

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

SEBASTIÃO PAULO DOS SANTOS

**TECNOLOGIA EM RELIGAMENTO DE REDES DE
DISTRIBUIÇÃO**

Itatiba
2012

SEBASTIÃO PAULO DOS SANTOS – R.A. 002200600267

**TECNOLOGIA EM RELIGAMENTO DE REDES DE
DISTRIBUIÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Annete Silva Faesarella

Itatiba
2012

SEBASTIÃO PAULO DOS SANTOS

**TECNOLOGIA EM RELIGAMENTO DE REDES DE
DISTRIBUIÇÃO**

Monografia aprovada pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data da Aprovação: ___/___/___

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Annete Silva Faesarella (Orientadora)

Universidade São Francisco

Prof. Ms. Renato Franco de Camargo (Examinador)

Universidade São Francisco

Prof. Dr. Washington Luiz Alves Corrêa (Examinador)

Universidade São Francisco

Dedico a minha mãe, Maria Auxiliadora Pereira, que iluminou meu caminho obscuro com afeto e dedicação para que eu o trilhasse sem medo e cheio de esperança. E com seus esforços e determinação, muitas vezes renunciou seus sonhos, para que eu realizasse os meus.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter chegado ao fim dessa jornada.

Agradeço a Professora Dra. Annete Silva Faesarella pela sua paciência e dedicação ao me orientar.

Agradeço o Professor Ms. Renato Franco de Camargo pelas orientações da primeira parte do trabalho.

Agradeço a minha família que sempre me deu apoio e força pra chegar ate aqui.

Agradeço aos meus amigos, Nadir, André, Davi e Willan que sempre me ajudaram nas horas difíceis.

Enfim agradeço a todos que me deram apoio.

RESUMO

Paulo, Sebastião dos Santos. **Tecnologia em Religamento de Redes de Distribuição**. Itatiba, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, 2012.

Os serviços prestados pelas distribuidoras de energia elétrica no Brasil muitas vezes são motivos de reclamações e questionamentos sobre a qualidade da energia distribuída. Com o avanço da tecnologia, a sensibilidade dos equipamentos relacionados à proteção de sistemas elétricos de energia aumentou e, portanto, a qualidade da energia a que estes dispositivos são submetidos, devem ser analisadas criteriosamente. Serão apresentadas neste trabalho, as novas tecnologias implantadas no sistema elétrico, como é o caso dos religadores automáticos e os benefícios que esses religadores trazem para as concessionárias de energia elétrica. Com a aplicação desses religadores reduziu-se o número de equipes de manutenção e também o tempo de atendimento para normalização de falhas na rede elétrica.

Palavra-chave: energia elétrica, distribuição, tecnologias.

ABSTRACT

Paulo, Sebastião dos Santos. **Reclosing Technology of Networks Distribution**. Itatiba, 2012. Final Paper, University São Francisco, 2012.

The services provided by electric Energy Companies in Brazil, sometimes are reasons of complaints and questions about quality of energy distribution. With the advancement of technology, the sensibility about electric devices with relation the protection of Electric Energy Systems increase and therefore the quality of energy that these electric devices are submitted must be carefully analyzed. Will be showed in this study the new technologies used in the Electric System, as is the case of automatics reclosers and the benefits to the Electric Energy Companies. With application these reclosers the number of maintenance teen reduce and service time to normalize troubles in Electric Network too.

Word–Key: *electric power, distribution, technologies.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI - *American National Standards Institute*

DEC – Duração Equivalente por Consumidor

EHD – Eletricista Habilitado da Distribuição

FEC – Frequência Equivalente por Consumidor

RAI – Relé de Alta Impedância (51NS)

RL - Religador

SL - Seccionador

TC's - Transformadores de Corrente

50 – Relé de sobrecorrente instantâneo de fase

51 – Relé de sobrecorrente temporizado de fase

50N – Relé de sobrecorrente instantâneo de neutro

51N – Relé de sobrecorrente temporizado de fase

86 – Relé de bloqueio

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Subestação Abaixadora.....	2
Figura 2: Transformadores de Força.....	3
Figura 3: Relé de Sobrecorrente.....	4
Figura 4: Relé de Bloqueio.....	5
Figura 5: Disjuntor de alta tensão 138kV.....	6
Figura 6: Disjuntor a Óleo.....	7
Figura 7: Disjuntor com meio de extinção do arco elétrico por SF ₆	8
Figura 8: Disjuntor com meio de extinção do arco elétrico por vácuo.....	9
Figura 9: Religador da marca Cooper.....	14
Figura 10: Chave fusível.....	15
Figura 11: Elo fusível.....	16
Figura 12: Sequência dos equipamentos instalados na rede.....	17
Figura 13: Esquema dos equipamentos quando atua abre seus contatos.....	18
Figura 14: SL monofásico e SL trifásico.....	18
Figura 15: Seccionador Hidráulico.....	19
Figura 16: Seletividade entre os equipamentos de proteção.....	19
Figura 17: Diagrama Unifilar de Alimentadores com Religadores	28
Figura 18: Esquema de religamento com religadores automáticos	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sequência de operação.....	20
--------------------------------------	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Subestação Abaixadora.....	2
2.2 Função da Subestação Abaixadora.....	3
2.3 Relés de Proteção.....	3
2.3.1 Relé de Sobrecorrente.....	3
2.3.1.1 Princípio de Funcionamento.....	4
2.3.2 Relé de Subtensão e Sobretensão.....	5
2.3.3 Relé de Bloqueio.....	5
2.3.4 Relé de Alta Impedância (51NS) – RAI.....	6
2.4 Disjuntores de alta tensão.....	6
2.4.1 Disjuntores a Óleo Isolante.....	7
2.4.2 Disjuntor Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆).....	8
2.4.3 Disjuntor a Vácuo.....	9
2.5 Religamento Automático.....	10
2.5.1 Introdução.....	10
2.5.2 Proteção de Alimentadores.....	11
2.5.3 Lógica do Esquema de Religamento Automático.....	11
2.6 Religadores Automáticos.....	12
2.6.1. Benefícios com Aplicação de Religadores.....	13
2.7 Chaves Fusíveis.....	14
2.7.1 Elo Fusível.....	15
2.7.2 Principais Componentes.....	16
2.8 Seccionadores (SL).....	16
2.9 Coordenação e Seletividade.....	19
2.9.1 Seletividade Fusível (lado fonte) / Religador.....	20
2.9.2 Coordenação Religador / Fusível.....	20
2.9.3 Coordenação Religador / Religador.....	21
2.9.4 Seletividade Relé / Fusível.....	22
2.9.5 Seletividade Relé / Religador.....	22
2.9.6 Coordenação Religador / Seccionalizador.....	23
2.9.7 Coordenação Religador / Seccionalizador / Elo Fusível.....	24

3. METODOLOGIA.....	25
3.1 Principais Defeitos na Rede Elétrica.....	25
3.1.1 Descarga Atmosférica.....	25
3.1.2 Vegetação ou Árvore.....	26
3.1.3 Falha de equipamento ou material.....	26
3.1.4 Vandalismo.....	26
3.1.5 Ventos.....	26
3.1.6 Animais.....	27
3.1.7 Pipa.....	27
3.1.8 Erosão.....	27
3.1.9 Inundação.....	27
3.1.10 Abalroamento.....	28
3.2 Estudo de Caso.....	28
3.2.1 Esquema de religamento com religadores automáticos	29
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizada pelo homem contemporâneo. A sociedade moderna depende cada vez mais de seu fornecimento e este deve conter qualidade e rapidez quando houver falhas no sistema elétrico.

As exigências da sociedade estão cada vez mais rígidas, devido às informações expostas nos diversos meios de comunicação existentes. Suas reclamações são instantâneas, e isto faz com que as empresas distribuidoras de energia elétrica detenham esforços e recursos para investir cada vez mais em tecnologias.

Diante deste contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso, aborda a maneira como a energia é distribuída, bem como a implantação de novas tecnologias no sistema elétrico de potência para o seu restabelecimento pós falta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Subestação Abaixadora

Ao chegar às proximidades dos centros consumidores, a energia que foi transportada em alta tensão deverá ser transformada, de maneira que a tensão seja reduzida antes da distribuição para os consumidores finais. Essa transformação acontece em equipamentos denominados transformadores, instalado em um espaço físico, chamado “subestação”. Nas subestações abaixadoras que recebem os cabos das linhas de transmissão, também se iniciam os chamados sistemas de distribuição em tensão primária. A tensão de saída dessa subestação está em um nível classificado como média tensão, ainda impróprio para o uso direto.

Segue abaixo na figura 01, subestação abaixadora.



Figura 01 – Subestação Abaixadora
Fonte: Próprio Autor

2.2 Função da Subestação Abaixadora

2.2.1 Transformadores de Força e sua finalidade

Transformar alta tensão em média tensão (13,8 kV), essa tensão é distribuída aos alimentadores de distribuições aos clientes, que ainda passará por outra transformação de média tensão para baixa tensão (127 V/220 V), tensão ideal para consumo.

Segue abaixo na figura 02, transformadores de força.



Figura 02 - Transformadores de Força
Fonte: Próprio Autor

2.3 Relés de Proteção

2.3.1 Relé de Sobrecorrente

As proteções de sobrecorrente geralmente são utilizadas na proteção de transformadores de potência e alimentadores. Estas são utilizadas por ser de aplicação

simples e barata nas situações em que a corrente de curto-circuito for maior que a corrente de carga.

Além disso, os relés de sobrecorrente são normalmente empregados em locais onde existe grande variação da corrente elétrica que pode circular numa instalação, considerando desde o estado vazio (corrente basicamente nula), passando pela carga nominal, atingindo a sobrecarga, e, finalmente, alcançando em circunstâncias extremas o seu valor máximo, nos processos de curto-circuito franco (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

A seguir, na figura 03, um relé de sobrecorrente.

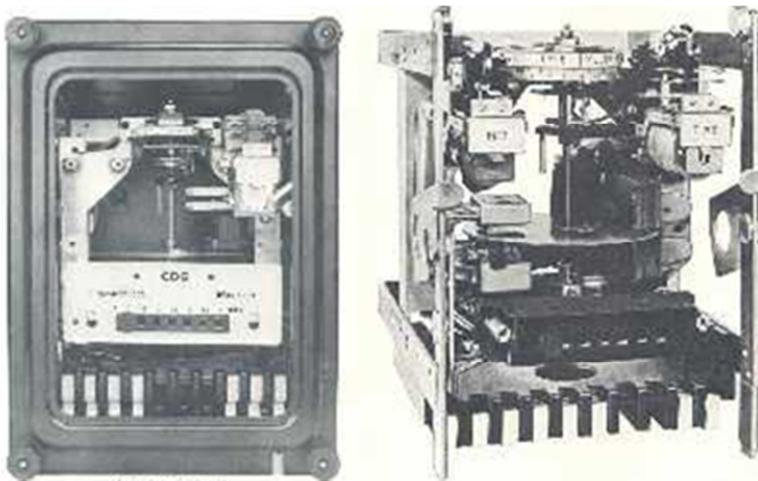


Figura 03 - Relé de sobrecorrente

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a formação EHD em operação em subestação.

2.3.1.1 Princípio de Funcionamento

Esta proteção é instalada basicamente com TC's (transformadores de corrente) e relés de sobrecorrente, que são dispositivos ajustados para monitorar a corrente atuando quando a mesma ultrapassa um determinado nível previamente escolhido, a fim de resguardar a integridade de equipamentos e pessoas. Os TC's são utilizados para compatibilizar a corrente de linha com a corrente de operação dos relés (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

2.3.2 Relé de Subtensão e Sobretensão

O relé de subtensão opera para tensão abaixo de valor pré-determinado. Já o relé de sobretensão opera para valores acima do valor pré-ajustado (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

2.3.3 Relé de Bloqueio

Este relé é denominado relé 86, segundo a norma ANSI. Ele opera eletricamente, com rearme manual, de modo a desligar e bloquear o disjuntor em caso de ocorrência de condições anormais, evitando, desta maneira, religar um transformador com defeito permanente (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

Abaixo, na figura 04, um relé 86.

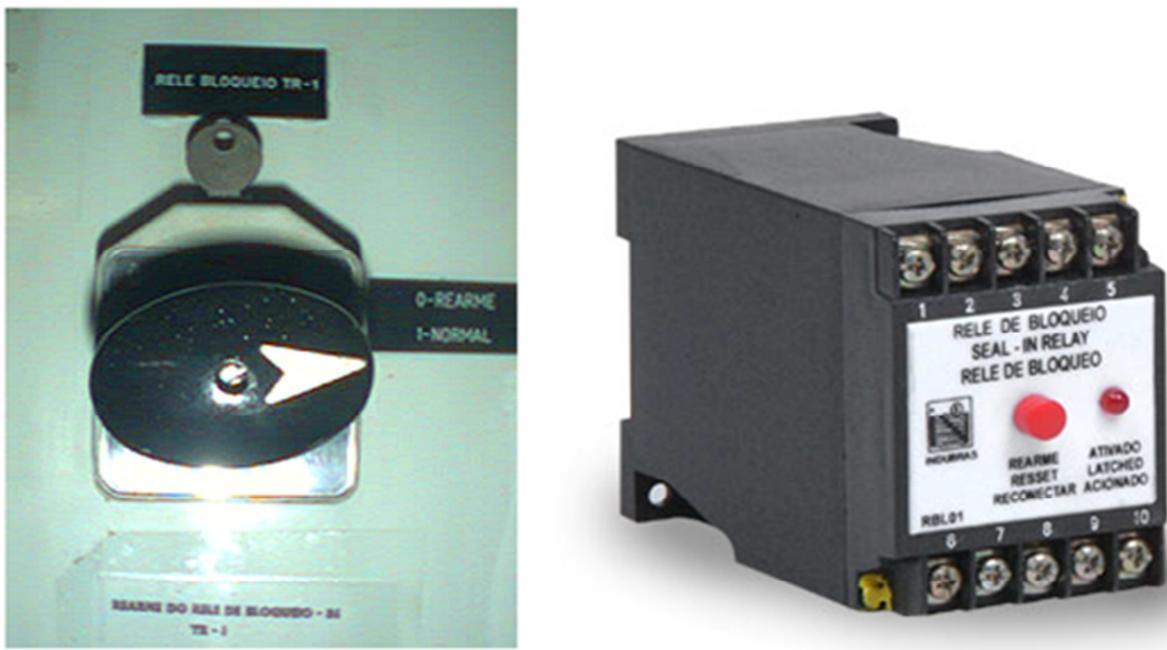


Figura 04 - Relé de bloqueio

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a formação EHD em operação em subestação.

2.3.4 Relé de Alta Impedância - RAI

Tendo em vista que o RAI tem como finalidade detectar baixas correntes de curto circuito tipo fase e terra, provocados em geral por contato de cabo ao solo, visando uma melhor segurança de pessoas e animais, o mesmo deve ser ajustado com mínimos valores (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

2.4 Disjuntores de alta tensão

Os disjuntores são equipamentos destinados à interrupção e restabelecimento das correntes elétricas num determinado ponto do circuito.

A função principal de um disjuntor é interromper as correntes de defeito de um determinado circuito durante o menor espaço de tempo possível. Porém, os disjuntores são também solicitados a interromper correntes de circuitos operando a plena carga e a vazio, e a energizar os mesmo circuitos em condições de operação normal ou em falta (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

Segue abaixo, na figura 05, um disjuntor.



Figura 05 – Disjuntor de Alta Tensão – 138kV

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a formação EHD em operação em subestação.

Nos próximos tópicos serão apresentados os principais tipos de disjuntores utilizados numa subestação abaixadora.

2.4.1 Disjuntores a Óleo Isolante

Este processo consiste na abertura dos contatos do disjuntor no interior de um recipiente que contém determinada quantidade de óleo mineral.

A seguir, na figura 6 um disjuntor a óleo isolante.



Figura 06 – Disjuntor a Óleo Mineral

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a formação EHD em operação em subestação.

As vantagens da utilização deste tipo de disjuntor são:

1. Grande rapidez no restabelecimento da rigidez dielétrica entre os contatos;
2. Pequena quantidade de óleo;

3. A extinção do arco é realizada pelo jato dirigido sem participação de agentes externos;
4. Rápida extinção do arco;
5. Muito limitada carbonização do óleo;
6. Reduzida deterioração dos contatos.

Em contrapartida, as desvantagens são:

1. Substituição do óleo isolante, após certo número de operações, devido sua carbonização;
2. Maior número de intervenções de manutenção.

2.4.2 Disjuntor Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)

O processo de atuação desse tipo de disjuntor consiste na abertura dos contatos do interruptor no interior de um recipiente contendo um certa quantidade de SF₆. É um dos compostos químicos mais estáveis e também um dos gases mais pesados. Seu coeficiente de transmissão de calor é 1,6 vezes maior que o do ar, à pressão de 2 kgf/cm². Isso é importante, pois facilita a dissipação de calor, e reduz a temperatura do disjuntor (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

Logo abaixo pode-se visualizar, na figura 7, uma imagem deste tipo de disjuntor.



Figura 07 – Disjuntor com meio de extinção do arco elétrica por SF₆.

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a formação EHD em operação em subestação.

As vantagens da utilização deste tipo de disjuntor são:

1. Pequena duração do arco elétrico;
2. Alta rigidez dielétrica;
3. Rápida recuperação gás SF6 após a extinção do arco;
4. Alta capacidade ruptura;
5. Ausência completa de chamas;
6. Baixa ruído de ruptura;
7. Sua construção hermética e pressurizada elimina a possibilidade de entrada de ar úmido no disjuntor.

2.4.3 Disjuntor a Vácuo

Disjuntores a vácuo são os que utilizam a câmara de vácuo como elemento de extinção do arco. Possuem uma ampola onde se faz um elevado nível de vácuo, a uma pressão de 10^{-8} torr, que corresponde a uma pressão negativa de $1,35 \times 10^{-7}$ kg/cm² (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

A seguir, na figura 08, um disjuntor a vácuo para melhor visualização.

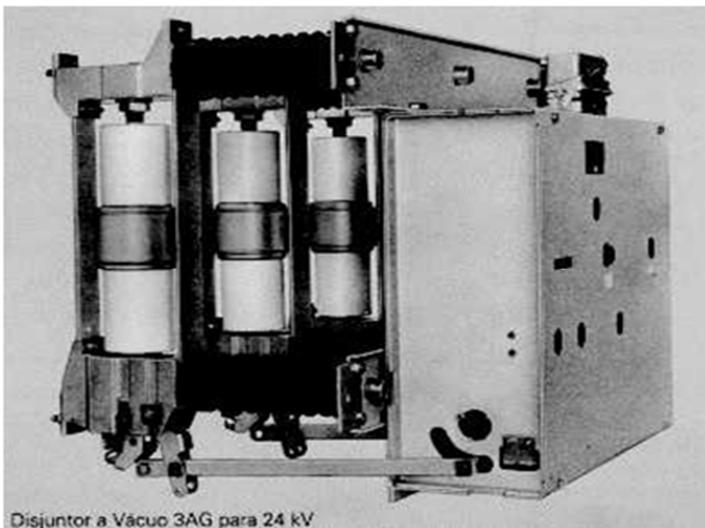


Figura 08 – Disjuntor com Meio de Extinção do Arco Elétrico por Vácuo

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a formação EHD em operação em subestação.

As vantagens existentes deste disjuntor são:

1. Vida elétrica elevada;
2. Deterioração do meio inexistente;
3. Recuperação do dielétrico extremamente rápida;
4. Movimento dos contatos reduzido, o que reduz o impacto;
5. Não requer manutenção.

E as desvantagens existentes são:

1. Custo elevado;
2. Peso e tamanho limitado;
3. Difícil controle do vácuo;
4. Tendência de provocar sobretensões.

2.5 Religamento Automático

2.5.1 Introdução

A maior parte das faltas em redes aéreas de distribuição são transitórias e podem ser eliminadas através da desenergização momentânea da rede. Os relatos das concessionárias de energia elétrica mostram que menos de 15% de todas as faltas são de caráter permanente. Dessa forma, é possível aumentar os índices de continuidade DEC e FEC por meio do religamento automático dos disjuntores, realizado após a operação da proteção e o subsequente desligamento do disjuntor.

O religamento automático aumenta em muito a qualidade de serviço em circuitos radiais da distribuição, onde a continuidade de serviço é diretamente afetada pela abertura do circuito (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

2.5.2 Proteção de Alimentadores

A proteção dos alimentadores de distribuição é composta pelas funções de proteção de fase e de neutro convencional, temporizadas e instantâneas (51, 50, 51N e 50N), e de neutro sensível (51NS). Possuem esquemas com dois ou três religamentos.

As proteções do cubículo alimentador são ajustadas para atuar em casos de defeitos no alimentador de forma rápida e seletiva com as proteções 50 e 50N são ajustadas para atuar em casos de defeitos na zona de proteção principal do alimentador e próximos a subestação (altos valores de corrente).

As proteções 51 e 51N devem ter uma corrente de *pick-up* maior que as proteções à jusante e utilizar curvas com temporização maior que os equipamentos de proteção instalados a jusante (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

2.5.3 Lógica do Esquema de Religamento Automático

O relé de religamento permite efetuar o religamento automático das linhas após a abertura do disjuntor pelo *trip* da proteção, seja por um ciclo rápido, ou ainda após um tempo mais longo através de programação no relé. O objetivo do religamento automático, associado à proteção do cubículo alimentador da distribuição, é de eliminar automaticamente as faltas transitórias sem interrupção apreciável do serviço de fornecimento de energia elétrica. O objetivo dos religamentos temporizados é de restabelecer automaticamente o serviço após uma falta transitória e de origem passageira.

A função de religamento automático deve ter o sinal de partida através da atuação de qualquer elemento de proteção contra sobrecorrentes, seja instantâneo ou temporizado, e também pelo relé de sobrecorrente de alta impedância (RAI). Não deve ocorrer no início do ciclo de religamento automático, após um desligamento manual do disjuntor.

Nos cubículos alimentadores de 13,8 kV foi definido que deve haver duas ou três tentativas de religamento automático, sendo uma instantânea e as outras temporizadas.

Na existência de uma falta na rede de distribuição, os relés de sobrecorrente devem atuar e comandar a abertura do disjuntor. Em conformidade com a programação estabelecida, deve ocorrer o religamento automático do disjuntor em tempo rápido. Caso a

falta persista, o desligamento do disjuntor deve ocorrer logo depois de esgotado o tempo do segundo religamento (ciclo temporizado) e em determinados casos se a falta persista, deverá haver o terceiro religamento do disjuntor (ciclo temporizado).

Se após a segunda tentativa ou da terceira de religamento, o defeito ainda persistir, o desligamento do disjuntor será definitivo. Quando houver o religamento automático com sucesso, independente se o mesmo tiver ocorrido depois do ciclo rápido ou dos ciclos lentos, a função de religamento automático voltará à condição inicial após certo tempo ajustado, este denominado como tempo de rearme.

Após, um fechamento manual do disjuntor sob um curto-circuito que vier a ocorrer antes de ter expirado um determinado tempo de guarda, o desligamento do disjuntor através da proteção será definitivo, não havendo, portanto, atuação dos ciclos de religamento. Também, nesse caso o religamento permanecerá bloqueado durante o tempo de rearme (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Treinamento para a Formação EHD em operação em subestação).

2.6 Religadores Automáticos

Juntamente com os primeiros sistemas de distribuição de energia elétrica surgiram fusíveis para protegê-los contra sobrecorrentes indesejáveis. Embora os fusíveis ainda sejam utilizados em grande escala, apresentam várias desvantagens que limitam sua aplicabilidade.

A utilização de religadores visa basicamente melhorar a continuidade de fornecimento de energia elétrica, reduzir o montante de energia não distribuída devido a faltas de origem passageira (transitória) no sistema que provoquem interrupções permanentes, e também, reduzir as despesas operacionais para normalização do sistema elétrico. A aplicação de religadores deve ser priorizada em pontos onde a ocorrência das faltas passageiras tenha justifica técnica e economia dos investimentos (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores).

2.6.1. Benefícios com Aplicação de Religadores

Os benefícios detectados com a aplicação de religadores são diversos, abaixo segue elencados os principais:

1. Maior flexibilidade nos ajustes permitindo coordenação e seletividade com outros dispositivos de proteção;
2. Melhor proteção ao sistema de distribuição pela rapidez e precisão;
3. Facilidade para operação.

Em geral são utilizados religadores trifásicos tanto nas subestações, quanto nas redes de distribuição. Os religadores tipo poste são aplicados nas redes de distribuição. Os religadores de subestações são aplicados para atender regiões rurais ou pequenas localidades que se caracterizam por deterem baixa corrente de carga e baixa potência de curto-circuito.

A vantagem da aplicação de religadores automáticos é consequência de suas características, tais como:

1. Curvas independentes para proteção de fase e terra;
2. Duas curvas de atuação para cada proteção (rápida e lenta);
3. Religamentos automáticos segundo uma sequência de operações predeterminadas nas curvas rápidas e lentas, possibilitando a coordenação com elos fusíveis, evitando a queima destes em consequência de faltas de origem passageira (transitórias);
4. Com redução dos custos de sistemas de telecomando, os religadores com controle numérico (relé microprocessado) agregam outras vantagens, incentivando inclusive o crescimento do parque de instalações;
5. Redução de equipes durante restabelecimento;
6. Identificação de defeitos na rede antes da ocorrência de desligamento definitivo (pique/pisca);
7. Identificação do desligamento antes das ocorrências de reclamação;
8. Seus históricos de medições permitem a obtenção mais fácil de informações mais precisas sobre a distribuição de cargas nos alimentadores;
9. Seus históricos de eventos permitem a identificação e localização de defeitos na rede;
10. Seus históricos de eventos permitem a identificação de anormalidades no próprio equipamento, falhas de aplicação de ajustes e de operação.

Na ocorrência de uma falta permanente, o religador bloqueará seu religamento após executada toda a sequência de operação, devendo ser religado manualmente no local ou remoto (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores).

A seguir, na figura 09, a imagem de um religador.

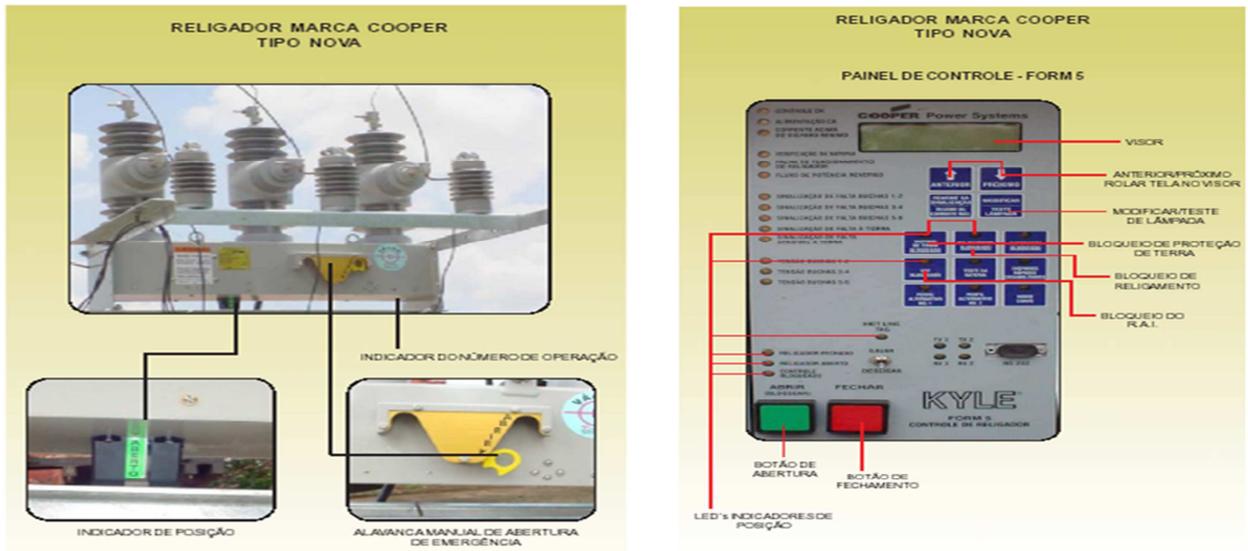


Figura 09 – Religador da marca Cooper

Fonte: (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores).

2.7 Chaves Fusíveis

As chaves fusíveis são compostas por uma base, porta fusível (cartucho) e elo fusível, normalmente operam de forma monofásica independente. Interrompem automaticamente o circuito na ocorrência de faltas, não faz diferença entre as de origem permanente ou passageira.

Sua atuação ocorre em função do elo fusível (elemento metálico) devido ao excesso de corrente elétrica e precisa obedecer à curva tempo x corrente conforme o tipo e capacidade. Normalmente, trabalha coordenada com religadores e seletiva com outras chaves fusíveis e disjuntor do alimentador. Em alguns casos, as chaves fusíveis operam somente de forma seletiva com os religadores, principalmente quando for do tipo entre fases (3F ou 2F – valores mais elevados).

O porta fusível determina a máxima corrente de interrupção da chave fusível. A interrupção é conseguida pela ação dos gases desionizantes gerados no seu interior,

resultantes da composição parcial da fibra isolante por ação das altas temperaturas existentes quando da formação do arco elétrico interno.

Em alguns casos, dependendo da filosofia de proteção para faltas do tipo fase-terra de alta impedância, as chaves fusíveis não serão seletivas com equipamentos trifásicos dotados de proteção residual (neutro/terra), como disjuntores, religadores e seccionadores (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Corta Circuito).

A seguir, na figura10, imagem de uma chave.

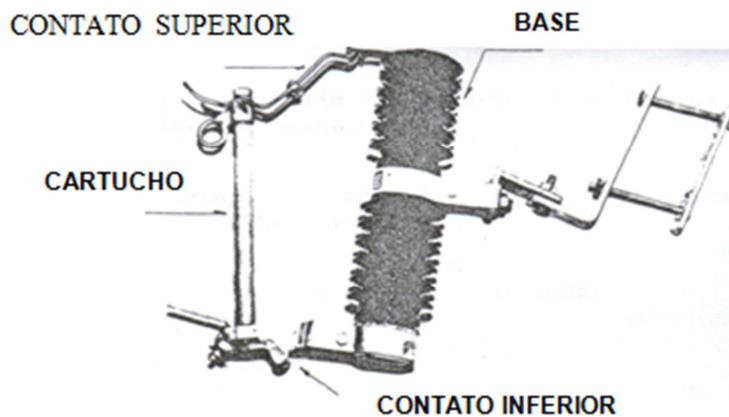


Figura 10 – Chave Fusível

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Corta Circuito

2.7.1 Elo Fusível

O elo fusível é a parte ativa do corta-circuito, ou seja, é o elemento sensor que detecta a sobrecorrente e juntamente com o corta-circuito, interrompe o circuito.

A qualidade e dimensionamento de seus materiais bem como o projeto de construção do elo são itens de primordial importância para a interrupção de uma sobrecorrente dentro de um tempo esperado.

O elo fusível não deve fundir com a corrente de carga do equipamento o qual ele protege, e devem obedecer as curvas características de tempo-corrente (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Elos Fusíveis).

2.7.2 Principais Componentes

Os elos fusíveis são constituídos basicamente das seguintes partes:

A seguir, na figura 11, imagem de elo fusível.

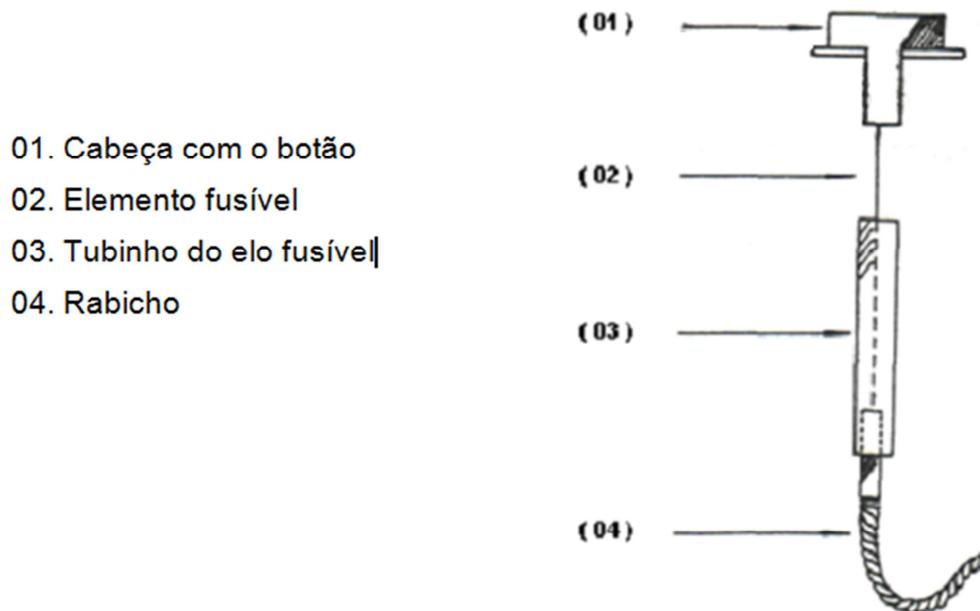


Figura 11 – Elo Fusível

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Elos Fusíveis

2.8 Seccionadores (SL)

Os seccionadores automáticos são utilizados como dispositivo de proteção em sistemas de distribuição.

São dispositivos projetados para instalação em sistemas de distribuição aérea, de modo a operar em conjunto e coordenar com religadores e mesmo com disjuntores equipados com relé de religamento. E, apresenta custo de aproximadamente 40% comparado ao religadores convencionais, o que torna sua aplicação altamente desejável do ponto de vista econômico.

Um seccionador automático é basicamente uma chave a óleo com capacidade de fechamento em condições de curto-circuito e abertura em carga, na qual possui características de um equipamento de manobra.

Um seccionador quando instalado em substituição a uma chave fusível, apresenta as seguintes vantagens:

1. Coordenação efetiva em toda a faixa de coordenação do religador de retaguarda;
2. Eliminação dos gastos provenientes da troca de elos fusíveis;
3. Eliminação da possibilidade de erro humano quando da troca de elos fusíveis, o que ocasiona a perda parcial da coordenação e prejuízo o sistema;
4. Interrompe as três fases simultaneamente;
5. Operação como chave trifásica.

Naturalmente, o uso do seccionador em substituição a uma chave fusível só é viável em locais onde o mesmo possa ser economicamente justificado, tendo em vista a densidade de carga industrial, carga especial, entre outras mais.

O seccionizador é um equipamento projetado para ser ligado em série, no lado da carga do religador automático ou do disjuntor equipamento com relé de religamento (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores).

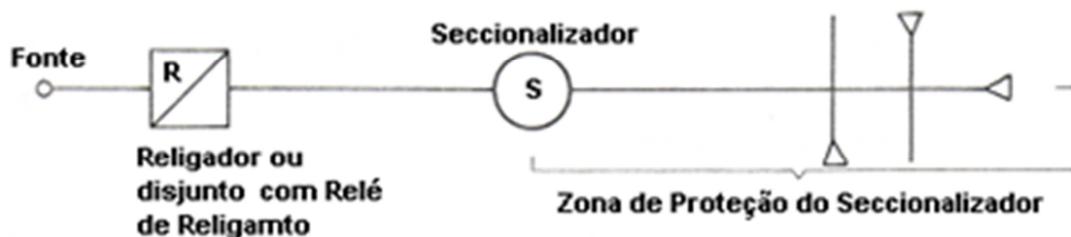


Figura 12 – Sequência dos Equipamentos instalados na rede

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores

Ao ocorrer um defeito na zona de proteção do seccionador, o religador deverá “enxergar” esse defeito, isto é, o religador deverá “sentir” e interromper essa corrente de defeito. Cada vez que o religador interrompe aquela corrente de defeito, o seccionador conta a interrupção e após um pré-determinado número de interrupções do religador que pode ser uma, duas ou três vezes, o seccionador abre seus contatos, sempre com o circuito desenergizados e antes da abertura definitiva do religador. Não existe nenhum comando elétrico ou mecânico entre o religador e o seccionizador, apenas ambos estão instalados em série no circuito (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores).

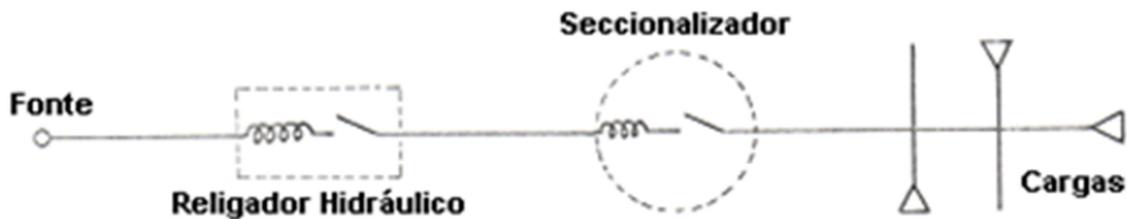


Figura 13 – Esquema dos Equipamento quando atua abre seus contatos
 Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores

Sendo assim, um defeito permanente na zona de proteção do seccionizador pode ser isolado sem que o religador ou disjuntor com relé de religamento abra seus contatos definitivamente.

Portanto, os seccionizadores são instalados para estabelecer economicamente pontos adicionais de seccionamento automático em circuitos de distribuição, sem a capacidade de interrupção das correntes de defeito e possuem menos que os religadores automáticos. No entanto, o seccionizador pode interromper sua corrente de carga nominal e ser operado como uma chave a óleo, assim proporcionará mais de um ponto de manobra para possível necessidade de manutenção no circuito (Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores).

Existem três tipos de seccionadores, que são:

1. Monopolares ou tripolares;
2. Hidráulicos ou eletrônicos;
3. Com ou sem dispositivos de proteção contra defeito para terra.

Segue, na figura 14, um seccionador.

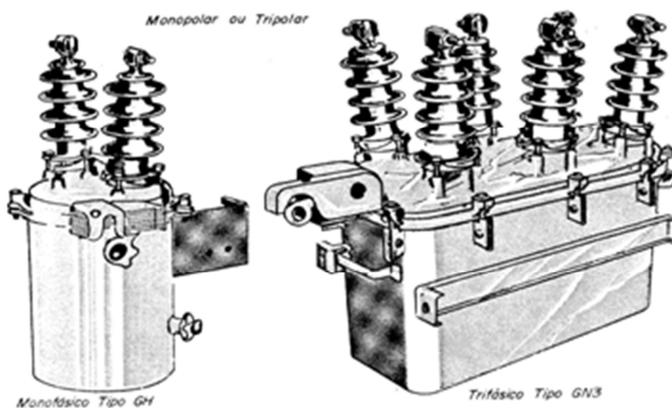


Figura 14 – SL Monofásico e SL trifásico
 Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores
 A seguir, na figura 15 um seccionador hidráulico.

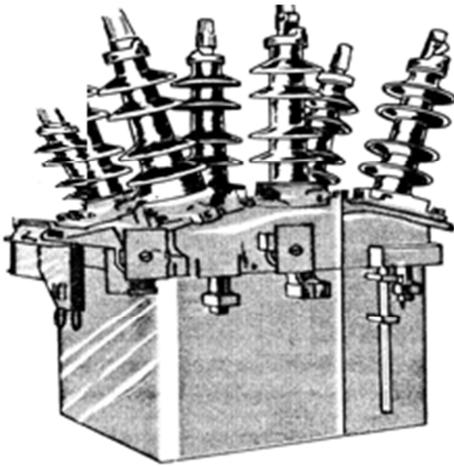


Figura 15 – Seccionador Hidráulico

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores

2.9 Coordenação e Seletividade

De acordo com a figura 16 observa-se um exemplo de seletividade entre equipamentos de proteção, no caso, disjuntores, religadores e chaves fusíveis. No primeiro esquema tem-se a abertura da chave fusível 10K na presença de uma corrente de curto circuito (I_{cc}) a jusante da mesma, representando uma condição ideal de operação. Esta condição também pode ser vista no segundo esquema, onde se tem a presença da I_{cc} entre as chaves fusíveis 15K e 10K, com a abertura da chave localizada a montante do curto circuito.

Seletividade entre os Equipamentos de Proteção

Condição ideal

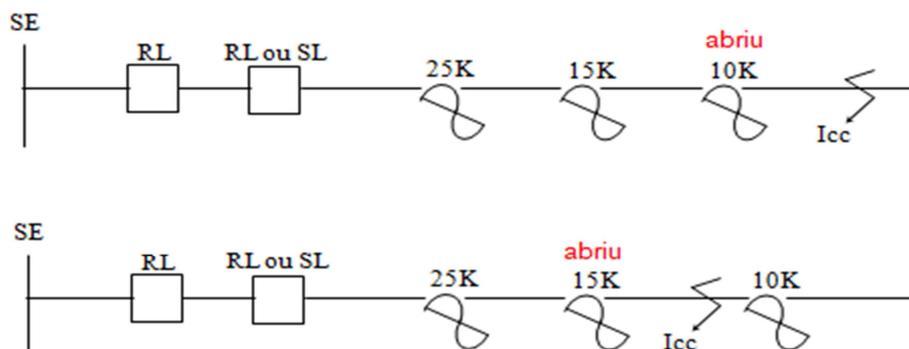


Figura16 – seletividade entre os equipamentos de proteção

Fonte: Norma Elektro, Centro de Treinamento de Campinas – Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionadores

2.9.1 Seletividade Fusível (lado fonte) / Religador

Esta situação ocorre normalmente nas SE's 34,5kV – 13,8 kV, onde a proteção do lado da alta tensão do transformador de força abaixador é efetuada com a utilização de chaves fusíveis. Para obter seletividade nessa condição, o mínimo tempo de fusão do elo fusível deve ser maior que o tempo médio de interrupção na curva lenta do religador, multiplicado por um fator K1. Este fator é definido em fusão da sequência de operação e dos tempos de religamento do religador, que vão pré aquecendo o elo fusível.

Os valores de K1 estão definidos na tabela 1 a seguir:

Tabela 01 – Sequência de Operação - Elo fusível X Sequência de operação de RL

Tempo de religamento (em segundos)	Fator K1		
	Operações: 2 rápidas + 2 temporizadas	Operações: 1 rápida + 3 temporizadas	Operações: 4 temporizadas
0,5	2,6	3,1	3,5
1,0	2,1	2,5	2,7
1,5	1,85	2,1	2,2
2,0	1,7	1,8	1,9

Fonte: ZIOLKOWSKI, Valmir e Couto Gonçalves, Paulo. Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição. 1. ed. Campinas: Educação Corporativa Elektro, 2008.

2.9.2 Coordenação Religador / Fusível

As curvas de atuação e a sequência de operação recomendável para a coordenação entre o religador e os elos fusíveis são de duas operações rápidas e duas operações lentas. No entanto, como os religadores hidráulicos possuem tempo de rearme muito alto, conforme mencionado anteriormente, em épocas chuvosas com temporais e com grande quantidade de descargas atmosféricas, em curtos intervalos, fazem com que o religador bloqueie muitas vezes indevidamente e, neste caso, é recomendável ajustar a sequência de operação em uma operação rápida e três operações lentas.

A coordenação da proteção de fase e terra do religador com os elos fusíveis é assegurada quando:

1. Para o valor de corrente máxima de falta (3F e FT) na zona de proteção mútua (RL e elo fusível), o tempo mínimo de fusão do elo é superior ao tempo de atuação na curva de operação rápida (fase e terra) do religador, ou seja, $t_{\text{mín. de fusão do elo fusível}} > t_{\text{atuação na curva rápida do RL}}$
2. A faixa de coordenação entre a chave fusível e o religador é determinada pelas duas inequações anteriores apresentadas, que estabelecem o ponto de máximo e mínimo, conforme (ZIOLKOWSKI, 2008).

2.9.3 Coordenação Religador / Religador

A aplicação de no máximo dois religadores em série está de acordo com a orientação da filosofia básica de proteção. O método de coordenação de religador com outro religador em série baseia-se na suposição de que na base de 60 ciclos, suas curvas tempo x corrente separadas mais de 12 ciclos (200ms) não operam simultaneamente, e menos de 12 ciclos poderão operar simultaneamente.

A coordenação entre religadores instalados em série, tem como base que para qualquer falta transitória ou permanente a zona de proteção mútua, o religador mais próximo dessa deve antecipar sua operação, sem deixar que o religador de retaguarda opere em sua curva lenta.

Portanto, para obter coordenação e seletividade, a diferença entre os tempos de operação das curvas lentas dos religadores deverá ser maior que 0,2 segundos para a faixa de corrente da zona de proteção mútua.

Existem várias formas para conseguir uma coordenação entre religadores envolvendo os vários tipos de ajustes. De acordo com Ziolkowski (2008), recomenda-se que, para obter uma boa coordenação, seguir as combinações abaixo:

1. Correntes de disparo iguais com curvas lentas diferentes;
2. Correntes de disparo diferentes com curvas lentas diferentes;
3. Correntes de disparo diferentes com curvas lentas iguais e sequência de operações diferentes;

4. Correntes de disparo diferentes com curvas lentas diferentes e sequência de operações diferentes (Norma ZIOLKOWSKI, Valmir e Couto Gonçalves, Paulo. Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição. 1. ed. Campinas: Educação Corporativa Elektro, 2008).

2.9.4 Seletividade Relé / Fusível

A seletividade estará garantida quando se mantém no mínimo 0,2 segundos de diferença entre o máximo tempo de interrupção do fusível à frente (jusante) do disjuntor, o tempo de atuação do relé de sobrecorrente e o máximo tempo de interrupção do fusível seja inferior a 75% do tempo de atuação de relé na curva temporizada, o que for mais crítico, em toda a faixa de corrente de curto-circuito envolvida na zona de proteção da chave fusível, ou seja:

$$t \text{ atuação temporizado do relé} > t \text{ Max. De interrupção do fusível} + 0,2 \text{ segundos}$$

$$t \text{ Max. de interrupção do elo} < 0,75 \times t \text{ atuação temporizado do relé}$$

Deve-se atentar para que não sejam efetuados ajustes nos relés exageradamente elevados, pois os mesmos deverão, também, garantir a seletividade com os relés de retaguarda localizados no cubículo geral (tipo A) da subestação. A seletividade entre elo fusível x relé de neutro não é plena para correntes de defeitos de baixa amplitude (ZIOLKOWSHI, 2008).

2.9.5 Seletividade Relé / Religador

O intervalo entre os tempos máximos de atuação das curvas lentas de fase e terra do religador, especificados pelo fabricante e os tempos de atuação dos relés de sobrecorrente de fase e neutro, respectivamente, sejam superiores a 0,2 segundos, e o tempo de atuação na curva lenta do religador não ultrapasse em 80% do tempo de atuação do relé em toda a faixa de curto-circuito na zona de supervisão do religador, o que for mais crítico.

Esta consideração é válida para relés de sobrecorrente estáticos e digitais numéricos, pois o seu tempo de rearme é praticamente instantâneo, ou seja:

t atuação do relé de fase e neutro $>$ t curva lenta de fase e terra do RL + 0,2 segundos

t curva lenta de fase e terra do RL $<$ 0,8 x t atuação do relé de fase e neutro

Para seletividade entre relés de sobrecorrente eletromecânicos (indução) com religadores, deve ainda verificar o avanço acumulado do disco de indução do relé durante os tempos de operação e religamento automático do religador.

Conforme, Ziolkowski (2008) a condição adicional para ter uma seletividade entre relé de sobrecorrente eletromecânico e religador é que o percurso acumulado (avanços/restabelecimentos parciais) do disco de indução do relé na sequência de operação complete a do religador, e seja inferior a 80% em qualquer valor da faixa de corrente de curto-circuito da zona supervisionada pelo religador (Norma ZIOLKOWSKI, Valmir e Couto Gonçalves, Paulo. Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição. 1. ed. Campinas: Educação Corporativa Elektro, 2008).

2.9.6 Coordenação Religador / Seccionalizador

Para ter uma coordenação entre religador e seccionalizador em série, devem ser atendidos os seguintes requisitos:

1. A corrente mínima de atuação do SL deve ser ajustada o mais próximo de 80% do ajuste da corrente mínima de disparo do RL tanto para a proteção de fase quanto para a proteção de terra;
2. I mín. de atuação de fase e terra do SL $<$ 0,8 x I mín. de disparo de fase e terra do RL;
3. O RL deve ser capaz de sentir as correntes mínimas de defeitos na zona supervisionada pelo SL;
4. O número de contagem para abertura (bloqueio) do SL deve ser ajustado para no máximo o número de operações para bloqueio do RL menos um.

A coordenação entre o religador e o seccionalizador também depende do tempo de retenção de memória do seccionalizador, que é o tempo necessário para o seccionalizador “esquecer” uma contagem. Logo, a coordenação entre o religador e o seccionalizador é assegurada quando, em uma condição de falta permanente, o somatório dos tempos de

operação e religamento do religador (TTA) a partir da primeira contagem, não excedam ao tempo de memória do seccionizador (ZIOLKOWSKI, 2008).

2.9.7 Coordenação Religador / Seccionizador / Elo Fusível

Para se obter a coordenação são necessários os requisitos da coordenação religador/seccionizador/reliador/fusível. Consoante, Kiolkowski (2008) recomenda-se não instalar SL em pontos onde a corrente de carga for inferior a 3,5 A, pois durante o curto-circuito tem que carregar o capacitor do sistema de alimentação do circuito eletrônico do SL, o mesmo pode não conseguir em algumas situações, efetuar a contagem na curva rápida do RL, devido ao curto intervalo de tempo envolvido, na qual poderá haver bloqueio simultâneo do RL e SL (Norma ZIOLKOWSKI, Valmir e Couto Gonçalves, Paulo. Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição. 1. ed. Campinas: Educação Corporativa Elektro, 2008).

3. METODOLOGIA

No presente item será abordado um estudo para otimização do fornecimento contínuo de energia elétrica. Esse tipo de fornecimento contínuo é desejável no sentido de se evitar perdas por energia não distribuída, as quais provocam interrupções permanentes, reduzindo as despesas de operação normal que vêm ocorrendo no sistema elétrico.

Exatamente nesse panorama que estão presentes os religadores. Sua aplicação deve ser priorizada em pontos onde haja faltas passageiras, justificando a técnica e a economia do investimento proposto. Os benefícios dos religadores trazem uma proteção mais eficiente, facilidade na operação, rapidez, precisão e controle pelo sistema. Outras vantagens que são fornecidas, a redução de equipe durante o trabalho, identificação dos defeitos antes do desligamento definitivo, identificação do desligamento antes da reclamação do cliente, e ainda, seus históricos permitem informações mais precisas sobre a distribuição de cargas nos alimentadores e a identificação e localização de defeitos na rede.

3.1 Principais Defeitos na Rede Elétrica

Abaixo são apresentadas as principais causas das ocorrências emergenciais ocorridas no sistema de distribuição aéreos, que chegam a representar 100% do sistema de distribuição da maioria das concessionárias no Brasil.

3.1.1 Descarga Atmosférica

Evento de interrupção no fornecimento devido a uma descarga atmosférica na rede de distribuição que pode causar a simples atuação do fusível de proteção como avaria de equipamentos na rede.

3.1.2 Vegetação ou Árvore

Evento de interrupção no fornecimento devido por quedas de arvores, galhos, ou curto circuitos, que podem causar a simples atuação do fusível de proteção como o rompimento de condutores, quebra de cruzetas e a queda de postes.

3.1.3 Falha de equipamento ou material

Evento de interrupção no fornecimento devido á problemas com os equipamentos ou por materiais, sejam inadequados ou avariados, sendo em sua maioria defeitos de conexões avariadas, causando a interrupção somente no cliente atendido, como também defeitos na rede de distribuição como isoladores com vazamentos, cruzetas quebradas, entre outros mais.

3.1.4 Vandalismo

Evento de interrupção no fornecimento devido atos de vandalismo, que podem ser através de objetos lançados na rede, furto de cabos e transformadores ou queimadas e incêndios, podendo causar a simples atuação do fusível de proteção como rompimento de condutores, queda de postes e necessidade de reposição de redes.

3.1.5 Ventos

Evento de interrupção no fornecimento devido ventos fortes, podendo causar a simples atuação do fusível de proteção por curto circuito como também o rompimento de condutores e até queda de postes.

3.1.6 Animais

Evento de interrupção no fornecimento por curto circuito causado por animais que podem subir ou encostar-se a equipamentos energizados.

3.1.7 Pipa

Evento de interrupção no fornecimento devido curto circuito causado por pipas ou linhas.

3.1.8 Erosão

Evento de interrupção no fornecimento devido quedas de barreiras, morros, encostas ou estradas, que causam normalmente a queda de postes e o rompimento dos condutores.

3.1.9 Inundação

Evento de interrupção no fornecimento devido ao risco a segurança das pessoas e aos equipamentos, podendo este ser efetuado pela própria concessionária nas áreas de alagamento.

3.1.10 Abalroamento

Evento de interrupção no fornecimento devido abalroamento de postes, sendo em sua maioria colisões de veículos em postes, podendo causar a queda do poste e rompimento de cabos.

3.2 Estudo de Caso

O restabelecimento da rede de distribuição, antes das tecnologias aplicadas no sistema elétrico, era um tempo muito alto, este tempo era por volta de uma hora para normalização de um alimentador, sem contar que o número de equipe era o dobro.

Atualmente, com os religadores automáticos fica muito agiu o atendimento e reduziu o tempo e o número de equipes.

A seguir, na figura 17, tem-se um diagrama unifilar apresentando disjuntores e religadores em série.

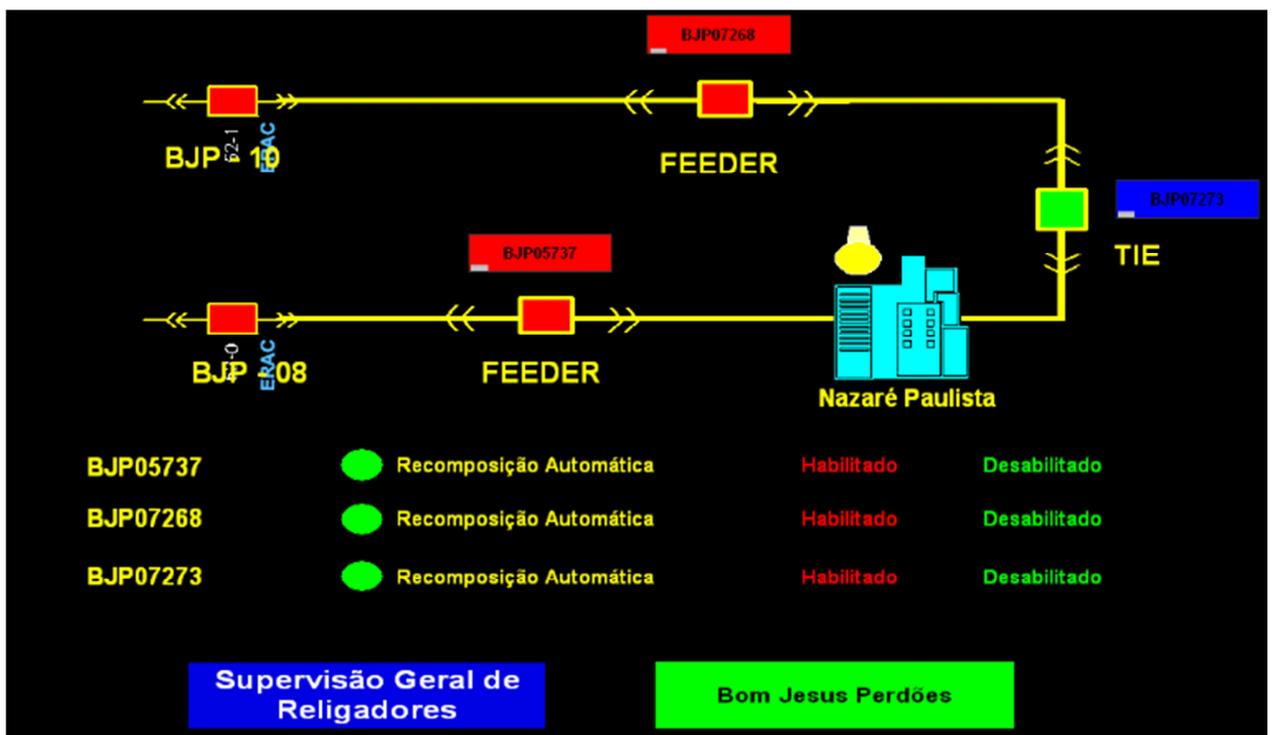


Figura 17: Diagrama Unifilar de Alimentadores com Religadores
Fonte: Arquivos Internos da Empresa Elektro

3.2.1 Esquema de religamento com religadores automáticos

Na figura 18 tem-se um exemplo de religamento com religadores automáticos.

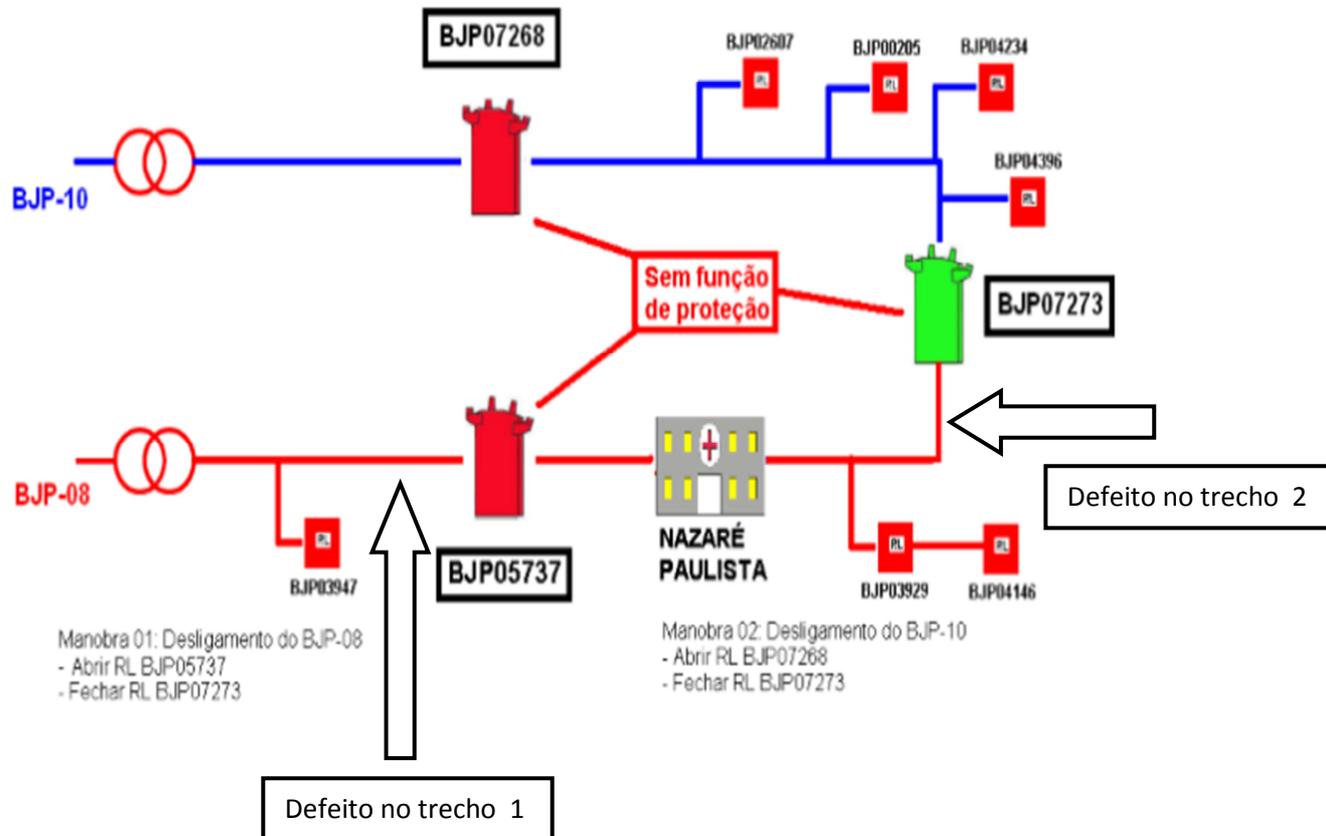


Figura 18: Esquema de religamento com religadores automáticos
Fonte: Arquivos Internos da Empresa Elektro

Se ocorrer um desligamento do disjuntor Bjp08 e o defeito estiver no trecho 1, a sequência de religamento acontecerá da seguinte forma: a partir do desligamento do disjuntor, Bjp 08. O RL Bjp 5737 começa a contagem de 10s e o RL Bjp 7273, que fica na posição normalmente aberto, começa a contagem de 20s. Ao passar 10s, o RL Bjp 5737 abre seus contatos, quando passar 20s, o RL Bjp 7273 fecha seus contatos energizando todo o trecho 2 pelo disjuntor Bjp10. O trecho 1 será normalizado pela equipe de plantão.

Se ocorrer o desligamento do disjuntor Bjp 08 e o defeito estiver no trecho 2, a sequência de religamento acontecerá da seguinte forma: o disjuntor Bjp 08 trabalha com três religamentos e o RL Bjp 5737 trabalha com duas operações. Assim, quando o RL Bjp 5737 completar suas duas operações, o mesmo irá abrir seus contatos. Como o disjuntor Bjp 08 trabalha com três operações irá energizar todo o trecho 1.

O RL Bjp 7273 ao passar os 20 segundos da sua contagem, fecha seus contatos, mas detectará a presença do defeito, ainda presente no sistema e abre novamente seus contatos. O trecho 2 será normalizado pela equipe de plantão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade deste trabalho foi mostrar como são aplicadas as tecnologias no sistema elétrico, bem como as vantagens que estas podem trazer para as concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Os religadores automáticos estão cada vez mais sofisticados e traz maior confiabilidade para o sistema elétrico. As vantagens de se aplicar um religador são diversas, dentre as principais estão a maior flexibilidade nos ajustes que permite coordenação e seletividade com outros dispositivos de proteção e melhor proteção para o sistema de distribuição pela rapidez, precisão e facilidade na operação.

Com a redução dos custos do sistema de telecomando, cresce cada vez mais a aplicação de religadores no sistema elétrico, que proporciona a redução de equipes durante restabelecimento e identificação de defeitos na rede antes da ocorrência de desligamento definitivo (pique/pisca).

Seus históricos de eventos permitem a identificação de anormalidades no próprio equipamento, bem como falhas de aplicação de ajustes e de operação.

Assim, todas as tecnologias implantadas no sistema elétrico, são de grande valia para as concessionárias de energia elétrica e para os consumidores que exigem uma energia distribuída com maior qualidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C. A. S. et al. **Proteção de Sistemas Elétricos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

Norma Elektro, **Corta Circuito**. Campinas: Centro de Treinamento.

Norma Elektro, **Elos Fusíveis**. Campinas: Centro de Treinamento.

Norma Elektro, **Seleção e Aplicação de Religadores e Seccionalizadores**. Campinas: Centro de Treinamento.

Norma Elektro, **Treinamento para Formação EHD em Operação em Subestação**. Campinas: Centro de Treinamento.

ZIOLKOWSKI, Valmir e Couto Gonçalves, Paulo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição**. 1. ed. Campinas: Educação Corporativa Elektro, 2008.