

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
PÁVEL LUIZ FONSECA

**METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE DA
PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**

Varginha
2016

PÁVEL LUIZ FONSECA

**METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE DA
PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Ms. Sílvio Bottrel Guimarães.

Varginha

2016

PÁVEL LUIZ FONSECA

**METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE DA
PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Sílvio Bottrel Guimarães

Prof. Esp. Roger Antônio Rodrigues

Prof. Esp. José Cláudio Furquim

OBS.:

A minha família, amigos e professores, que mesmo diante dos obstáculos sempre me auxiliaram na realização desde sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me ilumina, me guia e governa em todos os momentos da minha vida.

Aos meus queridos pais Vitor e Martha, pela educação, incentivo nesse projeto de vida e orientação nos momentos de dificuldade, mas acima de tudo pelo carinho e amor que sempre me dedicaram.

Ao Professor Silvio Bottrel Guimarães e Eduardo Henrique Ferroni um agradecimento em especial pela excelência na orientação e coordenação deste estudo, pela atenção, pela disponibilidade e amizade.

Além dos ensinamentos, contribuições e apoio, fatores que ajudaram a engrandecer minha formação acadêmica.

Aos companheiros de estágio na UNIFAL- MG, pelo apoio total e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao amigo e colega Charles Guimarães Lopes pelas discussões técnicas e pelo apoio na realização deste trabalho no período de estagiário na universidade federal de Alfenas.

Aos meus amigos de curso que durante esta caminhada nunca me deixaram amolecer e desistir de meu sonho.

"O sucesso prático de uma ideia, independente do seu próprio mérito, depende da atitude dos contemporâneos (dos interesses da elite). Se (ela) é oportuna, é rapidamente adotada, mas se não é, ela é arrancada como um broto para fora da terra no chão quente, apenas para (que) seja retardado o seu crescimento na geada (o tempo) do sucesso."

Nikola Tesla

RESUMO

Este trabalho busca a melhor qualidade em redes de fornecimento de energia atuando no seguimento de RDR (redes de distribuição rurais), propondo o desenvolvimento de modelo de projeto em RDR. O projeto apresenta uma implementação da seletividade e coordenação da proteção de transitórios de longa e curta duração em sistemas de distribuição rurais e conseqüentemente a redução de manutenções corretivas, atuando na melhoria do distribuição de energia. A mudança consiste na apresentação de componente elo fusível, com tecnologia similar aos dispositivos religador Smart grid, em substituição aos equipamentos atualmente utilizados em RDR na seletividade e proteção e suas atuações dentro do SEP. Apresenta-se as formas de estruturação das RDR e as normas que regem este seguimento de cliente a ND 2.2 CEMIG, ABNT NBR 14039:2005 e BT – ABNT NBR 5410:2004 e IEEE 242, que consiste na escolha e ajuste de parametrização dos dispositivos de proteção (elo fusível). Para a demonstração do dispositivo proposto foi feita uma formulação para análise da coordenação e seletividade do dispositivo de proposto utilizando-se o software supercoord V2, com capacidade de parametrizar e indicar limite de ajuste nos dispositivos religadores conforme modelo proposto neste trabalho. O que levou a viabilidade o trabalho e a escolha do modelo do equipamentos de proteção (elo fusíveis) e o diferencial do modelo em comparativo aos modelos atuais do mercado. Abordamos a modelagem de: dispositivo elo fusível, com religadores na proteção das redes de transmissão rural onde o mesmo prova por sua curva de atuação ser um equipamento inovador e demonstra sua superioridade na resolução de problemas atualmente apresentados no sistema de distribuição. Sua atuação apresentou uma forma de redução dos chamados em áreas rurais e uma melhor qualidade no fornecimento contínuo de energia as áreas rurais Os resultados obtidos são apresentados sobe forma de coordenograma, que demonstra a superioridade do dispositivo em relação ao utilizado atualmente. Os gráficos da curva mostra a agilidade na resposta de sua atuação e reposta a transitórios de pequena e longa duração, além de ser seguro e isolar a rede se o problema persistir. O trabalho demonstra que um sistema de proteção eficaz é necessário e que seja dimensionamento corretamente, visando à qualidade, segurança, confiabilidade, rapidez, sensibilidade aos surtos e que sempre haja coordenação entre a seletividade.

Palavras-chave: Proteção. Coordenação. Seletividade. Rede de distribuição Rural.

ABSTRACT

This work deals with improving the quality of power supply acting following RDR (rural distribution networks), proposing the development project model in RDR. The project has an implementation of selectivity and coordination of long transient protection and short-lived in rural distribution systems and consequently the reduction of corrective maintenance, working on the improvement of energy supply. The change consists of the fusible link component presentation, with technology similar to smart grid devices recloser to replace the equipment currently used in RDR selectivity and protection and their actions within the SEP. It presents the ways of structuring the RDR and the rules governing this tracking customer ND 2.2 CEMIG, NBR 14039: 2005 and BT - NBR 5410: 2004 and IEEE 242, which consists in choosing and parameter setting of the devices protection (fusible link). For the demonstration of the proposed device it was made a formulation for analysis of coordination and selectivity of the proposed device using the supercoord V2 software, with the ability to parameterize and display adjustment limit in recloses devices as model proposed in this work. What led the feasibility work and the choice of model protection equipment (fuse link) and model differential in comparison to current market models. We approach to modeling: fusible link device with recloses in protecting rural transmission networks where the same proof for his performance curve is an innovative equipment and demonstrates its superiority in solving problems currently presented in the distribution system. His performance had a way of reducing the so-called rural areas and a better quality in the continuous power supply in rural areas. The results are presented as coordenograma rises, which demonstrates the device superior to currently used. Curve graphs show agility in response to its actions and response to transient short and long term, in addition to being safe and isolate the network if the problem persists. The work demonstrates that an effective system of protection is required and is scaling properly, in order to quality, safety, reliability, speed, sensitivity to outbreaks and that there is always coordination between selectivity.

Keywords: Protection. Coordination. Selectivity. Rural Distribution Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curto Circuito fase-terra	19
Figura 2: Curto circuito fase-fase	20
Figura 3: Curto circuito entre três fases	20
Figura 4: Curva tempo x corrente dos Elos fusíveis tipo H.....	23
Figura 5: Curva tempo x corrente dos elos fusíveis tipo <i>K</i> preferencias.....	24
Figura 6: Curva tempo x corrente dos Elos fusíveis tipo <i>K</i> não preferenciais	25
Figura 7: Curva tempo x corrente dos Elos fusíveis tipo T	26
Figura 8: Elo fusíveis.....	27
Figura 9: Elo fusíveis.....	28
Figura 10: Zona de proteção do seccionalizador e do religador.....	29
Figura 11: Diagrama unifilar de trecho com seletividade	300
Figura 12: Seletividade envolvendo Elos fusíveis.....	311
Figura 13: Curva de seletividade alimentador Elo fusível	32
Figura 14: Curva tempo x corrente dos condutores.....	34
Figura 15: Posicionamento dos elos protegidos e protetor.....	35
Figura 16: Coordenação entre religador e elo fusível com fator <i>k</i>	37
Figura 17: Coordenação religadora – seccionalizadora – elo fusível	39
Figura 18: Coordenação religado – seccionalizadora – queima elo fusível	400
Figura 19: Diagrama unifilar	411
Figura 20: Loadbreak Autolink ABB	500
Figura 21: Partes componentes do Loadbreak Autolink ABB	500
Figura 22: Software supercoord V2.....	522
Figura 23: Diagrama unifilar adotado para análise de viabilidade dos dispositivos	53
Figura 24: Gráfico da curva de seletividade e proteção dispositivo adotado	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Corrente máxima para seletividade elos fusíveis tipo K	31
Tabela 2 – Subdivisão do grupo B - CEMIG	42
Tabela 3 – Unidade de serviços - CEMIG.....	52
Tabela 4 - Parâmetros do sistema.....	56
Tabela 5 – Dados do cliente	56
Tabela 6 – Parâmetros trafo.....	56
Tabela 7 – Referencial do dispositivo	57
Tabela 8 - Atuação do dispositivo	57
Tabela 9 – Corrente <i>Inrush</i>	57
Tabela 10 - Nomenclatura ANSI.....	57
Tabela 11- Dados de corrente de curto circuito	58
Tabela 12- Valores base adotados no sistema	58
Tabela 13- Dados de barra circuito primário.....	59
Tabela 14 – Corrente de curto circuito totais	59
Tabela 15- Dados corrente curto circuito/ barra media tensão.....	59
Tabela 16- Dados dimensionamento TC	60
Tabela 17- Ponto ANSI TC's	61
Tabela 18- Ajuste elo fusível com religador	61

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1 – Corrente nominal eficaz	27
Fórmula 2 – Corrente eficaz X corrente curto fase-terra.....	27
Fórmula 3 – Tempo máximo de atuação elo fusível	33
Fórmula 4 – Sensibilidade	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	17
2.1	Modelo de sistema aplicado a zonas urbanas e rurais.....	17
2.2	Tipologia de faltas.....	18
2.2.1	Faltas transitórias	18
2.2.2	Faltas permanentes.....	18
2.3	O curto-circuito.....	19
2.3.1	O curto circuito monofásico (fase-terra).....	19
2.3.2	O curto –circuito bifásico (fase- fase)	20
2.3.3	O curto-circuito trifásico (fase-fase-fase).....	20
2.3.4	Como calcular correntes de curto-circuito.....	21
2.4	As correntes de “inrush”	21
2.5	Equipamentos protetores contra sobrecorrente.....	22
2.6	A chave fusível e o elo fusível.....	22
2.6.1	Tipo <i>H</i>	22
2.6.2	Tipo <i>K</i>	23
2.6.3	Tipo <i>T</i>	25
2.7	Critério de instalação dos elos fusíveis.....	26
2.8	Religadores automatizados	28
2.9	Os seccionadores automatizados	28
2.10	Coordenação seletividade e proteção	29
2.10.1	A seletividade	29
2.10.2	A seletividade nos elos fusíveis.....	30
2.10.3	A seletividade na curva elo fusível.....	31
3	COORDENAÇÃO	33
3.1	A coordenação entre elos fusíveis.....	33
3.2	A coordenação de religador / elos fusíveis.....	35
3.3	A coordenação religador/ seccionador /elo-fusível	38
3.4	Condições básicas para sistemas de proteção - zonas de atuação.....	40
3.4.1	Coleta de dados.....	40
3.5	Exemplo de diagrama unifilar	41
3.5.1	Indicadores Operacionais SEP (sistema elétrico de potência).....	41
3.5.2	Consumidores Prioritários	42
3.6	Velocidade	43
3.7	Sensibilidade.....	43
3.8	Confiabilidade	43
3.9	Automação.....	44
3.10	Proteção de linhas de transmissão.....	44
3.11	Terminologia e conceitos para a proteção (CEMIG, 2015)	45
4	ESTUDO DE CASO	49
4.1	Análise viabilidade do dispositivo	51
4.2	Escolha do ajuste de proteção.....	53
5	RESULTADOS OBTIDOS	55

6 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O que impulsionou esta monografia de atuação dentro do sistema elétrico de potência, direcionado de RDR (redes de distribuição Rurais), foi a necessidade de reduzir os transitórios de longa e curta duração, provenientes das características de vulnerabilidade das redes rurais. Atualmente por medidas de contenção em nosso país, foi instaurado o conceito de eficiência energética. Estudando mais a fundo o caso pode ser constatado inúmeras falhas de nosso sistema, onde mesmo sendo arduamente monitorado e preservado vem apresentando problemas que nem sempre são vivenciados por outros setores tais como a indústria ou a parte residencial. Mas sem dúvidas o principal prejudicado atualmente vem sendo o cliente situado na área rural.

Tendo em vista que nossas matérias primas, em grande parte provem das áreas rurais de nosso país, pode se identificar que mesmo sendo uma área considerada de menos prioridade para o setor elétrico é de extrema importância em nossa economia, mas vem sendo tratada em segundo plano atualmente pelas concessionárias de energia elétrica de nosso país.

Através de dados do setor elétrico, detectou-se que um dos maiores problemas vivenciados seria a falta de energia, proporcionada por problemas na distribuição ou pelo longo período de reestabelecimento da energia proposto pelas concessionárias. Atualmente é fundamentado legalmente pela ANEEL (agência Nacional de Energia Elétrica), um prazo de restituição dos serviços de fornecimento de energia pela concessionária em áreas rurais de oito horas de espera, enquanto uma incidência urbana é sanada dentro de no máximo 4 horas. Nosso país vem apresentando um grande crescimento na cultura agrícola que se destaca no cenário como uma grande riqueza e fonte de recursos para o país. Vendo essa deficiência em nosso fornecimento de energia a estas localidades, optou-se propor uma mudança na questão da seletividade e proteção, visando o melhor aproveitamento de energia nas instalações rurais e redução das faltas de características de curta e longa duração, propondo dispositivo de rearme automatizado e com a possível conexão smart grid (redes inteligentes).

Com o objetivo de atender os desafios na área de distribuição de energia elétrica e fornecer um serviço cada vez mais confiável, com custo cada vez mais reduzido e respondendo as exigências dos órgãos que regulamentam o setor elétrico, é necessário que as concessionárias responsáveis pela distribuição de energia elétrica invistam em tecnologia de proteção dos sistemas de distribuição. O objetivo desse trabalho é apresentar melhoras nos aspectos fundamentais como: a confiabilidade e a segurança do sistema, minimizar gastos com manutenção corretiva e a demanda não atendida, reduzir danos materiais, garantir a

satisfação do fornecimento contínuo de energia elétrica e melhorar os índices do DEC (duração de interrupção equivalente por consumidor) e FEC (frequência de interrupção equivalente por consumidor).

Os sistemas elétricos não são imunes a falhas, deste modo é necessário à aplicação de um sistema de proteção com o objetivo de isolar a área com defeito mantendo o resto do sistema em funcionamento, conceito básico da seletividade. Os defeitos mais frequentes nos sistemas de distribuição são provenientes de causas humanas, causas naturais ou por falhas dos equipamentos. Muitas vezes os efeitos de uma falta em um sistema de distribuição, em que uma enorme quantidade de energia elétrica é dispersa, podem levar a destruição dos equipamentos envolvidos na falha, severas interferências no desempenho do sistema, oferecer danos aos consumidores, perdas de faturamento para as empresas de energia elétrica além de por em risco pessoas.

Para que um sistema de proteção cumpra sua finalidade principal deve oferecer características como: segurança do sistema, confiabilidade do sistema, rapidez para extinção da falha, sensibilidade e seletividade. Para estudos envolvendo o sistema de proteção, a modelagem e representação do sistema, deve ser realizada de forma a reproduzir fielmente seu comportamento real. Para isso, devem-se considerar todas as características peculiares dos sistemas de distribuição, como por exemplo, sua topologia e seus equipamentos, o desequilíbrio entre as fases e o desequilíbrio entre as cargas.

Para o estudo do sistema de distribuição existem diversas ferramentas de análise em regime permanente, as mesmas utilizam modelos e metodologias simplificadas, onde é suposto que o sistema de distribuição opera em condições de equilíbrio e o acoplamento entre as fases é ignorado ou simplificado. Para essa análise de viabilidade do dispositivo proposto foi utilizado um software direcionado a seletividade e proteção que nos forneceu o organograma de coordenação, o software utilizado nessa monografia foi o supercoordv2.

Como uma das principais atribuições das empresas concessionárias de distribuição é assegurar de forma confiável, segura, econômica e contínua o fornecimento de energia elétrica a seus consumidores. Este cenário se torna bem desafiador, quando se trata do fornecimento de energia aos clientes localizados em zona rural, normalmente atendidos por alimentadores de distribuição radiais, por meio de vários quilômetros de redes aéreas, sujeitas a todas as condições adversas que podem comprometer a continuidade de fornecimento. Para aumentar a eficiência operacional nos atendimentos às faltas de energia em derivações de média tensão rurais, é proposto nesta monografia o uso de religadores em chaves elo fusíveis,

e forma a garantir sucesso em torno de 70% a 80% das faltas transitórias em redes de distribuição rural.

Neste contexto, o presente trabalho propôs elaborar estudos de seletividade da proteção, de forma a demonstrar valores nominais adequados de elos fusíveis para os transformadores de distribuição de 13,8/0,24 kV e religadores automáticos construídos de acordo com os padrões ANSI ou IEC que possam atuar de forma seletiva para qualquer defeito originado na baixa tensão, seja para faltas transitórias, seja para permanentes fornecerão uma nova forma de seletividade visando a diminuição de chamados de manutenções pela concessionárias.

O desenvolvimento desse trabalho e os resultados obtidos se tornaram parte de uma proposta viável, que propõe futuramente a validação dos resultados obtidos através do software supercoordv2 na forma de coordenadogramas, para a implementação do serviço de distribuição rural e visa estabelecer proposta futura de reestruturação para as redes das concessionárias. Como a chegada das redes inteligentes no futuro o dispositivo apresentado nesta monografia se mostrou eficaz e viável para o upgrade do sistema de distribuição demonstrando assim que o futuro prevê de forma significativa a incidência de falhas neste serviço.

Em resumo este trabalho visa discutir os aspectos da eletrificação rural em regiões isoladas e locais de difícil acesso, bem como explorar os benefícios e potencialidades do uso de uma alternativa de pré-eletrificação rural pelas concessionárias em atendimento à legislação das suas ND's (Normas de distribuição).

Criando parâmetros de proteção e ajuste na seletividade e proteção.

- a) Mostrar a viabilidade da nova seletividade e proteção proposto utilizando religador ABB loadbreak auto link em regiões isoladas;
- b) Apresentar os principais modelos de dispositivos utilizados em seletividade e proteção em redes de distribuição RDR.
- c) Discutir os parâmetros de projeto deste sistema adotados pela CEMIG para o atendimento da legislação apresentando proposta para a viabilidade técnica da utilização deste modelo proposto dentro da ND 2.2.

2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

O sistema elétrico de potência brasileiro segue regulamentação das resoluções impostas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e são subordinadas as diretrizes impostas na forma de lei, após aprovação no congresso Nacional, ou a decretos apresentados por parte do Executivo Federal (ÁVILA, 2005).

A ANEEL estipula as normas do PRODIST (Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) relativo a serviços prestados por distribuidoras, empreiteiras e concessionárias através dos indicadores qualitativos, como: DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC. (PRODIST,2012 pág.38).

DEC – É a duração e de interrupção por unidade consumidora, onde é estipulado o intervalo de tempo, tomado por base a média, em que ocorre, ou seja a descontinuidade na prestação do serviço pelas unidade consumidora, em período de apuração, cotado em horas;

FEC – Frequência de interrupção descrita nas unidade consumidora, indicando o número de ocorrências que em média, ocorreu causando a descontinuidade na prestação do serviço nas unidades consumidoras considerando um período de apuração;

DIC – Duração na interrupção individual nas unidades consumidoras ou em pontos de conexão de instalações dos acessantes, indicando um intervalo de tempo de ocorrência da descontinuidade da prestação do serviço nas unidades ou instalações, por um período de apuração, cotado em horas;

FIC – Frequências na interrupções individual ou por unidade consumidora, ou por um ponto de conexão de instalações, indicando o número de ocorrências que ocasionou a descontinuidade na prestação do serviço em unidades ou instalações, avaliado por um período de apuração.

DMIC – Representado pela duração máxima na interrupção individual, por unidade consumidora ou ponto de conexão de instalações dos acessantes, indicando o intervalo de tempo máximo que ocasionou a descontinuidade da prestação do serviço nas unidades ou instalações, no um período de apuração, em horas (PRODIST,2012 pág.38).

Todas concessionárias brasileiras almejam o objetivo sempre manter estes indicadores dentro de metas e parâmetros estabelecidos pela ANEEL, a fim de evitar dessa forma multas e ou ressarcimento aos consumidores.

2.1 Modelo de sistema aplicado a zonas urbanas e rurais

As zonas urbanas, geralmente, possui o neutro ligado à malha terra da Subestação, onde o neutro do trafo é aterrado. Nas redes de distribuição urbana o sistema apresenta duas situações, em primeiro lugar o sistema apresenta densidade de carga alta possuindo grande

número de alimentadores numa extensão pequena. Em outra situação o sistema apresenta densidade de carga baixa e o mínimo de alimentadores na extensão. Desprezando as condições da carga e a extensão, e alocando as redes em operação será necessário que todos os trechos apresentem um tipo de proteção (CEMIG, 2013).

Para a zona rural, onde a rede de distribuição possui dezenas de quilômetros, e precisa atender pequenas cidades em seu caminho. Por essas características são muito expostas às forças da natureza, infinita vez mais que a rede urbana. Sem levar em consideração a extensão todos os trechos deverão apresentar proteção (CEMIG, 2013).

Algumas condições básicas de tensão atuantes na rede de distribuição de energia elétrica são: 11,9 ou 13,8 kV para a rede primária e 220/127 V e 380/220V para a rede secundária (FISP, 2013).

2.2 Tipologia de faltas

A Palavra falta é o termo apropriado para todo fenômeno acidental que venha interromper o bom funcionamento do SEP (sistema elétrico de potência) ou equipamento. Possuem dois tipos de faltas, as faltas transitórias e faltas permanentes (FISP, 2013).

2.2.1 Faltas transitórias

Estudos estatísticos apontam como responsável por 80% das faltas nas redes de distribuição sendo transitórias de longa ou curta duração. Sabendo que as faltas transitórias são as que mais afetam os circuitos temporariamente. Com o acionamento dos equipamentos integrantes da proteção ocorrerá o religamento do circuito, e a falha será eliminada (CEMIG, 2013).

Os causadores de falhas transitórias podem ser: (CEMIG, 2013).

- a) Contato momentâneo envolvendo os cabos condutores sem isolamento.
- b) Raios.
- c) Produção de arco elétrico.
- d) Falta de isolamento dos materiais.

2.2.2 Faltas permanentes

Caracterizam-se por faltas de caráter permanente, as falhas que necessitam de intervenção do homem para a correção da falha, antes do religamento do circuito (FISP, 2013).

Eventualmente a falha transitória poderá vir a se transformar em uma falha permanente. As causas mais atuantes nas falhas permanentes são: (CEMIG, 2015).

- a) Incidência de queda de árvore nas linhas de distribuição
- b) Acidentes de automóveis que venham a derrubar postes de energia
- c) Atuação do homem em atos de vandalismo.

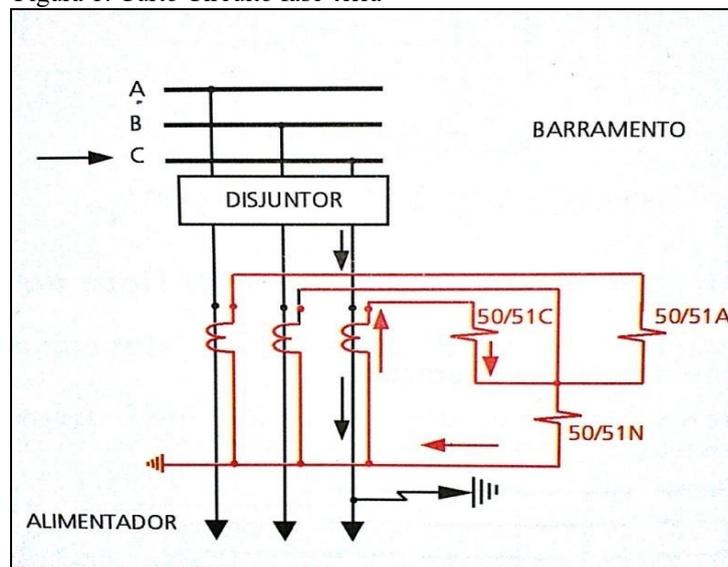
2.3 O curto-circuito

Os Curtos-circuitos caracterizam-se sendo anomalias que atuam no SEP (sistema elétrico de Potência) e pode causar enormes danos aos dispositivos integrantes do sistema. O curto circuito possui níveis de que se restringe à: curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico (ARAUJO, 2005).

2.3.1 O curto circuito monofásico (fase-terra)

Descrevemos como curto-circuito monofásico o curto que envolve apenas uma das fases juntamente com o terra. Abaixo a figura exemplifica (ARAUJO, 2005).

Figura 1: Curto Circuito fase-terra

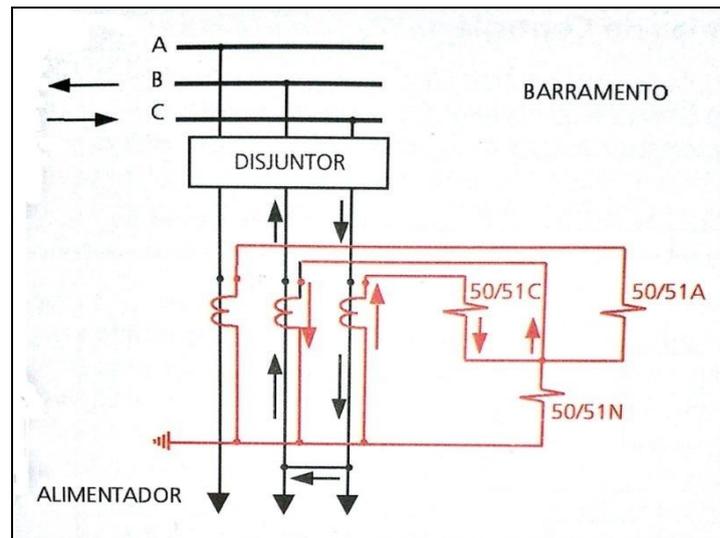


Fonte: Araujo, 2005

2.3.2 O curto –circuito bifásico (fase- fase)

Descreve-se por curto-circuito bifásico o curto ocorrido em duas das fases. Assim como demonstra a figura abaixo (ARAUJO, 2005).

Figura 2: Curto circuito fase-fase

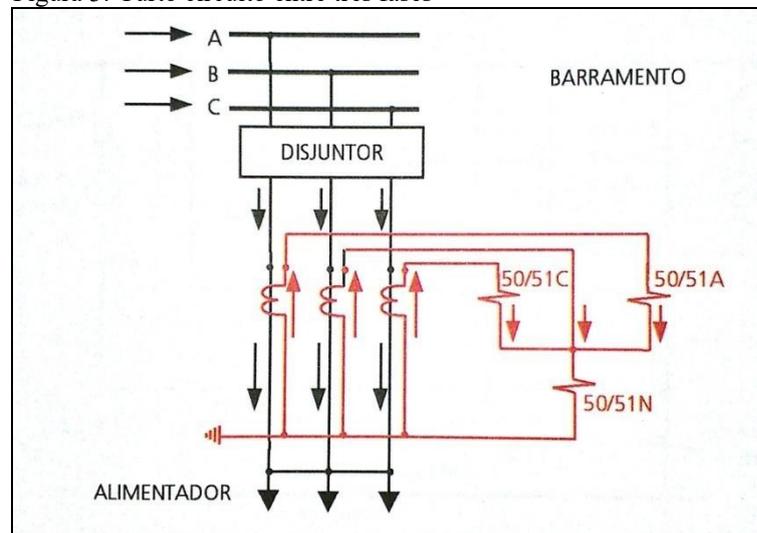


Fonte: Araujo, 2005

2.3.3 O curto-circuito trifásico (fase-fase-fase)

O curto-circuito trifásico ocorre entre as três fases. Assim como demonstra a figura a seguir (ARAUJO, 2005).

Figura 3: Curto circuito entre três fases



Fonte: Araujo, 2005

2.3.4 Como calcular correntes de curto-circuito

Quando projetamos o as redes de distribuição energia, sendo elas urbanas ou rurais, sempre devemos levar em conta as informações do valor da corrente de curto circuito, que irão atuar diversos pontos da rede. As mesmas auxiliam no dimensionamento e calibração dos equipamentos de proteção dispostos na rede de distribuição, tais como: (STEVENSON, 1974).

- a) Dispositivo Chave Fusível e Elo Fusível
- b) Dispositivos de proteção disjuntores
- c) Componentes relés
- d) Componentes religadores
- e) Dispositivos Seccionalizadores

São necessários sempre à realização de cálculos de curto-circuito para a determinação do circuito equivalente de Thevenin, visto a partir do ponto da falta.

2.4 As correntes de “inrush”

Essas correntes são formadas quando damos início a energização de transformadores, apresentando um fenômeno físico que inicial se torna maior que a corrente à vazão, atingindo até vinte vezes a corrente de pico do valor nominal do trafo, este fenômeno de corrente transitória na magnetização é nomeamos de corrente Inrush ou (surto). Correntes Inrush é um fenômeno transitório ocasionado pela queda momentânea na tensão quando a impedância na fonte inicialmente é considerada. O efeito é de suma importância para no dimensionamento de dispositivos de proteção integrantes da rede de distribuição, sendo que os dispositivos de proteção que quando parametrizados com os valores inferiores, compreenderam o surto como se fosse uma sobrecorrente, e conseqüentemente causarão a atuação de dispositivos de proteção integrantes da rede de distribuição (LEDESMA, 2011).

Deve-se atentar para a corrente Inrush que jamais poderão atingir valores maiores que a corrente de curto circuito trifásico, isso em qualquer local da rede. Mas por acaso se for calculado a corrente de Inrush a mesma for superior a corrente de curto circuito trifásico, consideraremos somente a corrente de Inrush sendo igual a corrente de curto circuito (LEDESMA, 2011).

2.5 Equipamentos protetores contra sobrecorrente

A proteção na distribuição de energia no sistema elétrico é necessária, mas deve levar em conta a existência de alguns equipamentos dos tipos: fusível, disjuntor, rele, religador, dentre outros que possuem a função de interromper ou seccionar o circuito onde ocorrerem as falhas, visando minimizar o dano pela anomalia.

Os dispositivos de proteção atuam de forma seletiva nas redes de distribuição de energia elétrica (FURTADO, 2011).

2.6 A chave fusível e o elo fusível

São dispositivos de baixo custo, que apresentam uma atuação satisfatória na proteção do sistema elétrico. As chaves-fusíveis por exemplo são dispositivos utilizados na proteção de rede de distribuição principalmente em redes sujeitas a danos pela natureza como as redes encontradas em zonas rurais (MAMEDE, 2014).

A chave elo-fusível é um dispositivo mais complexo, pois possui um componente acoplado que recebe o nome de cartucho. O cartucho possui em seu interior o elo-fusível, ou como é conhecido a termos técnicos elemento de proteção. Esse elemento apresenta característica de atuação caracterizada pelo seu rompimento em função da curva tempo x corrente, mas para que possa atuar e realizar a interrupção da corrente elétrica faz-se necessário que o elo-fusível possua uma câmara tubular cobrindo o elemento ativo, para que quando houver a queima do elemento de proteção a câmara extinga o arco elétrico. O fenômeno de extinção do arco ocorre liberando uma substância que ao ser aquecida desprende um gases deionizantes, que impossibilita o arco de se propagar aos terminais do elo-fusível (MAMEDE, 2014).

Os elos-fusíveis podem se codificar da seguinte forma: Tipo *H*, Tipo *K*, Tipo *T* (MAMEDE, 2014).

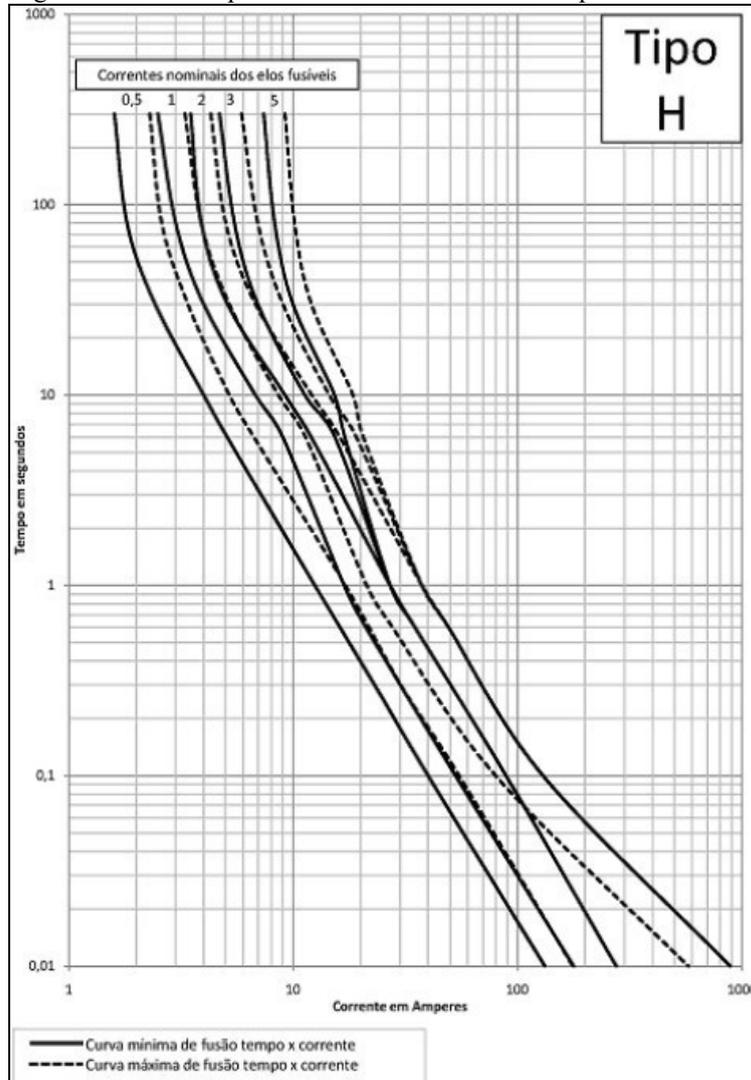
2.6.1 Tipo *H*

Caracteriza por possuírem fusíveis de altos surtos, e tempo de atuação longo, este modelo é muito utilizado quando houver necessidade de proteção de transformadores de distribuição. Ideal por apresentar devida uma atuação lenta e não interferir na energização do

transformador quando houver o início do aparecimento da corrente de Inrush (MAMEDE, 2014).

Sendo especificados com as seguintes correntes nominais: 0,5-1-2-3-5A.

Figura 4: Curva tempo x corrente dos Elos fusíveis tipo H



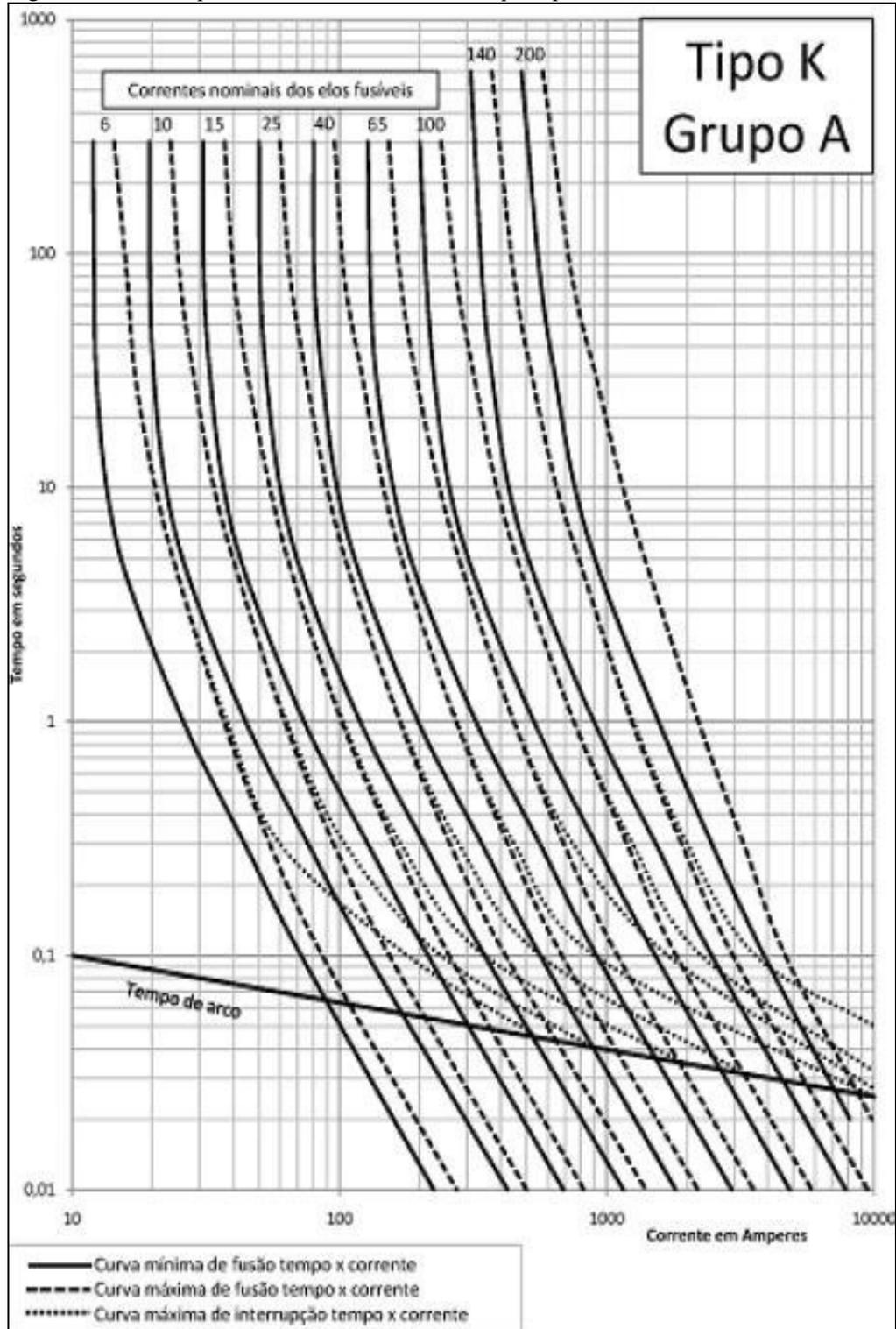
Fonte: Mamede, 2014

2.6.2 Tipo K

Os fusíveis tipos *K* são dispositivos que possuem o tempo de atuação rápido. Devido a essa característica são especificados para proteção dos ramais alimentadores de distribuição. Os elos fusíveis do tipo *K* possuem diferentes tipos, são eles: Os elos-fusíveis preferenciais e os elos-fusíveis não preferenciais. Precisam possuir essa classificação para diferenciar a existência e indicação da coordenação que envolve os elos-fusíveis que fazem parte do mesmo grupo.

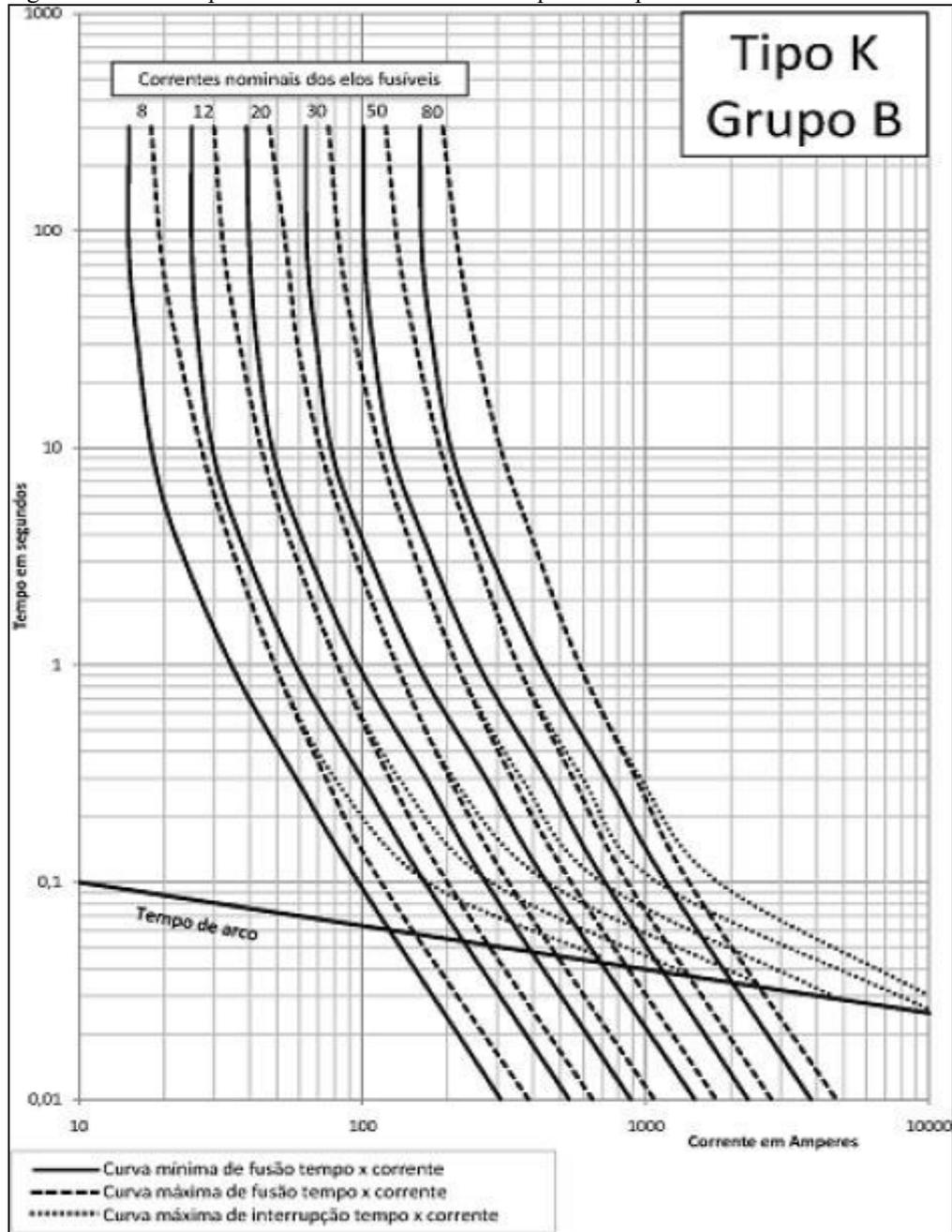
Pode-se então afirmar que os elos- fusíveis de grupos diferentes não serão seletivos. As correntes nominais atuantes nesses modelos de elos- fusíveis preferenciais possuem valores nominais de corrente de: 6-10-15-25-40-65-100-140- 200A, conforme Figura 5, já os não preferenciais possuem corrente nominal de: 8- 12-20-30-50-80A (MAMEDE, 2014).

Figura 5: Curva tempo x corrente dos elos fusíveis tipo K preferencias



Fonte: Mamede, 2014

Figura 6: Curva tempo x corrente dos Elos fusíveis tipo K não preferenciais



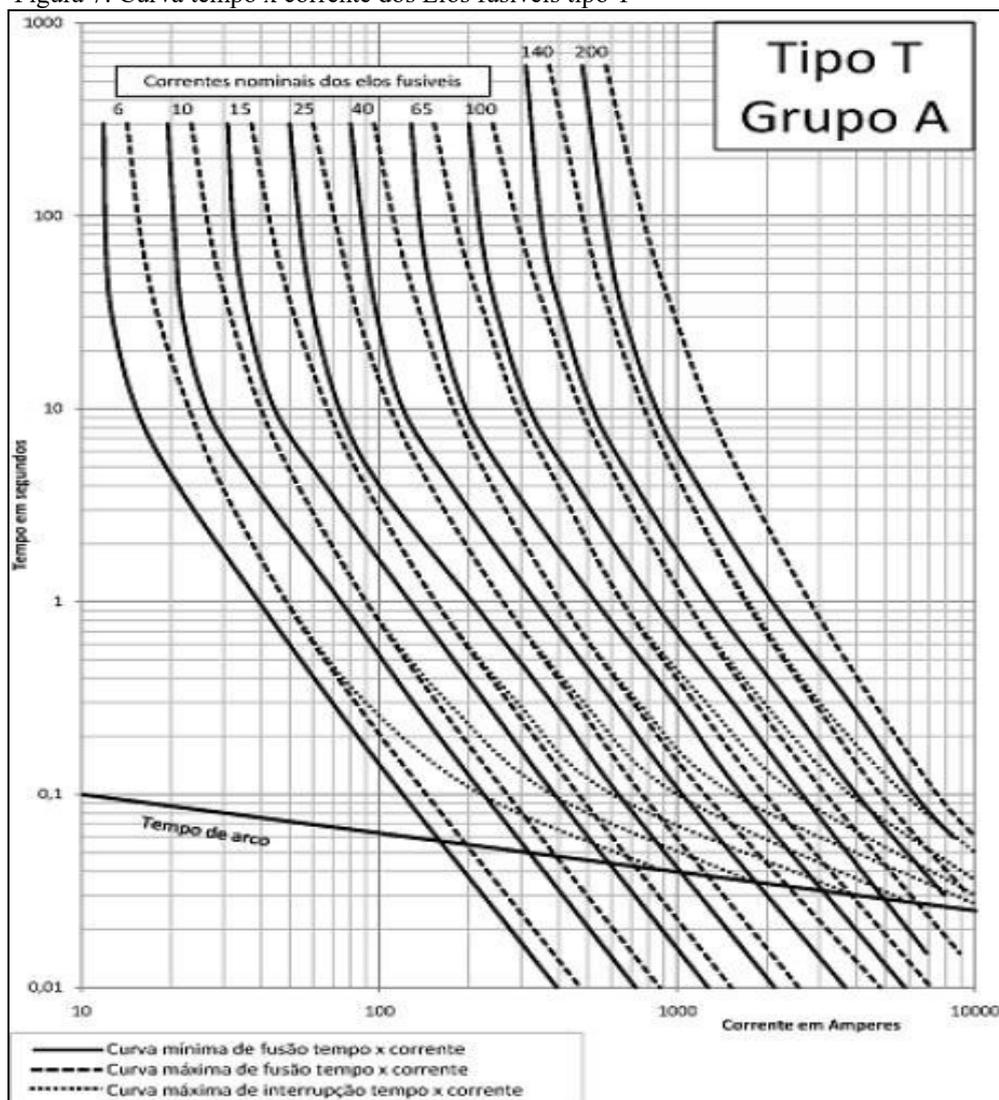
Fonte: Fonte: Mamede, 2014

2.6.3 Tipo T

Fusíveis integrantes do grupo T, operam com a condição de duração longa, porem, a sua relação de rapidez varia entre 10A/s, diferenciando o mesmo dos demais elos fusíveis que possuem as correntes nominais fixas em 6 A/s e 13 A/s . Sua atuação se restringe para elos fusíveis com corrente nominal de 200 [A] ou mais.

Elos fusíveis do tipo T possuem a finalidade bem distinta e atuam na proteção de alimentadores de distribuição e seus ramais (MAMEDE, 2014).

Figura 7: Curva tempo x corrente dos Elos fusíveis tipo T



Fonte: Mamede, 2014

2.7 Critério de instalação dos elos fusíveis

Os critérios básicos existentes para a aplicação dos elos fusíveis em um sistema de distribuição são:

Atentar ao dimensionamento do elo fusível de modo a prever o crescimento da carga dentro de um período de tempo de cinco anos (FISP, 2013).

Mensurar o elo fusível de forma a suportar cargas de transferência em caso de manobras na rede de distribuição ou casos de manutenções.

Na proteção dos ramais fazem-se necessários termos cautela com a corrente nominal no elo fusível, devemos prever que seja sempre superior ou igual a 150% da corrente máxima na carga prevista em projeto no ponto de instalação da chave fusível. Para tal usamos a equação (FISP, 2013).

$$I_{nef} \geq 1,5 \times I_{m\acute{a}x} \quad (1)$$

I_{nef} = corrente nominal do elo fusível, em A

$I_{m\acute{a}x}$ = corrente máxima do alimentado, em A

A chave fusível deve possuir uma corrente nominal igual a pelo menos 150% da corrente nominal da corrente do elo fusível.

Deve-se calcular e determinar as correntes de curto-circuito trifásicas, bifásicas e fase-terra para todos os pontos onde possuir instaladas as chaves fusíveis. No elo fusível deve-se possuir uma corrente nominal igual ou inferior a 25% da corrente de curto-circuito fase-terra, ou seja, a mínima corrente que ocorrer no fim do trecho. Para isso utilizamos a equação abaixo: (STEVENSON, 1974).

$$I_{nef} \geq 0,25 \times I_{ft} \quad (2)$$

I_{ft} = corrente de curto-circuito fase-terra

Nos trecho da rede de distribuição, devemos determinar a corrente de carga máxima.

Abaixo na Figura 8 e 9 demonstram a diferença entre elo fusível e chave elo fusível (STEVENSON, 1974).

Figura 8: Elo fusíveis



Fonte: Caixeta, 2008

Figura 9: Chave elo fusível



Fonte: Caixeta, 2008

2.8 Religadores automatizados

O religador automático é um dispositivo que detecta o curto-circuito na linha e automaticamente desarma e arma, ou (abre e fecha os contatos internos) continuamente até perceber a extinção do curto, este procedimento é feito no máximo por três vezes num intervalo de tempo (tempo de religamento), mas, no caso do curto-circuito não tiver extinguido, o dispositivo atuará até a terceira vez no religador e ficará aberto após a quarta tentativa, bloqueando assim o curto-circuito para que não atue no resto do circuito. Após se esgotar as tentativas somente poderão ser religados no sistema da forma manual (FISP, 2013).

Religadores possuem duas características em suas curvas são elas: rápida e temporizada. Devido ao funcionamento do religador o melhor para este dispositivo é evitar que faltas transitória queimem elos fusíveis (FURTADO, 2011).

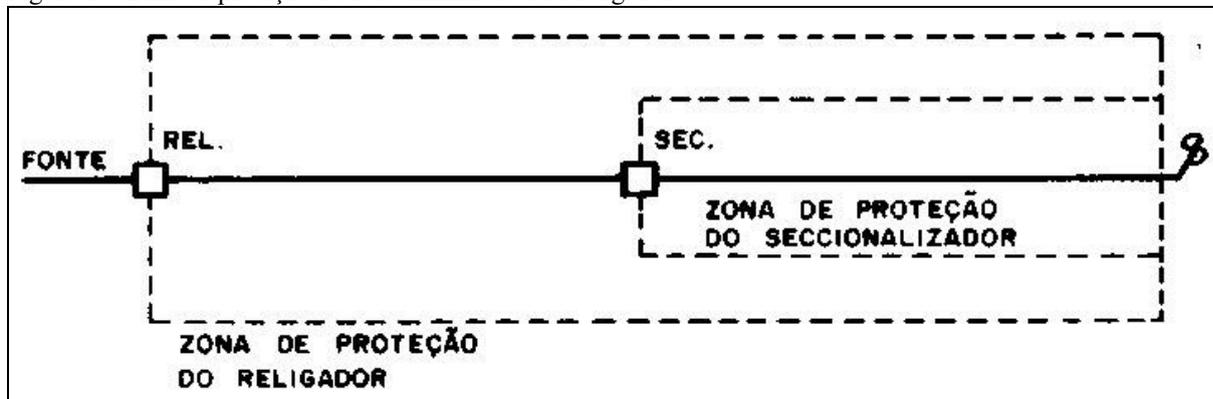
2.9 Os seccionadores automatizados

O dispositivo seccionador automatizado localiza-se sempre a retaguarda da proteção.

A característica de isolar o restante do circuito, quando sentir que o dispositivo de proteção a sua retaguarda foi acionado e desarma-lo (CAIXETA, 2008). Atua através de um

elemento sensível a sobrecorrente em conjunto com o contador de aberturas localizado em sua retaguarda (CAIXETA, 2008).

Figura 10: Zona de proteção do seccionizador e do religador.



Fonte: FISP, 2013

2.10 Coordenação seletividade e proteção

Os objetivos de um sistema de proteção e distribuição de energia elétrica encontra-se restrito ao isolamento sempre da forma mais rápida possível do trecho onde ocorrer um distúrbio (ALVARENGA, 2006).

Para que haja eficiência faz-se necessário haver alguns requisitos, são eles: seletividade, coordenação, velocidade, sensibilidade, confiabilidade e automação (ALVARENGA, 2006).

2.10.1 A seletividade

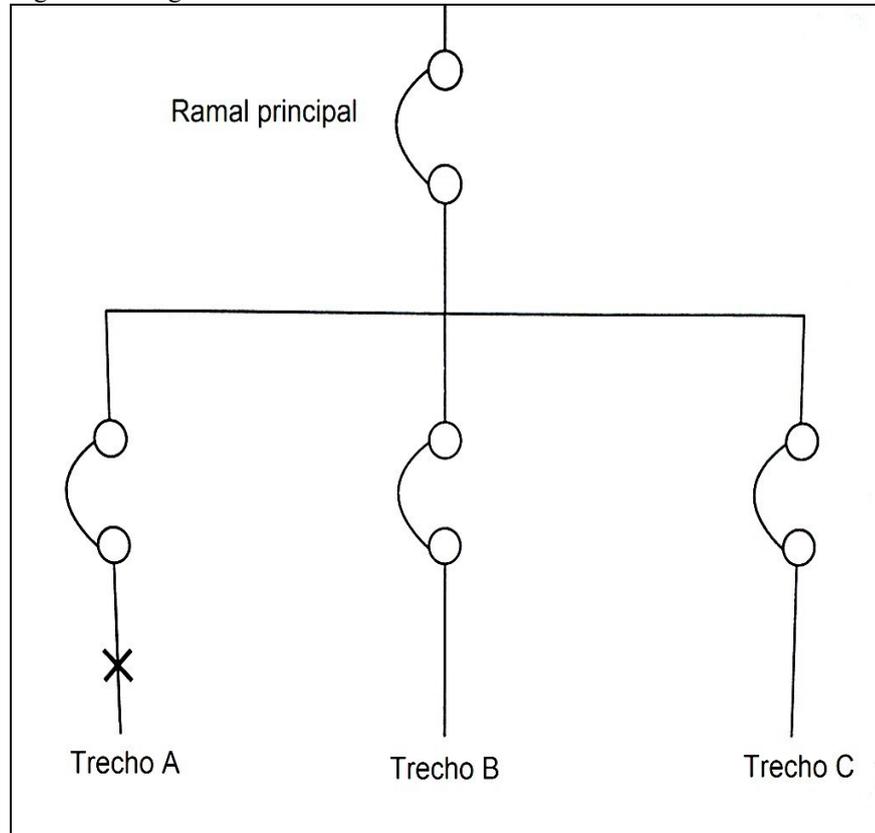
A atuação da seletividade é basicamente, atuar no dispositivo de proteção mais próximo quando ocorrer falta, podendo ser falta permanente ou transitória (CAIXETA, 2008).

A seletividade é uma técnica aplicada na proteção e coordenação, que envolve apenas o elemento de proteção mais próximo da falha e o desacople do sistema elétrico defeituoso (FURTADO, 2011).

É de suma importante que haja seletividade entre os dispositivos de proteção, pois, na ocorrência de um distúrbio, o dispositivo mais próximo do equipamento de proteção, deverá atuar. Abaixo na figura 11 é demonstrado um exemplo simples de como deve atuar um sistema, restringindo os demais circuitos, do sistema elétrico de distribuição, de se desativar na presença de uma falta (FURTADO, 2011).

Implementa-se uma ocorrência de falha no trecho A, a seletividade de proteção isolou somente o mesmo, mantendo os trechos B e C energizados, se caso não ocorresse, poderíamos afirmar falha na seletividade (FURTADO, 2011).

Figura 11: Diagrama unifilar de trecho com seletividade



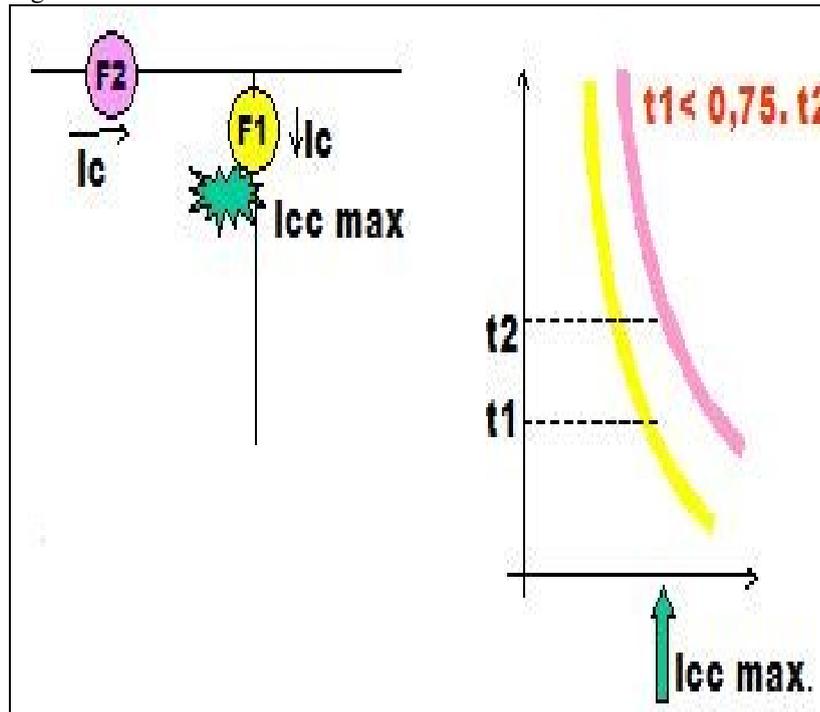
Fonte: CEMIG, 2003

2.10.2 A seletividade nos elos fusíveis

Se aplicarmos a seletividade, envolvendo dois ou mais elos fusíveis instalados em série, a mesma somente será satisfatória quando o tempo total de interrupção do elo fusível protetor (F1), não exceder a 75% do tempo mínimo de fusão do elo-fusível protegido (F2).

Conforme demonstrado na figura 12 o elo-fusível protetor (F1) está instalado o mais distante da subestação, dessa forma deverá queimar caso ocorra um problema. Mas o elo fusível protegido (F2) situa-se o mais próximo da subestação e não deverá queimar (DUTRA, 2002).

Figura 12: Seletividade envolvendo Elos fusíveis.



Fonte: CEMIG, 2015.

Podemos usar uma técnica para a amplificação da faixa de seletividade quando envolvemos os elos-fusíveis, neste caso é recomendável optar pelo uso do grupo K (tempo rápido) com valores de 6, 10, 15, 25 e 40 para elo- fusível protetor, e valores de 10, 15, 25, 40 e 65 para elo-fusível protegido (CEMIG, 2015).

Tabela 1: Seletividade envolvendo Elos fusíveis

Elo fusível protetor	Elo protegido				
	10K	15K	25K	40K	65K
6K	90	230	420	700	1200
10K	-	130	370	700	1200
15K	-	-	220	640	1200
25K	-	-	-	350	1100
40K	-	-	-	-	700

Fonte: CEMIG, 2015

2.10.3 A seletividade na curva elo fusível

Aplica-se a seletividade entre o alimentador e o elo-fusível, para isso, necessitamos que o esteja bloqueado junto a corrente de surto antes do alimentador, para o acontecimento, o tempo de interrupção do elo deve ser no máximo 75% do tempo de atuação da unidade temporizada do alimentador (CEMIG, 2003).

Figura 13: Curva de seletividade alimentador Elo fusível



Fonte: CEMIG, 2003

Precisamos sempre verificadas as curvas de interrupção máximas dos elos e as sua curva de temporização no alimentador, para que possamos obter eficiência na seletividade no caso do aparecimento de correntes de curtos-circuitos bifásicos. Se o alimentador possuir curva maior do que o elo fusível comprometerá a seletividade.

Se tomarmos com referencial os casos de curto circuito fase-terra, iremos verificar que a seletividade para as correntes de curto circuito mesmo mínimo, demonstraram resistências de falta variadas. A concessionária CEMIG (Companhia energética de Minas Gerais) estabelece como base a resistência de falta em 40 ohms para o ponto onde for instalação a chave elo fusível. Padronizando o término do trecho protegido pelo fusível, viabilizando o projeto da curva de seletividade, de interrupção máxima do elo e a curva temporizada apresentada pelo alimentador gerando um gráfico coordenado (LEDESMA, 2011).

3 COORDENAÇÃO

A palavra coordenação refere-se à condição onde dois ou mais dispositivos de proteção operaram em uma determinada sequência definidas, levando em consideração as condições de falta no sistema (ÁVILA, 2005).

Coordenação refere-se a fazer com que a mínima parte da rede seja prejudicada e posteriormente fique inativa, sendo assim evita que equipamentos de proteção, que não possuam religadores automático atuem nas faltas transitórias (ÁVILA, 2005).

Para os estudos de coordenação realizamos a superposição das curvas características tempo x corrente, objetivando a definição do tempo adequado de ação em cada equipamento (ÁVILA, 2005).

Nas redes de distribuição de energia elétrica, possuímos uma quantidade de dispositivos de proteção bem grande no decorrer dos circuitos, parte daí a necessidade do emprego da coordenação, que procura evitar que ocorra o desligamento completo em trechos desnecessários (ÁVILA, 2005).

3.1 A coordenação entre elos fusíveis

Ao nos depararmos com um curto-circuito no sistema, e sendo possível aplicar a coordenação nos elos- fusíveis ligados em série. Estes necessitarão que o tempo do elo-fusível protetor atinja ao menos máximo 75% do menor de tempo de fusão do elo-fusível protegido, ou seja: (STEVENSON, 1974).

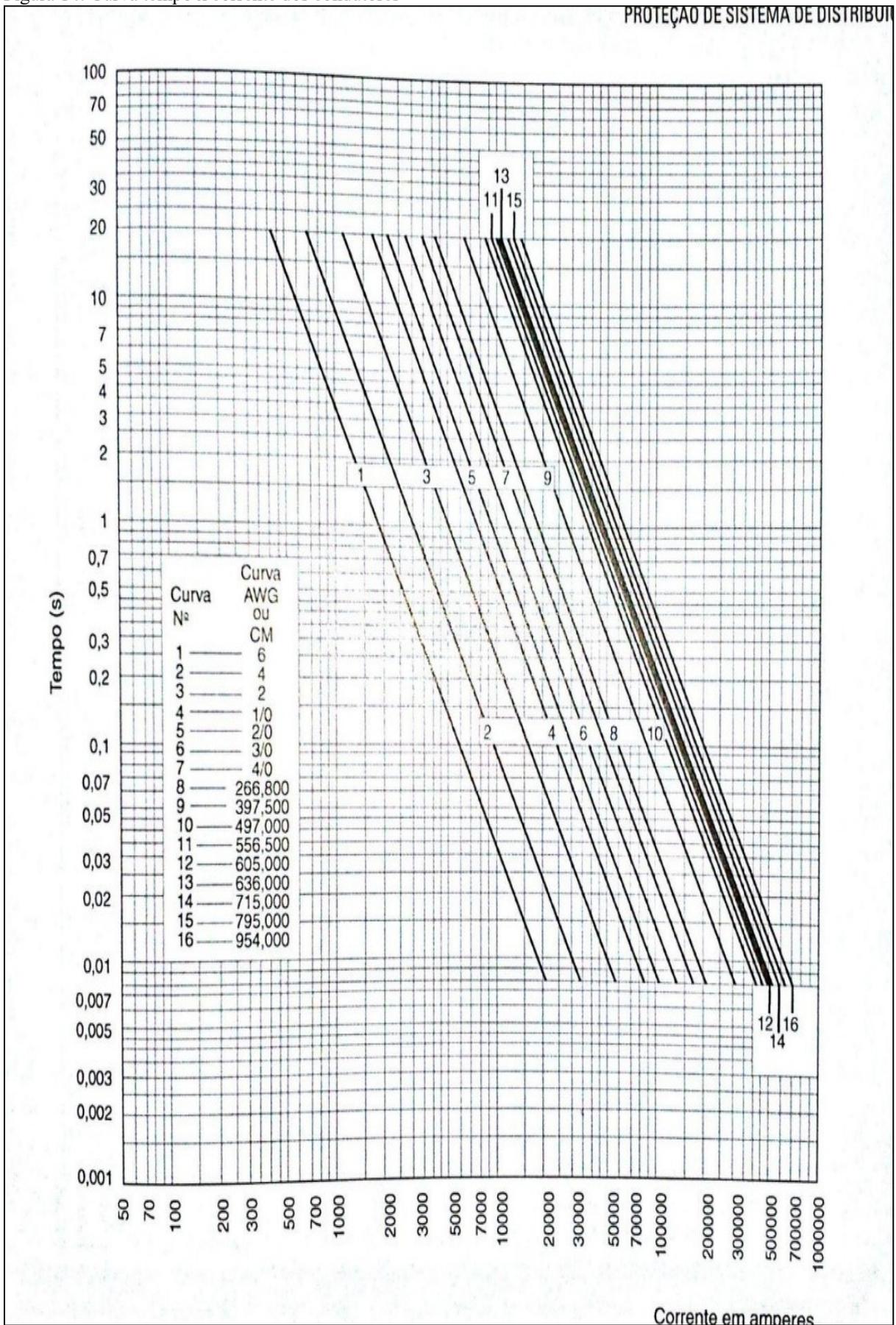
$$T_{m\acute{a}x f d} \leq 0,75 \times T_{m\acute{i}n f a} \quad (3)$$

Onde:

$T_{m\acute{a}x FD}$ = Tempo máximo de atuação do elo-fusível protetor

$T_{m\acute{i}n FA}$ = Tempo mínimo de atuação do elo fusível

Figura 14: Curva tempo x corrente dos condutores



Fonte: Mamede, 2014

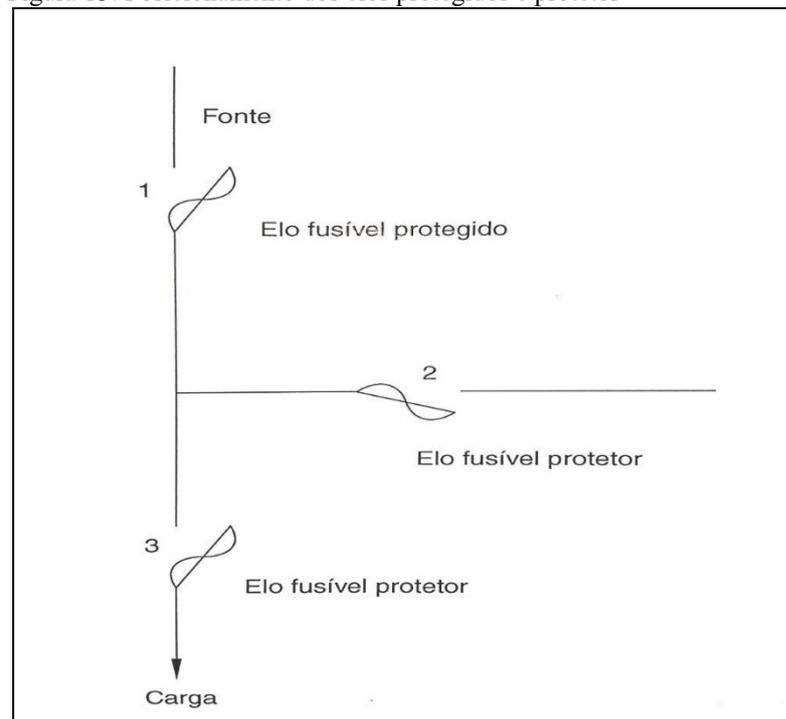
Para a atuação da coordenação envolvendo os elos fusíveis, devem-se adotar critérios, tais como: (MAMEDE, 2014) quantificar a quantidade de chaves fusíveis implementadas em série e se houver mais que duas chaves a coordenação, a mesma torna-se desapropriada, caso ocorrido devemos programar a proteção usando outros componentes na proteção. (MAMEDE, 2014).

Para aplicarmos a coordenação entre os elos protegidos e protetores, recomenda-se, que seja reduzido o número de elos-fusíveis no alimentador. Sendo que as séries de elos fusíveis mais recomendados são: 6-10-15-25-65A (MAMEDE, 2014).

Pode haver coordenação envolvendo os elos protegido e protetor, em locais onde ocorra o maior valor da corrente de curto-circuito, neste local é adequado a instalação do elo protetor (MAMEDE, 2014).

Abaixo a Figura 15 ilustra as corretas posições onde devem ser instalados os elos-fusíveis visando uma coordenação eficiente (MAMEDE, 2014).

Figura 15: Posicionamento dos elos protegidos e protetor



Fonte: Mamede, 2014

3.2 A coordenação de religador / elos fusíveis

Existem duas condições utilizadas na coordenação que envolve religadores e elos-fusíveis (MAMEDE, 2014).

- a. Primeira – O elo fusível é posicionado junto da carga.
- b. Segunda – O elo fusível é posicionado junto da fonte.

Leva-se em conta a primeira condição, ajustando os religadores para operar na curva rápida e posteriormente na curva temporizada, o resultado será a coordenação de forma mais elaborada, e envolverá o elo-fusível e o religador de forma satisfatória. Porém se não obtiver o rompimento do elo fusível durante a operação do religador ou se não houver a fundição durante a primeira operação temporizada a seletividade será nula (MAMEDE, 2014).

Se o religador atuar com a sequência de duas operações rápidas e uma terceira ação temporizada, e a manobra fizerem com que o elo não se funda na primeira ou segunda tentativas, o alimentador tratará a falha como se o problema fosse somente uma falta transitória, e atuará restabelecendo a falta naturalmente. Se durante o processo não ocorrer, a terceira operação, parametrizada, o elo-fusível atuará interrompendo a corrente do circuito, devido ao aparecimento de grandes correntes de curto, levando o dispositivo a atuar tratando a ocorrência como uma falta permanente (CAIXETA, 2008).

Para maior eficiência na coordenação o religador e elo-fusível, devem adotar certos critérios, tais como: (MAMEDE, 2014).

Se analisarmos a fundo a pequena corrente que aciona a proteção de fase deveria ser menor que a corrente de curto-circuito bifásica mínima do trecho protegido pelo religador. Mas a corrente mínima adotada para acionar o dispositivo de proteção de neutro, também deveria seguir o conceito e ser menor que a corrente mínima de curto-circuito fase-terra do trecho protegido pelo religador, porém sempre superior à corrente máxima de desequilíbrio do alimentador (MAMEDE, 2014).

Para a perfeita parametrização da seletividade proteção do trecho, a curva de suportabilidade térmica presente nos condutores elétricos e outros equipamentos instalados junto ao alimentador, deverão ser mantidas acima das curvas de operação lenta do religador (MAMEDE, 2014).

No ajuste do religador devemos adotar as seguintes sequências: duas ações rápidas e duas ações operações retardadas (temporizadas) (MAMEDE, 2014).

Preferencial nos religadores adotam-se as curvas de atuação de fase e neutro com característica tempo x corrente muito inversa (MAMEDE, 2014).

A incisão na curva rápida do religador, fará com que se desloque para o fator de multiplicação “K”, e a curva de tempo mínima de fusão no elo, dessa forma estipule o limite. O Fator K esta relacionado à quantidade de operações do religador e com os tempos de

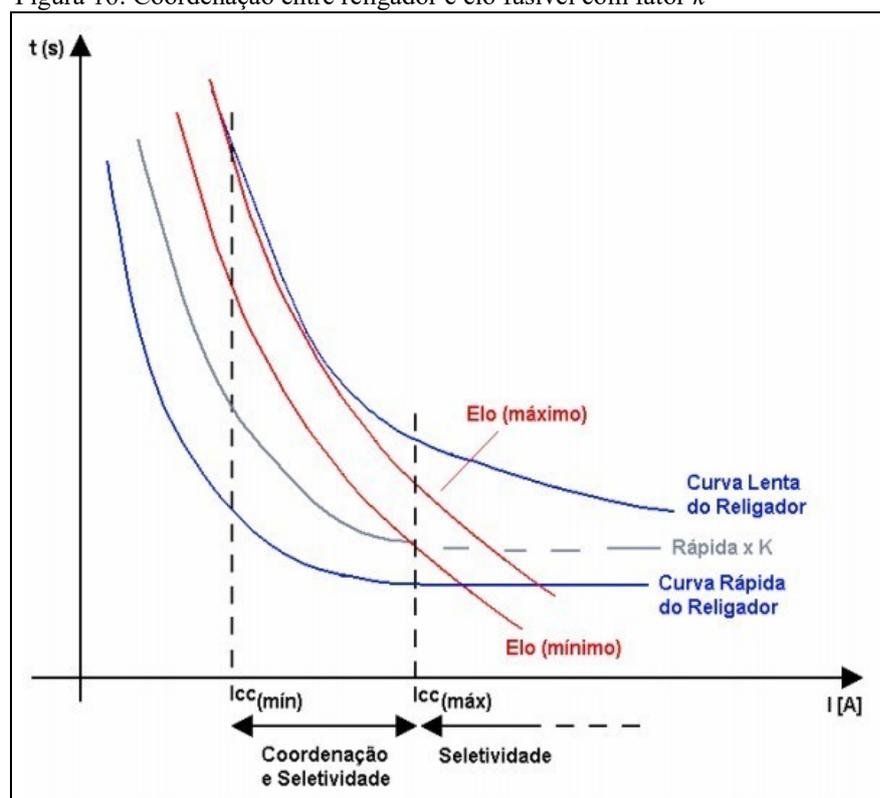
atuação superiores da faixa de proteção no ponto de coordenação. Criando o ponto máximo de coordenação entre o religador e o elo-fusível (MAMEDE, 2014).

Os religamentos servem para corrigir o tempo de operação do elo-fusível, o qual aquecerá se houver muitas operações do religador (ÁVILA 2005). O fator K é o fator de segurança, sendo criado quando o religador tem uma sequência de operações rápida, leva em conta o aquecimento do elo, devido às sequências de operações (CAIXETA, 2008).

Para todo tipo de corrente de curto-circuito encontrada no trecho, o religador será proteção de retaguarda, dessa forma o mesmo deve ser ajustado para atuar de forma seletiva com o elo-fusível (STEVENSON, 1974).

Para que seja criada a proteção do transformador de corrente do religador, o mesmo deverá suportar uma corrente de 20 vezes à corrente de curto-circuito na barra (STEVENSON, 1974).

Figura 16: Coordenação entre religador e elo fusível com fator k



Fonte: Mamede, 2014.

Conforme a figura abaixo fica definida graficamente a faixa de coordenação entre o religador e o elo-fusível (STEVENSON, 1974). Fica definida a faixa de coordenação, em que a curva do tempo máximo do elo-fusível (curva 5) transpassa com a curva lenta de operação do religador (curva 3) e intercepta a curva mínima de fusão no elo-fusível (curva 4)

confrontando com a curva de operação rápida do religador corrigida pelo fator K (curva 2) (MAMEDE, 2014).

3.3 A coordenação religador/ seccionador /elo-fusível

Certos critérios devem ser adotados para haver coordenação entre os dispositivos.

Com por exemplo na instalação de seccionadores devemos sempre utilizar o sentido do religador de distribuição e o posicionamento do elo-fusível, lembrando que a chave fusível será instalada sempre no sentido do seccionalizador (CAIXETA, 2008).

O religador pode ser ajustado inúmeras maneiras, mas, para uma coordenação eficiente entre os dispositivos, devemos obedecer à sequência de operação do religador: sendo uma operação rápida e três temporizadas. Após a parametrização do religador o seccionalizador deverá ser ajustado para três contagens, sendo iniciado pela quantidade de operações realizadas no religador. Quando a corrente que passar por sua bobina ligada em série, e a corrente estiver maior sua corrente de atuação. O seccionalizador ajustará sua corrente de maneira a serem inferiores as correntes de curto-circuito (MAMEDE, 2014).

O seccionalizador utilizará o tempo de memória maior que a soma dos tempos de religamento do religador. O ajuste da corrente no seccionalizador será igual ou inferior a 80% da corrente de acionamento do religador (MAMEDE, 2014).

Se optarmos em adicionar um seccionador adicional no trecho disposto em série próximo ao primeiro, o mesmo deverá ser ajustado de forma a obedecer a contagem das operações do primeiro. Quando instalamos o seccionador em paralelo com o primeiro ambos devem se ajustar para a contagem inferior à contagem do religador de distribuição, somente assim o seccionalizador apresentará um número de contagem apropriada, sendo inferior à relação do número de operações parametrizadas no religador (MAMEDE, 2014).

A zona protegida pelo religador na distribuição possuirá a curva tempo x corrente de sobrecorrente da fase e do neutro no religador. Deverá se manter acima da curva tempo x corrente, dos elos-fusíveis, afim de que as correntes de curto-circuito do trecho possam assegurar a seletividade das curvas. Os ajustes deverá possuir s 0,20 segundos em adianto (MAMEDE, 2014).

Se o religador atuar como proteção de retaguarda o mesmo deverá ser ajustado de forma que sua atuação seja seletiva com os elos-fusíveis, levando em conta a menor corrente de curto-circuito trifásico, bifásico e fase-terra do trecho (MAMEDE, 2014).

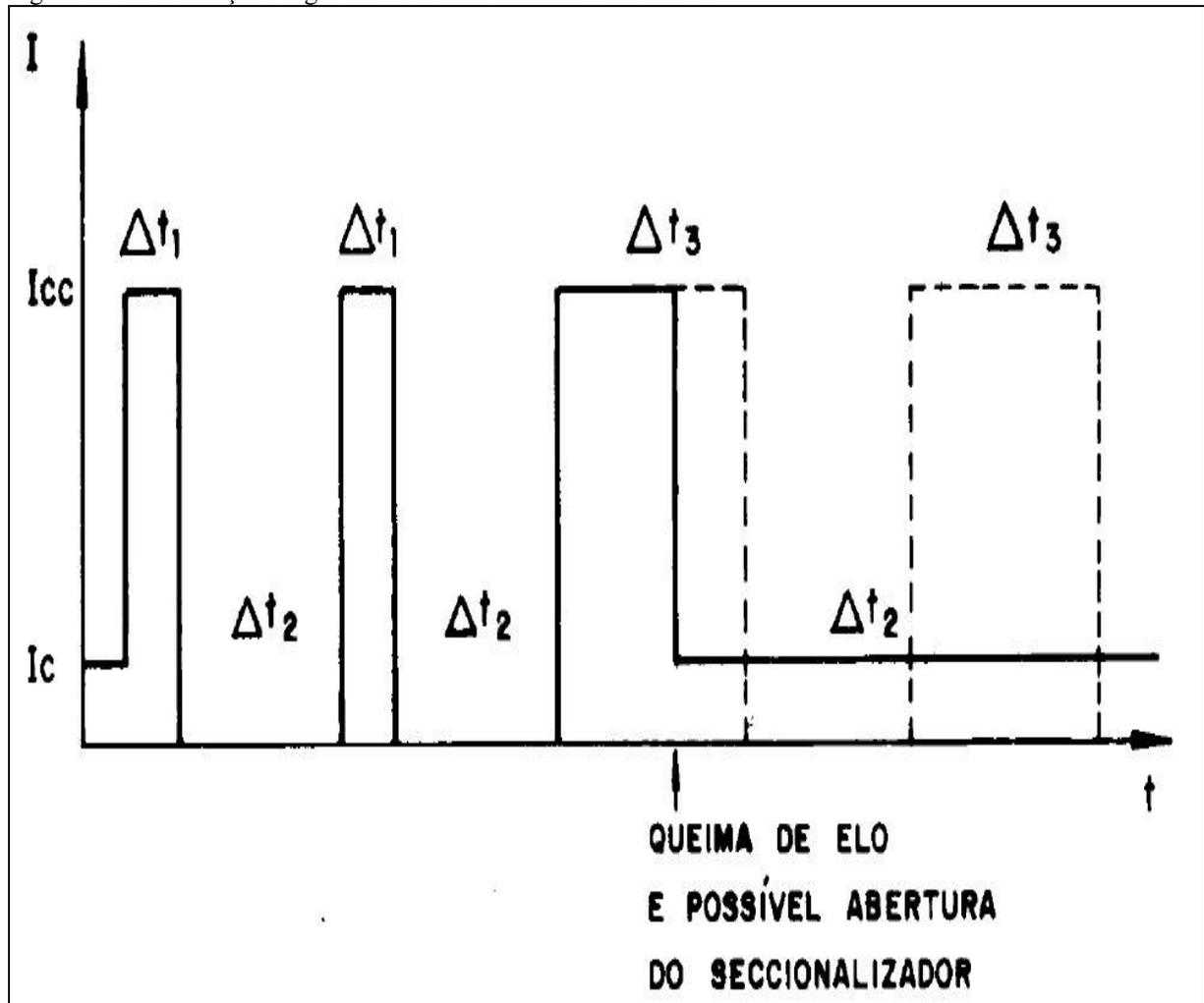
O trecho onde atua o religador de proteção de retaguarda, a unidade de sobrecorrente.

instantâneas deverá ajustar-se com o valor inferior ao da corrente de curto-circuito, denominado valor simétrico (MAMEDE, 2014).

No tempo parametrizado para as fases (curva rápida), a unidade atuação da corrente instantânea do religador não deverá atuar. Se houver a atuação poderá causar falhas na corrente de magnetização do transformador (FISP, 2013).

As figuras 17 demonstra a atuação da sequência de operações dos dispositivos (FISP, 2013).

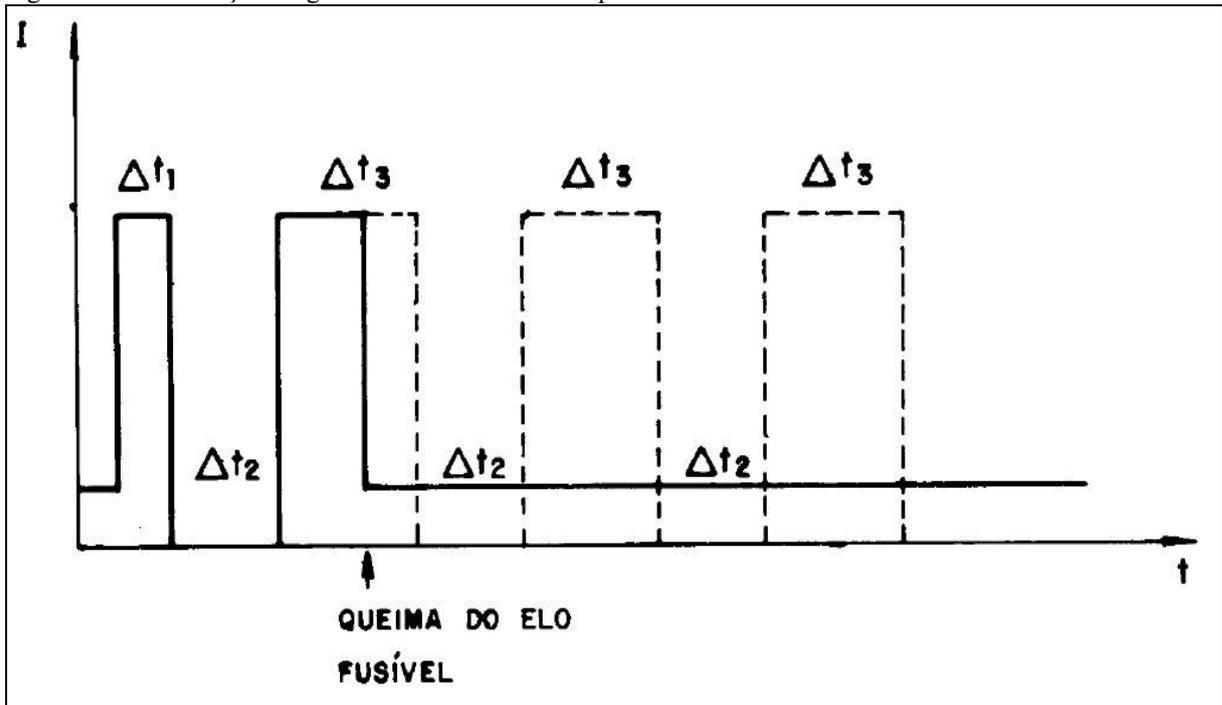
Figura 17: Coordenação religadora – seccionalizadora – elo fusível



Fonte: (FISP, 2013)

Na figura 17 é demonstrado o religador realizando duas operações de curva rápida e duas operações na curva temporizada, apontando que ao ocorrer à queima do elo, o seccionalizador abrirá os contatos, entendendo que a queima do elo é uma operação que foi ocasionada pelo religador. Isso pode ser evitado utilizando um seccionalizador com restritor de corrente (FISP, 2013).

Figura 18: Coordenação religado – seccionizadora – queima elo fusível



Fonte: (FISP, 2013)

Na figura 18 observamos que o religador operou em uma sequência rápida e três temporizadas, dessa forma, sempre haverá a queima do elo-fusível e não chegará ao ponto acionar a seccionadora (FISP, 2013).

3.4 Condições básicas para sistemas de proteção - zonas de atuação

Quando optamos em criar a seletividade e proteção devemos levar em conta outro termo muito utilizado, são as zonas de atuação. Eles servem para quando houver o aparecimento de defeitos na rede, o dispositivo de proteção, venha atuar naquela zona prevista e assim, ser capaz de definir se o defeito encontra-se nos limites da zona protegida. Tomando assim a iniciativa de definir qual a falha, onde ocorreu e se for dentro dessa zona protegida, acionar a abertura do disjuntor, isolando aquela área, num período de tempo definido em estudo de proteção (FURTADO, 2011).

3.4.1 Coleta de dados

Devemos obter alguns dados de suma importância para se iniciar o estudo de proteção (LEDESMA, 2011). Eles são:

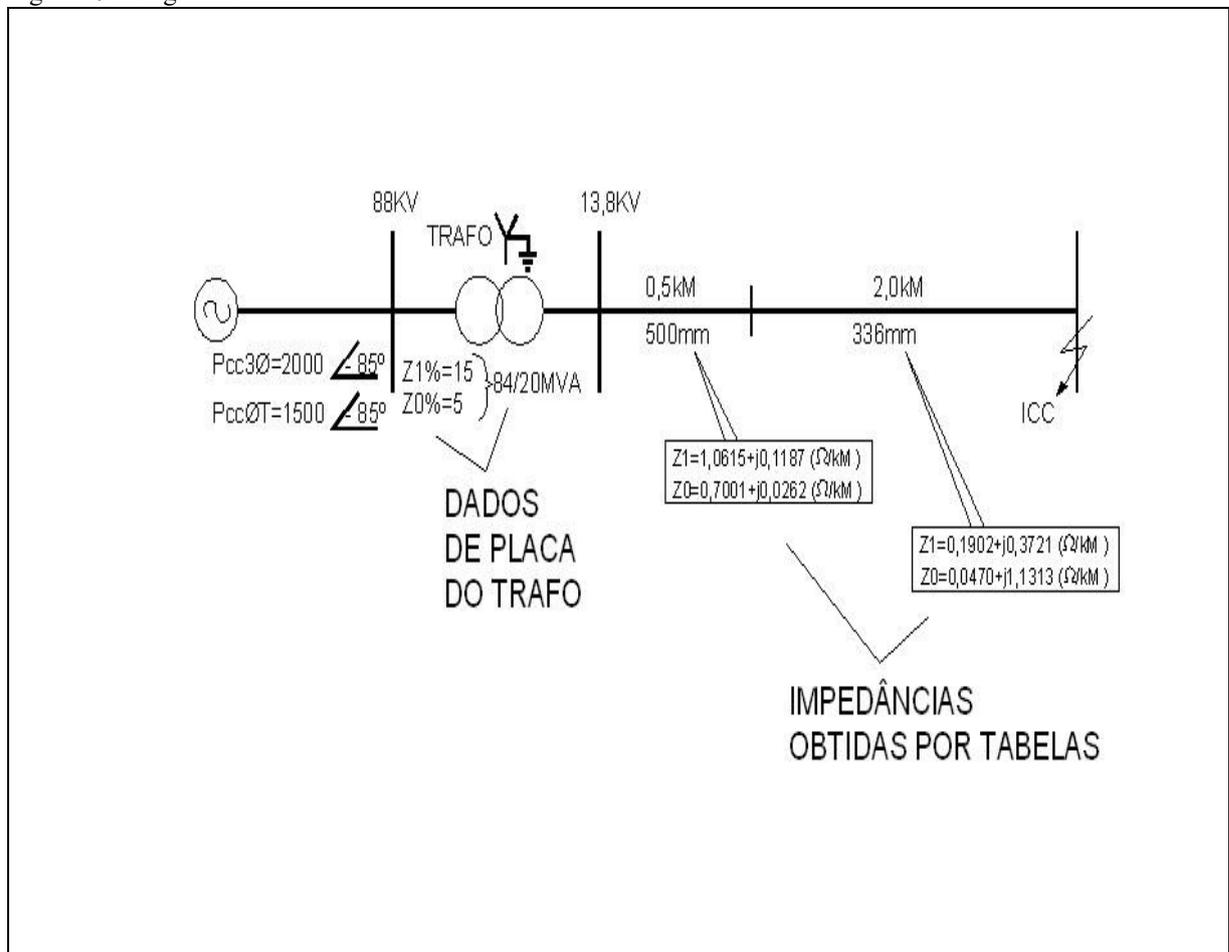
a) Diagrama unifilar

- b) Indicadores Operacionais SEP (sistema elétrico de potência)
- c) Consumidores Prioritários
- d) Demanda de Alimentador
- e) Previsão de Expansão do Sistema

3.5 Exemplo de diagrama unifilar

Para explicar os cálculos das correntes de curto-circuito do sistema de distribuição de energia elétrica utilizamos o diagrama a seguir (CEMIG, 2015).

Figura 19: Diagrama unifilar



Fonte: (FISP, 2013)

3.5.1 Indicadores Operacionais SEP (sistema elétrico de potência)

Para solucionar um problema em um circuito, devemos consultar as áreas responsáveis por monitorar os mesmos tais como C.O.D (Central de Operações de

Distribuição) e o Setor de Manutenção. E os dois devem consultar o – PRODIST – (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) junto com o módulo que trata de assuntos relacionados aos procedimentos operativos do sistema de distribuição que devem seguir (PRODIST, 2012).

3.5.2 Consumidores Prioritários

Com base na resolução normativa 414 da ANEEL (PRODIST, 2012).

Unidades consumidoras de eletricidade classificam-se em dois grupos: A e B. O grupo A (alta tensão) composto por unidades consumidoras receptoras de energia na tensão igual ou superior a 2,3 quilovolts (kV) ou podendo ser atendidas por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, adotando a tarifa binômica (adotado para o consumo e à demanda faturável). Para o grupo A, a divisão é feita em seis subgrupos, onde se enquadram indústrias e comércio de médio ou grande porte. Já grupo B (baixa tensão) caracteriza-se por unidades consumidoras supridas por tensão inferior a 2,3 kV, e com tarifas monômica (aplicável somente ao consumo). Subdivide-se em quatro subgrupos. Consumidores do tipo B1 denominado residencial. O consumidor rural enquadrado no subgrupo B2, e estabelecimentos comerciais ou industriais de porte pequeno, estes são classificados como subgrupo B3. Restando apenas a iluminação pública que se enquadram no subgrupo B4 (CEMIG, 2015).

Tabela 2: Subdivisão do grupo *B*

Subdivisão do Grupo <i>B</i>	
Grupo	Descrição
<i>B1</i>	Consumidor residencial
<i>B2</i>	Consumidor rural
<i>B3</i>	Estabelecimentos comerciais
<i>B4</i>	Iluminação pública

Fonte: (CEMIG, 2003)

3.6 Velocidade

A incidência de um curto-circuito ao sistema possuindo ele característica de curto trifásico, bifásico ou fase-terra, a proteção do sistema atuará rapidamente, reduzindo possíveis danos que venham ser causados pela permanência de anomalia no sistema elétrico (ALVARENGA, 2006).

Para que o sistema de proteção seja eficiente, o tempo de atuação deverá ser o mais curto possível, para reduzir ou eliminar as avarias que possam surgir no sistema, reduzindo assim o tempo de afundamento da tensão durante defeitos nos sistemas de potência (ALVARENGA, 2006).

3.7 Sensibilidade

A sensibilidade prevê que equipamentos de proteção distingam os tipos de faltas das oscilações normais de uma rede elétrica, sendo sensível o bastante a ponto de identificar as mínimas anomalias e atuar os dispositivos correspondentes à proteção (FURTADO, 2011).

A sensibilidade em um sistema é importante devido à necessidade dos componentes de proteção necessitarem de reconhecer com precisão os valores dos parâmetros, como: tensão e corrente, para a operação do sistema de proteção. (MAMEDE, 2014)

A seguinte equação dimensiona a sensibilidade do sistema de proteção (MAMEDE, 2014).

$$N_s = I_{ccmi} / I_{ac} \quad (4)$$

I_{ccmi} = corrente de curto circuito

I_{ac} = corrente de acionamento

N_s = sensibilidade

3.8 Confiabilidade

Se o sistema de proteção permanecer em um determinado tempo sem atuar, devido a inexistência de surtos na rede elétrica, quando ocorrer alguma anomalia na rede, o sistema de proteção irá atuar de forma confiável e seguro (ARAUJO 2005).

A confiabilidade prioriza indispensável o sistema de proteção da rede de distribuição, fornecendo garantias de que o sistema de proteção atuará com segurança e exatidão (ARAÚJO, 2005).

3.9 Automação

Na automação de sistemas de proteção é possível tornar o sistema independente do auxílio humano, ou seja, os próprios dispositivos que englobam o sistema é que monitoram a parametrização da rede e atuam nos dispositivos de proteção se houver necessidade, além de poder identificar variações instantâneas nos parâmetros na linha e atuar identificando se a existe ou não a falha (LEDESMA, 2011). Para isso existem as chamadas Zonas de proteção (quadrantes) (LEDESMA, 2011).

As zonas de proteção atuam na proteção e seletividade do sistema elétrico, e se encontram em três níveis conhecidos como proteção principal, proteção de retaguarda e proteção auxiliar.

- a) A proteção principal: Limita-se a atuar em casos de faltas ocorram dentro na zona protegida, são os componentes que atuam no primeiro instante da falha;
- b) A proteção de retaguarda: Deverá atuar se houver falha na proteção principal, é uma forma de segurança nas instalações elétricas;
- c) A proteção auxiliar: São constituídas de funções auxiliares nas proteções principais e de retaguarda, e tem o objetivos de sinalizar, alarmar, temporizar, inter travar, entre outras funções (LEDESMA, 2011).

3.10 Proteção de linhas de transmissão

Os defeitos mais frequentes e que possuem maiores proporções em linhas atualmente é o curto-circuito. Mas a sobrecarga também é considerada como vilã, pois por mais que as redes de alta ou extra-alta tensão atuem com rapidez máxima no desligamento devido a sua atuação a característica de estabilidade eletromecânica existentes nas descargas atmosféricas, é inadmissível, com sensibilidade menor, tempos de desligamento superiores do que o previsto nos dispositivos de proteção. Se for menor a exigência de alta velocidade nos desligamentos, utilizaremos dispositivos de proteção bem mais simples. A simplicidade visa o objetivo hora almejado para este procedimento (ÁVILA,2005). Citamos a seguir alguns recursos mais usados nesses tipos de proteção (ÁVILA, 2005).

Alguns recursos utilizados são:

- a) Proteções por temporizadores atuam com relés de sobre corrente de tempo definido – em redes radiais ou redes em anel utilizando disjuntores de acoplamento que se abrem instantaneamente;
- b) Proteção por temporizadores, com relés de sobre corrente de tempo inverso – em redes de média tensão onde a corrente de curto-circuito é superior à corrente nominal do relé;
- c) Proteção direcional de sobre corrente temporizada – usamos em redes de até 20 kV e com alimentação unilateral;
- d) Proteção à distância – É utilizada para redes de alta ou extra-alta tensão;
- e) Proteção diferencial longitudinal, por fio-piloto – (Smart grid) muito utilizada nas linhas aéreas e em cabos de média e alta tensão.

Para proteções contra sobrecarga nos é permitido a utilização da linha, sem levar em conta o aquecimento resultante o qual danificaria a mesma. Portanto utilizamos relés térmicos de tempo de operação igual ou inferior aquele do cabo a ser protegido (DUTRA, 2002).

3.11 Terminologia e conceitos para a proteção (CEMIG, 2015)

À seguir definições dos principais termos utilizados neste trabalho ; ABNT NBR 5459, (1987).

- a) Capacidade de Interrupção ou Abertura: caracteriza pela maior corrente que um dispositivo pode interromper sem que sofra danos.
- b) Capacidade Nominal: Valor da corrente que um equipamento ou circuito conduzirá sem que o aumento de temperatura cause danos ao dispositivo ou a outros componentes vizinhos.
- c) Características de Operação: Curva tempo x corrente do religador, relé ou qualquer outro dispositivo de proteção atuará.
- d) Coordenação: Ato ou efeito que dispõe dois ou mais dispositivos de proteção ligados em série, de forma que atuem em sequência de operação pré-parametrizada.
- e) Coordenograma: Gráfico em escala bi-logarítmico que demonstra o tempo no eixo da ordenada e a corrente no eixo da abscissa (T x I) onde é feita a folha de seletividade. O coordenograma é conhecido como folha de seletividade.
- f) Corrente de Curto-Circuito: Corrente que passa por um circuito elétrico durante a ocorrência de um curto-circuito. Geralmente atinge valores superiores a da corrente nominal e

causam danos aos dispositivos, se não for rapidamente extinta causará danos ao sistema de proteção.

g) Corrente de Demanda: Caracteriza pela corrente que percorre o circuito elétrico que se encontra em condições normais de funcionamento. É menor que a corrente nominal do circuito e, não causa danos.

h) Corrente de Desativação do Relé ou Drop-out: Maior corrente produzida no processo de abertura de contatos em relés produz a desativação imediata do relé. Seu valor é inferior a corrente que pick-up.

i) Corrente de Desequilíbrio: Corrente residual circulante pelo neutro, devido ao desequilíbrio de corrente nas três fases.

j) Corrente de Magnetização: É a corrente que circulante no circuito no instante da energização de um ou mais transformadores. É conhecida como corrente inrush e assume valores dependendo do fluxo residual no núcleo e do modulo da tensão no instante do fechamento do circuito.

k) Corrente de Pick-up: Menor valor da corrente circulante pela bobina de um relé que o faz atuar. Conhecida como corrente de disparo, corrente de ajuste ou corrente de partida.

l) Corrente de Sobrecarga: É uma corrente superior à corrente nominal de um componente em um circuito elétrico que não se encontra em condição de curto-circuito. Pode atingir valores na faixa de cem a duzentos por cento do valor da corrente nominal e danifica e causa a redução da vida útil dos equipamentos.

m) Corrente Nominal: Maior valor de corrente que um dispositivo do circuito elétrico pode suportar em regime contínuo.

n) Curto-Circuito: Conjunto de fenômenos ocorridos quando dois ou mais pontos de um circuito, possuem diferencial de potencial e são ligados intencionalmente ou acidentalmente, através de uma impedância desprezível.

o) Defeito Permanente: Defeitos na rede de distribuição que necessitam um reparo para o restabelecimento do circuito.

p) Defeito Temporário: Defeitos na rede de distribuição com origem em fatores externos, como umidade, vento, chuva, salinidade, galhos de árvores, etc. Em outras palavras, ocorre na rede um curto-circuito se houver um defeito físico na mesma.

q) Defeito: Termo utilizado na eletricidade, aplicado sem rigor, a tudo que apresenta alteração física prejudicial ao sistema ou dispositivo.

- r) Disjuntor: Dispositivo responsável pela interrupção, abertura ou fechamento de um circuito elétrico de corrente alternada em condições normais ou sob condições de falta e emergência.
- s) Equipamento Protegido ou Retaguarda: São os dispositivos de proteção localizados após o dispositivo protetor.
- t) Equipamento Protetor: É o dispositivo de proteção localizado antes do ponto de curto-circuito.
- u) Esquema de Proteção: Junção de dispositivos de proteção incumbidos de determinada função são incluídos todos os equipamentos tais como:(relés, TCs, TPs, baterias, etc.)
- v) Falta: Termo que se aplicado a todo fenômeno acidental, transitório ou permanente, que venha impedir o funcionamento de um sistema ou dispositivo.
- w) Falta Transitória: Falta que havendo a operação de um dispositivo de proteção desaparece a causa do defeito.
- x) Faltas Permanentes: Faltas onde é necessária a intervenção do homem para que se corrija o defeito causador da interrupção antes de se religar o equipamento.
- y) Proteção Auxiliar: São funções auxiliares das proteções principais e de retaguarda, que possuem os objetivos de: sinalização, alarme, temporização, Inter travamento, etc.
- z) Proteção Coordenada: Proteção projetada e ajustada de forma a permitir o restabelecimento automático das faltas temporárias e seletividade para faltas permanentes.
- aa) Proteção Seletiva: Proteção projetada e parametrizada de forma que possa atuar em qualquer tipo de falta, possibilitando que o dispositivo protetor atue antes do dispositivo protegido, isolando apenas o segmento sobe falta.
- bb) Relé: Dispositivo definido como sendo um sensor que comanda a abertura do disjuntor quando surgem no sistema elétrico, condições anormais de funcionamento.
- cc) Religamento Automático: Operação em que o disjuntor ou um religador atua, e em após a sua abertura, executa o fechamento automático nos seus contatos, dentro de um intervalo de tempo pré-definido.
- dd) Seletividade: Capacidade do equipamento de proteção mais próximo de falta de antecipar, sempre a atuação do equipamento de retaguarda, independente da natureza da falta ser transitória ou permanente.
- ee) Sequência de Operação: Sucessão de desligamento e religamento de um dispositivo eliminar faltas de natureza transitória, sem prejuízo da continuidade de serviço.

ff) Sobre corrente: Valor de corrente superior à corrente nominal de um dispositivo de um circuito elétrico, podendo ser considerada uma corrente de sobrecarga ou uma corrente de curto-circuito.

gg) Zona de Proteção: É trecho da rede protegido situados a jusante da instalação de um determinado dispositivo de proteção, onde na ocorrência de um defeito qualquer (temporário ou permanente), o dispositivo resultara sensibilizado.

4 ESTUDO DE CASO

Para avaliar o desempenho dos sistemas de eletrificação rural (RDR), no atendimento comunidades isoladas, Com base no acompanhamento dos valores de DEC (Duração Equivalente ao Consumidor) e FEC (Frequência Equivalente ao Consumidor) referentes ao ano 2015 para as localidades do sul de Minas Gerais, situadas nas áreas rurais.

É apresentado um comparativo técnico entre o diagrama atual da norma ND 2.2 de RDR CEMIG e o diagrama proposto nesta monografia. Sendo que o organograma proposto demonstra a atuação de um dispositivo elo fusível com religador do modelo ABB ligação automática em carga de ruptura média Tensão seccionadoras eletrônicos com religação automática equipamento com faixa de atuação entre único e três catenária fase seccionamento até 38 kV, com solução wireless até 38 kV e de corte em carga solução até 27 kV.

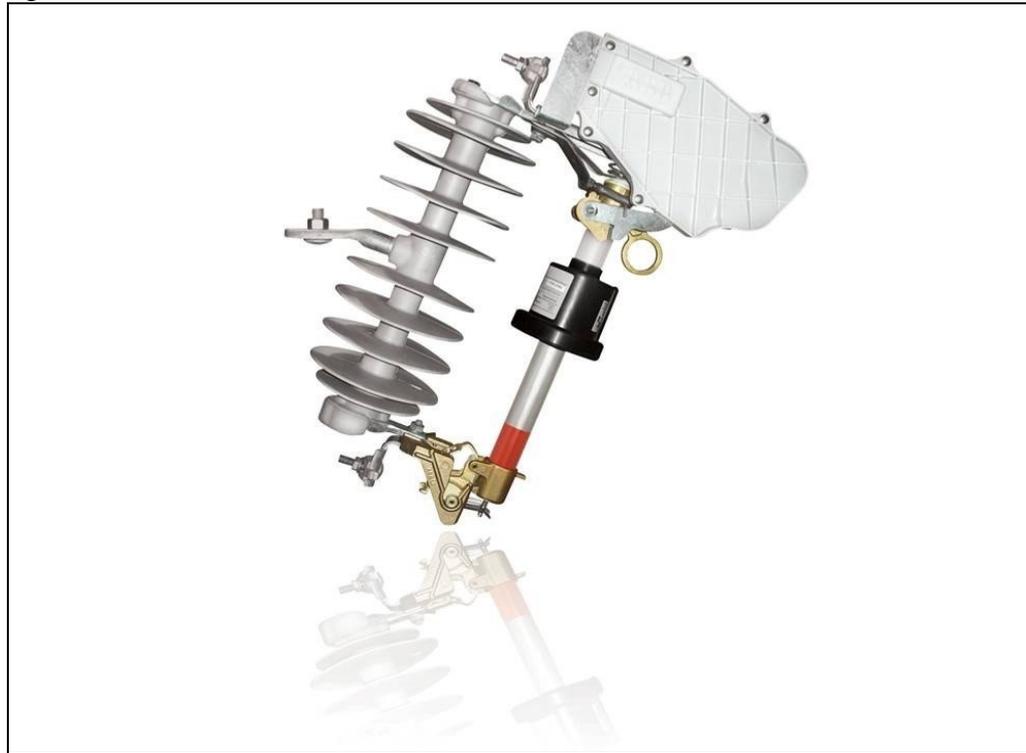
A seccionadora ABB com religador automática é um dispositivo que isola automaticamente a seção em falha da rede quando ocorre uma falha permanente. Se ocorrer uma falha temporária, o seccionador com religador automático permite que o religador a montante ou disjuntor para eliminar a falha, sem interromper o circuito. É uma solução simples e econômica para linhas aéreas de MT com seccionadoras. O dispositivo ainda conta com recurso de otimização de rede e grade inteligente (SMART GRID) ou redes inteligentes. Ambos o número de contagens e corrente de acionamento pode ser configurado e reconfigurado e não são necessárias ferramentas para reiniciar a unidade. O modelo adotado fornecer flexibilidade para aumentar a confiabilidade da rede.

O escopo do produto:

Monofásico Autolink - 15, 27 e 38 kV até 170 kV BIL

Loadbreak Autolink - 15 e 27 kV até 150 kV BIL

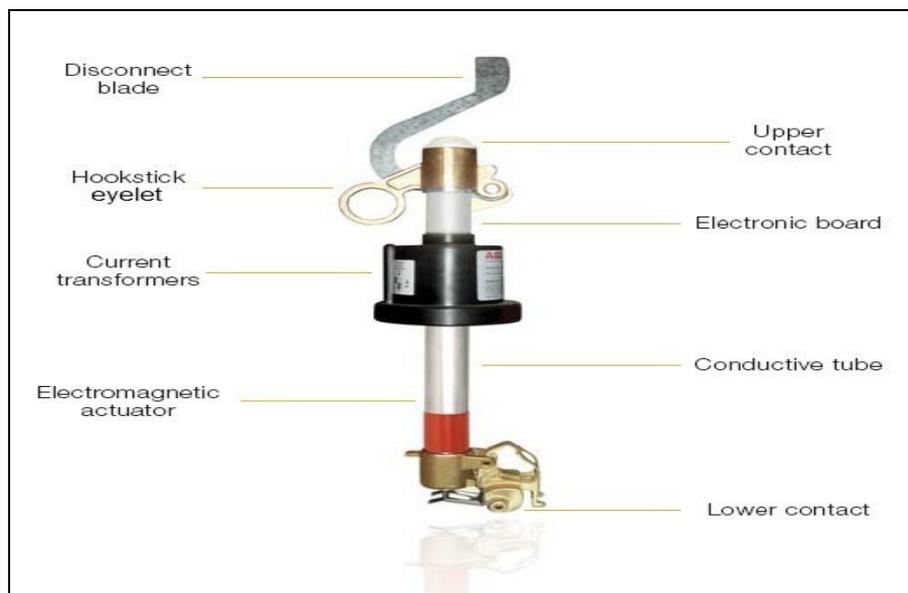
Figura 20: Loadbreak Autolink ABB



Fonte: (Manual de instalações ABB)

O Loadbreak Auto link se encaixa no suporte recorte. O Loadbreak Link automático é constituído por um tubo de cobre que alberga um circuito eletrônico. Esta placa eletrônica discrimina permanente de faltas temporárias, e determina a abertura mecânica do dispositivo, se a corrente de falha está determinada a ser contínua ou permanente.

Figura 21: Partes dos componentes Loadbreak Autolink ABB



Fonte: (Manual de instalações ABB)

O módulo de configuração é colocado sob o borne de contato superior do tubo. Através deste módulo, o operador pode configurar manualmente ou reconfigurar a corrente de acionamento e o número de contagens para obter a combinação desejada para a proteção do sistema. O Loadbreak Auto link é imune a corrente INRUSH.

O Loadbreak Auto link é colocado em ramos de rede gerais, a jusante de um religador (switch ou religador). Quando o valor da corrente é de pelo menos 10% acima da corrente de acionamento programado, a Loadbreak Link automático começa a contar as operações do religador abertura. Uma vez que atinge a contagem programada (1 a 4 operações do religador de abertura), a Loadbreak Auto link abre automaticamente e isola o circuito no ramo, enquanto o religador permanece em aberto.

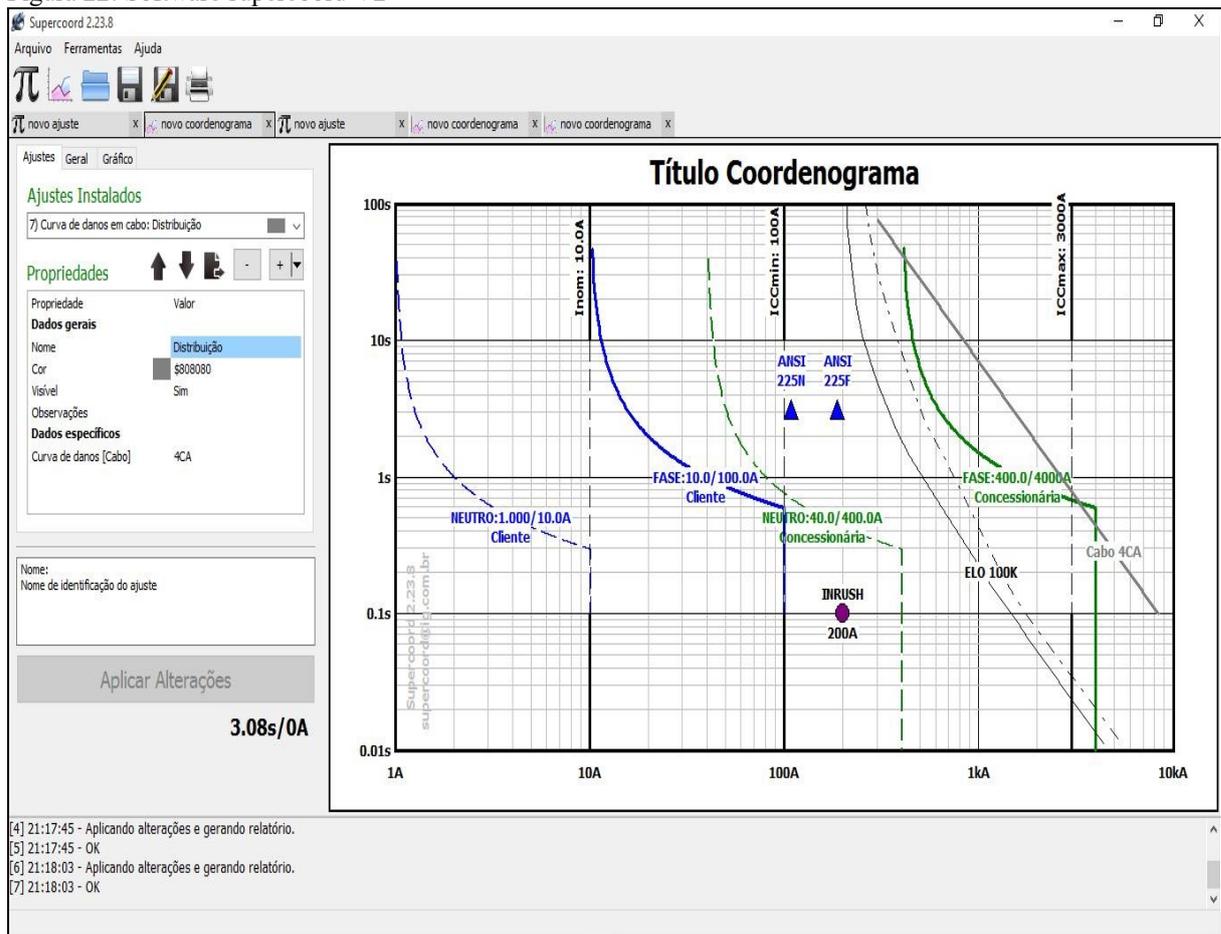
4.1 Análise viabilidade do dispositivo

Solução para reduzir interrupções de energia provocadas por pequenos e grandes transientes de longa ou curta duração nas redes de distribuição.

Dessa forma é proposta uma análise inicial de dimensionamento tomando como base a norma ND 2.2 CEMIG. Posteriormente é implementado o dispositivo proposto em substituição ao antigo elo fusível utilizado atualmente. Conseqüentemente, já com o novo dispositivo com religador é apresentamos o coordenogramas de seletividade e proteção. O coordenograma apresentado foi gerado com a ajuda do software supercoordv2 e demonstra as curvas de proteção e seletividade do dispositivo apresentado em substituição ao atualmente utilizado. O Supercoord é uma ferramenta simples e prática que auxilia na elaboração de projetos elétricos onde precise em algum momento fazer um estudo de coordenação da proteção ou calcular as correntes de curto circuito no ponto de entrega de energia de clientes de média tensão ou instalação de novos transformadores.

Abaixo segue imagens do software utilizado nos cálculos e curvas do coordeno grama.

Figura 22: Software supercoord V2



Fonte: O Autor

A análise a seguir é disposta em caráter técnico e financeiro com a apresentação de tabelas de custo de US (Unidade serviço CEMIG).

Tabela 3- Unidades de serviço CEMIG

Valores em R\$ KW/h

B2 RURAL	Consumo	Consumo	Patamar1	Patamar2
RURAL NORMAL	0,34051	0,35551	0,370513	0,38551
RURAL VALE	0,09193	0,09598	0,10003	0,10408
JEQUITINHONHA				
RURAL DEMAIS REGIÕES	0,11236	0,11731	0,12226	0,12721
67% Desconto				

Fonte: (CEMIG, 2015)

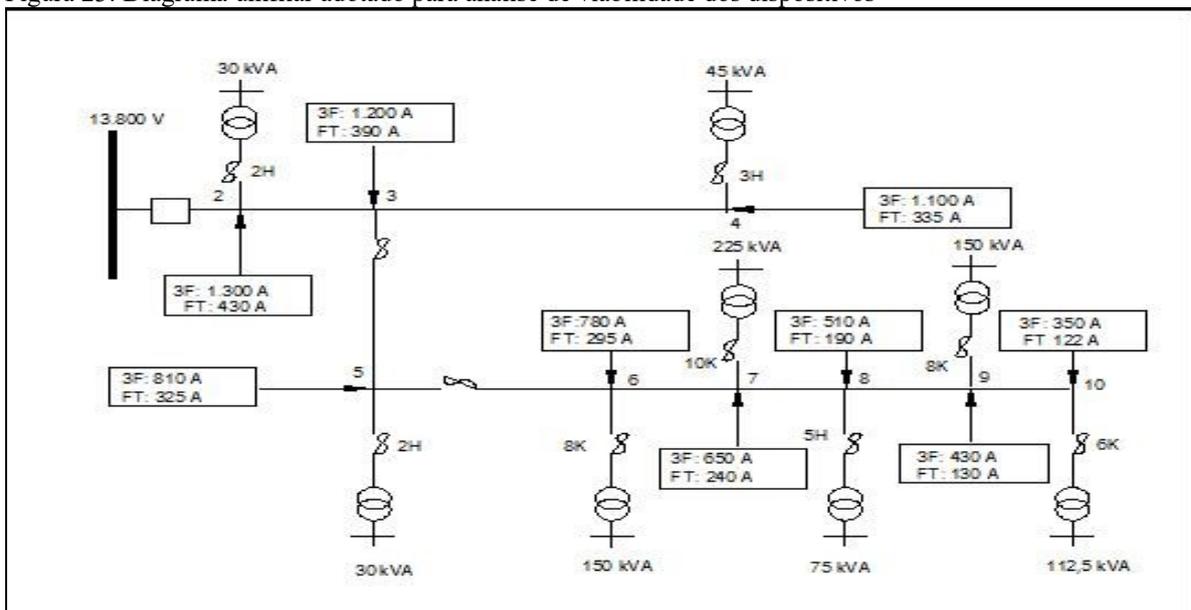
Os dados seguintes foram obtidos da concessionária responsável pelo setor e sua ND2.2 utilizada pela concessionária CEMIG em RDR (redes de distribuição Rurais, quanto a análise financeira os dados não foram possíveis com a concessionária, mas em cima da tabela de custo Kw/h, podemos dizer que:

Ocasionalmente o problema na distribuição a concessionária teria o prazo estipulado pela ANEEL de 8 horas para restituição do serviço ao local da falta, sendo assim a concessionária perderia o valor de energia consumida neste período, ou seja, levando em conta o valor de 0,38551 reais o KW/h fornecido ao cliente e multiplicado pelo número de horas sem energia até sua restituição que no caso seria de 8 horas, estaria perdendo R\$3,08 reais + o serviço terceirizado pela empreiteira para a restituição da energia ao local. O valor de custo do serviço prestado pelas empreiteiras, não foi disponibilizado pelas mesmas e nem pela concessionária para parâmetros de custeio final do valor. Presumindo que somente seria empregado como custo a concessionária o valor do KW/h perdido, a mesma se optasse pela escolha do dispositivo proposto nesta monografia, estaria executando 44 chamados para que pudesse estar pagando o valor do dispositivo instalado em substituição ao elo fusível usual.

4.2 Escolha do ajuste de proteção

Tomando como base a seguinte situação proposta no diagrama unifilar a seguir inicia-se a comprovação da viabilidade do dispositivo com religador.

Figura 23: Diagrama unifilar adotado para análise de viabilidade dos dispositivos



Fonte: O Autor

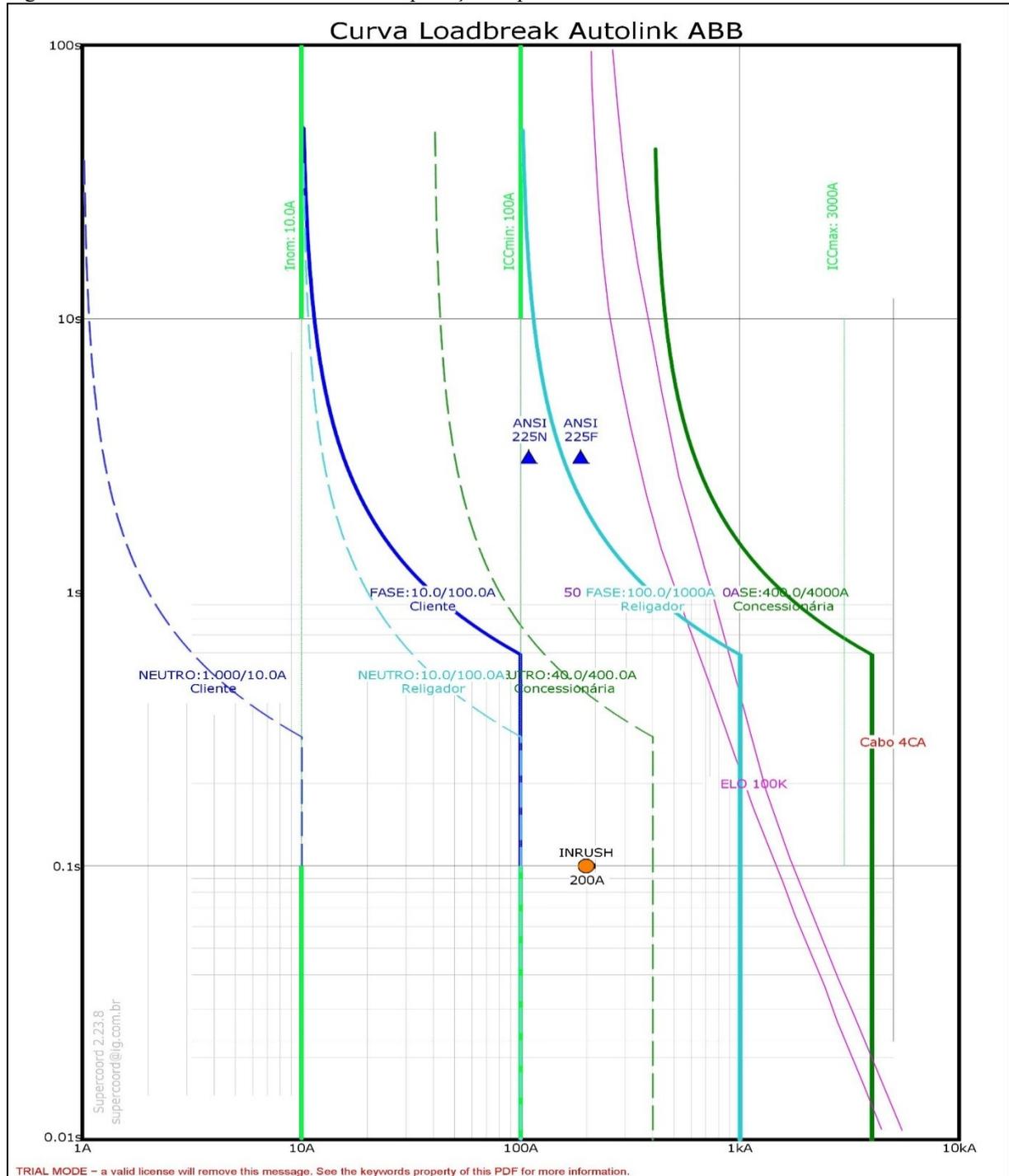
A seletividade, é proposta nos dois ou mais elos fusíveis instalados em série, somente será satisfatória quando o tempo total de interrupção do elo fusível protetor (rede 3), não exceder a 75% do tempo mínimo de fusão do elo-fusível protegido (rede 10).

Conforme ilustrado acima na figura o elo-fusível protetor (rede 10) é aquele que está instalado o mais longe da geração, o qual deverá queimar caso ocorra um defeito, já o elo fusível protegido (rede 2 ou 3) se encontra mais próximo da geração e não deverá queimar.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Implementando o seguinte diagrama acima com o dispositivo proposto, será gerado o seguinte relatório e gráfico das curvas. Para tal processo utilizamos a ajuda do software supercoord v2.

Figura 24: Gráfico da curva de seletividade e proteção dispositivo adotado



Fonte: (Software supercoordv2.)

Tabela 4 – Parâmetros do sistema	
Dados concessionária	
Demanda contratada	1000 KV
Tensão nominal MT	13.8 KV
Tensão nominal BT	380 v
Fator de potência	0.92
Impedância da rede	
$Z_0 = 4.727 + j16.70$ (17.356/74,2°)	
$Z_1 = 3.209 + j4.17$ (5.260/52,4°)	
Resistência de falta	40 Ohms

Fonte: O Autor

A tabela 4 apresenta os dados fornecidos pela concessionária pra análise do trecho e zona de proteção de atuação do dispositivo Load Break Autolink ABB, elo fusível com funções de religador e conexão Smart grid.

Tabela 5 – Dados Cliente	
Dados do cliente	
Potência instalada: 1250 kVA (In=52A) Transformadores: 2	
Comprimento cabo entrada: 500.0 metros	
Impedância do cabo: $0.670 + j0.15$ (0.686 12.5°) ohm/km	

Fonte: O Autor

Acima informações referentes aos dados da rede, para os clientes atendidos pelo coordenograma gerado pelo software supercoordv2. Dados prioritários para início do cálculo da seletividade e proteção.

Tabela 6 – Parâmetros trafo					
Transformadores de potência					
#	S(kVA)	In(A)	Z1(pu)	Lig	IMAG(K*In)
1	500.0	20.9	5.500	Δ -Ya	8
2	750.0	31.4	4.500	Δ -Ya	8

Resumo do estudo de proteção

Fonte: O Autor

Valores de corrente estão sempre referidos à média tensão do Religador do cliente.

Tabela 7 – Referência do Dispositivo						
Dados da curva						
Part[A]	Inst.[A]	DT	Curva	TDEF(s)	IDEF(A) FASE	59.1
	380.7		0.200	IEC-NI	MAX	MAX
NEUTRO	5.912		76.1	0.100	IEC-NI	MAX
MODELO	ABB Loadbreak Auto Link					

Fonte: O Autor

Os dados de curva são definidos segundo normativas atendidas pelo dispositivo, parâmetros da norma IEC-NI.

Tabela 8 – Atuação do dispositivo	
Tempo de atuação	
FASE,	$IEC-NI(795.0/59.1)=0.525s$
NEUTRO,	$IEC-NI(307.0/5.912)=0.170s$

Fonte: O Autor

A parametrização do tempo de atuação deve ser conforme as diretivas de atuação proposta pela IEC- NI. Seguir valores de corrente sempre acima da instantânea, manter na pratica um tempo de atuação na ordem de 0.1s

Tabela 9 – Corrente INRUSH
Corrente de magnetização
In-rush: 272 A Duração: 0.1s

Fonte: O Autor

Seguir a corrente de magnetização para a correta parametrização do elo fusível, levando em conta a atuação do dispositivo e mantendo a corrente Inrush sem a interferência de outras correntes externas.

Tabela 10 – Nomenclatura ANSI						
ANSI dos transformadores + ELO						
#	TRAFO Potência	TRAFO Inom	TRAFO ELO	ANSI Fase	ANSI Neutro	ANSI Tempo
1	500.0kVA	20.9	25K	380.3A	220.6A	3.781s
2	750.0kVA	31.4	40K	697.3A	404.4A	2.531s

Fonte: O Autor

Além da normativa IEC-NI devem ser levado em conta as normas apresentadas na Tabela 10 para implementação da seletividade e proteção.

Tabela 11- Dados corrente de curto circuito							
Correntes de curto circuito							
Local		3Ø	3ØAss	ØT	ØTAss	ØTMin	Paralelo
Barra	CONS	795.0	811.0	450.0	482.0	307.0	-
Barra	MT/CLI	774.8	779.7	454.4	479.3	159.6	-
Barra	T1	264.8	303.2	177.5	211.2	87.3	não
Barra	T2	382.8	414.2	270.3	301.8	95.5	não

Fonte: O Autor

As correntes de curto circuito dispostas pela concessionária para cálculos da seletividade no trecho escolhido para análise.

Memorial de cálculo.

Os valores de corrente estão referidos a barra de média tensão.

Tabela 12 – Valores base adotados no sistema.	
Valores de base	
Sb	: 100.000 MVA
Vb	: 13.80 kV Zb(MT): 1.904 ohm
Ib(MT)	: 4184 A
FA(R+jX) = RAIZ[1 + 2*e ^(-2*PI*R/X)]	
Impedâncias	
Z0rede = 4.727+16.70 (17.356 74.2°) pu Z1rede = 3.209+4.17 (5.260 52.4°) pu Z1cli = 0.176+0.04 (0.180 12.5°) pu	
ZF = 3*Rf/Zb(MT) = 63.012+0.00 (63.012 0.0°) pu	

Fonte: O Autor

Definidas as bases, todos os dados fornecidos no sistema, devem ser convertidos para p.u. A compatibilização desses valores com as bases definidas para a rede em estudo requer uma mudança de base, cuja mecânica é descrita utilizando dados da Tabela 13 á seguir.

Adotamos no circuito primário os seguintes valores como base:

Tabela 13 – Dada de barra circuito primário	
Curto circuito na barra de média tensão (primário)	
Impedâncias	
$Z_0 = Z_{0rede} = 4.727 + j16.70 \text{ (17.356 74.2°) pu}$	
$Z_1 = Z_{1rede} + Z_{1cli} = 3.385 + j4.21 \text{ (5.400 51.2°) pu}$ $Z_T = 2 * Z_1 + Z_0 = 11.497 + j25.11$ (27.621 65.4°) pu $FA(Z_1) = 1.00636$	
$FA(Z_T) = 1.05484$	

Fonte: O Autor

A Tabela 13 fornece parâmetros para a escolha do local apropriado para a instalação do elo fusível protegido.

Tabela 14 – Correntes curto totais	
Resultados	
$ICC_{3F} = I_b(AT) / Z_1 = 775 \text{ A}$ $ICC_{3FA} = ICC_{3F} * FA(Z_1) = 780 \text{ A}$ $ICC_{FT} =$ $I_b(AT) * 3 / (Z_T) = 454 \text{ A}$ $ICC_{FTA} = ICC_{FT} * FA(Z_T) = 479 \text{ A}$	
$ICC_{FTM} = I_b(AT) * 3 / (Z_T + Z_F) = 160 \text{ A}$	

Fonte: O Autor

As correntes expressas na Tabela 14 foram usadas para o correto dimensionamento dos elos fusível protetores e protegidos, além dos dispositivos de proteção como os disjuntores na coordenação da seletividade e proteção.

Tabela 15 – Dados de correntes de curto Barra média tensão	
Curto circuito na barra de baixa tensão	
Características do transformador	
$S = 500 \text{ kVA}$, $I_n = 20.9 \text{ A}$, $Z_1\% = 5.50 \text{ pu}$, $Lig = \Delta - Y_a$, $Imag = 8xI_n$	
Impedâncias	
$Z_{1tr} = 1.100 + j10.94 \text{ (11.000 84.3°) pu}$	
$Z_{0tr} = 0.85 * Z_{1tr} = 0.935 + j9.30 \text{ (9.350 84.3°) pu}$	
$Z_1 = Z_{1rede} + Z_{1cli} + Z_{1tr} = 4.485 + j15.15 \text{ (15.802 73.5°)}$	
$pu Z_0 = Z_{0tr} = 0.935 + j9.30 \text{ (9.350 84.3°) pu}$	

$ZT = 2*Z1+Z0 = 9.905+39.61 (40.827 76.0^\circ) \text{ pu } FA(Z1) = 1.14517$
$FA(ZT) = 1.18977$
Resultados
$ICC3F = Ib(AT)/Z1 = 265 \text{ A } ICC3FA = ICC3F*FA(Z1) = 303 \text{ A}$
$ICCFT = Ib(AT)*RAIZ(3)/ZT = 177 \text{ A } ICCFTA = ICCFT*FA(ZT) = 211 \text{ A}$
$ICCFTM = Ib(AT)*RAIZ(3)/(ZT+ZF) = 87 \text{ A}$
Fonte: O Autor

Tendo os conceitos acerca da metodologia de cálculo de perdas técnicas, além dos métodos propostos para proteção das redes de média e baixa tensão devidamente detalhados, nas Tabelas 12 e 13, intitulados, respectivamente, Aplicação da Metodologia Proposta para as Redes de Média Tensão e Aplicação da Metodologia para as Redes de Baixa Tensão, apresentam os resultados verificados mediante aplicações em redes reais.

Tabela 16 – Dados dimensionamento TC
Dimensionamento do TC
DEMANDA = 1000KW
CARGA = 1250kVA
FATOR DE SERVIÇO = 50% ICC3FA = 779.7A
#Critério de carga nominal
$Id = DEMANDA/(VN*FP*R3) = 45.5A \quad Ic = CARGA/(VN*R3) = 52.3A$
$In = MAX(Id,Ic)*FS = 78.4A$
#Critério de ICCmax
$In = ICC3FA/20 = 39.0A$
#Classe de precisão ANSI (tensão) Z(BURDEN): 0.350 ohms ($Z_{tc}+Z_{fio}+Z_{rele}$) $In = ICC3FA/RTC = 39.0 \text{ A}$
$Vn = In*Z = 13.6 \text{ Volts}$
#resultado final relação: 100/5 tensao: 20 Volts
classe (ANSI): 10B20-100/5
Fonte: O Autor

Os Tc's têm como objetivo principal reduzir a Corrente e a tensão para valores que possam ser lidos por dispositivos de proteção. No entanto, essa redução não pode

comprometer a integridade e a qualidade do sinal, isto é, o sinal dos transdutores tem que ser uma representação fiel do sinal original na curva de resposta.

Tabela 17 – Ponto ANSI para TC's

Ponto ANSI	
S=500kVA, In=20.9A, Z1%=5.50 pu, Lig=Δ-Ya, Imag=8xIn	
FASE = 380.3 A NEUTRO = 220.6 A TEMPO = 3.8 S	
S=750kva, In=31.4A, Z1%=4.50 pu, Lig=Δ-Ya, Imag=8xIn FASE = 697.3 A	
NEUTRO = 404.4 A	TEMPO = 2.5 S
Ajuste das curvas de proteção	
Fator Potência: 0.92 Margem da proteção: 30 %	
FASE	
Pc(contrato) = 1000 kW Pi(instalado) = 1250 kVA P = Menor valor = 1000	
Ipf = $[P/(R3*V*FP)]*1.30 = 59.1$ A Iif = $1.40*Imag = 380.7$ A	
Dtf = 0.2 s	
NEUTRO Ipn = $0.10*Ipf = 5.9$ A Iin = $0.20*Iif = 76.1$ A	Dtn = 0.1 s

Fonte: O Autor

Baseada na Tabela 15 analisou-se o organograma equivalente para o trecho formado pelos parâmetros da curva de atuação. Nesta análise foram consideradas duas associações usuais, de seletividade e proteção.

Tabela 18 – Ajustes do elo fusível com Religador

Resumo dos ajustes dos religadores

Religador	Partida[A]	Inst[A]	DialTime	Curva
1-Concessionária: CEMIG -MG				
...Fase	400.0	4000	0.200	IEC-NI
...Neutro	40.0	400.0	0.100	IEC-NI
2-Cliente: UNIS- TCC				
...Fase	10.0	100.0	0.200	IEC-NI
...Neutro	1.000	10.0	0.100	IEC-NI
13-Religador: ABB LoadBreak Auto Link - 15 e 27 kV				
...Fase	100.0	1000	0.200	IEC-NI
...Neutro	10.0	100.0	0.100	IEC-NI

Fonte: O Autor

As distribuidoras costumam ter classificações próprias para os dispositivos elos fusíveis do sistema que compõem suas redes de média tensão, e que pode diferir da classificação proposta pela ANEEL. Os demais trechos são considerados como ramais. Para elucidar essa definição, a Tabela 16 apresenta um religador fictício, nos quais os trechos, respectivamente são atendidos e protegidos segundo a seletividade proposta pelo estudo de caso e geradas pelo software supercoordv2.

6 CONCLUSÕES

Após período de pesquisas e levantamentos de dados sobre o assunto decorrido. Foi identificado que a proposta sobre o uso do religador automático em substituição a chave elo-fusível comum, seria uma alternativa viável considerando parâmetros técnicos de implementação do sistema de distribuição.

O modelo proposto iria disponibilizar uma melhor parametrização e uma nova seletividade, o que a chave elo fusível atual não nos possibilita, além de ser possível um upgrade do sistema para redes inteligentes (SMART GRID). Contudo além de nos fornecer um dispositivo de atuação para a proteção e seletividade, nos possibilitaria o uso da tecnologia Smart Grid ou seja o controle da função de forma remota do dispositivo, o que ocasionaria a incidências de chamados para reparos nas redes de transmissão rural.

Quanto à análise de viabilidade monetária, confirma-se que o custo será maior mas a substituição será uma aquisição viável ao sistema de distribuição. O dispositivo se pagaria usando como base o valores da US pagas pela concessionária CEMIG em pouco tempo, pois haveria uma redução de substituições dos dispositivos de proteção e mão de obra no trecho na ordem de 60% dos chamados, cálculo obtidos através dos dados padrões fornecidos pela ANEEL para redes rurais. A análise obtida do trabalho aponta para uma opção viável em médio prazo tendo como base de implantação a disseminação das instalações das redes SMART GRID para o território nacional.

Para que a proteção da rede de distribuição de energia elétrica seja eficaz, é necessitase respeitar requisitos básicos, os quais foram descritos no decorrer deste trabalho. Destes requisitos, os mais importantes a se considerar são: a seletividade, e a coordenação entre os dispositivos de proteção. Certo de que estes requisitos irão atuar nas falhas das redes, e coordenar o funcionamento dos dispositivos de proteção.

Para fiscalizar podemos citar que os serviços prestados pelas concessionárias de energia elétrica, possui um órgão regulamentador ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). A ANEEL nos possibilita garantir que uns grandes números de consumidores situados atualmente nas áreas rurais deixem de ser prejudicados por faltas que ocorrem no sistema de distribuição, e garante a segurança das pessoas que estão localizadas nestas áreas, que mesmo com a legislação vigente pela Aneel ainda se encontram em desfavorecimento ao cliente urbano tanto na questão de prazo de restituição do serviço como de qualidade do serviço.

O órgão fiscalizador (ANEEL), estabelece as concessionárias os seguintes indicadores: DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC, que são metas a serem cumpridas pelas mesmas, caso não ocorra o cumprimento das metas, as concessionárias são obrigadas a ressarcir financeiramente os clientes.

Diante do exposto, fica evidente a importância do sistema de proteção na rede de distribuição rural de energia elétrica, e a necessidade das concessionárias responsáveis pela distribuição, realizarem estudos e projetos com a finalidade de manter e aperfeiçoar o sistema, para que o mesmo sempre esteja em condições de operar de forma eficaz.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Carlos Alberto A **Energia Solar**. 2006. 118f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - UFLA/FAEPE, lavras, MG, (2006).

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>> Acesso em 21 de outubro de 2015

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

ÁVILA, A. F., Lopes I. J. S., MIRANDA G. C. **Estudo do desempenho de redes de distribuição rural utilizando dados do sistema de localização de tempestades e da operação do sistema – uma abordagem de engenharia**. 2005. 58f. Monografia (Bacharelado em Engenharia elétrica) - UFMG, Belo Horizonte, (2005). Pós-graduação.

CAIXETA, G. P. **Modelos de Componentes de Redes Elétricas** – In: XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica SENDI, 2008, Pernambuco, 2008

CEMIG, **Proteção de redes aéreas de distribuição – sobrecorrente - 07/2003**
https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd3_1_000001p.pdf

CEMIG. **Portal de sustentabilidade**. Disponível em: <www.cemig.com.br> Acesso em: 10 nov. 2015

DUTRA D.C.A.; **Certificação de Equipamentos e Sistemas**. (2002). 95f. Monografia (Bacharelado em Engenharia elétrica) - VII Seminário Técnico de Controle na CEMIG, Belo horizonte, (2002).

FISP, **DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROTEÇÃO DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO 2013**.

FURTADO, J. M. **pré-eletrificação rural utilizando sistemas fotovoltaicos em atendimento à legislação da ANEEL**. 2011. 102f. Monografia (Bacharelado em Engenharia elétrica) - Faculdade federal de Lavras, Lavras, (2011).

LEDESMA JAVIERGIMENEZ, J. **Uma metodologia de análise de proteção e seletividade da proteção de sistemas de distribuição**. 20. 183f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) - Faculdade federal de Juiz de Fora, Juiz de fora, 2011.

MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. GEN / LTC.6ª edição 2014.

Manual do fabricante ABB Disponível em: <<http://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/sectionalizerslibrary.e.abb.com/public/64aced59f23a45a785257c0b005ffabf/1YSA160010-en%20Rev%20D%20-%20LB%20AutoLink%20Instruction%20Manual.pdf>> Acesso em: 10/02/2016

STEVENSON, J. W. D. **Elementos de Análise de Sistemas de Potência**. 4ª edição. ed. Michigan: Mc Graw Hill, (1974. 264p.)