

PROJETO DE SUBESTAÇÕES ABRIGADAS

DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

INTRODUÇÃO

PARA A ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE UMA SUBESTAÇÃO O PROCEDIMENTO SE MANTÉM SEMELHANTE AO REALIZADO PARA SUBESTAÇÕES EXTERNAS, SENDO 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;

O QUE DIFERE UMA SUBESTAÇÃO DA OUTRA É O DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO, SENDO QUE NA SUBESTAÇÃO EXTERNA (DEMANDA ATÉ 300kVA), NO MÍNIMO, A CELESC EXIGE A INSTALAÇÃO DE CHAVES FUSÍVEIS (ELOS) E PROTEÇÃO DE BAIXA ATRAVÉS DE DISJUNTOR. JÁ PARA SUBESTAÇÃO ABRIGADA (DEMANDA SUPERIOR A 300kVA), A **NORMA N321.0002**, ESTABELECE:

5.10.2. Capacidade de Transformação Instalada Maior que 300kVA

- a) em uma subestação com capacidade de transformação instalada maior que 300kVA, a proteção geral na média tensão deve ser realizada exclusivamente por meio de um equipamento de disjunção (disjuntor ou religador com função religamento bloqueada), certificado pela Celesc D, acionado através de relés secundários com as funções 50 e 51, fase e neutro (onde é fornecido o neutro).

5.10.5. Apresentação do Estudo de Proteção com Relé Secundário

- 5.10.5.1. O projetista deverá apresentar em separado o estudo de proteção do projeto contendo as informações sobre a metodologia utilizada, memória de cálculo, estudo de saturação do TC, especificação técnica e acessórios dos disjuntores e relés utilizados, o manual do relé, passo a passo da implementação dos valores no relé e um resumo dos dados para parametrização do relé no campo.
- 5.10.5.2. O projetista deverá apresentar graficamente o coordenograma, no formato bilog com as curvas ajustadas da proteção da Celesc D e do disjuntor, separadamente para fase-fase (50 instantânea e 51 temporizada) e fase-neutro (50N – instantânea e 51N –temporizada).
- 5.10.5.3. Junto ao gráfico das curvas, indicar o valor de curto-circuito no ponto de derivação, corrente nominal, corrente de partida do relé, corrente ANSI, corrente de magnetização com ajuste de $1,4 \times Im$ no mínimo, tipo de curva, primário do TC escolhida e diferencial de tempo (dt) entre as curvas. As correntes devem ser referenciadas a tensão primária.
- 5.10.5.4. Todos os pontos e curvas devem ser identificados através de legenda, sendo obrigatório constar os termos 50, 51, 50N e 51N.
- 5.10.5.5. Pode ser considerada até $1,3 \times$ demanda contratada e fator de potência de 0,92, no cálculo da corrente nominal da instalação, para dimensionamento da proteção em média tensão, sendo este valor definido pela Celesc D, em função da característica do seu sistema elétrico. (dimensionamento do *pick-up*).

5.10.5.9. Os seguintes parâmetros devem ser considerados no projeto:

- a) corrente nominal;
- b) curvas ajustadas do sistema de distribuição (fornecidas pela Celesc D);
- c) correntes de curto-circuito fase-terra, fase-terra mínimo, fase-terra assimétrica, trifásica e trifásica assimétrica (fornecidas pela Celesc D);
- d) correntes de atuação instantânea (fornecidas pela Celesc D);
- e) sequência das curvas (fornecidas pela Celesc D);
- f) o diferencial de tempo de 0,2 segundos entre as curvas da Celesc D e do disjuntor ou religador;
- g) a corrente de magnetização dos transformadores à óleo, até 2000kVA deve ser considerada $8 \times In$, com tempo de 0,1 segundos e para transformadores com isolamento e encapsulamento em epóxi igual a $14 \times In$ com tempo de duração da ordem de 0,1s. Acima de 2000kVA deve ser informado pelo fabricante. Caso existe mais de um transformador considerar a corrente de magnetização do maior transformador acrescida das correntes nominais dos demais;
- h) o(s) ponto(s) ANSI;
- i) dimensionar os TC para a corrente de curto-circuito não ultrapassar 20 (vinte) vezes a nominal e também a nominal de carga. Para utilizar valor superior a 20, deverá comprovar através de especificação técnica do fabricante o Fator de Sobrecorrente do TC. (Considerar os dados de nível de curto-circuito da Celesc D em Rede de Distribuição, para auxiliar no cálculo do fator de sobrecorrente do TC).

DEFINIÇÕES

- CORRENTE NOMINAL

$$I_N = \frac{P_{DC}}{\sqrt{3}xV_NxFP}$$

P_{DC} => Demanda Contratada (em projeto utilizar a Provável Demanda)

V_N => Tensão Nominal

FP => Fator de Potência (CELESC => FP = 0,92)

- CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

A concessionária fornece os valores referentes ao ponto de conexão, sob consulta prévia.

- CORRENTE DE PARTIDA DO RELÉ

Menor valor de corrente para sensibilizar a atuação do relé

$$I_{PF} = 1,3xI_N \text{ (PADRÃO CELESC PARA FASE)}$$

$$I_{Pn} = \frac{I_{PF}}{10} \text{ (PADRÃO CELESC PARA NEUTRO*)}$$

Comunicado 43 (agosto/24):

A sobrecorrente temporizada de neutro (função 51N) deverá possuir valor máximo de 10% da sobrecorrente temporizada de fase.

- CORRENTE **ANSI**

O ponto **ANSI** é definido como o máximo valor de corrente que um transformador pode suportar durante um período de tempo definido sem se danificar, e pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$I_{ANSI} = \frac{100xI_N}{Z\%}$$

Na prática, pode-se seguir os valores especificados na tabela abaixo:

Z% (Ω)	Ponto ANSI (A)	Tempo máx. de duração (s)
4	$25 \times I_N$	2
5	$20 \times I_N$	3
6	$16,6 \times I_N$	4
7	$14,3 \times I_N$	5

- CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO

A corrente de magnetização, ou corrente de ***rush***, se refere ao valor que a corrente assume na partida de um transformador, sendo que a CELESC especifica, em termos de dimensionamento da proteção, que a corrente seja calculada da seguinte forma:

$$I_M = I_{NRUSH} = 8xI_{NTR}, \text{ para um tempo de duração de } 100\text{ms (0,1s)}$$

Quando houver mais de um transformador na subestação, então, deve se calcular a corrente através da seguinte fórmula:

$$I_M = I_{NRUSH} = 8xI_{NMTR} + \sum I_{NTR}, \text{ para um tempo de duração de } 100\text{ms (0,1s)}$$

I_{NMTR} => CORRENTE NOMINAL DO MAIOR TRANSFORMADOR

I_{NTR} => CORRENTE NOMINAL DOS DEMAIS TRANSFORMADORES

- ATUAÇÃO DO RELÉ

- A proteção instantânea do relé (função 50 e 50N):

$$1,05xI_{Nrush} \leq I_{F50} \leq I_{CS3\emptyset}$$

$$I_{N50} = \frac{I_{F50}}{3}$$

Para CELESC, no mínimo:

$$I_{F50} = 1,4xI_{Nrush}$$

- A proteção temporizada do relé (função 51e 51N), pode atuar segundo curvas relacionando **corrente x tempo** ou, ainda, através do recurso de Corrente de Tempo Definido. Neste, a atuação do relé se dará através da programação de um tempo a ser contado à partir do instante em que o sistema atingir um valor de corrente pré-programado, determinado como corrente de partida (I_p).

Com relação às curvas **corrente x tempo**, o relé pode funcionar de 3 formas distintas, conforme segue:

Normal inversa

$$t = \frac{0.14}{I^{0.02} - 1} \cdot DT$$

Muito inversa

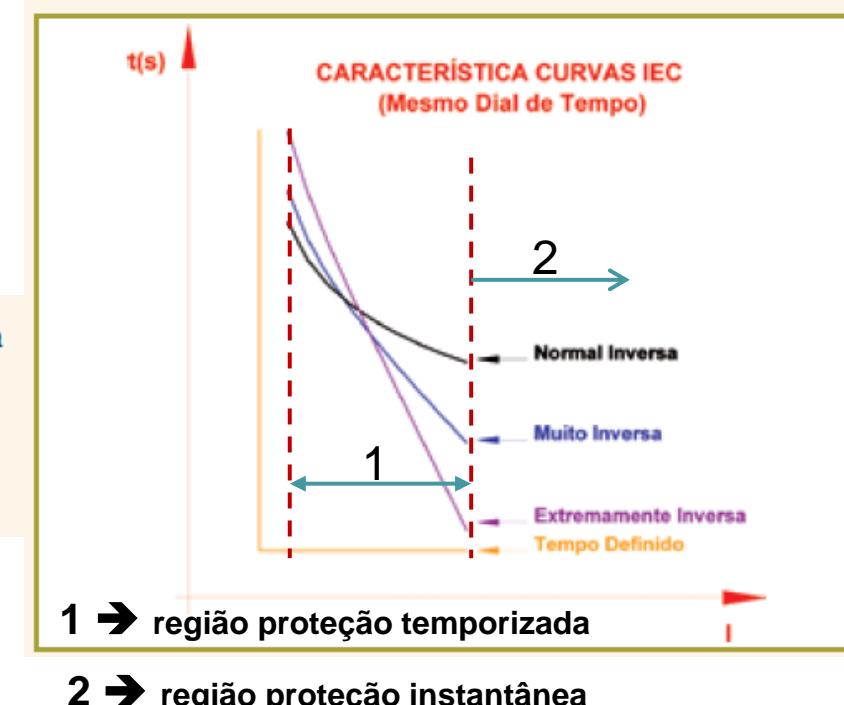
$$t = \frac{13.5}{I - 1} \cdot DT$$

Extremamente inversa

$$t = \frac{80}{I^2 - 1} \cdot DT$$

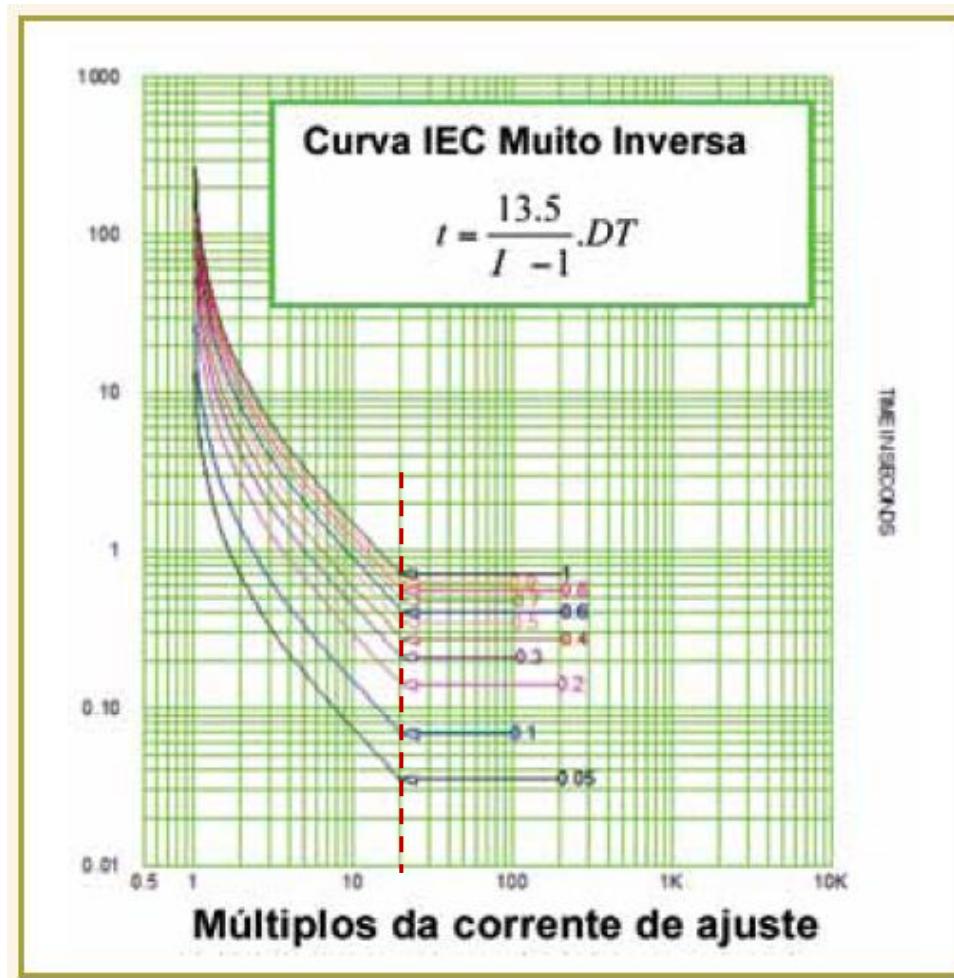
$$I = \frac{I_L}{I_p}$$

$$1,01xI_p \leq I_L \leq I_{cs}$$



- DIFERENCIAL DE TEMPO (DT)

O diferencial de tempo (*DT*) está presente nas equações que geram as curvas de atuação dos relés, conforme mostrado na figura abaixo. Sua especificação é necessária para permitir que os componentes de proteção, que estejam encadeados em uma instalação, apresentem coordenação e seletividade, permitindo que para uma mesma relação I_L/I_p se possa esboçar curvas diferenciadas de atuação do relé.



No exemplo apresentado foi fixado uma relação $I_L/I_p=20$. Assim, se terá diferentes tempos **t** de atuação do relé, para diferentes **DT's**. Criando-se a possibilidade de proteções encadeadas dispararem com tempos diferentes para uma mesma corrente de disparo instantâneo.

- TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC)

Para se fazer o ajuste da corrente de atuação de um relé de sobrecorrente **indireto**, é necessário, em primeiro lugar, a definição da relação do TC que irá alimentá-lo.

A relação do TC (RTC) que alimenta um relé deve atender aos seguintes requisitos:

- A corrente nominal primária do TC deve ser maior do que a razão entre o curto-círcuito máximo (no ponto da instalação) e o fator de sobrecorrente do TC (**FS**).

$$I_{NTC} \geq \frac{I_{cc\ max}}{FS} \quad FS=20, \text{ padrão CELESC}$$

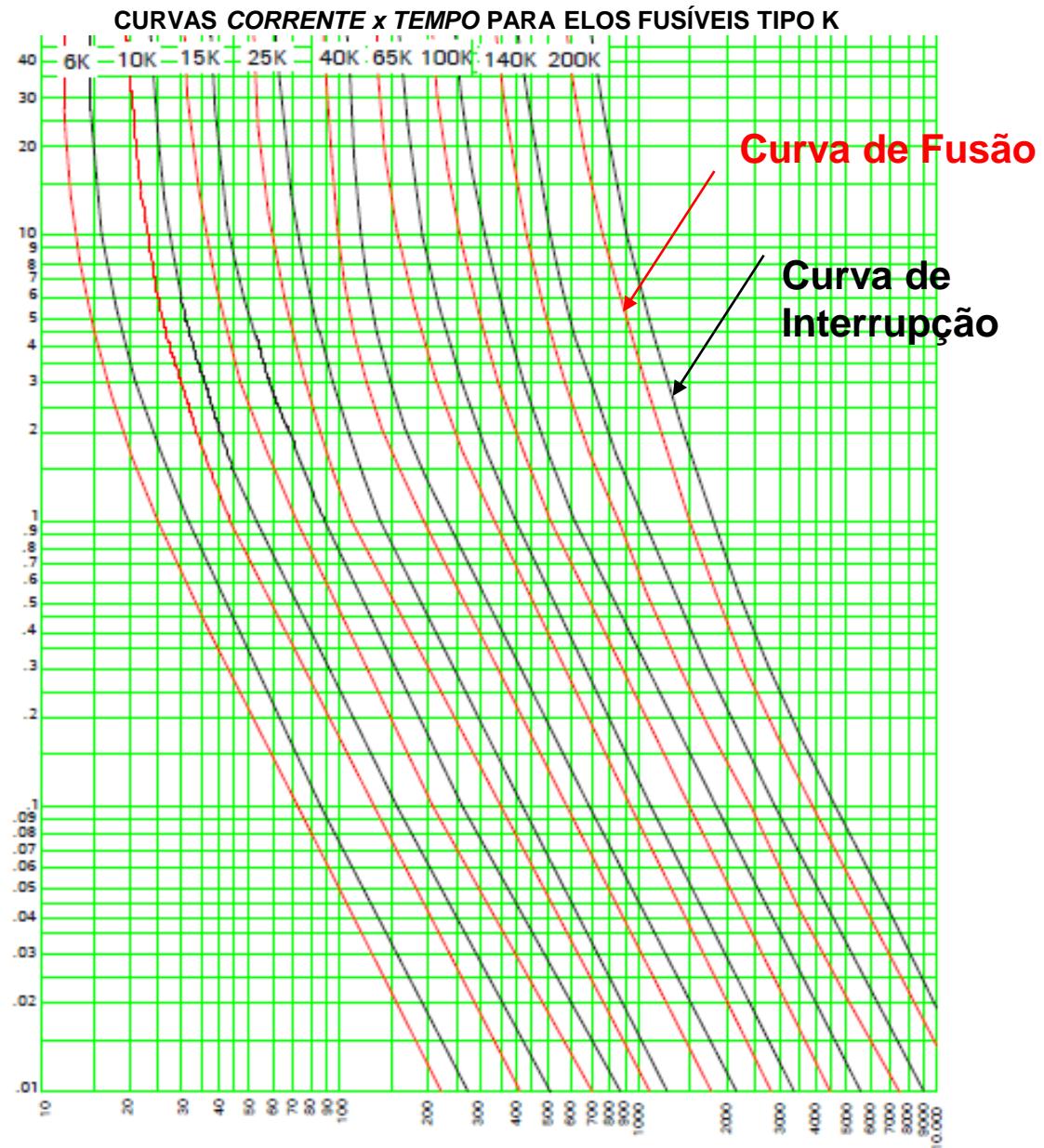
- A corrente nominal primária do TC deve ser maior do que a máxima corrente de carga a ser considerada, em geral a corrente nominal do transformador:

$$I_{NTC} \geq I_{NInst}$$

ESPECIFICAÇÃO DA CHAVE E ELO FUSÍVEL

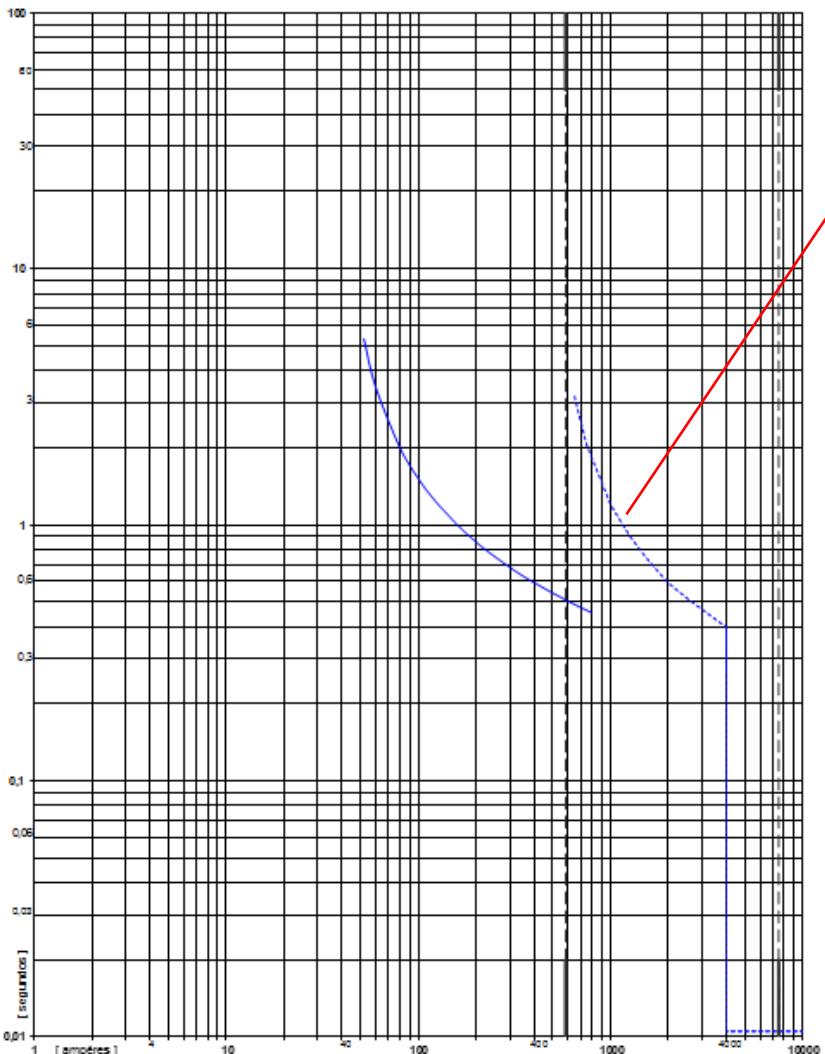
Para especificar a chave e o elo fusível, utilizar para CELESC as Tabelas 01A (trafo a óleo) ou 01B (trafo a seco) da N-321.0002 ou, então, utilizar a corrente nominal do transformador, referida ao primário I_{nptr} :

$$I_{ELO} \geq I_{nptr}$$



Dados para Cálculo dos Ajustes do Relé Secundário

 Celesc Distribuição S.A.	DADOS PARA CÁLCULO DE AJUSTES DE RELÉ SECUNDÁRIO		
CONSUMIDOR: TESTE			
ENDEREÇO: RUA PROJETADA			
SUBESTAÇÃO: RCO			
LOCAL DA PROTEÇÃO CELESC RCO-03			
EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO DA CELESC			
EQUIPAMENTO: RELÉ			
MODELO: FASE: IAC-51 NEUTRO: IAC-53			
TIPO: -			
TENSÃO: 13,8 kV			
		NEUTRO	FASE
CORRENTE DE DISPARO:		40 A	480 A
NÚMERO DE OPERAÇÕES LENTAS:		-	-
CURVA DE OPERAÇÃO LENTA:		VER GRÁFICO ANEXO	VER GRÁFICO ANEXO
NÚMERO DE OPERAÇÕES RÁPIDAS:		-	-
CURVA DE OPERAÇÕES RÁPIDA:		-	-
CORRENTES DE CURTO NO PONTO DE CONEXÃO DO CONSUMIDOR			
FASE TERRA	FASE TERRA MÍNIMO	FASE TERRA ASSIMÉTRICA	TRIFÁSICA
2528 (A)	548 (A)	2958 (A)	3593 (A)
TRIFÁSICA ASSIMÉTRICA	4035 (A)		
IMPEDÂNCIA ACUMULADA NO PONTO DE CONEXÃO			
R ₀	X ₀	R ₁	X ₁
0,59 p.u.	2,58 p.u.	0,39 p.u.	1,1 p.u.
OBSERVAÇÕES:			
CURVA DE "TEMPO X CORRENTE" DA PROTEÇÃO DA CELESC EM ANEXO			
MVA base = 100 MVA			
kV base = 13,8 KV			
I base = 4184 A			
Z base = 1,9044 Ω			
FORNECIDO POR: XXXXXX	MATRÍCULA: XXXXXX	DATA:	FONE:



À partir dos dados fornecidos pela CELESC, se pode definir a equação da curva de FASE:

- Tipo de curva → Normal Inversa

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} x DT$$

- Diferencial de Tempo (DT) = 0,12
- A relação I_L/I_p é dada por, neste caso:
 - $501A \leq I_L \leq 4.184A$
 - $I_p = 500A$

Assim:

$$t = \frac{0,14}{(I_L/500)^{0,02} - 1} x 0,12$$

Ajustes dos Relés			TC			Fase			Neutro			I pick-up			I instant.				
Local	SE	KV	primário	sec.	Relé	TAP	T/C	I inst.	In	Relé	TAP	T/C	I inst.	In	F	N	F	N	
Ajustes dos Religadores			Operações			Fase			Neutro			I aj.			I aj.				
Local	SE	KV	Religador	Rápidas	Lentas	I aj.	Aj. Rápido	Aj. Lento	I aj.	Aj. Rápido	Aj. Lento	I aj.	Aj. Rápido	Aj. Lento	I aj.	Aj. Rápido	Aj. Lento		
JSC-5	JSC	13,8	Cooper NOVA/F6	bloq.	2	500	[A]	Curva	MT	Curva	MT	[A]	Curva	MT	IEC-ni	0,12	40	IEC-ni	0,2
Fusível	Limite			Tensão de Referência			Responsável			Matrícula			Data						
				14 [kV]			MARCIOLVG			14966 x			03/10/2012						

Raciocínio
semelhante se faz
para a curva de
NEUTRO

EXEMPLO

Determinar o coordenograma para uma instalação com transformador de 500kVA e demanda contratada de 410kW.

- CORRENTE NOMINAL - I_N

$$I_N = \frac{P_{DC}}{\sqrt{3}xV_NxFP}$$

$$I_N = \frac{410}{\sqrt{3}x13,8x0,92} = 18,65A$$

- CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

PONTO	SECUNDÁRIO, V. base=13,8kV				
	Transformador 500kVA				
1	Icc3Øsimét	Icc3Øassim	Icc1Øsimét	Icc1Ømin	Icc1Øassim
	418A	578A	447A	159A	617A

- CORRENTE DE PARTIDA DO RELÉ

$$I_{PF} = 1,3xI_N \quad I_{PF} = 1,3x18,65 = 24,2A \quad I_{PF} \text{ corrente de partida - FASE}$$

$$I_{Pn} = \frac{I_{PF}}{10} \quad I_{Pn} = \frac{24,2}{10} = 2,4A \quad I_{Pn} \text{ corrente de partida - NEUTRO}$$

- CORRENTE ***ANSI*** (trafo)

$$I_{NTR} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 13,8} = 20,9A \quad \text{Considerando } Z\% = 5\% \text{ e tempo } 3s.$$

$$I_{ANSI} = \frac{100 \times I_{NTR}}{Z\%} \quad I_{ANSI} = \frac{100 \times I_{NTR}}{5} = 20 \times 20,9 = 418,4A$$

- CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO (trafo)

$$I_M = I_{NRUSH} = 8 \times I_{NTR} = 8 \times 20,9 = 167,2A$$

- ATUAÇÃO DO RELÉ

- A proteção instantânea do relé (função 50 e 50N):

$$1,4 \times I_{Nrush} \leq I_{F50} \leq I_{cs3\emptyset}$$

$$1,4 \times 167,2 \leq I_{F50} \leq 418$$

$$I_{F50} = 400A$$

$$I_{N50} = \frac{I_{F50}}{3}$$

$$I_{N50} = 133A$$

- A proteção temporizada do relé (função 51 e 51N):

Comunicado CELESC 43 (agosto/24): O ajuste do multiplicador da curva ou dial time, para a função 51 e 51N deve ser o menor valor possível a ser ajustado no relé. A utilização de valores acima de 0,1 devem ser justificados tecnicamente.

- Curva da Fase Extremamente Inversa

- Corrente de partida do Relé:

$$I_{PF} = 25A$$

Então,

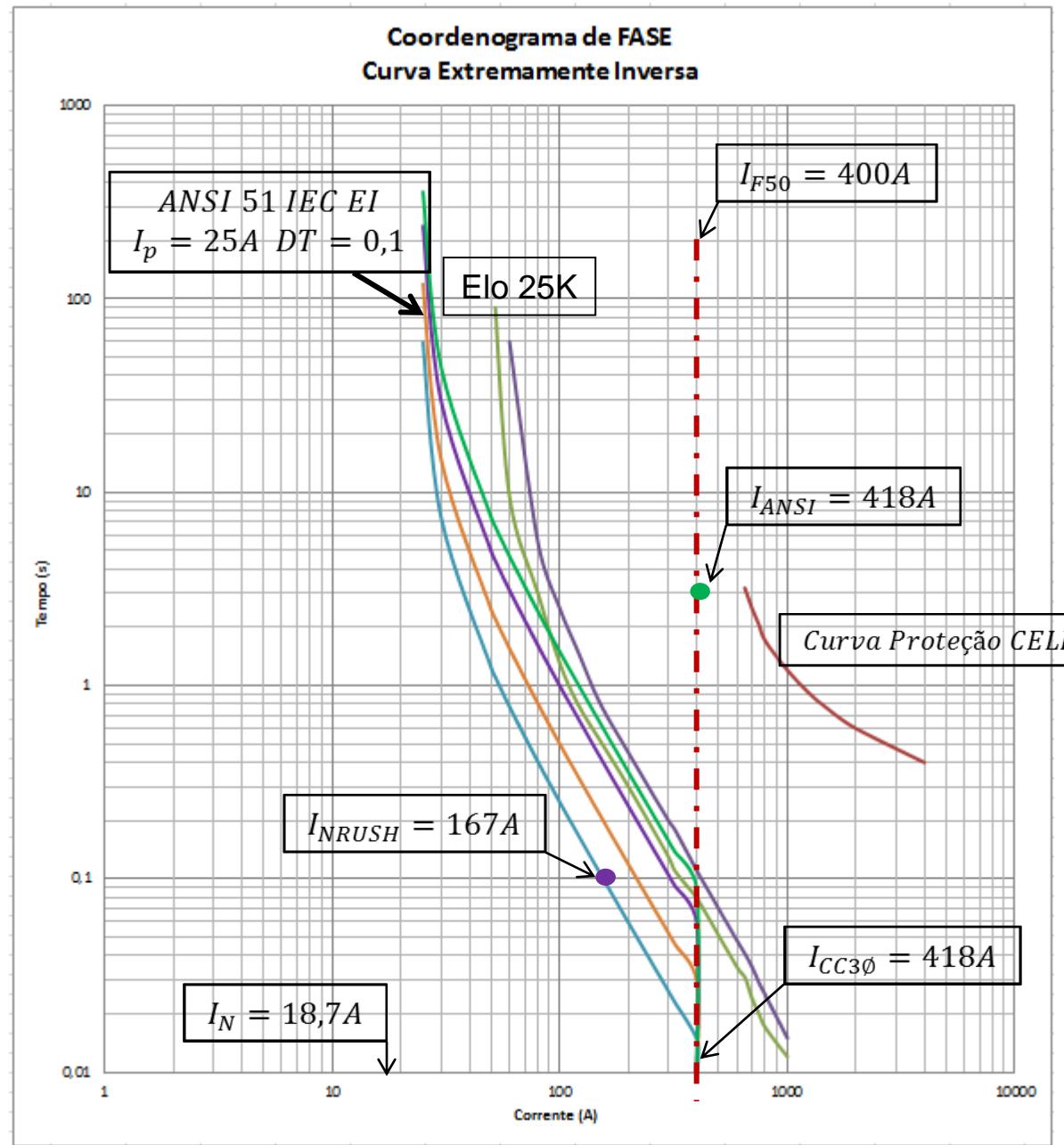
$$t = \frac{80}{(I_L/25)^2 - 1} \times DT$$

$$DT = 0,05 \text{ CURVA } \textcolor{blue}{—}$$

$$DT = 0,1 \text{ CURVA } \textcolor{orange}{—}$$

$$DT = 0,2 \text{ CURVA } \textcolor{purple}{—}$$

$$DT = 0,3 \text{ CURVA } \textcolor{green}{—}$$



Função 51N

- Curva da Fase
Normal Inversa

- Corrente de partida do
Relé:

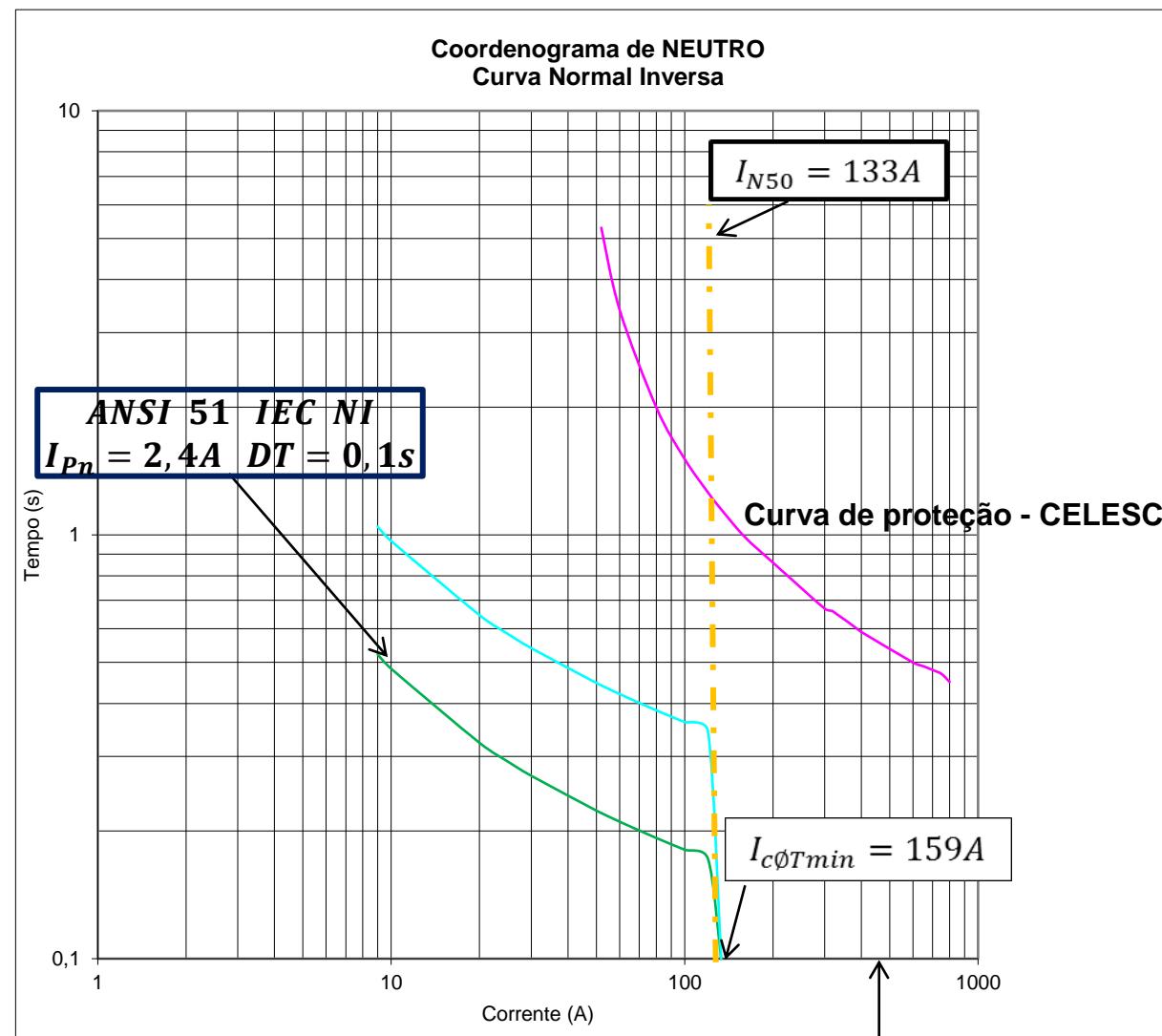
$$I_{Pn} = 2,4A$$

Então,

$$t = \frac{0,14}{(I_L/2,4)^{0,02}-1} \times DT$$

$DT = 0,1$ Curva

$DT = 0,2$ Curva



Especificações de TP's e TC's,
vide material específico.

TABELA 06 - Dimensionamento dos transformadores de medição em média tensão.

MEDIÇÃO EM MÉDIA TENSÃO			
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL			
TENSÃO NOMINAL (V)	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO		
	LIGAÇÃO COM 02 TP	LIGAÇÃO COM 03 TP	
13.200	13.200/110 = 120	-	
13.800	13.800/115 = 120	13.800R3/115 = 70	
23.100	23.000/115 = 200	23.000R3/115 = 120	

TRANSFORMADORES DE CORRENTE			
TENSÃO NOMINAL = 13.800V	TENSÃO NOMINAL = 23.100V		
DEMANDA PROVÁVEL (kVA)	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	DEMANDA PROVÁVEL (kVA)	RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO
ATÉ 120	5 x 10/5	ATÉ 100	2,5 x 5/5
121 < D ≤ 240	10 x 20/5	101 < D ≤ 200	5 x 10/5
241 < D ≤ 480	20 x 40/5	201 < D ≤ 400	10 x 20/5
481 < D ≤ 960	40 x 80/5	401 < D ≤ 800	20 x 40/5
961 < D ≤ 1200	50 x 100/5	801 < D ≤ 1600	40 x 80/5
1201 < D ≤ 2400	100 x 200/5	1601 < D ≤ 2000	50 x 100/5
2401 < D ≤ 4800	200 x 400/5	2001 < D ≤ 4000	100 x 200/5
4801 < D ≤ 8000	300 x 600/5	4001 < D ≤ 8000	200 x 400/5

NOTAS:

- 1) O fator térmico dos TC para tensão 13,8kV deverá ser igual a 1,5 e para tensão 23,1kV igual a 1,2.
- 2) Em caso de alteração de demanda da instalação os TC deverão ser redimensionados.



TPs

TABELA 07- Dimensionamento do barramento de média tensão da subestação para uso interno.

TABELA 07A - Barramento com vergalhão de cobre (maciço).

Demanda Final ou potência de transformação kVA	Corrente (A)	Vergalhão de cobre (diâmetro)	
		Polegada	mm
Até 112,5	103	1/4	6,5
de 1101 a 1800	179	3/8	9,5
de 1801 a 2500	285	1/2	12,5
de 2501 a 5000	394	5/8	15,8

Tabela 07-B - Barra chata de cobre - Condutividade 97,4 a 98,7% IACS

Demanda Final ou potência de transformação kVA	Barra retangular de cobre		
	Dimensões (pol)	Seção transversal mm ²	Corrente (A)
Até 112,5	1/2 x 1/4	80,65	160
de 1101 a 1800	3/4 x 1/4	120,97	241
de 1801 a 2500	3/4 x 1/4	120,97	241
de 2501 a 5000	1 x 1/4	161,29	322

NOTAS:

1. Não será permitida a utilização no barramento de fios ou cabos de cobre ou alumínio.
2. O barramento deverá ser apoiado sobre isoladores de pedestal tipo prensa fio de 15 ou 25 kV de acordo com a tensão da rede.
3. O vão máximo de barramento sem isolador deve ser de 3,0 metros.

Barramentos

