

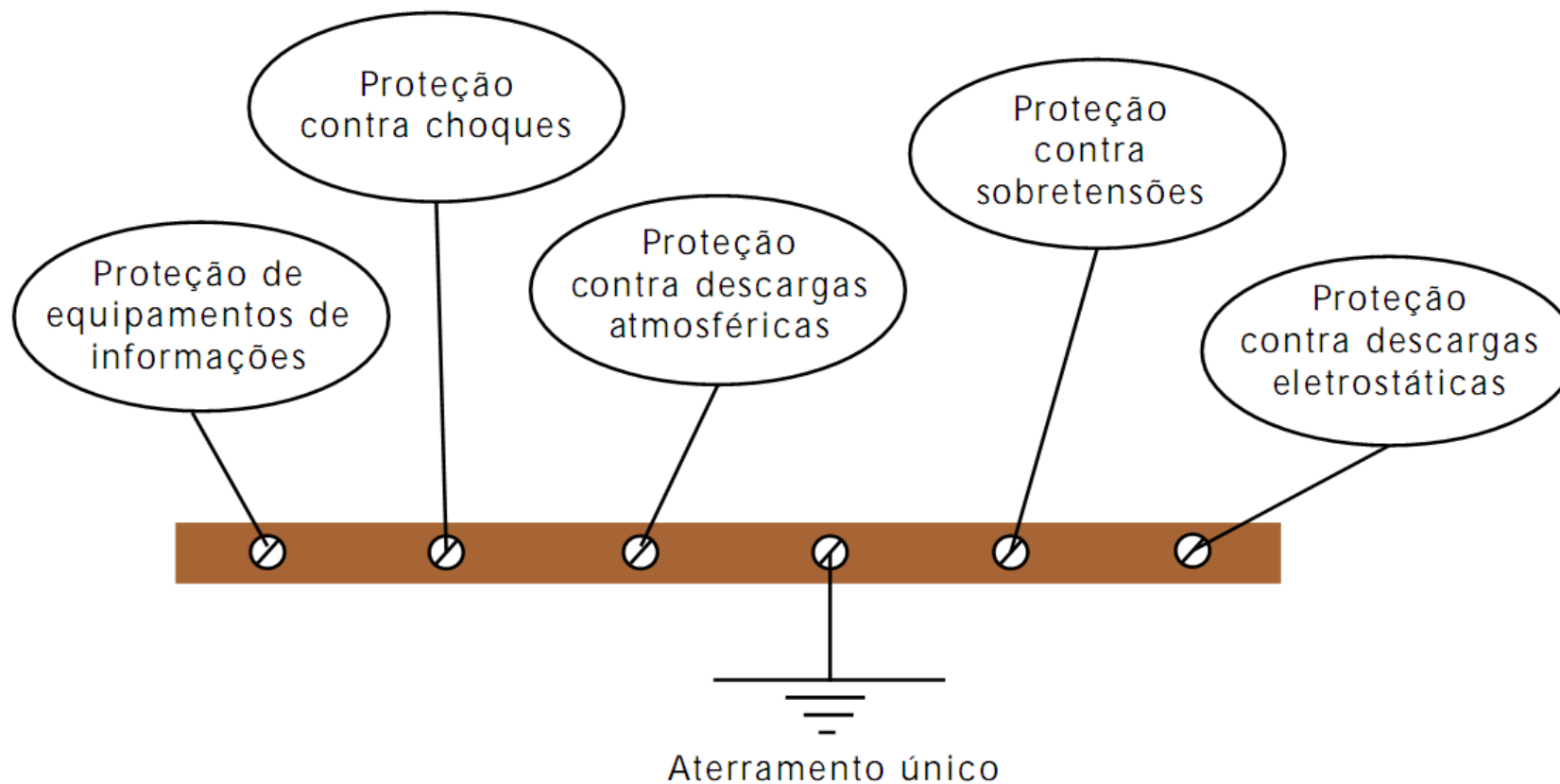


Universidade Federal do Espírito Santo
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Elétrica
Prof. Hélio Marcos André Antunes

Unidade 7: Noções de Aterramento Elétrico – Aula 14

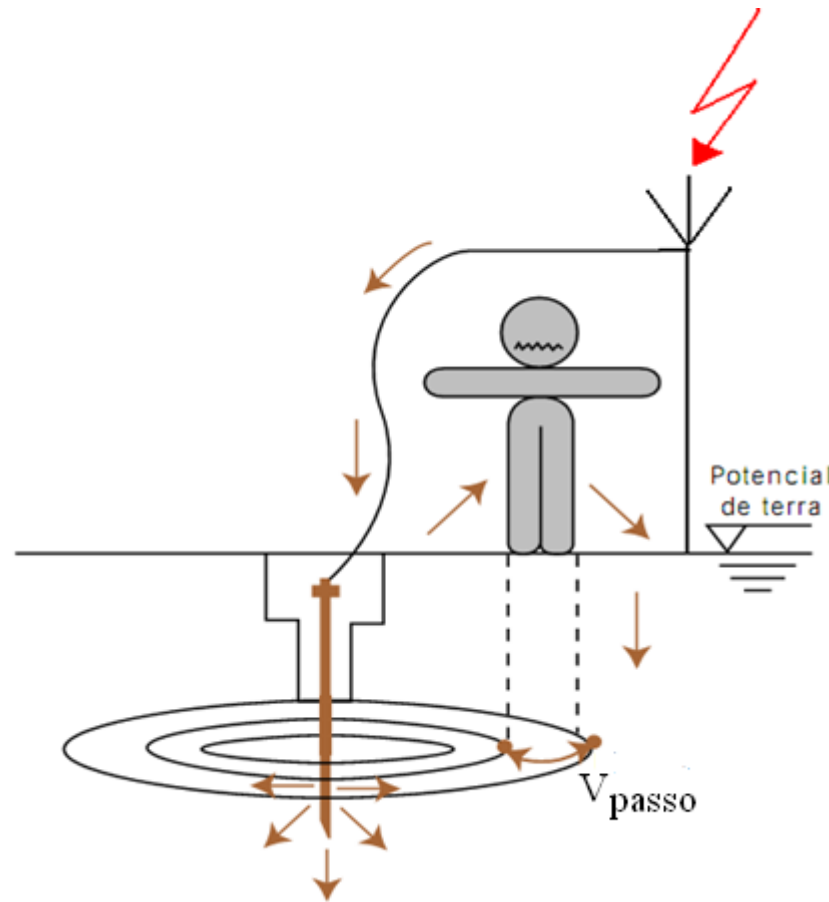
Instalações Elétricas I
Engenharia Elétrica

7.4- O Aterramento e suas proteções



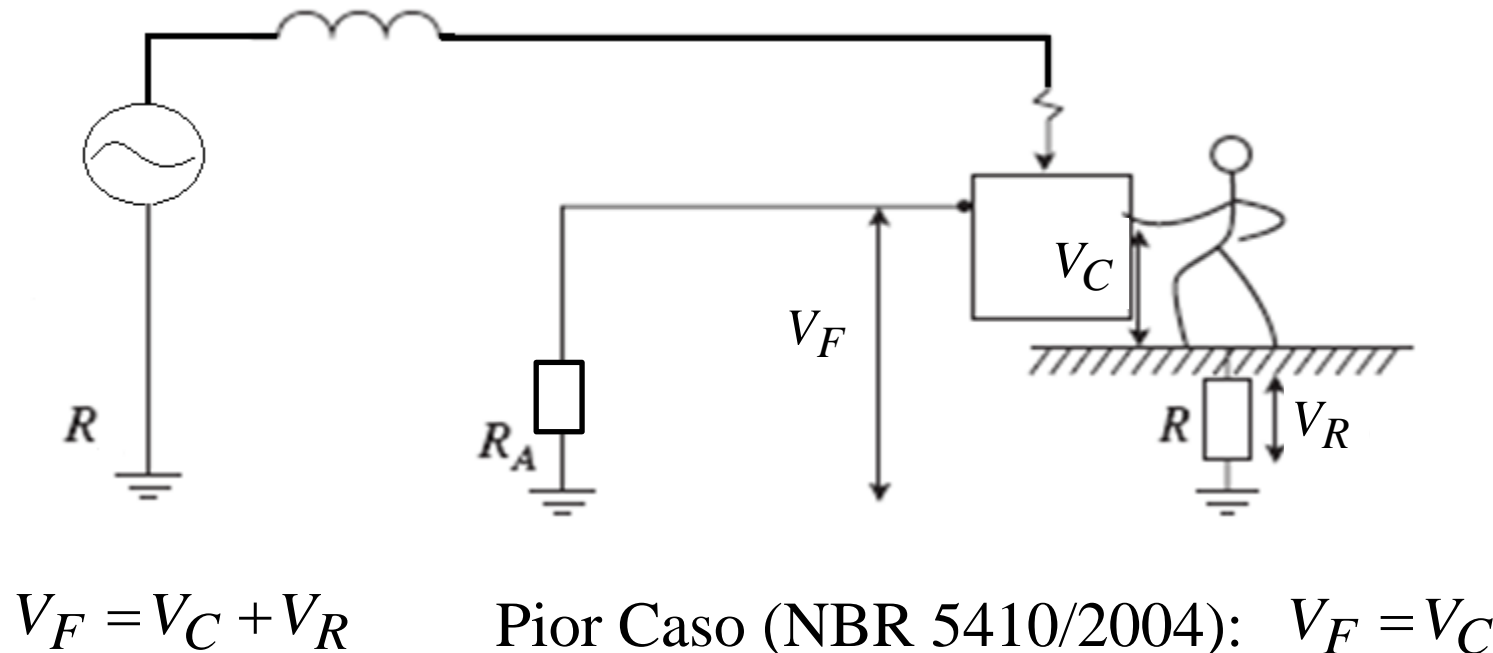
Tensão de passo

- Tensão de passo (V_p): é definida como parte da tensão do sistema de aterramento, à qual pode ser submetida uma pessoa com os pés separados a uma distância de um passo (1 m)



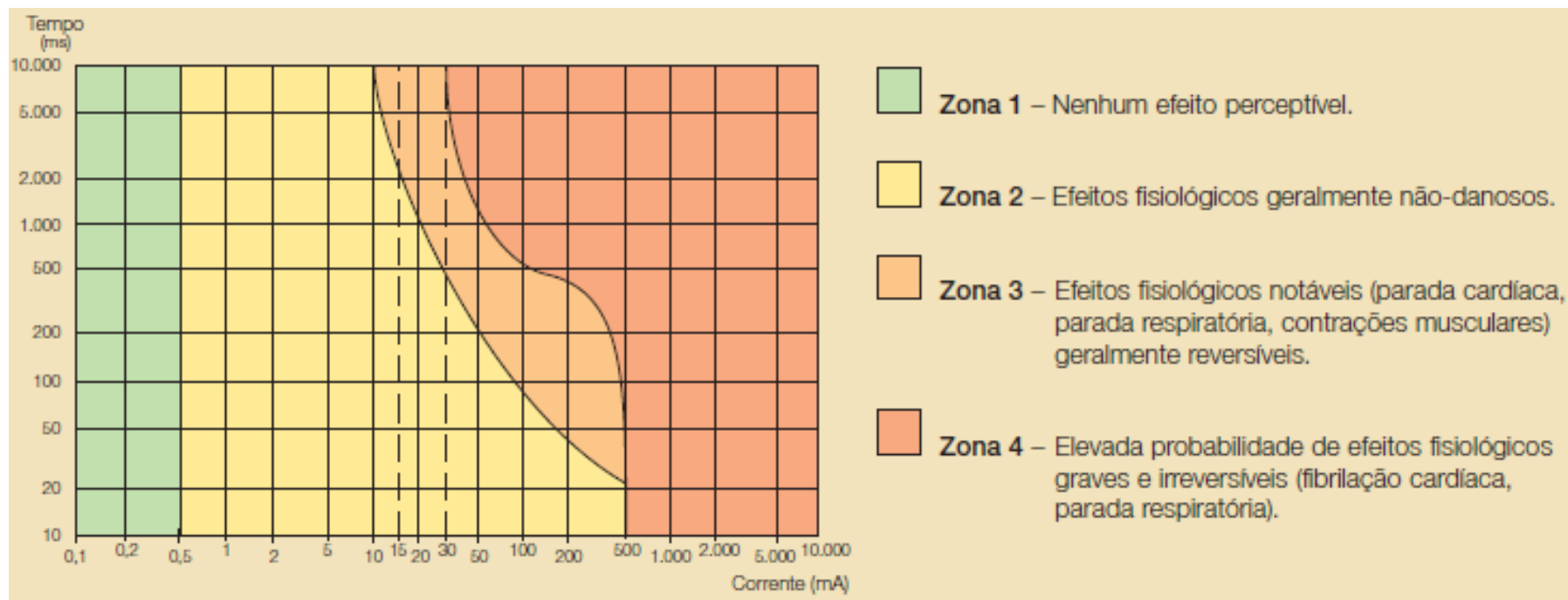
Tensão de falta e contato

- Tensão de falta (V_F)
 - É a tensão entre uma massa e uma haste de aterramento.
- Tensão de Contato (V_C)
 - É a tensão que pode aparecer acidentalmente entre duas partes acessíveis, quando ocorre falha da isolação.



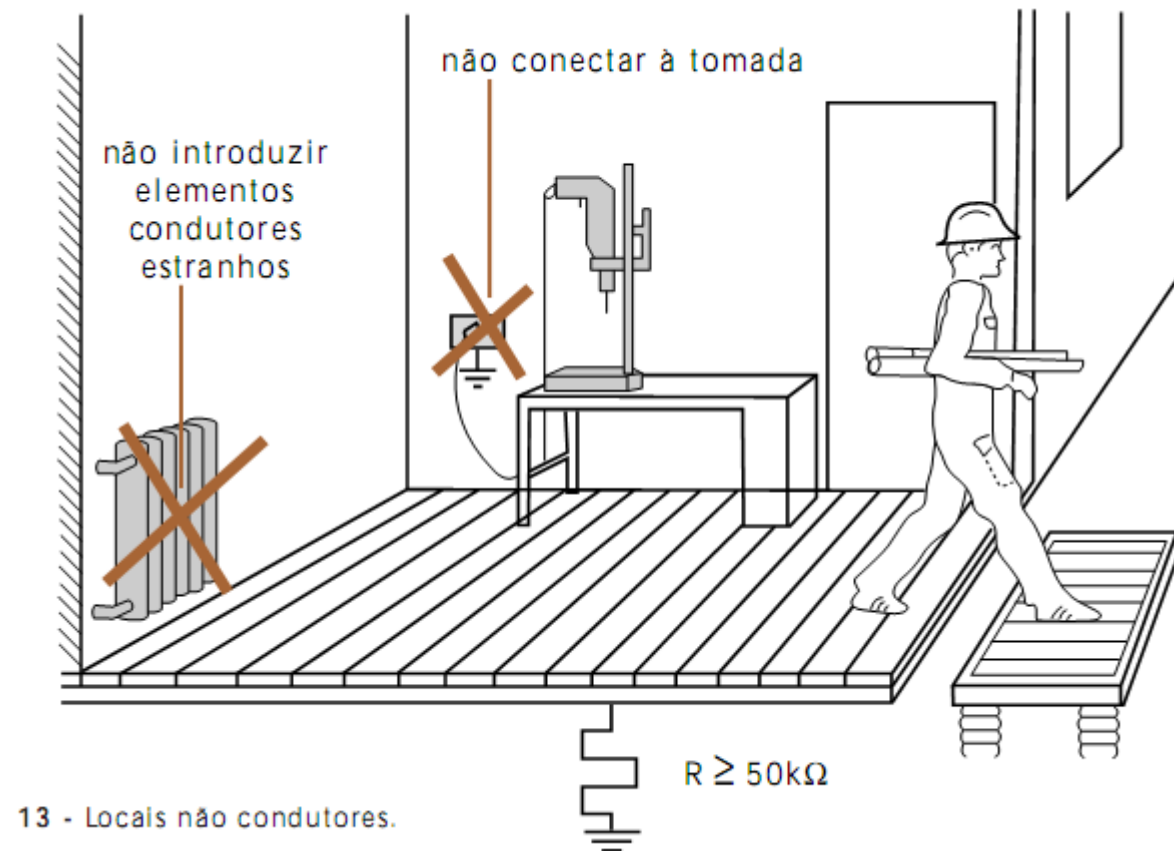
Proteção Contra Choques Elétricos

- O grande problema do choque elétrico está presente quando o corpo da pessoa é percorrido por uma corrente elétrica superior a um dado valor, por um tempo maior do que o suportável.
- A dependência corrente versus tempo, pode ser observada na figura abaixo, segundo norma IEC.



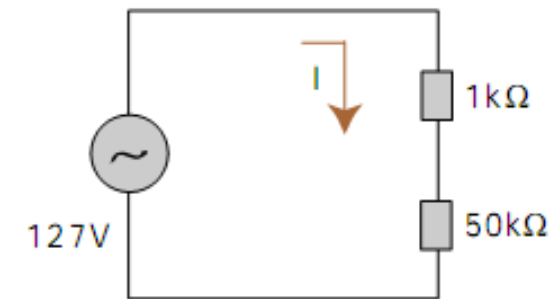
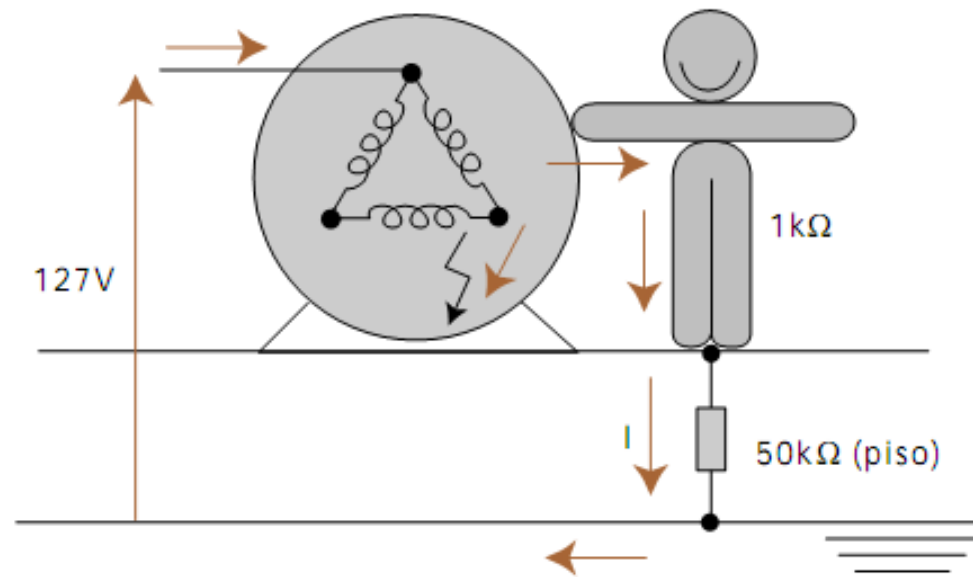
Proteção Contra Choques Elétricos

- Existem formas de prover proteção contra choque elétrico:
 - Primeira forma: Isolando a pessoa da fonte (paredes e pisos isolantes)



Proteção Contra Choques Elétricos

- A NBR 5410 considera pisos e paredes isolantes com resistência superior a 50 kΩ.



$$I = \frac{127V}{(1000 + 50000)\Omega} = 2,5 \text{ mA}$$

- Esta corrente é perigosa?
 - [Norma IEC - Efeitos fisiológicos da corrente](#)

Proteção Contra Choques Elétricos

- Segunda forma: limitando a tensão de contato.
 - Estudos realizados pelo IEC definem que as pessoas estão livres de choque elétrico para:
 - Tensões elétricas de contato menores que 50V (CA) ou 120V (CC) na situação 1.
 - Situação 1: corresponde a locais normais, quartos, salas, cozinhas e a maior parte dos locais da indústria.
 - Tensões elétricas de contato menores que 25V (CA) ou 60V (CC) na situação 2.
 - Situação 2: abrange áreas externas, locais molhados como banheiros.
 - Tais condições são inviáveis, pois os equipamentos são alimentados em tensões de 127V e 220V.

Proteção Contra Choques Elétricos

- Terceira forma: Criando um caminho de baixa resistência para as correntes perigosas ao corpo humano
 - É o mais utilizado na proteção contra choque elétrico.
 - As massas das instalações devem ser aterradas, criando um caminho alternativo para as correntes.
 - Na presença de correntes perigosas deve haver seccionamento automático da alimentação, por meio de disjuntores termomagnéticos ou dispositivos diferenciais residuais.

7.5- Esquemas de Aterramento

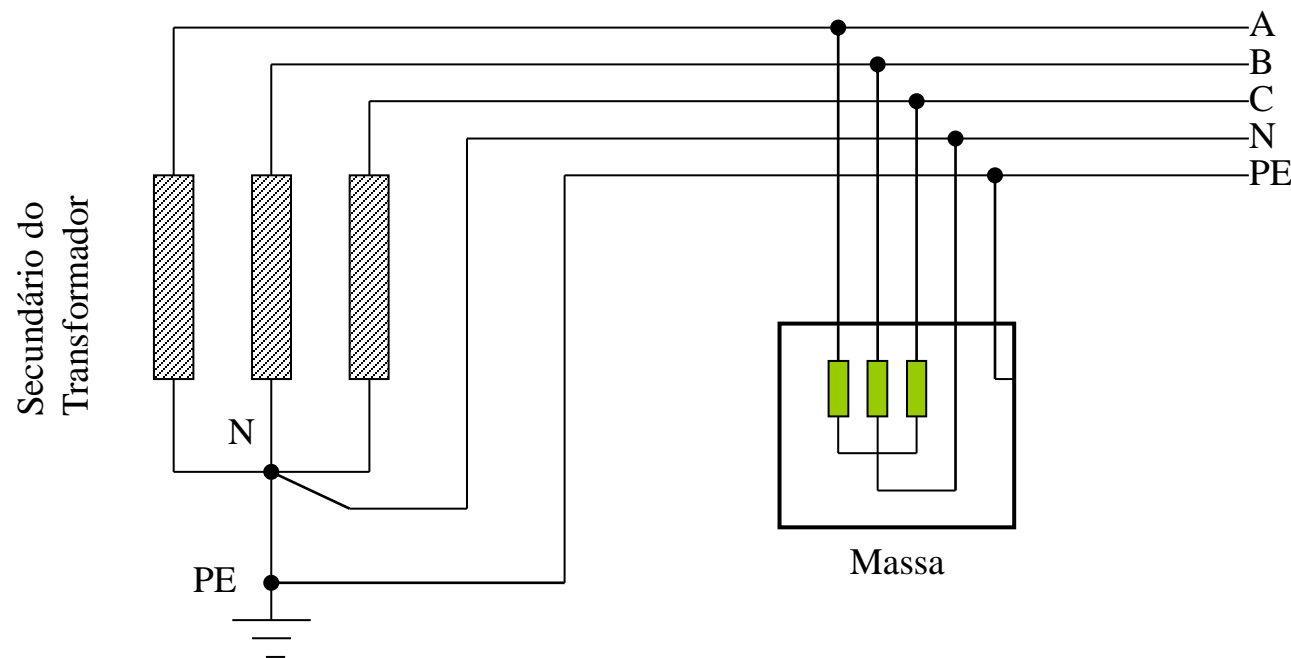
- A NBR 5410/2004 classifica os esquemas de aterramento para sistemas trifásicos em cinco tipos:
 - Sistema TN:
 - Sistema TN-S;
 - Sistema TN-C;
 - Sistema TN-C-S;
 - Sistema TT;
 - Sistema IT.
- Mas o que significa cada letra dos sistemas de aterramento?

Esquemas de Aterramento

- Segundo a NBR 5410/2004 a classificação dos sistemas de aterramentos utiliza a seguinte simbologia:
 - a) Primeira letra: Situação da alimentação em relação à terra:
 - T – Um ponto diretamente aterrado;
 - I – Isolação de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.
 - b) Segunda letra: Situação das massas em relação à terra:
 - T – Massas diretamente aterradas, independente do aterramento eventual de um ponto de alimentação;
 - N – Massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto de aterramento normalmente é o ponto neutro).
 - c) Outras letras (eventuais): Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:
 - S – Funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
 - C – Funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

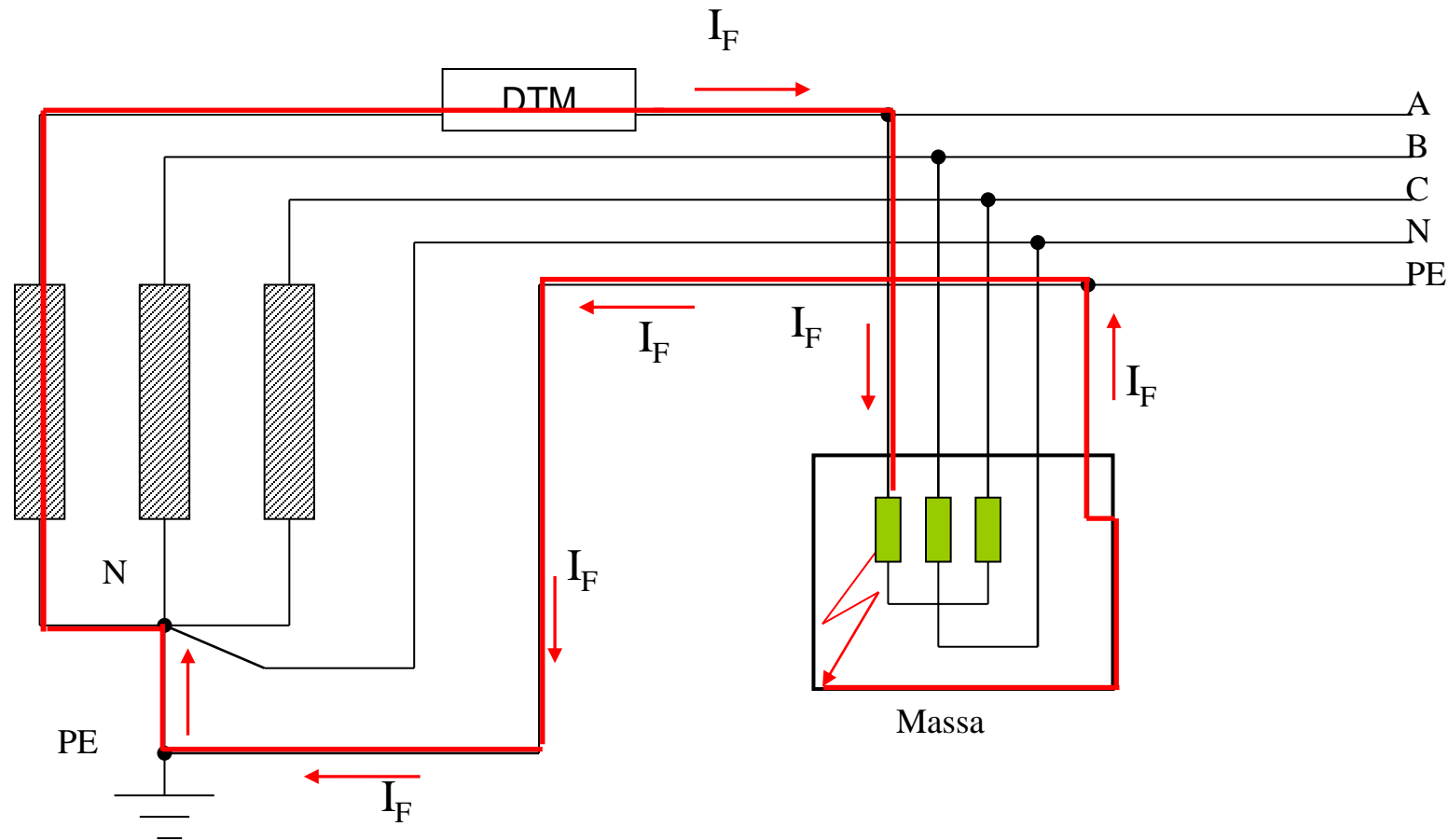
7.5.1- Sistema TN

- Possui o neutro da alimentação diretamente aterrado (T).
- As massas são ligadas ao neutro da alimentação, através de condutores de proteção (N).
- Primeiro sistema: TN-S
 - O condutor neutro e o condutor de proteção são distintos (S).



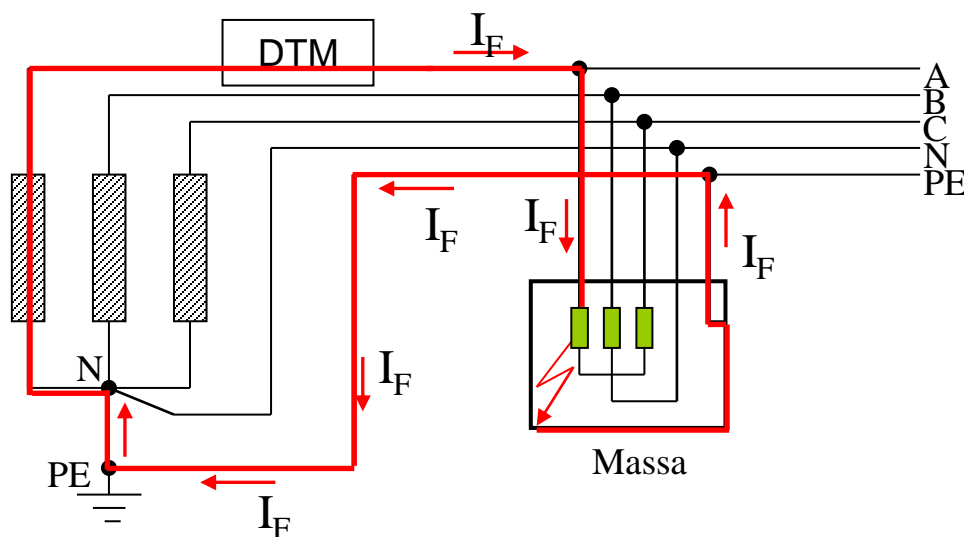
Sistema TN-S

- Falta fase-terra (I_F)

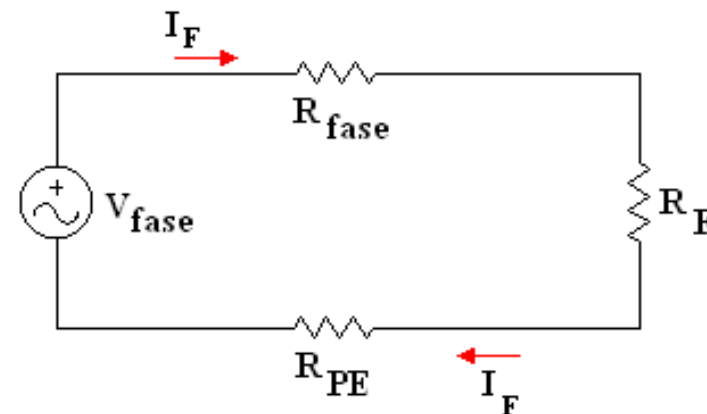


Sistema TN-S

- Falta fase-Terra (I_F)



Circuito elétrico equivalente

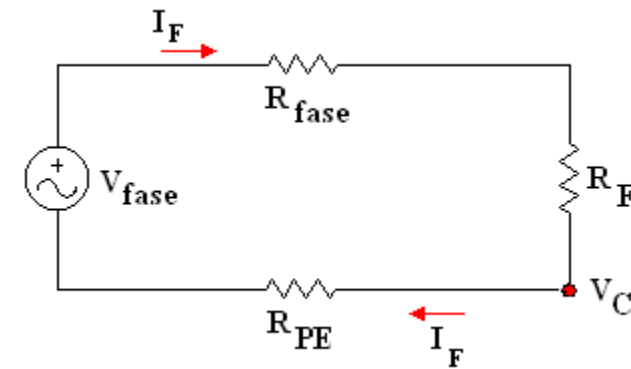
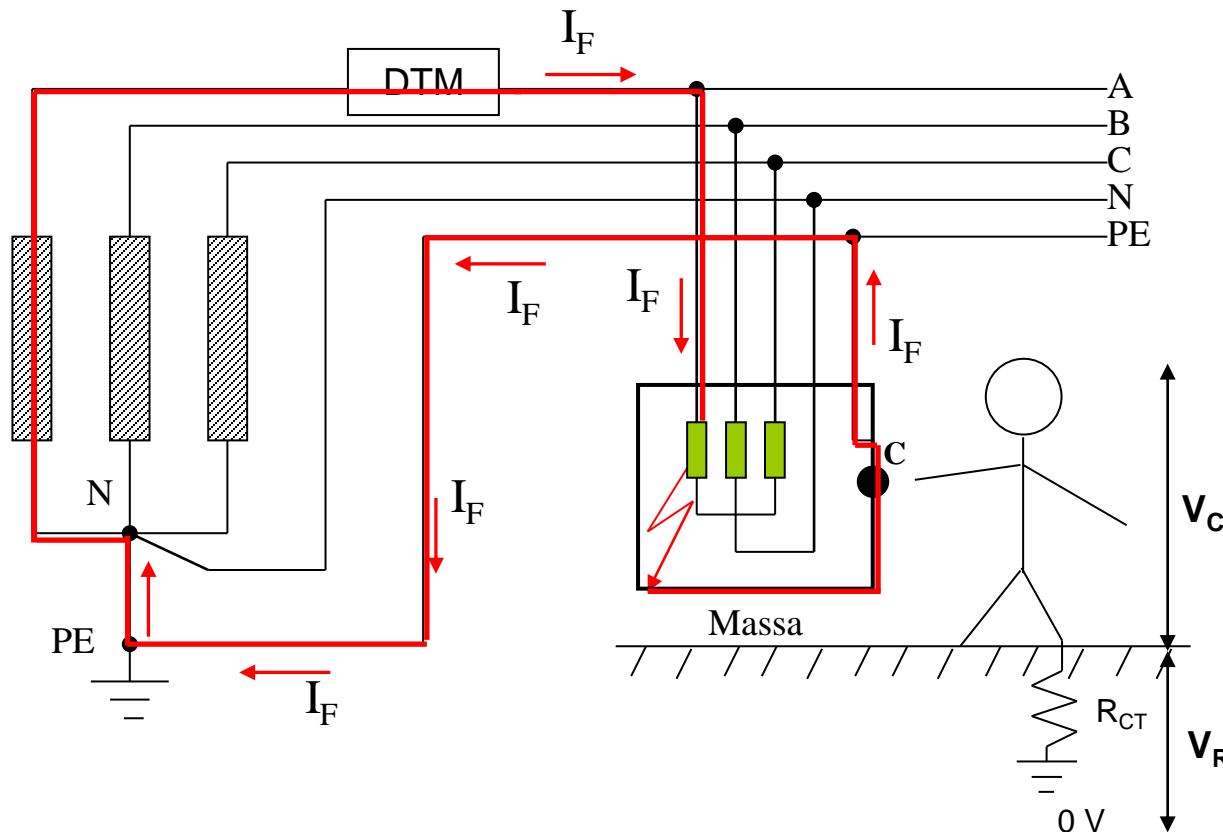


R_{fase} : Resistência do condutor fase
 R_F : Resistência de falta
 R_{PE} : Resistência do condutor de proteção
 I_F : Corrente de Falta

- para $R_F=0$ (falta franca)
- $R_{fase} + R_{PE} \sim m\Omega \longrightarrow I_F = \frac{V_{fase}}{R_{fase} + R_F + R_{PE}} \quad I_F \rightarrow \text{é muito elevada}$
- O disjuntor termomagnético atuaria com proteção contra curto-circuito.

Sistema TN-S

- Caso o DTM não atuasse, qual seria a tensão de contato ?



- Pior caso : $V_C = V_F$ ($V_R = 0$)
- Na falta :

$$V_c = \frac{R_{PE}}{R_{PE} + R_F + R_{fase}} V_{fase}$$

- Essa tensão de contato é perigosa?

Sistema TN-S

Exemplo 5.1) Adote $V_{\text{fase-neutro}}=127 \text{ V}$, $R_F=0$, $R_{PE}=R_{\text{fase}}=0,1774 \text{ } \Omega$ (condutor de $2,5 \text{ mm}^2$, $|Z|=8,87 \text{ } \Omega/\text{Km}$, $L=20 \text{ m}$) e situação 1.

$$V_c = \frac{R_{PE}}{R_{PE} + R_F + R_{\text{fase}}} V_{\text{fase}}$$

- $V_c=63,5\text{V} > 50\text{V}$ (Definido pela NBR 5410), logo a pessoa poderia sofrer um choque elétrico !
- Devo garantir o seccionamento automático do DTM, pois assim teríamos $V_c=0$ (Pessoa Protegida).

Sistema TN-S

- A NBR 5410 define para o esquema TN-S:

$$|Z_s| \cdot I_a \leq U_o \quad (1)$$

Onde:

Z_s é a impedância do percurso da corrente de falta;

I_a é a corrente que assegura a atuação do dispositivo de proteção num tempo no máximo igual ao especificado na tabela 20 ou a 5 s nos casos previstos na Nota de 5.1.3.1.3; e

U_o é a tensão nominal entre fase e terra.

Tabela 20 – Tempos de seccionamento máximos no esquema TN

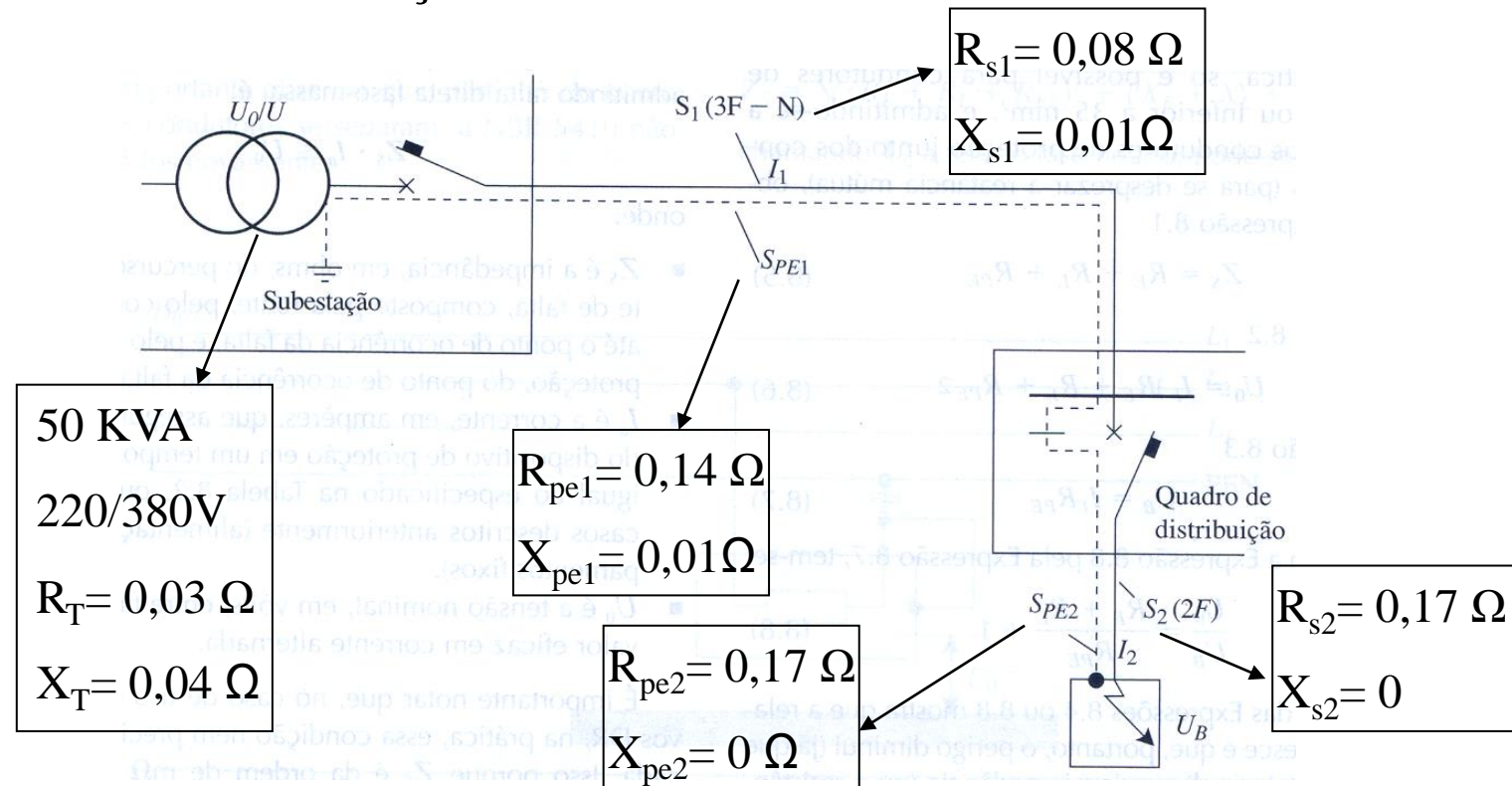
U_o (V)	Tempo de seccionamento (s)	
	Situação 1	Situação 2
115, 120, 127	0,8	0,35
220	0,4	0,20

- Se a condição (1) for atendida, ocorrerá seccionamento automático.
- O que fazer quando (1) não for atendida?

Sistema TN-S

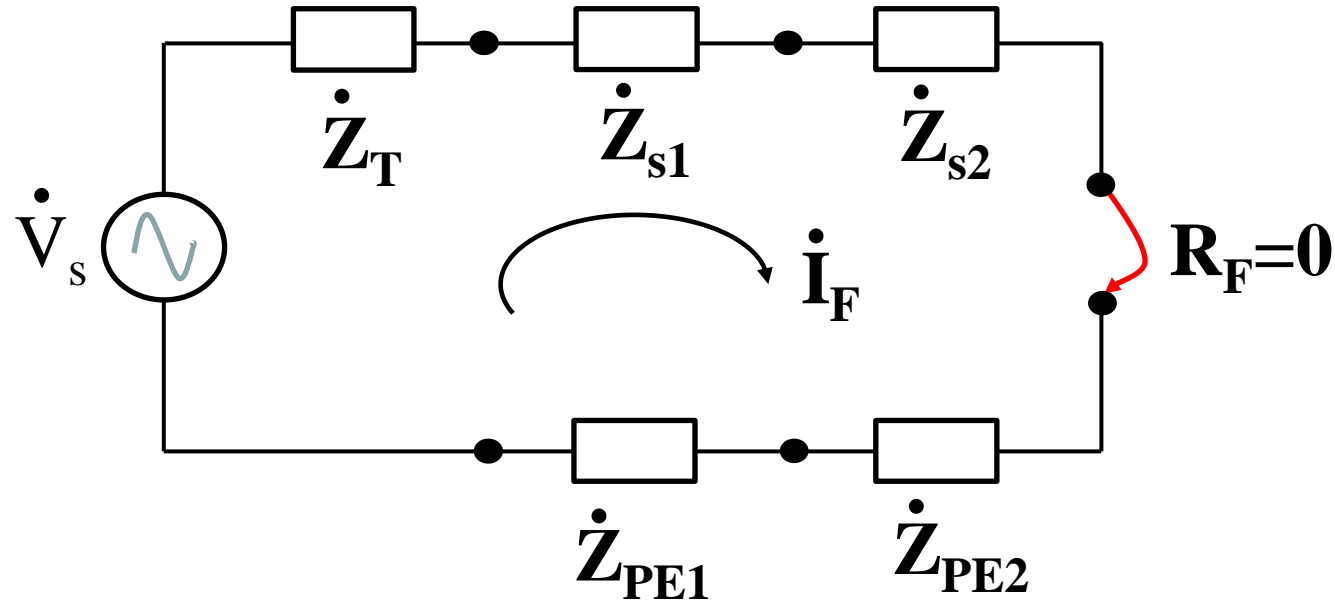
Exemplo 7.2)

Seja o trecho da instalação mostrado na figura abaixo, onde se tem um subestação, um circuito de distribuição e um circuito terminal, que alimenta uma massa. O circuito terminal é protegido por um minidisjuntor de 25 A (IEC 60898). Se houver uma falha na isolação da massa ($R_F=0$), ocorrerá seccionamento automático? Adote situação 1.



Resolução

- Circuito equivalente:



- Impedância do percurso da corrente de falta:

$$|\dot{Z}_S| = \sqrt{(R_T + R_{S1} + R_{S2} + R_{PE2} + R_{PE1})^2 + (X_T + X_{S1} + X_{S2} + X_{PE2} + X_{PE1})^2} \quad (1)$$

Resolução

- Substituindo os valores em (1) temos:

$$|\dot{Z}_S| = 0,59 \, \Omega$$

- Para $|\dot{V}_S| = 220 \, \text{V}$ (tensão de fase-terra), o máximo tempo de seccionamento deve ocorrer em $t=0,4\text{s}$ (situação 1).

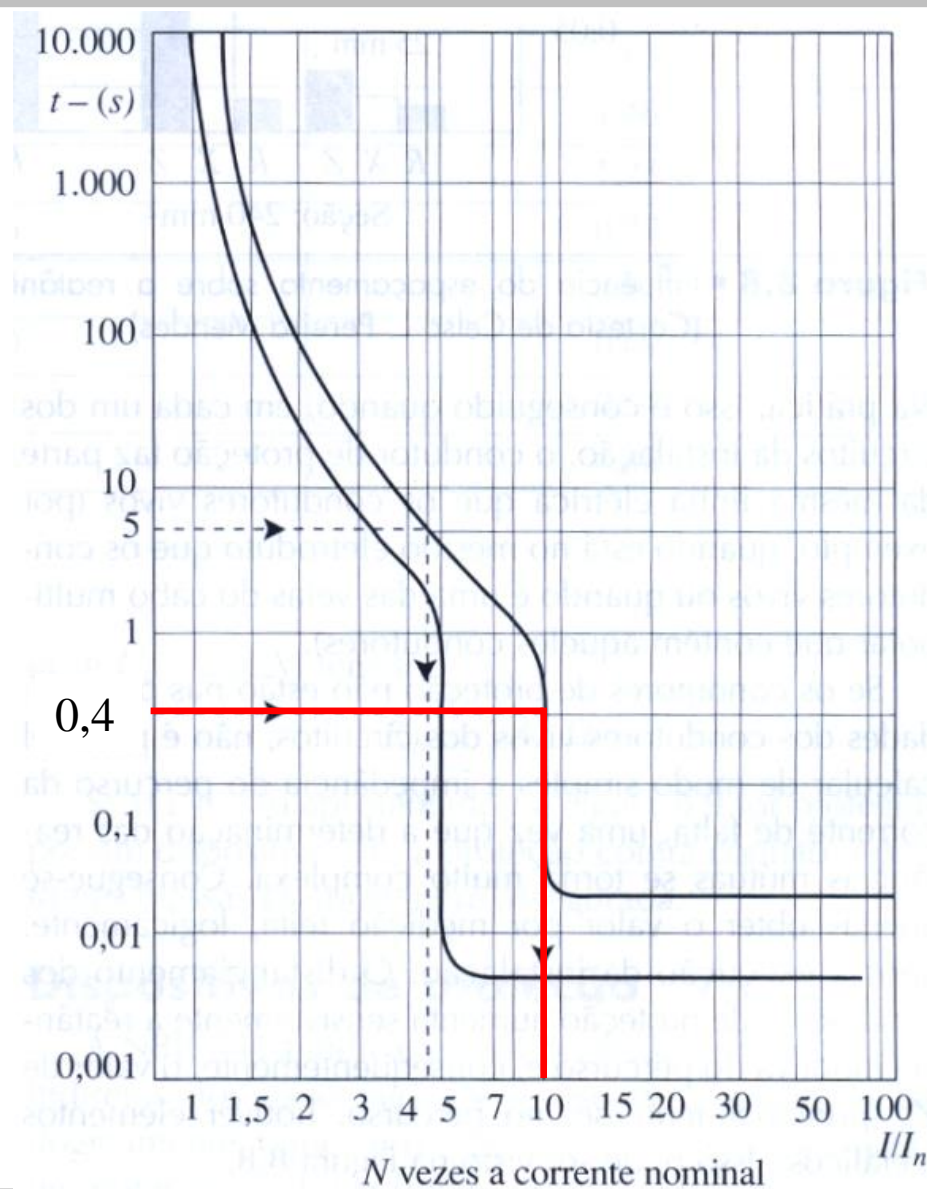
Tabela 20 – Tempos de seccionamento máximos no esquema TN

U_o (V)	Tempo de seccionamento (s)	
	Situação 1	Situação 2
115, 120, 127	0,8	0,35
220	0,4	0,20

- Por meio da curva do DTM para $t=0,4\text{s}$, encontramos uma corrente de atuação de:

$$I_a = 10 \times I_n = 10 \times 25 = 250 \, \text{A}$$

Curva de atuação do minidisjuntor (NBR IEC 60898)



Resolução

- Mas:

$$|\dot{Z}_S| \times I_a = 0,59 \times 250 = 147,5 < 220 \text{ V (OK!)}$$

- R: Assim, o disjuntor protegerá o usuário contra contato indireto por meio de seccionamento automático.

- Solução alternativa:

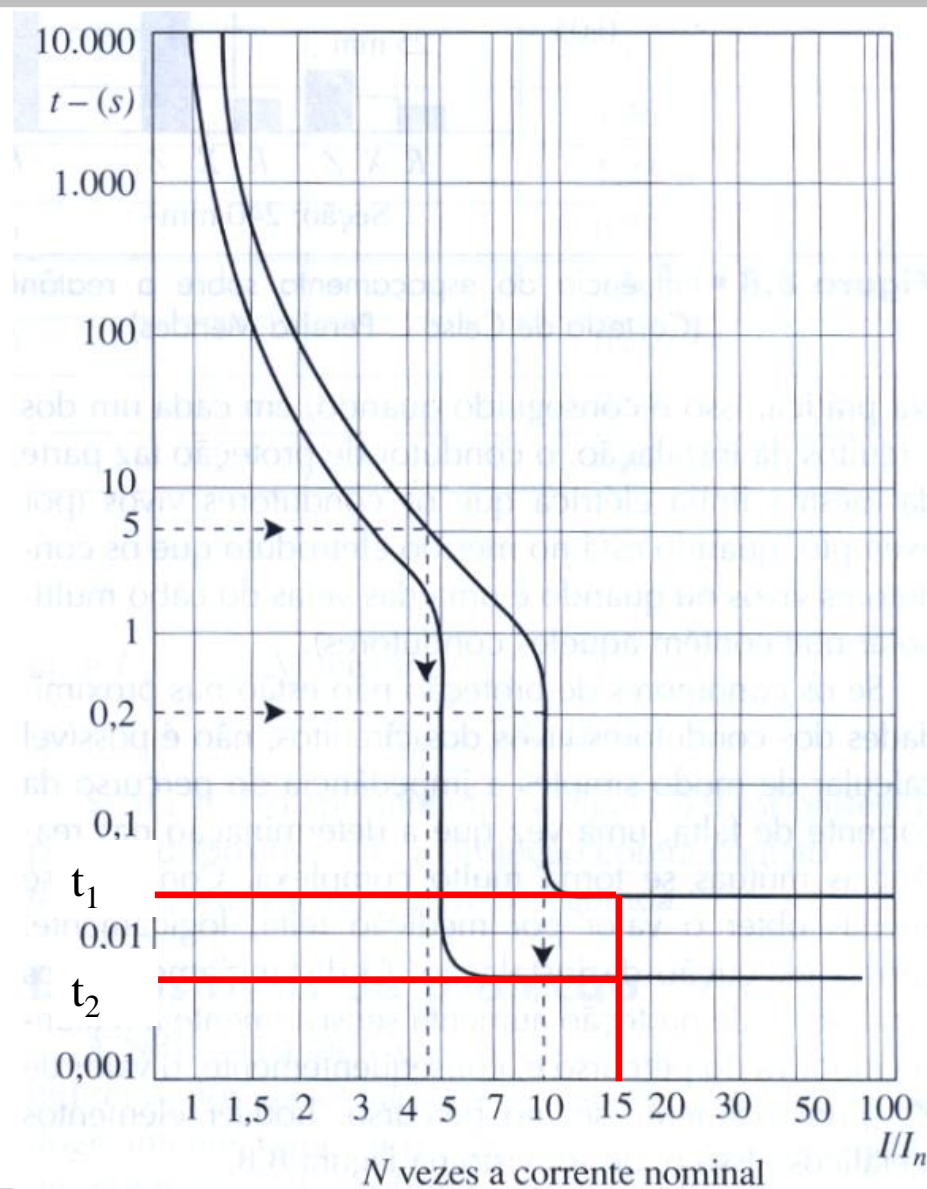
- Cálculo da corrente de falta fase-terra:

$$|\dot{I}_F| = \frac{|\dot{V}_S|}{|\dot{Z}_S|} = \frac{220}{0,59} = 372,88 \text{ A}$$

- Relação entre corrente de falta e a corrente nominal do DTM:

$$\frac{|I_F|}{I_n} = \frac{372,88}{25} = 14,92 \approx 15$$

Curva de atuação do minidisjuntor (NBR IEC 60898)



Resolução

- Para $15 \times I_n$ o DTM atua em:
 - $t_2 \leq T_{dd} \leq t_1 \longrightarrow 0,005 \text{ s} \leq T_{dd} \leq 0,05 \text{ s}$
- Logo o seccionamento automático está garantindo, pois $T_{dd} < 0,4\text{s}$ (situação 1).