

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

Sumário

1.	OBJETIVO.....	3
2.	ÂMBITO DE APLICAÇÃO	3
2.1.	Empresa	3
2.2.	Área	3
3.	DEFINIÇÕES.....	3
3.1.	Autocheck.....	3
3.2.	Breaker Failure	3
3.3.	Característica de um relé.....	3
3.4.	Característica NI (Normal Inversa) ou SI (Standard Inverse) ou SIT (Standard Inverse Time).....	4
3.5.	Característica MI (Muito Inversa) ou VI (Very Inverse) ou VIT (Very Inverse Time)	4
3.6.	Característica EI (Extremamente Inversa) ou EI (Extremelly Inverse) ou EIT (Extremelly Inverse Time).....	4
3.7.	Característica TD (Tempo Definido) ou DT (Definite Time)	4
3.8.	Contato de selo	4
3.9.	Coordenograma ou folha de seletividade	4
3.10.	Drop-out.....	4
3.11.	Tape	4
3.12.	DT/TD/TMS/k.....	4
3.13.	DI (Dispositivo Instantâneo).....	5
3.14.	IDMT (Inverse Definite Minimum Time)	5
3.15.	IED (Intelligent Electronic Device)	5
3.16.	IRIG (Inter Range Instrumentation Group Time Codes)	5
3.17.	IRIG-B.....	5
3.18.	GFP (Ground Fault Protection)	6
3.19.	GS (Ground Sensor).....	6
3.20.	MTA – Maximum Torque Angle	6
3.21.	NTP	6
3.22.	Overtravel/overshoot	6

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	1 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

3.23.	Pick-up.....	6
3.24.	Redundância	6
3.25.	Reset	6
3.26.	Retaguarda.....	6
3.27.	Tempo de reset.....	7
3.28.	Trip	7
3.29.	Watchdog	7
4.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	7
5.	PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS	7
5.1.	Considerações iniciais	7
5.2.	Terminologias associadas aos Sistemas de Proteção.....	8
5.3.	Aspectos da Proteção de Sistemas Elétricos	8
5.4.	Características da Proteção de Sistemas Elétricos	9
5.5.	Relés de Proteção	10
5.6.	Fusível	37
5.7.	Características dos Relés Digitais	52
5.8.	Descrição das Funções ANSI.....	56
6.	REGISTRO DE ALTERAÇÕES.....	57
6.1.	Colaboradores	57
6.2.	Alterações.....	57

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	2 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

1.OBJETIVO

Este relatório tem o objetivo de apresentar as características básicas dos dispositivos de proteção do sistema elétrico, bem como a filosofia adotada para o sistema de proteção e os requisitos de operação dos relés eletromecânicos, digitais e os *Intelligent Electronic Devices* (IED's).

2.ÂMBITO DE APLICAÇÃO

2.1. Empresa

Distribuidoras do Grupo CPFL Energia: Paulista, Piratininga, Santa Cruz e RGE.

2.2. Área

Engenharia (RE) e Operações de Campo (OS).

3.DEFINIÇÕES

Alguns termos são utilizados no dia a dia dos profissionais de proteção. Apresenta-se a seguir as definições dos mais utilizados.

3.1. Autocheck

Característica de um relé digital em que verifica se todas as suas funções estão operativas e corretas. Este fato dá ao relé digital extrema confiabilidade, visto que os relés devem estar sempre prontos para operar.

3.2. Breaker Failure

É uma característica que alguns relés digitais dispõem, cujo objetivo é, após o tempo definido nesta função, enviar um sinal a uma saída para que possa ser enviada ao disjuntor à montante (porque se supõe que após o tempo definido no relé o disjuntor que deveria interromper a falta falhou).

3.3. Característica de um relé

Curva característica tempo versus corrente de um relé.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	3 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

3.4. Característica NI (Normal Inversa) ou SI (Standard Inverse) ou SIT (Standard Inverse Time)

É a característica normal inversa de um relé.

3.5. Característica MI (Muito Inversa) ou VI (Very Inverse) ou VIT (Very Inverse Time)

É a característica muito inversa de um relé.

3.6. Característica EI (Extremamente Inversa) ou EI (Extremelly Inverse) ou EIT (Extremelly Inverse Time)

É a característica extremamente inversa de um relé.

3.7. Característica TD (Tempo Definido) ou DT (Definite Time)

É a característica de tempo definido.

3.8. Contato de selo

Contato destinado a garantir que o sinal enviado será mantido (“selado”).

3.9. Coordenograma ou folha de seletividade

Gráfico em escala bi-logarítmica com o tempo em ordenada e a corrente em abscissa ($t \times I$) em que é feita a folha de seletividade.

3.10. Drop-out

Valor de grandeza (tensão, corrente etc.) para o qual o dispositivo volta ao estado de repouso (inicial).

3.11. Tape

Valor de ajuste de um relé (normalmente para a unidade temporizada).

3.12. DT/TD/TMS/k

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	4 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

Dial de tempo/Time Dial/Time multiplier setting (ajuste multiplicador de tempo) / k. São ajustes utilizados para temporizar um relé.

3.13. DI (Dispositivo Instantâneo)

É o valor do ajuste da unidade instantânea.

3.14. IDMT (Inverse Definite Minimum Time)

Dispositivo a tempo inverso.

3.15. IED (Intelligent Electronic Device)

São dispositivos eletrônicos inteligentes que, por serem microprocessados e com elevada velocidade de processamento (> 600 MHz), englobam uma série de funções, tais como medição, comando/controle, monitoramento, religamento, comunicação e proteção, permitem elevada quantidade de entrada analógica (sinais de tensão e corrente) e elevada quantidade de entradas/saídas (I/O) digitais. Normalmente estes dispositivos são voltados para a automação e já foram projetados dentro dos padrões da norma IEC 61850.

3.16. IRIG (Inter Range Instrumentation Group Time Codes)

Iniciou a padronização dos códigos de tempo em 1956 e os originais da norma foram aceitos em 1960. Os formatos originais foram descritos no documento 104-60. O documento foi revisado em agosto de 1970 como 104-70 e revisado novamente no mesmo ano para 200-70; A última revisão da norma é a 200-04. Para diferenciar os códigos, a norma utiliza as letras A, B, D, E, G e H. Esses códigos digitais são tipicamente de amplitude modulada sobre um Carrier em uma onda senoidal de áudio ou sinais TTL (fast rise time). A maior diferença entre os códigos é a taxa, que varia de um pulso por minuto até 10.000 pulsos por segundo; IRIG-A = 1.000 PPS; IRIG-B = 100 PPS; IRIG-D = 1 PPM; IRIG-E = 10 PPS; IRIG-G = 10.000 PPS; IRIG-H = 1 PPS.

3.17. IRIG-B

É um formato de código de tempo serial. Possui uma taxa de sinal de temporização de 100 pulsos por segundo. O IRIG-B envia dados do dia, do ano, hora, minuto, segundo e fração em um Carrier de 1 kHz, com uma taxa de atualização de um segundo. O IRIG-B DCLS (deslocamento de nível DC) é o IRIG-B sem o Carrier de 1 kHz. Normalmente, o GPS é utilizado com IRIG-B para sincronizar os dispositivos de proteção a uma mesma base de tempo.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	5 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

3.18. GFP (Ground Fault Protection)

Proteção de falta a terra.

3.19. GS (Ground Sensor)

Sensor de terra. São TCs sensores de terra que abraçam todas as fases simultaneamente.

3.20. MTA – Maximum Torque Angle

Ângulo de máximo torque de um relé direcional.

3.21. NTP

Porta Ethernet NTP (Network Time Protocol).

3.22. Overtravel/overshoot

É o tempo permitido ao relé de disco de indução, para continuar a girar por inércia após a falta ter sido eliminada (por um relé a montante ou por uma falta intermitente), antes de fechar os seus contatos.

3.23. Pick-up

Valor de grandeza (tensão, corrente etc.) para o qual o relé inicia a atuação.

3.24. Redundância

Este termo é utilizado para designar uma proteção que “enxerga” e atua concomitantemente com a proteção principal. É importante notar que este conceito sempre se refere a equipamentos distintos (em caixas diferentes).

3.25. Reset

Voltar ao estado anterior ao da falta.

3.26. Retaguarda

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	6 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

Este termo é utilizado para designar uma proteção que atua no caso da proteção principal falhar. É também conhecida como proteção de backup. É importante notar que este conceito sempre se refere a equipamentos distintos (em caixas diferentes).

3.27. Tempo de reset

Tempo necessário ao relé para voltar ao estado anterior à falta.

3.28. Trip

Sinal de desligamento enviado por um relé.

3.29. Watchdog

Dispositivo que dispara um reset ao sistema se ocorrer alguma condição de erro no programa principal.

4.DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- a) Especificação Técnica GED 136;
- b) Especificação Técnica GED 139;
- c) Especificação Técnica GED 140;
- d) Especificação Técnica GED 162;
- e) Especificação Técnica GED 167;
- f) Especificação Técnica GED 176;
- g) Especificação Técnica GED 3377;
- h) Especificação Técnica GED 3628.

5.PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

5.1. Considerações iniciais

A proteção de sistemas de energia elétrica possui papel extremamente importante no aspecto de garantir o fornecimento de energia de maneira segura e confiável. Assim, a ação indevida

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	7 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

ou não atuação deste sistema de proteção pode causar danos materiais ou econômicos tanto para as concessionárias quanto para os consumidores de energia elétrica. Dessa forma, o sistema de proteção deve estar bem ajustado para que possa garantir suas funções, sendo sensível, seletivo, confiável e rápido. O processo de ajuste de relés é um trabalho muito difícil e demorado e para tanto, uma boa coordenação entre os relés de proteção deve ser estabelecida.

5.2. Terminologias associadas aos Sistemas de Proteção

A seguir são apresentadas algumas terminologias importantes associadas à proteção de sistemas elétricos:

- a) Confiabilidade da proteção – É definida como a probabilidade de funcionamento correto da proteção quando houver a necessidade de sua atuação. Para isto a proteção deve atuar adequadamente para uma falta dentro de sua zona de proteção e não deve atuar para uma falta fora de sua zona de proteção.
- b) Segurança na proteção – É uma expressão usada para identificar a habilidade de um sistema ou equipamento de deixar de operar desnecessariamente. Porém, assim como confiabilidade da proteção, o termo muitas vezes é usado para indicar que um sistema está operando corretamente.
- c) Sensibilidade na proteção – É a habilidade que um sistema tem de identificar uma situação de funcionamento anormal em que excede o nível normal ou detectar o limiar em que a proteção deve atuar.
- d) Seletividade na proteção – É uma expressão associada ao arranjo dos dispositivos de proteção de forma que somente o elemento em falta seja retirado do sistema. Isto é, os demais elementos devem permanecer conectados ao sistema. A característica de seletividade restringe a interrupção somente dos componentes do sistema que estão em falta.
- e) Zona de proteção – São as regiões de atuação. Na Figura 1, é mostrado um exemplo de zonas de proteção.
- f) Coordenação dos dispositivos de proteção – Determina os ajustes com o objetivo de conseguir a sensibilidade de coordenação entre os dispositivos de proteção, de forma que as proteções adjacentes só atuem no caso de falha das proteções responsáveis por prover proteção à zona específica.
- g) Falso desligamento – Este fato ocorre, quando o relé opera provocando o desligamento desnecessário em decorrência de uma falta fora da zona de proteção ou quando não há a ocorrência de falta.

5.3. Aspectos da Proteção de Sistemas Elétricos

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	8 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

Na análise de proteção dos sistemas elétricos torna-se necessária a distinção entre as seguintes situações de operação do sistema:

- a) Situação normal de funcionamento;
- b) Situação anormal de funcionamento, como por exemplo, perda de sincronismo;
- c) Situações de curto-circuito.

Como operação normal pode ser entendida a ausência de falhas nos equipamentos de operação e falhas aleatórias. No caso de situação anormal, são situações que podem provocar distúrbios na rede elétrica, tais como oscilações de tensão, sem, contudo, apresentar elevações de corrente elétrica em termos de curto-circuito. As situações de curto-circuito são mais críticas, podendo danificar severamente o sistema de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica.

A proteção dos sistemas elétricos deve proporcionar, além da interrupção da eletricidade, com o objetivo de proteger linhas, barras e equipamentos, a possibilidade de monitorar dados com o intuito de se estudar posteriormente as causas das “falhas” ocorridas.

O estudo de implementação da proteção elétrica de um sistema leva em consideração os seguintes aspectos:

- a) Econômico – hoje, por exemplo, novos sistemas de proteção são implementados, utilizando-se relés microprocessados, porém, devidos a fatores econômicos, os equipamentos eletromecânicos e estáticos que estão em funcionamento são mantidos;
- b) Propagação do defeito – evitar que o defeito possa atingir outros equipamentos da rede, causando danos a esses ou interferindo na operação normal do sistema;
- c) Tempo de inoperância – minimizar o tempo da não disponibilidade do fornecimento de energia.

5.4. Características da Proteção de Sistemas Elétricos

Podem-se separar os equipamentos de proteção em dois grupos, a saber:

- a) Proteção primária ou principal;
- b) Proteção secundária ou de retaguarda.

Proteção primária refere-se à proteção principal, em que o elemento de seccionamento se encontra na conexão entre dois elementos possibilitando a retirada somente do elemento da falta em questão. Neste grupo de proteção, estabelecer-se-á uma zona de proteção em torno de cada elemento, conforme Figura 1 .

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	9 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

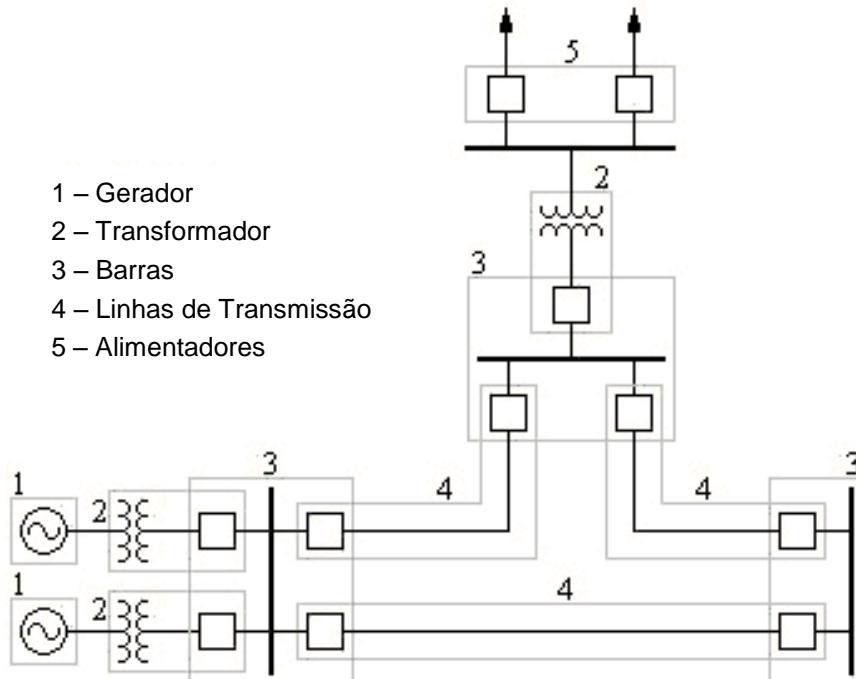


Figura 1 – Zonas de proteção de um sistema de potência.

Já a proteção secundária ou de retaguarda refere-se a uma proteção localizada na zona adjacente à zona primária, que é ajustada para operar em situações de anormalidade em que a proteção primária não entrou em atuação. A proteção secundária ou de retaguarda pode ser local, caso se encontre na mesma subestação da proteção primária, ou remota, caso se encontre em outra subestação.

Os tipos de dispositivos de proteção mais comumente utilizados serão descritos neste relatório.

5.5. Relés de Proteção

5.5.1. Definição

São dispositivos destinados a operar quando uma grandeza de atuação atinge um determinado valor. Existem várias classificações que se pode dar aos relés, quanto à grandeza de atuação (corrente, tensão, frequência etc.), forma de conectar ao circuito (primário/secundário), forma construtiva (eletromecânicos, mecânicos, estáticos etc.), temporização (temporizados e instantâneos), quanto à função (sobrecorrente, direcional, diferencial etc.), característica de atuação (normal inversa, muito inversa etc.).

5.5.2. Requisitos e Características de Operação

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	10 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

Os relés de proteção, principais equipamentos de proteção dos sistemas elétricos, são encarregados da retirada rápida do elemento (equipamento, barra ou seção de linha) quando este está em curto-círcito ou operação anormal de funcionamento, impedindo que o problema se propague a outros elementos do sistema.

Antigamente, os principais requisitos de um relé eram principalmente confiabilidade, seletividade, suportabilidade térmica, suportabilidade dinâmica, sensibilidade, velocidade, baixo consumo e baixo custo. Atualmente, os relés devem informar a devida localização da falta com o objetivo da rápida manutenção do elemento causador da falta e, portanto o rápido religamento. É importante também que haja o registro de informações do relé, como grandezas analógicas e digitais, possibilitando a análise da falta e da atuação da proteção usada.

Somado aos requisitos acima citados, é desejável que eles possuam ainda, *breaker failure*, *autocheck*, seletividade lógica, oscilografia, quantidade adequadas de entradas e saídas digitais (E/S digitais), entradas analógicas de corrente, entradas analógicas de tensão, saídas à relé, IRIG-B, possibilidade de se conectar em rede, possibilidade de realizar funções de automação, comando, controle, medição, supervisão etc.

5.5.3. Equação Universal do Conjugado

A origem dos relés ocorreu com os modelos eletromecânicos e, assim, o advento dos relés digitais teve de incorporar as principais características dos eletromecânicos para viabilizar a migração destes para os digitais. Dessa maneira, é importante entender o princípio de funcionamento dos relés eletromecânicos. Este entendimento será dado através do relé de disco de indução.

5.5.4. Relés de Disco de Indução

Apresenta-se, na Figura 2, um relé de disco de indução mostrando seus componentes.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	11 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

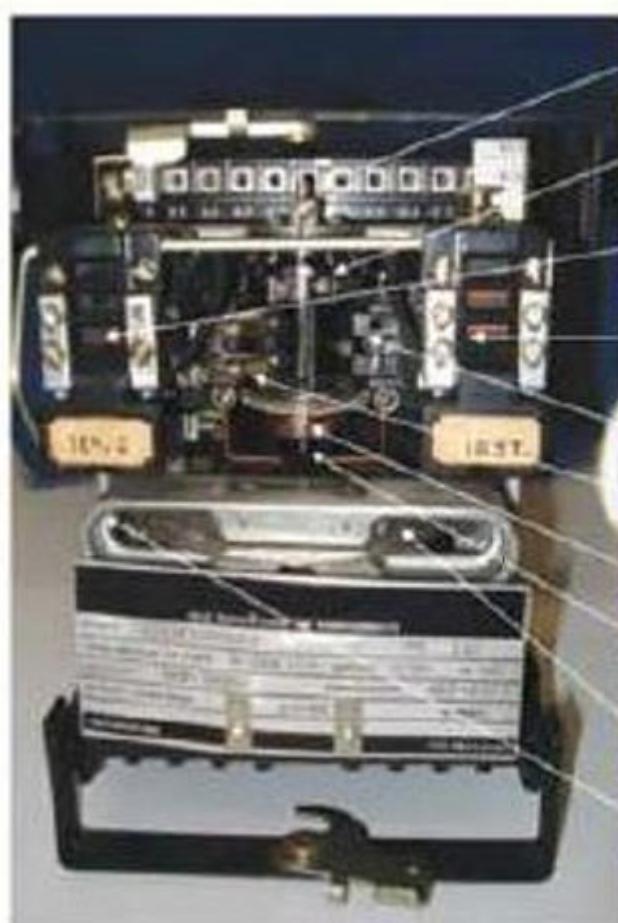


Figura 2 – Relé de disco de indução com suas principais partes (componentes).

Na Figura 3, mostram-se as partes de interesse para a análise do princípio de funcionamento. A bobina auxiliar (conhecida também com espira de sombra) indicada na figura, tem por objetivo gerar um fluxo ϕ_2 , defasado do fluxo principal ϕ_1 , de forma a gerar um torque e o disco gire. Ao girar o disco, um contato móvel entra em contato com o contato fixo, fechando assim o circuito de disparo (trip). Quanto maior a corrente circulante maior a velocidade do disco. O sistema funciona de forma parecida com um motor de indução monofásico, em que não se consegue parti-lo se não houver um capacitor, que provoca o desfasamento angular entre os fluxos para gerar o torque. Os fluxos $\phi_1 = \phi_1 \sin(\omega t)$ e $\phi_2 = \phi_2 \sin(\omega t + \Theta)$ são senoidais e desfasados entre si.

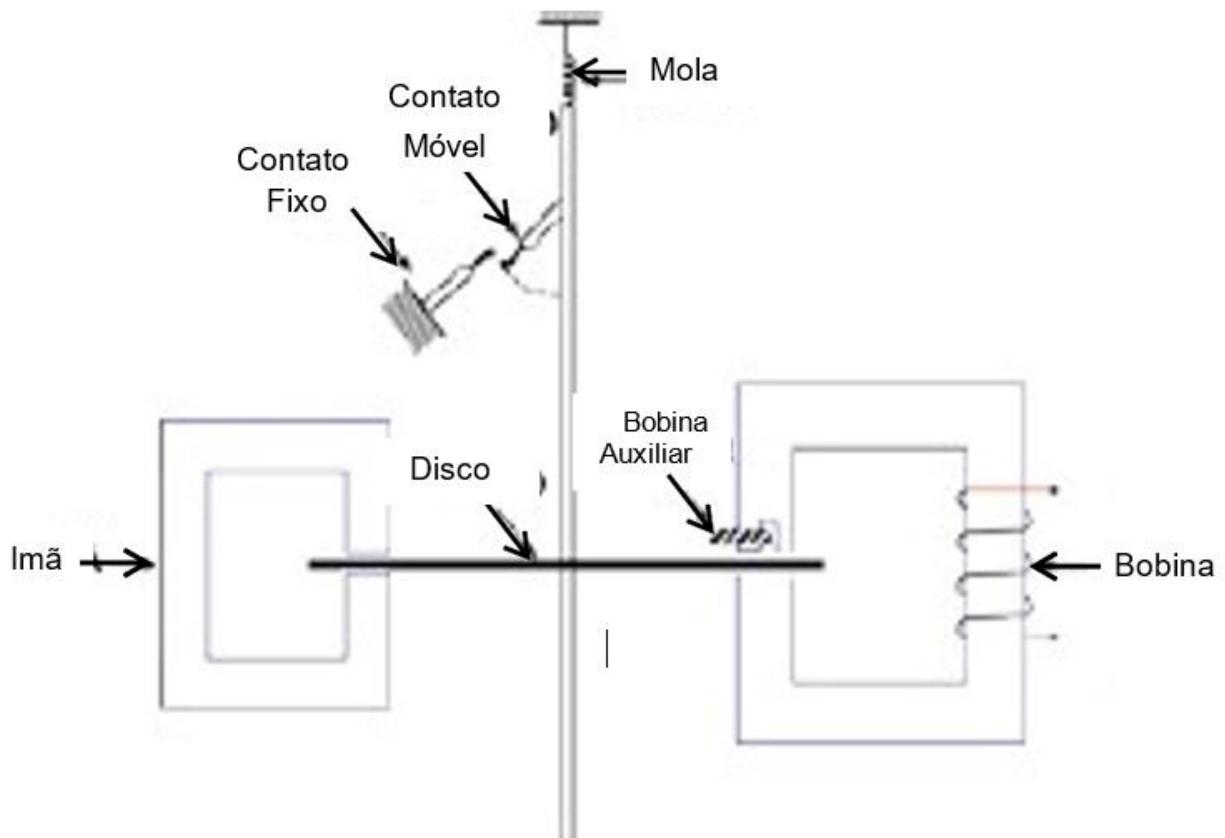


Figura 3 – Relé de disco de indução para análise do princípio de funcionamento.

A Lei de Faraday-Lenz diz que a tensão (corrente) induzida irá contrariar a causa (fluxo, ϕ) que a produziu. A regra da mão direita é utilizada para determinar o sentido da corrente, conforme Figura 4, e é expressa pela equação a seguir:

$$e = -K \times n \times \frac{d\phi}{dt}$$

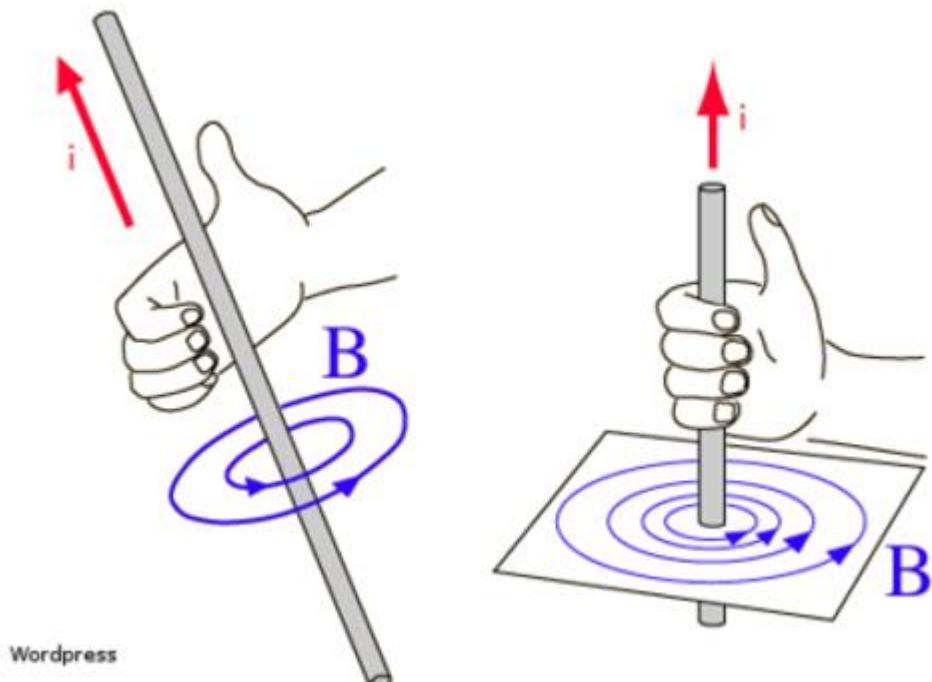


Figura 4 – Lei de Faraday-Lenz – regra da mão direita.

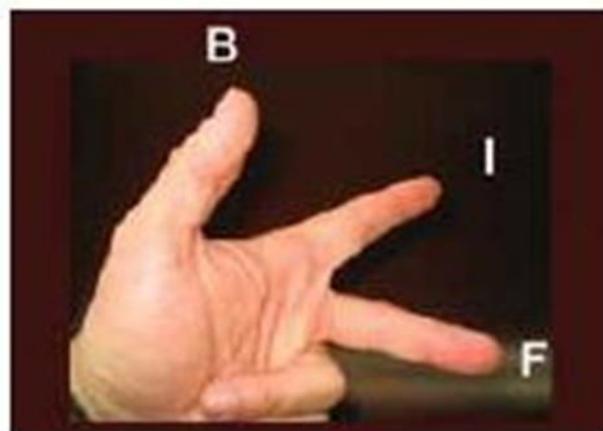


Figura 5 – Regra da mão esquerda.

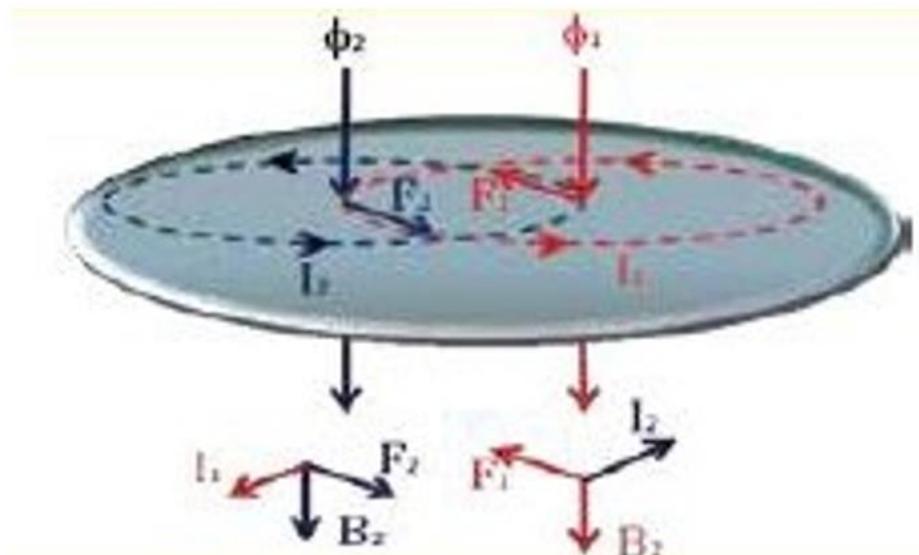


Figura 6 – Mecanismo de formação das forças motoras do disco de indução.

Visto que o disco possui uma resistência R nele irá circular uma corrente dada por:

$$i = \frac{e}{R} = -\frac{K \times n}{R} \times \frac{d\phi}{dt}$$

As correntes I_1 e I_2 irão propiciar o aparecimento das forças dadas, conforme Figura 6 e pela regra da mão esquerda, conforme Figura 5. Sabe-se, do eletromagnetismo, que $F = \emptyset \times I$ e que a força resultante será $F = F_2 - F_1$.

Observa-se que o disco também possui um elemento de frenagem, sendo necessário uma corrente mínima (pick-up) para que o disco gire. Nota-se, portanto, que o conceito das curvas de tempo inverso surge, sendo que uma alta corrente produz uma atuação (disparo, trip) mais rápida do que uma pequena corrente.

5.5.5. Relés de Sobrecorrente

São relés que operam quando o valor da corrente do circuito ultrapassa um valor pré-fixado ou ajustado. Os valores dos relés de sobrecorrente podem ser instantâneos (função ANSI 50) ou temporizados (função ANSI 51).

5.5.6. Função ANSI

50, 51, 50/51, 50 N, 51 N, 50/51 N, 50 GS, 51 GS, 50/51 GS

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

5.5.6.1. Direcionalidade

Operam em qualquer direção.

5.5.6.2. Evolução

Os primeiros relés instantâneos eram do tipo charneira. Entre os primeiros relés temporizados pode-se citar o de disco de indução. A evolução dos relés passou pelas etapas de relé eletromecânico, relé estático, relé numérico digital e IED e pode ser visualizada na Figura 7.



Relé Eletromecânico

Relé Estático



Relé Numérico Digital

IED

Figura 7 – Evolução dos relés de sobrecorrente.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	16 de 57

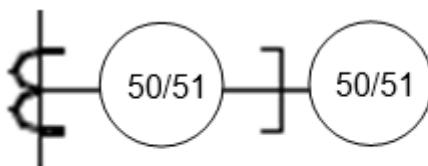
 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

5.5.6.3. Temporização dos Relés de Sobrecorrente

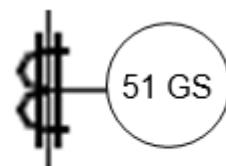
Os relés de sobrecorrente podem ser temporizados ou instantâneos. Os relés eletromecânicos temporizados são normalmente os de disco de indução e podem ser visualizados na Figura 2 e Figura 3.

5.5.6.4. Conexão

Vide esquemas unifilares (Figura 8) e trifilares (Figura 9) seguintes.



(a) Fase + Conexão Residual



(b) Conexão Ground Sensor

Figura 8 – Representação dos relés de sobrecorrente nos esquemas unifilares.

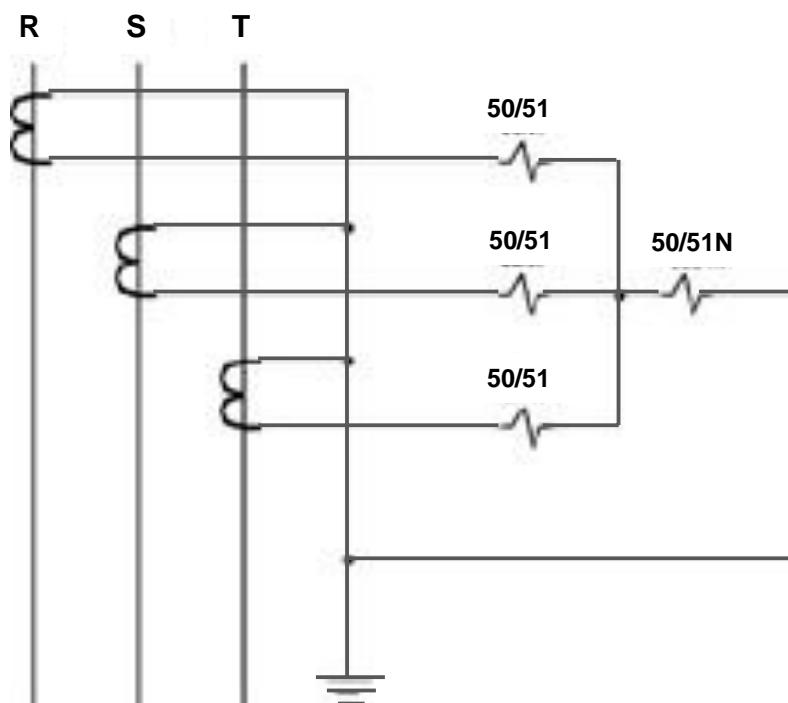


Figura 9 – Representação da conexão residual de relés de sobrecorrente nos esquemas trifilares.

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

5.5.6.5. Características dos Relés de Sobrecorrente

A característica dos relés de sobrecorrente é representada pelas suas curvas tempo versus corrente. Estas curvas variam em função do tipo do relé (disco de indução, estático, digital). Antigamente, na época dos relés de disco de indução, a escolha da característica do equipamento era feita no momento da compra e, assim, não era possível alterá-la. Atualmente fabricam-se praticamente somente os relés digitais e a maior parte deles permite escolher a característica tempo corrente apenas alterando-se os parâmetros no próprio relé. Os termos característica inversa, normal inversa, muito inversa e extremamente inversa existe desde a época dos relés de disco de indução. Dessa forma, até hoje se mantém essa terminologia, sendo que as características mais utilizadas são:

- a) Normal Inversa (NI) ou Standard Inverse (SI) ou Standard Inverse Time (SIT);
- b) Muito Inversa (MI) ou Very Inverse (VI) ou Very Inverse Time (VIT);
- c) Extremamente Inversa (EI) ou Extremelly Inverse (EI) ou Extremelly Inverse Time (EIT);
- d) Tempo Longo Inversa (TLI) ou Long Time Inverse (LTI);
- e) Tempo Definido (TD) ou Definite Time (DT).

Nos relés digitais as características tempo versus corrente são representados por equações, e essas equações mudam de acordo com a norma. Apresenta-se a seguir as mais usuais.

5.5.6.6. IEC/BS

As características mais utilizadas da norma IEC são Normal inversa, Muito inversa e Extremamente inversa, as quais são apresentadas pela Figura 10, Figura 11 e Figura 12, respectivamente.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	18 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

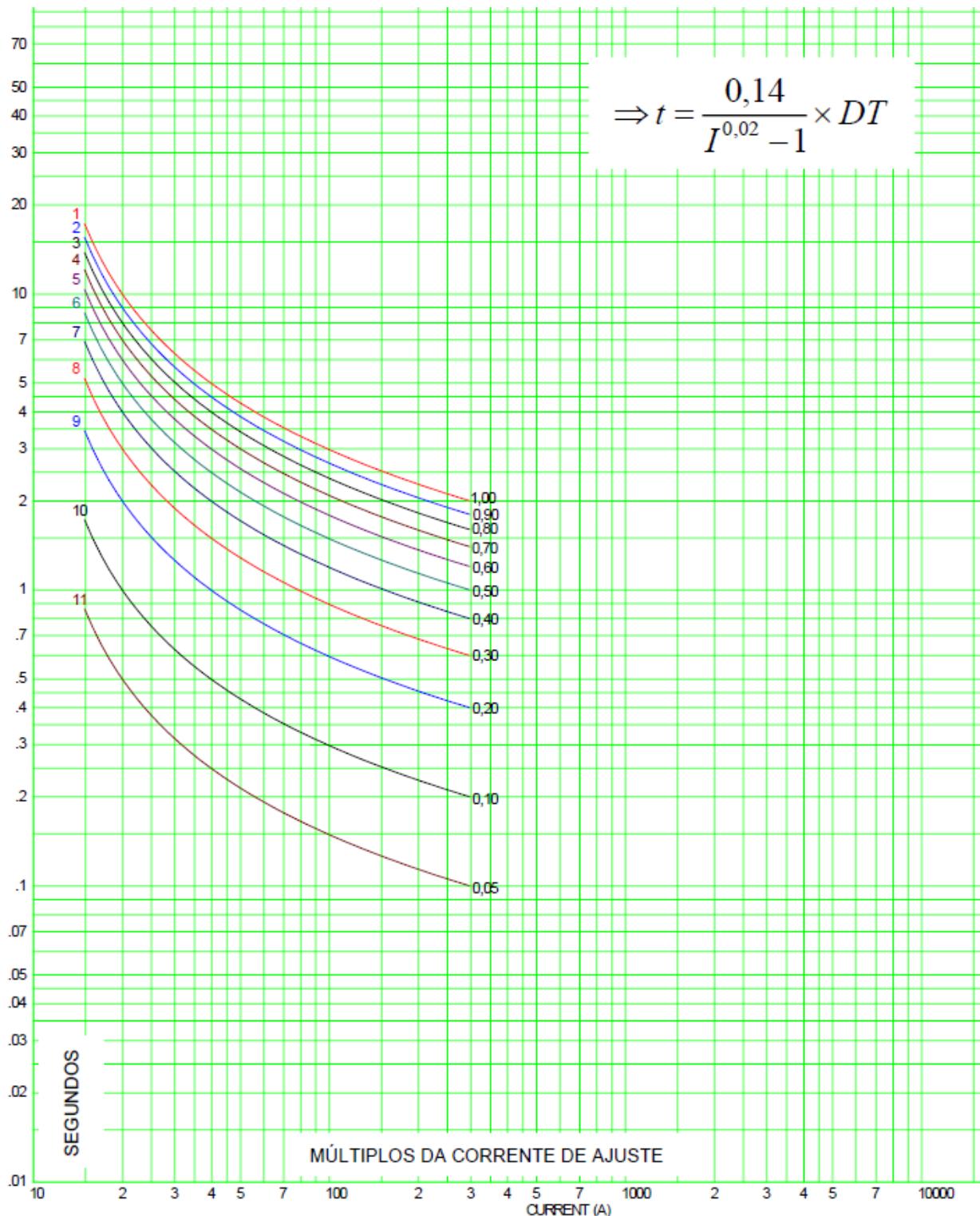


Figura 10 – Equação e Curva IEC normal inversa.



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

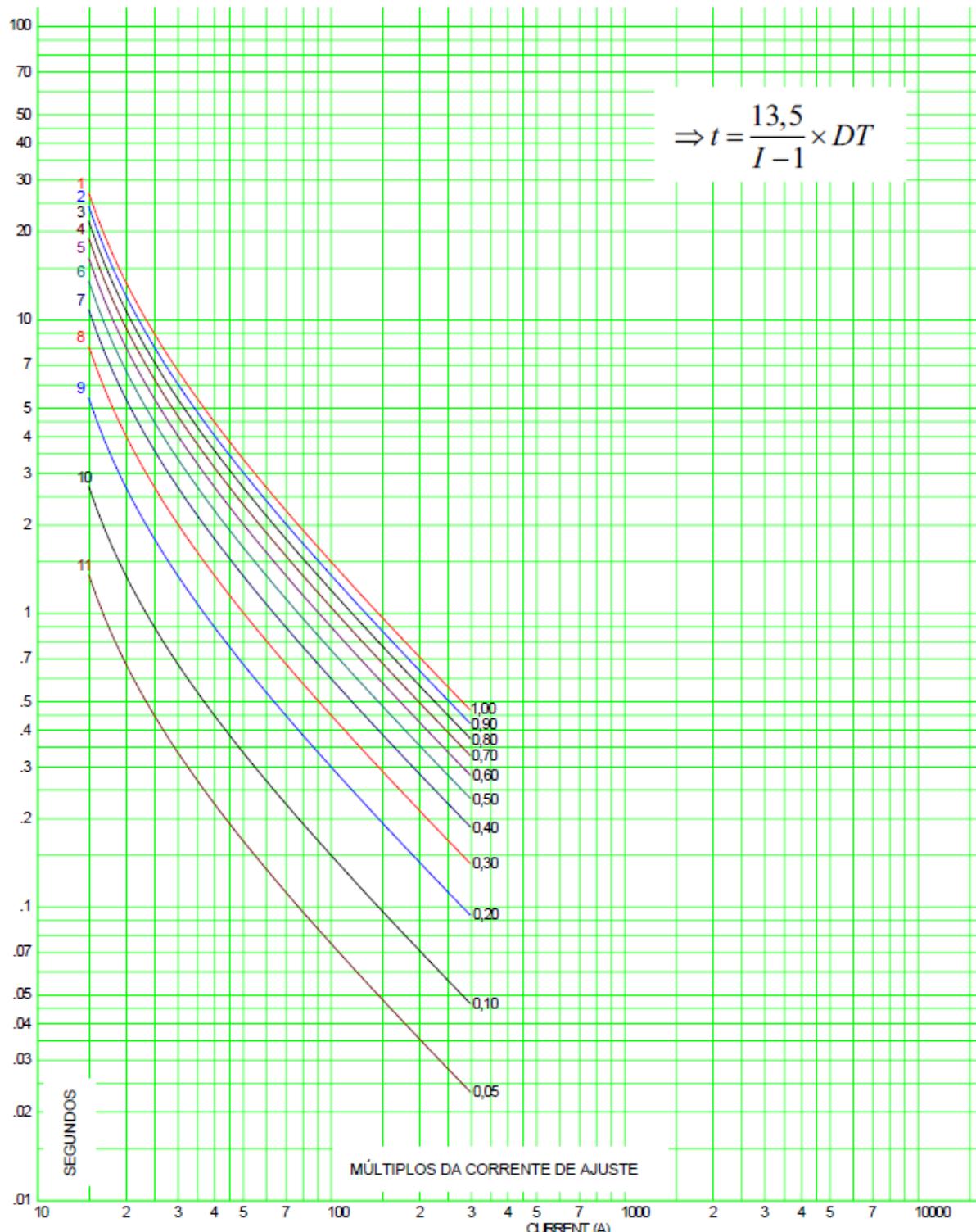


Figura 11 – Equação e Curva IEC muito inversa.



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

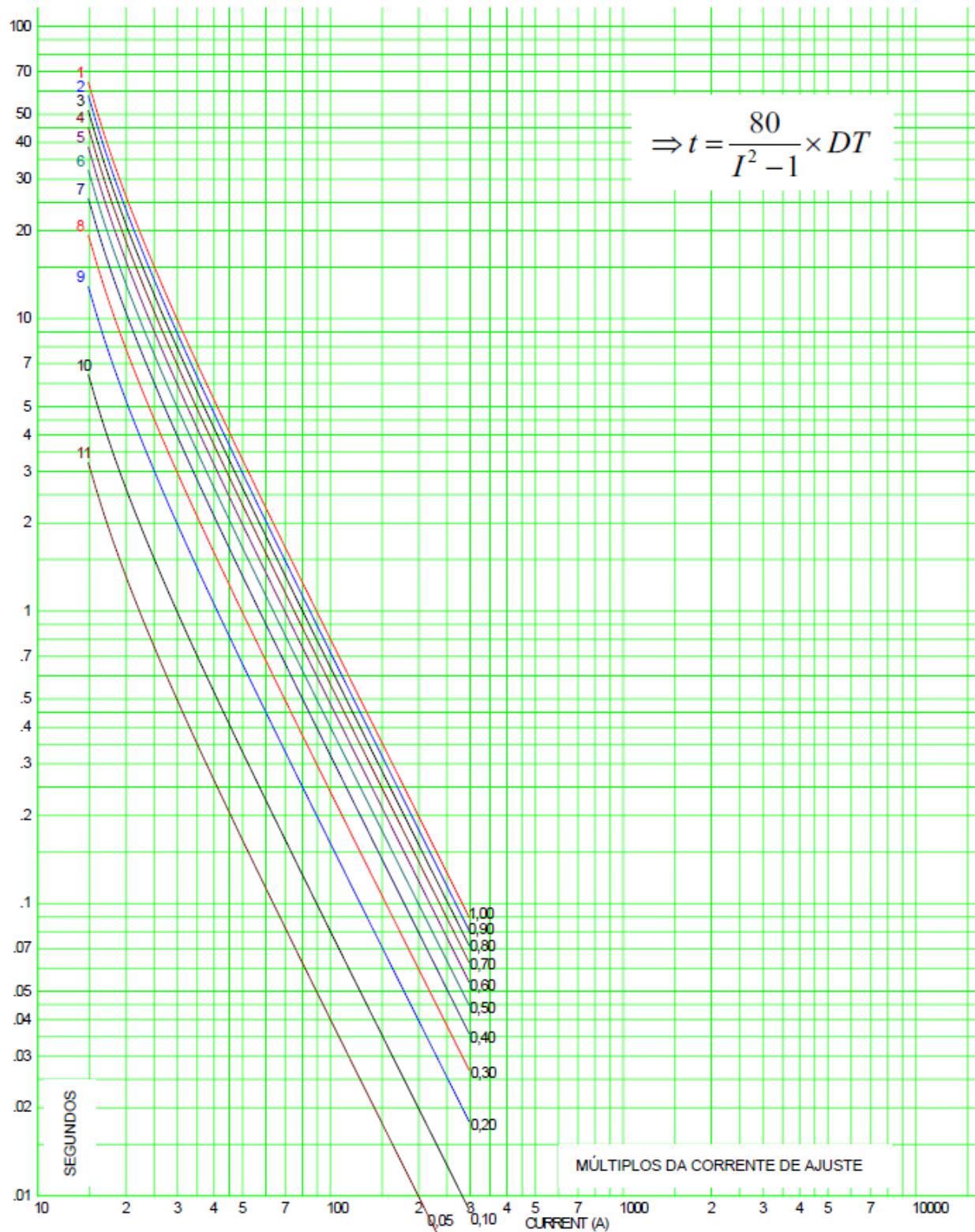


Figura 12 – Equação e Curva IEC extremamente inversa.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	21 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

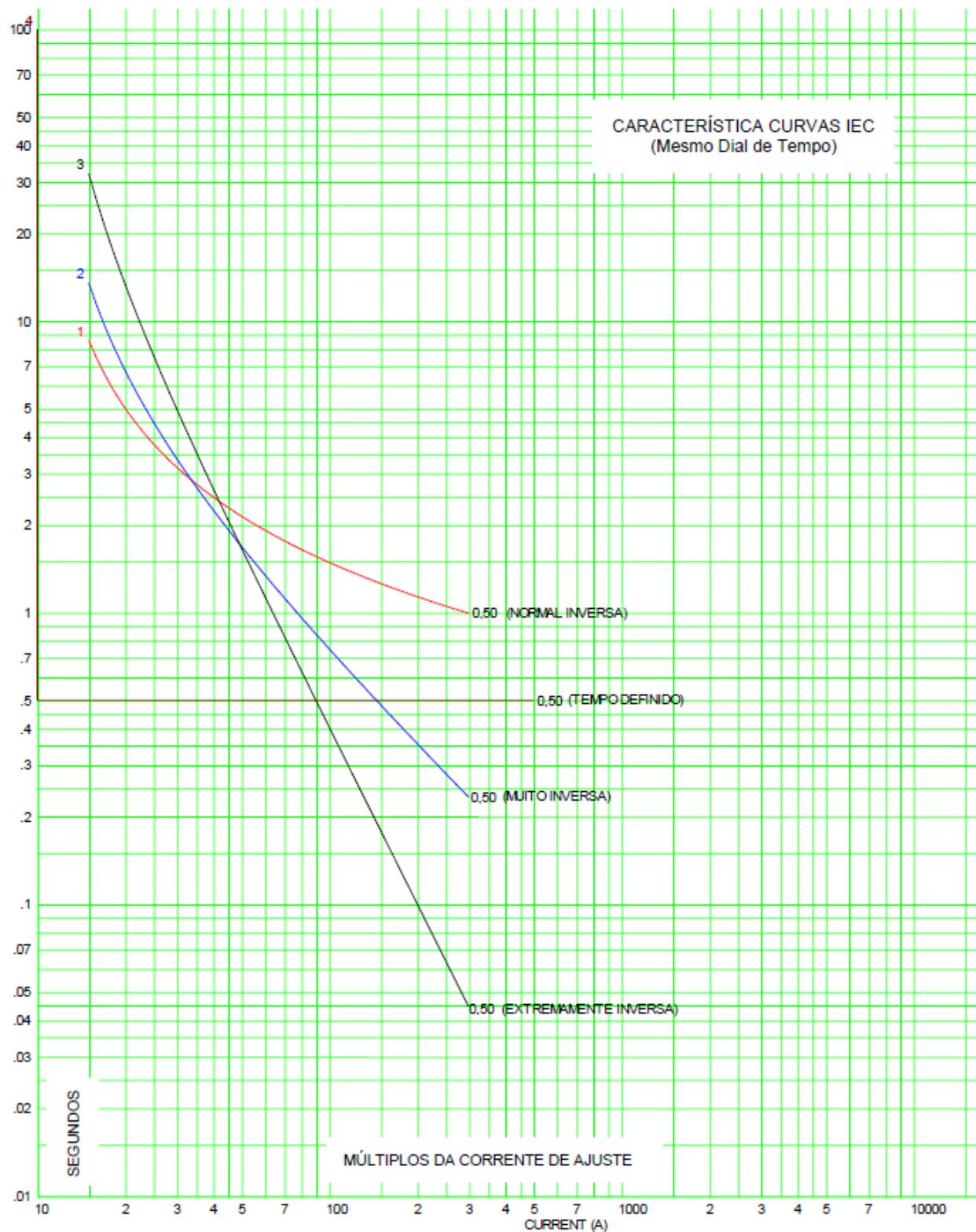


Figura 13 – Comparação das características das curvas IEC normal inversa, muito inversa e extremamente inversa.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	22 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

Como pode ser observada na Figura 13, a curva extremamente inversa é muito rápida para alta corrente e lenta para baixa corrente. A característica normal inversa é muito lenta para corrente elevada e rápida para baixas correntes ou de sobrecarga, e a característica muito inversa é adequada tanto para baixas como para altas correntes.

5.5.6.7. ANSI (C37.90)

Os relés construídos segundo a Norma ANSI C37.90 obedecem a equação a seguir, cujas constantes são apresentadas na Tabela 1.

$$t = \left(A + \frac{B}{(I - C)} + \frac{D}{(I - C)^2} + \frac{E}{(I - C)^3} \right) \times DT$$

Onde:

t = Tempo de atuação do relé (segundos)

DT = Ajuste do multiplicador dos tempos

I = Corrente circulante / Corrente pick-up

A, B, C, D, E = Constantes

Tabela 1 – Constantes das curvas ANSI.

CURVAS	A	B	C	D	E
<i>Extremely Inverse</i>	0,0399	0,2294	0,5000	3,0094	0,7222
<i>Very Inverse</i>	0,0615	0,7989	0,3400	-0,2840	4,0505
<i>Normaly Inverse</i>	0,0274	2,2614	0,3000	-4,1899	9,1272
<i>Moderately Inverse</i>	0,1735	0,6791	0,8000	-0,0800	0,1271

5.5.7. Relé Direcional de Sobrecorrente

São relés que operam quando o valor da corrente do circuito ultrapassa um valor prefixado ou ajustado e na direção pré-estabelecida.

5.5.7.1. Função ANSI

A função ANSI deste relé é a 67.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	23 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

5.5.7.2. Direcionalidade

Operam em apenas uma direção.

5.5.7.3. Polarização

Por tensão e corrente.

5.5.7.4. Conexão

Na proteção direcional existem praticamente três tipos de ligação convencional quando são utilizados relés direcionais polarizados por tensão-corrente. Cada uma dessas ligações corresponde um relé direcional específico, com ângulo máximo de torque diferente. Nos relés digitais, pode-se ajustar o ângulo conforme a necessidade do projeto.

São esses os tipos de ligação:

a) Conexão 30°

Corresponde à ligação vista na Figura 14. Nesse caso, a corrente de operação I_a está adiantada da tensão de polarização V_{ac} de um ângulo de 30° elétricos.

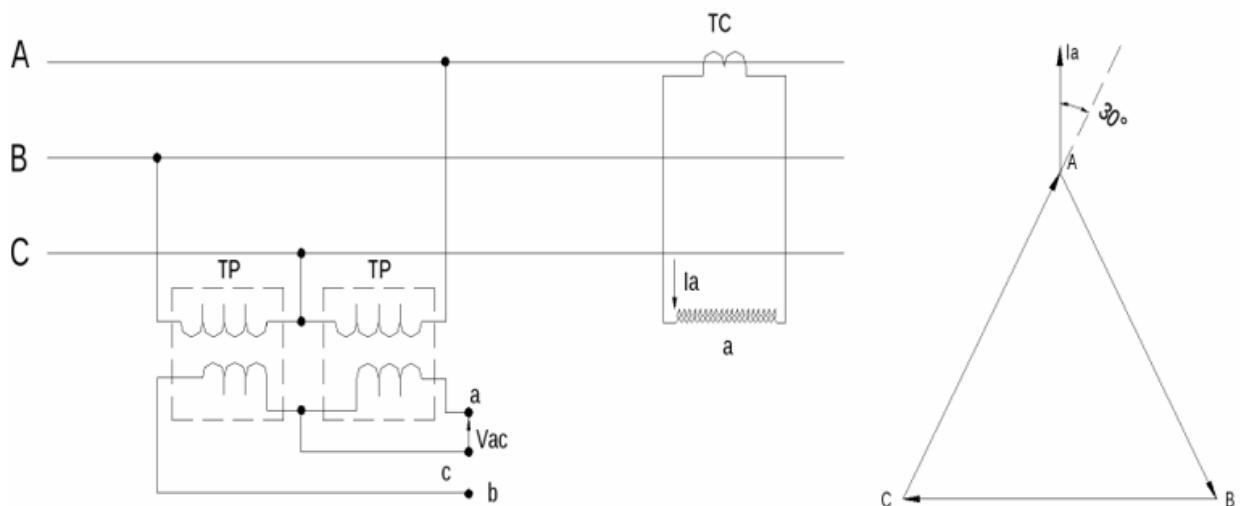


Figura 14 – Conexão 30°.

b) Conexão 60°

Corresponde à ligação vista na Figura 15. Nesse caso, a corrente de operação I_a está adiantada da componente da tensão de polarização $V_{bc} + V_{ac}$ de um ângulo de 60° elétricos.

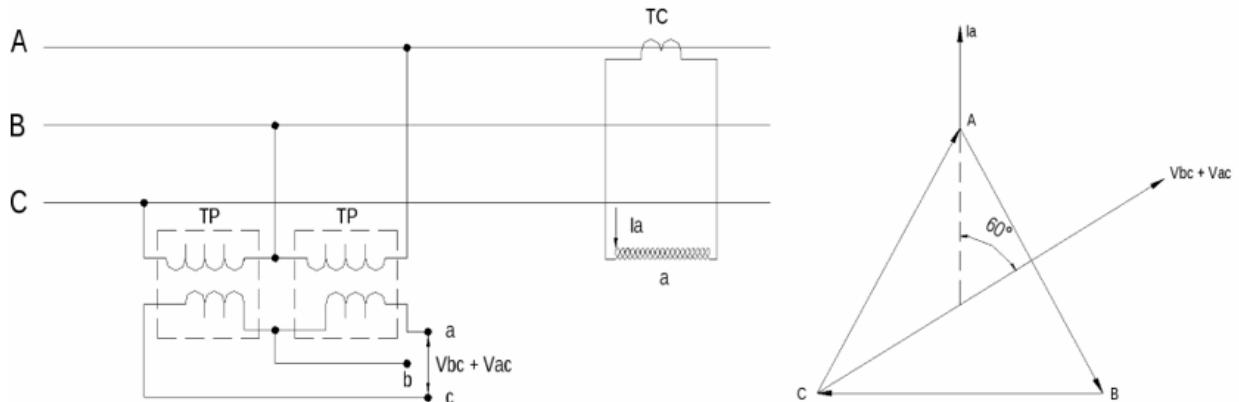


Figura 15 – Conexão 60°.

c) Conexão 90°

Corresponde à ligação vista na Figura 16. Nesse caso, a corrente de operação I_a está adiantada da tensão de polarização V_{bc} de um ângulo de 90° elétricos.

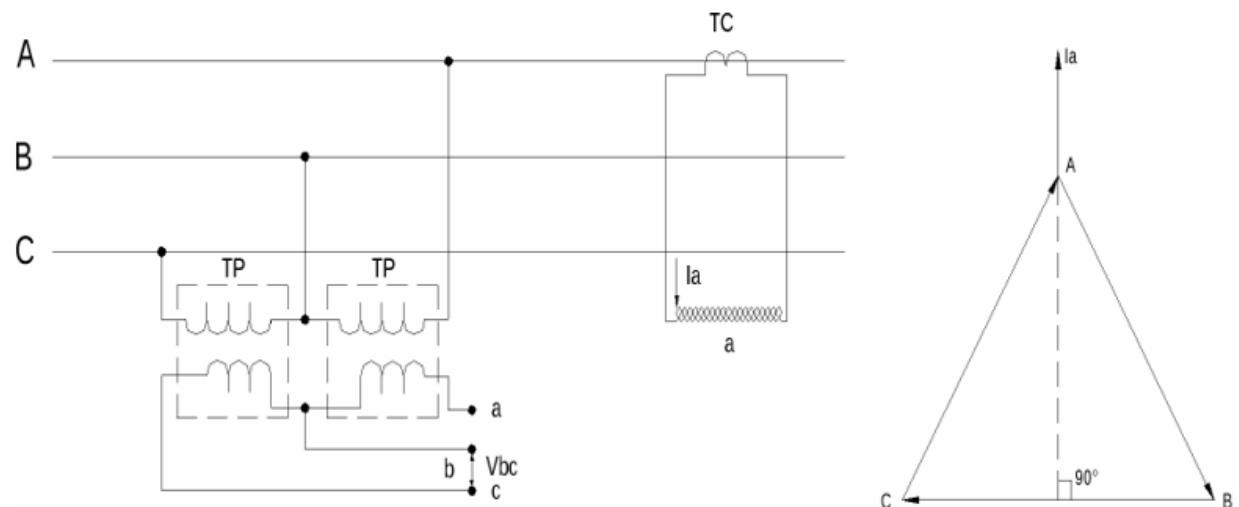


Figura 16 – Conexão 90°.

Como a conexão em quadratura é a mais empregada em projetos de proteção de sobrecorrente direcional, será melhor detalhada a sua aplicação.

5.5.7.5. Diagrama Fasorial do Relé 67

Apresenta-se na Figura 17 um diagrama fasorial típico de um relé direcional de conexão 90° e ângulo de máximo torque igual a 45° . É importante entender que o ângulo de máximo torque é sempre tomado em relação à tensão de polarização (referência) e que a linha de conjugado

nulo fica a 90° desta linha. Recomenda-se sempre ler atentamente o catálogo do relé para ver como as tensões devem conectaradas no equipamento.

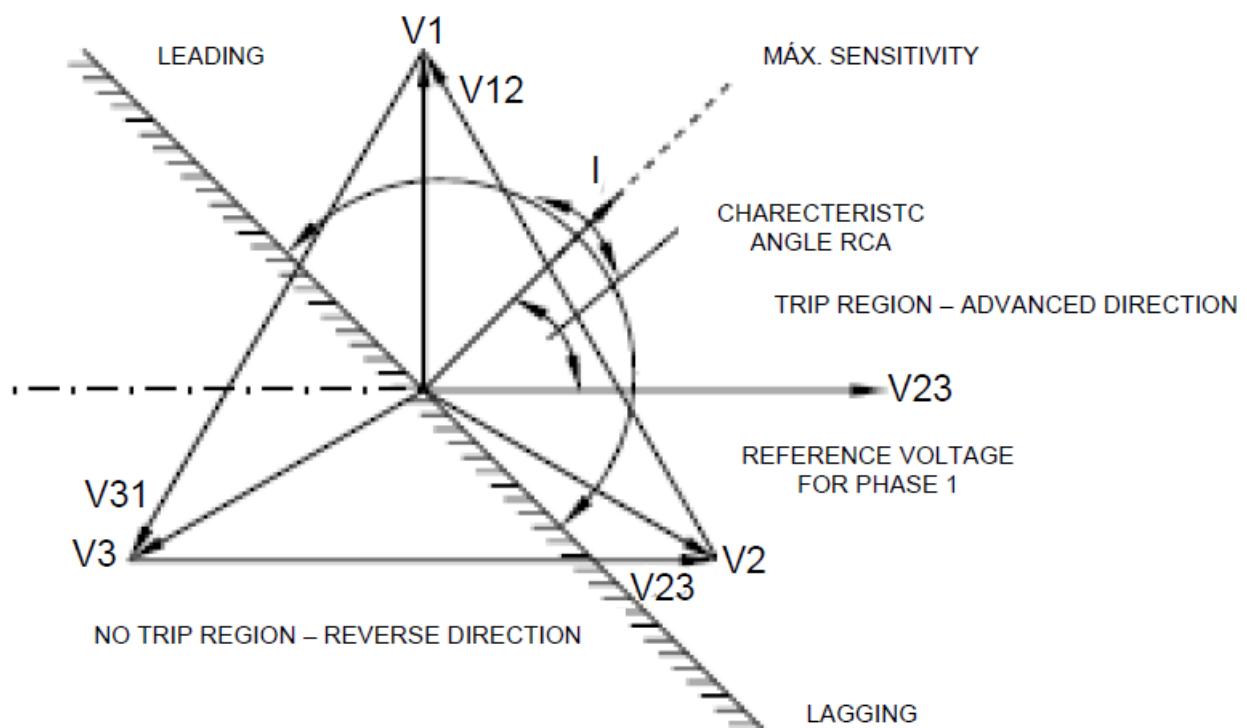


Figura 17 – Diagrama fasorial dos relés direcionais de sobrecorrente.

Ao utilizar relés direcionais deve-se atentar para o seguinte:

- a) A presença de banco de capacitores no lado em que o relé não “enxerga”. Este fato faz com que o relé opere quando o sistema estiver com baixa carga, o que ocorre normalmente em fins de semana;
 - b) A existência de circuitos paralelos, onde possa haver a circulação de corrente em sentido reverso, como, por exemplo, quando um motor está partindo;
 - c) Contribuição de motores para as faltas, passando pelo relé direcional.

5.5.8. Relé Diferencial

São relés que operam quando a diferença da corrente de entrada em relação à corrente de saída ultrapassa um valor preestabelecido ou ajustado.

5.5.8.1. Função ANSI

N.Documento: Categoría: Versão: Aprovado por: Data Publicação: Página:
17350 Instrução 1.2 Eduardo Henrique Trepodoro 30/06/2022 26 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

O número que expressa a função ANSI do relé diferencial é o 87. Pode receber uma letra adicional como 87T (diferencial de transformador), 87B (diferencial de barra), 87G (diferencial de gerador), 87M (diferencial de motor), etc.

5.5.8.2. Direcionalidade

Operam dentro de sua zona de proteção (entre os TCs de entrada e saída) em qualquer direção.

5.5.8.3. Polarização

A polarização do relé diferencial ocorre por corrente.

5.5.8.4. Conexão/Esquemas

Para a representação em esquemas unifilares, vide Figura 18. Para a representação em esquemas trifilares, vide Figura 19, que representa uma aplicação de proteção diferencial de transformador (87T).

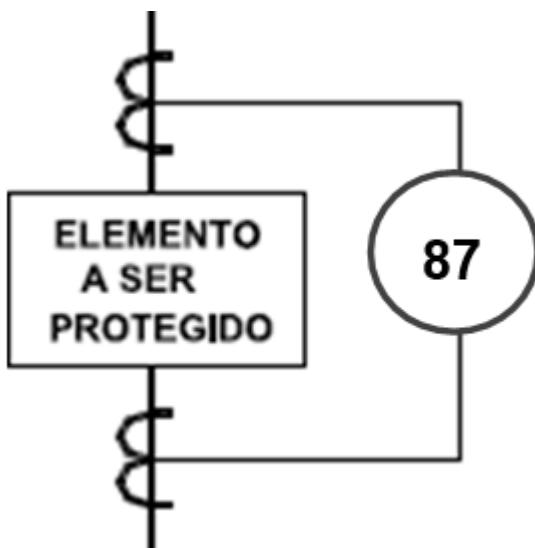


Figura 18 – Representação unifilar do relé 87 (diferencial).



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

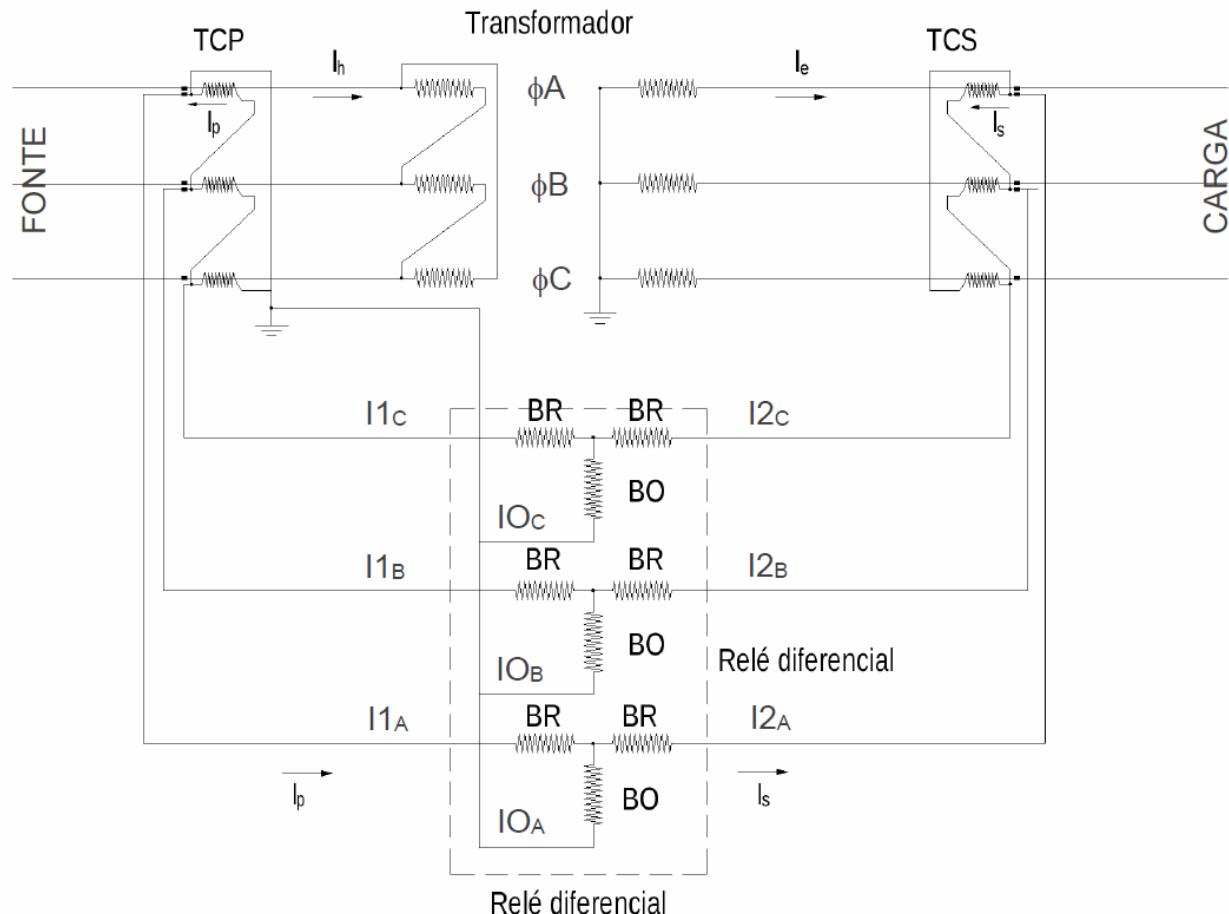


Figura 19 – Esquema trifilar do relé 87.

Existem dois tipos básicos de relés diferenciais: o relé diferencial amperimétrico, que se constitui apenas de um relé de sobrecorrente instantâneo conectado, operando de forma diferencial e o relé diferencial percentual, que é constituído, além da bobina de operação, de uma bobina de restrição.

5.5.8.5. Relé Diferencial Percentual

Basicamente, conforme apresentado na Figura 20, o relé diferencial percentual é constituído por uma bobina de restrição e por uma bobina de operação, que fica entre o ponto médio da bobina de restrição.

O torque devido à bobina de restrição tende a impedir o fechamento do circuito de trip enquanto o torque devido à bobina de operação tende a efetuar o disparo. Conforme apresentado na Figura 20a, em condições normais de operação ou em condições de curto-círcuito externo (fora do elemento protegido), o torque desenvolvido pela bobina de restrição é maior que o torque da bobina de operação ($I_1 - I_2 = 0$). Assim, o relé permanece inoperante.

Quando ocorre uma falha interna, conforme mostrado na Figura 20b, o torque da bobina de operação ($i_1 - i_2 \neq 0$) excede o torque da bobina de restrição, gerando, assim, a operação (disparo) do relé.

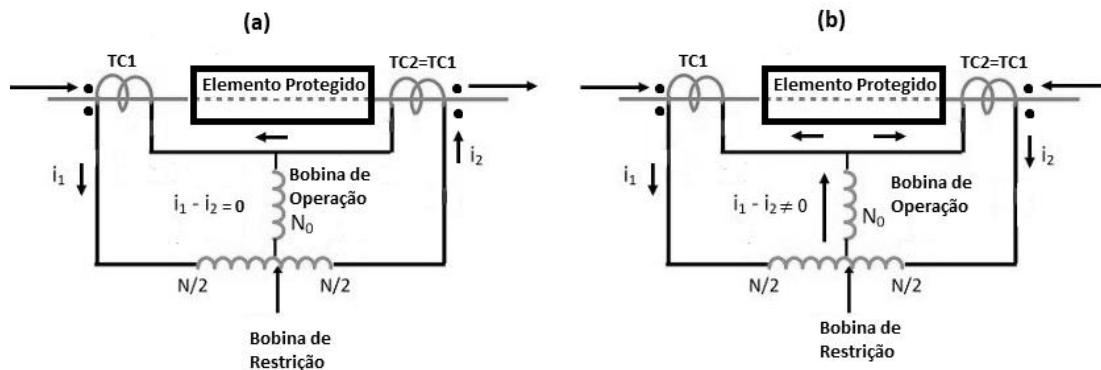


Figura 20 – Princípio de Funcionamento do Relé Diferencial Percentual.

5.5.9. Relé de Subtensão

São relés que operam quando a tensão do sistema cai abaixo de um valor preestabelecido ou ajustado.

5.5.9.1. Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de subtensão é o 27.

5.5.9.2. Polarização

A polarização do relé de subtensão é por tensão.

5.5.9.3. Conexão

A conexão do relé de subtensão é apresentada no esquema unifilar da Figura 21.



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

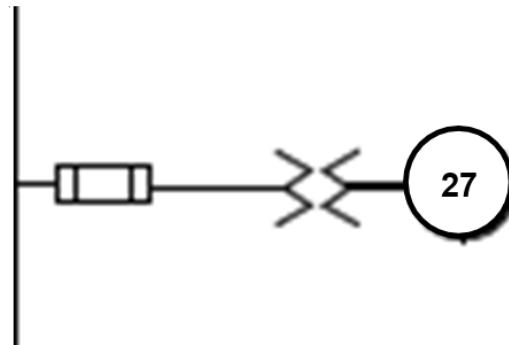


Figura 21 – Esquema unifilar do relé de subtensão.

5.5.10. Relé de Sobretensão

São relés que operam quando a tensão do sistema ultrapassa um valor preestabelecido ou ajustado.

5.5.10.1. Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de sobretensão é o 59.

5.5.10.2. Polarização

A polarização do relé de sobretensão é por tensão.

5.5.10.3. Conexão

A conexão do relé de sobretensão é apresentada no esquema unifilar da Figura 22.

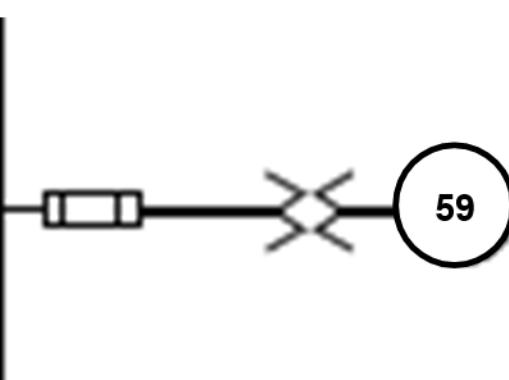


Figura 22 – Esquema unifilar do relé de sobretensão.

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

5.5.11. Relé de Bloqueio

São relés que recebem sinais de desligamento de outros relés e atuam sobre o disjuntor. Sua função é bloquear o religamento do disjuntor no caso de falta, pois o disjuntor somente pode ser religado após este relé ser resetado e, assim, somente será religado por pessoa especializada e autorizada.

5.5.11.1. Função ANSI

O número ANSI para esta função é o 86.

5.5.11.2. Polarização

Não possui.

5.5.11.3. Conexão

A representação do relé de bloqueio em esquemas unifilares pode ser visualizada na Figura 23.

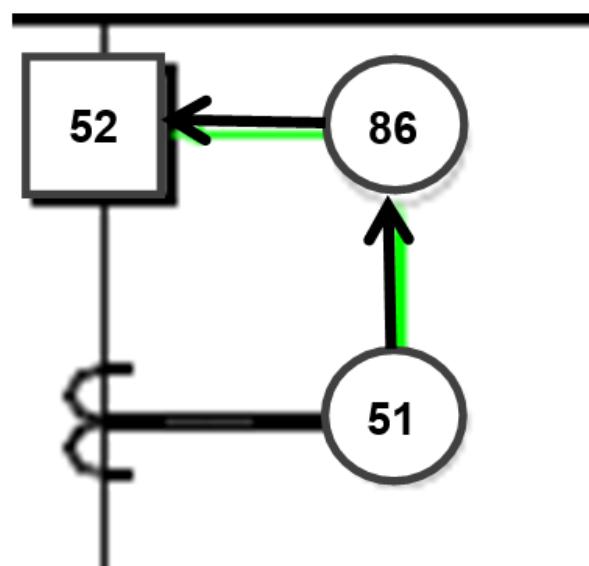


Figura 23 – Esquema unifilar do relé de sobretensão.

A Figura 24 mostra um relé de bloqueio típico. Os relés de bloqueio possuem uma boa quantidade de contatos NA (normalmente abertos) e NF (normalmente fechados) para poderem realizar as lógicas de contato. Nos relés digitais e nos IEDs, a função de bloqueio pode ser feita pelo próprio relé.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	31 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

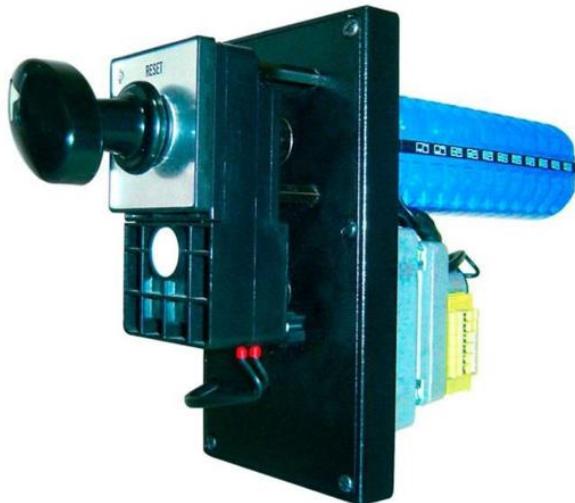


Figura 24 – Esquema unifilar do relé de sobretensão.

5.5.12. Relé de Distância

Um relé de distância pode ter esta função desempenhada por um relé de impedância (ou ohm), admitância (ou mho – o contrário de ohm), reatância ou relés poligonais.

O relé utiliza este nome visto que, quando há uma falta em uma LT, a impedância da linha vista pelo relé (calculada através da medição de corrente e tensão) muda e é proporcional a distância onde foi a falta.

5.5.12.1. Função ANSI

O número da função ANSI que representa o relé de distância é o 21.

5.5.12.2. Polarização

A polarização é por corrente e tensão.

5.5.12.3. Conexão

A representação do relé de distância em esquemas unifilares pode ser visualizada na Figura 25.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	32 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

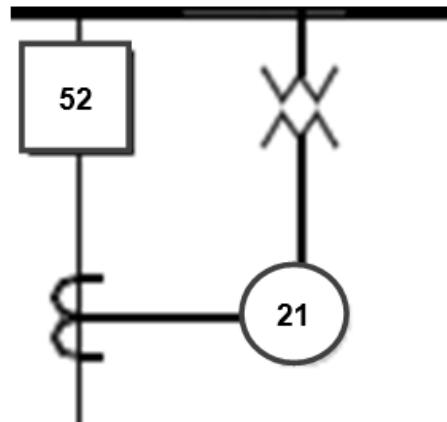


Figura 25 – Esquema unifilar do relé de sobretensão.

5.5.12.4. Relé de Distância do Tipo Impedância

O relé de impedância é indicado para a proteção de linhas de transmissão consideradas de comprimento médio para o seu nível de tensão. No caso de uma linha de transmissão de 230 kV, pode-se considerar como média aquela de comprimento igual a 200 km. Este tipo de dispositivo de proteção é um relé de sobrecorrente com restrição de tensão, conforme pode ser observado na Figura 26, que mostra esquematicamente o princípio de funcionamento desse relé de distância.

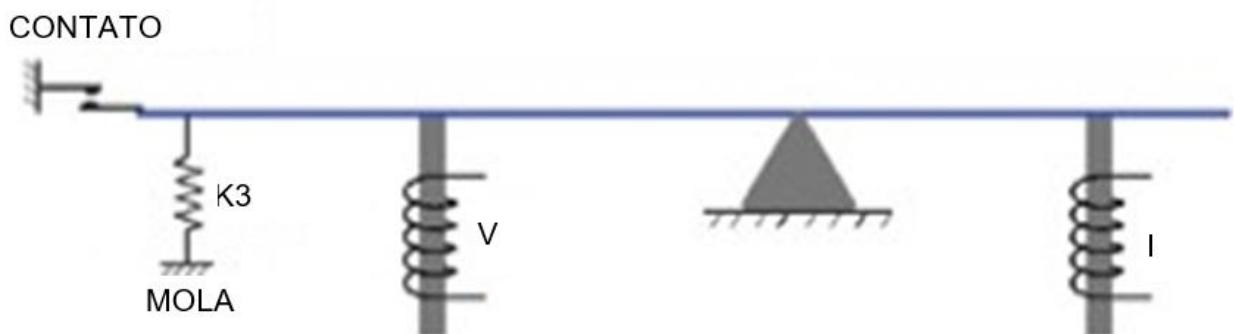


Figura 26 – Esquemático do princípio de funcionamento do relé 21.

A característica desse relé em um plano cartesiano $Z = R + jX$ é mostrado pela Figura 27.

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

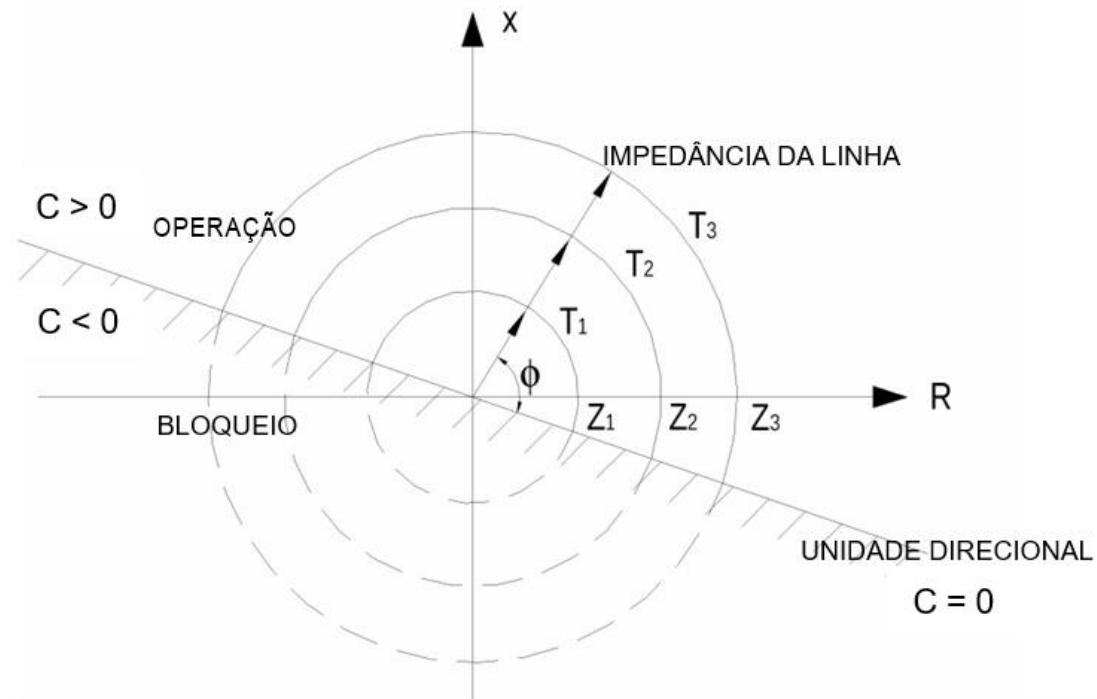


Figura 27 – Relé de distância tipo impedância.

A Figura 28 representa um relé de distância do tipo impedância sendo aplicado a uma linha de transmissão, que possui três zonas de proteção, correspondendo às respectivas impedâncias Z_1 , Z_2 e Z_3 os respectivos comprimentos I_1 , I_2 , I_3 , dentro de cada zona de proteção e os respectivos tempos de atuação de t_1 , t_2 e t_3 . É importante notar que a região de atuação fica dentro dos círculos de cada zona de proteção. Se a impedância for menor que o valor ajustado em uma das zonas e permanecer assim pelo tempo ajustado, o relé operará. Normalmente, a zona 1 é ajustada para uma atuação instantânea e seu ajuste deve garantir que apenas faltas internas a linha de transmissão a sensibilize.

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

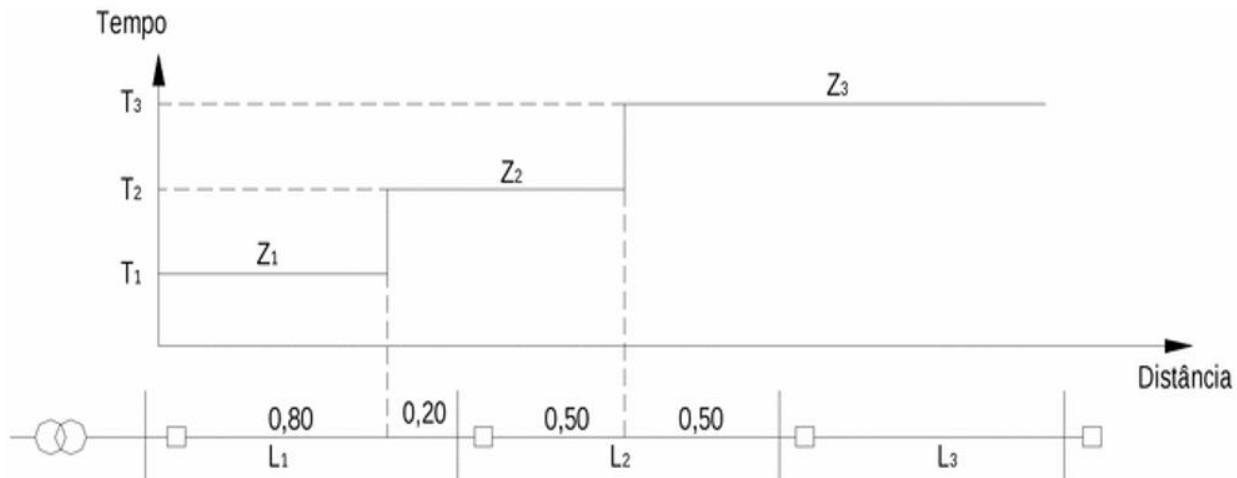


Figura 28 – Temporizações das zonas de proteção.

Vale ressaltar que um relé de distância normalmente apresenta três partes principais (a) unidade de partida; (b) pelo menos três unidades de impedância ajustáveis (Z e temporização) independentes (Zona 1, 2 e 3); e (c) unidades auxiliares (sinalização, bloqueio de contatos, etc.).

5.5.12.5. Pontos a Serem Considerados na Aplicação de Relés de Distância

Apresenta-se a seguir alguns dos principais pontos a serem observados quando da aplicação de relés de distância:

- a) Faltas muito próximas do relé (tensão muito baixa);
- b) Elevada impedância de curto-círcuito;
- c) Falta de transposição ou transposição inadequada;
- d) Oscilação de potência;
- e) Efeito da saturação de TCs;
- f) Impedância mútua;
- g) Resistência de arco;
- h) Derivações de linhas;
- i) Efeito infeed/outfeed;

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	35 de 57

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

- j) Variações de temperatura ambiente e condições de resfriamento dos condutores (direção e velocidade do vento).

5.5.13. Relé de Frequência

São relés que operam quando a frequência do sistema cai (relé de subfrequência) abaixo ou ultrapassa (relé de sobrefrequência) um valor preestabelecido ou ajustado.

5.5.13.1. Função ANSI

O número que expressa a função ANSI do relé de frequência é o 81.

5.5.13.2. Polarização

A polarização do relé de frequência é por tensão.

5.5.13.3. Conexão

A conexão do relé de frequência é apresentada no esquema unifilar da Figura 29.

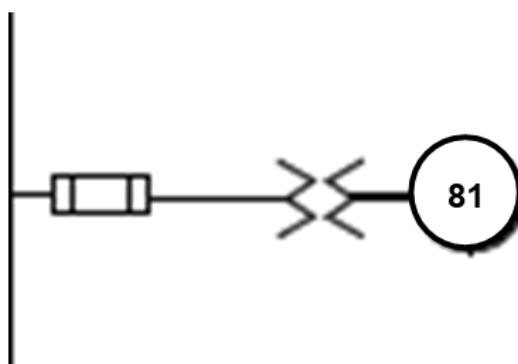


Figura 29 – Esquema unifilar do relé de frequência.

A aplicação deste relé é feita em sistemas em que existe a possibilidade de haver perda parcial de geração e tal condição não possa ser tolerada por certo tempo. Outra aplicação desta proteção é feita em sistemas em que há a necessidade de rejeição de cargas (load shedding), com o objetivo de descartar cargas de forma a recuperar a frequência do sistema.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	36 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

5.6. Fusível

5.6.1. Definição

É um dispositivo utilizado para a proteção de sobrecorrente em circuitos, fundamentalmente contra curto-circuito, e é constituído de um elemento condutor que se funde e interrompe o circuito quando a corrente atinge valores acima da sua capacidade nominal. Podem ser retardados, rápidos, ultrarrápidos, limitadores de corrente, etc.

5.6.2. Curvas Características

Os fusíveis apresentam quatro curvas características tempo versus corrente. A saber: (a) tempo mínimo de fusão; (b) tempo máximo de fusão; (c) tempo total para extinção de arco; e (d) característica de curta duração. Veja as curvas características na Figura 30.

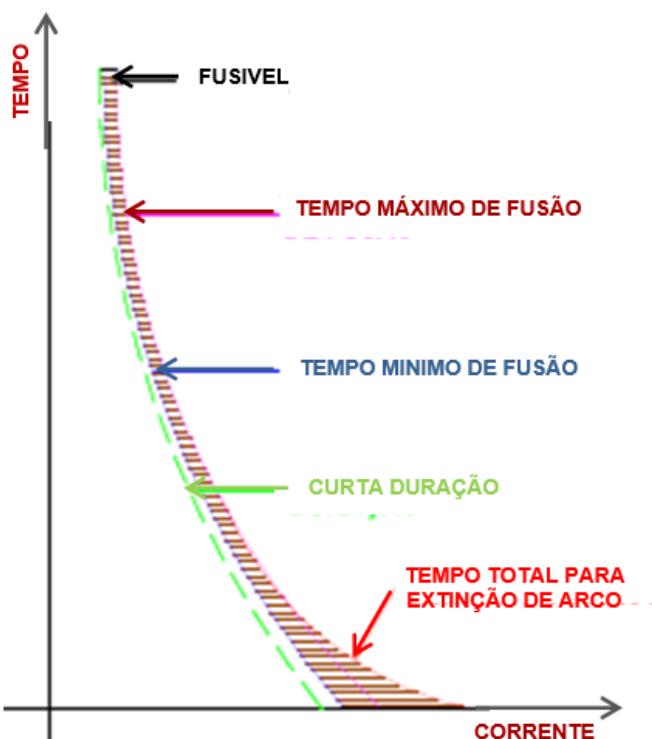


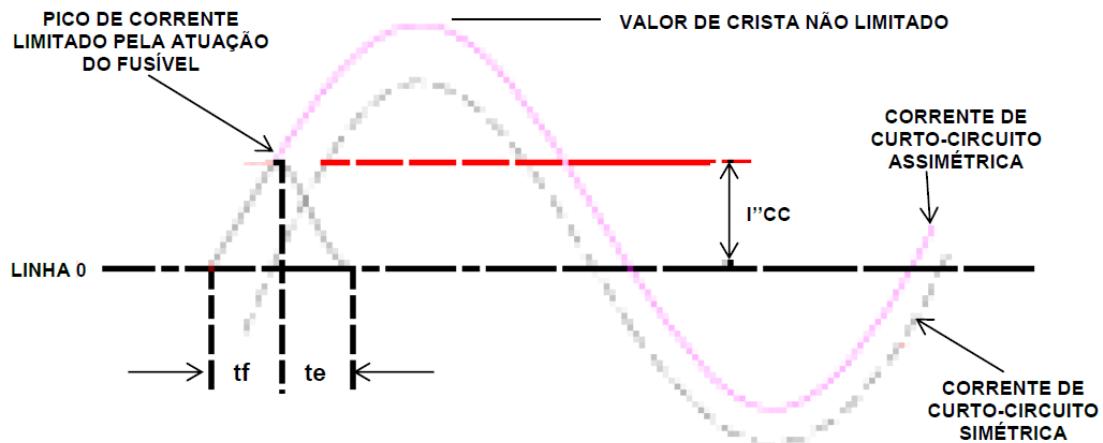
Figura 30 – Curvas características do fusível.

5.6.3. Fusível Limitador de Corrente

O fusível limitador de corrente é um dispositivo que pode interromper a corrente de curto-circuito em tempos da ordem de 1/4 de ciclo, não deixando a corrente de curto-circuito atingir o seu valor de pico máximo, como ilustra a Figura 31.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	37 de 57

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---



$I''CC$ = CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO INICIAL EM CA,
EM A (VALOR EFETIVO) NO LOCAL DE MONTAGEM

tf = TEMPO DE FUSÃO

te = TEMPO DE EXTINGÇÃO

$$T_{total} = tf + te - \frac{1}{4} \text{ ciclo} \quad (\text{EFEITO LIMITADOR})$$

Figura 31 – Efeito limitador do fusível – 1/4 de ciclo para eliminar a falta.

Na Figura 32 (conhecida também como peak let-through current chart) mostra-se que sem limitação o valor da corrente de curto-círcuito pode atingir valores de 42 kA de pico (Ponto A). Utilizando-se um fusível limitador com calibre de 160 A, o valor da corrente de pico irá ficar limitada a 12 kA de pico (Ponto B).

 Interno	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

CÁLCULO DA LIMITAÇÃO DE CORRENTE

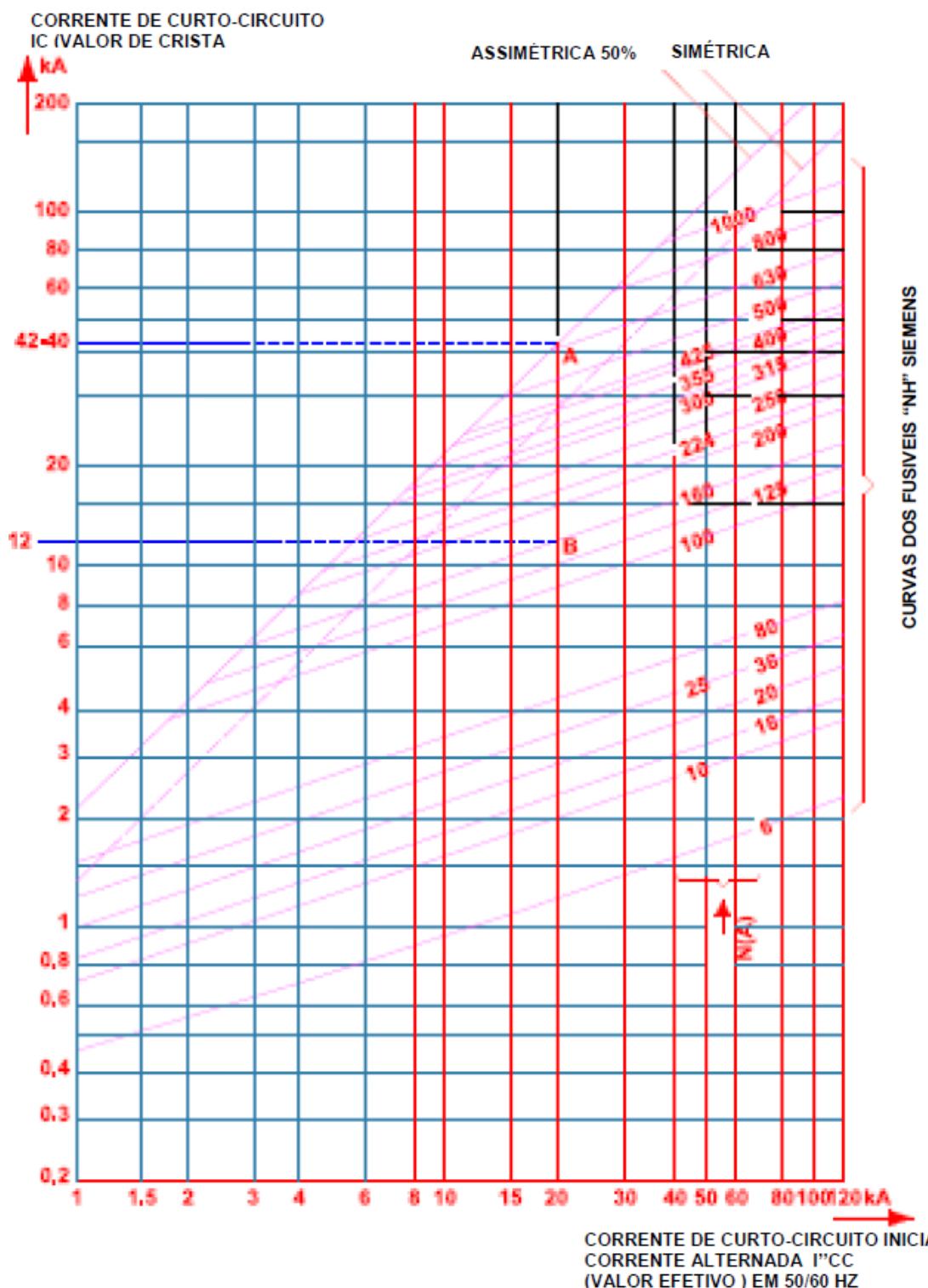


Figura 32 – Efeito limitador. Corrente de crista (pico) fica limitada.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	39 de 57

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

5.6.4. Seletividade entre Fusíveis

a) Na Zona de Sobrecarga

Fusíveis da mesma categoria de utilização e diferentes correntes nominais têm características paralelas; a seletividade é obtida por comparação entre as características tempo-corrente.

É preciso conferir que nas curvas tempo-corrente para fusíveis de diferentes categorias de utilização (Figura 33), não pode haver superposição. Essa verificação da seletividade entre fusíveis é válida para tempos de operação $t \geq 0,1$ s.

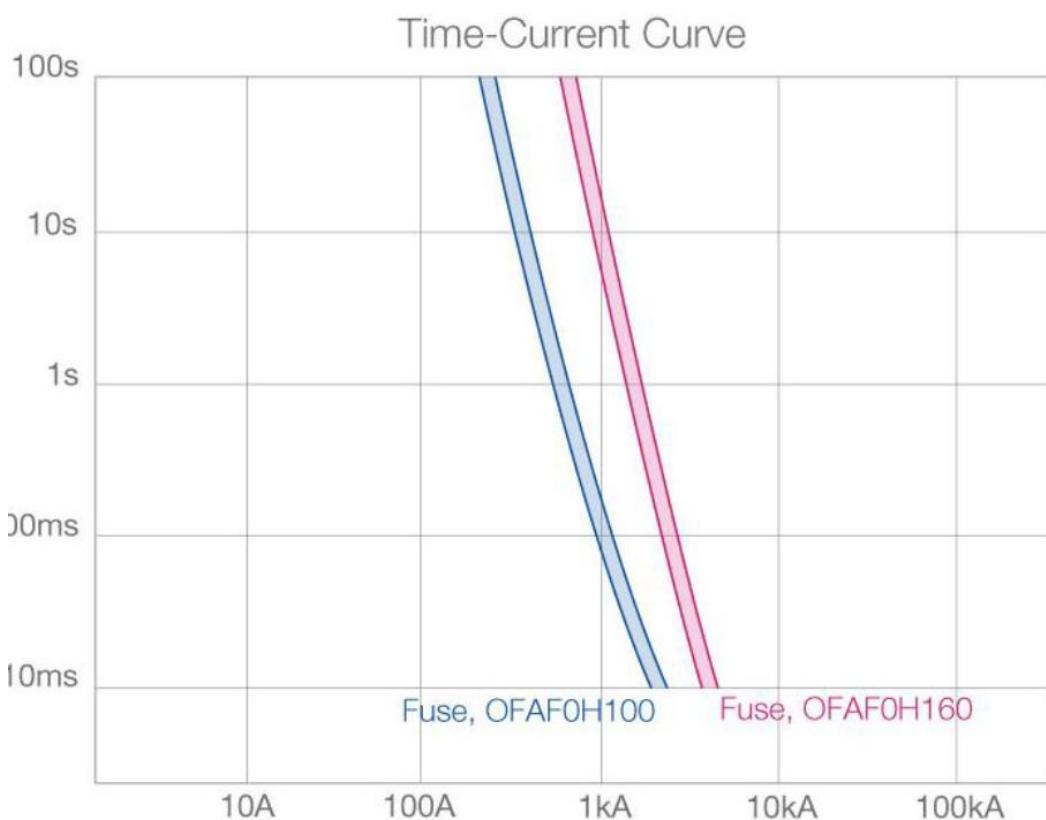


Figura 33 – Seletividade entre fusíveis na zona de sobrecarga

b) Na Zona de Curto-Circuito

Determina-se a seletividade a partir das características de energia circulante I^2t . O limite da corrente de seletividade é o valor para o qual o I^2t de operação total do fusível a jusante excede o I^2t pré-abertura de arco do fusível a montante (Figura 34).

Na zona de curto-círcito a energia circulante por um fusível é constante e, por isso, a comparação é possível entre os valores tabelados informados pelo fabricante. I^2t pré-arco

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	40 de 57

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

independe da tensão e da corrente nesta zona, mas I^2t de abertura de arco depende da tensão do sistema, o que afeta o valor operacional total.

No caso de fusíveis do mesmo tipo aderentes à IEC 60269-2, verifica-se seletividade total quando a corrente nominal do fusível a montante é de 1,6 vezes a corrente nominal do fusível a jusante.

$$(I^2t)_{\text{TEMPO TOTAL ELIMINAÇÃO FUSIVEL 1}} < (I^2t)_{\text{TEMPO MÍNIMO FUSÃO FUSIVEL 2}}$$

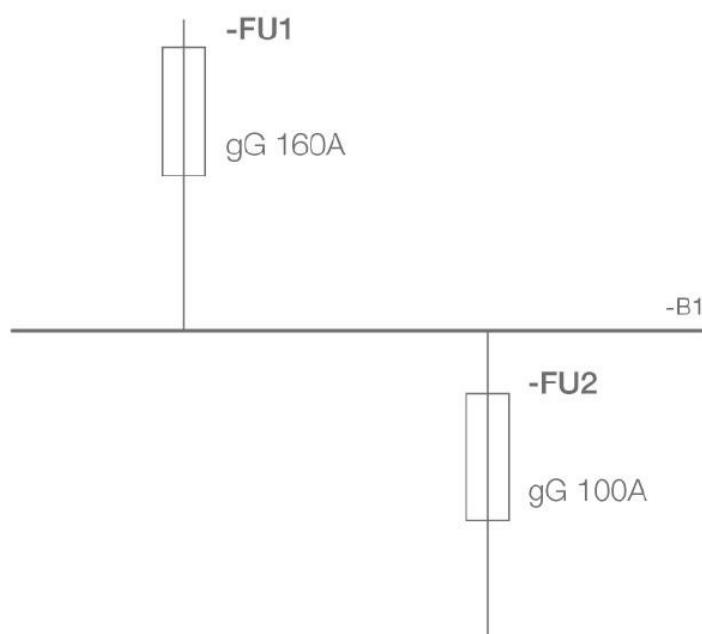


Figura 34 – Seletividade entre fusíveis na zona de curto-circuito.

Deve-se sempre consultar as tabelas fornecidas pelos fabricantes (tabelas de relação de calibre para seletividade). Na falta destas, ou em etapas de projeto em que ainda não se dispõe do fabricante, o IEEE Std 242 mostra também algumas relações.

5.6.5. Elos Fusíveis

Constituem uma forma barata de proteção e consistem basicamente de um elemento fusível colocado em um invólucro. Não apresentam elevada capacidade de interrupção e são utilizados em redes de distribuição, principalmente aéreas.

A norma brasileira NBR-5359 (EB 123) da ABNT prescreve três tipos de elos fusíveis de distribuição: elo tipo H, K e T. Os elos do tipo H são do tipo “alto surto”. São utilizados na proteção de transformadores e pequenos bancos de capacitores (Figura 35). Os elos tipo K são do tipo “rápido” (Figura 36, Figura 37, Figura 38). Os elos tipo T são do tipo “lento” (Figura 39, Figura 40, Figura 41). São utilizados para a proteção de alimentadores e ramais. Os elos tipo K e T suportam continuamente aproximadamente 150% do valor de seus respectivos

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	41 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
Área de Aplicação: Automação e Medição
Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

elos. Os elos tipo H suportam continuamente aproximadamente 100%. Os elos tipo K e T começam a operar a partir de $2,0 \times I_{n}$. Os elos tipo H começam a operar a partir de $1,5 \times I_{n}$. Deve-se sempre consultar a curva tempo x corrente fornecida pelo fabricante.

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

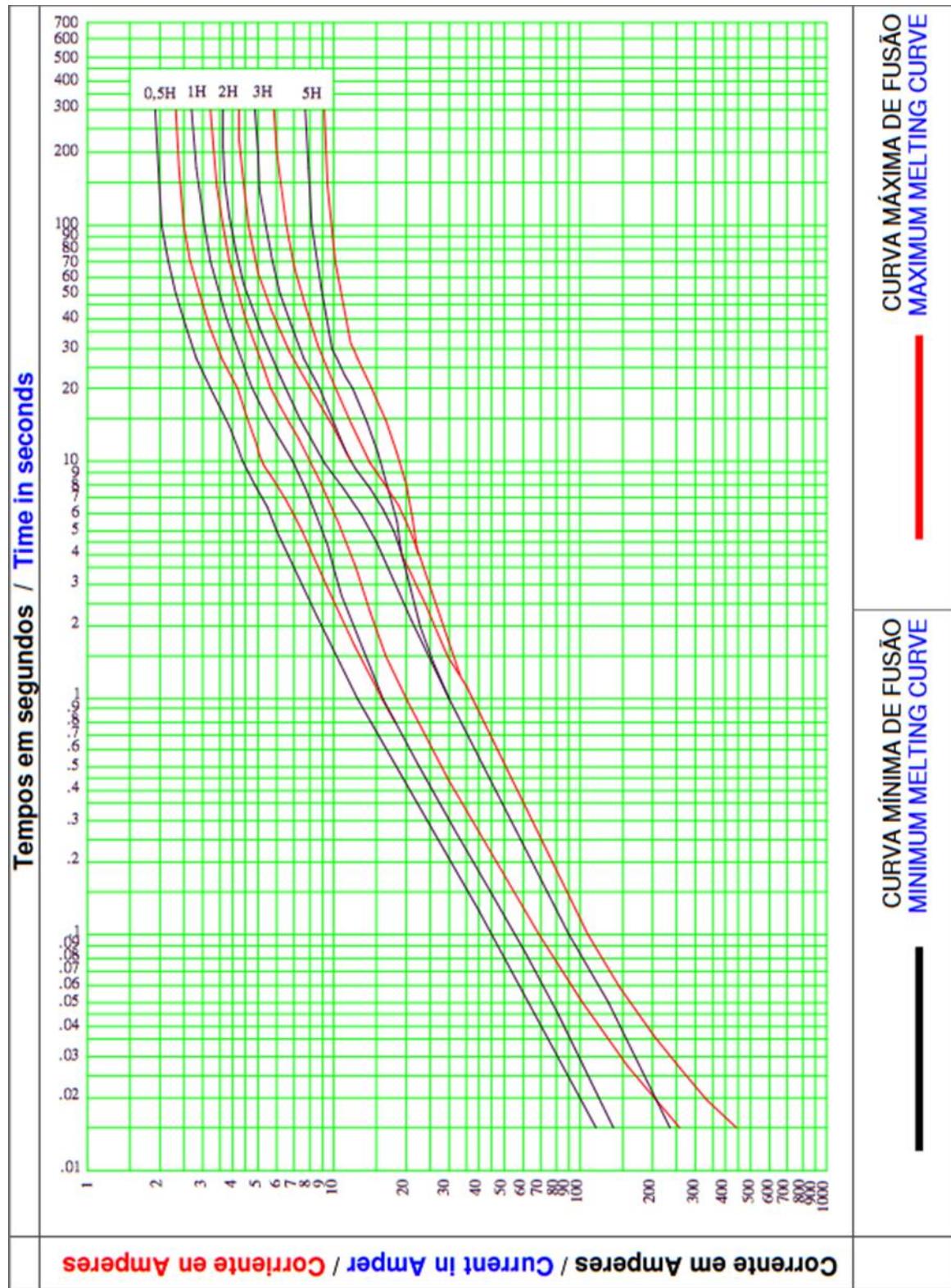


Figura 35 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo H (0,5H - 1H - 2H - 3H - 5H).



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

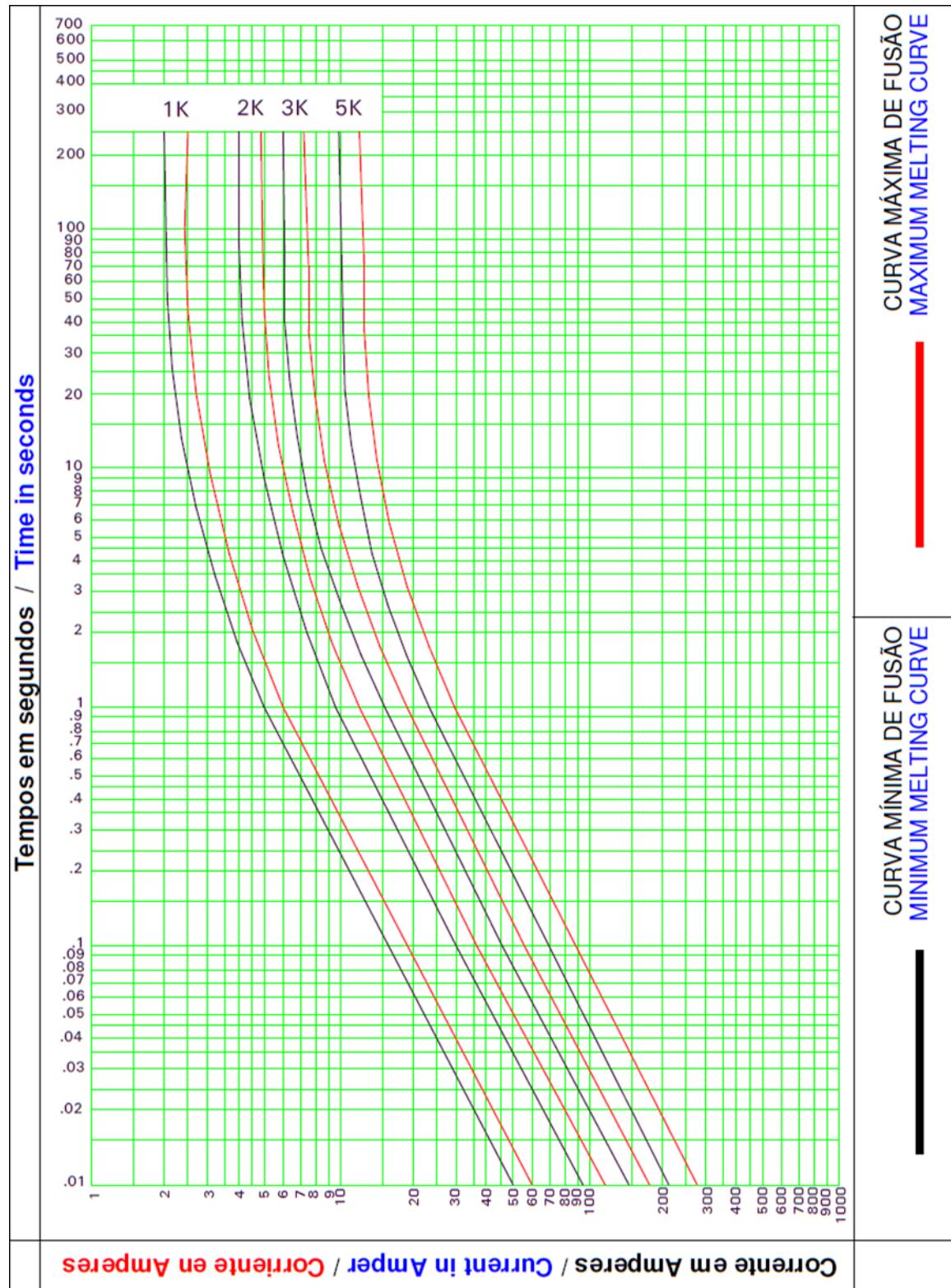


Figura 36 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo K (1K - 2K - 3K - 5K).

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

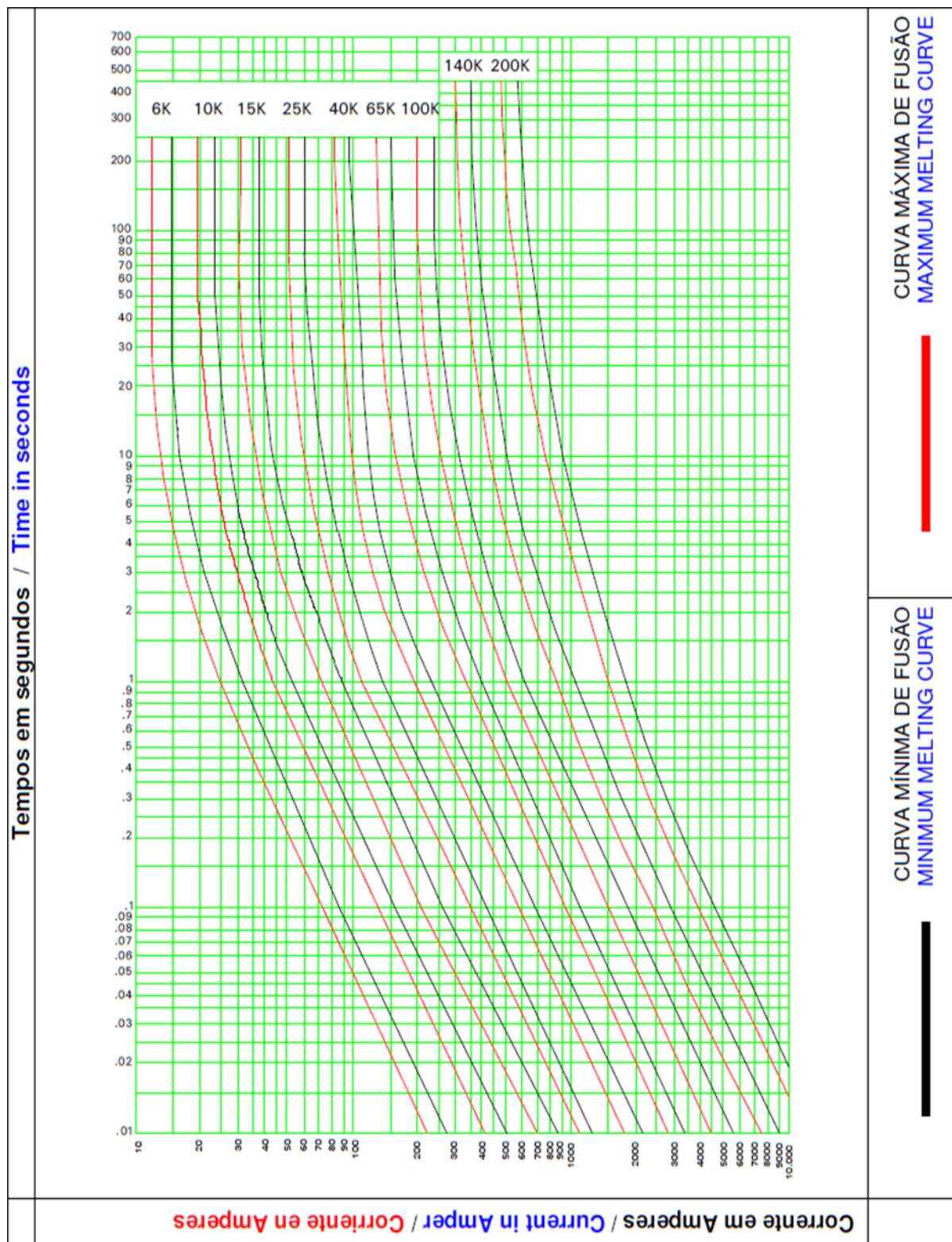


Figura 37 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo K (6K - 10K - 15K - 25K - 40K - 65K - 100K).



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

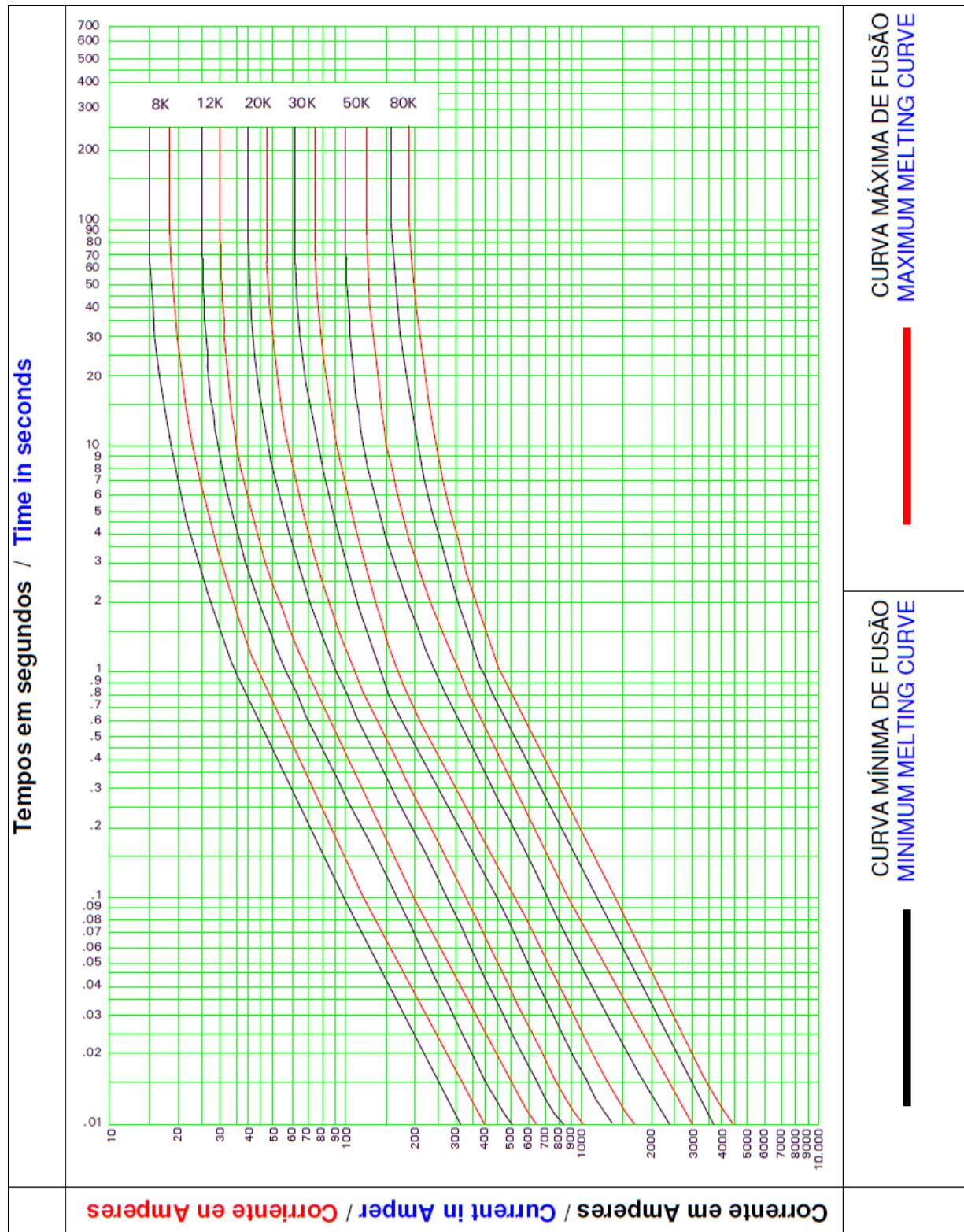


Figura 38 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo K (8K - 12K - 20K - 30K - 50K - 80K).



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

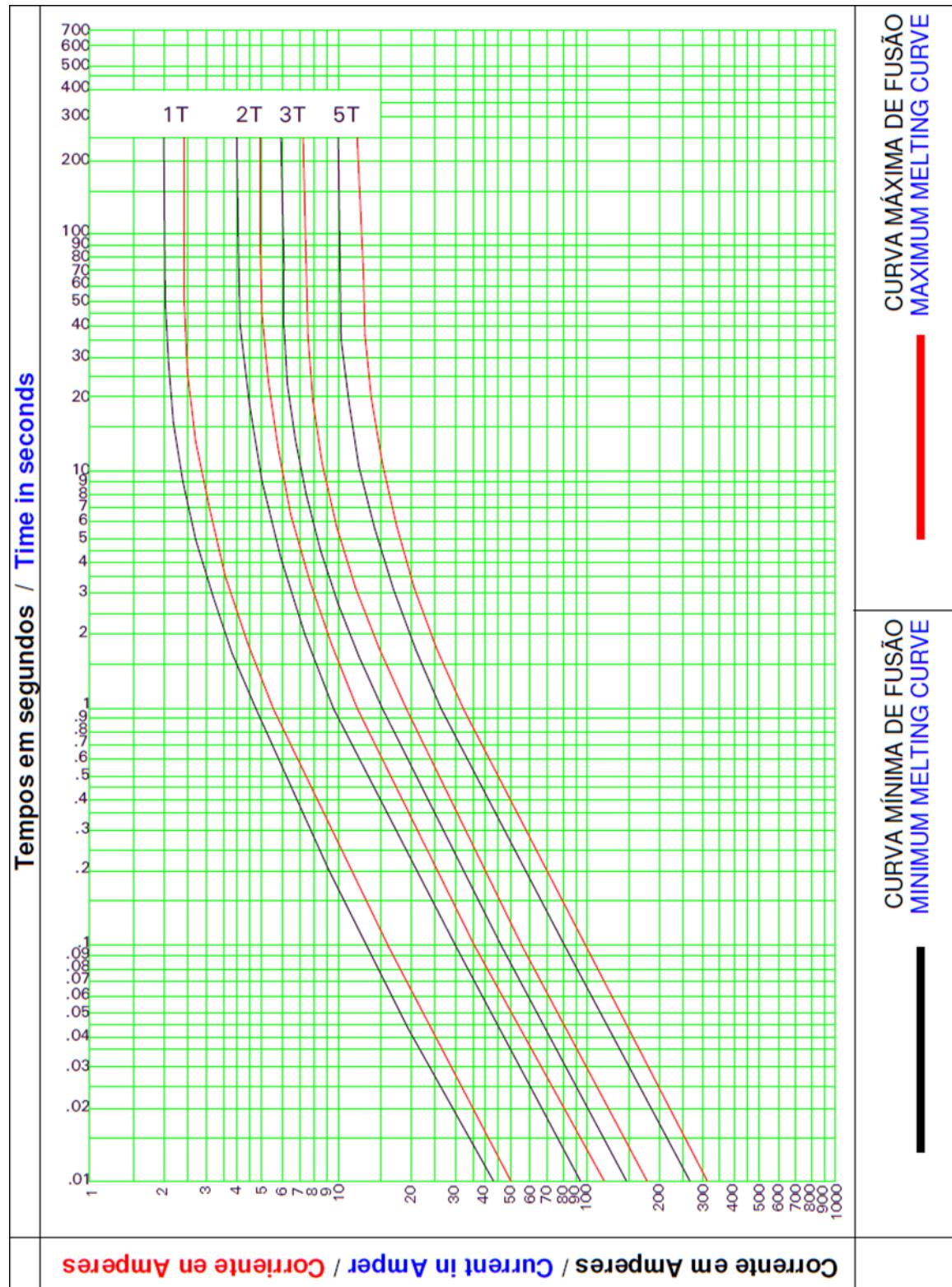


Figura 39 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo T (1T - 2T - 3T - 5T).



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

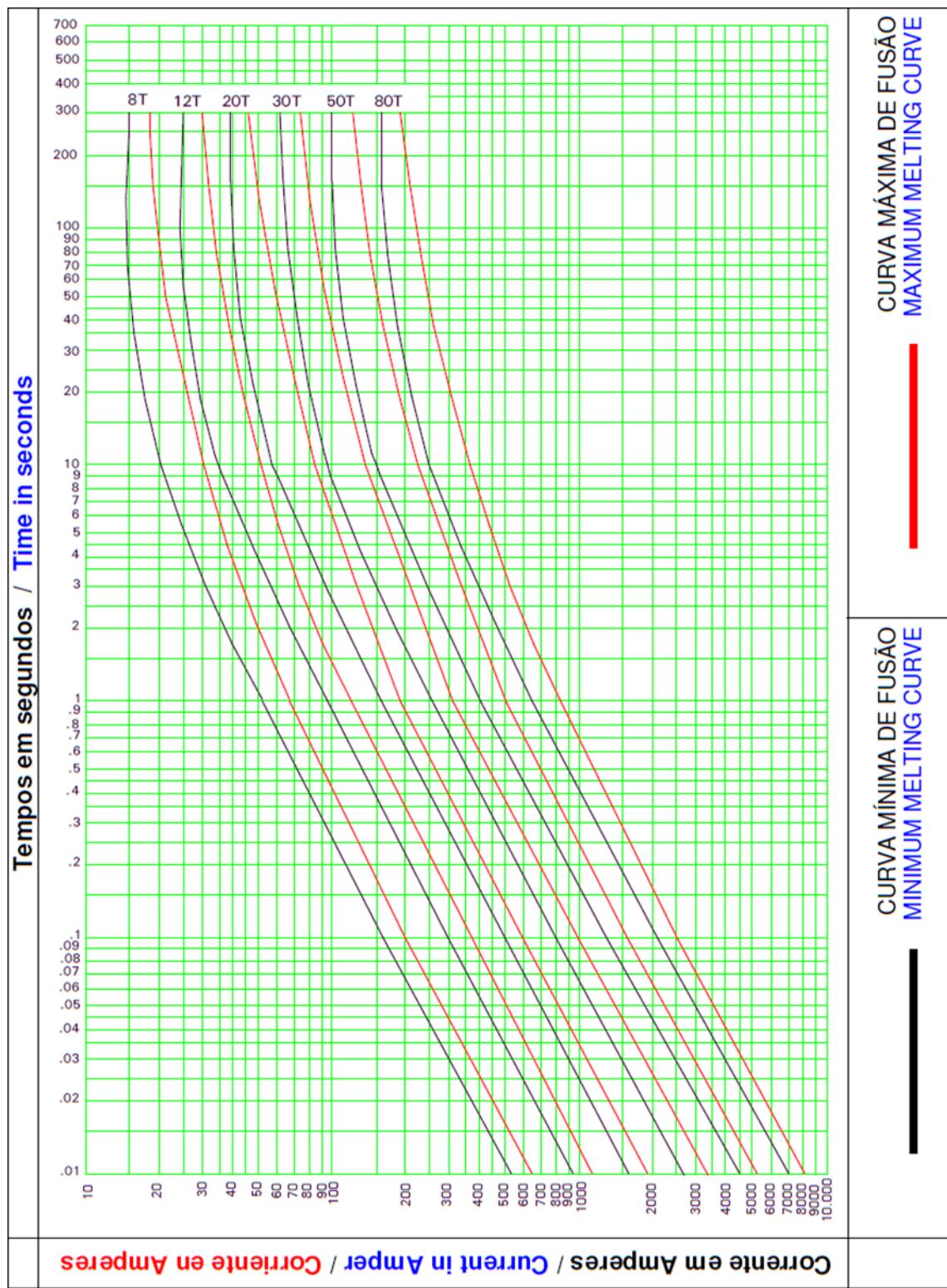


Figura 40 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo T (8T - 12T - 20T - 30T - 50T - 80T).



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

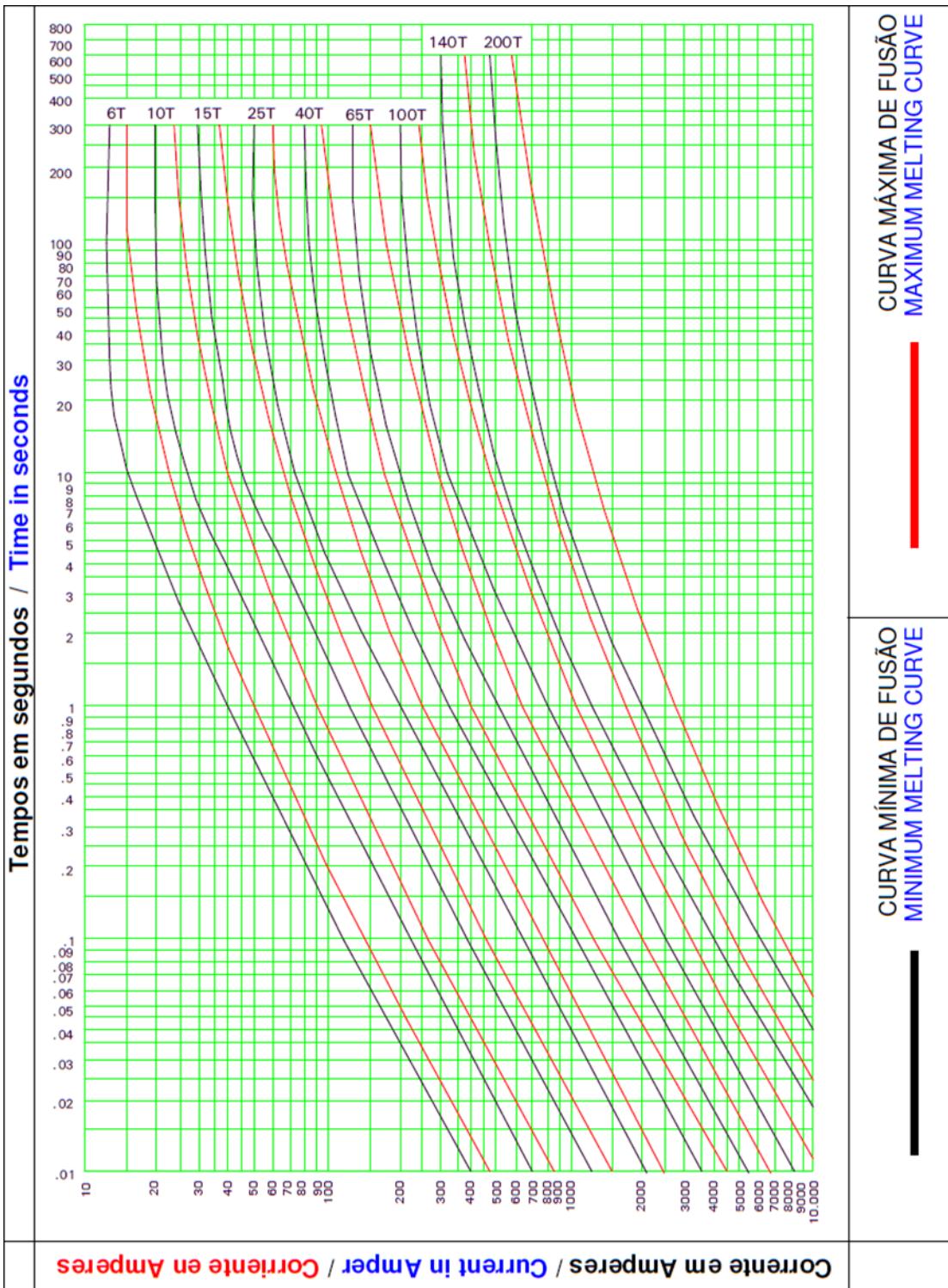


Figura 41 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo T (6T - 10T - 15T - 25T - 40T - 65T - 100T - 140T - 200T).

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

Apresenta-se a seguir as tabelas de coordenação entre elos fusíveis de distribuição.

Tabela 2 – Coordenação entre elos fusíveis do tipo K.

Elo a montante	10 K	12 K	15 K	20 K	25 K	30 K	40 K	50 K	65 K	80 K	100 K	140 K	200 K
Elo a jusante													
6 K	190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8 K		210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
10 K			300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
12 K				320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
15 K					430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
20 K						500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200
25 K							660	1350	2200	2800	3900	5800	9200
30 K								850	1700	2800	3900	5800	9200
40 K									1100	2200	3900	5800	9200
50 K										1450	3900	5800	9200
65 K											2400	5800	9200
80 K												4500	9200
100 K												2000	9100
140 K													4000

Tabela 3 – Coordenação entre elos fusíveis do tipo T.

Elo a montante	10 T	12 T	15 T	20 T	25 T	30 T	40 T	50 T	65 T	80 T	100 T	140 T	200 T
Elo a jusante													
6 T	350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8 T		375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
10 T			530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
12 T				680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
15 T					730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700	15200
20 T						900	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200
25 T							1400	2600	4100	5000	6100	9700	15200
30 T								1500	3100	5000	6100	9700	15200
40 T									1700	3800	6100	9700	15200

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	50 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

50 T										1750	4400	9700	15200
65 T										2200	9700	15200	
80 T											7200	15200	
100 T											4000	15200	
140 T												7500	

Tabela 4 – Coordenação entre elos fusíveis do tipo K e H.

Elo a montante	8 K	10 K	12 K	15 K	20 K	25 K	30 K	40 K	50 K	65 K	80 K	100 K	140 K	200 K
Máxima Corrente de Falta - Ampère														
1 H	125	230	380	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
2 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
3 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
5 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200

Tabela 5 – Coordenação entre elos fusíveis do tipo T e H.

Elo a montante	8 T	10 T	12 T	15 T	20 T	25 T	30 T	40 T	50 T	65 T	80 T	100 T	140 T
Máxima Corrente de Falta - Ampère													
1 H	400	520	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
2 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
3 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
5 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
8 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

Tabela 6 – Elos fusíveis do tipo H para transformadores monofásicos em 13,2 kV.

Potencia (kVA)	Conectados	
	Fase-Neutro	Fase-Fase
5	-	-
10	1 H	-
15	2 H	1 H
25	5 H	2 H

Tabela 7 – Elos fusíveis do tipo H e K para transformadores trifásicos em 13,2 kV.

Potencia (kVA)	Elo
10	-
15	-
30	1 H
45	2 H
75	5 H
112,5	6 K
150	6 K
200	10 K
225	12 K
500	20 K
750	30 K
1000	40 K

5.7. Características dos Relés Digitais

Os relés digitais são considerados a terceira geração dos relés estáticos. Estes relés utilizam como base os microprocessadores. A primeira geração dos relés digitais (estáticos) é aquela em os equipamentos utilizavam os transistores, enquanto a segunda geração fez uso dos circuitos integrados e amplificadores operacionais.

Devido à grande flexibilidade dos microprocessadores, um mesmo relé pode exercer várias funções, tais como: controle, gravação dos dados amostrados, informação de eventos e diferentes funções de proteção. Os dados são armazenados no hardware e diferentes programas podem ser executados simultaneamente ou não neste mesmo hardware. Estes dados armazenados podem ser periodicamente retirados da memória (devido ao limite da capacidade de dados armazenados) para que novos dados possam ser gravados sem perda de informação. Como os dados estão armazenados, e não oscilografados e impressos podem ser tratados (através de processamentos matemáticos dos sinais e/ou filtragem) para ser

 Interno	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

obter diversos resultados que facilitem a análise dos operadores do sistema e engenheiros de proteção.

Na Figura 42 a seguir, uma estrutura mostrando a integração dos sistemas de supervisão, controle, medição e proteção com o sistema de energia elétrica.

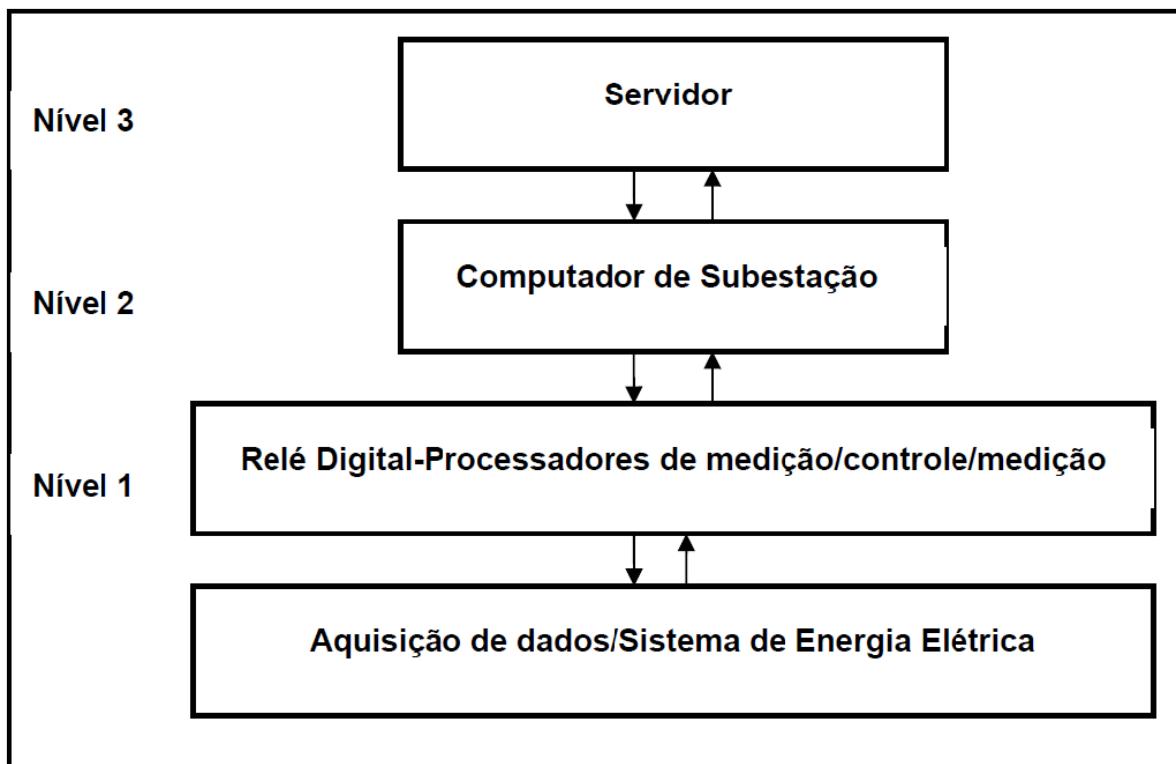


Figura 42 – Estrutura hierárquica dos níveis da proteção digital.

As funções de cada nível são:

- a) Nível 1
 - i. Funções de medição, controle, automação e proteção;
 - ii. Funções de diagnóstico através de informações vindas do sistema;
 - iii. Informações fornecidas aos equipamentos do sistema;
 - iv. Interface homem-máquina;
 - v. Comunicações com o nível 2.
- b) Nível 2
 - i. Funções de suporte aos processadores no nível 1;

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	53 de 57

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico Área de Aplicação: Automação e Medição Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção
---	---

- ii. Aquisição, processamento e armazenamento de dados;
 - iii. Análise de sequência de eventos;
 - iv. Comunicação com os níveis 1 e 3.
- c) Nível 3
- i. Ações de controle de sistema;
 - ii. Coleta e processamento de dados;
 - iii. Análise de sequência de eventos;
 - iv. Montagem de registros dos dados adquiridos;
 - v. Elaboração de relatórios;
 - vi. Organização das comunicações com os níveis 1 e 2;
 - vii. Proteção adaptativa.

O relé digital é formado por subsistemas que desenvolvem funções específicas, tais como: armazenamento de dados, processamentos dos dados, filtros, conversão analógico/digital. Os subsistemas são apresentados na Figura 43.

O processador é o principal subsistema do relé digital, sendo responsável pela execução do programa, comunicação com os equipamentos periféricos, bem como coordenação das várias funções existentes no relé.

A memória RAM (Memória de Acesso Aleatório) armazena os dados amostrados. Ela também é usada durante a execução do algoritmo do relé. As memórias ROM (Memória Apenas de Leitura) e PROM (ROM Programável) são usadas para armazenar programas permanentes do relé chamados de firmware. Se o tempo de leitura é pequeno, o programa deve ser executado na própria ROM. Caso contrário, o programa deve ser copiado para a RAM no estágio de inicialização e então executado. A EPROM (PROM apagável eletricamente) é usada com o objetivo de armazenar certos dados, que podem ser mudados de tempos em tempos, como por exemplo, os ajustes dos relés.

O Conversor Analógico/Digital (A/D) tem o objetivo de converter as grandezas analógicas adquiridas em grandezas digitais que serão manipuladas pelo sistema microprocessado. Com o objetivo de se extrair a componente de frequência fundamental dos sinais amostrados, a proteção digital faz uso da Transformada Discreta de Fourier (TDF), entre outras transformadas, tais como cosseno e seno. Essas transformadas podem ser aplicadas na descrição do conteúdo de frequência dos sinais de entrada de forma a obter o fasor associado a esse sinal.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
17350	Instrução	1.2	Eduardo Henrique Trepodoro	30/06/2022	54 de 57



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

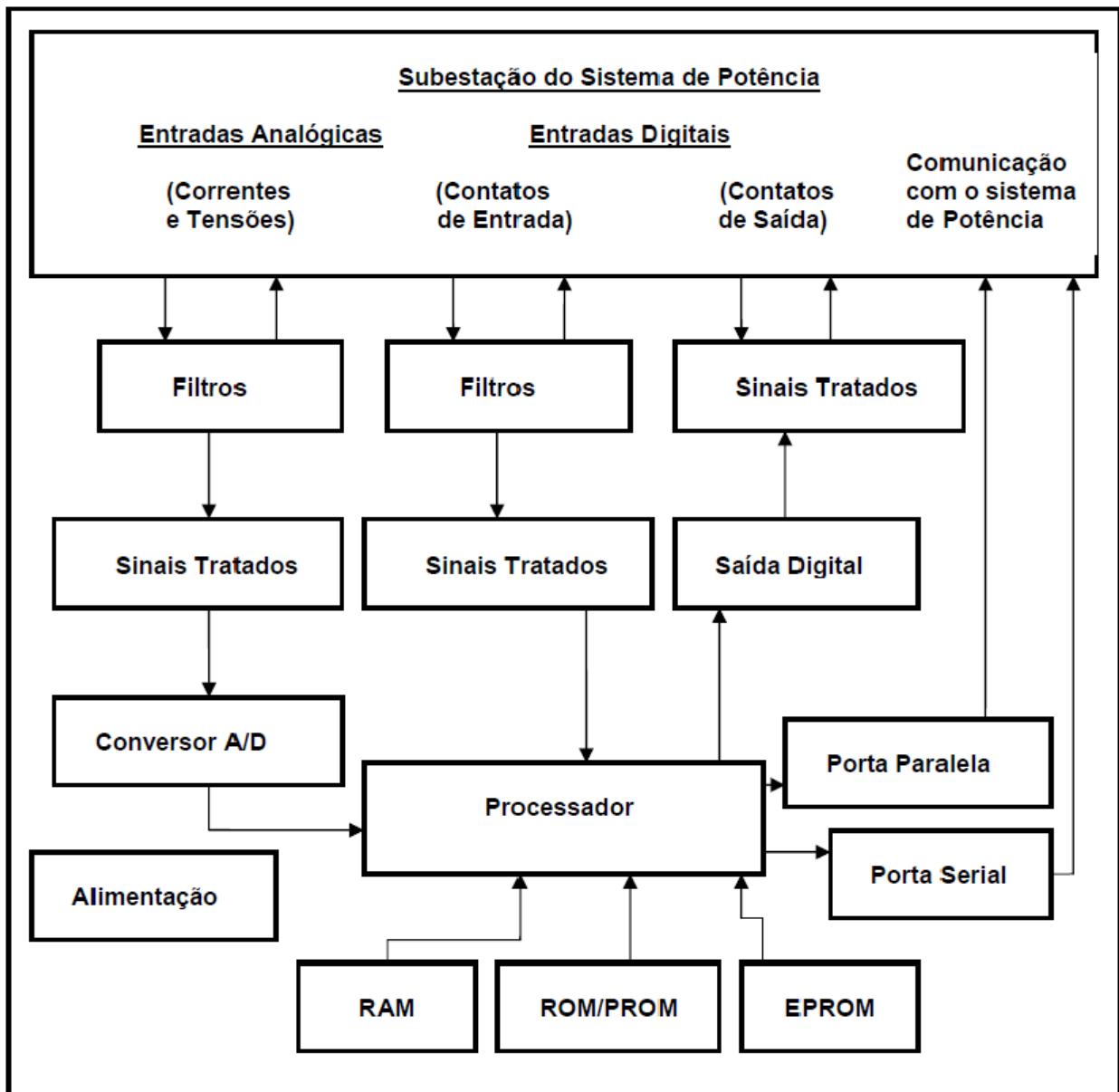


Figura 43 – Subsistemas de um relé digital.

5.7.1. IEDs

Os IEDs, como mencionado na terminologia, são os Intelligent Electronic Devices, ou seja, são dispositivos eletrônicos inteligentes que, por serem microprocessados e com elevada velocidade de processamento (> 600 MHz), englobam uma série de funções, tais como medição, comando/controle, monitoramento, religamento, comunicação e proteção, permitem elevada quantidade de entradas analógicas (sinais de tensão e corrente) e elevada quantidade de entradas/saídas (I/O) digitais. Normalmente, estes dispositivos são voltados para a automação e já foram projetados dentro dos padrões da norma IEC 61850.

 <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

Tabela 8 – Exemplos de funções de proteção conforme IEC 61850.

IEC	ANSI
PTOC	51
PTOC	51N
PTOC	67
PTOV	59
PTOV	59N
PDIS	21
PDIF	87
PTR	49

5.8. Descrição das Funções ANSI

Tabela 9 – Funções ANSI.

1	Elemento principal	2	Relé de partida ou fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou interbloqueio	4	Contator
5	Dispositivo de parada	6	Disjuntor de partida
7	Disjuntor de anodo	8	Dispositivo de desconexão da energia de controle
9	Dispositivo de reversão	10	Chave de sequência
11	Reservada para futura aplicação	12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação síncrona	14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência	16	Reservada para futura aplicação
17	Chave de derivação ou de descarga	18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contator de transição partida-marcha	20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância	22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura	24	Reservado para futura aplicação
25	Dispositivo de <i>check</i> de sincronismo	26	Dispositivo térmico do equipamento



Tipo de Documento: Relatório Técnico
 Área de Aplicação: Automação e Medição
 Título do Documento: Conceitos Básicos Sobre Dispositivos de Proteção

27	Relé de subtensão	28	Reservado para futura aplicação
29	Contator de isolamento	30	Relé anunciador de alarme
31	Dispositivo de excitação em separado	32	Relé direcional de potência
33	Chave de posição	34	Chave de sequência, operada por motor
35	Dispositivo para operação das escovas ou para curto-circuitar os anéis coletores	36	Dispositivo de polaridade

6. REGISTRO DE ALTERAÇÕES

6.1. Colaboradores

Empresa	Área	Nome
CPFL Paulista	RESM	Paulo Cesar Scarassati
CPFL Paulista	RESM	Newton José de Salles
CPFL Paulista	RESM	Tiago dos Santos Silverio Lino

6.2. Alterações

Versão Anterior	Data da Versão Anterior	Alterações em relação à Versão Anterior
-	-	Emissão inicial
1.0	26/10/2017	Revisão e adequação ao GED 0