



SISTEMA DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE E SUPORTE A OPERAÇÃO DE REDES DE ENERGIA

**J. C. Cebrian A. *, N. Matsuo *, J. C. Guaraldo *, G. Vasconcelos *, N. Kagan *,
A. Suematsu ****

***Enerq -Centro de Estudos em Regulação e Energia Elétrica Departamento de
Engenharia de Energia e Automação Escola Politécnica - USP - São Paulo**

****AES-Eletropaulo**

cebrian00@gmail.com, nelsonk@pea.usp.br, argeu.suematsu@aes.com

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia que tem como finalidade desenvolver uma ferramenta integrada de suporte a decisão em operação para atendimentos emergenciais e manobras programadas, além de criar subsídios de informações para a implementação futura de um plano de manutenção. A ferramenta criada contempla a integração de sistemas internamente ligados e tem por missão ser um sistema inteligente, considerando a mesma base geográfica que, a partir do monitoramento on-line e automatizando as informações elétricas nas subestações de distribuição, suporte as aplicações de localização de faltas e gestão de indicadores de qualidade de energia. A funcionalidade do presente trabalho permite mostrar: (i) uma integração de diferentes sistemas e fontes de informação, para a sua consulta e edição, (ii) um método de desenvolvimento aplicado na localização de Faltas em Redes Primárias de Distribuição. Este trabalho foi implementado como parte de um projeto de P&D, cujos resultados se mostraram satisfatórios e eficientes.

PALAVRAS-CHAVE

Localização de Faltas, Qualidade de energia, Sistemas de Informação, Curto-Circuito.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a AES Eletropaulo vem buscando melhorar sua performance em indicadores de qualidade de energia, tempos de atendimento, confiabilidade e redução de custos. Atualmente o COS e os CODs dispõem de uma ferramenta denominada ATENDE para identificar os prováveis locais de defeitos no sistema e operacionalizar o atendimento baseado nas informações dos consumidores reclamantes. Apesar de ser um sistema automatizado, este pode ser aprimorado para identificar com maior rapidez e eficiência os locais de defeitos na rede.

Para isso, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema inteligente, tendo a mesma base geográfica, capaz de trabalhar em tempo real com sistemas técnicos de medição nas subestações, estimadores de estado e localizadores de defeitos que, integrados com o sistema ATENDE

(informações da central de atendimento – call-center), venham a agilizar a localização do defeito e o atendimento às ocorrências. O resultado é um subsídio importante para o planejamento de obras e manobras em condições normais e/ou emergenciais.

O objetivo principal deste sistema inteligente é que, em dias de crise, seja capaz de propor automaticamente e em tempo real, manobras em circuitos primários de distribuição para socorro de cargas em condições emergenciais, atendendo às restrições técnicas como níveis de tensão e capacidades de carregamentos dos circuitos, transformadores e subestações.

O presente trabalho apresenta, na sua estrutura, uma integração de diferentes sistemas e fontes de informação dentro da Concessionária, que permita realizar diferentes consultas, assim como também realizar atualizações no banco de dados.

Por isto, se propõe a implementação de um sistema, cujo diagrama básico apresenta-se na figura 1.

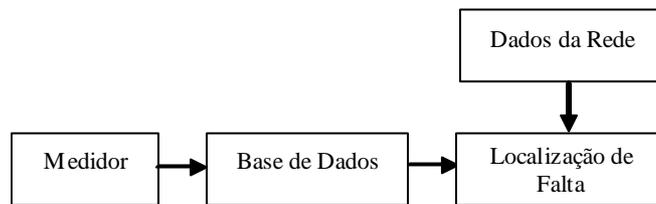


Figura 1 – Modelo básico

A figura 1 mostra um método de desenvolvimento que permite localizar o ponto ou pontos prováveis de defeito provocadas por curtos circuitos, ocasionadas nas Redes Primárias de Distribuição.

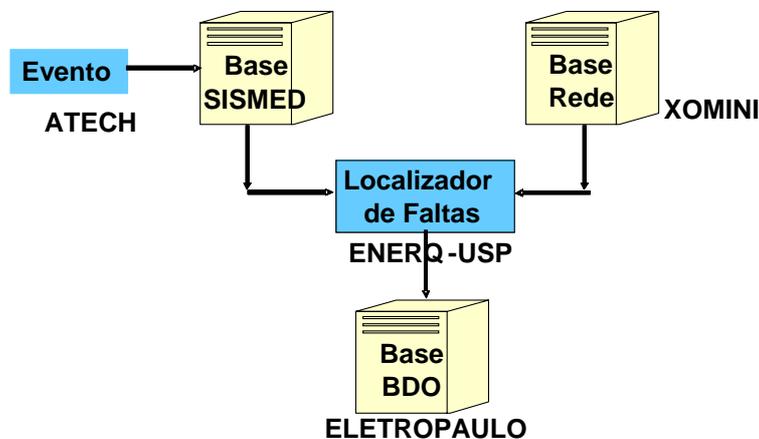


Figura 2 – Concepção lógica do sistema de gerenciamento

Na figura 2 pode-se observar como é realizado o relacionamento dos diferentes bancos de informações necessários para a concepção do sistema de gerenciamento proposto neste trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1. Localizador de Faltas

A Metodologia de localização parte das informações vindas dos medidores de qualidade de energia instalados no barramento de suprimento, isto é, no início de cada alimentador primário. Estas informações são enviadas a um servidor central, onde é executado um módulo de pré-processamento (preproc), que avalia os parâmetros específicos relativos ao evento, como fasores de tensão, duração

do evento, fases envolvidas, etc. Este processamento é executado para todos os eventos ocorridos em cada medidor, fornecendo informações necessárias para a localização da falta no sistema.

Algoritmo de localização

O algoritmo de localização de falta se baseia na determinação da distância de um possível ponto de falta num trecho de circuito a partir do conhecimento dos fasores de tensão e de corrente no início do trecho [2] [3]. O processo de cálculo é iniciado a partir do primeiro trecho do alimentador ligado à barra da subestação, utilizando os dados de medição de tensão e de corrente no início do alimentador.

Para outros tipos de falta o equacionamento é efetuado considerando as condições de contorno de cada situação.

Para uma falta ocorrida num trecho $[k, k+1]$ de uma rede trifásica, tem-se as tensões V_A, V_B e V_C e as correntes I_A, I_B e I_C no início do trecho, com correspondentes V_0, V_1 e V_2 sendo as componentes simétricas das tensões e I_0, I_1 e I_2 sendo as componentes simétricas das correntes.

As componentes seqüenciais das tensões no ponto de falta, localizado no trecho considerado, podem ser expressas como:

$$V_0' = V_0 - d \cdot z_0 \cdot I_0 \quad (1)$$

$$V_1' = V_1 - d \cdot z_1 \cdot I_1 \quad (2)$$

$$V_2' = V_2 - d \cdot z_2 \cdot I_2 \quad (3)$$

Em que: d : distância do início do trecho até o ponto de falta, e z_0, z_1, z_2 : impedâncias seqüenciais da linha, por unidade de comprimento.

A identificação do tipo de falta é feita a partir das informações das correntes das 3 fases e de neutro, ou das correntes seqüenciais. Então, para cada tipo de defeito, tem-se os seguintes métodos:

a) Falta Fase Terra:

A figura 3 mostra os diagramas de seqüência conectados para o caso de falta fase-terra com resistência de defeito R_f .

Considerando que $V_0' + V_1' + V_2' = 3 \cdot R_f \cdot I_0$ e levando em conta (1), (2) e (3) resulta:

$$3 \cdot R_f \cdot I_0^f = V_0 + V_1 + V_2 - d \cdot (z_0 I_0 + z_1 I_1 + z_2 I_2) \quad (4)$$

Sendo:

$$V_0 + V_1 + V_2 = V_A \quad (5)$$

e

$$I_0^f = I_0 - I_0' \quad (6)$$

tem-se:

$$V_A = 3R_f (I_0 - I_0') + d \cdot (z_0 I_0 + z_1 I_1 + z_2 I_2) \quad (7)$$

Separando as partes real e imaginária obtêm-se, a equação matricial:

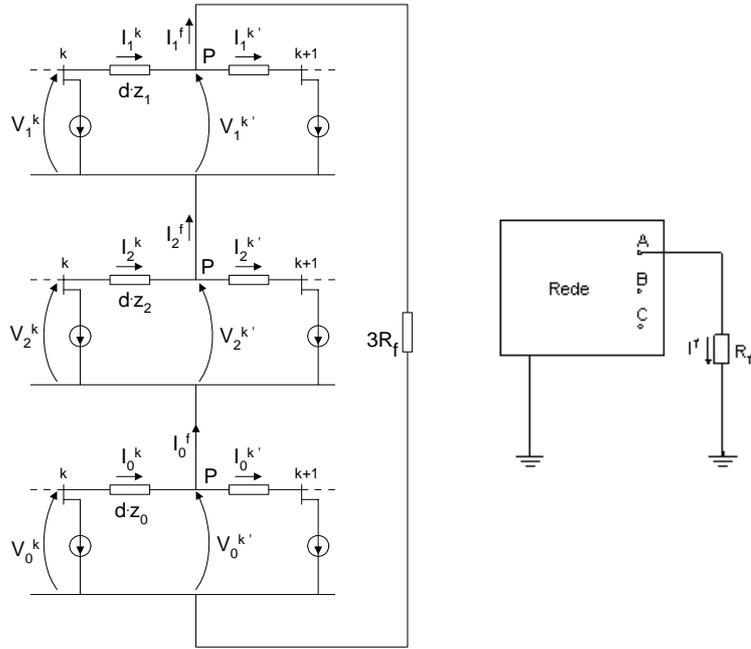


Figura 3 – Falta fase-terra

$$\begin{bmatrix} d \\ R_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{z_0 I_0 + z_1 I_1 + z_2 I_2\} & 3 \cdot \operatorname{Re}\{I_1 - I_1'\} \\ \operatorname{Im}\{z_0 I_0 + z_1 I_1 + z_2 I_2\} & 3 \cdot \operatorname{Im}\{I_1 - I_1'\} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{V_A\} \\ \operatorname{Im}\{V_A\} \end{bmatrix} \quad (8)$$

A equação (8) é aplicada sucessivamente em trechos subsequentes até encontrar a situação em que a distância calculada seja menor do que o comprimento do trecho, identificando assim um possível ponto de falta.

b) Falta Fase-Fase:

A equação para a falta é dada a seguir:

$$\begin{bmatrix} d \\ R_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{z_1 I_1 - z_2 I_2\} & \operatorname{Re}\{I_1 - I_1'\} \\ \operatorname{Im}\{z_1 I_1 - z_2 I_2\} & \operatorname{Im}\{I_1 - I_1'\} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{V_1 - V_2\} \\ \operatorname{Im}\{V_1 - V_2\} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Alternativamente:

$$\begin{bmatrix} d \\ R_f/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{z_1 I_1 - z_2 I_2\} & \operatorname{Re}\{(I_1 - I_1') - (I_2 - I_2')\} \\ \operatorname{Im}\{z_1 I_1 - z_2 I_2\} & \operatorname{Im}\{(I_1 - I_1') - (I_2 - I_2')\} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{V_1 - V_2\} \\ \operatorname{Im}\{V_1 - V_2\} \end{bmatrix} \quad (10)$$

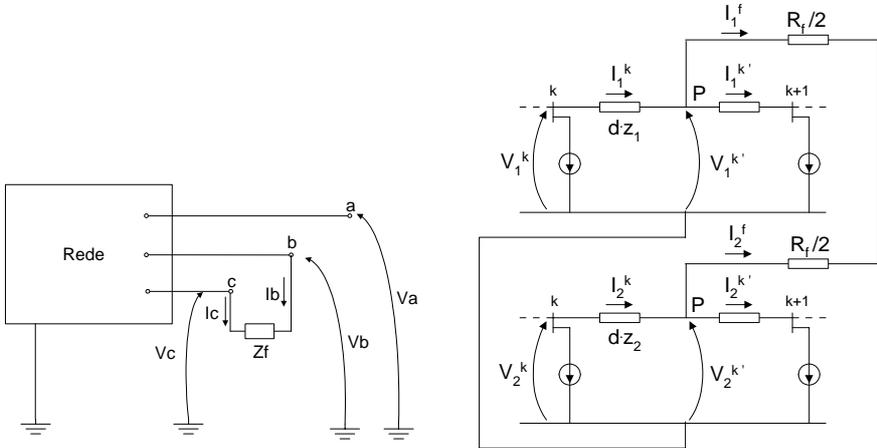


Figura 4 - Falta fase-fase - condições de contorno

Analogamente à falta fase terra, a equação (9), ou (10), é aplicada sucessivamente em trechos subsequentes até encontrar a situação em que a distância calculada seja menor do que o comprimento do trecho, identificando assim um possível ponto de falta.

c) Falta Dupla Fase - Terra

A equação para a falta é dada por:

$$\begin{bmatrix} d \\ R_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Re}\{z_1 I_1 - z_2 I_2\} & \text{Re}\{(I_1 - I_1') - (I_2 - I_2')\} \\ \text{Im}\{z_1 I_1 - z_2 I_2\} & \text{Im}\{(I_1 - I_1') - (I_2 - I_2')\} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \text{Re}\{V_1 - V_2\} \\ \text{Im}\{V_1 - V_2\} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R_t = \frac{\text{Re}\{V_0 - V_1\} - R_f \cdot \text{Re}\{(I_0 - I_0') - (I_1 - I_1')\} - d \cdot \text{Re}\{z_0 I_0 - z_1 I_1\}}{3 \text{Re}\{I_0 - I_0'\}} \quad (12)$$

Do mesmo modo, a equação (11), ou (12), é aplicada sucessivamente em trechos subsequentes até encontrar a situação em que a distância calculada seja menor do que o comprimento do trecho, identificando assim um possível ponto de falta.

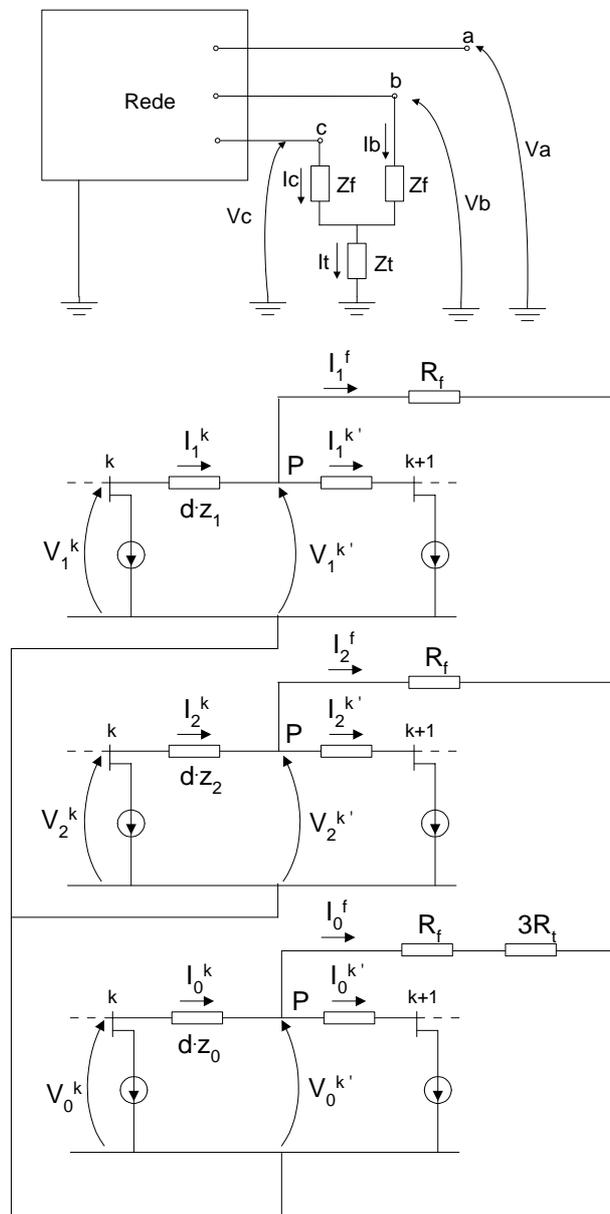


Figura 5 – Falta dupla fase-terra - condições de contorno

d) Falta Trifásica

Equação para a falta:

$$\begin{bmatrix} d \\ R_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{z_1 I_1\} & \operatorname{Re}\{(I_1 - I_1')\} \\ \operatorname{Im}\{z_1 I_1\} & \operatorname{Im}\{(I_1 - I_1')\} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{V_1\} \\ \operatorname{Im}\{V_1\} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Finalmente, a equação (13), é aplicada sucessivamente em trechos subsequentes até encontrar a situação em que a distância calculada seja menor do que o comprimento do trecho, identificando assim um possível ponto de falta.

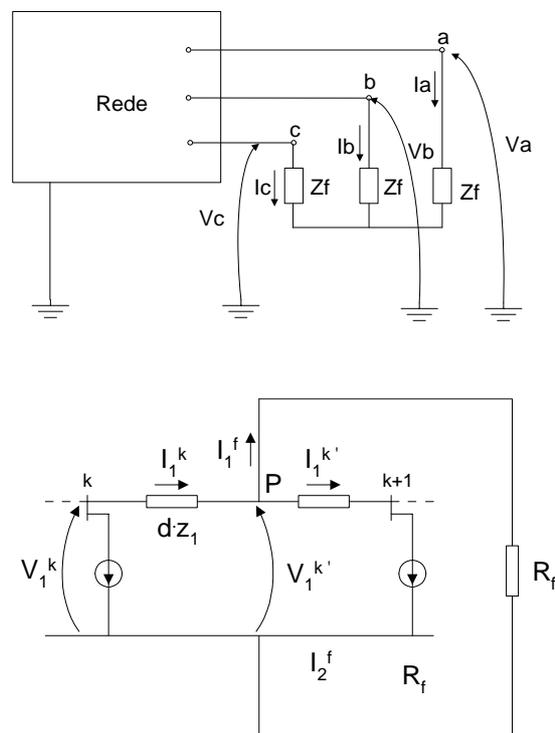


Figura 6 - Falta trifásica - condições de contorno

3. RESULTADOS

Os testes foram realizados na rede real da AES Eletropaulo. Foi considerado como caso piloto o Alimentador BRU 0106 da subestação BARUERI.

A partir de informações da tabela de ocorrências (gerado por reclamações de clientes afetados), como a data e hora de cada evento registrado e identificação do poste onde ocorreu a falta, foram encontrados eventos registrados pelos medidores de qualidade de energia, contemplados dentro de uma faixa de tempo antes da reclamação do cliente registrada. Também foram localizadas as coordenadas GIS (X, Y) do ponto onde foi efetuado o reparo, baseada na identificação do poste, que representa o local físico real da falta.

Então foi executado o módulo de localização particularmente para este evento, buscando na base de dados os fasores de tensão, corrente e corrente pré-falta, a partir do local, data e hora do evento registrado pelo medidor de qualidade de energia. O resultado é uma coordenada (X, Y) ou um conjunto de coordenadas que representam o local da falta.

A seguir apresenta-se um exemplo da localização para o evento de 21/03/2006, às 15:24h, ocorrido no circuito BRU 0106. Para este, a real coordenada da falta, representada pelo local reparo no poste, é (3088000, 74032900). Na tabela 1 estão os fasores de tensão, corrente e corrente pré-falta utilizados para a localização neste caso.

TABELA I – FASORES

	(Volts)	(Ângulo °)
Va (falta)	7803,97	-3,068
Vb (falta)	6903,67	233,97
Vc (falta)	7778,63	116,25

	(Âmpères)	(Ângulo °)
Ia (pré-falta)	312,93	-13,58
Ib (pré-falta)	402,9	223,71
Ic (pré-falta)	353,05	105,59

	(Âmpères)	(Ângulo °)
Ia (falta)	416,82	-14,36
Ib (falta)	1340,5	185,48
Ic (falta)	459,81	92,64

Com estes valores, o localizador encontrou os seguintes pontos, representados graficamente na figura 7. Deve-se destacar que a coordenada do ponto real localiza-se em local fora da rede primária, ou seja, na rede secundária, de baixa tensão.

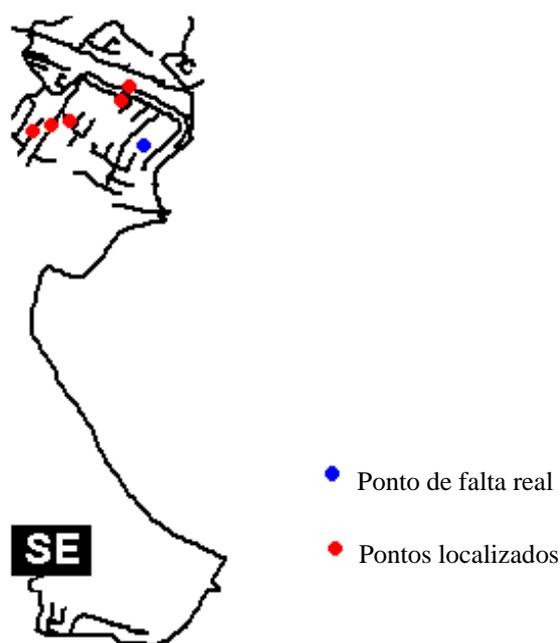


Figura 7 – Pontos localizados e local real da falta

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma metodologia para localização de faltas. Esta metodologia pode obter diferentes pontos na rede. Isto ocorre, pois todos estes pontos apresentam a mesma distância elétrica da subestação. Faltas em pontos com esta característica implicam em valores similares de tensão e corrente no local onde está instalado o equipamento de medição. Nestes casos, o ponto real da falta deve estar contido no conjunto de pontos fornecido pelo Localizador. A partir de um simples telefonema de consumidor reclamando de interrupção de energia elétrica, já é possível a correta seleção do ponto de falta mais provável, desta forma agilizando sobremodo o procedimento de forma a reduzir tempos de atendimento.

Os resultados obtidos mostram que a metodologia possibilita a obtenção de mais uma ferramenta em tempo real que sincroniza diferentes fontes de informação com a finalidade de auxiliar as equipes de operação e manutenção no gerenciamento da qualidade do fornecimento de energia.

Para a implantação desta ferramenta foi feita a sua instalação num servidor já pertencente à Eletropaulo. Atualmente esta metodologia esta sendo utilizada na Eletropaulo, na sua fase inicial a nível de informação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EPRI, “Reliability Benchmarking Methodology –RBM Software Tools User’s Guide – RBM Index Calculation Module and Power Quality State Estimation Manager – Version 2.0”, February 1998.
- [2] [2]Zhu, J.; Lubkeman, D. L.; Girgis, A. A., “Automated fault location and diagnosis on electrical power distribution feeders”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, Nº 2, April 1997.
- [3] Senger, E. C.; Goldemberg, C.; Manassero Jr, G., “Automated Fault Locations System for Primary Distribution Feeders”, Power Quality 2000 Proceedings, Power Systems World 2000 Conference & Exhibit - Boston - October 2000