

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica
Disciplina: Estágio Integrado
Orientador: Eurico Bezerra de Sousa Filho

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

TÍTULO:
**PROTEÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA
UTILIZANDO CHAVE-FUSÍVEL**

Aluno: Abel Cavalcante Lima Filho
Matrícula: 20221237

Data: 18/04/2004



Biblioteca Setorial do CDSA. Março de 2021.

Sumé - PB

*Dedico este trabalho aos meus pais, à minha esposa e aos grandes amigos que
contribuíram direta ,ou indiretamente, para a sua conclusão*

ÍNDICE

1 – Introdução	3
2 – A empresa	3
2.1 – Histórico	3
2.2 – Gerência de Operação Metropolitana	4
3 - Desenvolvimento Teórico	5
3.1 – Generalidades	5
3.2 – Insumos necessários para o estudo	5
3.2.1 – Topologia utilizada	5
3.2.2 - Localização de equipamentos de proteção	6
3.3 – A chave-fusível	7
3.4 – Tipos de elos e equipamentos utilizados em chaves fusíveis (13.8 kV)	7
3.5 – Cálculo das correntes de curto circuito	8
3.6 – Dimensionamento de chaves e elos-fusíveis	9
3.7 – Coordenação	10
3.8 - Componentes simétricas	12
4 – Proteção do sistema de distribuição realizado pela Ceal	14
4.1 – Codificando os pontos	14
4.2 – Cálculo das correntes de curto-circuito	14
4.2.1 Arquivo de entrada do CODE3V	14
4.2.2 – Leitura dos dados e arquivo de saída	15
4.3 – Dimensionamento das chaves-fusíveis	15
5 – Conclusão	27
6 – Bibliografia	27
ANEXO	28

1 – Introdução

O presente trabalho se fundamenta na definição de critérios e na apresentação de recomendações de ordem prática sobre estudos de coordenação da proteção utilizando chaves fusíveis em alimentadores de distribuição elétrica radial aérea, com o fim de atender aos seguintes aspectos teóricos:

- proteção de vidas humanas contra riscos causados por falhas nos circuitos;
- proteção de materiais e equipamentos contra danos causados por curtos-circuitos, sobrecargas e descargas atmosféricas;
- melhoria da confiabilidade dos alimentadores de distribuição em consequência da possibilidade de restringir os efeitos de uma falha ao menor trecho possível do circuito, no menor tempo, diminuindo assim a potência envolvida e o número de consumidores atingidos.

Nos estudos de proteção em sistemas aéreos de distribuição, a proteção de materiais e equipamentos não deve constituir a finalidade única, mas, também, deve-se dar ênfase ao aspecto da continuidade do suprimento, evitando que uma falha tenha um envolvimento muito grande em termos de carga e/ou consumidores atingidos; e ainda, procurar reduzir os tempos de localização dessa falha e de reposição do sistema de serviço.

Inicialmente conheceremos um pouco da empresa e do setor onde este trabalho foi desenvolvido. Durante o desenvolvimento do relatório será apresentado um embasamento teórico com o intuito de familiarizar o leitor com o assunto, assim como, permitir uma melhor compreensão do sistema de proteção utilizado pela Companhia Energética de Alagoas. Concluindo a base teórica veremos um pouco do trabalho realizado na empresa utilizando exemplo prático.

2. A empresa

2.1 - Histórico

No início da década de 60, com exceção de poucos municípios já ligados à CHESF, como Maceió, Penedo, Mata Grande, Água Branca e Delmiro Gouveia, todo o resto do estado possuía, quando muito, instalações elétricas insuficientes, precárias e obsoletas.

Em 8 anos eletrificaram-se todas as sedes municipais. Em 1961, a Ceal, construiu e inaugurou a eletrificação da primeira cidade do interior do estado a partir de fornecimento elétrico da CHESF (Viçosa). Em 1969, todo o Plano de Eletrificação do Estado de Alagoas estava concluído, com a energização da última sede municipal construída, Porto de Pedras. Desta forma, sob o comando da Ceal, todo o estado de Alagoas foi abastecido com energia de origem hidráulica fornecida pela CHESF.

Em 1968, a Ceal adquiriu o acervo da Companhia Força e Luz Nordeste do Brasil - Maceió (CFLNB), pertencente ao Grupo Amforp, que detinha a concessão da distribuição de energia na cidade de Maceió, Natal e Salvador. Seguiram-se as encampações das Redes de Distribuição de Penedo, União dos Palmares e Arapiraca pertencentes às prefeituras e, finalmente, em 1979, todo o Estado estava nas mãos da Ceal, com as aquisições das Redes de Distribuição de Mata Grande, Água Branca e Delmiro Gouveia, a CHESF.

Tudo isso foi facilitado pela encampação do sistema de 69kV da CHESF no território alagoano, em 1973.

A ação da Ceal foi decisiva na alavanca da agricultura e da indústria no Estado. Com a energia de boa qualidade, diversas usinas e, posteriormente, destilarias, iniciaram sua operação. Em Maceió, Penedo e Arapiraca foram instalados distritos industriais de bom porte. Foram instaladas indústrias de grande porte, como a Fábrica de Cimento Atol, diversas cerâmicas de alta qualidade. Mais recentemente, foram projetadas e construídas as instalações do Pólo Cloro-alcoolquímico, de Marechal Deodoro, com a montagem de diversas indústrias de porte.

2.2 - Gerência da operação metropolitana (GOM)

O presente trabalho foi desenvolvido na gerência de distribuição metropolitana responsável pela operação e distribuição de energia elétrica na região da Grande Maceió. Cujos encargos principais são: manutenção de redes de distribuição; análise de projetos de engenharia, proteção de sistemas de distribuição; atendimento ao consumidor; análise de processos indenizatórios movidos contra a Ceal e controle de todas as informações referentes à distribuição de energia elétrica que servem de apoio às demais áreas. As subestações (69 kV / 13.8 kV) atendidas pela GOM estão relacionadas na tabela abaixo.

Subestações atendidas pela GOM:

Subestações	Potência Aparente (MVA)
Pinheiro	60
Tabuleiro dos Martins	57.5
Cruz das Almas	57.5
Trapiche da Barra	37.5
Pólo cloro-alcool-químico	18.75
São Luís do Quitunde	06.25
São Miguel dos campos	12.5
Pilar	08.25

3 – Desenvolvimento teórico

3.1 – Generalidades

O projeto de proteção envolve vários fatores que devem ser levados em consideração na sua elaboração, tais como:

- diagrama unifilar completo do sistema;
- localização de equipamentos em pontos previamente definidos;
- cálculo das correntes de curto-circuito nesses pontos;
- seleção dos equipamentos de proteção de modo econômico;
- divisão das áreas de proteção;
- coordenação dos equipamentos envolvidos na proteção.

3.2 – Insumos necessários para o estudo

Definições:

Subestação – conjunto de equipamentos e estruturas responsáveis pela transformação de determinada grandeza, assim como, medição e proteção do sistema. As subestações referidas neste texto são de distribuição e abaixam a tensão de 69 kV de entrada para 13.8 kV na saída.

Alimentadores – são circuitos trifásicos de alta tensão que saem direto da subestação distribuindo energia elétrica em determinada área.

Ramal – ramificação do circuito do alimentador que supre determinada área com energia elétrica.

Secionador – chave estrategicamente instalada para manobras, com o intuito de preservar o fornecimento de energia elétrica ou para abrir um circuito defeituoso visando o reparo dos equipamentos defeituosos. Geralmente é encontrado no final dos alimentadores normalmente abertos.

Chave a óleo – seccionador com abertura em carga.

Chave fuca – seccionador sem abertura em carga

Religador – equipamento responsável pela proteção de determinado circuito que abre o mesmo na presença de sobre-corrente ou curto-circuito e que fecha o circuito automaticamente alguns milésimos de segundos após a interrupção. Caso o problema persista após o religamento, o circuito abre definitivamente protegendo a rede.

3.2.1 – Topologia utilizada

O ponto de partida para o estudo de proteção é o diagrama unifilar, atualizado com as indicações do traçado de subestação, alimentador, linhas e ramais.

Nele devem estar contidas as seguintes informações:

- tensão de serviço;
- bitola e tipo de condutor utilizado;
- proteção existente;
- potência nominal dos transformadores;

- consumidores importantes e suas características;
- todas as distâncias;
- indicação dos padrões existentes;
- impedância de grandes transformadores.

3.2.2 - Localização de equipamentos de proteção

Os critérios a seguir discriminados têm o objetivo de orientar a escolha e localização dos equipamentos de proteção para o estabelecimento das várias alternativas de esquemas de proteção em cada circuito.

Os equipamentos de proteção, em sistemas de distribuição, quando necessários devem ser instalados:

- a) em pontos de circuitos longos, onde o curto-circuito mínimo não é suficiente para sensibilizar o dispositivo de proteção de retaguarda; pode ser utilizado o religador ou a chave fusível;
- b) no início de ramais de certa importância que suprem áreas sujeitas à falhas transitórias, cuja probabilidade elevada de interrupção tenha sido constatada através de dados estatísticos; deve então ser utilizado o religador ou o seccionador;
- c) no início de ramais não abrangidos pelo item b; neste caso, deve-se usar chave-fusível;
- d) após carga cuja continuidade de serviço precisa ser acentuada, nesse caso, deve-se usar o religador, o seccionador ou a chave fusível;
- e) em alimentadores que se bifurcam em dois circuitos (pelo menos), deve-se usar o religador ou o seccionador no início de cada circuito;
- f) em circuitos oriundos do mesmo disjuntor na subestação deverão ser instalado religadores ou seccionadores, observadas as regras básicas de coordenação da proteção;
- g) no primário dos transformadores de distribuição, usar chaves-fusíveis;
- h) em ramais onde haja consumidores protegidos por disjuntor, sem proteção para falha de fase, deve-se utilizar o seccionador ou o religador. Não é aconselhável o emprego de chave-fusível;
- i) quando o número de fusíveis em série exceder a 3; deve-se usar o seccionador em substituição ao terceiro fusível (no sentido carga-fonte).

OBSERVAÇÕES:

1ª) O corta circuito é instalado ao longo de uma linha tronco (alimentador) somente quando, devido à sua extensão, os curtos-circuitos a partir de determinado ponto não sensibilizam o dispositivo de proteção de retaguarda, e quando não seja justificável a instalação de religadores.

2ª) No emprego de chave-fusível, levar sempre em conta que sua operação para falhas monofásicas é problemática.

3ª) A utilização de seccionador pressupõe a existência de religamento automático á sua retaguarda.

4ª) A instalação de seccionadores ou religadores não é recomendável em troco de alimentadores sujeitos a manobras, com possível inversão de fluxo de potência.

5ª) A facilidade de acesso deve ser um fator importante na determinação do local de instalação de um equipamento de proteção.

3.3 – A chave-fusível

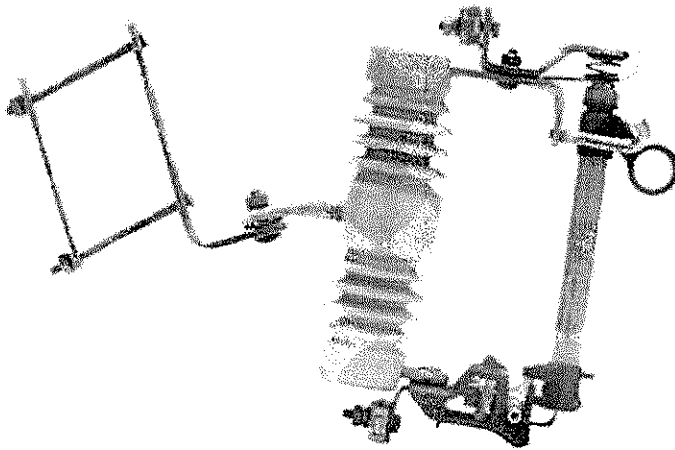


Figura 1: Chave-fusível de distribuição.

O elo-fusível (figura 2) é o principal acessório de uma chave fusível de distribuição. É ele que irá determinar em qual sobre-corrente a chave fusível irá atuar. O porta-fusível (figura 3) é a peça abriga o elo-fusível e que permite a atuação do equipamento de proteção. A estrutura completa é mostrada na figura 1.

Figura 2: Elo-fusível

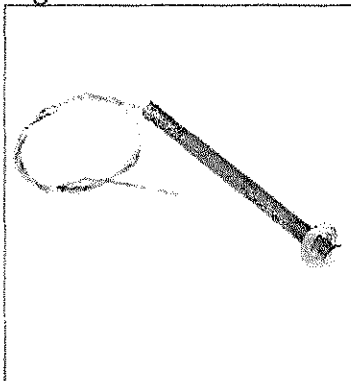
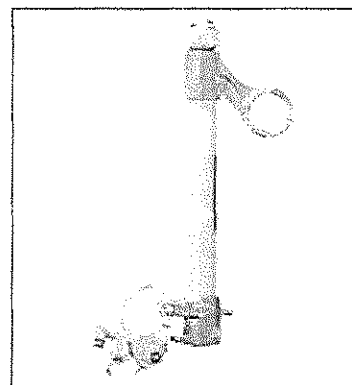


Figura 3: Porta fusível



O elo-fusível é o que mantém o acoplamento do circuito, quando ele é rompido, devido a uma sobre-corrente, é perdida a sustentação mecânica do porta-fusível e o circuito abre.

3.4 – Tipos de elos e equipamentos utilizados em chaves fusíveis (13.8 kV)

Tipo H

- alto surto;

- usados em proteção de transformadores;
- operação lenta em sobrecarga;

Tipo K

- rápidos;
- geralmente os mais usados em linhas de distribuição.

Tipo T

- lentos;
- permitem faixa maior na coordenação;
- geralmente utilizados em linhas de transmissão.

OBSERVAÇÕES:

1^a) Correntes admissíveis em regime permanente;

- Tipo H \approx 100 % do seu valor nominal;
- Tipo K e T \approx 150 % do seu valor nominal.

2^a) Correntes necessárias para iniciar a operação de interrupção:

- Tipo H \approx 150% do seu valor nominal;
- Tipo K e T \approx 200% do seu valor nominal.

3^a) As características das chaves-fusíveis são apresentadas na tabela 12 (em anexo).

3.5 – Cálculo das correntes de curto circuito

Através do diagrama unifilar atualizado deverão ser codificados todos os pontos onde serão calculadas as correntes de curto-circuito, considerando-se:

- mudança de bitola e tipo de condutor;
- derivações de alimentadores;
- saídas rurais;
- transformadores de grande potência;
- localização de equipamentos de proteção e manobra;
- localização de banco de capacitores e de reguladores de tensão;
- impedâncias da subestação reduzidas à tensão do barramento de distribuição, em p.u.:
- geração máxima e mínima, conectadas à subestação.

Obs.: não se codificam pontos quando distância entre eles é menor ou igual a 120 metros, já que o curto-circuito é praticamente o mesmo.

Então, com essas considerações e de posse das impedâncias dos condutores em p.u./km (ver tabelas 1, 2, e 3 em anexo) e das impedâncias reduzidas ao barramento na tensão de distribuição da subestação em p.u., através de método utilizando componentes simétricas (demonstrado posteriormente) calcula-se as correntes de curto-circuito simétricas trifásica, bifásica e fase-terra-mínimo em todos os pontos pré-estabelecidos, a partir do 1^o

ponto após a subestação. As correntes simétricas de curto-circuito da barra da subestação serão fornecidas em formulário à parte, juntamente com as impedâncias reduzidas ao barramento da mesma. No cálculo das correntes de curto-circuito fase-terra-mínimo foi considerada a resistência de contato a terra (R_t) 40 ohm. Estas correntes, em alimentadores de distribuição deverão ser determinadas apenas para a condição de geração máxima, podendo considerar desprezível a condição de geração mínima, devido à variação de geração não provocar, em geral, efeitos que perturbem a sensibilidade dos equipamentos de proteção.

As correntes de curto-circuito assimétricas serão determinadas através da multiplicação das correntes de curto-circuito simétricas pelo fator de assimetria, que é função da relação X/R do circuito completo desde o gerador até o ponto de curto-circuito. Os valores de X/R poderão ser obtidos, no cálculo das correntes de curto-circuito simétricas, através das impedâncias acumuladas nos pontos definidos, ou seja, Z_1 no caso de curto-circuito trifásico; soma das respectivas resistências e reatâncias de Z_1 , Z_2 e Z_0 no caso do curto-circuito fase-terra franco e, acrescenta-se R_t no caso do curto-circuito fase-terra-mínimo. As correntes de curto-circuito assimétricas são determinadas, em geral, para o dimensionamento dos equipamentos de proteção que, para pontos fora da subestação, considera-se estas quando em curto circuito trifásico que representam a máxima no ponto de instalação. Para o dimensionamento de equipamentos de distribuição que, em geral, têm capacidade de desaparecimento da componente de corrente contínua em menos de um ou dois ciclos, deverão ser aplicados fatores de assimetria, para correspondentes valores de X_1/R_1 , que se encontram na tabela 4 em anexo.

A máxima corrente monofásica, em geral, se apresenta na subestação devido à resistência de contato do aterramento ser considerada igual a zero, conseqüentemente esta corrente aparece maior do que a própria trifásica deste local, o que se faz necessário levar esta corrente em consideração para o dimensionamento dos equipamentos de proteção da subestação.

3.6 – Dimensionamento de chaves e elos-fusíveis

No dimensionamento de chaves e elos-fusíveis, para o estudo de coordenação, além de sobre-correntes (normais de sobrecargas, transitórias de sobrecargas atmosféricas, de magnetização de transformadores, de partida de motores e de inrush de capacitores) deve-se levar em consideração os aspectos de crescimento de carga e de possibilidade de manobras.

Para o seu dimensionamento devemos dar relevância os seguintes aspectos:

a) A corrente nominal da chave-fusível deverá ser igual ou maior que 150% da corrente nominal do elo-fusível a ser instalado no ponto considerado.

b) A corrente nominal do elo-fusível de um ramal deverá ser aproximadamente igual a 150% do valor da máxima corrente de carga medida ou convenientemente avaliada, no ponto considerado. Essa corrente nominal deverá ser, no máximo, $\frac{1}{4}$ da corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo no fim do trecho protegido pelo elo e, se possível, no fim do trecho imediatamente após. Onde:

$$I_{\text{corrente elo}} = \frac{(I_{\text{total religador}}) \times (\text{kVA do bloco})}{(\text{kVA Total})}$$

I total religador – corrente medida no religador da subestação.
kVA do bloco – soma da potência aparente dos transformadores protegidos pela chave.

kVA Total – soma da potência aparente de todos os transformadores do alimentador

Sabendo que:

I corrente elo $\leq (1/4) \times I$ corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

c) Capacidade de interrupção – o corta fusível deve ter corrente de interrupção maior que o valor assimétrico da máxima corrente de curto-circuito no ponto de sua instalação. Ver tabela 6 (em anexo).

Obs.: A proteção para transformadores é dimensionada em função da tabela 5 (em anexo)

3.7 – Coordenação

O estudo da aplicação correta dos dispositivos de proteção em série chama-se “coordenação”.

Os critérios serão desenvolvidos considerando, nos estudos de proteção, a coordenação efetuada no sentido da carga para fonte (subestação).

Em termos gerais, coordenar uma proteção é o processo pelo qual impomos uma sistemática na seleção dos equipamentos, baseada em critérios pré-estabelecidos de modo a obter o que denominamos seletividade, ou seja, apenas o trecho defeituoso é desconectado, satisfazendo ainda com maior eficiência possível às proposições abaixo:

- a) rapidez no isolamento do circuito defeituoso;
- b) permitir a continuidade de fornecimento nos trechos não defeituosos;
- c) facilitar a localização do defeito;
- d) obter o mais baixo custo sem prejudicar a confiabilidade do sistema;
- e) permitir o restabelecimento do trecho defeituoso quando o defeito no mesmo for transitório, reduzindo assim o tempo de interrupção.

Princípios básicos

O equipamento protetor deve eliminar o defeito, seja ele temporário ou permanente, antes que o equipamento protegido opere (interrompa o circuito).

Faltas permanentes devem ficar restritas à menor área do sistema, ou seja, durante um tempo muito curto (seletividade).

Um estudo de coordenação exige um exame completo e compreensão perfeita das curvas características de **tempo X corrente**.

Para a coordenação entre elos-fusíveis deve-se obedecer, na medida do possível, aos critérios relacionados a seguir:

1^o) O elo-fusível protegido deve coordenar com o elo fusível protetor para o valor da máxima corrente de curto-circuito no ponto de instalação do elo fusível protetor. Em virtude do curto-circuito fase-terra ser o mais freqüente e o valor fase-terra mínimo ser o mais provável de ocorrer, o elo protegido normalmente é coordenado com o elo do protetor,

pelo menos, para o valor da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo no ponto de instalação do protetor. Caso o elo protetor seja o do transformador de distribuição, a coordenação com o elo protegido será desprezada se essa coordenação acarretar um valor muito elevado do elo protegido, prejudicando a seletividade da proteção do circuito primário.

2º) Quando existir elevado número de fusíveis em série, geralmente quando exceder 3, poderá ser impraticável a coordenação seletiva do sistema. Nesse caso, deve ser reduzido a quantidade de fusíveis ou ser instalado um religador ou um seccionador ou, ainda menos, tentar manter a seletividade da proteção sobre o trecho principal do sistema.

3º) Não utilizar elos do tipo H para a proteção de circuitos primários, reservando este tipo de elo somente para a proteção de transformadores de distribuição, enquanto que nesses circuitos deverão ser usados apenas elos K e T.

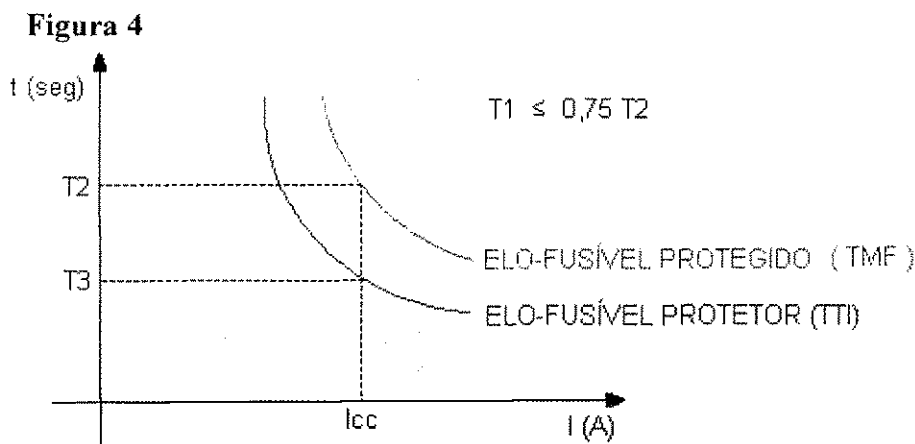
4º) Para ampliar a faixa de coordenação entre os elos-fusíveis utilizados deve-se optar sempre que possível por:

- somente elos preferenciais (6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 e 200K);
- somente elos não-preferenciais (8, 12, 20, 30, 50 e 80K).

5º) Para a coordenação de elos-fusíveis devem ser utilizadas as tabelas de coordenação de 7 a 11 (em anexo). Estas tabelas se baseiam nas curvas de **tempo total de interrupção (TTI) X corrente**, para elos protetores, e nas curvas de **tempo mínimo de fusão (TMF) X corrente**, para elos protegidos, considerando uma relação de 75% (fator de segurança) entre estas curvas.

Este fator de segurança deixa margem para a maioria dos fatores variáveis, tais como, oscilações normais de temperatura ambiente, pré-aquecimento do elo pela corrente de carga, redução da seção do elemento fusível devido a calor de fusão, etc.

6º) Na ausência de tabelas de coordenação pelas curvas de **tempo X corrente dos elos fusíveis**, considerando que a coordenação é satisfatória quando o tempo total de interrupção do elo-fusível protetor não exceder 75% do tempo mínimo de fusão do fusível protegido, como mostra a figura 4 a seguir:



OBSERVAÇÕES:

- 1ª) I_{cc} – corrente de curto-circuito simétrica máxima no ponto em questão de instalação do elo protetor ou, pelo menos, a corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo neste ponto.

2ª) As tabelas e gráficos citados são fornecidas pelo fabricante.

3.8 - Componentes simétricas

O estudo de componentes simétricas se mostra de grande utilidade quando desejamos fazer a análise de circuitos elétricos trifásicos desequilibrados, tornando as expressões mais simples e facilitando o cálculo das correntes de curto circuito.

As tensões e correntes são divididas em três componentes de:

$$\text{Seqüência positiva: } \begin{pmatrix} V_{a1} \\ V_{b1} \\ V_{c1} \end{pmatrix} = V_1 \begin{pmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{pmatrix}$$

$$\text{Seqüência negativa: } \begin{pmatrix} V_{a2} \\ V_{b2} \\ V_{c2} \end{pmatrix} = V_2 \begin{pmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{pmatrix}$$

$$\text{Seqüência zero: } V_{a0} = V_{b0} = V_{c0}$$

Onde V_0 , V_1 e V_2 são tensões equilibradas e V_a , V_b e V_c são tensões desequilibradas. Desta forma, podemos escrever:

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \text{ou} \quad \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix}$$

O mesmo se aplica às correntes:

$$\begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \text{ou} \quad \begin{pmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix}$$

Análise das correntes de curto-circuito

a) Curto-circuito trifásico

O curto-circuito trifásico é um caso de solicitação simétrica. As tensões no local do curto circuito de todas as três fases são iguais a zero. Valem assim as relações:

$$V_0 = V_1 = V_2 = 0$$

Como

$$\begin{aligned}3 V_1 &= V_a + a V_b + a^2 V_c = 0 \\3 V_2 &= V_a + a^2 V_b + a V_c = 0 \\3 V_0 &= V_a + V_b + V_c = 0\end{aligned}$$

Resulta então: $V_1 = V_2 = V_0 = 0$

Das equações:

$$\begin{aligned}V_1 = E - Z_1 \cdot I_1 &= 0; & V_2 = -Z_2 \cdot I_2 &= 0; & V_0 = -Z_0 \cdot I_0 &= 0; \\e \quad I_a = I_1 & & I_b = a^2 I_1 & & I_c = a I_1 & \end{aligned}$$

Resultando em: $I = \frac{E}{Z_1}$

Onde:

E = força eletromotriz do circuito.

Z_0, Z_1, Z_2 = impedâncias de seqüências zero, positiva e negativa respectivamente.

b) Curto-circuito bifásico

Neste caso, valem as equações:

$$V_b = V_c; I_a = 0; I_b = -I_c$$

Usando as equações obtemos:

$$I_1 = -I_2 = \frac{E}{Z_1 + Z_2}$$

c) Curto-circuito Fase-terra

$$V_a = 0; I_b = 0; I_c = 0$$

Usando as equações obtemos:

$$I_{cc\alpha} = \frac{3I_{base}}{2(Z_1) + Z_0}$$

Obs.: grandezas em p.u.

d) Curto-circuito Fase-terra mínimo

Mesma expressão do curto-circuito fase-terra, só que agora se considera a resistência de aterramento (R_c).

$$I_{cc\phi m} = \frac{3I_{base}}{2(Z_1) + Z_0 + R_c}$$

Obs.: grandezas em p.u.

O documento 3 (em anexo) exemplifica bem um caso real de cálculo de correntes de curto-circuito.

4 – Proteção do sistema de distribuição realizado pela Ceal

A seguir discutiremos os passos para a realização da proteção do sistema de distribuição da Ceal. Para melhor explanação do assunto faremos a proteção do alimentador 3 da subestação do Pinheiro, explicando passo a passo este processo. Sabendo que esta forma de análise é feita para qualquer alimentador que se deseje realizar um trabalho de proteção.

4.1 – Codificando os pontos

Marcaremos os pontos no diagrama unifilar para o cálculo das correntes de curto-circuito de acordo com as considerações feitas na seção 2.5 . A numeração deverá ser de ordem crescente saindo da subestação até o final do alimentador. O diagrama unifilar do alimentador 3 da subestação do Pinheiro, já codificado, está na figura 5, em anexo. Como se pode notar no diagrama estão contidas todas as informações citadas na seção 2.2.1.

4.2 – Cálculo das correntes de curto-circuito

Como já foi dito, utilizando componentes simétricas podemos chegar aos valores de correntes de curto-circuito simétricas trifásica, bifásica, fase terra e fase terra mínimo para cada ponto. A forma de cálculo para um ponto é feita segundo descrito no exemplo 1.

Num alimentador que possui vários pontos, como o que estamos estudando, este cálculo é feito para todos os pontos do diagrama de forma que, ao final tenhamos todas as informações necessárias para o estudo de proteção.

A Ceal possui um programa chamado CODE3V que calcula estas correntes para nós. O programa funciona da seguinte forma:

- 1) Entra-se com os dados através de um documento de texto tipo txt;
- 2) Efetuam-se os cálculos, a partir da leitura dos dados;
- 3) Finalmente este programa cria um arquivo de texto de saída, onde estão contidas as informações sobre as correntes de curto-circuito.

4.2.1 Arquivo de entrada do CODE3V.

O nosso arquivo de entrada (CODPNO03.TXT) para o alimentador 3 da subestação do Pinheiro, está no documento 1, em anexo. Na primeira linha deste arquivo estão contidas informações referentes a códigos de controle da subestação. Da segunda linha em diante estão contidas as informações necessárias para o cálculo das correntes de curto circuito. A

estrutura desses dados é a seguinte: os primeiros três algarismos correspondem ao ponto codificado; do quarto algarismo ao sétimo dizem respeito ao número do posto; após o espaço dado estão os (códigos do poste)/(códigos da rua); após um novo espaço estão escritos, respectivamente, à distância em metros de um ponto a outro, o código do cabo (tabelas 1, 2 e 3, em anexo), e o primeiro ponto de retaguarda, estes pontos, linha após linha, devem estar alinhados formando uma coluna. Após os pontos de retaguarda estão informações referentes ao equipamento encontrado no ponto, com a seguinte codificação:

M/CONDUT → *Mudança de condutor (bitola).*
CH FA NF → *Chave faca normalmente fechada*
CH FA NA → *Chave faca normalmente aberta*
CH OL NF → *Chave a óleo normalmente fechada*
CH OL NA → *Chave óleo normalmente aberta*
CH FU NA → *Chave fusível normalmente aberta*
20K → *Chave fusível normalmente fechada com elo de 20K*
GP LI VA → *Grampo de linha viva.*
RELIGADOR → *Religador de poste*

OBSERVAÇÕES:

- 1) Na falta do número do posto escreve-se 0001 na sua posição.
- 2) Antes de se dimensionar as chaves-fusíveis, coloca-se qualquer valor para o elo-fusível. Após a análise, já de posse de seus valores corretos, mudam-se os valores antigos pelos valores reais.
- 3) A última linha deste arquivo indica o final do documento.

4.2.2 – Leitura dos dados e arquivo de saída

O programa ler estes dados do arquivo de entrada (documento 1, em anexo) e a calcula as correntes de curto circuito, sabendo que as informações referentes às impedâncias dos condutores em p.u./km (ver tabelas 1, 2, e 3 em anexo) e das impedâncias reduzidas ao barramento na tensão de distribuição da subestação em p.u também são lidas em um documento de texto à parte (documento 2 , em anexo) que também entram nos cálculos.

No arquivo de saída (documento 3), que está em anexo, temos, além das correntes de curto-circuito, várias informações que serão úteis no dimensionamento das chaves-fusíveis, que será visto na próxima seção.

4.3 – Dimensionamento das chaves-fusíveis

Nos primários dos transformadores o dimensionamento é feito através de sua carga (Tabela 5). A seguir veremos o dimensionamento das chaves-fusíveis nos ramais de distribuição.

a) Ponto 5

Motivos de sua instalação:

- Ramal que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 5676,8 A

Corrente de curto-circuito bifásico – 4916,2 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 4684,3 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 576,2 A

R_1 – 0,1911 ohms

X_1 – 0,7118 ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I \text{ corrente elo} = \frac{(I \text{ total religador}) \times (kVA \text{ do bloco})}{(kVA \text{ Total})}$$

kVA Total = 5825 kVA

kVA do bloco = 150 kVA

kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 1,030 A

Sabendo que:

I corrente elo \leq (1/4) x I corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

(1/4) x I (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = 1/4 x 576,2 = 144,05

então:

I corrente elo < 144,05

Dimensionando a chave

I chave fusível = 1,5 x 1,030 = 1,545

Coordenação

Utilizando a tabela 8 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 20K, que irá ser protegido pelo elo de 5H, elo-fusível do transformador de 75 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 20K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{0,7118}{0,1911} = 3,725$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,19.

A corrente assimétrica será $1,19 \times I$ (corrente de curto-circuito trifásico) $= 1,19 \times 5676,8 = 6755,4$

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 8000 A.

Dados da chave do ponto 5:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
20 K	8000

b) Ponto 6

Motivos de sua instalação:

- Ramal que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 5315,8 A

Corrente de curto-circuito bifásico – 4603,6 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 4254,2 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 571,1A

R_1 – 0,2420 ohms

X_1 – 0,7489 ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I_{\text{corrente elo}} = \frac{(I_{\text{total religador}}) \times (kVA_{\text{do bloco}})}{(kVA_{\text{Total}})}$$

kVA Total = 5825 kVA
kVA do bloco = 150 kVA
kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 1,030 A

Sabendo que:

I corrente elo $\leq (1/4) \times I$ corrente de curto-circuito fase terra mínimo.
 $(1/4) \times I$ (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = $1/4 \times 571,2 = 142,8$

então:

I corrente elo < 142,80

Dimensionando a chave

I chave fusível = $1,5 \times 1,030 = 1,545$

Coordenação

Utilizando a tabela 8 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 20K, que irá ser protegido pelo elo de 5H, elo-fusível do transformador de 75 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 20K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{0,7489}{0,2420} = 3,095$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,142.

A corrente assimétrica será $1,142 \times I$ (corrente de curto-circuito trifásico) = $1,142 \times 5315,8 = 6070,6$

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 8000 A.

Dados da chave do ponto 6:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
20 K	8000

c) Ponto 7

Motivos de sua instalação:

- Ramal que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 4637,2 A

Corrente de curto-circuito bifásico – 4015,9 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 3532,3 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 560,0 A

R_1 – 0,3534 ohms

X_1 – 0,8301 ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I \text{ corrente elo} = \frac{(I \text{ total religador}) \times (kVA \text{ do bloco})}{(kVA \text{ Total})}$$

kVA Total = 5825 kVA

kVA do bloco = 150 kVA

kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 1,030 A

Sabendo que:

I corrente elo \leq (1/4) x I corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

(1/4) x I (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = $\frac{1}{4}$ x 560,0 = 140,0

então:

I corrente elo < 140,0

Dimensionando a chave

I chave fusível = 1,5 x 1,030 = 1,545

Coordenação

Utilizando a tabela 8 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 20K, que irá ser protegido pelo elo de 5H, elo-fusível do transformador de 75 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 20K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{0,8301}{0,3534} = 2,349$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,090.

A corrente assimétrica será $1,142 \times I$ (corrente de curto-circuito trifásico) $= 1,090 \times 4637,2 = 5054,5$.

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 6000 A.

Dados da chave do ponto 7:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
20 K	6000

d) Ponto 9

Motivos de sua instalação:

- Ramal de consumidor importante, que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 4142,0 A

Corrente de curto-circuito bifásico – 3587,1 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 3137,0 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 548,1 A

$R_1 = 0,4949$ ohms

$X_1 = 0,8805$ ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I_{\text{corrente elo}} = \frac{(I_{\text{total religador}}) \times (kVA_{\text{do bloco}})}{(kVA_{\text{Total}})}$$

kVA Total = 5825 kVA

kVA do bloco = 5000 kVA

kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 34,33 A

Sabendo que:

I corrente elo \leq (1/4) x I corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

(1/4) x I (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = $\frac{1}{4}$ x 548,1 = 137,0

então:

I corrente elo < 137,0

Dimensionando a chave

I chave fusível = 1,5 x 34,33 = 51,495 A

Coordenação

Utilizando a tabela 7 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 140K, que irá ser protegido pelo elo de 100K, elo-fusível do transformador de 2500 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 140K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{0,8805}{0,4949} = 1,780$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,060.

A corrente assimétrica será 1,060 x I (corrente de curto-circuito trifásico) = 1,060 x 4142,0 = 4390,5

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 6000 A.

Dados da chave do ponto 9:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
140 K	6000

e) Ponto 10

Motivos de sua instalação:

- Ramal que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 3972,2 A

Corrente de curto-circuito bifásico – 3440,1 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 2978,4 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 544,5 A

R_1 – 0,5331 ohms

X_1 – 0,9084 ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I \text{ corrente elo} = \frac{(I \text{ total religador}) \times (kVA \text{ do bloco})}{(kVA \text{ Total})}$$

kVA Total = 5825 kVA

kVA do bloco = 75 kVA

kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 0,515 A

Sabendo que:

I corrente elo \leq (1/4) x I corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

(1/4) x I (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = 1/4 x 544,5 = 140,0

então:

I corrente elo < 136,12 A

Dimensionando a chave

I chave fusível = 1,5 x 0,515 = 0,7725 A

Coordenação

Utilizando a tabela 8 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 20K, que irá ser protegido pelo elo de 5H, elo-fusível do transformador de 75 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 20K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{0,9084}{0,5331} = 1,704$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,055.

A corrente assimétrica será $1,055 \times I$ (corrente de curto-circuito trifásico) $= 1,055 \times 3972,2 = 4190,7$.

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 6000 A.

Dados da chave do ponto 10:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
20 K	6000

f) Ponto 13

Motivos de sua instalação:

- Ramal que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 3488,3 A

Corrente de curto-circuito bifásico – 3020,9 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 2547,4 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 532,5 A

R_1 – 0,6604 ohms

X_1 – 1,0012 ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I_{\text{corrente elo}} = \frac{(I_{\text{total religador}}) \times (\text{kVA do bloco})}{(\text{kVA Total})}$$

kVA Total = 5825 kVA

kVA do bloco = 75 kVA

kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 0,515 A

Sabendo que:

I corrente elo \leq (1/4) x I corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

(1/4) x I (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = 1/4 x 534,5 = 133,62

então:

I corrente elo < 133,12 A

Dimensionando a chave

I chave fusível = 1,5 x 0,515 = 0,7725 A

Coordenação

Utilizando a tabela 8 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 20K, que irá ser protegido pelo elo de 5H, elo-fusível do transformador de 75 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 20K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor

corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{1,0012}{0,6604} = 1,516$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,045.

A corrente assimétrica será 1,045 x I (corrente de curto-circuito trifásico) = 1,045 x 3488,3 = 3645,3 A.

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 4000 A.

Dados da chave do ponto 13:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
20 K	4000

g) Ponto 14

Motivos de sua instalação:

- Ramal que supre área que não está sujeito à falhas transitórias, onde não tem sido constatada probabilidade elevada de interrupção através de dados estatísticos.

Dados

Do arquivo de saída do CODE3V obtemos as seguintes informações abaixo.

Corrente de curto-circuito trifásico – 3394,1A

Corrente de curto-circuito bifásico – 2939,4 A

Corrente de curto-circuito fase-terra – 2466,8 A

Corrente de curto-circuito fase-terra-mínimo – 529,9 A

R_1 – 0,6891 ohms

X_1 – 1,0220 ohms

Dimensionamento do elo-fusível

$$I_{\text{corrente elo}} = \frac{(I_{\text{total religador}}) \times (kVA_{\text{do bloco}})}{(kVA_{\text{Total}})}$$

kVA Total = 5825 kVA

kVA do bloco = 75 kVA

kVA total religador = 40 A

I corrente elo = 0,515 A

Sabendo que:

I corrente elo \leq (1/4) x I corrente de curto-circuito fase terra mínimo.

(1/4) x I (corrente de curto-circuito fase terra mínimo) = $\frac{1}{4}$ x 529,9 = 132,48

então:

I corrente elo < 133,12 A

Dimensionando a chave

I chave fusível = 1,5 x 0,515 = 0,7725 A

Coordenação

Utilizando a tabela 8 (em anexo), chegamos a um elo-fusível de 20K, que irá ser protegido pelo elo de 5H, elo-fusível do transformador de 75 kVA (tabela 5).

Após a análise verificamos que, para manter a coordenação, o elo-fusível escolhido será de 20K.

Capacidade de interrupção assimétrica

Para sabermos qual a corrente assimétrica da chave é necessário achar o fator de assimetria. O fator de assimetria é encontrado calculando-se $\frac{X_1}{R_1}$ e olhando o seu valor corresponde na tabela 4. Desta forma:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{1,0220}{0,6891} = 1,483$$

Através da tabela 4, obtemos um fator de assimetria igual a 1,04 .

A corrente assimétrica será $1,045 \times I$ (corrente de curto-circuito trifásico) $= 1,04 \times 3394,1 = 3529 \text{ A}$.

Utilizando a tabela 12 chegamos a uma capacidade de interrupção assimétrica de 4000 A.

Dados da chave do ponto 14:

Elo - fusível	Capacidade de interrupção assimétrica (A)
20 K	4000

Dimensionamento final das chaves-fusíveis

Ponto	Elo-fusível	Capacidade de interrupção assimétrica
5	20K	8000
6	20K	8000
7	20K	6000
9	140K	6000
10	20K	6000
13	20K	4000
14	20K	4000

5 – Conclusão

O projeto de proteção é de fundamental importância para a empresa, devido estar ligado diretamente com a preservação de vidas humanas e de propiciar uma distribuição de energia que otimize os lucros e traga bem-estar ao consumidor.

O sistema elétrico da Ceal tem respondido bem aos projetos de proteção desenvolvidos nos últimos anos. Porém, devido a problemas financeiros pelo qual a empresa está passando no momento, como falta de equipamentos e estruturas, não permite que haja uma modernização voltada neste sentido. A automação do sistema seria uma arma importante para manutenção do fornecimento de energia elétrica onde algumas falhas do circuito poderiam ser resolvidas mais rapidamente sem que fosse necessário o envio de equipe da Ceal para determinado local, no caso, por exemplo, de rompimento de um elo-fusível, principalmente por haver regiões de difícil acesso, implicando em demora no funcionamento normal da rede. Mas seus administradores vêm se esforçando neste sentido e Maceió já possui três subestações automatizadas e têm a pretensão de modernizar todo o sistema o mais rápido possível.

Este período de estágio serviu para aprimorar o aprendizado adquirido durante o curso de graduação, habituar-se à prática e a situações extremas, além de exercitar um pouco a habilidade de lidar com os funcionários e pessoas ligadas à empresa.

6 – Bibliografia

L. O. Bartohold, N. D. Reppen e D. E. Hedman, "Análise de circuitos de sistemas de potência" - volume 1 - eletrobrás, UFSM.

Roeper, Richard, "Correntes de curto-circuito em redes trifásicas" - Editora Pedagógica Ltda..

Filho, João Mamede - Manual de equipamentos elétricos - Volume 1- LTC editora.

Banco de dados da Ceal.

ANEXO

TABELA 1

CABOS - CONDUTORES DE ALUMÍNIO CA OU ASC										
CÓDIGO	ÁREA NOMINAL		FIAÇÃO	CAP. DE COND.	R0	X0	Z0	R1=R2	X1=X2	Z1=Z2
CONDUTOR	AWG/MCM	mm ²	Nº DE FIOS	(A)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)
COSMOS	477,0	242	19	695	0,1642	0,9823	0,9959	0,0706	0,2007	0,2128
TULIP	336,4	170	19	555	0,1939	0,9894	0,0082	0,1004	0,2076	0,2306
OXLIP	4/0	107	7	410	0,2525	1,0008	1,0322	0,1505	0,2190	0,2657
ASTER	2/0	67	7	305	0,3457	1,0100	1,0675	0,2522	0,2282	0,3401
POPPY	1/0	54	7	265	0,4118	1,0138	1,0942	0,3183	0,2320	0,3939
ÍRIS	2	34	7	195	0,6006	1,0238	1,1870	0,5070	0,2420	0,5618
ROSE	4	21	7	145	0,8982	1,0389	1,3733	0,8047	0,2571	0,8448

TABELA 2

CABOS - CONDUTORES DE ALUMÍNIO CAA OU ACSR										
CÓDIGO	ÁREA NOMINAL		FIAÇÃO	CAP. DE COND.	R0	X0	Z0	R1=R2	X1=X2	Z1=Z2
CONDUTOR	AWG/MCM	mm ²	Nº DE FIOS	(A)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)
HAWK	477,0	281	33	670	0,1642	0,9767	0,9984	0,0706	0,1949	0,2073
TULIP	336,4	198	33	530	0,1936	0,9853	1,0041	0,1000	0,2035	0,2267
PENGUIM	4/0	125	7	340	0,2872	1,0261	1,0655	0,1936	0,2443	0,3117
QUAIL	2/0	79	7	270	0,3863	1,0458	1,1149	0,2927	0,2639	0,3941
RAVEN	1/0	62	7	230	0,4599	1,0507	1,1469	0,3664	0,2688	0,4544
SPARROW	2	39	7	180	0,6333	1,0461	1,2229	0,5397	0,2643	0,6009
SWAN	4	25	7	140	0,9277	1,0503	1,4013	0,8341	0,2685	0,8763

TABELA 3

CABOS - CONDUTORES DE COBRE										
CÓDIGO	ÁREA NOMINAL		FIAÇÃO	CAP. DE COND.	R0	X0	Z0	R1=R2	X1=X2	Z1=Z2
CONDUTOR	AWG/MCM	mm ²	Nº DE FIOS	(A)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)	(Pu/km)
	4/0	107	7	480	0,1927	1,0006	1,0190	0,0991	0,2188	0,2482
	4/0	107	12	480	0,1927	0,9941	1,0126	0,0991	0,2149	0,2365
	2/0	67	7	360	0,2484	1,0101	1,0402	0,1573	0,2283	0,2772
	1/0	54	7	310	0,2914	1,0046	1,0460	0,1981	0,2362	0,3083
	2	34	7	240	0,4027	1,0261	1,1023	0,3091	0,2443	0,3940
	4	21	7	210	0,5839	1,0252	1,1798	0,4905	0,2568	0,5537
	6	13	1	120	0,8766	1,0445	1,3636	0,7818	0,2627	0,8242

TABELA 4

FATOR DE ASSIMETRIA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO X/R							
X/R	F. ASSIMET	X/R	F. ASSIMET	X/R	F. ASSIMET	X/R	F. ASSIMET
Até 0,25	1,000	1,70	1,050	4,10	1,212	9,00	1,435
0,30	1,004	1,75	1,055	4,20	1,220	9,25	1,440
0,40	1,005	1,80	1,060	4,30	1,225	9,50	1,450
0,50	1,006	1,85	1,063	4,40	1,230	9,75	1,455
0,55	1,007	1,90	1,065	4,50	1,235	10,00	1,465
0,60	1,008	1,95	1,068	4,60	1,249	11,00	1,480
0,65	1,009	2,00	1,070	4,70	1,255	12,00	1,500
0,70	1,010	2,10	1,075	4,80	1,260	13,00	1,515
0,75	1,011	2,20	1,080	4,90	1,264	14,00	1,525
0,80	1,012	2,30	1,085	5,00	1,270	15,00	1,550
0,85	1,013	2,40	1,090	5,20	1,275	16,00	1,560
0,90	1,015	2,50	1,104	5,40	1,290	17,00	1,570
0,95	1,018	2,60	1,110	5,60	1,303	18,00	1,580
1,00	1,020	2,70	1,115	5,80	1,310	19,00	1,590
1,05	1,023	2,80	1,123	6,00	1,315	20,00	1,600
1,10	1,025	2,90	1,130	6,20	1,324	22,50	1,610
1,15	1,026	3,00	1,140	6,40	1,335	25,00	1,615
1,20	1,028	3,10	1,142	6,60	1,350	27,75	1,625
1,25	1,029	3,20	1,150	6,80	1,360	30,00	1,630
1,30	1,030	3,30	1,155	7,00	1,362	35,00	1,636
1,35	1,033	3,40	1,162	7,25	1,372	40,00	1,648
1,40	1,035	3,50	1,170	7,50	1,385	45,00	1,653
1,45	1,037	3,60	1,175	7,75	1,391	50,00	1,659
1,50	1,040	3,70	1,182	8,00	1,405	55,00	1,660
1,55	1,043	3,80	1,190	8,25	1,410	60,00	1,680
1,60	1,045	3,90	1,192	8,50	1,420		
1,65	1,047	4,00	1,210	8,75	1,425		

TABELA 5

ESCOLHA DE ELOS FUSÍVEIS PRIMÁRIOS PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO							
TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS							
POT. DO TRAFÓ (kVA)	TENSÕES EM VOLTS						
	2.300	3.800	6.600	11.400	13.200	22.000	25.000
5	3H	2H	2H	1H	1H	-	-
7,5	5H	3H	2H	1H	1H	-	-
10	6K	5H	3H	2H	2H	1H	1H
15	8K	6K	5H	2H	2H	1H	1H
25	12K	8K	6K	3H	3H	2H	2H
30	15K	8K	6K	5H	5H	2H	2H
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS							
POT. DO TRAFÓ (kVA)	TENSÕES EM VOLTS						
	2.300	3.800	6.600	11.400	13.200	22.000	25.000
5	2H	2H	1H	-	-	-	-
10	5H	3H	2H	1H	1H	-	-
15	6K	5H	2H	2H	1H	1H	1H
25	8K	6K	3H	2H	2H	1H	1H
30	8K	6K	5H	3H	2H	2H	1H
37,5	10K	6K	5H	3H	3H	2H	2H
45	12K	8K	6K	5H	3H	2H	2H
50	15K	8K	6K	5H	3H	2H	2H
75	20K	12K	8K	6K	5H	3H	3H
100	25K	15K	10K	6K	6K	5H	5H
112,5	30K	20K	10K	6K	6K	5H	5H
150	40K	25K	15K	8K	8K	6K	6K
200	50K	30K	20K	12K	10K	6K	6K
225	65K	40K	20K	12K	10K	6K	6K
250	65K	40K	25K	15K	12K	8K	8K
300	80K	50K	30K	15K	15K	10K	8K
400	100K	65K	40K	20K	20K	12K	10K
500	140K	80K	50K	25K	25K	15K	12K
600	200K	100K	65K	30K	30K	20K	15K

TABELA 6

CORRENTE ADMISSÍVEL EM REGIME PERMANENTE PARA ELOS FUSÍVEIS E CORTA CIRCUITOS		
ELO FUSÍVEL TIPO H, K OU T CORRENTE NOMINAL	CORRENTE ADMISSÍVEL PERMANENTE-AMPÉRES	CORRENTE NOMINAL DO CORTA CIRCUITO-AMPÉRES
1	1	50
2	2	50
3	3	50
5	5	50
6	9	50
8	12	50
10	15	50
12	18	50
15	23	50
20	30	50
25	38	50
30	45	50
40	60	100
50	75	100
65	98	100
80	120	200
100	150	200
140	190	200
200	200	200

TABELA 7

COORDENAÇÃO DE ELOS FUSÍVEIS TIPO K														
ELO FUSÍVEL PROTETOR	ELO FUSÍVEL PROTEGIDO													
	8 K	10 K	12 K	15 K	20 K	25 K	30 K	40 K	50 K	65 K	80 K	100 K	140 K	200 K
6 K		190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8 K			210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
10 K				300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
12 K					320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
15 K						430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
20 K							500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200
25 K								660	1350	2200	2800	3900	5800	9200
30 K									850	1700	2800	3900	5800	9200
40 K										1100	2200	3900	5800	9200
50 K											1450	3500	5800	9200
65 K												2400	5800	9200
80 K													4500	9200
100 K													2000	9100
140 K														4000

Obs.: Esta tabela indica os valores máximos das correntes de defeito nos quais elos fusíveis K coordenarão entre si.
A tabela se baseia nas curvas **Tempo Máximo Total de Interrupção** - corrente C-165 para elos protetores e 75% das curvas de **Tempo Mínimo de Fusão** C-164 para elos protegidos.

TABELA 8

COORDENAÇÃO DE ELOS FUSÍVEIS TIPO "K" E "H"														
ELO FUSÍVEL PROTETOR	ELO FUSÍVEL PROTEGIDO													
	8 K	10 K	12 K	15 K	20 K	25 K	30 K	40 K	50 K	65 K	80 K	100 K	140 K	200 K
1 H	125	280	380	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
2 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
3 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
5 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200

Obs.: Esta tabela indica os valores máximos das correntes de defeito nos quais elos fusíveis K coordenarão com elos H.
A tabela se baseia nas curvas **Tempo Máximo Total de Interrupção** - corrente FL6B para elos protetores e 75% das curvas de **Tempo Mínimo de Fusão** C-164 para elos protegidos.

TABELA 9

MÍNIMO ELO FUSÍVEL RECOMENDÁVEL PARA COORDENAÇÃO COM OS FUSÍVEIS DOS TRANSFORMADORES	
ELO FUSÍVEL DO TRANSFORMADOR	MÍNIMO ELO FUSÍVEL EM SÉRIE RECOMENDÁVEL
1 H	10 K (8 K) (*)
2 H	10 K
3 H	10 K
5 H	10 K
6 K	10 K
8 K	15 K (12 K) (*)
10 K	15 K
15 K	25 K
20 K	40 K
25 K	40 K
30 K	65 K
50 K	100 K

TABELA 10

COORDENAÇÃO DE ELOS FUSÍVEIS TIPO T														
ELO FUSÍVEL PROTECTOR	ELO FUSÍVEL PROTEGIDO													
	8 T	10 T	12 T	15 T	20 T	25 T	30 T	40 T	50 T	65 T	80 T	100 T	140 T	200 T
6 T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8 T			375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
10 T				530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
12 T					680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
15 T						730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700	15200
20 T							990	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200
25 T								1400	2600	4100	5000	6100	9700	15200
30 T									1500	3100	5000	6100	9700	15200
40 T										1700	3800	6100	9700	15200
50 T											1750	4400	9700	15200
65 T												2200	9700	15200
80 T													7200	15200
100 T													4000	13800
140 T														7500

Obs.: Esta tabela indica os valores máximos das correntes de defeito nos quais elos fusíveis T coordenarão entre si.

A tabela se baseia nas curvas **Tempo Máximo Total de Interrupção** - corrente FL4B para elos protetores e 75% das curvas de **Tempo Mínimo de Fusão** FL3B para elos

protegidos.

TABELA 11

COORDENAÇÃO DE ELOS FUSÍVEIS TIPO "T" E "H"														
ELO FUSÍVEL PROTETOR	ELO FUSÍVEL PROTEGIDO													
	8 T	10 T	12 T	15 T	20 T	25 T	30 T	40 T	50 T	65 T	80 T	100 T	140 T	200 T
1 H	400	520	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100				
2 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100				
3 H				920	1200	1500	2000	2540	3200	4100				
5 H				920	1200	1500	2000	2540	3200	4100				
8 H				920	1200	1500	2000	2540	3200	4100				

Obs.: Esta tabela indica os valores máximos das correntes de defeitos nos quais elos fusíveis T coordenarão com elos H. A tabela se baseia nas curvas **Tempo Máximo Total de Interrupção** - corrente FL6B para elos protetores e 75% das curvas de **Tempo Mínimo de Fusão FL3B** para elos protegidos.

TABELA 12

CARACTERÍSTICAS DAS CHAVES FUSÍVEIS USUALMENTE UTILIZADAS NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO			
TENSÃO NOMINAL (kV)	NBI (kV)	CORRENTE NOMINAL (A)	CAP. DE INTERRUPTÃO ASSIMÉTRICA (A)
15	95	50	1.200
			2.000
			4.000
		100	6.000
			8.000
			10.000
			12.000
			16.000
		200	10.000
			12.000
			16.000

COMPANHIA ENERGETICA DE ALAGOAS - CEAL
 CENTRO DE OPERACAO DA DISTRIBUICAO - COD
 IMPEDANCIA REDUZIDA NO BARRAMENTO DE 13,8 KV DA SE PINHEIRO

18/11/2003

SUBESTACAO	R1 RESISTENCIA POSITIVA	X1 REATANCIA POSITIVA	R2 RESISTENCIA NEGATIVA	X2 REATANCIA NEGATIVA	RO RESISTENCIA ZERO	X0 REATANCIA ZERO
0.	.0256	.5401	.0256	.5401	.0000	.4015

CODIGO	BITOLA	NUMERO DE FIOS	CAPACIDADE DE CONDUCAO EM AMPERES	R1 RESISTENCIA POSITIVA	X1 REATANCIA POSITIVA	R2 RESISTENCIA NEGATIVA	X2 REATANCIA NEGATIVA	RO RESISTENCIA ZERO	X0 REATANCIA ZERO
1.	477.0	26.	670.	.0706	.1929	.0706	.1929	.1642	.9748
2.	477.0	30.	670.	.0706	.1949	.0706	.1949	.1642	.9767
3.	336.4	26.	530.	.1000	.1998	.1000	.1998	.1936	.9817
4.	336.4	33.	530.	.1000	.2035	.1000	.2035	.1936	.9853
5.	40.0	7.	340.	.1936	.2443	.1936	.2443	.2872	1.0261
6.	20.0	7.	270.	.2927	.2639	.2927	.2639	.3863	1.0458
7.	10.0	7.	230.	.3664	.2688	.3664	.2688	.4599	1.0507
8.	2.0	7.	180.	.5397	.2643	.5397	.2643	.6333	1.0461
9.	4.0	7.	140.	.8341	.2685	.8341	.2685	.9277	1.0503
10.	477.0	19.	646.	.0706	.2007	.0706	.2007	.1642	.9823
11.	336.4	19.	514.	.1004	.2076	.1004	.2076	.1939	.9894
12.	40.0	7.	380.	.1505	.2190	.1505	.2190	.2525	1.0008
13.	20.0	7.	282.	.2522	.2282	.2522	.2282	.3457	1.0100
14.	10.0	7.	242.	.3183	.2320	.3183	.2320	.4118	1.0138
15.	2.0	7.	180.	.5070	.2420	.5070	.2420	.6006	1.0238
16.	4.0	7.	134.	.8047	.2571	.8047	.2571	.8982	1.0389
17.	40.0	12.	480.	.0991	.2149	.0991	.2149	.1927	.9941
18.	20.0	7.	360.	.1573	.2283	.1573	.2283	.2484	1.0101
19.	10.0	7.	310.	.1981	.2362	.1981	.2362	.2914	1.0046
20.	2.0	7.	230.	.3091	.2443	.3091	.2443	.4027	1.0261
21.	4.0	7.	170.	.4905	.2568	.4905	.2568	.5839	1.0252
22.	6.0	7.	120.	.7818	.2627	.7818	.2627	.8766	1.0445

COMPANHIA ENERGETICA DE ALAGOAS - CEAL
 CENTRO DE OPERACAO DE DISTRIBUICAO - COD
 VALORES DOS NIVEIS DE CURTO CIRCUITO NOS
 SUBESTACAO DE PINHEIRO

18/11/2003

PAGINA - 01

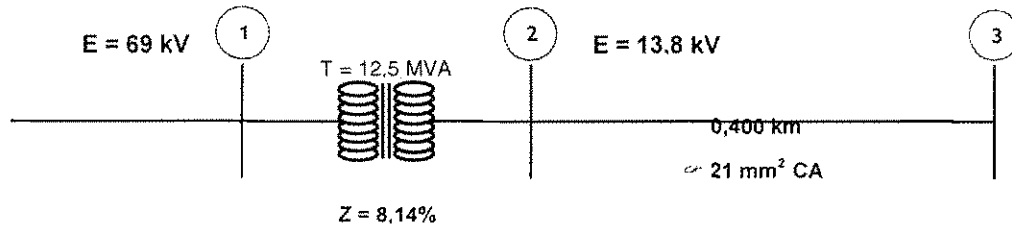
POSTOS DE CHAVEAMENTO DO SISTEMA DE DISTRIBUICAO EM 13,8 KV
 ALIMENTADOR - Y3

POSTO	POSTE	ELO FUSIVEL	R1 RESIST. POSITIVA	X1 REAT. POSITIVA	R0 RESIST. ZERO	X0 REAT. ZERO	ICC3F CORRENTE DE C.CIRCUITO TRIFASICO	ICC2F CORRENTE DE C.CIRCUITO BIFASICO	ICCFT CORRENTE DE C.CIRCUITO FASE-TERRA	ICCFTM CORRENTE D C.CIRCUITO F.T.MINIMO
0001.	BARRA PNO 01Y3	SUBEST	.0256	.5401	.0000	.4015	7737.5	6700.8	8465.7	594.6
0001.	6/3 Pt 3	M/CONDUT	.0638	.6190	.0737	.7775	6723.4	5822.6	6196.7	589.2
0992.	10/3 Pt 4	CH FA NF	.0892	.6375	.1066	.8586	6498.9	5628.2	5830.6	586.6
0993.	26/3 Pt 5	20K	.1911	.7118	.2384	1.1830	5676.8	4916.2	4684.3	576.2
0994.	34/3 Pt 6	20K	.2420	.7489	.3043	1.3452	5315.8	4603.6	4254.2	571.1
0995.	50/3 Pt 7	20K	.3534	.8301	.4484	1.7000	4637.2	4015.9	3532.3	560.0
0996.	58/3 Pt 8	GP LI VA	.4822	.8712	.5921	1.8663	4201.5	3638.6	3193.6	549.3
0997.	60/3 Pt 9	140K	.4949	.8805	.6086	1.9068	4142.0	3587.1	3137.0	548.1
0998.	66/3 Pt 10	20K	.5331	.9084	.6580	2.0285	3972.2	3440.1	2978.4	544.5
0999.	68/3 Pt 11	GP LI VA	.5458	.9176	.6745	2.0690	3918.4	3393.4	2929.0	543.3
1000.	80/3 Pt 12	GP LI VA	.6254	.9756	.7774	2.3225	3610.1	3126.5	2653.2	535.8
1001.	86/3 Pt 13	20K	.6604	1.0012	.8227	2.4340	3488.3	3020.9	2547.4	532.5
2888.	90/3 Pt 14	20K	.6891	1.0220	.8598	2.5252	3394.1	2939.4	2466.8	529.9

DOCUMENTO 3

BASE PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CORRENTES DE CURTO CIRCUITO NA TENSÃO DE 13,8 kV

- DIAGRAMA UNIFILAR PROPOSTO



- BASES ADOTADAS

$$P_{base} = 100 \text{ MVA} = 100 \times 10^6 \text{ VA}$$

$$E_{base} = 13,8 \text{ kV} = 13,8 \times 10^3 \text{ V}$$

$$I_{base} = 4.183,7 \text{ A}$$

$$Z_{base} = 1,9044 \Omega$$

- CÁLCULOS DAS BASES

1. Corrente Base

$$I_{base} = \frac{P_{base} \times 1000}{kV_{base} \times \sqrt{3}} = \frac{100 \times 1000}{13,8 \times 1,732} = 4.183,7 \text{ A}$$

2. Impedância Base

$$Z_{base} = \frac{(kV_{base})^2}{P_{base}} = \frac{(13,8)^2}{100} = 1,9044 \Omega$$

3. Resistência de Contato

$$Z_{pu} = \frac{Z \Omega}{Z_{base} \Omega} = \frac{40 \Omega}{1,9044 \Omega} = 21,0040 \text{ pu}$$

4. Cálculo da Impedância no Transformador na Base de 100 MVA

$$\frac{Z_{bnova}}{Z_{bvelha}} = \frac{P_{bnova}}{P_{bvelha}} \therefore \frac{Z_{bnova}}{8,14} = \frac{100}{12,5} \therefore Z_{bnova} = \frac{8,14 \times 100}{12,5} = 65,12\%$$

$$Z_{bnova} = \frac{65,12\%}{100} = j0,6512 pu$$

- **Impedância do Transformador na Base Nova em PU**

$$\begin{aligned} Z_{0(traja)} &= R_0 + jX_0 \\ &= 0,0000 + j0,6512 pu \end{aligned}$$

- **Impedância de Seqüência Positiva Reduzida na Barra de 69 kV**

$$\begin{aligned} Z_{1(69kV)} &= R_1 + jX_1 \\ &= 0,3378 + j2,3790 pu \end{aligned}$$

- **Somatório das Impedâncias Reduzida na Barra de 13,8 kV**

$$\begin{aligned} Z_{0(traja)} &= 0,0000 + j0,6512 pu \\ Z_{1(69)} &= 0,3378 + j2,3790 pu \\ \hline Z_{1(13,8kV)} &= 0,3378 + j3,0302 pu \end{aligned}$$

- **ANÁLISE DAS CORRENTES DE DEFEITO REFERIDAS À BARRA DE 13,8 kV**

Z_1 = Impedância de Seqüência Positiva ou Negativa

Z_0 = Impedância de Seqüência Zero

R_c = Resistência de Contato

1. Corrente de Curto Circuito Trifásico

$$I_{cc3\phi} = \frac{E_a}{Z_1} \text{ ou } \frac{1\angle 0^\circ \times I_{base}}{Z_1}$$

$$I_{cc3\phi} = \frac{1\angle 0^\circ}{0,3378 + j3,0302} = \frac{1\angle 0^\circ}{3,0490\angle 83,64^\circ} \text{ ou } \frac{1\angle 0^\circ \times I_{base}}{0,3378 + j3,0302} = \frac{1\angle 0^\circ \times 4.183,7}{3,0490\angle 83,64^\circ}$$

$$I_{cc3\phi} = 0,3280\angle -83,64^\circ pu \quad I_{cc3\phi} = 1.372,15\angle -83,64^\circ A$$

$$\begin{aligned}
 I_{cc3\phi} &= I_{base} \times I_{cc3\phi} = \\
 &= 4.183,7 \times 0,3280 \angle -83,93^\circ \\
 &= 1.372,25 \angle -83,64^\circ A
 \end{aligned}$$

2. Corrente de Curto Circuito Fase Terra

$$I_{cc\phi} = \frac{3xI_{base}}{2(Z_1) + Z_0} = \frac{3x4.183,7}{2(0,3378 + j3,0302) + j0,6512} = \frac{12.551}{0,6756 + j6,0604 + j0,6512} =$$

$$I_{cc\phi} = \frac{12.551}{0,6756 + j6,7116} = \frac{12.551}{6,7455 \angle 84,25^\circ} =$$

$$I_{cc\phi} = 1.860,6 \angle -84,25^\circ A$$

3. Corrente de Curto Circuito Fase Terra Mínimo

$$I_{cc\phi m} = \frac{3xI_{base}}{2(Z_1) + Z_0 + R_c} = \frac{3x4.183,7}{0,6756 + j6,0604 + j0,6512 + 21} = \frac{12.551}{21,6756 + j6,7116} =$$

$$I_{cc\phi m} = \frac{12.551}{22,6909 \angle 17,2045^\circ} = 553,1292 \angle 17,2045^\circ A$$

▪ Calcular as Correntes de Defeito a 0,400 km, Barra 3

- Impedâncias do cabo de 21mm² CA

$$Z_{1(caba)} = 0,8047 + j0,2571 pu$$

$$Z_{0(caba)} = 0,8982 + j1,0389 pu$$

▪ Impedância de Seqüência Positiva Acumulada na Barra 3

$$\begin{aligned}
 Z_{1(acum)} &= (Z_{1(caba)})D + Z_{1(barra)} \\
 &= (0,8047 + j0,2571)0,4 + 0,3378 + j3,0302 pu \\
 &= 0,6597 + j3,1330 pu
 \end{aligned}$$

▪ Impedância de Seqüência Zero Acumulada na Barra 3

$$Z_{0(acum)} = (Z_{0(caba)})D + Z_{0(barra)}$$

$$= (0,8982 + j1,0389)0,4 + j0,6512 pu$$

$$= 0,3593 + j1,0668 pu$$

▪ **Calcular as Correntes de Defeito na Barra 3**

1. Corrente Curto Circuito Trifásico

$$I_{cc3\phi} = \frac{1\angle 0^{\circ} \times I_{base}}{Z_1} = \frac{1\angle 0^{\circ} \times 4.183,7}{0,6597 + j3,1330} = \frac{4.183,7}{3,2017\angle 78,11^{\circ}} =$$

$$I_{cc3\phi} = 1.303,59\angle -78,11^{\circ} A$$

2. Corrente de Curto Circuito Fase Terra

$$I_{cc\phi} = \frac{3\angle 0^{\circ} \times I_{base}}{2(Z_1) + Z_0} = \frac{3\angle 0^{\circ} \times 4.183,7}{2(0,6597 + j3,1330) + j0,6512} = \frac{12.551}{1,3194 + j6,2660 + 0,6512} =$$

$$I_{cc\phi} = \frac{12.551}{1,3194 + j6,9172} = \frac{12.551}{7,0419\angle 79,20^{\circ}} =$$

$$I_{cc\phi} = 1.782,33\angle -79,20^{\circ} A$$

3. Corrente de Curto Circuito Fase Terra Mínimo

$$I_{cc\phi m} = \frac{3\angle 0^{\circ} \times I_{base}}{2(Z_1) + Z_0 + R_c} = \frac{3\angle 0^{\circ} \times 4.183,7}{2(0,6597 + j3,1330) + j0,6512 + 21,0040} =$$

$$I_{cc\phi m} = \frac{12.551}{1,3194 + j6,2660 + j0,6512 + 21,0040} = \frac{12.551}{22,3234 + j6,9172} = \frac{12.551}{23,3705\angle 17,22^{\circ}} =$$

$$I_{cc\phi m} = 537\angle -17,22^{\circ} A$$

Agradecimentos

Agradeço a Companhia energética de Alagoas e sua equipe pela colaboração e material gentilmente cedidos; ao professor Eurico Bezerra de Souza Filho pela orientação e colaboração e ao professor Antônio do Nascimento Epaminondas por sua dedicação na conclusão deste trabalho.

SE
PNO

