	20K
ATÉ	750	200	30K	200	20K
ATÉ	1000	200	40K	200	25K
ATÉ	1500	200	65K	200	40K
ATÉ	2000	200	80K	200	50K
ATÉ	2500	200	100K	200	65K

Para o caso da potência do trafo ser de 225kVA/9,4A, como é o exemplo que estamos desenvolvendo, se tem:

Verifica-se que o valor do elo é 10A, o que está compatível com a corrente nominal de 9,4A, do trafo. Ao contrário do valor de 8A, dado pela tabela da norma N-321.0002.

Para efeitos desta disciplina, se manterá a utilização da tabela da NT-01, sendo que, no exercício da profissão, entende-se que os profissionais devam questionar a concessionária, quando da submissão de um projeto.

8. Ramal de Ligação Aéreo

Considerando a Demanda de 195,7kVA, tem-se:

TABELA 02 - Dimensionamento do ramal de ligação aéreo em média tensão.

DEMANDA TOTAL DA INSTALAÇÃO (kVA)	RAMAL DE LIGAÇÃO OU ENTRADA AÉREO			
	CABOS FASE (Nu)		CABO NEUTRO (Nu)	
	Alumínio (AWG)	Cobre (mm²)	Alumínio (AWG)	Cobre (mm²)
ATÉ 1700	2	25	2	25
1701 a 2300	2	35	2	25
2301 a 3500	1/0	35	2	25
3501 a 5000	4/0	50	2/0	35

TABELA 02A – Dimensionamento do ramal de ligação subterrâneo em média tensão.

DEMANDA TOTAL DA INSTALAÇÃO (kVA)	RAMAL DE ENTRADA SUBTERRÂNEO							
	CONDUTORES (Cobre)				CONDUTORES (Alumínio)			
	13,8 kV		23,1 V		13,8 kV		23,1 kV	
	Fase (mm²)	Neutro (mm²)	Fase (mm²)	Neutro (mm²)	Fase (mm²)	Neutro (mm²)	Fase (mm²)	Neutro (mm²)
ATÉ 1200	35	25	35	25	50	25	50	25
1201 a 2000	35	25	35	25	70	35	50	25
2001 a 3000	50	25	35	25	95	50	50	25
3001 a 3500	70	35	35	25	120	70	70	35
3501 a 5000	120	70	50	25	240	120	95	50
5001 a 6000	185	95	70	35	300	150	120	70

9. Especificação do Pára-Raio (instalação pela CELESC)

A Norma N-321.0002 determina: Resistores Não Lineares a óxido metálico (ZnO); tensão nominal 12kV(15kV) e corrente nominal de descarga de 10kA.

NLZ-P 10KA

CARACTERÍSTICAS e DIMENSÕES

DIMENSIONS and CHARACTERISTICS

Código	Tensão Nominal	Máxima Tensão de Operação Contínua	Tensão Residual		Distancia de Escoamento	Dimensões (mm)		
Reference	Rated Voltage	Maximum Continuous Operating Voltage	Discharge Voltage			Dimensions (mm)		
		MCOV	Frente Íngreme / Front-to-Wave / 1 µ (max.)	Corrente de 10kA / Current of 10kA / 8 x 20µ (max.)		A	B	C
	(kV)	(kV_{AC})	(kV)	(kV)	(mm)			
NLZP-0310	3	2.55	10.60	9.90	430	286.0	203.0	101.0
NLZP-0610	6	5.10	21.20	19.80				
NLZP-0910	9	7.65	32.40	29.90				
NLZP-1010	10	8.40	35.90	33.90				
NLZP-1210	12	10.20	44.40	41.60				
NLZP-1510	15	12.70	54.30	51.50	715	346.0	263.5	
NLZP-1810	18	15.30	66.80	62.80				
NLZP-2110	21	17.00	75.20	74.30				
NLZP-2410	24	19.50	85.80	80.20				
NLZP-2710	27	22.00	96.40	90.10	1042	434.0	351.5	
NLZP-3010	30	24.40	105.90	99.00				
NLZP-3310	33	26.70	116.80	108.80				
NLZP-3610	36	29.00	129.40	118.70				
NLZP-4210	42	34,30	132,00	125,00	935	462,0	379,0	

10. Dimensionamento do Transformador de Corrente (TC)

A nova norma N-321.0002, apresenta a Tabela 05, para se especificar o TC. Contudo, esta tabela apresenta uma série de problemas, como se verá, à seguir.

Duplicidade de Informação

Valores incompatíveis com os valores nominais de corrente

TABELA 05 - Dimensionamento do transformador de corrente (TC) de baixa tensão.

MEDIÇÃO EM BAIXA TENSÃO			
TENSÃO 380/220V		TENSÃO 220V	
POTÊNCIA DE TRANSFORMAÇÃO OU DEMANDA (kVA)	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	POTÊNCIA DE TRANSFORMAÇÃO OU DEMANDA (kVA)	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO
até 75	100/5	75	150/5
de 75 a 112,5	150/5	de 75 a 100	200/5
112,5	150/5	112,5	300/5
de 113 a 150	200/5	de 113 a 150	300/5
de 151 a 225	300/5	de 151 a 200	400/5
225	300/5	225	500/5
de 226 a 260	400/5	de 226 a 260	600/5
de 261 a 300	500/5		

NOTAS:

1) O fator térmico dos TC deverão ser igual a 2,0.

2) Em caso de aumento da demanda ou da potência de transformação os TC deverão ser redimensionados.

Valores já contestáveis na NT-01, e que não foram revistos!!

Neste exemplo se utilizará a Demanda Provável de 133,2kVA

Potência (kVA)	*Ins* (A)
112,5	170
150	227
225	340

Critério dúbio, pois, permite duas formas diferentes para determinar o TC. Ainda, não define qual demanda a ser utilizada: Provável ou Final??

11. Dimensionamento do Alimentador

Inicia-se determinando o Alimentador Geral. Para isto, serão levados em consideração os seguintes critérios:

- Capacidade de Corrente;
- Queda de Tensão;
- Capacidade de Curto-Circuito

Posteriormente, define-se o Disjuntor Geral.

A corrente nominal da instalação será:

$$I_{inst} = \frac{D_{inst}}{\sqrt{3}x380}$$

$$I_{inst} = \frac{195{,}7x10^3}{\sqrt{3}x380}$$

$$I_{inst} = 297{,}3A$$

Utilizando a Potência Nominal do Trafo:

$$I_{inst} = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3}x380}$$

$$I_{inst} = \frac{225x10^3}{\sqrt{3}x380}$$

$$I_{inst} = 342A$$

11.1 - Critério da Capacidade de Corrente

Para o exemplo em questão, vamos supor a seguinte situação:

"***Os cabos do Alimentador Geral com isolação de EPR, Temperatura do solo de 20°C, instalados em eletroduto diretamente enterrado, ou seja, Método de Instalação 61A, Método de Referência D.***"

Portanto, deverá ser utilizada a Tabela 37, da NBR5410/04, para definição da bitola da fiação.

$$I_{inst} = 342A$$

$$I_{inst} = 297{,}3A$$

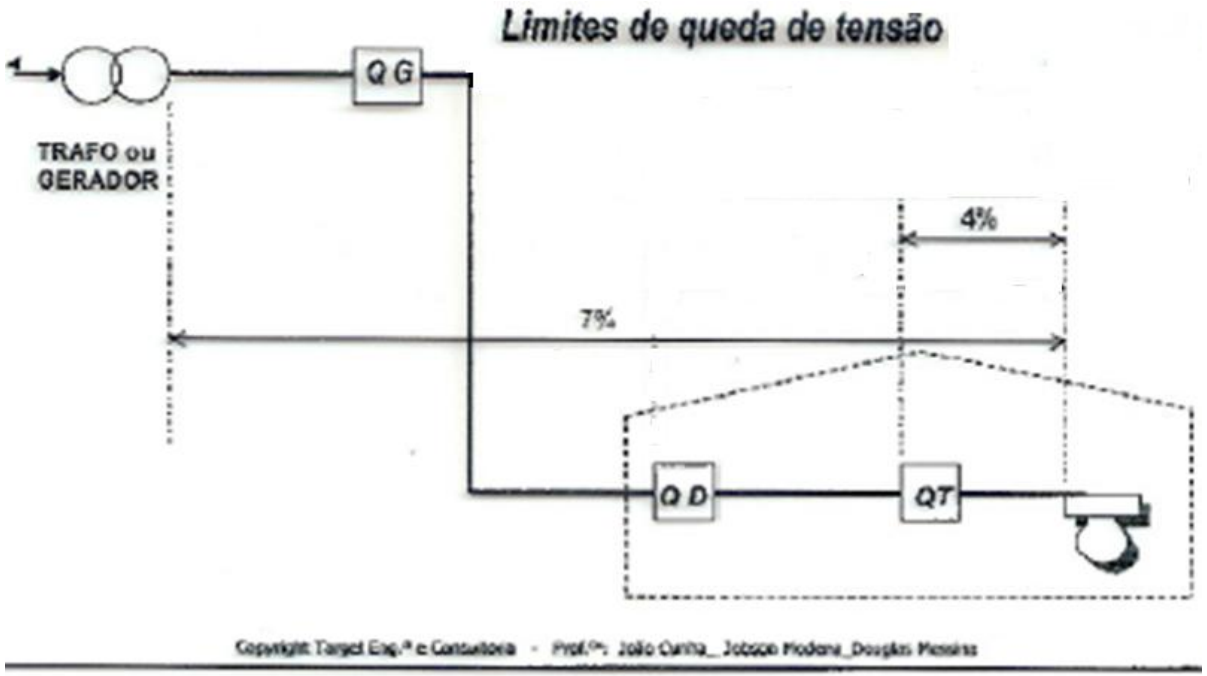
Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1014	908	923	826	1332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												

11.2 - Critério da Queda de Tensão

Seguindo o item 6.2.7.1, alínea a), da NBR5410/04, tem-se:



Para o cálculo da queda de tensão, em circuitos trifásicos, tem-se:

$$S_c = \frac{100x\sqrt{3}x\rho x\sum(L_c x I_c)}{\Delta V_c x V_L} \qquad \text{(simplificada)}$$

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3}xI_c xL_c x(R\cos\emptyset + Xsen\,\emptyset)}{10xN_{cp}xV_L} \qquad \text{(completa)}$$

Para o exemplo, deve-se considerar que a distância entre o secundário do trafo e o quadro de distribuição geral será de 21m. Além disto, deve-se considerar uma queda de tensão máxima de 1% neste trecho. Assim:

- Pela fórmula simplificada:

$$S_c = \frac{100x\sqrt{3}x\,{}^{1}/_{56}\,x342x21}{1x380} \Rightarrow \quad S_c = 58{,}6mm^2 \;\Rightarrow\; 70mm^2$$

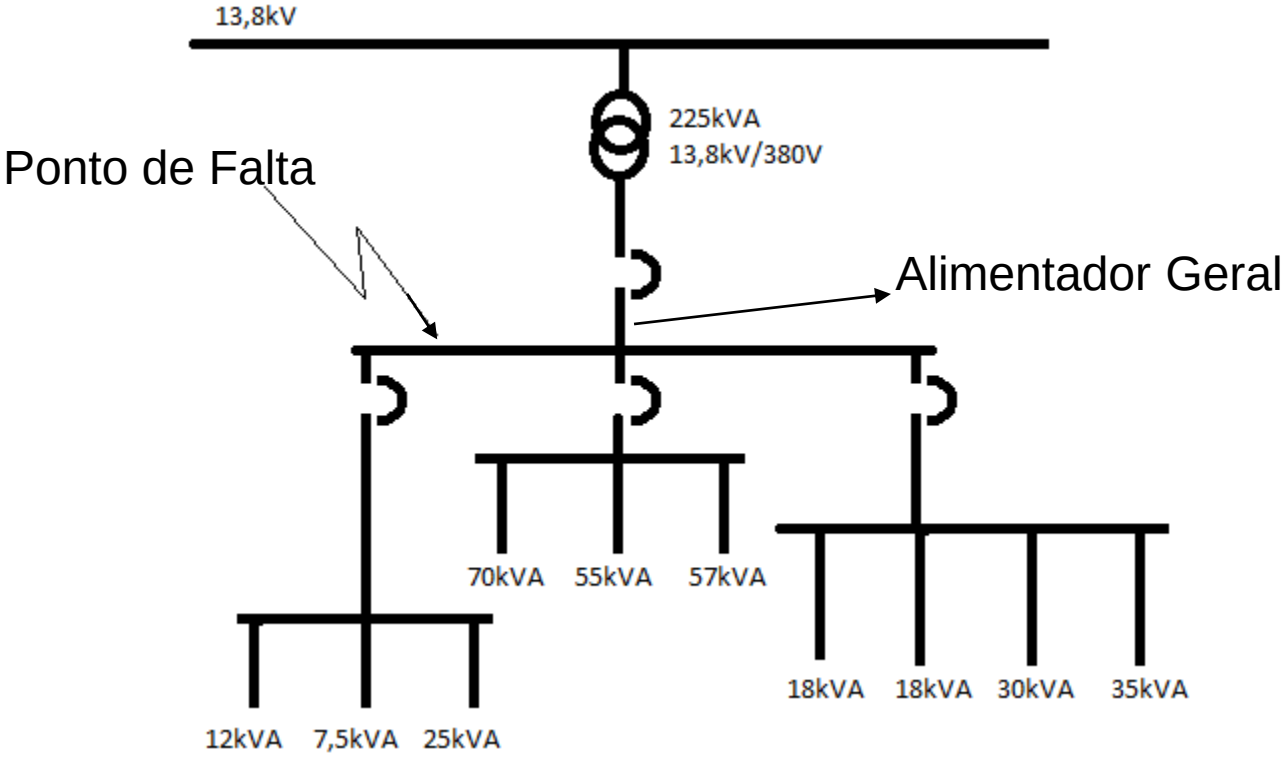
- Pela fórmula completa, para o cabo de 240mm2 , FP=0,92, R=0,0958mΩ/m, X=0,1070mΩ/m e 1 cabo/fase:

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3}x342x21x(0{,}0958.\cos 23{,}07^o + 0{,}1070.sen23{,}07^o)}{10x1x380}$$

$$\Delta V_C = 0{,}42\% < 1\%$$

11.3 - Critério da Capacidade de Curto-Circuito

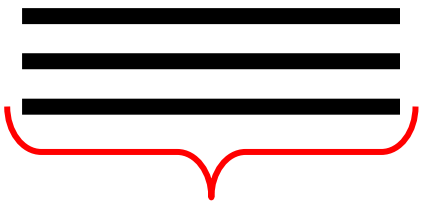
O Cabo deverá suportar a corrente de curto-circuito nos terminais do barramento do quadro geral de distribuição. Assim, deve-se determinar a corrente de curto, conforme segue



Método de Cálculo

225kVA
13,8kV/380V

Z% =4,5 e
Pw=2800W



1x240mm2/fase

Comprimento de 21m

R=0,0958mΩ/m

X=0,1070mΩ/m

QGD

-Transformador

$$Z = Z_{\%}.\frac{V_n^2}{S_n x100} = 4{,}5.\frac{380^2}{225x100} = 28{,}9m\Omega$$

$$R_{\%} = \frac{P_W}{10xS_n} = \frac{2800}{10x225} = 1{,}24\%$$

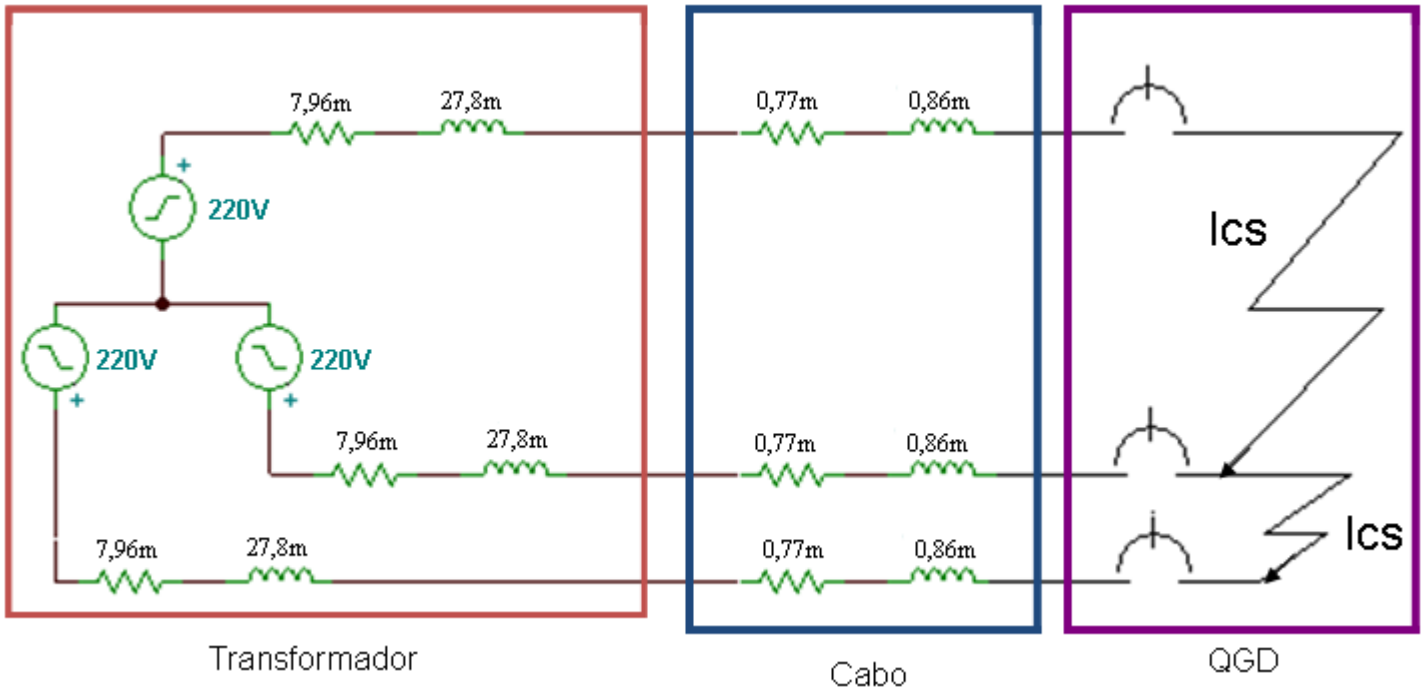
$$R = R_{\%}.\frac{V_n^2}{S_n x100} = 1{,}24.\frac{380^2}{225x100} = 7{,}96m\Omega$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(28{,}9)^2 - (7{,}96)^2} = 27{,}8m\Omega$$

- Cabo

$$R_c = RxL = 0{,}0958x21 = 2{,}01m\Omega$$

$$X_c = X.L = 0{,}1070x21 = 2{,}25m\Omega$$



A impedância equivalente, por fase, vista no ponto de falta, será:

$$R_{eq} = 7{,}96m + 2{,}01m = 9{,}97m\Omega$$

$$X_{eq} = 27{,}8m + 2{,}25m = 30{,}05m\Omega$$

$$Z_{eq} = 9{,}97 + j30{,}05\,(m\Omega) = 31{,}66\angle 71{,}65^{o}\ \ (\mathrm{m}\Omega)$$

CÁLCULO DAS CORRENTES

- Ics

$$I_{cs} = \frac{V_n}{\sqrt{3}xZ} \qquad I_{cs} = \frac{380}{\sqrt{3}x31{,}66} = 6{,}93kA$$

- Ica

$$C_t = \frac{X}{377xR} = \frac{30{,}05x10^{-3}}{377x9{,}97x10^{-3}} = 7{,}99ms \qquad F_a = \sqrt{1+2e^{-(2t/C_t)}} = \sqrt{1+2e^{\frac{-2x4{,}16m}{7{,}99m}}} = 1{,}31$$

$$I_{ca} = F_a x I_{cs} = 1{,}31x6{,}93x10^3 = 9{,}1kA$$

- Icim

$$I_{cim} = \sqrt{2}xI_{ca} = \sqrt{2}x9{,}1kA = 12{,}9kA$$

Pode-se obter a especificação de um cabo à partir de determinada corrente de curto-circuito. Para tanto, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$S_c = \frac{\sqrt{T_e}\, x I_{cs}}{0{,}34 x \sqrt{\log\left(\frac{234 + T_f}{234 + T_i}\right)}}$$

I_{cs} - corrente simétrica de curto - circuito, em kA;

T_e - tempo de eliminação do defeito, em s;

T_f - temperatura máxima de curto - circuito suportada pela isolação do condutor, em ^oC;

T_i - temperatura máxima admissível pelo condutor em regime normal de operação, em ^oC;

Para cabo em PVC => $T_f = 160^oC$ e $T_i = 70^oC$;

Para cabo em EPR / XLPE => $T_f = 250^oC$ e $T_i = 90^oC$.

No exemplo em questão, foi definido cabo em EPR, com comprimento de 21m. Sendo a corrente Ics de 6,93kA e, estimando-se o tempo de atuação da proteção em 0,5s (30 ciclos), pode-se calcular a bitola do cabo:

$$S_c = \frac{\sqrt{0,5}x6,93}{0,34x\sqrt{\log(\frac{234+250}{234+90})}}$$

$$S_c = 34,3mm^2 \quad \Rightarrow \quad 35mm^2$$

Portanto, o cabo de 240mm2 atende ao critério de curto-circuito.

Finalmente, verifica-se que o cabo a ser utilizado é de 240mm2, posto que atende aos critérios de capacidade de corrente, queda de tensão e curto-circuito.

12 Dimensionamento do Disjuntor

ICU(Capacidade de Interrupção Última)➔ Máxima corrente de interrupção, inclusive com danos ➔ única operação
ICS(Capacidade de Interrupção de Serviço) ➔ fração da ICU > sem causar danos e com continuidade de serviço

Disjuntores 3VL

Manobra e proteção em instalações elétricas industriais

3VL17

3VL27

3VL37

3VL47

3VL57

Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo [1] tripolar
16 - 20	3VL1702 - □DD33-0AA0
25 - 32	3VL1703 - □DD33-0AA0
32 - 40	3VL1704 - □DD33-0AA0
40 - 50	3VL1705 - □DD33-0AA0
50 - 63	3VL1706 - □DD33-0AA0
63 - 80	3VL1708 - □DD33-0AA0
80 - 100	3VL1710 - □DD33-0AA0
100 - 125	3VL1712 - □DD33-0AA0
125 - 160	3VL1716 - □DD33-0AA0

Corrente máxima de interrupção ABNT NBR IEC 60947-2 Icu		
Completar o tipo	1	2
220 / 240 V	65 kA	100 kA
380 / 415 V	55 kA	70 kA
440 / 460 V [2]	25 kA	42 kA
500 V	18 kA	30 kA
480 V [2]	18 kA	42 kA

Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo [1] tripolar
40 - 50	3VL2705 - □DC33-0AA0
50 - 63	3VL2706 - □DC33-0AA0
63 - 80	3VL2708 - □DC33-0AA0
80 - 100	3VL2710 - □DC33-0AA0
100 - 125	3VL2712 - □DC33-0AA0
125 - 160	3VL2716 - □DC33-0AA0

Corrente máxima de interrupção ABNT NBR IEC 60947-2 Icu			
Completar o tipo	1	2	3
220 / 240 V	65 kA	100 kA	200 kA
380 / 415 V	55 kA	70 kA	100 kA
440 / 460 V [2]	25 kA	50 kA	75 kA
500 V	25 kA	40 kA	50 kA
480 V [2]	25 kA	50 kA	65 kA

Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo tripolar
160 - 200	3VL3720 - □DC36-0AA0
200 - 250	3VL3725 - □DC36-0AA0

Corrente máxima de interrupção ABNT NBR IEC 60947-2 Icu			
Completar o tipo	1	2	3
220 / 240 V	65 kA	100 kA	200 kA
380 / 415 V	55 kA	70 kA	100 kA
440 / 460 V [2]	25 kA	50 kA	75 kA
500 V	25 kA	40 kA	50 kA
480 V [2]	25 kA	50 kA	65 kA

Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo tripolar
250 - 315	3VL4731 - □DC36-0AA0
315 - 400	3VL4740 - □DC36-0AA0

Corrente máxima de interrupção ABNT NBR IEC 60947-2 Icu			
Completar o tipo	1	2	3
220 / 240 V	65 kA	100 kA	200 kA
380 / 415 V	55 kA	70 kA	100 kA
440 / 460 V [2]	35 kA	50 kA	75 kA
500 V	25 kA	40 kA	50 kA
480 V [2]	25 kA	50 kA	65 kA

$I_B \leq I_N \leq I_z$

I_B=342A

I_z=351A

$\mathbf{342 \leq I_N \leq 351}$

$ICU > ICS > ICIM$

I_{CIM}=12,9kA

$\mathbf{55k \geq 12{,}9k}$

- Integral de Joule (Energia) $I^2.t \leq K^2.S^2$

Para o exemplo em desenvolvimento, tem-se: $I = I_{CS} = 6{,}93x10^3$A $t = 0{,}5s$ $S = 240mm^2$

Para cabo com isolação em EPR o valor de K, será:

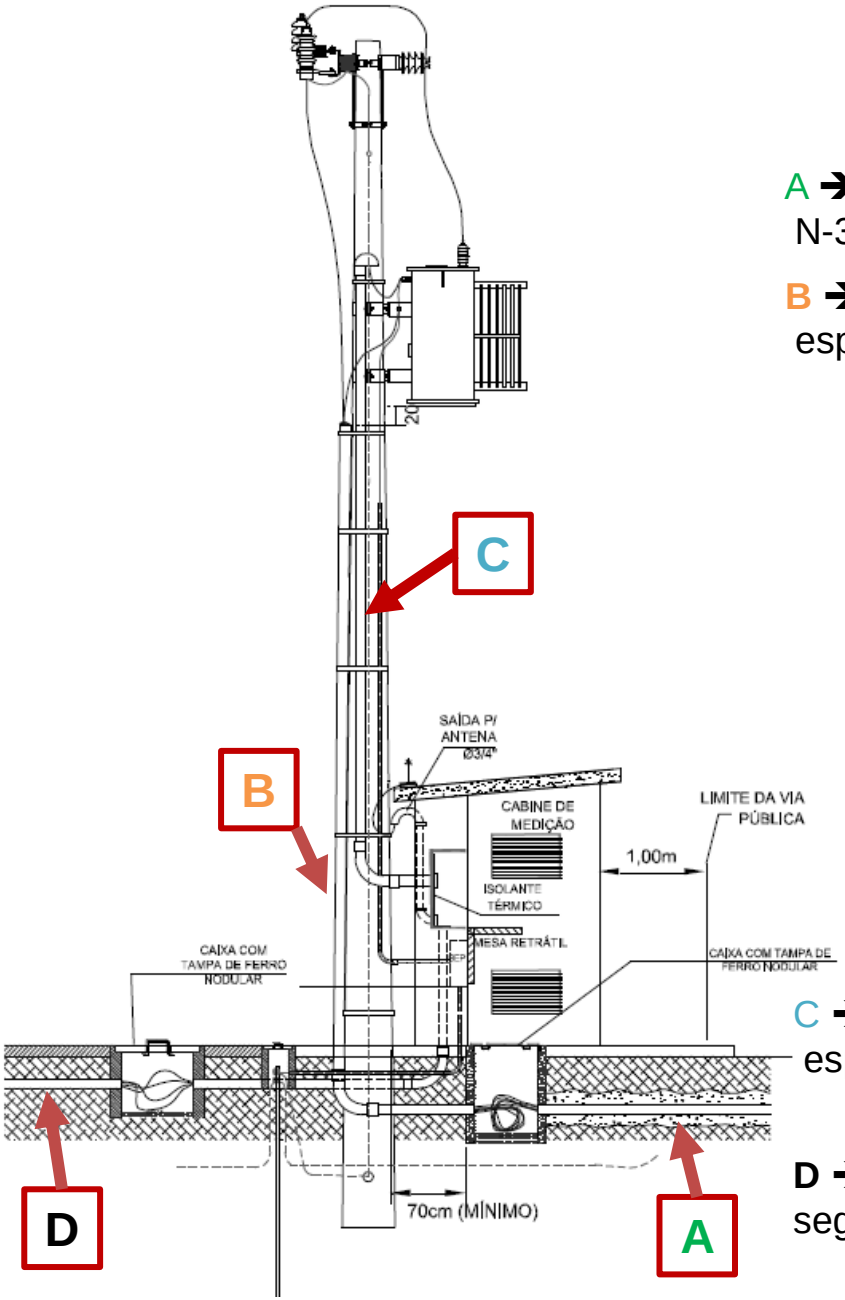
Material Do Condutor	Isolação do Condutor					
	PVC				EPR/XPLE	
	≤300mm2		>300mm2			
	Temperatura (°C)					
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	70	160	70	140	90	250
Cobre	**115**		**103**		**143**	
Alumínio	**76**		**68**		**94**	
Emendas soldadas em cabos de cobre	**115**		**-**		**-**	

Notas:
1- Valores de K, para os casos citados abaixo, ainda não estão normalizados:
- condutores de pequena bitola (< 10mm2);
- curto-circuito de duração > 5s;
- outros tipos de emendas nos condutores;
2- Os valores citados de K são baseados na IEC 60724

Então: $(6{,}93x10^3)^2x0{,}5 \leq 143^2x240^2$ => $24x10^6 \leq 1.177{,}8x10^6$ OK!!

Assim, o disjuntor especificado poderá ser utilizado para a proteção de curto-circuito do cabo de 240mm2 com isolação de EPR.

13 Dimensionamento dos Eletrodutos



Descrição dos eletrodutos:

A ➔ Eletroduto subterrâneo em PEAD, especificado conforme N-321.0002 / Tabela 3 (MÉDIA TENSÃO)

B ➔ Eletroduto aparente em aço carbono, galvanizado à quente e especificado conforme N-321.0002 / Tabela 3 (MÉDIA TENSÃO)

TABELA 03 - Dimensionamento de eletrodutos para cabos de média tensão para entrada subterrânea de 15 e 25 kV.

Material	Localização	
Secão dos cabos (mm²)	Eletroduto junto ao poste (pol)	Eletroduto enterrado (pol)
35 Cu	4	4
50 Cu	4	5
70 Cu	5	5
50 Al	5	5
70 Al	5	5
95 Al	5	5

Para seção transversal de cabos acima de 95mm² recomenda-se instalar um cabo em cada eletroduto (material não metálico), exceto para instalação junto ao poste.

C ➔ Eletroduto aparente em aço carbono, galvanizado à quente e especificado segundo a bitola do cabo de baixa tensão

D ➔ Eletroduto subterrâneo em PVC ou PEAD, e especificado segundo a bitola do cabo de baixa tensão

13.1 Dimensionamento dos Eletrodutos – BAIXA TENSÃO

Cabo do Ramal de Entrada em Baixa Tensão ➔ 240mm2

Seção Nominal do	Diâmetro Nominal	Espessura Nominal	Espessura Nominal	Diâmetro externo
1 x 240,00	19,69	2,20	1,60	27,29

http://www.copperline.com.br

Área do cabo de 240mm2 ➔ $S_{240} = \pi x \left(\frac{27,29}{2}\right)^2 = 584,9mm^2$

Portanto, se tem 4 cabos (3F+PEN) ➔ $S_{total} = 4x584,9 = \boxed{2.339,6mm^2}$

		Eletroduto de Aço-carbono					
DN	Dex	ep	Din	Sin	Su1	Su2	Su3+
15 (1/2)	21,3	2,25	16,8	221,67	117,49	68,71788	88,66824
20 (3/4)	26,9	2,25	22,4	394,08	208,86	122,1651	157,6324
25 (1)	33,7	2,65	28,4	633,47	335,74	196,3758	253,3881
32 (1 1/4)	42,4	3,00	36,4	1040,62	551,53	322,5923	416,2481
40 (1 1/2)	48,3	3,00	42,3	1405,30	744,81	435,6442	562,1216
50 (2)	60,3	3,35	53,6	2256,42	1195,90	699,4888	902,5662
65 (2 1/2)	73	3,75	65,5	3369,55	1785,86	1044,561	1347,821
80 (3)	88,9	3,75	81,4	5204,01	2758,13	1613,244	2081,605
100 (4)	114,3	4,25	105,8	8791,46	4659,47	2725,352	3516,583
125 (5)	141,3	5,00	131,3	13540,01	7176,20	4197,403	5416,004
150 (6)	168,3	5,30	157,7	19532,28	10352,11	6055,006	7812,911

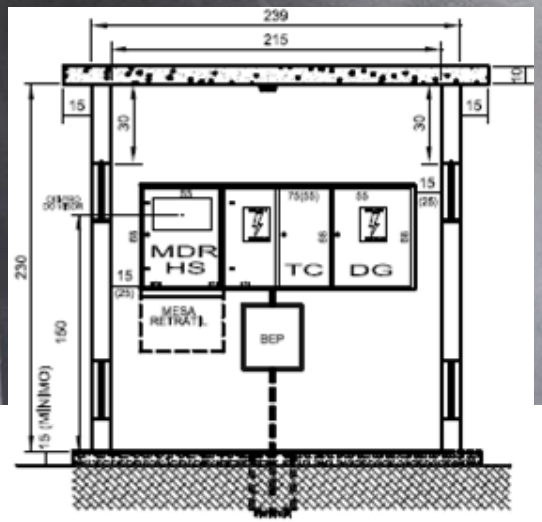
Duto Corrugado de Polietileno PEAD (NBR 15715)								
Polegada (aprox.)	1 1/4	1 1/2	2	3	4	5	6	8
Diâmetro Externo Nominal (DE)	50	55	63	90	125	155	190	250
Diâmetro Interno Médio	37	40	49	72	103	125	150	200

Exemplo de uma Subestação Externa

Vista Frontal

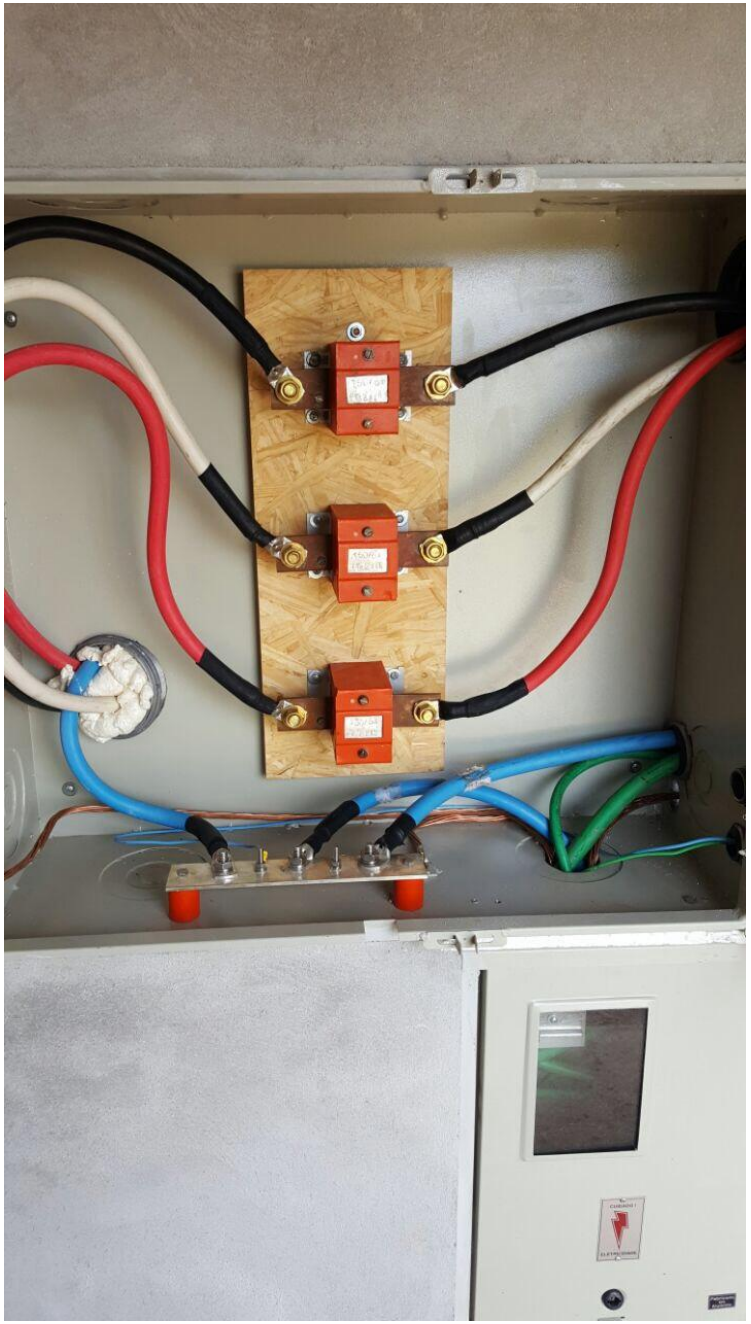
Vista Lateral

Vista Traseira



CORTE A-A'

Vista Interna



TC´s

Proteção (Disjuntor e DPS)

BEP

Caixa do Medidor
de Energia

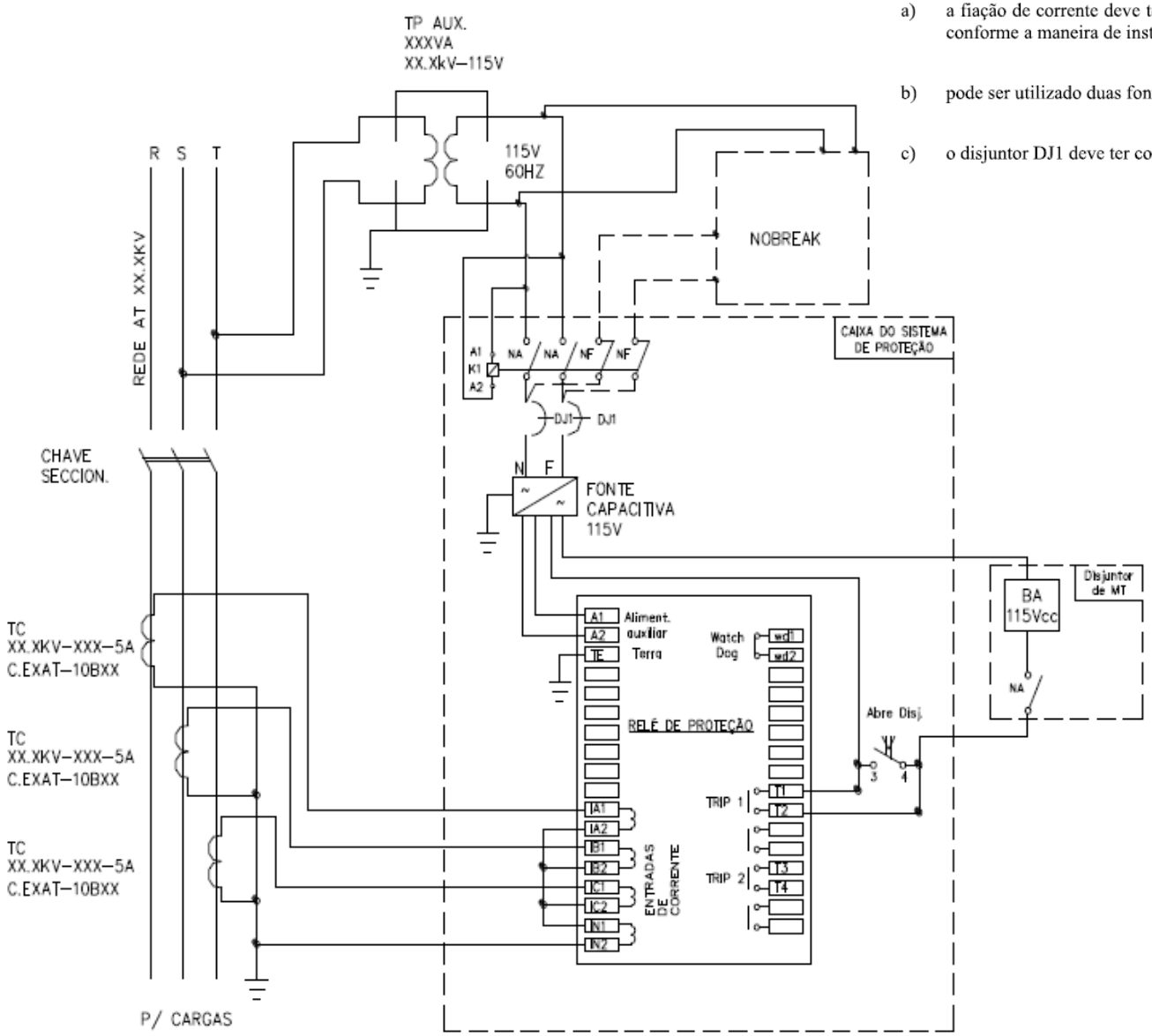
DESENHO Nº 46 – DIAGRAMA TRIFILAR DE LIGAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO SECUNDÁRIA

NOTAS:

a) a fiação de corrente deve ter seção 4mm² e a de tensão seção de 2,5mm², com isolação conforme a maneira de instalar;

b) pode ser utilizado duas fontes capacitivas em substituição a uma com duas saídas;

c) o disjuntor DJ1 deve ter corrente nominal máxima de 16 A, tipo IEC, curva C.



NBR5597/2013

4.5 Dimensões e tolerâncias

O diâmetro externo, a espessura de parede e a massa teórica são dados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões e massa teórica dos eletrodutos

Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo De mm	Espessura nominal da parede mm	Massa teórica do eletroduto sem luva kg/m	
			Com revestimento de zinco	Com revestimento de tinta
15	21,3	2,25	1,093	1,059
20	26,9	2,25	1,414	1,370
25	33,7	2,65	2,088	2,032
32	42,4	3,00	2,989	2,919
40	48,3	3,00	3,437	3,356
50	60,3	3,35	4,812	4,710
65	73,0	3,75	6,534	6,411
80	88,9	3,75	8,035	7,883
90	101,6	4,25	10,386	10,212
100	114,3	4,25	11,741	11,545
125	141,3	5,00	17,063	16,819
150	168,3	5,30	21,611	21,320

NBR5598/2013

4.5 Dimensões e tolerâncias

O diâmetro externo, a espessura de parede e a massa teórica são dados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões e massa teórica dos eletrodutos

Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo nominal mm	Espessura nominal da parede mm	Massa teórica do eletroduto sem luva kg/m	
			Com revestimento de zinco	Com revestimento de tinta
15 (1/2)	21,3	2,25	1,093	1,059
20 (3/4)	26,9	2,25	1,414	1,370
25 (1)	33,7	2,65	2,088	2,032
32 (1 ¼)	42,4	2,65	2,673	2,602
40 (1 ½)	48,3	3,00	3,437	3,356
50 (2)	60,3	3,00	4,347	4,245
65 (2 ½)	76,1	3,35	6,147	6,017
80 (3)	88,9	3,35	7,229	7,076
100 (4)	114,3	3,75	10,431	10,234
125 (5)	139,7	4,75	16,062	15,821
150 (6)	165,1	5,00	20,042	19,756