

Detecção, Localização e Análise de Defeitos na Rede de Média Tensão Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial

E. C. Senger*, C. Goldemberg*, G. Manassero Jr. *, E. L. Pellini* e A. E. S. Cintra**; * Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; **Bandeirante Energia S.A.

RESUMO

Este trabalho apresenta a adaptação, implementação e resultados de testes de um sistema automatizado de localização de faltas, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da EPUSP. Além desse sistema, o trabalho apresenta também o desenvolvimento e implementação de um aplicativo para análise de eventos de sobrecorrente, desenvolvido em conjunto com a concessionária Bandeirante Energia, que tem o objetivo de fornecer informações suficientes para a manutenção preventiva da rede elétrica. O sistema de localização de faltas é composto por medidores digitais instalados nas subestações de distribuição, que registram sinais de corrente e tensão sempre que ocorrer um evento de sobrecorrente. Esses sinais são processados nas subestações e enviados a um microcomputador, instalado no centro de operação, que é responsável pela localização e classificação dos dados da falta. O aplicativo de análise de ocorrências utiliza informações fornecidas pelo sistema de localização para determinar as causas da ocorrência.

PALAVRAS-CHAVE

automação, clustering, distribuição, inteligência artificial, localização de faltas.

Este novo panorama torna interessante para as concessionárias dispor de um método que possibilite localizar com rapidez qualquer falta permanente nos seus alimentadores primários, minimizando desta forma, o tempo de deslocamento da equipe de manutenção e o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica.

Além das faltas permanentes, é interessante também determinar a localização e as causas de faltas transitórias, uma vez que essas faltas podem evoluir para faltas permanentes se não houver uma manutenção preventiva adequada da rede.

Sendo assim, a imediata localização do ponto de ocorrência do defeito implica em:

- redução nos tempos de interrupção do fornecimento de energia elétrica: é resultado direto da diminuição no tempo de localização da falta;
- redução dos custos operativos: a rápida identificação do ponto de defeito implica na redução dos deslocamentos das equipes de manutenção, permitindo inclusive uma diminuição do número dessas equipes para realizar esse tipo de trabalho;
- aumento do faturamento da empresa: é consequência imediata da redução nos custos operativos e nos tempos de interrupção do fornecimento de energia elétrica;
- aumento da satisfação do consumidor: com a diminuição dos tempos de interrupção do fornecimento, há uma melhora nos índices de continuidade de serviço da rede e da imagem da empresa perante os consumidores;
- otimização dos trabalhos de manutenção: curtos-circuitos transitórios, que não resultam em abertura permanente de disjuntor ou queima de fusível, não podem ser estudados, uma vez que não existem evidências que possam determinar sua causa e localização. O sistema descrito neste trabalho pode ser utilizado para a localização desses eventos, enquanto o aplicativo de análise de ocorrências é capaz de determinar suas causas, fornecendo informações importantes para as equipes de manutenção.

I. INTRODUÇÃO

As pesquisas no campo dos sistemas de distribuição têm crescido de forma significativa nos últimos anos. Grande parte destes estudos visa melhorar os índices de continuidade de serviço da rede, uma vez que a desregulamentação do setor elétrico obrigou as concessionárias a operarem em um ambiente de competição, que exige menores custos, maior confiabilidade e melhor qualidade de serviço para o consumidor.

E. C. Senger é professor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: senger@pea.usp.br)

C. Goldemberg é professor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: clovis@pea.usp.br)

G. Manassero Jr. é aluno de pós-graduação, nível doutorado, do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: giomanjr@pea.usp.br)

E. L. Pellini é aluno de pós-graduação, nível mestrado, do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: epellini@pea.usp.br)

A. E. S. Cintra trabalha na empresa Bandeirante Energia S.A. (e-mail: andre_endrigo@bandeirante.com.br)

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema de localização de faltas baseia-se em: a) medições em tempo real das grandezas elétricas nas subestações; b) oscilografia de eventos de sobrecorrente e; c) base de dados com a topologia e os parâmetros elétricos dos alimentadores de distribuição.

Esse sistema, ilustrado na figura 1, é composto de diversos aplicativos de software, instalados tanto nas subestações quanto no centro de operação da distribuição - COD, que processam as informações das ocorrências nas subestações, fornecidas por medidores digitais instalados na saída de cada alimentador primário, e registram os resultados em uma base de dados específica do sistema. Os resultados do processo de localização de faltas são disponibilizados aos operadores do COD através de uma interface baseada em Web que pode ser acessada através da Intranet da empresa.

Para cada tipo de informação coletada pelo sistema há um aplicativo específico responsável pelo seu processamento. Um software principal, instalado tanto nas subestações quanto no centro de operação, dedica-se à execução de todas as instâncias destes aplicativos bem como ao gerenciamento dos resultados fornecidos por eles.

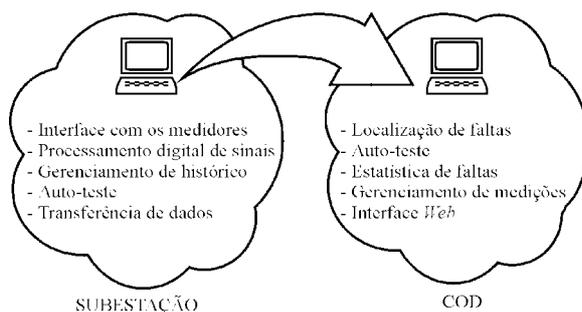


FIGURA 1. Sistema de localização de Faltas

A. Aplicativos do Sistema Instalados nas SE's

Os aplicativos do sistema de localização de faltas, instalados nas subestações são:

- aplicativo de interface com o software do medidor: responsável pelo registro dos dados fornecidos pelos medidores digitais em cada evento de sobrecorrente. Os registros efetuados por esse aplicativo são utilizados pelos demais aplicativos do sistema;
- aplicativo de processamento digital de sinais: responsável pelo processamento dos registros de oscilografia dos eventos de sobrecorrente. Esse aplicativo fornece todas as informações necessárias para a localização e classificação das faltas. Essas informações são:
 - a) Fasores de pré-falta e de falta das tensões e correntes, calculados a partir da oscilografia do evento;
 - b) Tipo de falta e fases envolvidas na falta;
 - c) Potências de pré e pós-falta;
 - d) Instantes de abertura/fechamento do disjuntor e seu estado final;

- aplicativo para gerenciamento de histórico: responsável pela manutenção do histórico de eventos do sistema na subestação;
- aplicativo de auto-teste do sistema: responsável pela verificação do funcionamento dos medidores e dos demais aplicativos;
- aplicativo de transferência de dados: responsável pelo envio das informações ao microcomputador do centro de operação;
- aplicativo principal de gerenciamento da subestação: responsável pelo gerenciamento de todas as instâncias dos aplicativos descritos acima e monitorar o estado do sistema.

B. Aplicativos do Sistema Instalados no COD

Os aplicativos do sistema de localização de faltas, instalados no centro de operação são:

- aplicativo de localização de faltas: é o principal aplicativo do sistema. Responsável pelo processamento da função de localização de faltas e cadastramento dos resultados no banco de dados. Localiza os possíveis pontos de ocorrência do defeito através de informações fornecidas pelo aplicativo de processamento digital de sinais, instalado na subestação, e por uma base de dados com os parâmetros elétricos do alimentador onde a falta ocorreu.;
- aplicativo de auto-teste: responsável pelo cadastramento, no banco de dados, das informações de watchdog provenientes das subestações;
- aplicativo de estatística de faltas: responsável pelo resumo e estimativas dos eventos de sobrecorrente registrados nas subestações;
- aplicativo de gerenciamento de medições: responsável pela manutenção das medições recebidas periodicamente das subestações no banco de dados;
- aplicativo de interface Web: responsável pelo gerenciamento de usuários e subestações cadastradas, além da exibição de todos os resultados do sistema (por exemplo, os resultados do aplicativo de localização de faltas são exibidos ao operador através de um mapa gráfico contendo o desenho da topologia do alimentador e os possíveis pontos de ocorrência da falta);
- aplicativo principal de gerenciamento do centro de operação.

O sistema de localização de faltas depende de uma infra-estrutura de software e hardware instalada tanto nas subestações de distribuição quanto no COD. A figura 2 apresenta uma subestação típica, que possui uma entrada de alta tensão conectada a um transformador com secundário duplo. A cada um dos secundários do transformador estão conectados quatro alimentadores primários, o que resulta em um total de oito alimentadores nesta subestação

C. Infra-estrutura de Hardware na SE

Conforme ilustrado na figura 2, a infra-estrutura de hardware presente nas subestações consiste em: medidores digitais instalados na saída de cada alimentador, microcomputador, canal de comunicação entre os medidores e o microcomputador e canal de comunicação entre o centro de operação e a subestação.

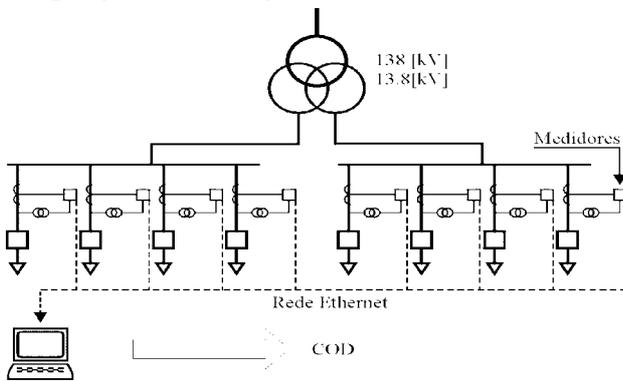


FIGURA 2. Infra-estrutura de hardware de uma subestação de distribuição

- Medidores digitais: a saída de cada alimentador primário é monitorada por um medidor digital POWER 3720 ACM, da empresa canadense Power Measurements. Esses medidores estão conectados a um microcomputador instalado na subestação, através de uma rede Ethernet;
- Rede Ethernet: os medidores estão conectados ao microcomputador da subestação através de uma rede padrão Ethernet a 10 Mbits;
- Microcomputador: recebe as informações dos medidores digitais através da rede Ethernet e processa os aplicativos do sistema descritos anteriormente.

D. Infra-estrutura de Software na SE

A infra-estrutura de software instalada nas subestações consiste em aplicativos comerciais responsáveis pela comunicação com os medidores e armazenamento dos dados recebidos.

Software dos medidores:

- **PEGASYS**: conjunto de programas da Power que realizam a interface com os medidores digitais 3720. Os principais programas que são utilizados pelo sistema de localização de faltas são:
 - a) Communication Server: programa que gerencia as comunicações dos medidores com o computador através da rede Ethernet;
 - b) VIP (Virtual ION Processor): programa responsável pela automatização do processo de geração de relatórios.;
 - c) Report Generator: este programa reúne todos os dados necessários e gera um relatório em MS-EXCEL.;
 - d) DDE Server (ION_Link): programa que disponibiliza os dados do PEGASYS a outros programas do sistema operacional.

Software para armazenamento dos dados:

- **MS-EXCEL**: planilha de cálculo do pacote MS-Office utilizada pelo PEGASYS na geração dos relatórios.

E. Infra-estrutura de Hardware e Software no COD

A infra-estrutura de hardware no COD consiste em um computador IBM PC compatível, conectado na intranet da empresa, que recebe os dados enviados pelo computador da subestação. Além dos aplicativos do sistema de localização de faltas, o microcomputador do COD tem acesso a uma base de dados SQL, para armazenamento da topologia dos alimentadores, dos eventos de sobrecorrente e registros efetuados nas subestações pelos equipamentos digitais de medição.

A topologia do alimentador consiste nos parâmetros elétricos e nos dados geográficos (posição dos postes em coordenadas UTM) de cada alimentador que é monitorado pelo sistema de localização de faltas.

F. Fluxo de Dados do Sistema

Na ocorrência de um evento de sobrecorrente em um dos alimentadores monitorados pelo sistema, o equipamento digital de medição, responsável pela aquisição dos dados desse alimentador, registra os sinais de tensão e corrente e os envia ao microcomputador localizado na subestação.

O software PEGASYS, instalado no microcomputador da subestação, coleta os registros do medidor e os armazena em um arquivo no formato EXCEL. O aplicativo responsável pelo gerenciamento do sistema dispara o aplicativo de interface com o software do medidor que converte esses dados em um arquivo. Quando esse arquivo é gravado em disco, o aplicativo de gerenciamento dispara o aplicativo de processamento digital de sinais.

O resultado desse processamento é enviado pelo aplicativo de transferência de dados ao microcomputador localizado no COD.

Quando esse arquivo chega ao microcomputador do COD, o aplicativo de gerenciamento do sistema dispara o aplicativo de localização de faltas. Esse aplicativo faz uma consulta na base de dados referente ao alimentador defeituoso e identifica os possíveis pontos de ocorrência do defeito. O resultado da localização é armazenado na base de dados e fica disponível ao operador, através da interface Web do sistema. O fluxo de dados está apresentado na figura 3.

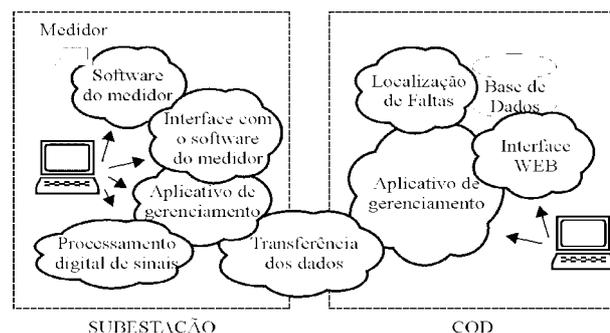


FIGURA 3. Fluxo de dados do sistema

III. DESCRIÇÃO DO APLICATIVO DE ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS

O aplicativo de análise de ocorrências na rede primária é baseado em um algoritmo, desenvolvido utilizando-se técnicas de clustering, que analisa os resultados do processo de localização de faltas e as informações fornecidas pelas equipes de manutenção. A principal vantagem que o aplicativo pode oferecer é a possibilidade de investigação, por parte do departamento de Manutenção, dos eventos transitórios que ocorrem na rede.

Uma vez que os equipamentos digitais registram todos os eventos de sobrecorrente, tanto os eventos permanentes quanto os transitórios são tratados automaticamente pelo sistema de localização de faltas. Os eventos transitórios são de pouco interesse para os operadores, já que não resultam em queima de fusível ou abertura de disjuntor portanto não há consumidores afetados. Entretanto, esses eventos são de interesse da Manutenção já que podem evoluir para eventos permanentes, alterando os índices de continuidade de serviço da rede, a confiabilidade e a qualidade da energia entregue aos consumidores.

A investigação das causas de eventos transitórios pode auxiliar na decisão quanto à manutenção preventiva da rede (poda de árvores em uma dada região, vistoria da rede com termo visor, etc.).

O aplicativo de análise de ocorrências tem os seguintes dados de entrada: período para a análise; subestação e alimentador. Esses dados são fornecidos pelo usuário através de uma interface Web similar à interface do sistema de localização de faltas. Os itens abaixo descrevem as informações fornecidas pelo aplicativo através dos dados de entrada.

A. Dados Estatísticos

Os dados estatísticos fornecidos pelo aplicativo de análise de ocorrências são agrupados por alimentador e por subestação em um período de tempo fornecido pelo usuário. Esses dados são apresentados em termos de taxa média de falhas por quilômetro, por mês, e número absoluto de faltas no período considerado.

Além disso, os dados estão divididos em: dados sobre os eventos permanentes e dados sobre os eventos transitórios. Para os eventos permanentes os dados estatísticos estão divididos nas seguintes categorias:

- causas da ocorrência: falha de manutenção, abaloamento, vegetação, objeto na rede, etc.;
- material danificado e suas causas: cabo rompido por falta de poda de árvores, amarração danificada por queimada/incêndios, etc.;
- condições atmosféricas: tempo bom, chuvoso, com chuva e ventania, etc.

Uma vez que os eventos transitórios não possuem esses detalhes, os dados estatísticos restringem-se apenas à taxa média de falhas por quilômetro, por mês, e número absoluto de eventos no período considerado.

B. Processo de Clustering

O processo de clustering consiste em agrupar os pontos

localizados dos eventos de sobrecorrente em um dado alimentador que ocorreram em um determinado período de tempo definido pelo usuário. O agrupamento é feito de acordo com a posição geográfica dos pontos e seu diagrama de blocos está apresentado na figura 4.

- Busca dos pontos localizados: o algoritmo de análise faz uma busca na base de dados do sistema para obter todos os pontos localizados no alimentador selecionado e no período de busca selecionado pelo usuário.
- Cálculo da distância entre os pontos: essa etapa do algoritmo consiste no cálculo das distâncias entre todos os pontos. Essas distâncias são armazenadas em uma matriz de distâncias euclidianas conforme apresentado na equação 1.

$$D = \begin{bmatrix} 0 & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde: $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ é a distância

entre os pontos i e j fornecidos pela etapa anterior

- Determinação da taxa global de falhas (global): número de faltas permanentes no período considerado, por quilômetro de rede (de toda subestação a qual o alimentador está conectado), por mês. Essa informação é obtida através de uma consulta na base de dados do sistema, e está apresentada na equação 2.

$$\lambda_{global} = \frac{\text{número de faltas permanentes}}{\text{km} \cdot \text{mês}} \quad (2)$$

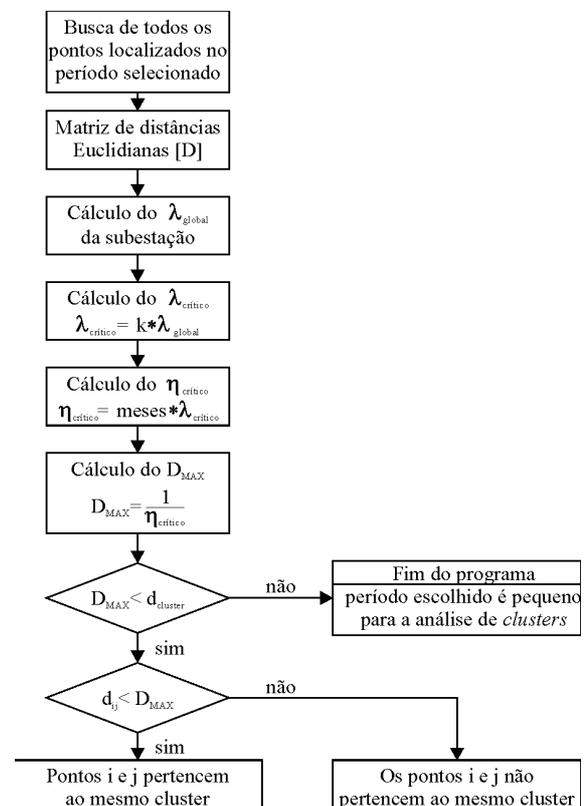


FIGURA 4. Diagrama de blocos do algoritmo da análise de ocorrências

- Determinação da taxa crítica de falhas (crítico): a taxa crítica de falhas é uma variável de entrada do aplicativo que é utilizada para determinar os alimentadores que possuem uma taxa média de falhas superior à taxa do sistema, conforme apresentado na equação 3.

$$\lambda_{crítico} = k \cdot \lambda_{global} \quad (3)$$

- Determinação do número crítico de falhas (crítico): consiste na determinação do número de falhas, a partir da taxa crítica de falhas, durante o período selecionado pelo usuário, conforme apresentado na equação 4.

$$\eta_{crítico} = meses \cdot \lambda_{crítico} \quad (4)$$

- Determinação da distância máxima para agrupamento dos clusters (DMAX): consiste no cálculo da distância máxima utilizada pelo software para considerar que dois pontos localizados fazem parte do mesmo cluster, conforme apresentado na equação 5.

$$D_{MAX} = \frac{1}{\eta_{crítico}} \quad (5)$$

Após a determinação da distância máxima (DMAX), o aplicativo verifica se essa distância é inferior a um valor ajustado previamente ($d_{cluster}$), ver figura 4. Caso a distância seja superior, o aplicativo considera que o período selecionado é pequeno, e o processo de clustering é abortado. Caso contrário, os pontos localizados são agrupados e os resultados são apresentados ao usuário conforme ilustrado pela figura 5. Nessa figura são apresentados onze pontos localizados, que foram agrupados em três clusters.

Além da visualização do alimentador, o usuário tem informações sobre a taxa média de faltas por quilômetro de rede de cada cluster, pelo período selecionado.

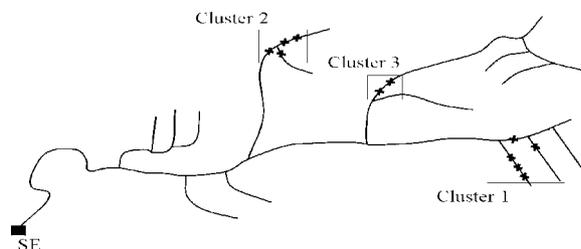


FIGURA 5. Exemplo do processo de clustering

IV. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

O sistema de localização de faltas foi implementado utilizando as seguintes linguagens de programação:

- Visual Basic: aplicativo de interface com o software do medidor e aplicativo de transferência de arquivos entre a subestação e o COD. Optou-se utilizar essa linguagem para a codificação desses aplicativos, uma vez que tanto o canal de comunicação entre as subestações e o COD, quanto os medidores instalados em cada subestação podem ser alterados. Dessa forma esses aplicativos devem ser de rápida prototipação.
- C/C++: aplicativos de gerenciamento, processamento digital de sinais, gerenciamento de histórico, autoteste, localização de faltas e estatística. Decidiu-se utilizar essa linguagem visto que esses aplicativos devem processar a informação da forma mais rápida

possível para não acrescentar atrasos no processo de localização de faltas.

- html e Java 2: aplicativo de interface Web. Optou-se por codificar a interface Web utilizando html devido à versatilidade dessa linguagem. A linguagem Java 2 foi utilizada na codificação da página de visualização dos pontos localizados em um dado alimentador.

O aplicativo de análise de faltas foi implementado utilizando a linguagem Visual Basic. Decidiu-se pela codificação do algoritmo nessa linguagem porque existem algumas variáveis de entrada que são fornecidas pelo usuário através de uma interface Web.

A interface Web do aplicativo de análise de faltas foi desenvolvida utilizando a linguagem html, de uma forma similar à interface do sistema de localização de faltas.

V. TESTES E RESULTADOS

O algoritmo de localização de faltas proposto neste trabalho foi aplicado ao alimentador primário ilustrado na figura 6. Esse alimentador possui 25 [km] de extensão, potência nominal instalada de 8 [MVA] e tensão nominal de 13.8 [kV].

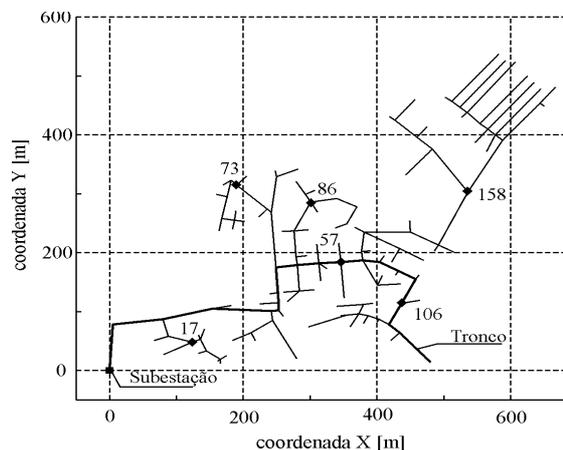


FIGURA 6. Alimentador utilizado nos testes do sistema

Esse alimentador é constituído por um tronco, conforme ilustrado na figura 6 (linha cheia), e por diversos ramais laterais. Os condutores do alimentador possuem bitola #336. Os ramais laterais são protegidos por chaves fusíveis e o tronco é protegido pelo disjuntor da subestação.

Para se efetuar uma avaliação da performance do algoritmo, diversas situações de falta foram simuladas utilizando-se o programa Alternative Transient Program -ATP. Os ramais do alimentador foram simulados utilizando-se o modelo de linha transposta, com parâmetros distribuídos, e as cargas foram modeladas como impedâncias constantes.

Os parâmetros que sofreram alteração nas simulações foram: o tipo de curto-circuito (fase-terra, dupla-fase, etc.); a resistência de falta e as barras de ocorrência do curto-circuito. O tempo total de cada simulação foi de seis ciclos, sendo os dois primeiros de pré-falta e os quatro restantes de falta. A tabela 1 apresenta uma síntese dos parâmetros utilizados em cada caso de simulação.

TABELA 1

Simulações utilizadas durante os testes do sistema

Barras	Tipo de Falta	Resistência de falta [Ω]
17 / 57	AN*	0,1,5,10,20,50
73	BC	0,1,5
86	BCN	0,1,2,5
106	ABC	--
158	ABCN	0,1,1,5

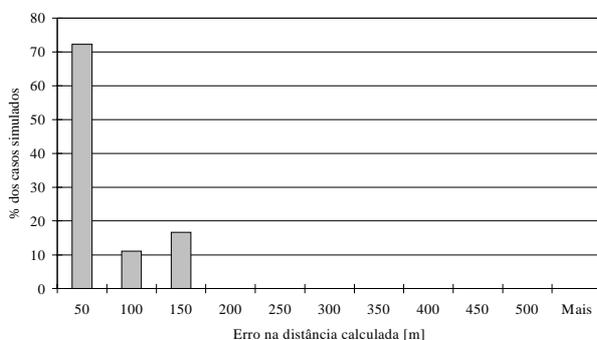
A eficiência do sistema foi verificada utilizando os seguintes critérios: erro na estimativa da distância entre o ponto de falta e a subestação, e influência da resistência de falta na localização da falta.

A. Critério de Análise do Cálculo da Distância da Falta Até a SE

Foram verificados os erros em módulo no cálculo da distância do ponto de falta até a subestação. Esses erros foram estimados para o ponto mais provável, fornecido pelo algoritmo de localização de faltas. O erro é dado pela equação 6.

$$\text{erro}_{\text{DIST\`ANCIA}} = |D_{\text{CALCULADA}} - D_{\text{SIMULADA}}| \quad (6)$$

A figura 7 apresenta o erro na distância calculada para o curto fase-terra AN considerando todos os casos de simulação. Pode-se notar que os valores dos erros, em termos absolutos, podem ser considerados pequenos. Para um alimentador de distribuição com uma distância máxima de 3500 metros (um alimentador típico da concessionária para a qual o sistema foi desenvolvido), pode-se considerar que os erros percentuais também estão dentro de limites aceitáveis.

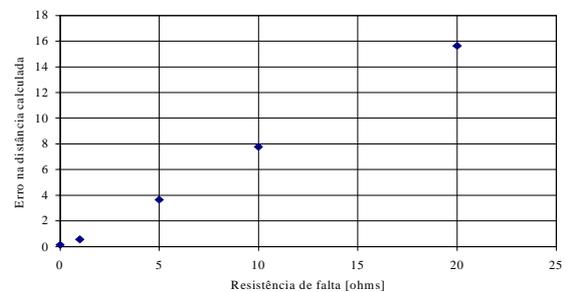
FIGURA 7. Erro na $D_{\text{CALCULADA}}$ [m] para o curto-circuito AN

B. Influência da Resistência de Falta no Cálculo da Distância

Para se verificar a influência da resistência de falta no cálculo da distância foram feitas simulações, no ATP, de curtos-circuitos fase-terra com resistências de falta variando entre 0 [ohms] e 20 [ohms]. Os erros foram estimados segundo a equação 7.

$$\text{erro}_{\text{DIST\`ANCIA}} = \left| \frac{D_{\text{CALCULADA}} - D_{\text{SIMULADA}}}{D_{\text{SIMULADA}}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

A figura 8 apresenta o erro na distância calculada para o curto fase-terra AN, na barra 57 devido à variação da resistência de falta.

FIGURA 8. Erro na $D_{\text{CALCULADA}}$ [%] x variação de RF - barra 57

Verifica-se que o sistema é sensível à variação na resistência de falta. Isto ocorre porque, quanto maior a resistência de falta, menor a magnitude da corrente de curto-circuito. Desta forma, a corrente de falta começa a assumir valores da mesma ordem de grandeza da corrente de carga. Uma vez que a corrente de carga representa uma grande incerteza no modelamento do sistema, começam a aparecer erros elevados.

Entretanto, curtos-circuitos com elevada resistência de falta (acima de 20 [ohms]) não vão provocar o disparo do medidor digital. Para os curtos-circuitos com resistência de falta pequena, os erros são considerados aceitáveis.

VI. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi apresentar a adaptação e implementação de um sistema automatizado de localização de faltas, que utiliza medições de tensões e correntes feitas somente nas subestações de distribuição, além de uma base de dados com a topologia e os parâmetros elétricos dos alimentadores monitorados pelo sistema. A infra-estrutura de hardware e software tanto nas subestações quanto no COD foram descritas em detalhes. O método pode oferecer ao operador do centro de distribuição mais de um ponto possível, como resultado do processo de localização de faltas. Entretanto, o sistema é capaz de classificar estes pontos e fornecer aquele que possui a maior probabilidade de ser o ponto correto. Os testes indicam que o sistema constitui uma ferramenta importante no gerenciamento da operação e das redes de distribuição.

Foi apresentado também o desenvolvimento de um aplicativo para análise de faltas na rede primária. Esse algoritmo é responsável por identificar trechos com alto índice de falhas por quilômetro, fornecendo subsídios para a concessionária, na manutenção preventiva do sistema elétrico.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE Standard for common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems. IEEE C37.111-1991.
- [2] ZHU, J., LUBKEMAN D. L., GIRGIS A. A. Automated fault location and diagnosis on electrical power distribution feeders. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, April 1997.
- [3] LEHTONEN, M.; PETTISALO, S.; ETULA, J. H. Computational fault location for electrical distribution networks. Third International Conference on Power System Monitoring and Control (Conf. Publ. No. 336), p. 38-43, IEE, London, 1991.
- [4] TENSCHERT, W. Fault location using fault distance measurement of digital relays. 12th International Conference on Electricity Distribution. CIRED (Conf. Publ. No. 373), p. 4.20.1-4, IEE, London, 1993.
- [5] SINGER, E.C. Localizador de faltas para redes de distribuição. III Conladis, Setembro 1998.
- [6] JÄVENTAUSTA, P. Using fuzzy sets to fault location in distribution networks. Physica Verlac. Nova Iorque, 1998.
- [7] HOROWITZ, S.H.; PHADKE A.G. Power system relaying. Research Studies Press, 1992.
- [8] BLACKBURN, J. L. Protective relaying - Principles and applications. 1987.