



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Sistema baseado em afundamentos de tensão para localização de faltas em alimentadores aéreos de distribuição de energia elétrica

**Rodrigo A. F. Pereira**  
FEIS/UNESP

ddigo@yahoo.com

**Márcio R. Nordi**

Empresa de Distribuição de Energia  
Vale Paranapanema S. A.

marcio.nordi@gruporede.com.br

**Roberto Y. Okuyama**  
Empresa de Distribuição de Energia  
Vale Paranapanema S. A.

roberto.okuyama@yahoo.com.br

**Antonio Padilha-Feltrin**

FEIS/UNESP

padilha@dee.feis.unesp.br

**Pedro A. L. Carneiro**  
BCM Engenharia Ltda

bcm.energ@terra.com.br

**José R. S. Mantovani**

FEIS/UNESP

mant@dee.feis.unesp.br

**Palavras-chave:** Afundamento de tensão, alimentadores de distribuição, localização de faltas.

#### Resumo

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um sistema para localização de faltas em redes aéreas de distribuição de energia elétrica. Neste sistema utilizam-se como grandezas de comparação os valores medidos e simulados, das magnitudes de afundamentos de tensão em um conjunto de nós previamente selecionados do alimentador durante a ocorrência de uma falta. Este sistema é formado por um módulo de hardware responsável pela aquisição e processamento dos sinais de tensões e correntes do alimentador e por um módulo de software responsável pela execução do processo de localização da falta. No atual estágio de desenvolvimento desse sistema, o algoritmo que compõe o módulo de software já está definido, implementado e testado e as definições dos medidores do módulo de hardware já foram estabelecidas. Para testar o algoritmo do módulo de software foi utilizado um alimentador real de 134 nós.

#### 1. Introdução

Faltas em alimentadores de distribuição causam atuação do sistema de proteção interrompendo o fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Geralmente, as faltas são ocasionadas por animais e árvores em contato com partes energizadas da rede de distribuição, severas condições de tempo tais como raios e ventos, bem como tempo de vida útil e manutenção inadequada dos equipamentos. Normalmente, determinar o local ou a região de ocorrência de uma falta com precisão adequada é uma tarefa difícil de ser executada. Isto faz com que indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica dependentes do tempo da interrupção estabelecidos pela Resolução no 24/2000 [1], tais como, DEC, DIC e DMIC, sofram degradação. Uma das formas que as distribuidoras têm para minimizar a degradação dos indicadores, observando o padrão de continuidade, é investir em técnicas que proporcionam a localização de faltas nos alimentadores de maneira rápida e eficiente. Um procedimento muito usado pela maioria das distribuidoras de energia é um processo de localização de faltas baseado em tentativas e erros. Assim, através do conhecimento dos operadores no comportamento das redes de distribuição frente às contingências históricas

ocorridas nesta rede, operações de abertura e fechamento de chaves são realizadas no alimentador para localizar a falta e isolar a região afetada. Porém, na maioria das vezes, esse processo é trabalhoso e resulta em elevados tempos de interrupção de energia. Após a implantação dos centros de atendimento aos clientes pelas distribuidoras de energia elétrica, o processo de tentativas e erros para a localização de faltas foi melhorado com informações baseadas em reclamações de clientes afetados com a interrupção do fornecimento de energia elétrica. Entretanto, mesmo com essas novas informações o processo de localização de faltas ainda necessita ser otimizado. Diante dessa necessidade e com a rápida evolução da tecnologia e dos equipamentos para aquisição, processamento e transmissão de sinais elétricos, vários algoritmos e técnicas para localização de faltas em alimentadores de distribuição de energia elétrica têm sido propostos [2 - 10]. Dentre as principais dificuldades encontradas pela grande maioria das técnicas empregadas na localização das faltas, estão a topologia da rede que geralmente é altamente ramificada, as variações nas impedâncias da rede devido à reconfiguração, a existência ou não de co-geração no alimentador considerado, a distribuição e os níveis de cargas na rede que se refletem diretamente nas correntes e tensões pré-falta, as seções da rede com condutores de diferentes bitolas e o conhecimento exato da impedância do sistema que se encontra atrás da subestação.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia para localização de faltas em alimentadores aéreos de distribuição de energia elétrica. Essa metodologia é baseada nas técnicas de aquisição e processamento de sinais elétricos nas subestações de distribuição e em pontos remotos dos alimentadores, onde existem medidores equipados com unidades terminais remotas (UTR), no conhecimento das condições topológicas da rede em associação com modelos e técnicas de análise de circuitos elétricos visando obter um sistema rápido e eficiente para localização de faltas e contribuir para que as concessionárias trabalhem com bons indicadores de qualidade e continuidade de serviço.

Na seção 2 é apresentado e detalhado o sistema para localização de faltas. Na seção 3 são apresentados os resultados obtidos para o algoritmo proposto para compor o módulo de software do sistema para localização de faltas. Na seção 4 são apresentadas as conclusões até o presente estágio de desenvolvimento do sistema para localização de faltas.

## **2. Sistema proposto para localização de faltas**

O sistema para localização de faltas em alimentadores de distribuição visando a obtenção de indicações confiáveis para que os operadores do sistema e as equipes de manutenção possam localizar e isolar a falta, efetuar os reparos necessários e restabelecer o fornecimento de energia elétrica no menor tempo possível é baseado:

- Nas técnicas de aquisição e processamento de sinais de grandezas elétricas (tensões e corrente) nas subestações de distribuição e em pontos remotos dos alimentadores (tensões) onde existem equipamentos de medição equipados com unidades terminais remotas (UTR);
- Conhecimento das condições topológicas do alimentador, da alocação e coordenação dos dispositivos de proteção existentes no alimentador;
- Base de dados com os parâmetros elétricos do alimentador, tais como impedâncias das seções, potências das cargas e potências nominais dos transformadores conectadas no alimentador.

Este sistema é dividido em um módulo de hardware e em um módulo de software. A seguir são apresentadas as características principais desses dois módulos.

## 2.1. Módulo de hardware

O módulo de hardware é composto por dispositivos para aquisição e processamento de sinais elétricos sendo que existem algumas diferenças entre os hardware instalados no nó raiz do alimentador e os hardware instalados em pontos remotos do alimentador (UTR). Os hardware instalados no nó raiz do alimentador fazem a aquisição e processamento dos fasores de seis grandezas elétricas, sendo que três correspondem às tensões das fases *a*, *b* e *c*, e três correspondem às correntes das fases *a*, *b* e *c*, como exemplificado na figura 1a. Os hardware instalados nos pontos remotos do alimentador fazem a aquisição e o processamento da magnitude das tensões das fases *a*, *b* e *c*, como exemplificado na figura 1b.

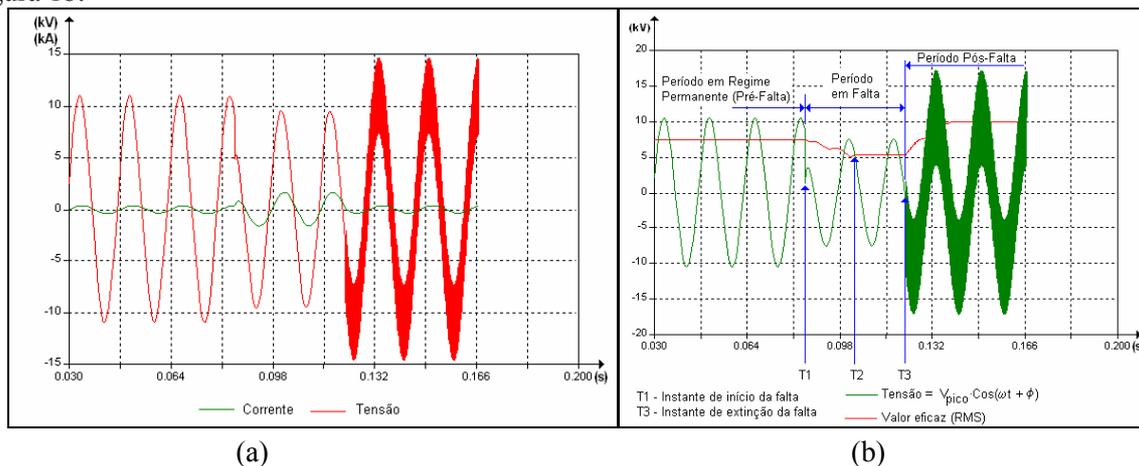


Figura 1 – (a) Exemplo de formas de ondas da tensão e da corrente, para uma fase, registradas no nó inicial do alimentador, e (b) exemplo da forma de onda e da magnitude da tensão, para uma fase, registrada para os pontos remotos de medição.

As características básicas do hardware para ser instalado no nó raiz do alimentador são:

1. Trigger por sobrecorrente;
2. Registrar um pacote de 10 ciclos, sendo 4 pré-falta e 6 durante a falta;
3. Taxa de amostragem de 4,2 kHz;
4. Erro máximo de medida de 0,5% ;
5. Canais de comunicação, através de telefonia celular, para transmitir os dados registrados para o local de processamento do algoritmo de localização de faltas;
6. Identificar os pacotes com informações temporais para possibilitar o sincronismo dos pacotes enviados pelos vários hardware que compõem o sistema para localização de faltas.

Na figura 2 ilustra-se a instalação dos hardware no nó raiz dos alimentadores de uma subestação de distribuição de energia elétrica.

As características básicas do hardware (UTR) para ser instalado nos pontos remotos do alimentador são:

1. Trigger por afundamento de tensão;
2. Registrar um pacote de 10 ciclos, sendo 4 pré-falta e 6 durante a falta;
3. Taxa de amostragem de 4,2 kHz;
4. Erro máximo de medida de 0,5% ;
5. Canais de comunicação, através de telefonia celular, para transmitir os dados registrados para o local de processamento do algoritmo de localização de faltas;
6. Identificar os pacotes com informações temporais para possibilitar o sincronismo dos pacotes enviados pelos vários hardware que compõem o sistema para localização de faltas.

A sincronização dos pacotes enviados pelos hardware será feita por GPS (*Global Positioning System*), os sinais registrados serão armazenados em pacotes utilizando o formato COMTRADE [11] e ambos os hardware possuem a característica de ficarem prontos para um novo trigger após transmitirem os pacotes registrados para um dado evento de falta. Na figura 3 ilustra-se de forma simplificada, a arquitetura do sistema para localização de faltas.

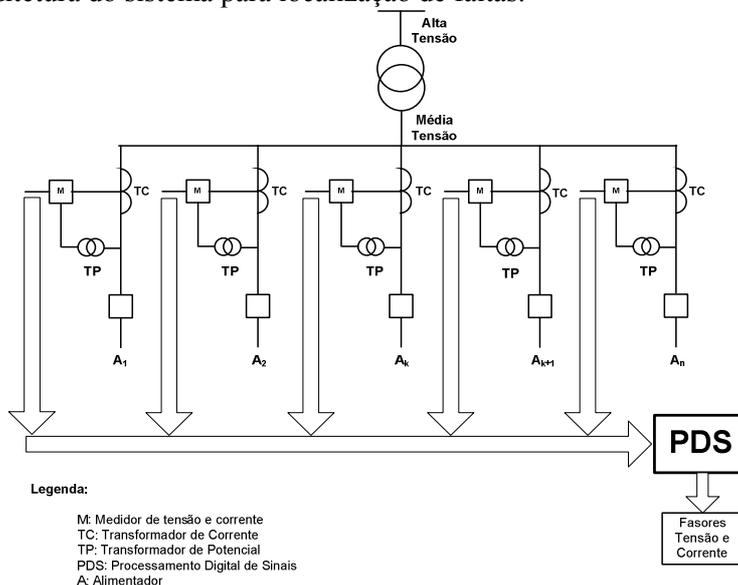


Figura 2 – Instalação dos medidores no nó raiz dos alimentadores de distribuição.

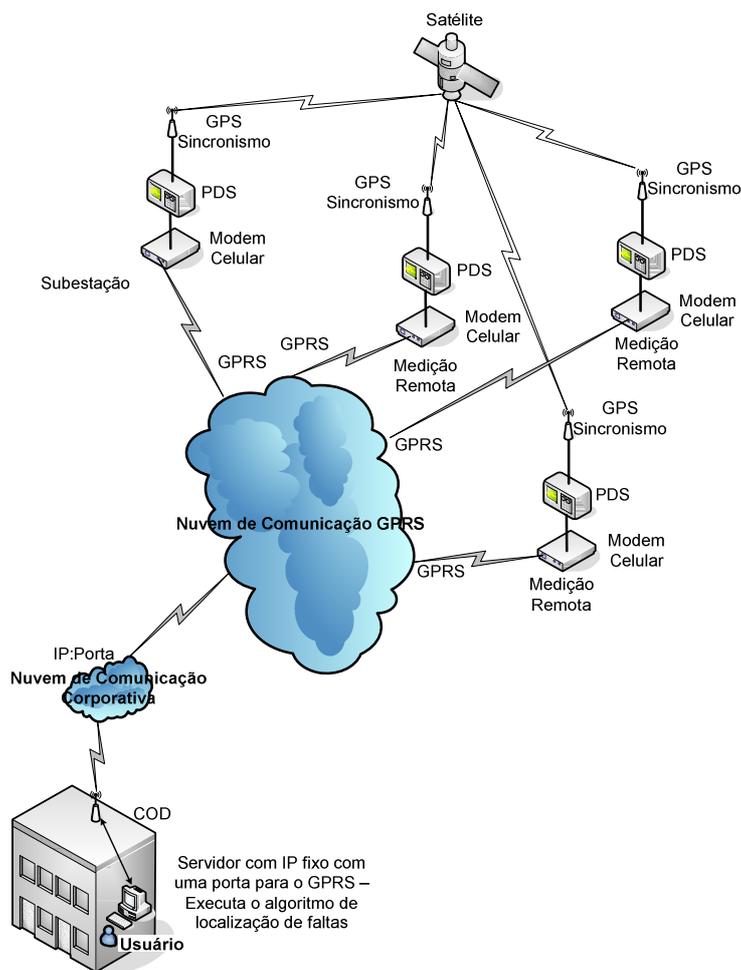


Figura 3 – Arquitetura do sistema para localização de faltas.

## 2.2. Módulo de software

O módulo de software é composto por rotinas para processamento dos sinais elétricos registrados durante a falta e por rotinas desenvolvidas especificamente para a localização da falta. As rotinas para processamento de sinais são baseadas na transformada discreta de Fourier (DFT) [12] e são utilizadas para extrair dos sinais registrados, no nó raiz do alimentador, os fasores das tensões e das correntes de pré- e durante a falta e também para extrair dos sinais registrados, nos pontos remotos, a magnitude dos afundamentos de tensão para serem utilizados pelas rotinas de localização da falta. As rotinas para localização da falta são baseadas no algoritmo de fluxo de potência de varredura utilizando soma de correntes [13] e na comparação entre os valores medidos e simulados dos afundamentos de tensão para os pontos de medição [10, 14].

Basicamente, o software para localização da falta consiste nos seguintes passos:

- i.* Fazer a leitura das grandezas tensão e corrente para o nó inicial do alimentador, das magnitudes das tensões medidas nos nós ao longo do alimentador e da informação do tipo de falta ocorrido;
- ii.* Buscar os dados do alimentador na base de dados;
- iii.* Definir o modelo de carga a ser utilizado;
- iv.* Estimar o carregamento dos transformadores instalados no alimentador;
- v.* Atribuir a todos os nós do alimentador a tensão medida no nó inicial;
- vi.* Calcular a corrente de falta;
- vii.* Injetar a corrente de falta no nó sob análise;
- viii.* Executar o algoritmo de fluxo de potência;
- ix.* Verificar se a injeção de corrente calculada para o nó inicial do alimentador é igual à corrente medida durante a falta;
- x.* Voltar ao passo *vi*, se as correntes forem diferentes;
- xi.* Se as correntes forem iguais, calcular os desvios entre as tensões medidas e simuladas para os pontos de medição;
- xii.* Voltar ao passo *v*, até que todos os nós de interesse sejam analisados;
- xiii.* Considerando a falta em cada um dos nós de interesse, calcular os índices do local da falta, isto é, a diferença entre o maior e o menor desvio do passo *xi*, para todos os nós de medição;
- xiv.* Fazer a classificação crescente dos índices do local da falta para identificar o provável nó em falta;
- xv.* Selecionar, como sendo o nó em falta, o nó que apresenta o menor índice do local da falta calculada no passo *xiii*.

No passo *iii* do algoritmo, deve-se escolher o modelo de carga a ser utilizado pelo algoritmo de localização de faltas. O algoritmo desenvolvido está preparado para utilizar cargas de potência constantes, corrente constante, impedância constante e cargas mistas sendo representadas pela combinação entre os três modelos anteriormente citados. O modelo de carga empregado pelo algoritmo de localização de faltas é definido pela seguinte equação:

$$\mathbf{S} = \frac{\alpha}{100} \cdot \mathbf{S}_{\text{Nom}} + \frac{\delta}{100} \cdot \left( \frac{|\mathbf{V}| \cdot \mathbf{S}_{\text{Nom}}}{|\mathbf{V}_{\text{Nom}}|} \right) + \frac{\beta}{100} \cdot \left( \frac{|\mathbf{V}| \cdot \mathbf{S}_{\text{Nom}}}{|\mathbf{V}_{\text{Nom}}|} \right)^2 \quad (1)$$

sendo:

- $\alpha$ : porcentagem de carga de potência constante;
- $\beta$ : porcentagem de carga de impedância constante;
- $\delta$ : porcentagem de carga de corrente constante, e;
- $\alpha + \beta + \delta = 100, 0$

No passo *iv.* do software para localização de faltas deve-se estimar o carregamento dos transformadores instalados no alimentador de distribuição. O sistema para localização de faltas estima o carregamento dos transformadores com base na potência nominal de cada transformador, a qual está armazenada na base de dados, na potência pré-falta estimada para a subestação e, caso esteja disponível, também pode ser utilizado o carregamento médio mensal dos transformadores. A potência complexa pré-falta de cada transformador é calculada como exemplificado no fluxograma a seguir.

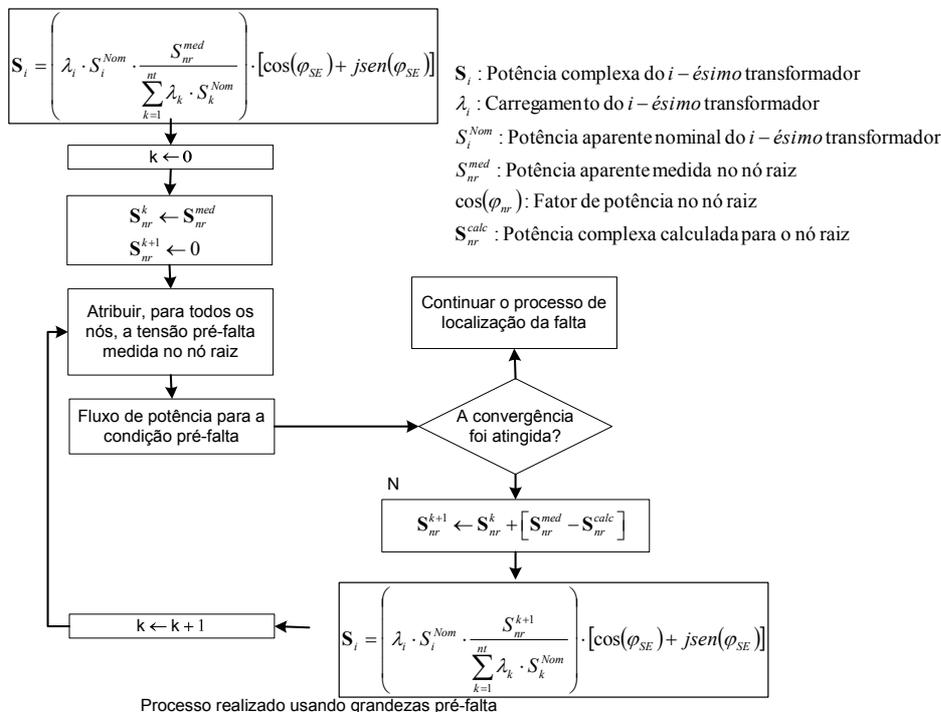


Figura 4 – Fluxograma para o cálculo da potência dos transformadores.

No passo *vi.* acima, calcula-se a corrente de falta a ser utilizada no algoritmo de localização da falta. A corrente de falta é calculada com base na corrente total medida durante a falta no nó inicial do alimentador e nas correntes das cargas durante a falta calculadas pelo fluxo de potência, pela equação a seguir:

$$\mathbf{I}_f = \mathbf{I}_{nr}^{med,df} - \sum_{i=1}^{nt} \mathbf{I}_i \quad (2)$$

sendo:

- $\mathbf{I}_{nr}^{med,df}$  : Fasor da corrente medida durante a falta para o nó raiz do alimentador;
- $\mathbf{I}_i$ : Fasor da corrente do *i*-ésimo transformador, calculada para a condição de falta;
- nt*: Total de transformadores do alimentador.

No passo *xi.* são calculados os desvios entre as tensões medidas e simuladas, pelo fluxo de potência, para os pontos de medição. Os desvios de tensão são calculados pela seguinte equação:

$$\mathcal{D}_k^{i,j} = V_{k,med}^i - V_{k,sim}^{i,j}$$

$$i = 1, \dots, nm$$

$$j = 1, \dots, na$$
(3)

sendo:

- $V_{k,med}^i$  : Magnitude do afundamento de tensão, na fase *k*, medida no nó *i* durante a falta;

$V_{k,sim}^{i,j}$ : Magnitude do afundamento de tensão para o nó  $i$ , na fase  $k$ , considerando uma falta simulada no nó  $j$ ;

$nm$ : Número de pontos de medições utilizados na localização de faltas;

$na$ : Total de nós analisados.

No passo *xiii*. são calculados os índices do local da falta. Esses índices são calculados através da seguinte equação:

$$\begin{aligned} LF_j &= \max[\max(\delta_k^{i,j}) - \max(\delta_k^{i,j})] \\ i &= 1, \dots, nm \\ j &= 1, \dots, na \end{aligned} \quad (4)$$

sendo:

$k$ : fase  $a$ ,  $b$  ou  $c$ .

### 3. Resultados

No estágio atual do desenvolvimento do sistema para localização de faltas, somente o algoritmo do módulo de software está em fase de testes, sendo que os hardware dos medidores ainda estão sendo desenvolvidos. Assim, os resultados a seguir apresentados são referentes ao desempenho do algoritmo desenvolvido para a localização das faltas. Os testes foram executados para um alimentador de distribuição trifásico, real, com 134 nós, tensão nominal de 13,8 kV e potência nominal de 7,065 MVA [15]. Na figura 5 ilustra-se o diagrama unifilar desse alimentador e os pontos em que estão instalados os dispositivos de proteção.

#### 3.1 Condições de Testes

Os testes realizados visam avaliar a eficiência e robustez do algoritmo proposto para localização de faltas em alimentadores de distribuição reais. Desta forma, foram consideradas as seguintes condições de testes:

- As faltas a serem localizadas foram simuladas utilizando-se o modelo RL série para as linhas de distribuição, sendo que as capacitâncias shunt foram desprezadas e, por motivos de simplicidade de representação, as cargas foram modeladas como impedâncias constantes. Observa-se que, mesmo para a condição de falta, as simulações foram feitas desconsiderando o transitório da falta. Esse procedimento foi adotado porque a parte referente à aquisição e ao processamento dos sinais não será analisada nesta fase de desenvolvimento do sistema de localização de faltas. Assim, os fasores tensão e corrente utilizados não apresentam nenhum erro proveniente da aquisição e do processamento dos sinais.

— Simulação de faltas entre a fase A e a terra, dos nós 2 ao 134, e as resistências de faltas com valores de 5,0 e 10,0 ohms. Desta forma, para cada valor de resistência de falta, 133 faltas foram simuladas no alimentador. Além das faltas fase-terra, o algoritmo foi testado para outros tipos de faltas [14], porém esses testes não serão abordados neste trabalho.

— No algoritmo de localização de faltas também foi utilizado o modelo RL série para as linhas de distribuição, e as capacitâncias shunt foram desprezadas.

— Baseado na dimensão do alimentador, optou-se por usar 4 medidores de tensão alocados ao longo do alimentador para registrar os afundamentos de tensão necessários ao algoritmo de localização das faltas. Os medidores foram alocados de forma heurística nos nós 20, 81, 115 e 125 considerando-se o conhecimento da topologia e da operação do alimentador.

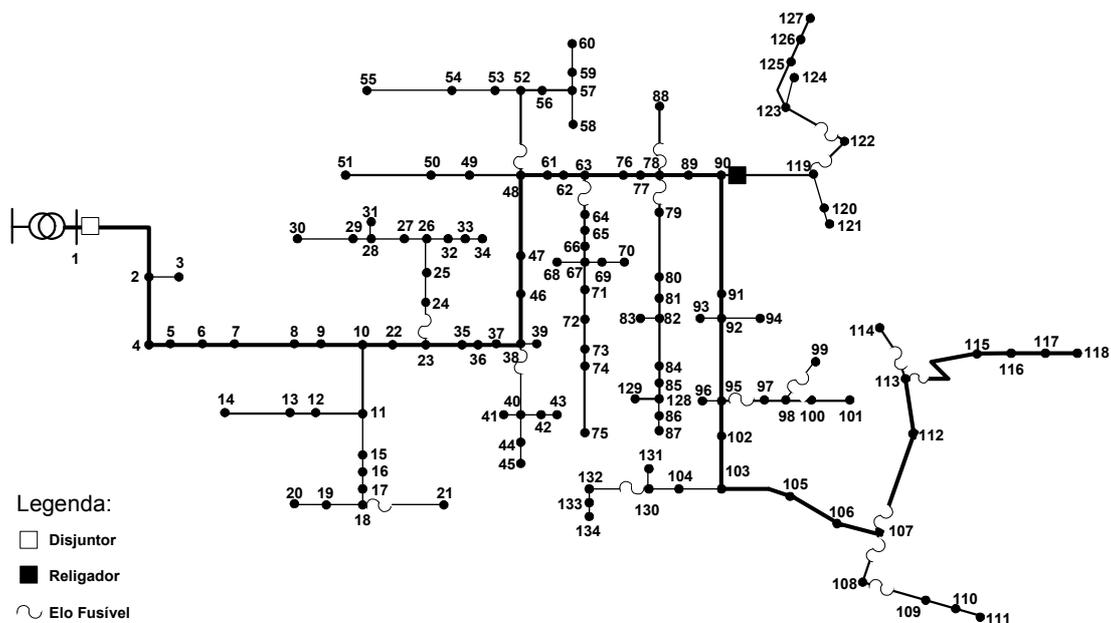


Figura 5 – Alimentador trifásico real com 134 nós.

### 3.2 Critérios para Análise de Resultados

A análise dos resultados é efetuada com base nos cálculos do erro absoluto entre as distâncias do nó inicial ao verdadeiro local da falta e do inicial ao local da falta indicado pelo algoritmo, dado equação (5). Esses erros são separados em classes de precisão, como mostra a tabela 1.

$$\varepsilon = |d\_se\_nf - d\_se\_nl| \quad (5)$$

sendo:

$d\_se\_nf$ : distância entre o nó inicial do alimentador na subestação e o nó em falta;

$d\_se\_nl$ : distância entre o nó inicial do alimentador na subestação e o nó localizado pelo algoritmo.

Tabela 1 – Classes de erros absolutos para as distâncias adotadas na análise dos resultados do algoritmo.

Classes para erros na distância (m)		
$0 \leq \varepsilon \leq 50$	$350 < \varepsilon \leq 400$	$700 < \varepsilon \leq 750$
$50 < \varepsilon \leq 100$	$400 < \varepsilon \leq 450$	$750 < \varepsilon \leq 800$
$100 < \varepsilon \leq 150$	$450 < \varepsilon \leq 500$	$\varepsilon > 800$
$150 < \varepsilon \leq 200$	$500 < \varepsilon \leq 550$	
$200 < \varepsilon \leq 250$	$550 < \varepsilon \leq 600$	
$250 < \varepsilon \leq 300$	$600 < \varepsilon \leq 650$	
$300 < \varepsilon \leq 350$	$650 < \varepsilon \leq 700$	

### 3.3 Testes Realizados

Vários testes, reproduzindo diversas condições e situações a que o algoritmo para localização de faltas pode ser submetido, foram realizados para avaliar o algoritmo que irá compor o software do sistema de localização de faltas. A seguir serão apresentados os resultados para dois dos testes

realizados, os quais representam situações de estresse que poderiam levar o algoritmo a erros significativos.

**Teste 1** – Este teste foi realizado considerando que as faltas a serem localizadas foram simuladas com os seguintes parâmetros:

- Resistência de falta igual a 5,0 ohms;
- Transformadores com carregamento de 100% (carga nominal);
- Cargas modeladas como impedâncias constantes.

As configurações utilizadas no algoritmo de localização de faltas são:

- Transformadores com carregamento estimado como mostrado na figura 4 com  $\gamma_i = 1,0$ ;
- Modelo combinado de carga, equação (1), com  $\alpha = 33,0$ ;  $\beta = 34,0$  e  $\delta = 33,0$ .

Os resultados obtidos para o teste 1 são apresentados nas figuras de 6 a 9. Na figura 6 são apresentados os números de nós localizados em cada classe de erro absoluto.

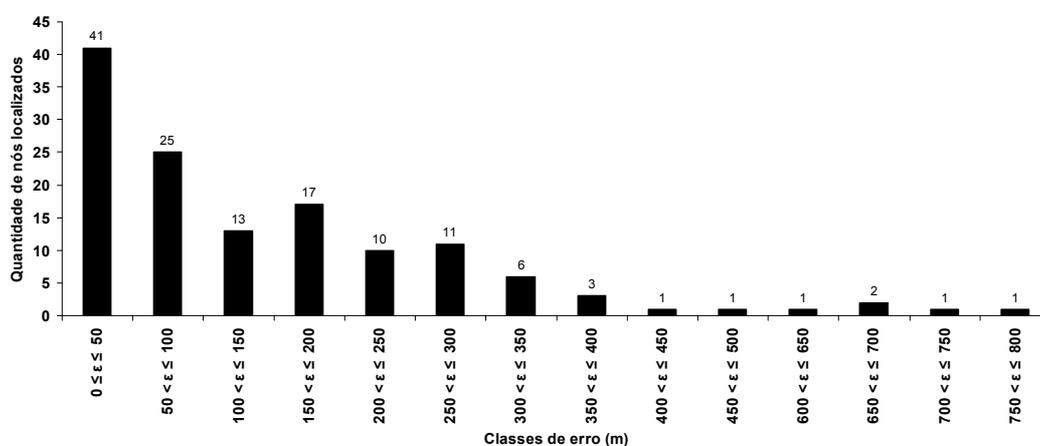


Figura 6 – Número de nós localizados para cada classe de erro absoluto.

Na figura 7, apresentam-se os 15 primeiros nós do ranking dos prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 134. Verifica-se que o nó 134 é classificado como a primeira opção do ranking.

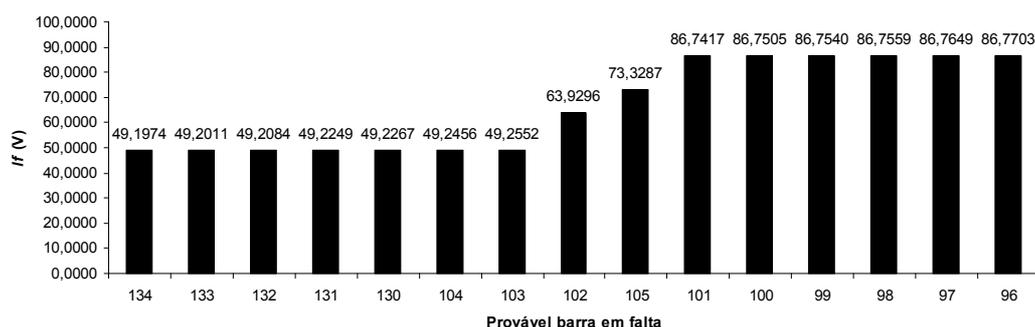


Figura 7 – Ranking dos 15 primeiros nós entre os prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 134.

Na figura 8, apresentam-se os 15 primeiros nós do ranking dos prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 92. O nó 101 é classificado como a primeira opção do ranking. Verifica-se, na figura 8, que os  $I_f$ 's para os sete primeiros nós do ranking encontram-se com valores entre 30,67 V e 30,69 V, aumentando para 36,03 V, do oitavo ao nono nó, e para mais de 43,0 V, do décimo ao décimo quinto nós do ranking. Neste caso, existe uma variação de, aproximadamente, 6,0 V entre o  $I_f$  do nó 95 para o  $I_f$  do nó 93, uma variação de, aproximadamente, 7,00 V entre o  $I_f$  do nó 92 para o  $I_f$  do

nó 91 e uma variação de, aproximadamente, 12,00 V entre o  $I_f$  do nó 102 para o  $I_f$  do nó 103. Assim, podem-se definir quatro regiões de falta para os quinze nós mostrados na figura 8. Porém, todas elas são vizinhas e, desta forma, o direcionamento das equipes de manutenção não seria prejudicado. Na figura 9, ilustram-se as regiões em falta no diagrama unifilar do alimentador.

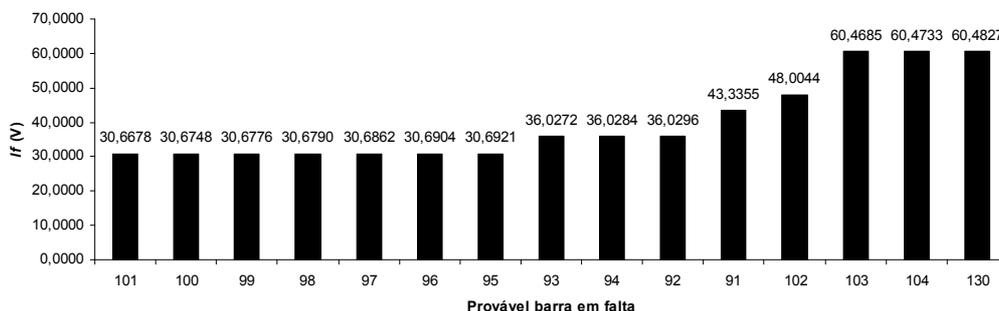


Figura 8 – Ranking dos 15 primeiros nós entre os prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no

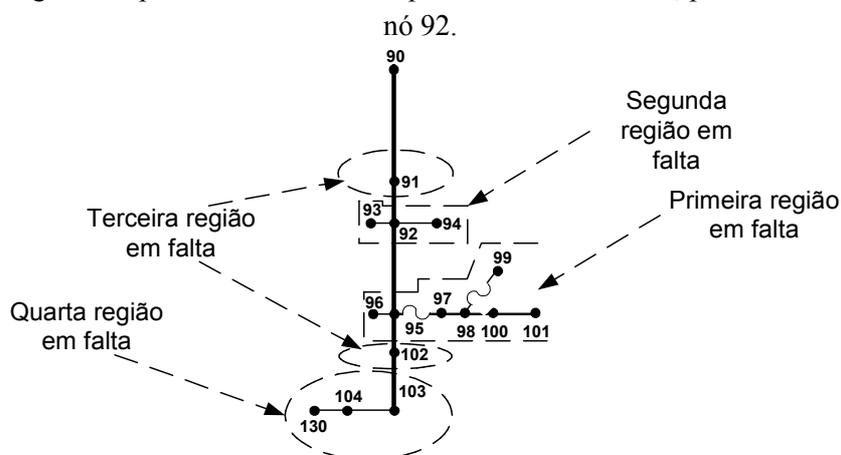


Figura 9 – Regiões em falta indicadas pelo algoritmo, para uma falta no nó 92.

Analisando a figura 9, pode-se concluir que a falta estará na primeira, segunda ou terceira região, pois a terceira região em falta contém dois nós, sendo um deles vizinho da primeira região em falta e o outro vizinho da segunda região em falta, delimitando, assim, uma área com elevada probabilidade de incidência da falta.

**Teste 2** – Este teste foi realizado considerando que as faltas a serem localizadas foram simuladas com os seguintes parâmetros:

- Resistência de falta igual a 10,0 ohms;
- Transformadores com carregamento de 100% (carga nominal);
- Cargas modeladas como impedâncias constantes.

As configurações utilizadas no algoritmo de localização de faltas são:

- Transformadores com carregamento estimado como mostrado na figura 4 com  $\gamma_i = 1,0$ ;
- Modelo combinado de carga, equação (1), com  $\alpha = 33,0$ ;  $\beta = 34,0$  e  $\delta = 33,0$ .

Os resultados obtidos para o teste 2 são apresentados nas figuras de 11 a 14. Na figura 10 são apresentados os números de nós localizados em cada classe de erro absoluto.

Na figura 11, apresentam-se os 15 primeiros nós do ranking dos prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 87. O nó 87 é classificado como a primeira opção do ranking.

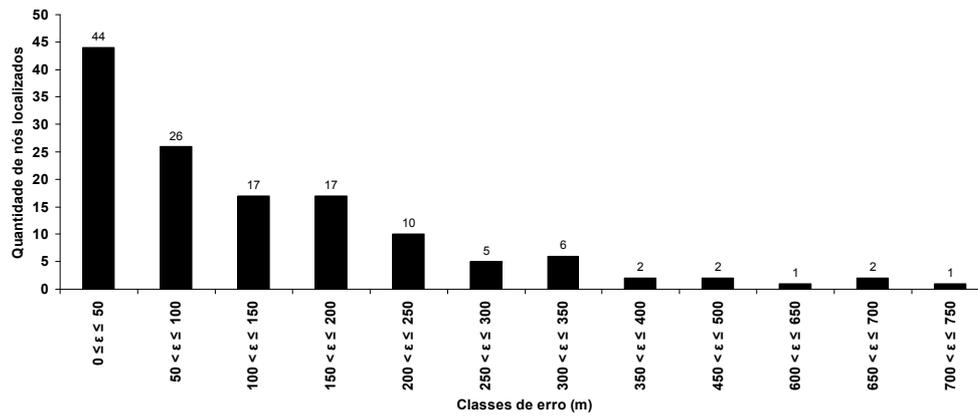


Figura 10 – Número de nós localizados para cada classe de erro absoluto.

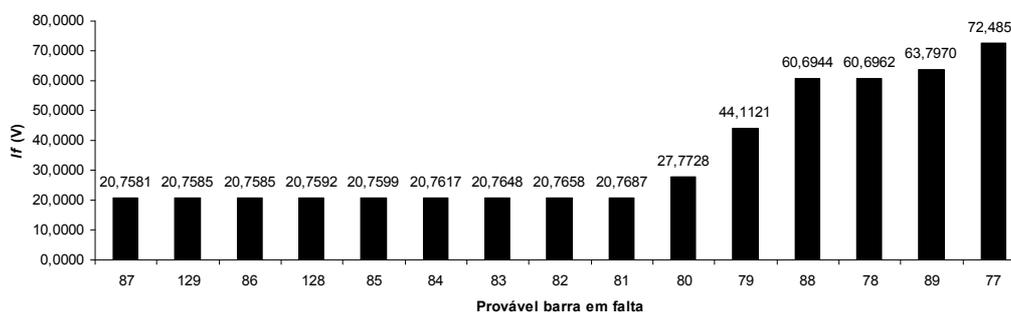


Figura 11 – Ranking dos 15 primeiros nós entre os prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 87.

Na figura 12, apresentam-se os 15 primeiros nós do ranking dos prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 14. O nó 15 é classificado como a primeira opção do ranking. Verifica-se, na figura 12, que o  $I_f$  para o primeiro nó do ranking é 11,32 V, aumentando para a faixa de 20,37 V a 20,87 V, do segundo ao sexto nó do ranking, e para 39,03 V, para o sétimo nó do ranking. Assim, pode-se assumir que a fronteira da região em falta é o nó 11, pois o próximo nó do ranking apresenta um  $I_f$  quase duas vezes maior que o  $I_f$  do nó 11. Na figura 13, ilustram-se as regiões em falta no diagrama unifilar do alimentador.

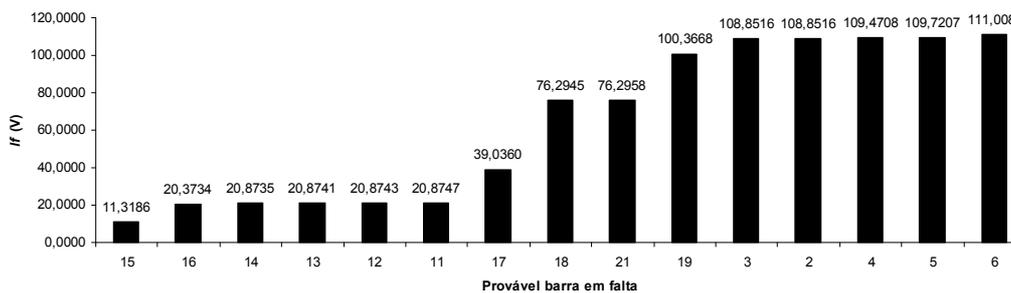


Figura 12 – Ranking dos 15 primeiros nós entre os prováveis nós em falta, para uma falta ocorrendo no nó 14.

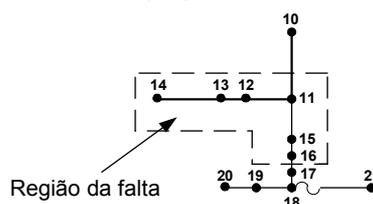


Figura 13 – Região em falta indicada pelo algoritmo, para uma falta no nó 14.

#### 4. Conclusões

O sistema proposto para localização de faltas agrega à qualidade dos resultados obtidos, a simplicidade e os custos relativamente baixos de implantação. Trata-se de um sistema voltado para a realidade da maioria dos sistemas de distribuição das empresas distribuidoras do país, que possuem baixo nível de automação e alimentadores longos e muitos deles possuindo consumidores rurais. Os resultados obtidos evidenciam eficiência e robustez do software de localização de faltas, mostrando que o sistema será uma excelente ferramenta de apoio fazendo com que faltas sejam localizadas com maior rapidez e consequentemente melhorando os índices de fornecimento de energia elétrica os quais são dependentes do tempo de interrupção.

#### 5. Referências bibliográficas

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução nº 24. Brasília, 2000.
- [2] GIRGIS, A. A., FALLON, C. M. Fault location techniques for radial and loop transmission systems using digital fault recorded data. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 7, pp. 1936-1945, 1992.
- [3] GIRGIS, A. A., FALLON, C. M., LUBKEMAN, D. L. A fault location Technique for rural distribution feeders. IEEE Trans. Industry Applications, vol. 29, pp. 1170-1175, 1993.
- [4] AGGARWAL, R. K., ASLAN, Y., JOHNS, A. T. New concept in fault location for overhead distribution systems using superimposed components. IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution, vol. 44, pp. 309-316, 1997.
- [5] ZHU, J., LUBKEMAN, D. L., GIRGIS, A. A. Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 12, pp. 801-809, 1997.
- [6] LEE, S. J., CHOI, M. S., KANG, S. H., JIN, B. G., LEE, D. S., AHN, B. S., YOON, N. S., KIM, H. Y., WEE, S. B. An intelligent and efficient fault location and diagnosis scheme for radial distribution systems. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, pp. 524-532, 2004.
- [7] SENGER, E. C., MANASSERO, G., GOLDEMBERG, C., PELLINI, E. L. Automated fault location system for primary distribution networks. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 20, pp. 1332-1340, 2005.
- [8] GOHOKAR, V. N., KHEDKAR, M. K. Fault locations in automated distribution system Electric Power Systems Research, vol. 75, pp. 51 – 55, 2005.
- [9] LI, H., MOKHAR, A. S., JENKINS, N. Automatic fault location on distribution network using voltage sags measurements. 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2005.
- [10] PEREIRA, R. A. F., SILVA, L. G. W., KEZUNOVIC, M., MANTOVANI, J. R. S. Location of single line-to-ground faults on distribution feeders using voltage measurements. IEEE/PES Latin America Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2006.
- [11] IEEE, Standard Commom Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems. New York, 1999.
- [12] OPPENHEIM, A.V., SCHAFER, R.W. Discrete-Time Signal Processing, USA, Prentice Hall, 1992.
- [13] CHENG, C.S., SHIRMOHAMMADI, D. A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis. IEEE Trans. Power Systems, vol. 10, nº 2, pp. 671 – 679, 1995.
- [14] PEREIRA, R. A. F. Localização de faltas em alimentadores de distribuição de energia elétrica usando medições esparsas de tensões. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Elétrica, 2007.
- [15] LaPSEE. Sistema prático 135 barras. Acesso em 15/01/2008, disponível em: [http://www.dee.feis.unesp.br/lapsee/TestSystems/135\\_bus\\_feeder.pdf](http://www.dee.feis.unesp.br/lapsee/TestSystems/135_bus_feeder.pdf)