



Unidade I – Proteção e Controle

2: Filosofia de Proteção

Disciplina: THP 7222 Estudos Especiais em Engenharia Elétrica I - Proteção Automação e Controle em Subestações e Sistemas de Distribuição Inteligentes

Prof. Raimundo Furtado Sampaio. e-mail: rfurtado@dee.ufc.br



Definições e Terminologias

➤ **Proteção:**

- ❑ Ação automática provocada por dispositivos sensíveis a determinadas condições anormais que ocorrem num circuito, no sentido de evitar ou limitar danos a um sistema ou equipamento elétrico (NBR 5460, 1992 - Cancelada).

➤ **Pontos para reflexão:**

- ❑ Essa definição está completa?
- ❑ Quais dispositivos de proteção você conhece?
- ❑ Qual a diferença entre um dispositivo e um equipamento?

Definições e Terminologias

➤ Sistema de proteção:

- ❑ Conjunto de equipamentos composto por relés de proteção, relés auxiliares, equipamentos de teleproteção e acessórios destinados a realizar a proteção em caso de falhas elétricas tais como curtos-circuitos, e de outras condições anormais de operação dos componentes de um sistema elétrico (LT, barramentos e equipamentos) (ONS, 2020).

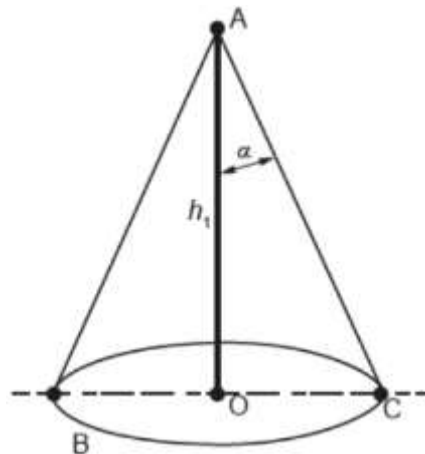
Definições e Terminologias

- **Qual o objetivo de um sistema de proteção:**
 - ❑ Manter a integridade do sistema elétrico;
 - ❑ Garantir a segurança das pessoas;
 - ❑ Assegurar a continuidade de serviço;
 - ❑ Melhorar a confiabilidade do sistema elétricos;
 - ❑ Melhorar a qualidade do fornecimento de energia.

Definições e Terminologias

➤ Sistema de proteção:

- ❑ Sistemas de proteção da geração;
- ❑ Sistemas de proteção da transmissão;
- ❑ Sistemas de proteção de subestação;
- ❑ Sistemas de proteção da distribuição;
- ❑ Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.



Definições e Terminologias

➤ Sistema Especial de Proteção - SEP:

- ❑ Sistema que, a partir da detecção de uma condição anormal de operação ou de contingências múltiplas, realiza ações automáticas para preservar a integridade do sistema, dos equipamentos ou das linhas de transmissão (ONS, 2020).

- ❑ O SEP engloba os:
 - ❑ Esquema de Controle de Segurança - ECS
 - ❑ Esquema de Controle de Emergência - ECE

Definições e Terminologias

- **Esquema de Controle de Segurança - ECS:**
 - ❑ SEP que objetiva, a partir da **detecção de contingências múltiplas** nos sistemas, **realizar uma ação automática** para evitar a **propagação de distúrbios** (ONS, 2020).

Definições e Terminologias

- **Esquema de Controle de Emergência - ECE:**
 - ❑ SEP que objetiva, a partir da **detecção de uma condição anormal** de operação, **realizar ação automática** com a **finalidade de preservar a integridade** de equipamentos e linhas de transmissão (ONS, 2020).

Definições e Terminologias

- **Esquema Regional de Alívio de Carga - ERAC:**
 - ❑ Sistema de proteção que, **por meio do desligamento automático e escalonado de blocos de carga**, utilizando **relés de frequência**, **minimiza os efeitos de subfrequência decorrentes de perda de grandes blocos de geração** (ONS, 2020).

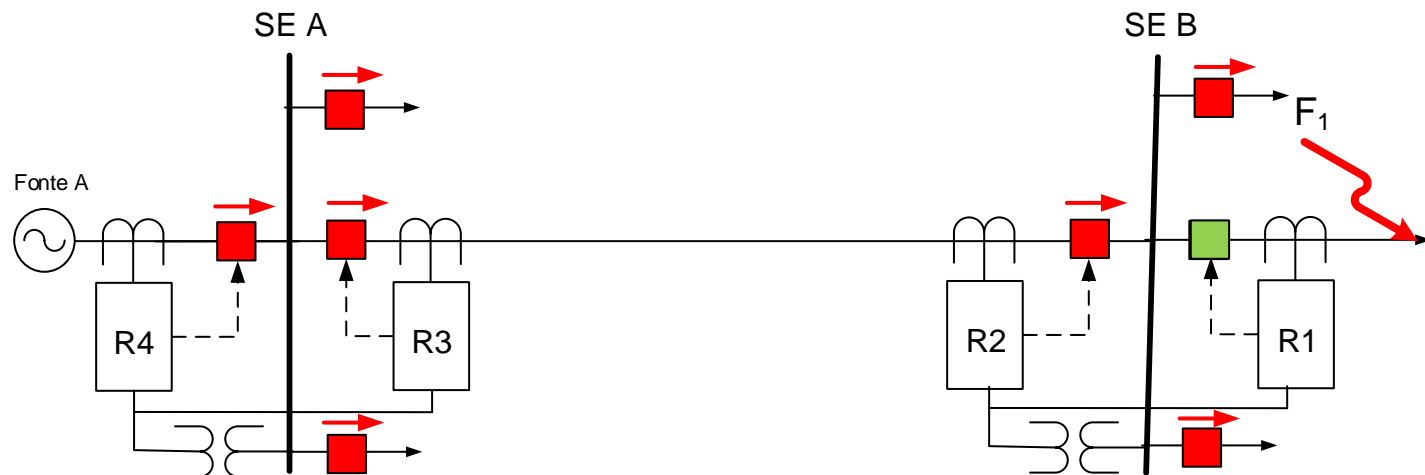
Definições e Terminologias

- **Sistemas de Proteção:**
 - Sistema de proteção unitária ou restrita.
 - Sistema de proteção gradativa ou irrestrita.
 - Sistema de proteção de retaguarda.
 - Proteção principal.
 - Proteção alternada.
 - Proteção intrínseca

Definições e Terminologias

➤ Proteção Principal

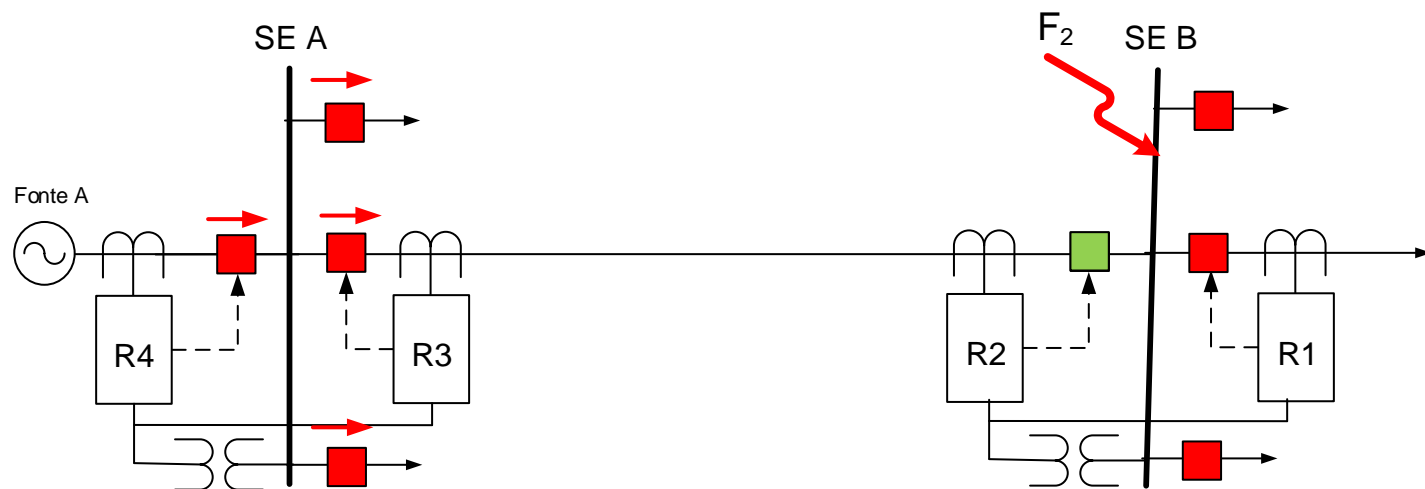
- ❑ Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar **falhas** que ocorram no componente protegido e fornecer proteção adicional para os componentes adjacentes (ONS, 2020).



Definições e Terminologias

➤ Proteção Principal

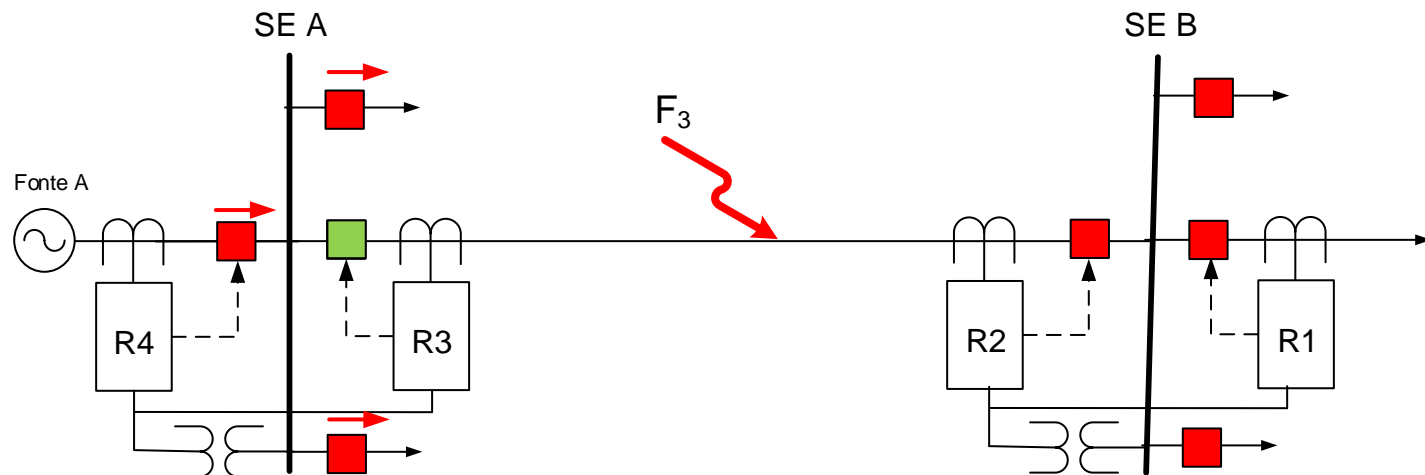
- ❑ Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar **falhas** que ocorram no componente protegido e fornecer proteção adicional para os componentes adjacentes (ONS, 2020).



Definições e Terminologias

➤ Proteção Principal

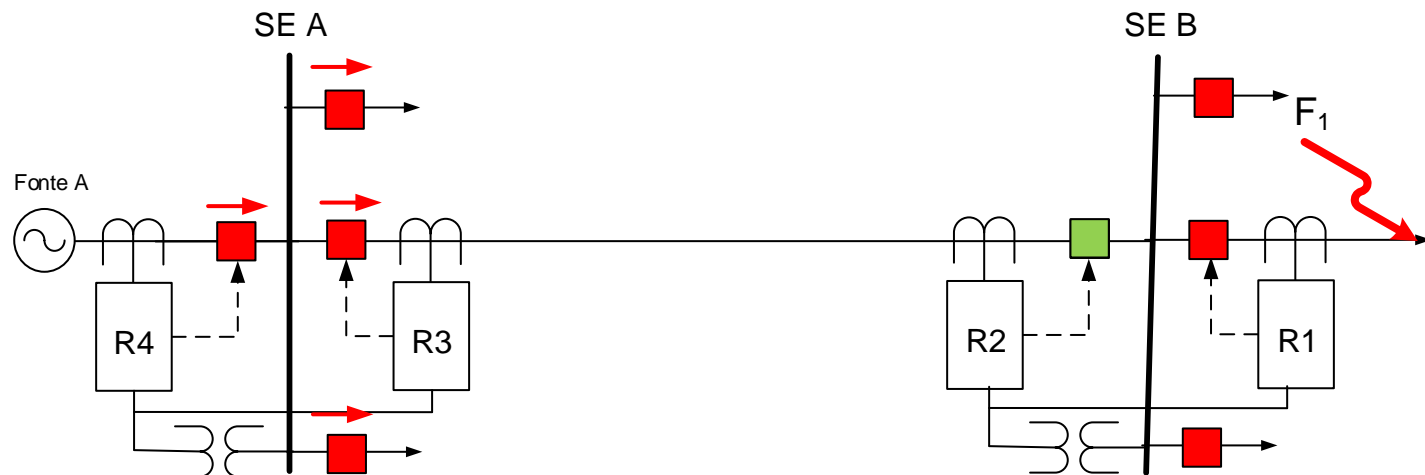
- ❑ Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar **falhas** que ocorram no componente protegido e fornecer proteção adicional para os componentes adjacentes (ONS, 2020).



Definições e Terminologias

➤ Proteção de retaguarda:

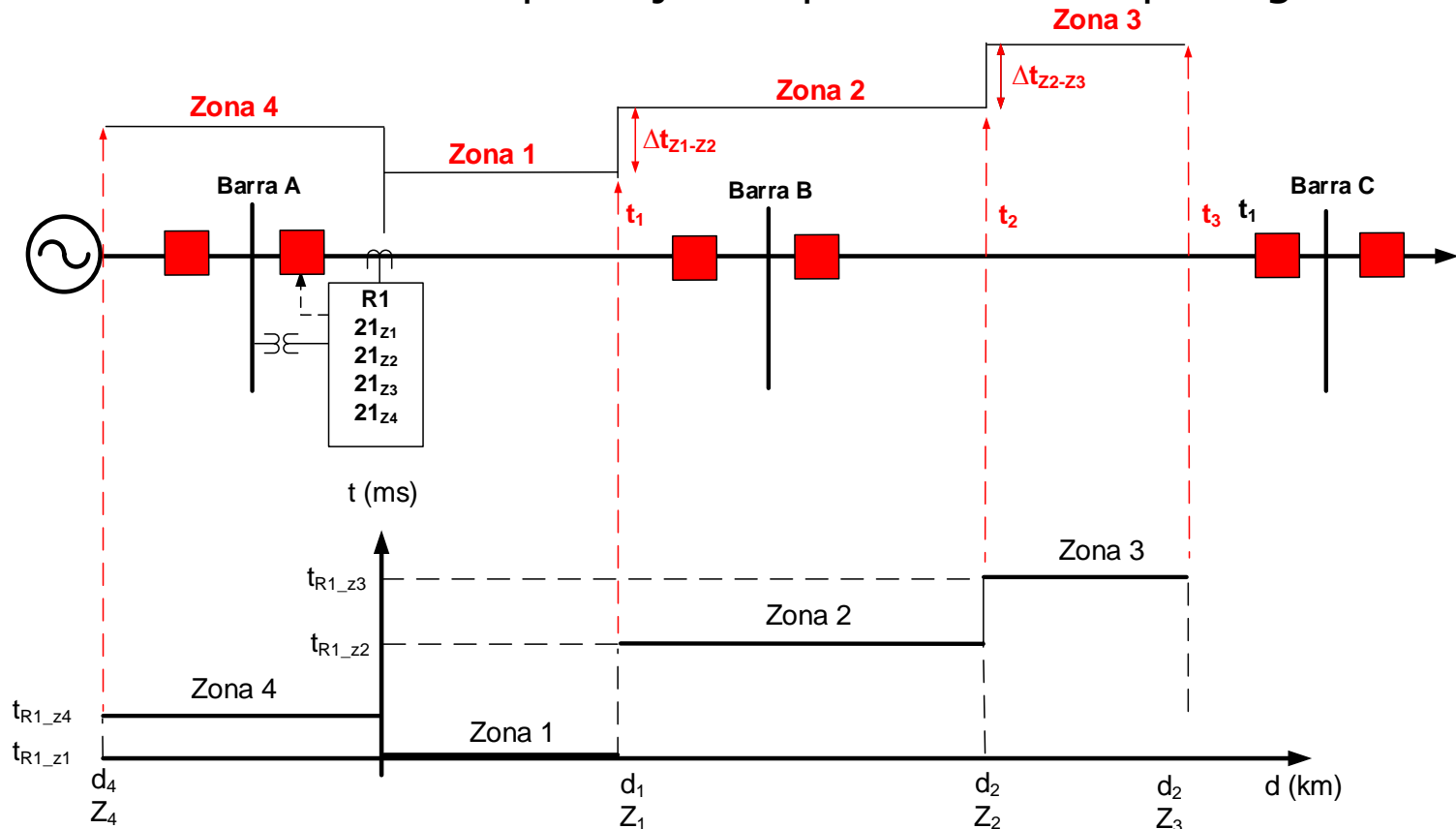
- ❑ Sistema de proteção destinado a atuar quando ocorre falha eventual de um outro sistema de proteção (ONS, 2020).



Definições e Terminologias

➤ Proteção de retaguarda local:

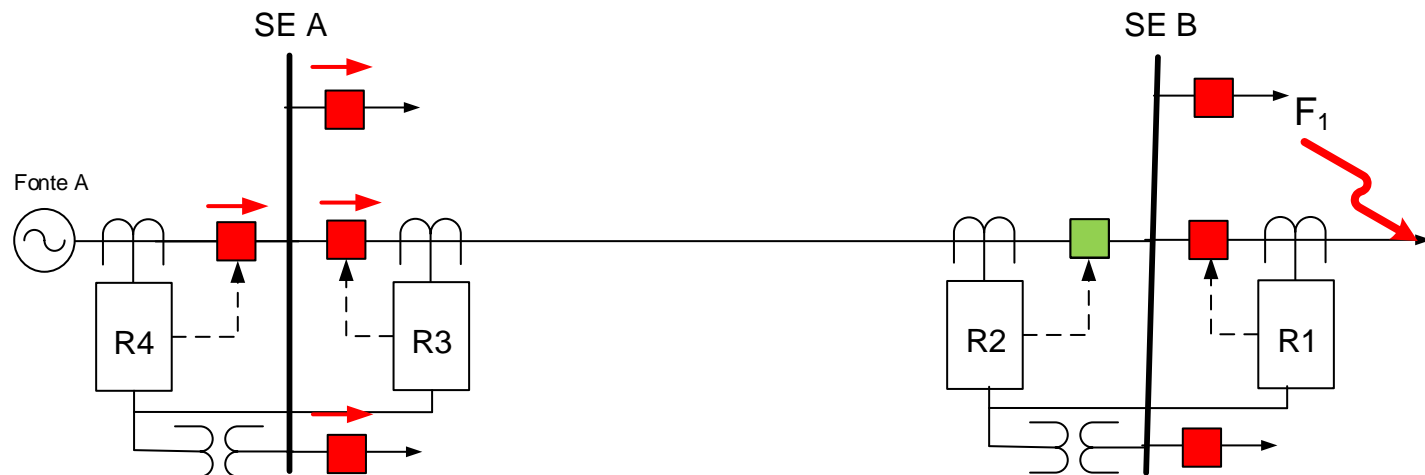
- ❑ É denominado retaguarda local quando está instalado no mesmo local do sistema de proteção a que se destina proteger.



Definições e Terminologias

➤ Proteção de retaguarda remoto:

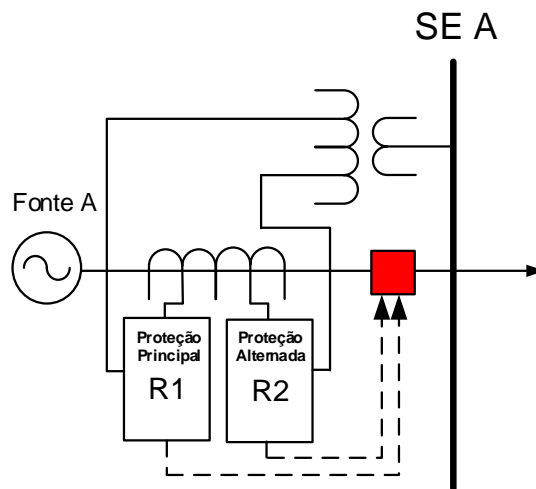
- ❑ É denominado retaguarda local quando está instalado no mesmo local do sistema de proteção a que se destina proteger.



Definições e Terminologias

➤ Proteções Alternada:

- ✓ Esquema de proteção funcionalmente idêntico à proteção principal e completamente independente desta.
- ✓ Esse esquema de proteção que proporciona redundância no sistema de proteção, requer:
 - ✓ TP com um núcleo independente do núcleo usado na proteção principal;
 - ✓ TC com um núcleo independente do núcleo usado na proteção principal;



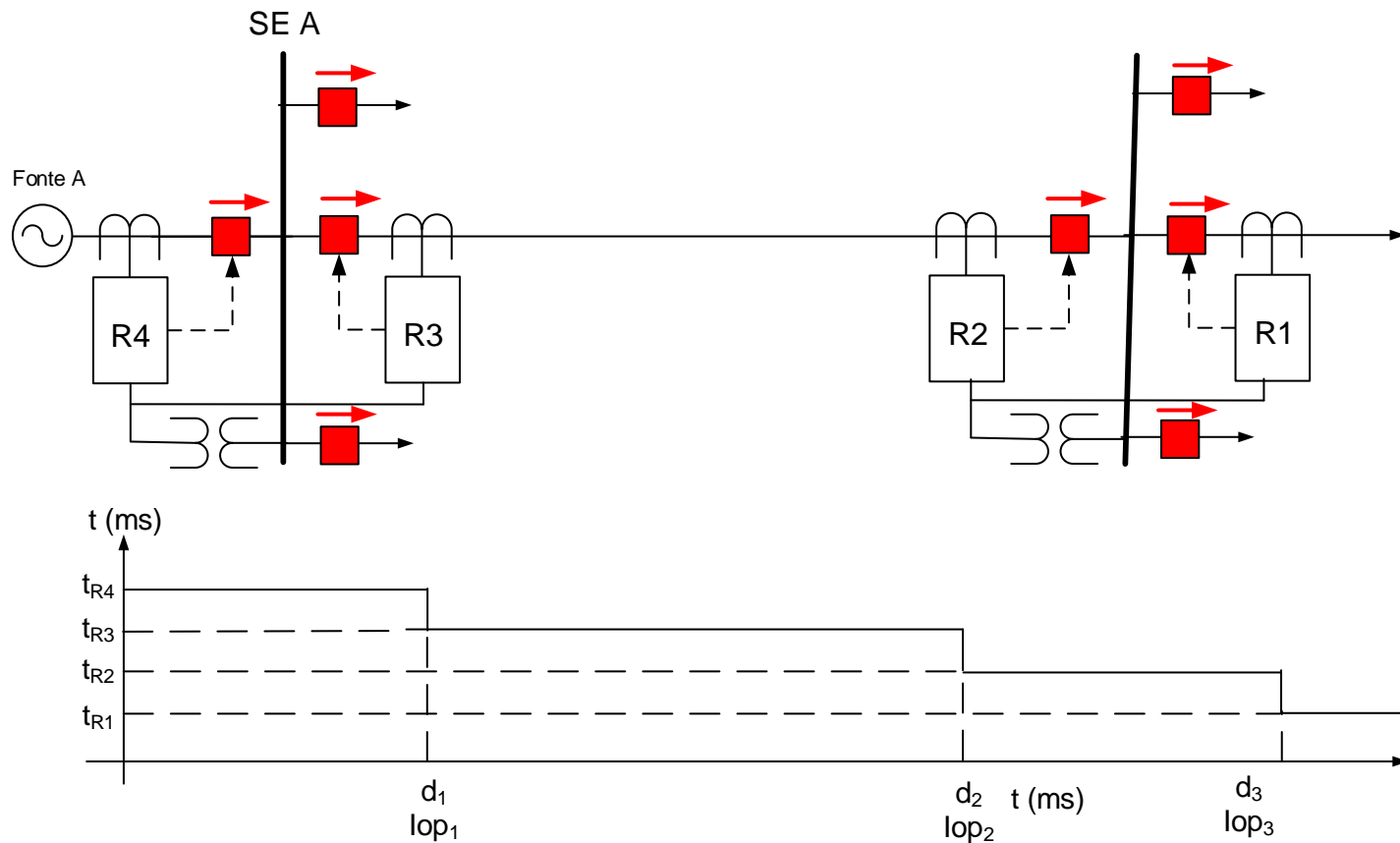
Definições e Terminologias

➤ **Proteção gradativa ou irrestrita:**

- ✓ Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar falhas que ocorram no componente protegido e fornecer proteção adicional para os componentes adjacentes.
- ✓ Utiliza retardo de tempo intencional para garantir a operação coordenada entre as proteções.
- ✓
- ✓ Exemplos:
 - ✓ Proteções de sobrecorrente
 - ✓ Proteções de distância.

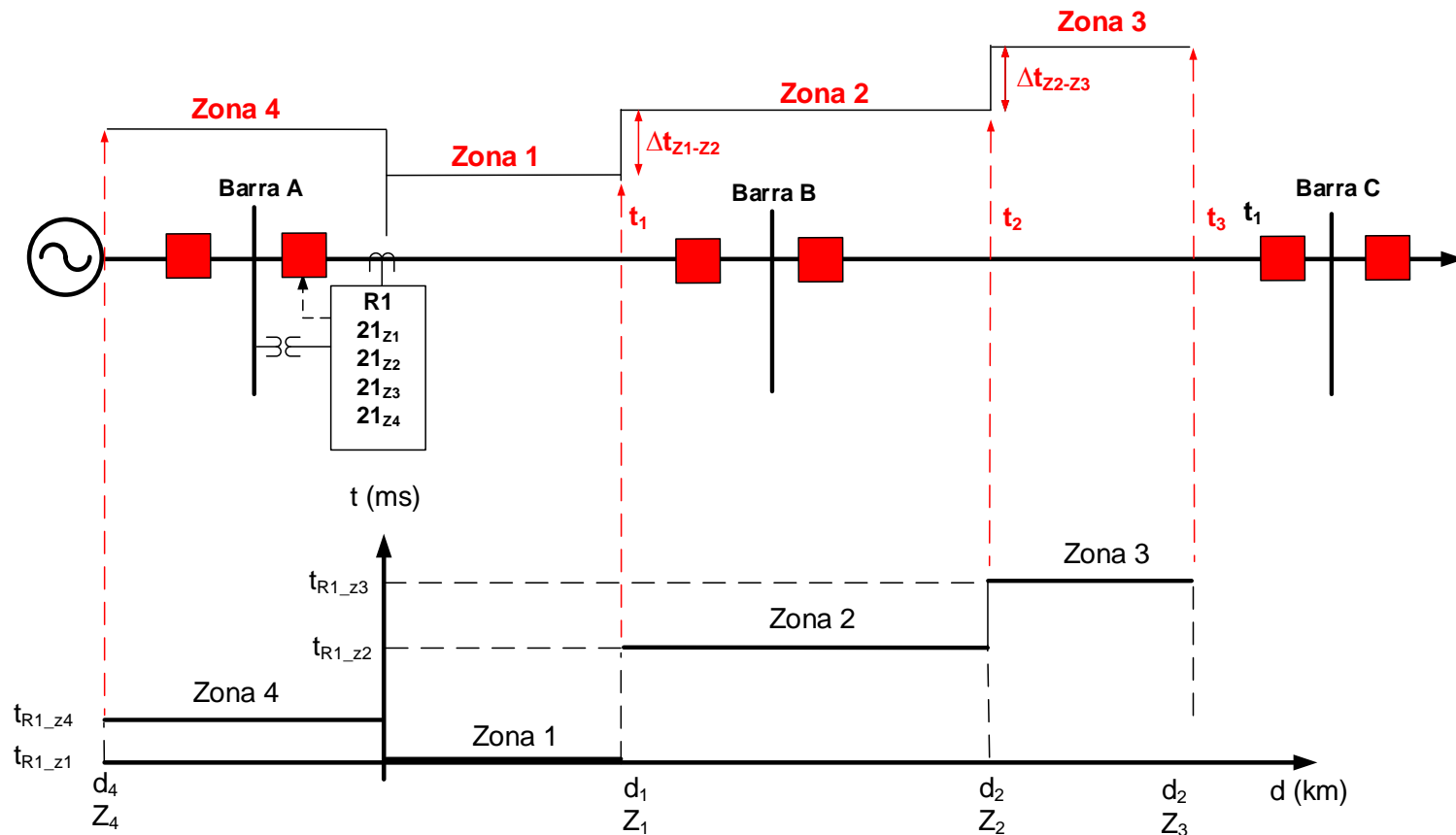
Definições e Terminologias

- **Proteção gradativa ou irrestrita**
 - Proteções de sobrecorrente.



Definições e Terminologias

- **Proteção gradativa ou irrestrita**
 - Proteções de distância.



Definições e Terminologias

➤ Proteção intrínseca:

- ✓ É o conjunto de dispositivos de proteção integrados aos equipamentos.



relés de gás



Relé Detector de
Defeito de Selagem



válvulas de alívio de
pressão



Secador de ar



Indicador de
Nível do Óleo



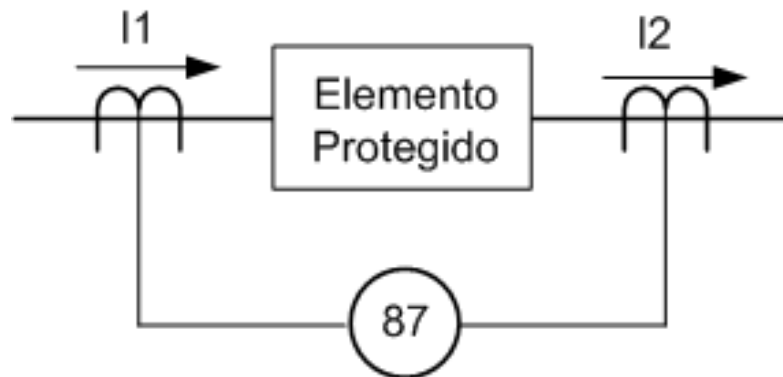
Relé de temperatura

Definições e Terminologias

➤ Proteção unitária ou restrita:

- ✓ Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar, seletivamente e sem retardo de tempo intencional, falhas que ocorram apenas no componente protegido.

- ✓ Exemplo:



Proteção diferencial.



Teleproteção

Aula 2: Zonas de Proteção

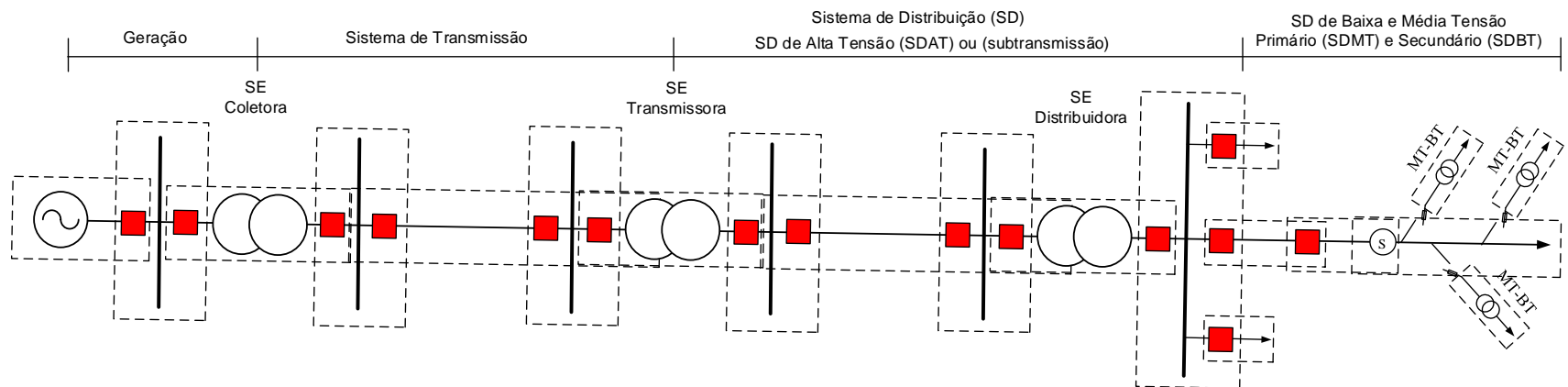
Zonas de Proteção

➤ Divisão do SEP em zonas de proteção

- ❑ Geração;
- ❑ Linhas de transmissão;
- ❑ Subestações
- ❑ Sistema de distribuição

➤ Zonas de Proteção

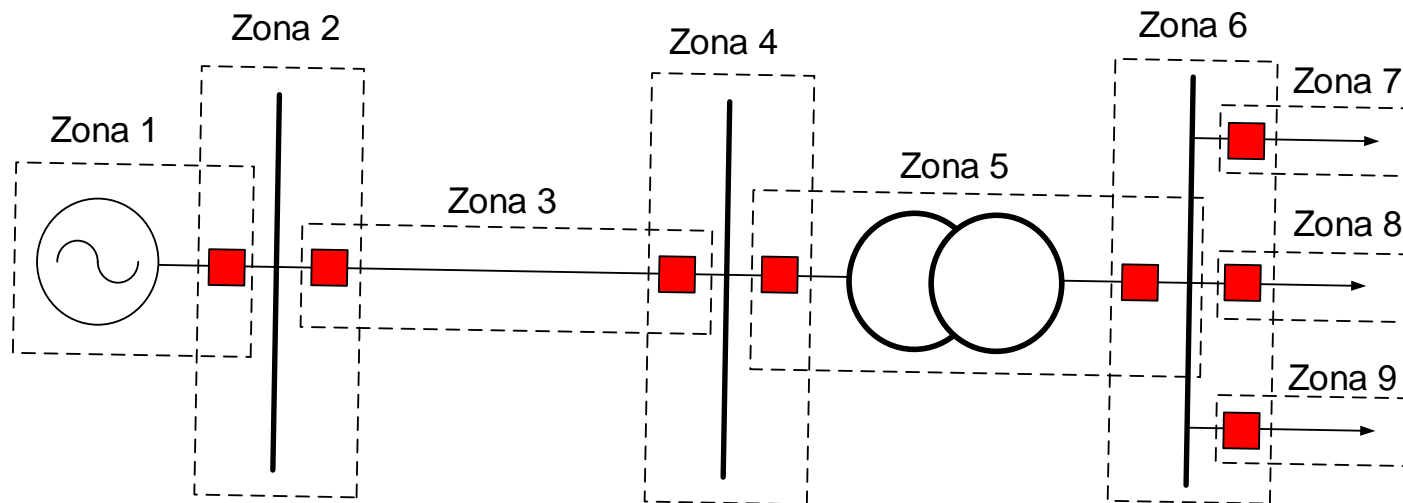
- ✓ Limitam a extensão da área fora de serviço após uma falta.



Zonas de Proteção

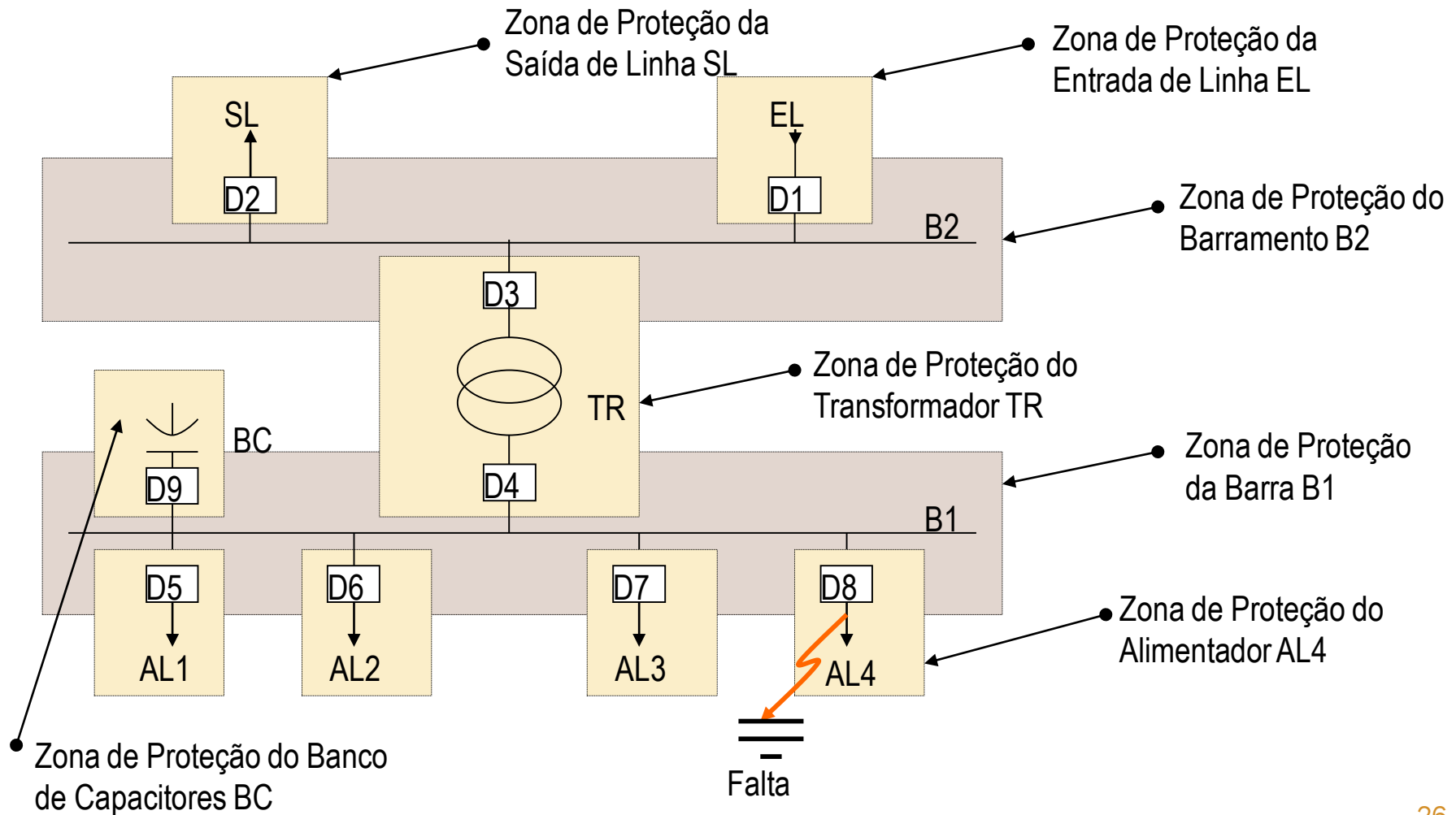
➤ Sobreposição de zonas de proteção no SEP

- ❑ Condição ideal.
- ❑ Garante:
 - a continuidade de serviço;
 - assegura cobertura de proteção em todas as parte.



Zonas de Proteção

➤ Zonas de proteção de uma Subestação

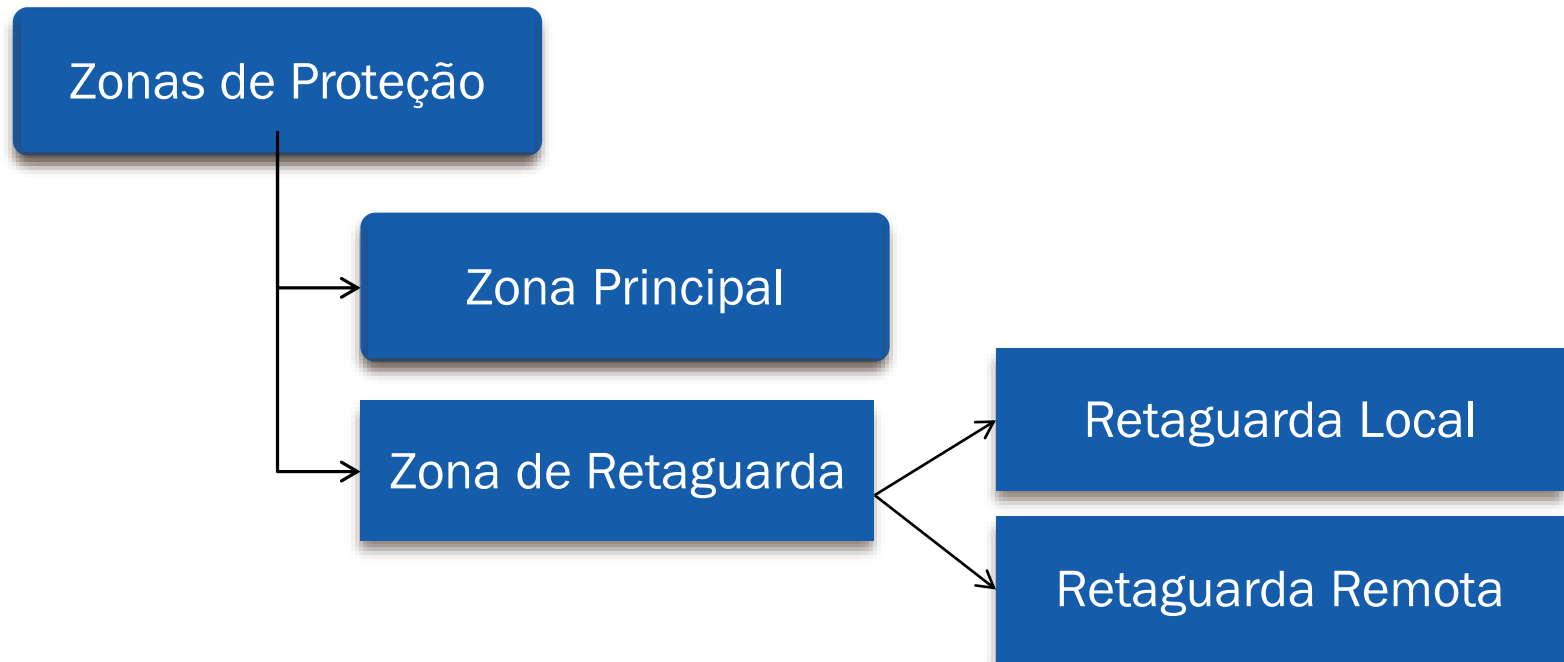


Zonas de Proteção

➤ Finalidade:

- ✓ Os relés, disjuntores e transformadores de instrumentos deve ser dispostos nos vãos de forma a proteger zonas bem definidas e evitar “zonas mortas”.

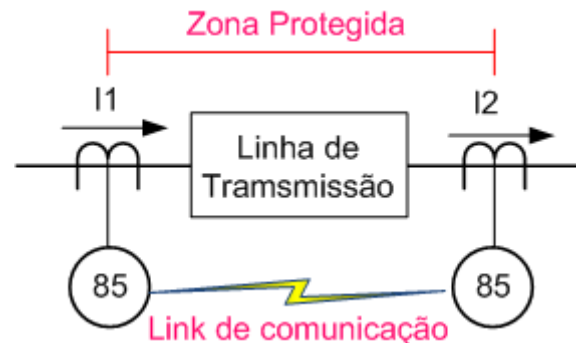
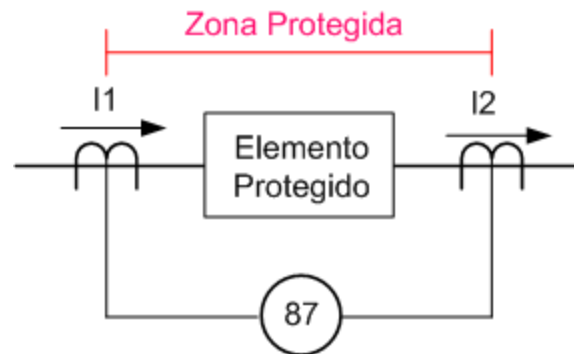
➤ Classificação:



Zonas de Proteção

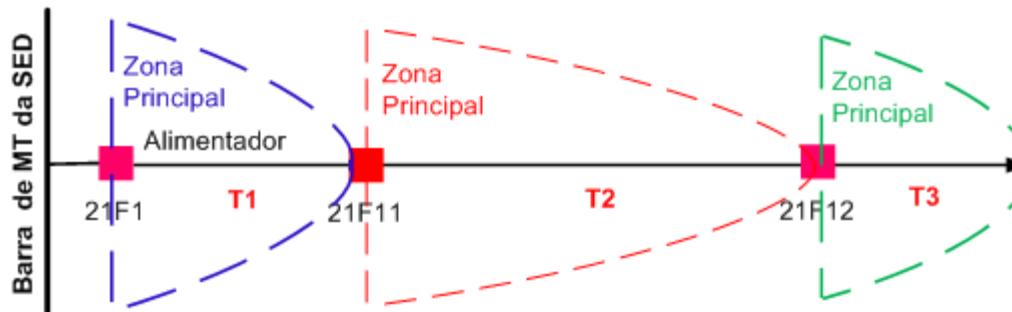
➤ Proteção Principal:

- ✓ Esquema de proteção composto por um sistema de proteção unitária ou restrita e um sistema de proteção gradativa ou irrestrita.

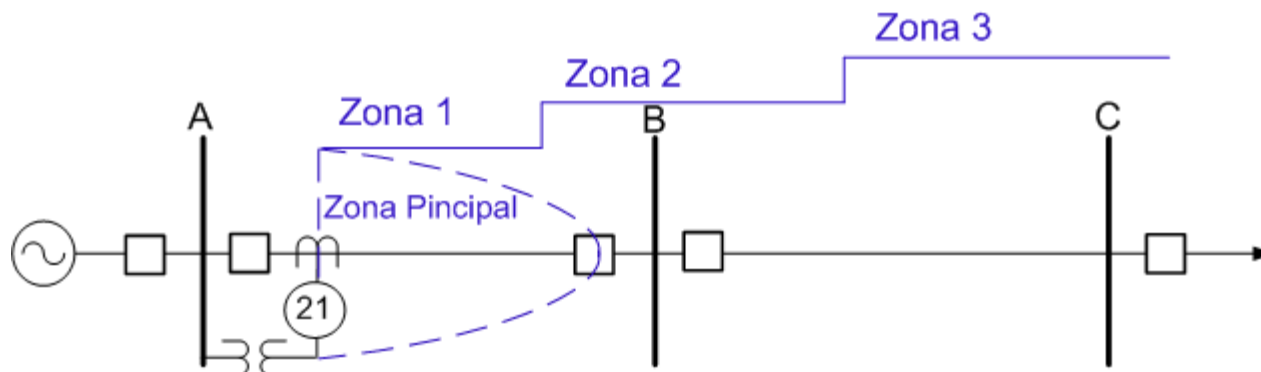


Zonas de Proteção

- **Proteção Principal:** Proteção gradativa ou irrestrita



Proteção de Sobrecorrente

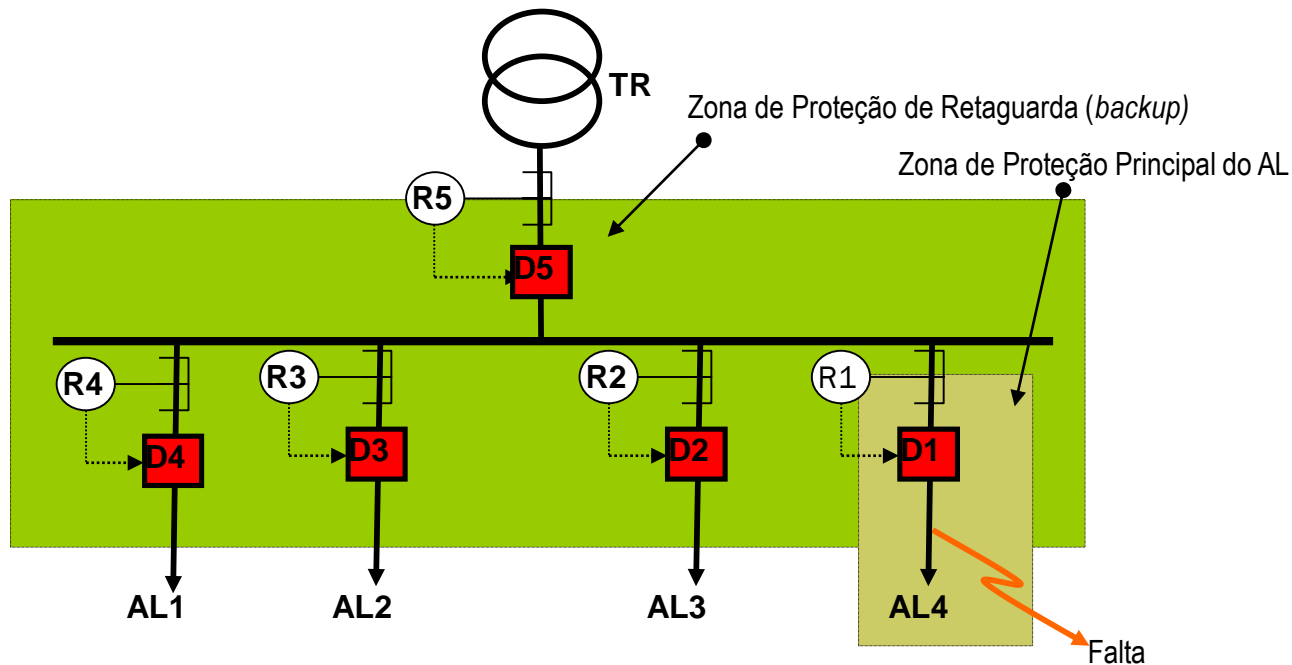


Proteção de Distância

Zonas de Proteção

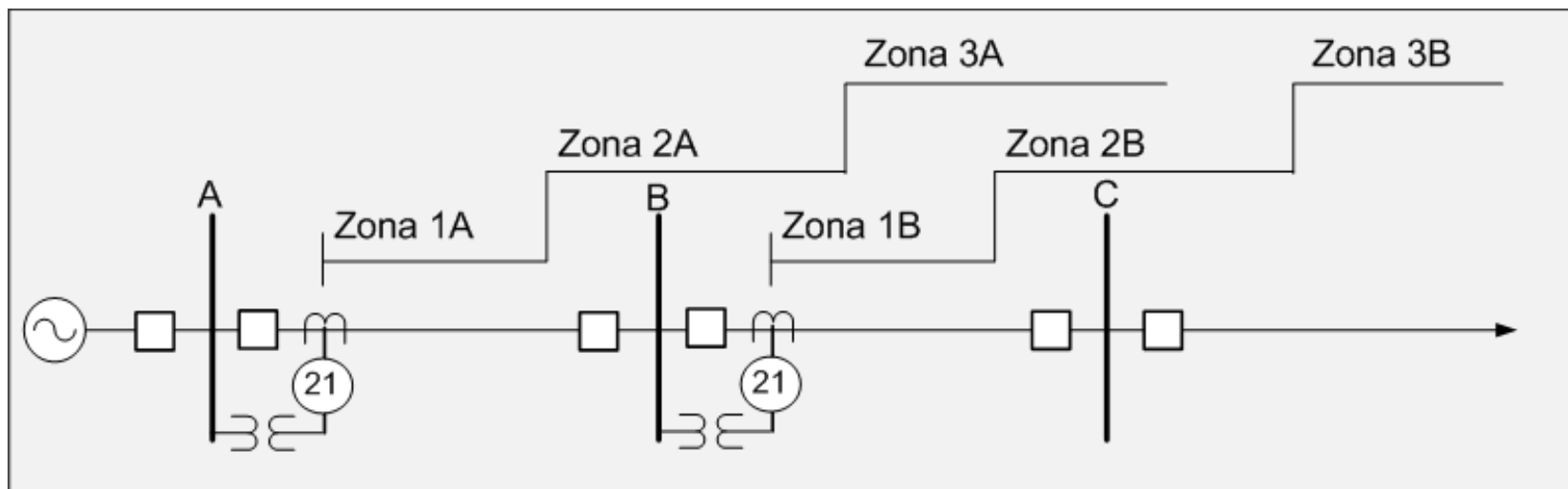
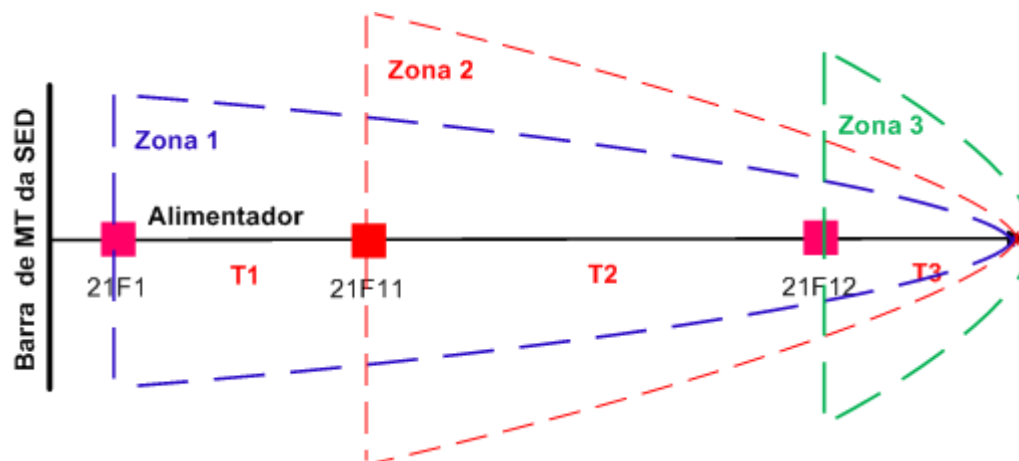
➤ Proteção de retaguarda:

- ✓ Sistema de proteção destinado a atuar quando ocorre falha eventual de um outro sistema de proteção.
- ✓ Retaguarda local e Retaguarda remota.



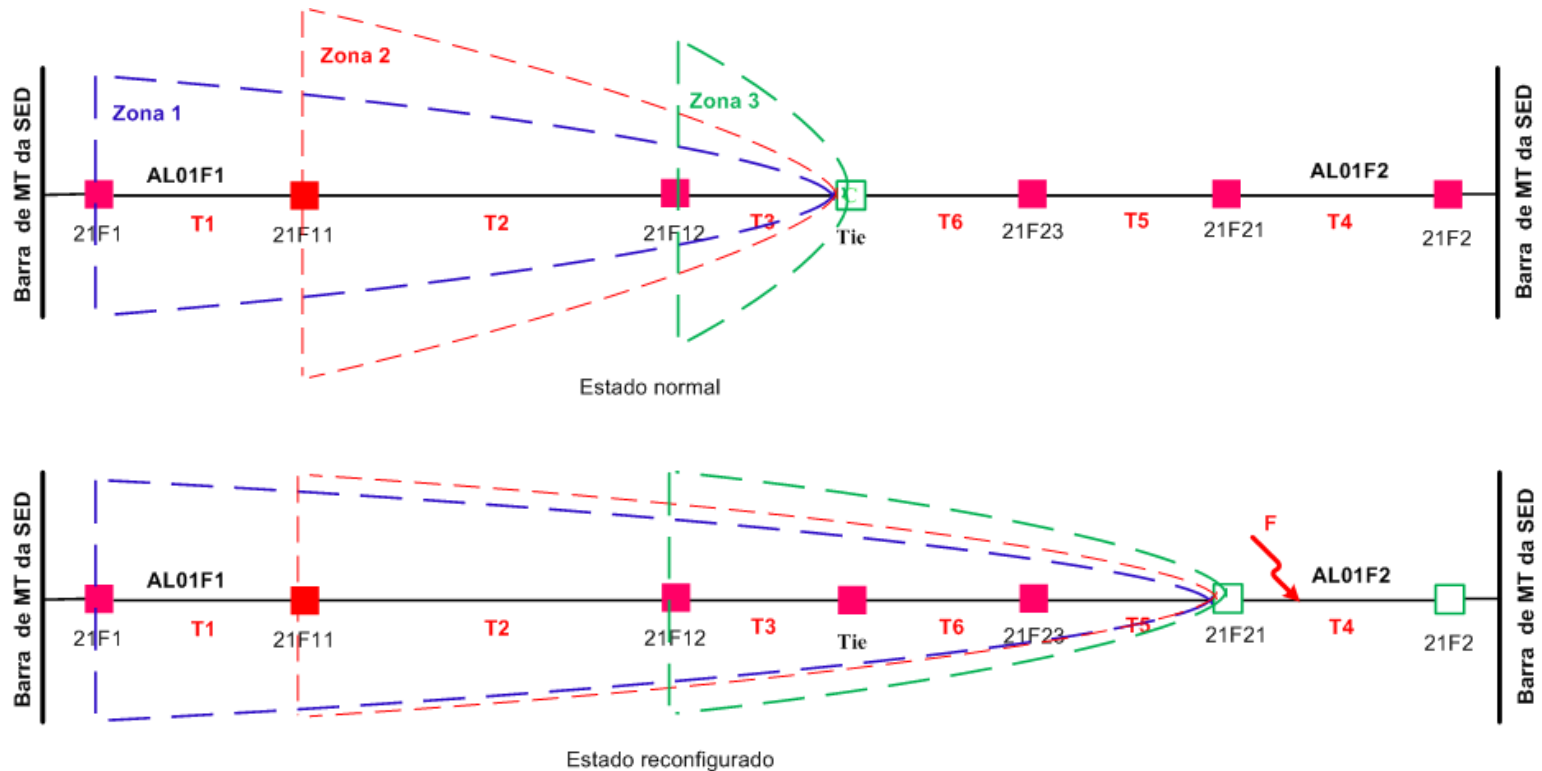
Zonas de Proteção

➤ Proteção de retaguarda:



Zonas de Proteção

➤ Antes e após transferência de carga



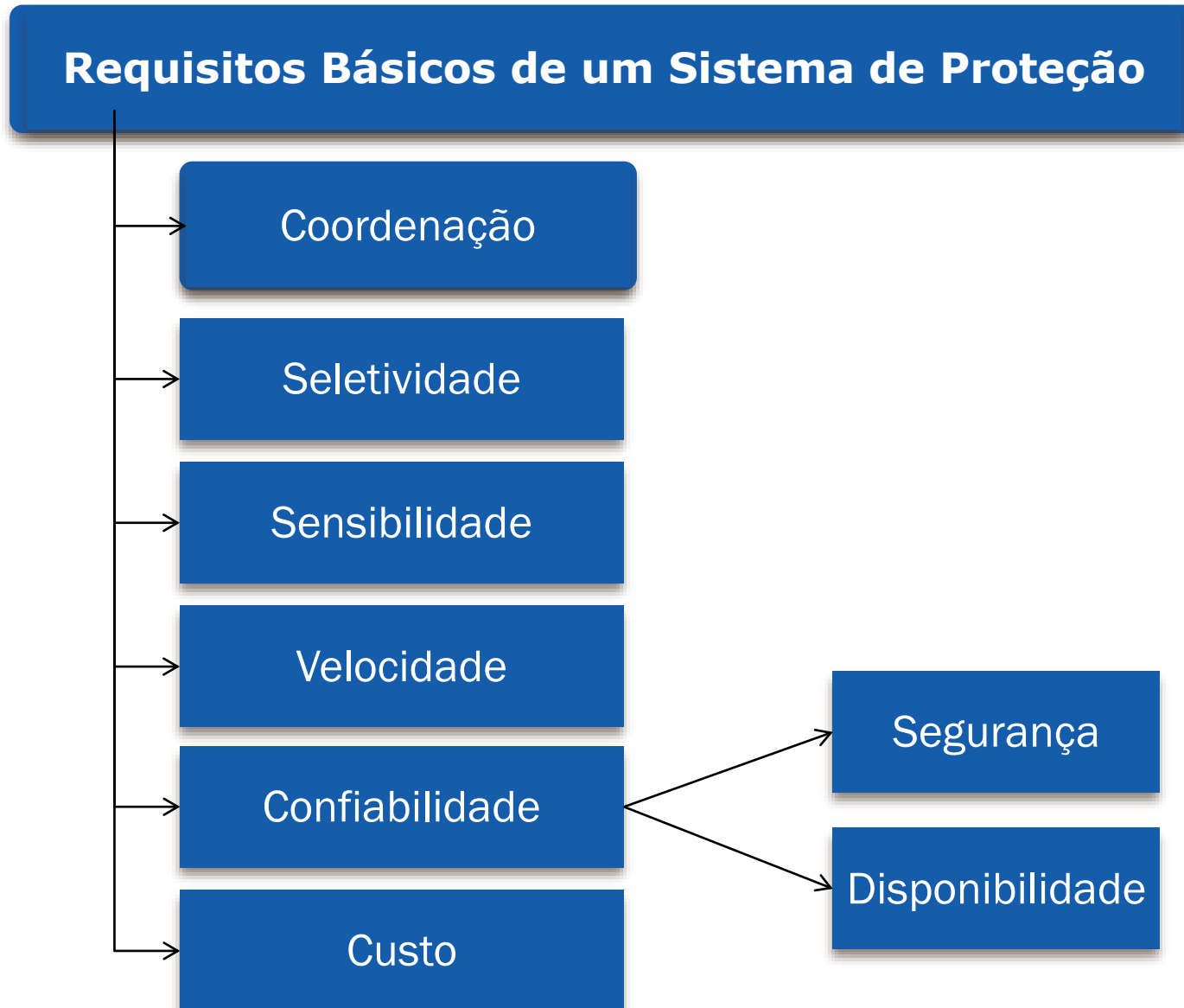
Legenda:

- Chave ou religador aberto
- Chave ou religador fechado

Disciplina: Proteção de Subestação de Potência

Unidade 2: Filosofia de Proteção

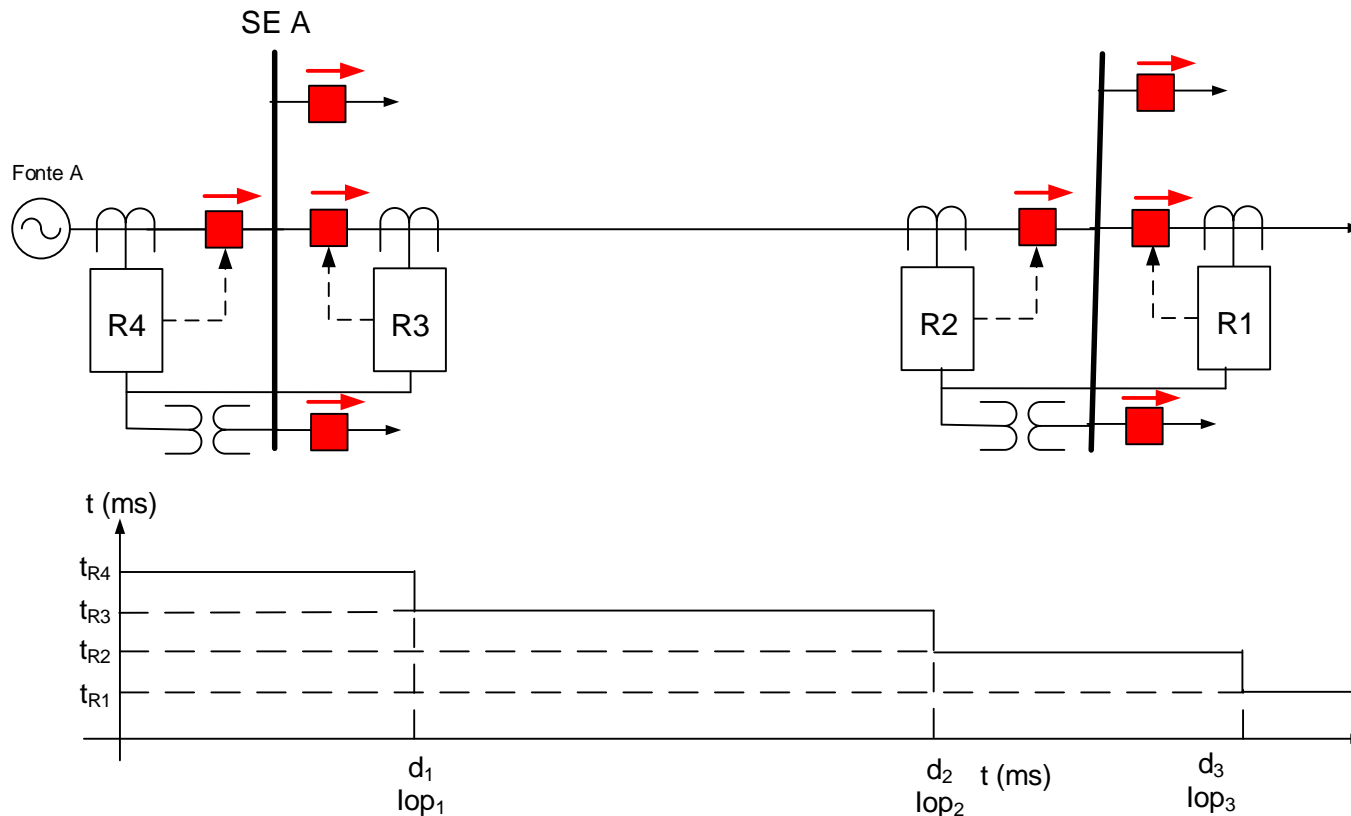
Requisitos de Proteção



Requisitos de Proteção

➤ Coordenação de um sistema de proteção:

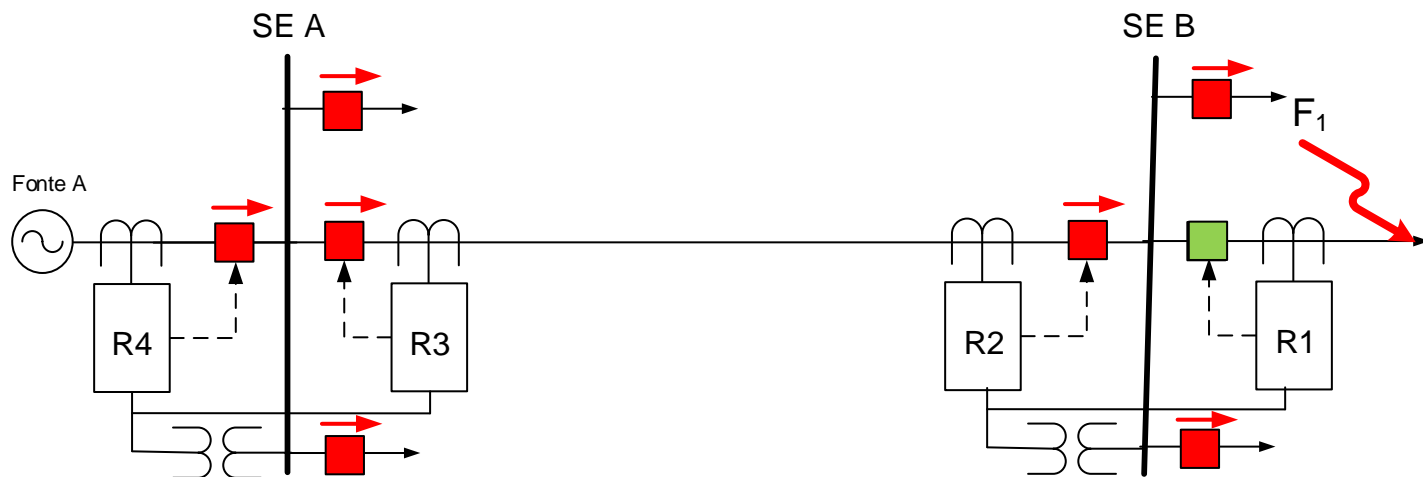
- Consiste no **relacionamento adequado** entre as características e os **tempos de operação dos dispositivos de proteção** de um sistema ou parte de um sistema elétrico, ou de um equipamento elétrico **de forma a garantir a seletividade** (NBR 5660).



Requisitos de Proteção

➤ Seletividade:

- é a capacidade do sistema de proteção de:
 - **discriminar e desconectar somente a parte do sistema atingida pela falha;**
 - isolar completamente o elemento ou equipamento afetado pela **falha;**
 - **desligar a menor porção** do SEP de forma a **garantir a continuidade de serviço;**
- É a principal condição para assegurar ao consumidor um serviço seguro e contínuo.



Requisitos de Proteção

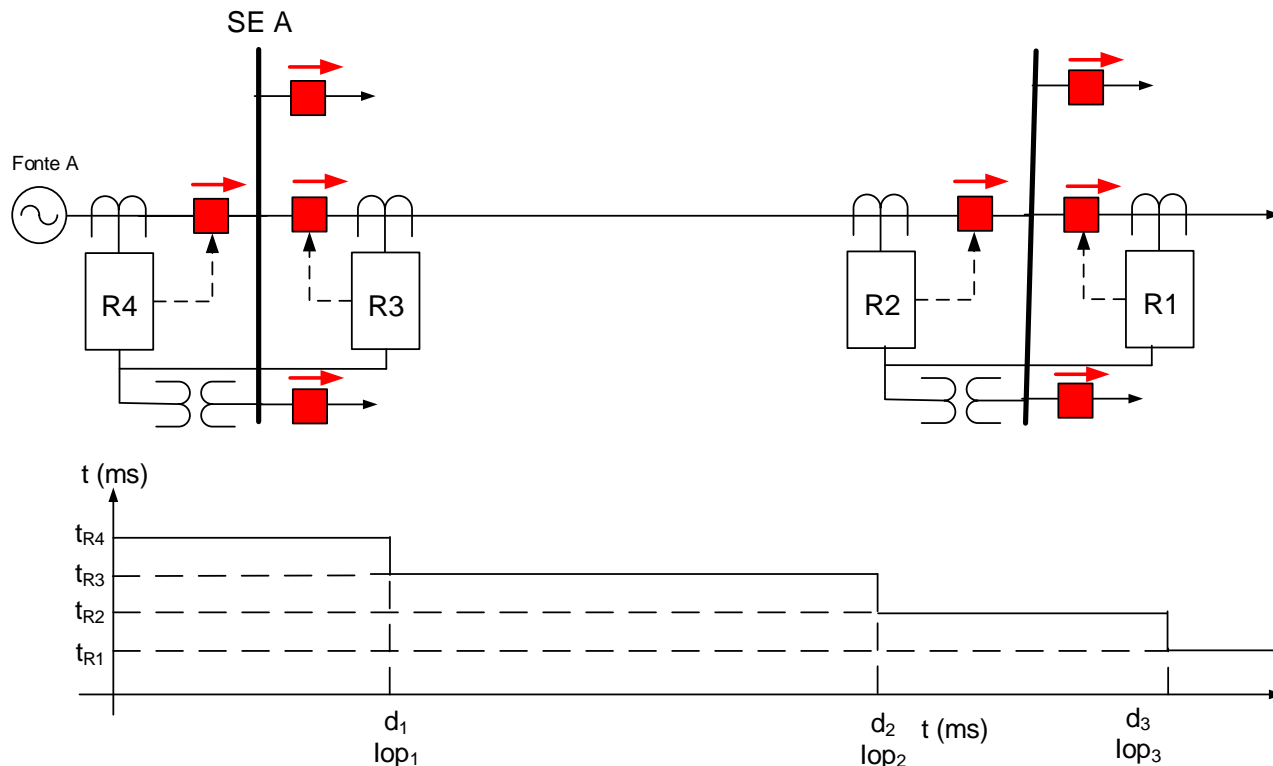
➤ Métodos para realizar seletividade:

- ✓ Seletividade cronométrica - Graduação de tempo
 - ✓ Longo tempo de atuação.
 - ✓ Ótima discriminação/coordenação.
- ✓ Seletividade amperimétrica
 - ✓ Curto tempo de atuação e difícil aplicação.
 - ✓ Difícil discriminação/coordenação.
- ✓ Seletividade Lógica.
 - ✓ Curto tempo de atuação.
 - ✓ Ótima discriminação/coordenação.
- ✓ Unidade de proteção
 - ✓ Atuação independente do tempo.
 - ✓ A velocidade de resposta independente da severidade da falta

Requisitos de Proteção

➤ Seletividade Cronométrica:

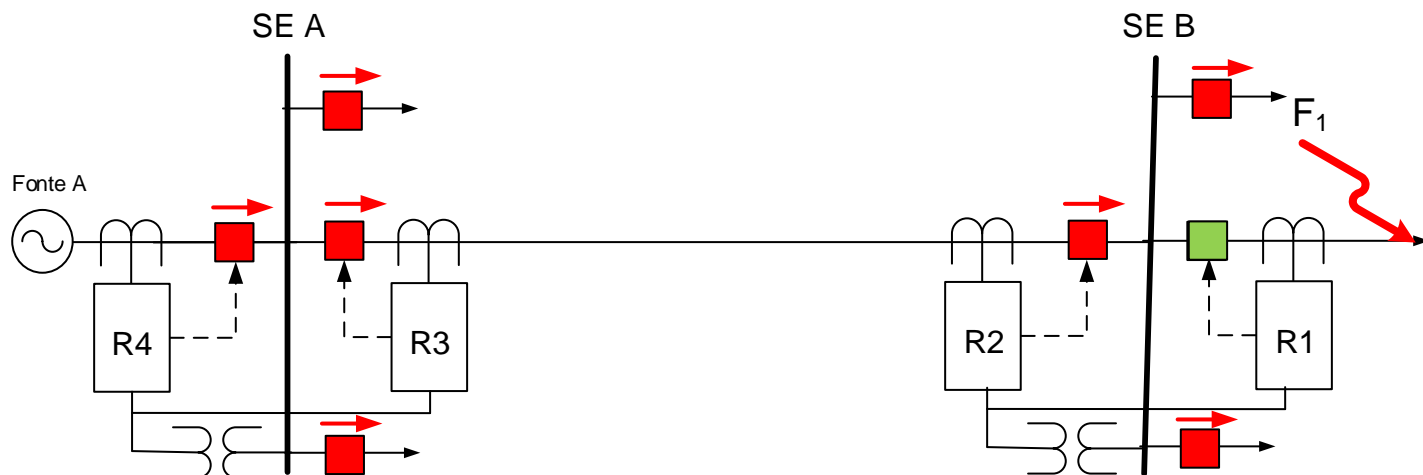
- O sistema de proteção com relés proteção configurados para operar com tempos de atuação crescente no sentido da carga para a fonte.
- Função de Sobrecorrente temporizada (Código ANSI 51)



Requisitos de Proteção

➤ **Características da Seletividade Cronométrica**

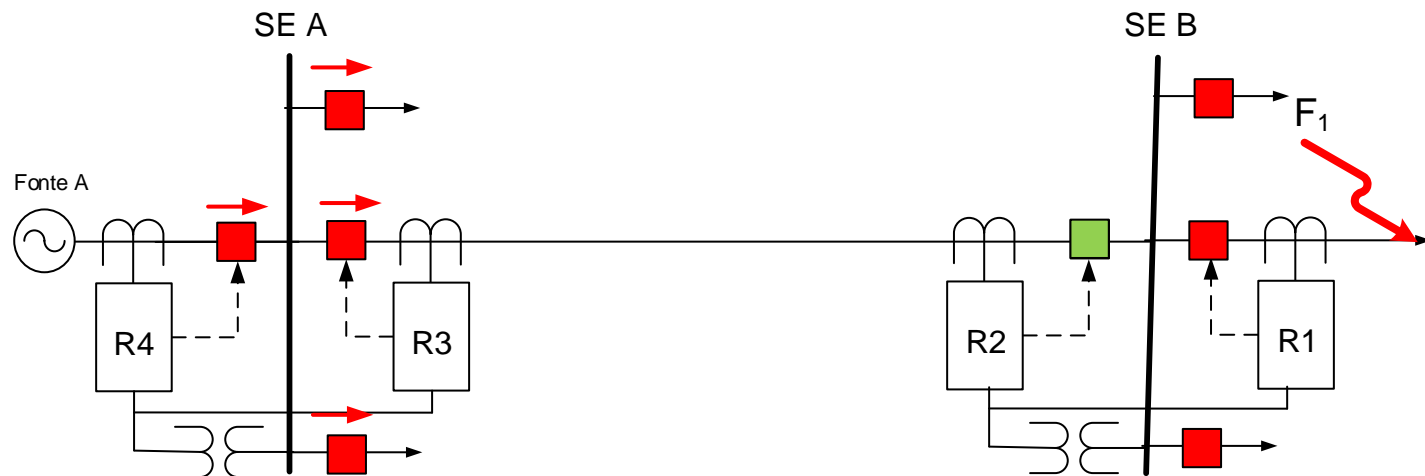
- ❑ A velocidade de resposta da proteção depende da severidade da falta.
- ❑ Retardo na atuação das proteções:
- ❑ Superdimensionamento de condutores, equipamento e painéis;
- ❑ Risco de danos em função dos tempos de operação do relés;
- ❑ Afundamento de tensão.



Requisitos de Proteção

➤ Seletividade Amperimétrica:

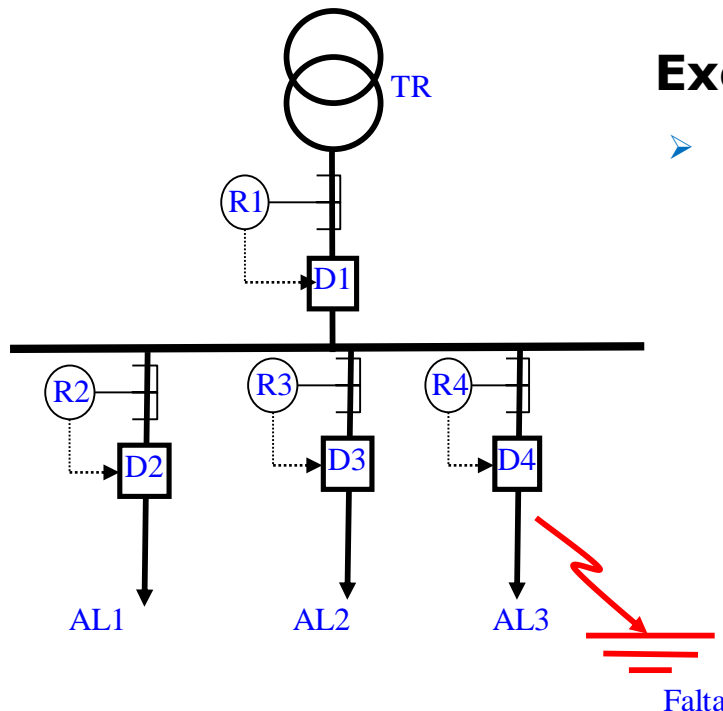
- ❑ Necessita de impedância significativa.
- ❑ Apresenta limitações quanto a sua aplicação ($I_{cc} \gg$).
- ❑ Quanto mais próximo da fonte ocorre a falta, maior a intensidade da corrente de curto.



Requisitos de Proteção

➤ Seletividade Lógica:

- Permite coordenação entre funções de sobrecorrentes instantâneas sujeitos ao mesmo nível de curto-circuito.
- A coordenação é obtida através do envio de sinais digitais de um relé para o bloqueio da atuação de um outro relé.



Exemplo:

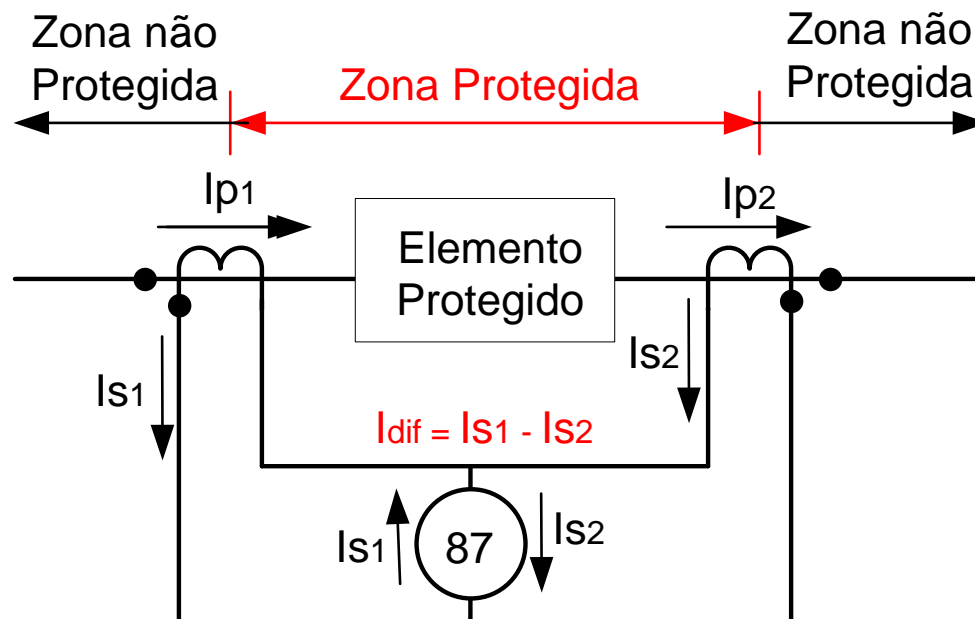
- A coordenação entre funções 50 (sobrecorrentes instantâneos) de saída de alimentadores e da entrada do barramento de MT:
 - Relés Eletromecânicos não coordenam.
 - Relés Microprocessados podem coordenar utilizando seletividade lógica.

Requisitos de Proteção

➤ Seletividade com Unidade de proteção

➤ Proteção unitária ou restrita:

- ✓ Esquemas com comunicação direta relé a relé;
- ✓ Esquemas de teleproteção;
- ✓ Proteções diferenciais;
- ✓ Esquemas de comparação de fase etc.



Requisitos de Proteção

➤ Sensibilidade

- ❑ Capacidade da proteção responder às anormalidades nas condições de operação, e aos curto-circuitos para os quais foi projetada (CAMINHA, 1981).
- ❑ Relação entre curto-circuito mínimo no final do trecho e a corrente de operação do relé (corrente de pick-up):

$$F_S = \frac{I_{cc,\min}}{I_{pick-up}}$$

- ❑ Projeto do relé e a sensibilidade do sistema de proteção:
 - ✓ O valor mínimo de ajuste apresentado na faixa de ajuste do relé indica seu nível sensibilidade.
 - ✓ Relés eletromecânicos são menos sensíveis do que relés digitais.

Requisitos de Proteção

➤ Rapidez ou Velocidade:

- ❑ Capacidade de resposta dentro do menor tempo possível, de modo a garantir a estabilidade do sistema.
- ❑ A rapidez da atuação da proteção:
 - ✓ Mantém a estabilidade do sistema;
 - ✓ Minimiza os danos provocados pela falta no sistema, dado que a energia liberada é proporcional ao quadrado da corrente vezes a duração da falta ($R.I^2.t$).
 - ✓ Continuidade de serviço.

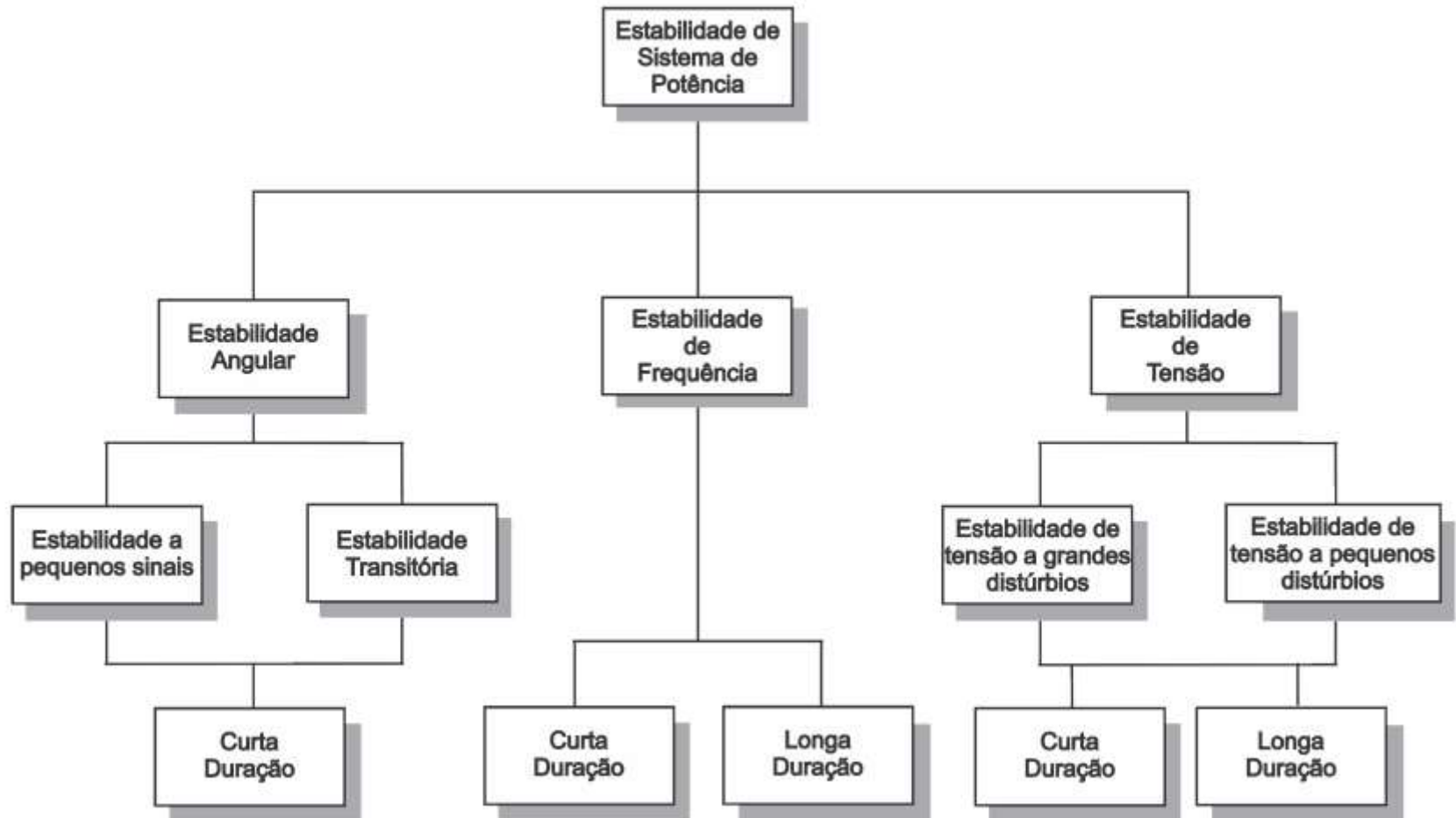
Requisitos de Proteção

➤ **Velocidade do sistema de proteção:**

- ❑ Depende da tecnologia, tipo do proteção, do nível de tensão do sistema, nível de curto-circuito e do tipo de elemento protegido:
 - ✓ **Subestações e sistemas de transmissão de alta tensão** adotam sistemas de proteção mais rápidos, sensíveis, seletivos, confiáveis e disponíveis.
 - ✓ **Subestação e sistemas de transmissão da distribuição** adotam sistema de proteção com graduação de tempo e proteções rápidas a depender do porte da SED.
 - ✓ **Sistemas de distribuição de média e baixa tensão** são predominantemente protegidos por sistema de proteção com graduação de tempo.

Requisitos de Proteção

- Velocidade – Classificação dos estudos de estabilidade do SEP.



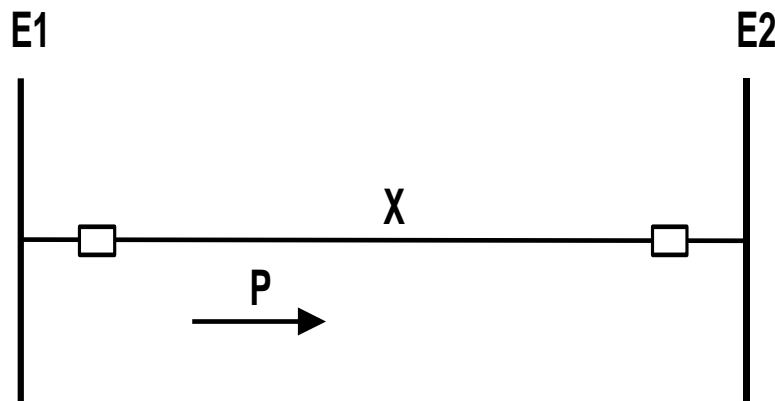
Fonte: Adaptado de Kundur, Balu e Lauby (1994)

Fonte: (Parente, 2018)

Requisitos de Proteção

➤ Velocidade – Estabilidade em regime transitório

- ✓ A rapidez da atuação da proteção:
 - O aumento da carga no SEP proporciona o aumento da defasagem angular entre as tensões nos diferentes nos barramentos do SEP;
 - O aumento da defasagem angular entre as tensões nas barras, causa aumento de perda de sincronismo quando ocorrer um distúrbio provocado por uma falta.



$$P = \frac{E1 \cdot E2}{X} \sin \theta$$

Sendo:

E1 - tensão na barra 1

E2 - tensão na barra 2

X - reatância de transferência

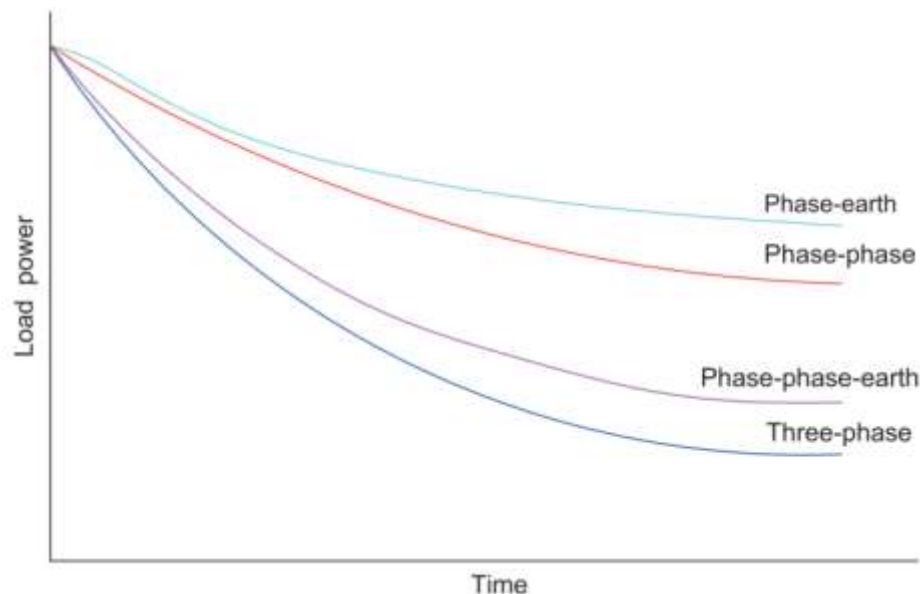
θ - diferença angular entre E1 e E2

P - fluxo de potência

Requisitos de Proteção

➤ Rapidez ou Velocidade

- ✓ Curva típica do carregamento do sistema x tempo de eliminação das faltas.



Concluí-se que faltas entre fases:

- Proporciona maior impacto no sistema e requer proteções mais rápidas.

Requisitos de Proteção

➤ Confiabilidade:

- ✓ É a Probabilidade de um componente, equipamento ou sistema funcionar corretamente quando sua atuação for requerida.
- ✓ Grau de certeza de não omissão de disparo.
- ✓ É a probabilidade de um sistema ou componente realizar suas funções previstas de forma contínua, adequada e segura, por um período de tempo pré-estabelecido, sob condições operativas pré-definidas (Módulo 20, ONS).
- ✓ A confiabilidade têm dois aspectos:
 - Disponibilidade
 - Segurança

Requisitos de Proteção

➤ **Confiabilidade:**

❑ **Disponibilidade:**

- ✓ É o grau de certeza de operação correta.
- ✓ Probabilidade de uma função ser executada quando solicitada.
- ✓ Ex.: Recusa de atuação

❑ **Segurança:**

- ✓ Um sistema seguro é aquele em que havendo um defeito ou condição anormal, a proteção nunca deve realizar uma operação falsa ou falhar.
- ✓ Segurança é o grau de certeza de não haver operação indesejada.
- ✓ Ex.: Trip falso.

Requisitos de Proteção

➤ **Custo:**

- ❑ Máxima proteção com o menor custo.
- ❑ Depende das características do sistema:
 - ✓ Sistema de Geração.
 - ✓ Sistema de Transmissão.
 - ✓ Sistema de Distribuição.
 - ✓ Instalação Industrial.
 - ✓ Sistema aéreo ou subterrâneo.

Requisitos de Proteção

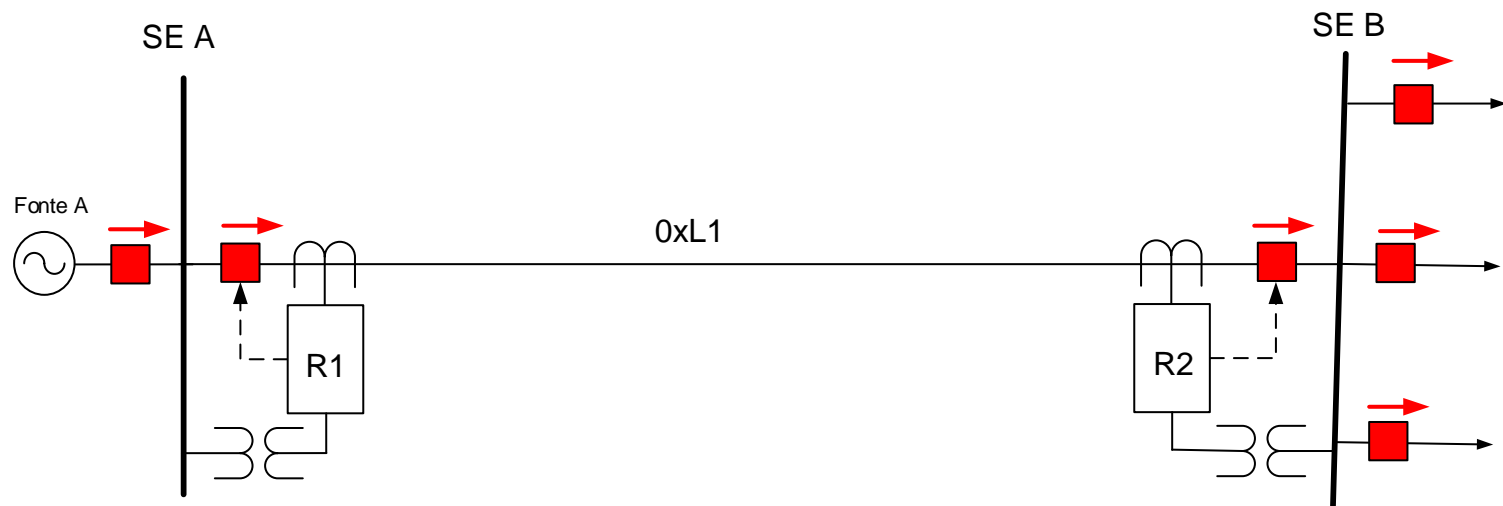
➤ **Confiabilidade e Custo:**

❑ **Sistema Interligado Nacional:**

- ✓ A estabilidade do sistema está em risco se a falta não for eliminada rapidamente.
- ✓ Requer investimento para assegurar a rápido e confiável comando de abertura, para evitar a extensão dos danos.
- ✓ Exemplos:
 - ✓ Múltiplos sistemas de proteção principal em paralelo;
 - ✓ Diferentes tipos de proteção;
 - ✓ Proteção de distância e unidade de proteção (teleproteção).
 - ✓ Proteção de sobrecorrente de retaguarda.

Requisitos de Proteção

- **Esquemas de Proteção de Linha de Transmissão :**
Topologia radial – Sistema elétrico na condição normal



LEGENDA:

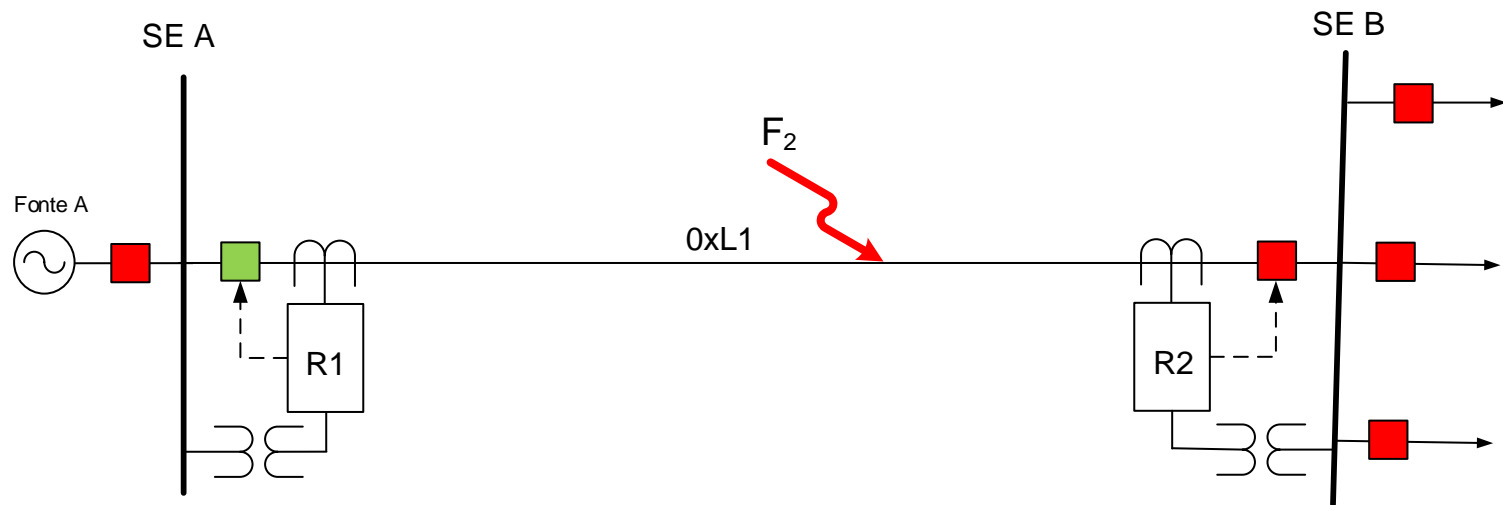
■ Equipamento NF ■ Equipamento NA

Requisitos de Proteção

➤ Esquemas de Proteção de Linha de Transmissão:

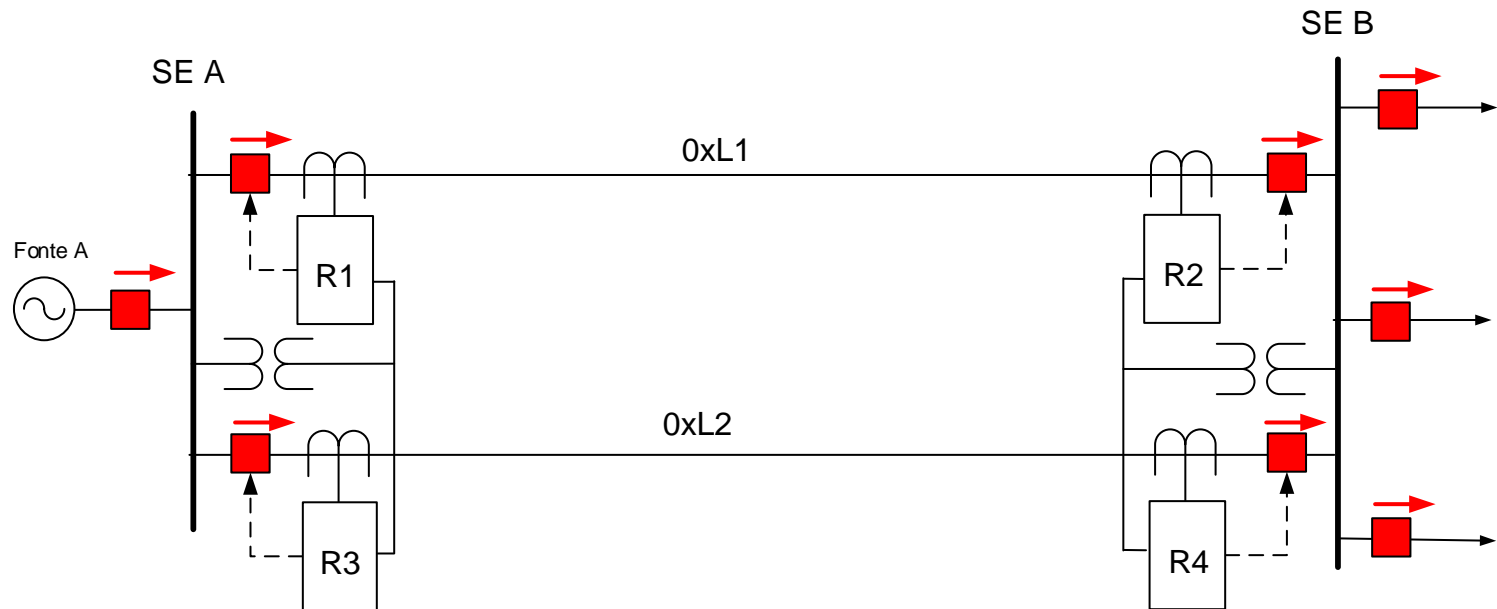
✓ Topologia radial - Falta Linha oxL1

- ✓ Relé R1 do vão de saída de linha da SE A atua e o disjuntor interrompe a falta.
- ✓ Após a falta ser eliminada todos os consumidores ficam sem fornecimento de energia elétrica.



Requisitos de Proteção

- **Esquemas de Proteção de Linha de Transmissão:**
 - ✓ Topologia com linhas em paralelo operando na condição normal.



LEGENDA:

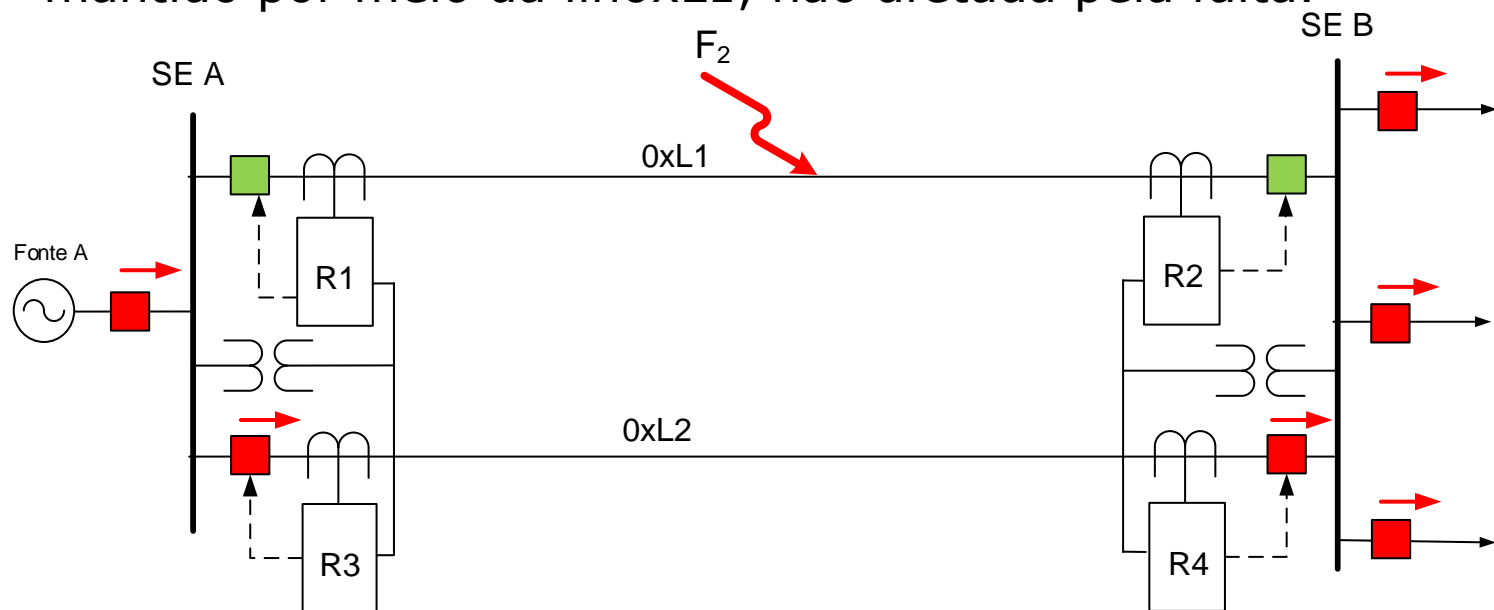
■ Equipamento NF ■ Equipamento NA

Requisitos de Proteção

➤ Esquemas de Proteção de Linha de Transmissão:

✓ Topologia com linhas em paralelo – Falta na linha 0xL1:

- ✓ Os relés R1 e R2 da linha 0xL1 atuam e os disjuntores, aos quais estão associados os relés, interrompem a falta.
- ✓ Após a falta ser eliminada o suprimento de energia elétrica é mantido por meio da lin0xL1, não afetada pela falta.



LEGENDA:



Equipamento NF



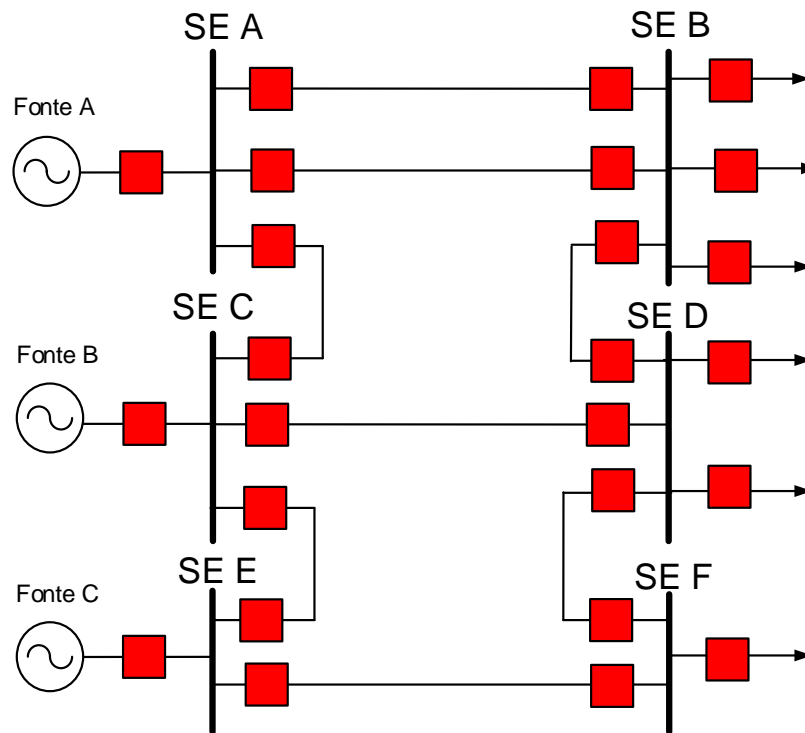
Equipamento NA

Requisitos de Proteção

➤ Confiabilidade e Custo:

❑ Topologia do Sistema de Transmissão:

- ✓ Sistema em Anel.



LEGENDA:



Equipamento NF



Equipamento NA

Requisitos de Proteção

➤ Confiabilidade e Custo:

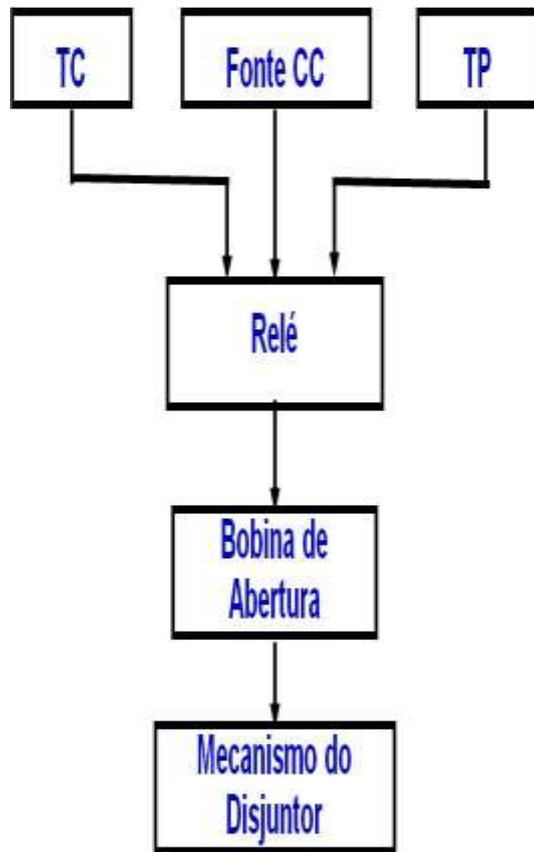
❑ Arranjos de Barramentos:

Arranjo	Confiabilidade	Custo	Área Disponível
<i>Barra Simples</i>	Menor confiabilidade Falhas simples podem ocasionar o desligamento completo da SE	Menor custo Menor número de componentes	Menor área Menor número de componentes
<i>Barra Principal e de Transferência</i>	Baixa confiabilidade Semelhante à da barra simples, porém, uma melhor flexibilidade na operação e manutenção	Custo Moderado Poucos componentes	Pequena área Poucos componentes
<i>Barra Dupla, Disjuntor Simples</i>	Confiabilidade Moderada	Custo Moderado Número de componentes um pouco maior	Área moderada Número de componentes um pouco maior
<i>Barra Dupla, Disjuntor Duplo</i>		Custo Elevado Número de componentes duplicado	Grande área Dobro do número de componentes
<i>Barra Dupla, Disjuntor e Meio</i>	Alta confiabilidade Falhas simples isolam apenas um circuito	Custo Moderado Número de componentes um pouco maior	Grande área Maior número de componentes por circuito
<i>Barra em Anel</i>		Custo Moderado Número de componentes um pouco maior	Área Moderada Aumenta com o número de circuitos

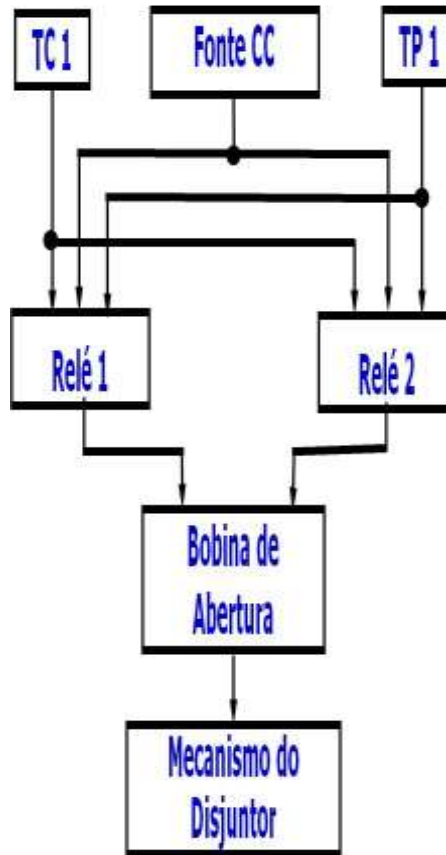
Requisitos de Proteção

➤ Confiabilidade e Custo:

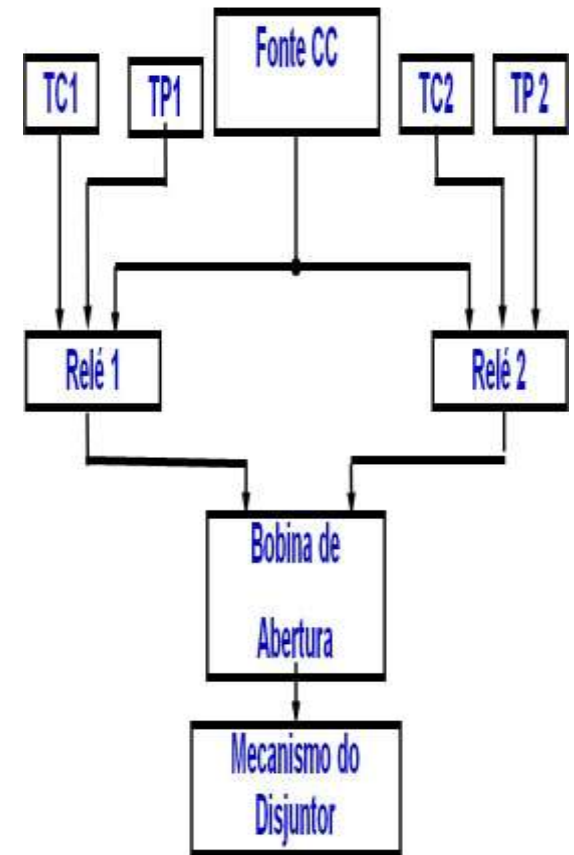
✓ Diagrama de Bloco Típico configurações de Controle



Sem Redundância



Redundância de Relés



Redundância de Relés/TCs/TPs

Unidade 3:

Princípios fundamentais dos relés e funções de proteção
