



ID – 3.020

Critérios de Aplicação de Sistemas de Proteção de Redes de Distribuição Aérea em Tensão Primária

Elaborado por:	Eng. Dener Pioli – Gerencia de Engenharia de Automação e Proteção	
Aprovado por:	Sergio L. Basso - Gerente de Engenharia de Automação e Proteção	
Data:	20/07/2007	Versão: 1.0

1. OBJETIVO

Fixar critérios e metodologias para subsidiar a elaboração de projetos ou revisão de sistemas de proteção aplicados a redes de distribuição aérea.

2. ABRAGÊNCIA

Linhas de distribuição aéreas primárias

3. INDICADORES DE REFERÊNCIA

a) Zona de proteção – Todo equipamento ou estrutura energizada deve estar coberto por pelo menos uma proteção contra sobrecorrentes. Deverá ser realizado os estudos de curto-circuito para avaliar as condições de cobertura da zona de proteção.

Abrangência dos estudos:

- Tronco – Protegido por reles e disjuntor ou religadores : Podendo utilizar seccionadores automático integrado com disjuntores ou religadores automático.
- Ramais – Protegido por religadores ou base fusível : Podendo utilizar seccionadores automático integrado com religadores automáticos ou disjuntores.

Para interpretar a zona de proteção correspondente de cada equipamento de proteção é necessário a elaboração do estudo de curto-circuito, visando garantir que por toda zona de proteção das redes, os equipamentos de proteção estão entre os níveis máximo e mínimo das correntes de curto-circuito.

Cálculos típicos de curto-circuito

- Trifásico
- Bifásico
- Bifásico-terra
- Fase-terra
- Fase-terra mínimo : Considerar valor de resistência de terra em 40Ω

Referencia para os calculos: ND-3.001

- b) Seletividade – Os estudos de seletividade devem garantir que apenas a primeira proteção a montante do ponto de falta devesse atuar, visando interromper o menor trecho, no menor tempo.

Premissas:

- Utilizar nos estudos elos da classe A ou elos da classe B em um mesmo alimentador ou trecho: Em hipótese alguma deve-se utilizar elos das duas classes, principalmente quando forem valores consecutivos

EX ; Elo de 15T (Classe A), não permite seletividade com elo 20T (Classe B). A seletividade com elo 15T necessita de um elo de 25T.

- Obrigatoriamente deve ser utilizado elos de mesma capacidade em cada base fusível.
- Utilizar no máximo 3 elos (BFs) em série, visando garantir a seletividade entre elas. O tempo máximo de fusão do elo protetor (1ª proteção a montante a falta), deve ser maior ou igual 75% do tempo mínimo de fusão do elo protegido:

$$T_{\text{MIN(PROTEGIDO)}} \geq T_{\text{MAX(PROTETOR)}}$$

- A capacidade dos elos fusíveis deve estar limitada em 65T. Caso seja observado a presença ou necessidade de aplicar elos com valores maior ou igual a 65T, deve-se viabilizar a aplicação de seccionadores automático integrado com a proteção a montante (reliador automático ou disjuntor).
- A tabela abaixo correlaciona a seletividade entre os elos tipo T, admitindo as correntes máximas de curto-circuito compreendida entre as respectivas zonas de proteção.

Capacidade do fusível protetor	Capacidade do fusível protegido									
	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T
	Corrente máxima de curto circuito									
6T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100
8T			375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100
10T				530	1100	1500	2000	2540	3200	4100
12T					680	1280	2000	2540	3200	4100
15T						730	1700	2500	3200	4100
20T							990	2100	3200	4100
25T								1400	2600	4100
30T									1500	3100
40T										1700
50T										

Tabela 1 - Coordenação entre fusíveis tipo T x T

Referencia para os estudos de seletividade: ND-3.001

c) Sensibilidade: Fundamentalmente, as condições de carregamento das redes devem ser observadas, visando não sobrecarregar os cabos condutores das redes primárias, conforme determinação da ND-3.001. Os dispositivos de proteção devem estar dimensionados para sensibilizar os menores níveis de curto-circuito e admitir a máxima contingência de operação (carga) do sistema, conforme estabelece a ND-3.001

d) Coordenação: Deve-se observar a topologia das redes ao tange as cargas (Tipo, concentração, especiais, prioritárias, etc) podendo, se necessário, adotar sistema de proteção coordenado, ié, atribuir ao sistema a melhor seqüência de operação entre os sistemas ou equipamentos de proteção adotado.

e) Balanceamento de carga: Nas circunstancias em que for observado que os ajustes de proteção estiverem em inconformidade com o recomendado na ND-3.001, deve-se avaliar as ações de balanceamento de carga, visando maior sensibilidade da proteção e total cobertura da zona de proteção.

EX: O tronco podera ter um nível de curto-circuito fase-terra mínimo em 200A e o rele da SE (51N) por estar graduado em 300 A para atender as condições de desbalanço. Algumas ações de balanceamento podem permitir o ajuste do rele da SE (51N) em 180 A, perfazendo a zona de proteção desejada.

f) Ferramenta: Utilizar o modulo INTERPROTE do INTERPLAN, que permite calcular os curto-circuitos em todos os pontos da rede, dispõe analise dos ajustes, coordenograma., banco de dados de equipamentos de proteção, etc.

4. TERMINOLOGIA

ETD – Estação transformadora de distribuição

RDA – Rede de distribuição aérea

RA – Religador automático

SA – Seccionalizador automático

DJ – Disjuntor de circuito

BF – Base fusível

50 – Rele de sobrecorrente instantâneo de fase

51 – Rele de sobrecorrente temporizado de fase

50N – Rele de sobrecorrente instantâneo de neutro

51N – Rele de sobrecorrente temporizado de neutro

79 – Rele de religamento automático de disjuntor de circuito

5. ÁREAS E PROCESSOS ENVOLVIDOS

Engenharia de estudos e proteção

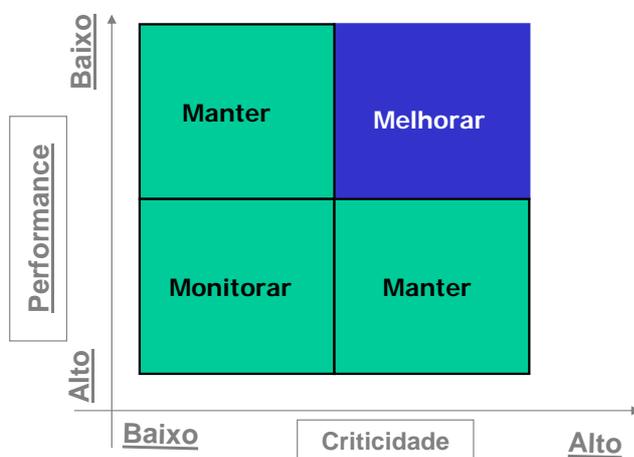
- Desenvolvimento de critérios
- Planejamento em conjunto com as regionais
- Suporte técnico
-

Unidades regionais

- Planejamento em conjunto com a Engenharia de proteção
- Elaboração dos estudos
- Programação
- Execução dos estudos
- Avaliação de necessidades
- Gestão da proteção

6. CRITÉRIO DE PRIORIZAÇÃO

Indica a priorização dos circuitos que necessitam de adequação da proteção, contemplados no plano de ações estratégico : CRITICIDADE X PERFORMANCE. A ID-7.009 estabelece os critérios que são utilizados para definir ou classificar as instalações nos quadrantes indicados



a) Melhorar :

Abrange todos os circuitos que apresentam alta criticidade e alto impacto. A classificação entre os circuitos prioritários deve estar baseada circuitos elencados pelo grupo de priorização

O seguimento das ações de melhoria devem, primeiramente, atender aos circuitos ou trechos que apresentam baixo desempenho , e propor soluções de melhor relação custo benefício

Ações de melhorias :

- i. Rever os estudos de proteção:
 - a) Calculo das correntes de curto-circuito
 - b) Verificação dos ajustes / dimensionamento dos dispositivos de proteção para atender as condições de zona de proteção, seletividade e coordenação
- ii. Avaliar possibilidade de melhoria dos ajustes dos dispositivos de proteção (fusíveis, reles e religadores)
- iii. Avaliar as situações em que balanceamento de carga ou mudança na topologia da rede, aumentem o desempenho da proteção
- iv. Avaliar a necessidade de instalação de BF em ramais
- v. Avaliar a necessidade / possibilidade de instalação de SA integrado com RA. ou disjuntor
- vi. Avaliar a necessidade / possibilidade de instalação de RA em troncos ou ramais

Referencia: ND-3.001

b) Manter :

Abrange todos os alimentadores que possuem desempenho médio. A classificação das prioridades deve estar baseada nos circuitos elencados pelo grupo de priorização

Ações mantenedoras :

- 1) Rever os estudos de proteção:
 - a) Calculo das correntes de curto-circuito
 - b) Verificação dos ajustes / dimensionamento dos dispositivos de proteção para atender as condições de zona de proteção, seletividade e coordenação
- 2) Avaliar possibilidade de melhoria dos ajustes dos dispositivos de proteção (fusíveis, reles e religadores)
- 3) Avaliar as situações em que balanceamento de carga ou mudança na topologia da rede, aumentem o desempenho da proteção

c) Monitorar:

Abrange todos os circuitos que possuem desempenho mínimo satisfatório. A estes circuitos, o acompanhamento dos indicadores não deve transgredir aos limites estabelecidos :

7. RISCOS POTÊNCIAIS

- Acidentes de natureza elétrica (danos pessoais e/ou materiais)
- Maior contribuição no DEC (Desligamentos indevidos)
- Maior contribuição no FEC (Desligamentos indevidos)

8. CRITERIOS PARA INSPEÇÃO OU AVALIAÇÃO DA PROTEÇÃO

Refere-se a interatividade existente entre os sistemas de proteção e as características e/ou condição operativa do sistema de distribuição, tais como :

- o Rede : Monofásica, Bifásica ou Trifásica
- o Carga : Equilibrada ou Desequilibrada (Mono, Bi ou Trifásica)

Temos como objeto de referência os critérios e padrões estabelecidos :

ND-3.001 : Critérios para ajustes de dispositivos de proteção de redes primárias

PND-2.002 : Projeto de rede de distribuição aérea primária

a) Principais fatores que influenciam na performance da proteção das redes, e devem ser observados nas circunstâncias de implementação ou reavaliação da proteção :

- Acréscimo de carga
- Desbalanceamento de carga
- Extensão de rede
- Sobrecarga
- Interferências na rede – Transitórias

As normas vigentes referenciadas, contribuem para o melhor arranjo PROTEÇÃO X REDE, visando maximizar a qualidade e continuidade no fornecimento de energia. Maior será o desempenho do sistema de proteção das redes, quanto mais próximo atingir os padrões ideais de construção e operação das redes.

b) Principais medidas de controle a serem adotadas para projetos e gestão das redes

- Atender aos critérios de construção, adequação, acréscimo de carga ou extensão de redes de acordo com a PND-2.002
- Realizar balanceamento das cargas, visando a distribuição uniforme do carregamento entre as fases e limitando as correntes residuais em 50A.
- Face a dinâmica de crescimento de cargas nas redes de distribuição, é fundamental o acompanhamento pontual, objetivando evitar sobrecargas nos equipamentos e atuação de proteções indevidamente.
- Prever manutenção nas redes, visando reduzir ou eliminar as causas das faltas transitórias, responsáveis por 80% do universo das interrupções.
- Manter sempre disponível elos fusíveis de todas as capacidades, visando a correta substituição
- Manter as plantas elétricas atualizadas
- Nas BF's devesse prover um plano de ações que identifique todas as BF's e respectivos valores dos elos.
- As telas do COD e CDS devem disponibilizar todas as informações de proteção sobre o alimentador (N° da BF, valor de elo,etc).

9. CRITERIOS PADRÃO DA PROTEÇÃO

Adoção das melhores práticas para os ajuste dos dispositivos de proteção das redes de distribuição aérea primária existentes ou novas, observando as seguintes etapas recomendadas na ND-3.001, para a elaboração dos estudos :

- a) Diagrama unifilar da rede – Propicia ter a visão ampla e domínio dos equipamentos que compõem a arquitetura da rede. Deve conter a designação da ETD na qual alimenta o circuito, consumidores primários e estações transformadoras ou ainda qualquer equipamento que compõem a rede.

- b) Coleta de dados dos equipamentos
 - Tensão nominal do sistema de subtransmissão
 - Tensão nominal do sistema de distribuição
 - Características técnicas dos equipamentos instalados na rede -Tipo ou grupo de ligação, potencia, impedâncias, etc.
 - Potencia de curto-circuito do sistema de subtransmissão - PCC_{3F} e PCC_{FT}
 - Tipo ou classe de carga/consumidor - Motores, clientes especiais, etc)
 - Impedâncias de seqüência do sistema – Impedâncias de seqüência positiva (Z_1) e seqüência zero (Z_0) dos cabos condutores, transformadores, etc, nas bases do regime de operação (Tensão, Potencia).

- c) Calculo das correntes de curto-circuito – Correntes de curto-circuito simétricas e assimétricas nos pontos de derivações, conexões (EP, ET), terminação do alimentador, auxilia a compreensão da suportabilidade termo-dinamica dos equipamentos que compõem a rede.
 - Curto-circuito trifásico – 3F
 - Curto-circuito bifásico – 2F
 - Curto-circuito bifásico-terra – 2FT
 - Curto-circuito fase-terra máximo – FT_{MAX}
 - Curto-circuito fase-terra mínimo – FT_{MIN} (Adotar $R_T = 40$ ohms)

- d) Locação dos dispositivos de proteção – Considerar as circunstâncias e arranjo em que a rede de distribuição opera, ié, considerações sobre a extensão de tronco, ramais, sub ramais, região de percurso da rede e, fundamentalmente, o aspecto do impacto associado em situações de perturbação/interrupção. É sempre prudente avaliar o aspecto técnico-econômico para atingir a eficiência desejada, limitada pelos custos aceitáveis. A tabela abaixo norteia o aplicativo dos dispositivos de proteção em redes de distribuição aérea primária

Critério	Condição da rede	Equipamento
A	<p>1) Tronco - Onde o nível mínimo de curto-circuito seja insuficiente para sensibilizar o dispositivo de proteção da Estação, isto é, para faltas 3F, 2F, 2FT, FT_{MAX} e FT_{MIN} (com impedância de contato de 30Ω para FT_{MIN}), seja menor que o ajuste dos reles de proteção 50 e 50N da Estação)</p> <p>2)Tronco – Com extensoes superiores de 6 a 8Km, subdividindo o tronco em dois blocos, atendendo a condição de centro geométrico de carga (50% a montante do RA e 50% a jusante do RA), subdividindo assim o tronco em duas zonas de proteção. Observar se há exceções em que o RA atenda a melhor condição operativa do alimentador, a priori de 6 a 8 KM da Subestação.</p> <p>3) Tronco – Após carga de grande importância, onde a continuidade no fornecimento deva ser preservada. (Industrias, Hospitais, Serviços públicos, etc)</p>	Religador
B	<p>1) Ramal – Quando o ramal possuir grandes consumidores (cargas especiais ou de grande importância), e que as interrupcoes de longa duração são prejudiciais a processos industriais</p> <p>2) Ramal – Nas circunstancias em que for observado grandes incidências de faltas transitorias (regioes arborizadas) e que o tronco deva ser preservado para interrupções de curta duração.</p> <p>3) Ramal – Demanda maior que 1100 kVA</p> <p>4) Ramal – inicio de trechos subterrâneos</p>	Religador

C	Tronco – Integrado operativamente com o disjuntor da Estação, nas circunstâncias que parcela do tronco (a montante do SA) deva ser preservada para interrupções de longa duração. Deve-se avaliar o melhor ponto para alocação do SA (1/3 a 2/3 do tronco), assim como o instante de sua operação dentro dos intervalos do ciclo de religamento do disjuntor (1seg – 24seg – 34seg).	Seccionalizador
D	Tronco – Integrado operativamente com religador automático, nas circunstâncias e que for observado uma extensão maior que 8km, além RA, e que o trecho entre RA e SA deva ser preservado para interrupções de longa duração. Avaliar o melhor instante de operação da SA dentro o ciclo de religamento da RA.	Seccionalizador
E	Ramal – Integrado operativamente com o RA instalado a montante, observada a importância da preservação do tronco para interrupções de longa duração. Avaliar o melhor instante de operação da SA dentro o ciclo de religamento do disjuntor ou RA.	Seccionalizador
F	Sub-ramal – Integrado operativamente com RA instalado no ramal ascendente, observada a situação em há grande incidência de defeito. Avaliar o melhor instante de operação da SA dentro o ciclo de religamento do RA.	Seccionalizador
G	Ramal – Com extensão superior a 150m, onde for verificado alta incidência de defeito e que as cargas a montante devam ser preservadas.	Fusível
H	Ramal – Em regiões densamente arborizadas e que as cargas a montante sejam classificadas como prioritária, ou ainda sensíveis a interrupções	Fusível
I	Sub-ramal – Promovendo no trecho segunda zona de proteção e seletivo com o primeiro elo a montante.	Fusível

J	ET / BCA – Observar os valores de elos dimensionados em tabela, de acordo com a capacidade de cada equipamento, conforme ND-3.001	Fusível
---	---	---------

e) Ajustes dos dispositivos de proteção – Com base nos cálculos de curto-circuito da rede, os dispositivos de proteção devem ser graduados, conforme as recomendações da ND-3.001, considerando :

- Zonas de proteção – Todo as partes energizadas da rede de distribuição devem estar cobertas por um ou mais dispositivos de proteção.
- Sensibilidade – Todo dispositivo de proteção deve estar sensível, ou capaz de identificar, sobrecargas ou curto-circuitos dentro da zona de proteção proposta
- Integridade dos equipamentos – Os ajustes de Pick-Up e curvas de tempo de atuação devem garantir a suportabilidade térmica dos equipamentos, limitadas pela sua capacidade operativa nominal (Ex : Ponto ANSI de TR)

f) Elaboração de coordenograma – Destina-se plotar as curvas de suportabilidade térmica dos equipamentos, juntamente com os ajustes dos relés, RA, Secc e fusíveis que compõem a rede de distribuição, objetivando analisar o comportamento das respostas da proteção em relação aos equipamentos protegidos. Como há uma interatividade inerente aos dispositivos de proteção, deve-se avaliar os aspectos de recomposição de cargas, tipos de cargas, tipos de faltas mais incidentes na rede e adotar o melhor sistema de operação da proteção

- Sistema seletivo – Menor trecho interrompido para faltas transitórias ou permanentes
- Sistema coordenado – Menor tempo de interrupção para faltas transitórias e menor trecho interrompido para faltas permanentes
- Sistema combinado – Agrupamento do sistema seletivo com o sistema coordenado

10. INDICADORES DE ACOMPANHAMENTO DO PLANO

Estatisticamente deverá ser analisado o número de reincidências / mês por dispositivo de proteção, para adoção de medidas de controle ou ações corretivas, objetivando recuperar a performance mínima desejada para o alimentador.

- a) Reincidências
 - o Reincidência de BF's
 - o Reincidência de DJ's
- b) Análise de causas: As causas das reincidências devem ser apuradas para validar quais são as ações de controle para cada evento / ocorrência
 - o Interferências na rede (Galhos de árvore, objetos na rede, etc) : Prover ações conforme determinação da gestão de manutenção de redes
 - o Sobrecarga : Reavaliar o valor do elo fusível utilizado nas proteções de ET's ou ramais, ou ainda ajustes dos relés de sobrecorrente de RA's e DJ's , de acordo com o estabelecido na ND-3.001
 - o Seletividade : Circunstância em que 2 dispositivos de proteção atuam simultaneamente para uma falta dentro da mesma zona de proteção, ou quando verificar a atuação do dispositivo de retaguarda de proteção. Elaborar e analisar coordenograma conforme ND-3.001
- c) Relatório diário de ocorrências: É fundamental o acompanhamento das ocorrências para analisar a performance da proteção. Os relatórios de ocorrências permitem avaliar as causas das perturbações e propor medidas de controle ou ações corretivas.
- d) FEC – Frequência equivalente de interrupção de consumidor interna da distribuição (alem disjuntor). É fundamental acompanhar a evolução do FEC de cada alimentador, avaliando as causas dos desligamentos para medidas de controle ou ações corretivas.