

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Energia e**  
**Automação Elétricas**

ISSN 1413-2214

**BT/PEA/9917**

---

**Localizadores Digitais de Falhas**  
**em Linhas de Transmissão**

---

**Carlos Eduardo de Moraes Pereira**  
**Luiz Cera Zanetta Jr.**

São Paulo – 1999

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Carlos Eduardo de Moraes Pereira, sob orientação do Prof. Dr. Luiz Cera Zanetta Jr.: "Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão", defendida em 23/03/99, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira, Carlos Eduardo de Moraes

Localizadores digitais de falhas em linhas de transmissão / C.E.M.  
Pereira, L.C. Zanetta Jr. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

12 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, BT/PEA/9917)

1. Localização de falhas 2. Linhas de transmissão 3. Filtragem digital  
I. Zanetta Jr., Luiz Cera II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
III. Título IV. Série  
ISSN 1413-2214

CDD 621.319  
621.3192  
621.3815324

# LOCALIZADORES DIGITAIS DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

## TRANSMISSION LINE DIGITAL FAULT LOCATORS

Carlos Eduardo de Moraes Pereira

Luiz Cera Zanetta Jr.

### RESUMO

Neste trabalho é apresentado um estudo comparativo da eficiência de diferentes algoritmos de localização de falta em linhas de transmissão, que têm a metodologia de cálculo baseada nos valores medidos de tensão e corrente a 60 Hz nos terminais da linha.

É também apresentado um estudo da eficiência da filtragem digital na obtenção desses valores a 60 Hz, considerando-se um filtro digital baseado no método dos mínimos quadrados e outro utilizando a transformada discreta de Fourier, para o qual foi analisada a influência da remoção da componente contínua com um filtro "off-set" (impedância mímica). O estudo permitiu ainda verificar qual procedimento apresenta melhor precisão na obtenção dos valores a 60 Hz.

Quanto aos métodos de localização de faltas, os testes foram baseados em simulações feitas com o programa ATP, que gera um arquivo com dados amostrados de tensão e corrente nos terminais da linha. Esse arquivo é lido por um programa em MATLAB, que realiza a filtragem digital e os cálculos da distância de falta.

Os resultados obtidos permitem verificar a influência da variação das condições de falta na precisão dos métodos, além de indicar o modelamento mais adequado da linha de transmissão, assim como as vantagens e desvantagens da utilização de dados de um ou mais terminais.

### ABSTRACT

In this work a comparative study of the efficiency of different fault location algorithms in transmission lines is presented, using in the calculation the 60 Hz measured values of voltage and the current at the line ends.

It is also presented a study of the efficiency of digital filtering for the attainment of these 60 Hz values, considering a digital filter based on the least squares method and another one based on the discrete Fourier transform, analyzing the influence of the removal of the continuous component with an "off-set" filter (mimic impedance). The study allowed to verify which procedure presents better accuracy in the attainment of the 60 values Hz.

With reference to the fault location methods, the simulations with the ATP program provides the files with sampled data of voltage and current at the line ends. These files are read by a MATLAB program, that performs the digital filtering and calculates the fault distance.

The obtained results allow to verify the influence of the fault conditions in the accuracy of the studied methods, indicating also the most adequate modeling of the transmission lines and the advantages and disadvantages of using data of one or more line terminals.

### 1. INTRODUÇÃO

Um sistema de transmissão de energia tem como meta atender a demanda com qualidade de energia e continuidade no seu fornecimento, dessa forma diferentes aspectos são levados em consideração, sendo feitos estudos de estabilidade, fluxo de potência, análise de defeitos, coordenação da proteção, análise do desempenho frente a surtos atmosféricos, etc.

Um sistema de potência está sujeito a eventos de diversas naturezas, tais como perda de estabilidade, níveis de tensão não permitidos, interrupção no fornecimento de energia. Esses problemas geralmente são causados quando algum componente do sistema torna-se indisponível, como por exemplo um gerador, um transformador ou uma linha de transmissão. Essa indisponibilidade pode ser transitória, apenas durante o tempo de atuação da proteção, para eliminação do defeito, ou permanente, quando há avaria no equipamento e não é possível o religamento automático.

No caso de linhas de transmissão, a maioria das faltas (curtos) é transitória, provocados principalmente por descargas atmosféricas, mas em alguns casos, o defeito pode se tornar permanente, se por exemplo, um isolador for seriamente danificado e perder sua capacidade de isolamento. Faltas também podem ser provocadas pela perda da capacidade de isolamento do ar, causada por poluição ou queimadas. Em alguns casos a falta é causada por queda de torres ou rompimento de condutores.

No caso de defeitos permanentes numa linha de transmissão, é de vital importância o conhecimento da localização do mesmo, para que os reparos sejam feitos o mais rapidamente possível, pois uma linha de transmissão de alta tensão pode ser responsável pelo abastecimento de uma região com milhões de habitantes, e nem sempre é possível evitar cortes no fornecimento, mesmo realizando manobras no sistema.

Mesmo no caso de defeitos não permanentes, a identificação do tipo e da distância de falta é importante para fornecer informações que possam ser úteis por exemplo a estudos de proteção ou desempenho frente a surtos atmosféricos, além de permitir a montagem de uma base histórica sobre a ocorrência de faltas numa linha de transmissão.

## 2. MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE FALTA

### 2.1 - Localização de Falta Utilizando Dados de Dois Terminais da Linha

Para a localização da falta em uma linha de transmissão de dois terminais, alguns dos métodos necessitam que estejam disponíveis os valores de tensão e corrente das três fases dos dois terminais da linha. Geralmente, é necessário que os dados dos dois terminais estejam sincronizados. Mas existem métodos em que não é necessária essa sincronização.

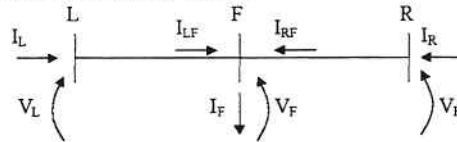


Figura 1 - Representação unifilar da linha de transmissão com falta

#### 2.1.1 - Método Utilizando Modelo de Linha com Quadripólos

O método [4] apresentado a seguir faz o equacionamento das tensões e correntes na linha de transmissão com o uso de quadripólos.

A expressão para o cálculo da distância de falta é a seguinte:

$$d = a \tanh \left( \frac{V_L - V_R \cdot \cosh(\gamma \cdot \ell) + Z_c \cdot I_R \cdot \sinh(\gamma \cdot \ell)}{Z_c \cdot I_L - V_R \cdot \sinh(\gamma \cdot \ell) + Z_c \cdot I_R \cdot \cosh(\gamma \cdot \ell)} \right) \cdot \frac{1}{\gamma} \quad (1)$$

Na equação (1) os valores  $V_L$ ,  $V_R$ ,  $I_L$ ,  $I_R$ , são os fasores das componentes fundamentais de sequência positiva.

#### Algoritmo de sincronização dos dados

Para considerar a não sincronização dos dados nos terminais, introduz-se uma nova incógnita  $\delta$  que representa o ângulo de defasagem entre as medidas dos terminais.

$$\begin{aligned} V_R^{\text{real}} &= V_R^{\text{medido}} \cdot e^{j\delta} \\ I_R^{\text{real}} &= I_R^{\text{medido}} \cdot e^{j\delta} \end{aligned} \quad (2)$$

O ângulo  $\delta$  é obtido resolvendo-se:

$$\text{Im} \left[ a \tanh \left( \frac{V_L - V_R \cdot e^{j\delta} \cdot \cosh(\gamma \cdot \ell) + Z_c \cdot I_R \cdot e^{j\delta} \cdot \sinh(\gamma \cdot \ell)}{Z_c \cdot I_L - V_R \cdot e^{j\delta} \cdot \sinh(\gamma \cdot \ell) + Z_c \cdot I_R \cdot e^{j\delta} \cdot \cosh(\gamma \cdot \ell)} \right) \cdot \frac{1}{\gamma} \right] = 0 \quad (3)$$

#### 2.1.2 - Método Usando a Matriz de Impedância Série da Linha

A referência [6] descreve um método de localização de falta baseado no equacionamento das tensões e correntes na condição de falta, utilizando a matriz de impedância série da linha de transmissão e supondo sincronizados os dados dos dois terminais da linha.

A distância de falta é estimada usando-se o método dos mínimos quadrados da seguinte maneira:

$$d = (\bar{F}^T \cdot F)^{-1} \cdot \bar{F}^T \cdot L \quad (4)$$

Onde:

$$L = [V_L] - [V_R] + [Z_{a,b,c}] \cdot [I_R] \cdot \ell \quad (5)$$

$$F = [Z_{a,b,c}] \cdot ([I_L] + [I_R]) \quad (6)$$

$\bar{F}$ : transposta da matriz  $F$  com os elementos conjugados

$Z_{a,b,c}$ : matriz de impedância série da linha

## 2.2 - Localização de Falta Utilizando Dados de Apenas um Terminal

Os métodos de localização de falta que utilizam apenas os dados do terminal local de uma linha de transmissão, utilizam hipóteses simplificadoras para conseguir um equacionamento da distância de falta sem utilizar os dados do terminal remoto. Além disso, alguns métodos utilizam os dados da condição pré-falta da rede para minimizar o erro causado por algumas hipóteses consideradas, o que será melhor explicado posteriormente.

### 2.2.1 – Método de Takagi (1981)

A seguir será mostrado o equacionamento do método [8], para o caso de linha de transmissão trifásica, considerando as tensões e correntes e demais parâmetros como sendo de sequência positiva.

A distância de falta para curto trifásico é obtida resolvendo-se:

$$\text{Im} \left( \frac{A(d) \cdot V_L^f - B(d) \cdot I_L^f}{C(d) \cdot V_L^f - D(d) \cdot I_L^f} \right) = 0 \quad (7)$$

Onde:

$$A(d) = \cosh(\gamma \cdot d), \quad B(d) = Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot d), \quad C(d) = \frac{1}{Z_c} \cdot \sinh(\gamma \cdot d) \quad \text{e} \quad D(d) = A(d)$$

O índice f indica a diferença entre valores de falta e pré-falta.

A equação (7) pode ser resolvida para a obtenção de  $d$  utilizando-se algum método iterativo como por exemplo o de Newton-Raphson.

Para curto fase-terra a expressão para cálculo da distância de falta é:

$$\text{Im} \left( \frac{V_F^0 + V_F^1 + V_F^2}{C^1(d) \cdot V_L^{1f} - D^1(d) \cdot I_L^{1f}} \right) = 0 \quad (8)$$

Os índices 0, 1 e 2 indicam os valores de sequência zero, positiva e negativa.

A equação para a obtenção da distância de falta é:

$$\text{Im} \left( \frac{V_F^1 - V_F^2}{C^1(d) \cdot V_L^{1f} - D^1(d) \cdot I_L^{1f}} \right) = 0 \quad (9)$$

Finalmente, para falta dupla fase-terra tem-se:

$$\text{Im} \left( \frac{V_F^1 - V_F^0}{C^0(d) \cdot V_L^{0f} - D^0(d) \cdot I_L^{0f}} \right) = 0 \quad (10)$$

Nesse método, pode-se verificar que é importante armazenar adequadamente os valores pré-falta das tensões e correntes. Também é necessário saber qual o tipo de falta ocorreu, pois o equacionamento é diferente para cada tipo de falta.

## 2.3 – Localização de Falta em Linhas de Três Terminais Usando Quadripólos

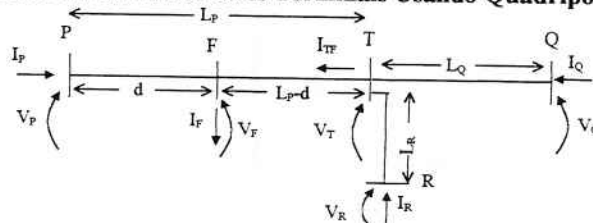


Figura 2 - Representação unifilar de uma linha de transmissão de três terminais com falta no trecho PT

A metodologia é análoga ao do caso de linha de dois terminais, sendo a distância de falta obtida pela seguinte expressão:

$$d = a \tanh \left( \frac{V_P - V_T \cdot \cosh(\gamma \cdot L_P) + Z_c \cdot I_{TP} \cdot \sinh(\gamma \cdot L_P)}{Z_c \cdot I_P - V_T \cdot \sinh(\gamma \cdot L_P) + Z_c \cdot I_{TP} \cdot \cosh(\gamma \cdot L_P)} \right) \cdot \frac{1}{\gamma} \quad (11)$$

Onde:

$$I_{TP} = -C(L_Q) \cdot V_Q + A(L_Q) \cdot I_Q - C(L_R) \cdot V_R + A(L_R) \cdot I_R \quad (12)$$

$$V_T = A(L_R) \cdot V_R - B(L_R) \cdot I_R \quad (13)$$

A equação (11) fornece a distância da falta no caso desta ocorrer no trecho PT. Para os outros casos o equacionamento seria análogo, trocando-se apenas as variáveis. Uma forma de se identificar o trecho em que ocorreu a falta calcular a tensão  $V_T$  em função da tensão e corrente em cada um dos três terminais da linha de transmissão:

$$\begin{aligned} V_T &= A(L_P) \cdot V_P - B(L_P) \cdot I_P \\ V_T &= A(L_Q) \cdot V_Q - B(L_Q) \cdot I_Q \\ V_T &= A(L_R) \cdot V_R - B(L_R) \cdot I_R \end{aligned} \quad (14)$$

### Consideração de dados não sincronizados

Considerando-se a falta no trecho P-T e o terminal P como referência para as fases tem-se:

$$V_Q^{real} = V_Q^{medido} \cdot e^{j\varepsilon} \quad I_Q^{real} = I_Q^{medido} \cdot e^{j\varepsilon} \quad (15)$$

$$V_R^{real} = V_R^{medido} \cdot e^{j\delta} \quad I_R^{real} = I_R^{medido} \cdot e^{j\delta} \quad (16)$$

A defasagem entre os dados dos terminais P, Q e R também pode ser obtida considerando a tensão no ponto T calculada através das relações de quadripólos, usando-se valores pré-falta.

Considerando P como sendo o terminal local, comparando-se os valores de  $V_T$  obtidos dos terminais P, Q e P, R pode-se obter diretamente a defasagem entre os dados dos terminais da linha, através das expressões:

$$\varepsilon = -j \cdot \ln \left( \frac{\cosh(\gamma \cdot L_Q) \cdot V_Q^{pf} - Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot L_Q) \cdot I_Q^{pf}}{\cosh(\gamma \cdot L_P) \cdot V_P^{pf} - Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot L_P) \cdot I_P^{pf}} \right) \quad (17)$$

$$\delta = -j \cdot \ln \left( \frac{\cosh(\gamma \cdot L_R) \cdot V_R^{pf} - Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot L_R) \cdot I_R^{pf}}{\cosh(\gamma \cdot L_P) \cdot V_P^{pf} - Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot L_P) \cdot I_P^{pf}} \right) \quad (18)$$

## 3 - PROCESSAMENTO DIGITAL DOS SINAIS DE TENSÃO E CORRENTE

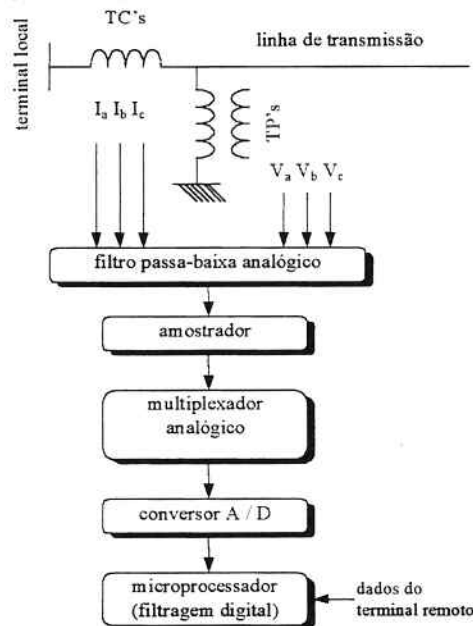


Figura 3 - Sistema de aquisição e processamento digital de sinais

### 3.2.1 - Filtro Digital Baseado na Transformada Discreta de Fourier

O sistema de processamento digital de sinais trabalha com valores amostrados de tensão e corrente com a presença harmônicas. Uma das formas de se obterem os valores fundamentais (60 Hz), é através do uso da transformada discreta de Fourier [3]. Que é usada para a obtenção das componentes espectrais do sinal.

Os coeficientes da TDF (transformada discreta de Fourier) são dados por:

$$F_h = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j h \left( \frac{2\pi}{N} \right) n} \quad (19)$$

As funções de transferência a seguir são denominadas filtro cosseno e filtro seno:

$$Y_c(z) = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{N}\right) \cdot (1-N+n)\right) \cdot z^{-n} \quad (20)$$

$$Y_s(z) = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \text{sen}\left(\left(\frac{2\pi}{N}\right) \cdot (1-N+n)\right) \cdot z^{-n} \quad (21)$$

Os valores do módulo e da fase para cada instante de tempo são dados por:

$$M_k = \sqrt{y_{c_k}^2 + y_{s_k}^2} \quad (22)$$

$$\Phi_k = \arctan\left(\frac{y_{s_k}}{y_{c_k}}\right) \quad (23)$$

$M_k$ : módulo da fundamental para cada instante de tempo ( $k$ )

$y_{s_k}$ : valor da componente senoidal do sinal para cada instante de tempo ( $k$ )

$y_{c_k}$ : valor da componente cossenoidal do sinal para cada instante de tempo ( $k$ )

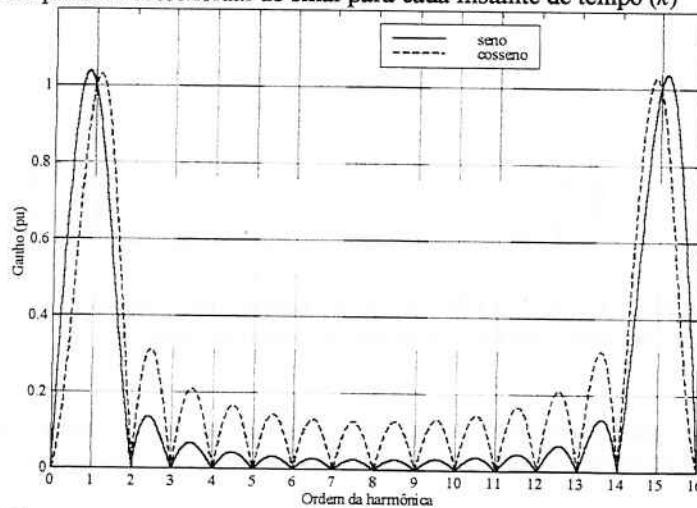


Figura 4 - Resposta em frequência dos filtros seno e cosseno ( $N=16$ )

### 3.2.2 - Filtro Digital Baseado no MMQ (Método dos Mínimos Quadrados)

Considera-se a seguinte função aproximadora das ondas de tensão e corrente:

$$f(t) = a_1 \cdot \cos(\omega \cdot t) + a_2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) + a_3 \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) + a_4 \cdot \text{sen}(2 \cdot \omega \cdot t) + \dots + a_{N-3} \cdot \cos((N/2-1) \cdot \omega \cdot t) + a_{N-2} \cdot \text{sen}((N/2-1) \cdot \omega \cdot t) + a_{N-1} \cdot t \quad (24)$$

Os coeficientes da função aproximadora (matriz A) podem ser obtidos de:

$$A = D \cdot L \quad (25)$$

Onde:

$$D = (F^T \cdot F)^{-1} \cdot F^T \quad (26)$$

Considerando:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_{N-1} \\ a_N \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & \dots & d_{1,N-1} & d_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ d_{N-1,1} & \dots & d_{N-1,N-1} & d_{N-1,N} \\ d_{N,1} & \dots & d_{N,N-1} & d_{N,N} \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} x_{k-N+1} \\ \vdots \\ x_{k-1} \\ x_k \end{bmatrix} \quad (27)$$

Os coeficientes  $a_1$  e  $a_2$ , correspondentes às funções  $\cos(\omega \cdot t)$  e  $\text{sen}(\omega \cdot t)$ , podem ser obtidos da seguinte forma:

$$\begin{aligned} a_1 &= x_k \cdot d_{1,N} + x_{k-1} \cdot d_{1,N-1} + \dots + x_{k-N+1} \cdot d_{1,1} \\ a_2 &= x_k \cdot d_{2,N} + x_{k-1} \cdot d_{2,N-1} + \dots + x_{k-N+1} \cdot d_{2,1} \end{aligned} \quad (28)$$

O que pode ser visto como um procedimento de filtragem digital, sendo definidos então os filtros digitais cosseno e seno dados por:

$$Y_c(z) = d_{1,N} + d_{1,N-1} \cdot z^{-1} + \dots + d_{1,1} \cdot z^{-N+1} \quad (29)$$

$$Y_s(z) = d_{2,N} + d_{2,N-1} \cdot z^{-1} + \dots + d_{2,1} \cdot z^{-N+1} \quad (30)$$

De onde se pode verificar que os coeficientes do polinômio em  $z$  são correspondentes à primeira e segunda linhas da matriz  $D$  com a seqüência de colunas invertida

As respostas em frequência obtidas para os filtros seno e cosseno foram as seguintes:

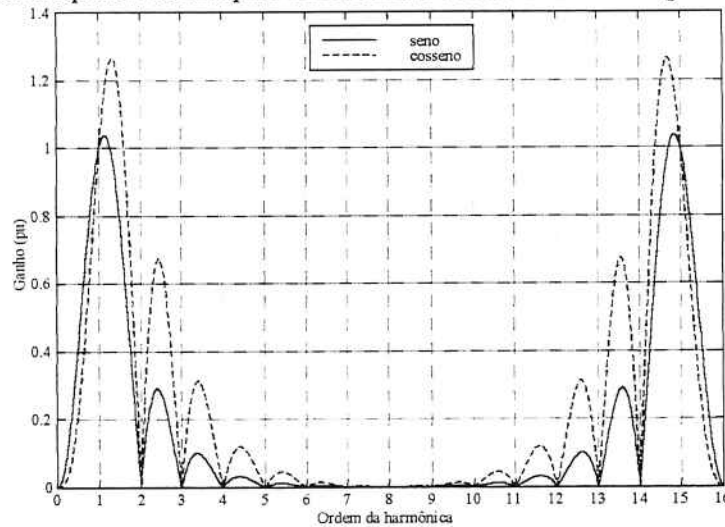


Figura 5 – Resposta em frequência dos filtros seno e cosseno ( $N=16$ ) em série com filtro passa-baixas digital de Butterworth

### 3.2.3 – Filtro Off-Set

Esse filtro tem por objetivo remover a componente contínua do sinal, podendo ser associado com o filtro baseado na transformada discreta de Fourier para minimizar o erro causado pela presença da componente contínua.

O equacionamento do filtro off-set é o seguinte:

$$a = e^{\alpha \cdot m \cdot T} \quad (31)$$

$$T = \frac{1}{60 \cdot N} \quad (32)$$

$$G = \frac{1}{\sqrt{a^2 - 2 \cdot a \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{m}{N} + 1\right)}} \quad (33)$$

Onde:

$m$ : intervalo entre as amostras utilizadas pelo filtro

$\alpha$ : inverso da constante de tempo da componente contínua

A função de transferência do filtro “off-set” é dada por:

$$Y(z) = G \cdot (a \cdot z^0 - z^{-m}) \quad (34)$$

Ou seja, num instante  $k$ , a saída do filtro será:

$$y_k = G \cdot (a \cdot x_k - x_{k-m}) \quad (35)$$

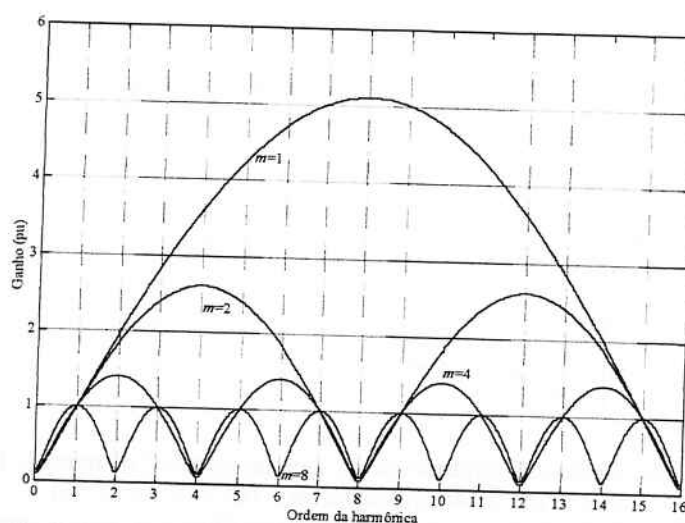


Figura 6 – Resposta em frequência do filtro off-set para diferentes valores de  $m$

O filtro off-set gera um atraso na resposta correspondente a  $m$  amostras, mas quanto menor o valor de  $m$ , maior é o ganho do filtro off-set, prejudicando a resposta em frequência da associação. Para  $N=16$  o valor  $m=4$  é o que leva a uma melhor relação entre atraso adicional e influência na resposta em frequência.

A resposta em frequência da associação dos filtros seno e cosseno obtidos a partir da TDF com o filtro off-set tem o seguinte aspecto:

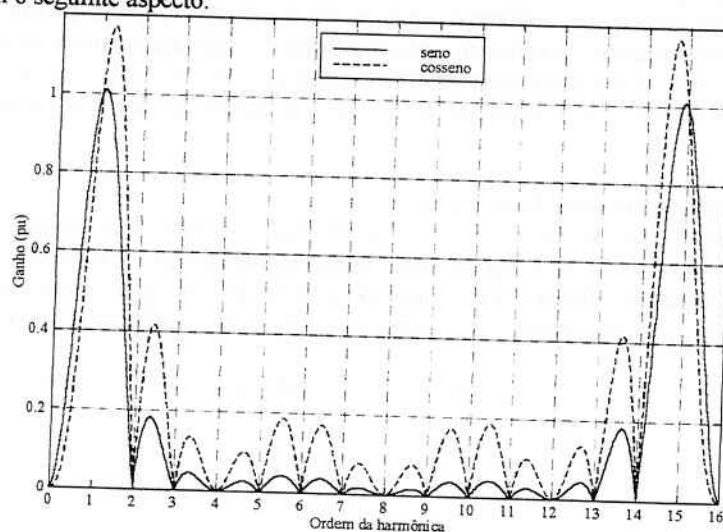


Figura 7 – Resposta em frequência da associação em série dos filtros seno e cosseno (TDF com  $N=16$ ) com o filtro off-set ( $\alpha = 30 \cdot s^{-1}$ ,  $m=4$ )

### 3.3 Teste dos algoritmos de filtragem digital

Os algoritmos de filtragem digital foram baseados nas formas de onda de tensão e corrente nos terminais da linha para o caso de curto trifásico na rede ilustrada a seguir.

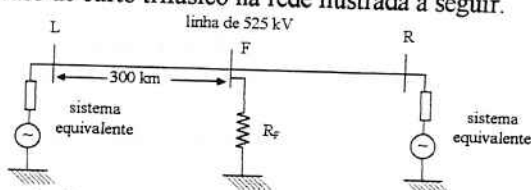


Figura 8 - Rede para teste dos algoritmos de filtragem digital

As formas de onda obtidas tem o seguinte aspecto básico

Os valores obtidos para o módulo dos sinais ao longo do tempo, podem ser mostrados graficamente:

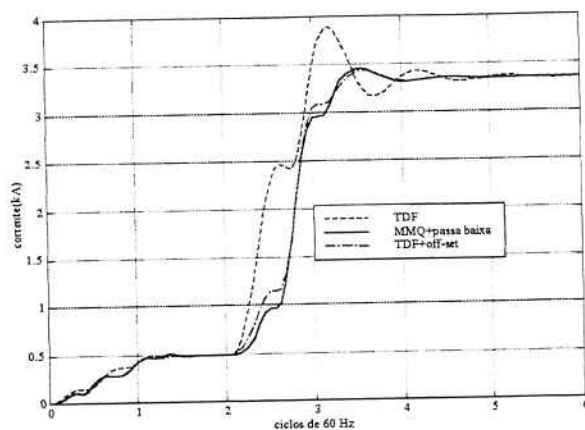


Figura 9 – Módulo da fundamental da corrente na fase C do terminal local (filtros TDF, MMQ+passa-baixas e TDF+off-set,  $N=16$ )

Na figura 10 pode-se observar claramente a deficiência do filtro TDF, para a obtenção do módulo da fundamental, com uma oscilação amortecida em torno do valor final. Quanto aos filtros MMQ+passa-baixas e TDF+off-set, pode-se verificar que o desempenho dos mesmos é praticamente equivalente, sendo a vantagem do filtro off-set o fato de ser um filtro que utiliza apenas os valores amostrados, enquanto que o filtro passa baixa digital de Butterworth é recursivo, usando valores de saída calculados previamente. Dessa forma, a associação com o filtro MMQ também usa realimentação da saída, exigindo maior número de operações algébricas e conseqüentemente maior tempo de processamento.

Outro fato ser comentado é que o tempo de resposta dos filtros MMQ+passa-baixas e TDF+off-set é praticamente o mesmo, enquanto no primeiro o atraso adicional é aproximadamente de 4 amostras (filtro de ordem 3), em relação ao resultado obtido utilizando apenas os filtros seno e cosseno, no segundo, o atraso adicional introduzido é de 4 amostras ( $m=4$ ), que é o número de amostras utilizadas pelo filtro off-set.

#### 4 - Teste dos Métodos de Localização de Falta

Os testes têm por objetivo avaliar a influência na precisão dos algoritmos causada por variação na distância de falta, resistência de falta, tipo de falta, comprimento da linha e parâmetros do equivalente da rede. Não foi analisada a influência da variação do instante de falta, teste muito usado na literatura vista, visando avaliar o comportamento da filtragem digital frente a diferentes níveis de componente contínua.

Para linhas de 2 terminais foi usada a rede da figura 8, para linhas de três terminais foi usada a rede:

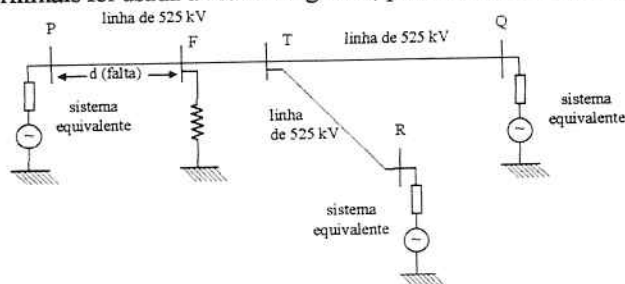


Figura 10 – Rede base para linha com três terminais

##### 4.1 – Resultados dos Testes Realizados para Linhas de Dois Terminais

Os resultados visam avaliar o desempenho dos algoritmos frente a variação dos vários fatores que estão envolvidos na ocorrência de um curto circuito na linha, tal como distância de falta, resistência de falta, tipo de falta, comprimento da linha e parâmetros dos equivalentes nos terminais da linha de transmissão.

##### 4.1.1 – Influência da Variação da Distância de Falta

Para análise da influência da variação da distância de falta, no desempenho dos algoritmos estudados, foram simulados casos de falta fase-terra e falta trifásica, para linha curta e longa, considerando em todos os casos uma resistência de falta de  $10 \Omega$ .

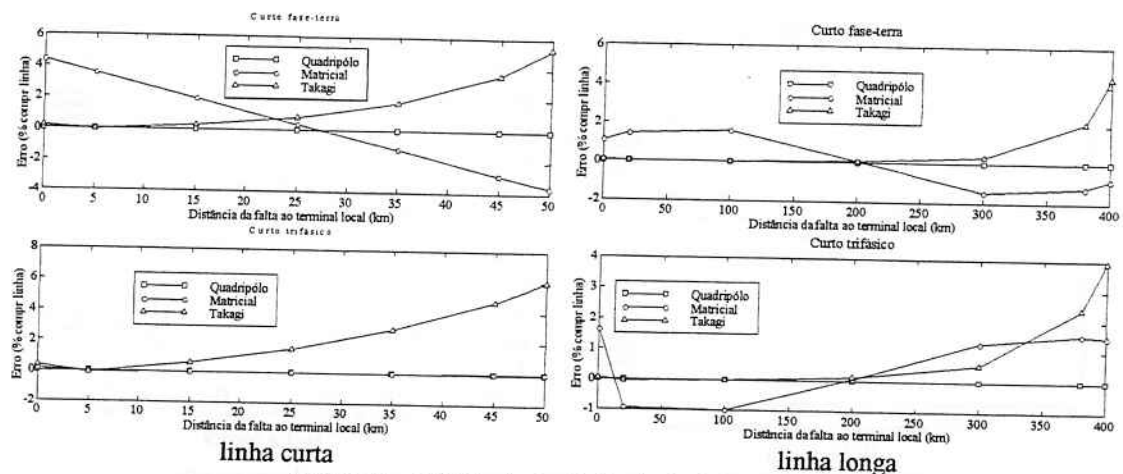


Figura 11 – Influência da distância de falta no erro

Pode-se verificar que o método com quadripólos é insensível à variação da distância de falta, enquanto o método matricial é preciso para faltas no meio da linha e o de Takagi é mais impreciso quanto mais distante do terminal local ocorre a falta.

#### 4.1.2 – Influência da Variação da Resistência de Falta

Foram simulados casos de falta fase-terra e falta trifásica, para linha curta e longa, com distância de falta de 35 km, para linha curta, e 300 km para linha longa. Foram consideradas resistências de falta de 0 a 40  $\Omega$ .

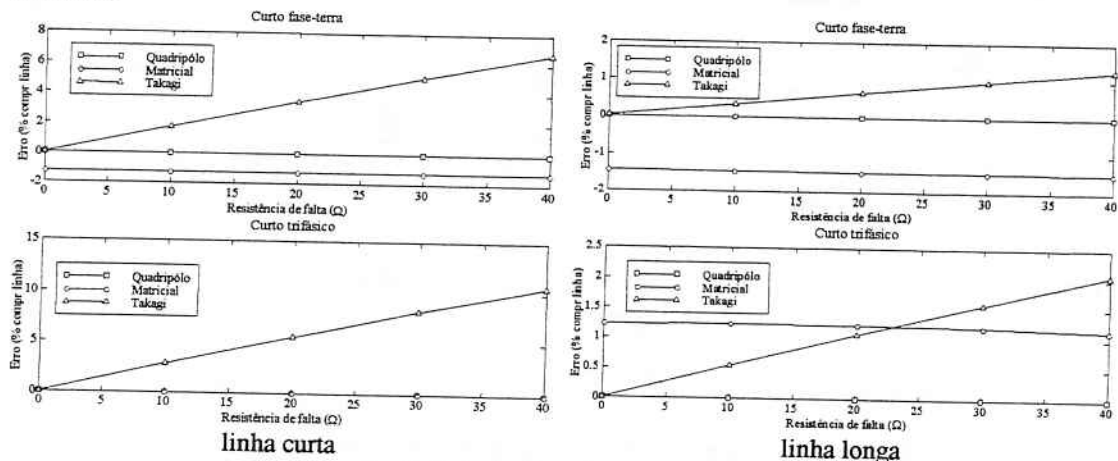


Figura 12 – Influência da resistência de falta no erro

Conforme visto nos gráficos acima, verifica-se que o método com quadripólos tem a precisão independente da resistência de falta, o mesmo acontece com o método matricial. Por outro lado, o método de Takagi é mais impreciso quanto maior é a resistência de falta.

#### 4.1.3 – Influência da Variação do tipo de falta

Foram simulados todos os tipos possíveis de falta, para linha curta e longa. Com distância de falta de 35 km, para linha curta, e 300 km para linha longa. Em todos os casos a resistência de falta era de 10  $\Omega$ .

O método com quadripólos também não apresenta variações na precisão com a mudança do tipo de falta. Para linhas curtas, o método matricial é preciso para faltas que não envolvem a terra. Quanto ao método de Takagi, verifica-se que é mais impreciso para faltas trifásicas.

#### 4.1.4 – Influência da Variação do Módulo da Impedância do Equivalente no Terminal Local

Foram simulados casos de falta fase-terra e falta trifásica, para linha curta e longa, com distância de falta de 35 km, para linha curta, e 300 km para linha longa. Os valores do módulo da impedância do equivalente no terminal local utilizados foram [0.2 0.5 1 2] pu do caso base, no qual o terminal local apresenta  $Pcc3\Phi=13 \angle 80^\circ$  GVA e  $Pcc\Phi t=14 \angle 82^\circ$  GVA.

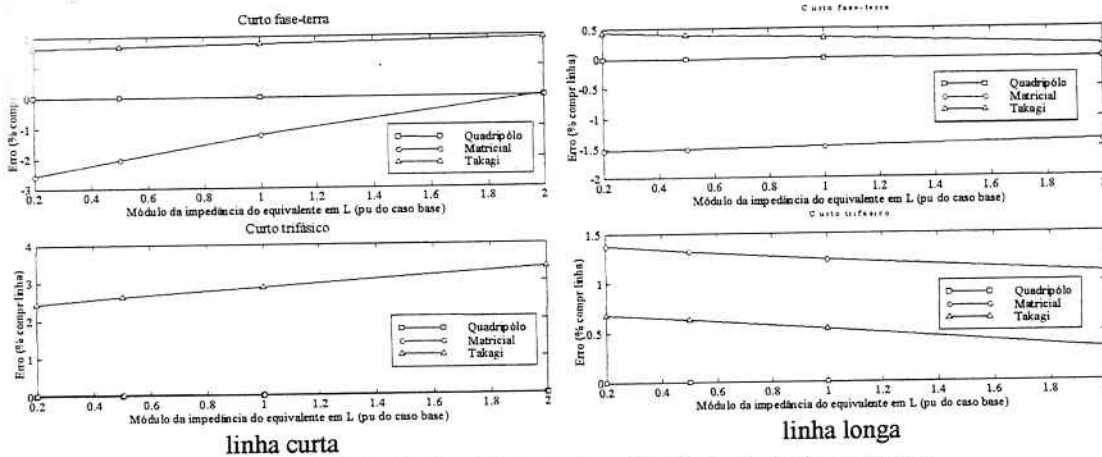


Figura 13 – Influência do módulo da impedância do equivalente no erro

A figura 13 mostra que a precisão dos métodos dependem pouco da variação do módulo da impedância do equivalentes.

**4.1.5 – Influência da Variação da Fase da Impedância do Equivalente no Terminal Local**

Foram simulados casos de falta fase-terra e falta trifásica, para linha curta e longa, com distância de falta de 35 km, para linha curta, e 300 km para linha longa. Utilizaram-se diferentes valores para a fase da impedância do equivalente no terminal local, mantendo-se o valor do módulo da impedância, isso corresponde a variar a componente resistiva.

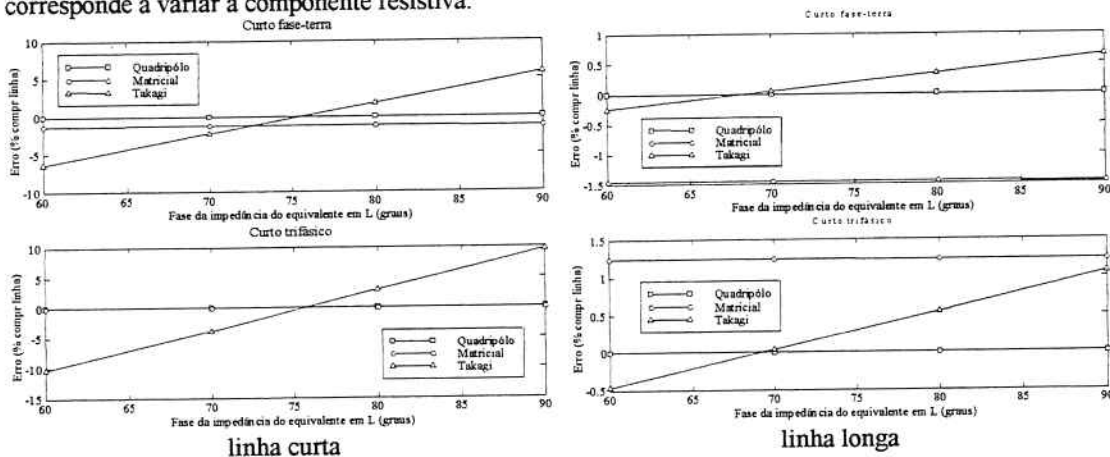


Figura 14 – Influência da fase da impedância do equivalente no erro

Verifica-se apenas o método de Takagi tem a precisão influenciada pelo valor da fase dos equivalentes nos terminais.

**4.1.6 - Algoritmo de sincronização dos dados**

Foi testado o algoritmo de sincronização dos dados dos terminais, para o método com quadripólos, simulando-se um uma falta fase-terra a 300 km do terminal local, com resistência de falta de 10 Ω.

atraso(graus)	distância de falta (km)	erro absoluto (km)	erro relativo (%)
0	299.97	-0.03	-0.01
-45	299.97	-0.03	-0.01
-90	299.96	-0.04	-0.01
-135	299.97	-0.03	-0.01
-180	299.99	-0.01	0.00
-225	299.99	-0.01	0.00
-270	300.02	0.02	0.00
-315	300.00	0.00	0.00

Tabela I – Influência da defasagem entre os dados do terminal local e remoto

## 4.2 – Resultados dos Testes Realizados para Linhas de Três Terminais

### 4.2.1 – Influência da Variação da Distância de Falta

Para esse teste foram simuladas faltas fase-terra e trifásica no trecho PT com resistência de falta de  $10 \Omega$ .

	distância de falta real (km)	distância de falta (km)	erro absoluto (km)	erro relativo (%)
falta fase-terra	0	-0.03	-0.03	-0.01
	20	19.97	-0.03	-0.01
	100	99.87	-0.13	-0.03
	200	200.05	0.05	0.01
	300	300.01	0.01	0.00
	380	379.95	-0.05	-0.01
	400	399.97	-0.03	-0.01
falta trifásica	0	-0.08	-0.08	-0.02
	20	19.93	-0.07	-0.02
	100	99.97	-0.03	-0.01
	200	200.02	0.02	0.00
	300	300.00	0.00	0.00
	380	379.98	-0.02	0.00
	400	400.00	0.00	0.00

Tabela II– Influência da variação da distância de falta (linha de três terminais)

Da tabela acima pode-se verificar que o método é bastante preciso, obtendo a distância de falta com um erro máximo de 80 m. Foi verificado que o grau de precisão do método independe da variação, para variação de parâmetros como resistência de falta, tipo de falta, equivalentes, etc., não sendo por isso mostrados esses resultados.

### 4.2.2 – Teste do Algoritmo de Sincronização de Dados

O teste do algoritmos de sincronização foi feito para o caso de falta fase-terra no trecho P-T da linha, com resistência de falta de  $10 \Omega$ , a 300 km do terminal P.

atraso Q-P (graus)	atraso R-P (graus)	distância de falta (km)	erro absoluto (km)	erro relativo (%)
45	45	299.93	-0.07	-0.02
90	45	299.78	-0.22	-0.05
180	45	299.98	-0.02	-0.01
270	45	299.92	-0.08	-0.02
45	90	299.90	-0.10	-0.02
90	90	299.76	-0.24	-0.06
180	90	299.96	-0.04	-0.01
270	90	299.90	-0.10	-0.03
45	180	299.94	-0.06	-0.01
90	180	299.80	-0.20	-0.05
180	180	299.99	-0.01	0.00
270	180	299.94	-0.06	-0.02
45	270	299.94	-0.06	-0.01
90	270	299.80	-0.20	-0.05
180	270	300.00	0.00	0.00
270	270	299.94	-0.06	-0.02

Tabela III – Influência da defasagem entre os dados dos terminais P,Q e R

Os resultados mostram que mesmo no caso de utilização de dados não sincronizados a precisão do método é mantida.

## 5. Conclusões

O presente trabalho abordou a localização de faltas em linhas de transmissão de alta tensão, analisando as funções do localizador que podem ser implementadas computacionalmente, que são a filtragem digital para a obtenção dos fasores a 60 Hz, e o cálculo da distância de falta.

Quanto à filtragem digital, verificou-se que o maior obstáculo encontrado para a obtenção de estimativas precisas dos fasores de 60 Hz, é a presença da componente contínua, após a ocorrência da falta, nas formas de onda de tensão e muito mais significativamente nas formas de onda de corrente. Nesse contexto, os filtros que apresentaram melhor desempenho foram o filtro baseado no MMQ em série com filtro passa-baixas digital e o filtro TDF em série com o filtro "off-set".

Os resultados mostram que os métodos de localização de faltas mais precisos são os que foram obtidos a partir do equacionamento das tensões e correntes nos terminais da linha, com o uso de quadripólos e que modelam as linhas considerando parâmetros distribuídos, neste trabalho correspondem ao método denominado quadripólo, para linha de dois terminais [4], e ao método para localização de falta em linhas de três terminais [7], para os quais o erro no valor obtido da distância de falta, não ultrapassa 0.1 % em nenhum caso, sendo sua precisão independente dos diversos fatores analisados, tais como distância de falta, resistência de falta e não sincronização entre os dados dos terminais.

O método proposto por Takagi [5], é mais preciso para faltas próximas ao terminal local. Quanto ao tipo de falta, o método apresenta os piores resultados para faltas trifásicas, que são as de ocorrência menos provável em linhas de alta tensão. Esse método não apresenta grande diferença de desempenho quanto aplicado a linhas curtas ou longas, devido ao fato de modelar a linha com parâmetros distribuídos, considerando a capacitância e a influência do comprimento com correções hiperbólicas. Por outro lado, devido às aproximações utilizadas, o método é bastante sensível ao aumento da resistência de falta, apresentando erros de até 10.62 % (falta trifásica, resistência de falta de 40  $\Omega$  e distância de falta de 35 km), e também a variações no valor de impedância dos equivalentes nos terminais da linha.

O método com uso de matrizes trifásicas [6], apresentou maiores imprecisões para o caso de linha longa, devido ao fato de não considerar correções hiperbólicas nem a capacitância da linha. A variação da resistência de falta, do tipo de falta e dos valores de impedância dos equivalentes, não mostrou influência significativa na precisão, valendo ressaltar que esse método não usa hipóteses simplificadoras relacionadas a esses fatores.

A análise dos resultados permite concluir que a precisão dos métodos de localização de falta, é pior quando as condições de ocorrência da falta e da configuração da rede se afastam das hipóteses e aproximações consideradas. Nesse contexto, os métodos mais precisos são os obtidos a partir de um modelamento mais completo da linha e que não consideram hipóteses simplificadoras no equacionamento.

## Referências Bibliográficas

- [1] PHADKE, A. G. ; THORP, J. S. Computer Relaying for Power Systems. Tauton, Research Studies Press, 1988.
- [2] RAMOS, D. S.; DIAS, E. M. Sistemas Elétricos de Potência: Regime Permanente, v. 1, Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982.
- [3] OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1975.
- [4] JOHNS, A. T.; JAMALI, S. Accurate Fault Location Technique for Power Transmission Lines. IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, v. 137, n. 6, p. 395-402, 1990
- [5] TAKAGI, T. et al. Development of a New Type Fault Locator Using the One-Terminal Voltage And Current Data. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. 101, n 8, p. 2892-2898, Aug. 1981
- [6] GIRGIS, A.A.; HART, D.G.; PETERSON, W.L. A New Fault Location Technique for Two and Three-Terminal Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 7, n. 1, p. 98-107, Jan. 1992
- [7] AGGARWAL, R.K.; et al. A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 8, n. 3, p. 874-83, July 1993
- [8] SACHDEV, M. S.; NAGPAL, M. A Recursive Least Squares Algorithm for Power System Relaying and Measurement Applications IEEE Transactions on Power Delivery, v. 6, n. 3, p. 1008-1015, Jul. 1991
- [9] SANTANA, N. N. Pré-Filtragem da Componente Aperiódica Exponencial para Algoritmos Utilizados em Relés Digitais de Distância. dissertação (mestrado), São Paulo, EPUSP, 1998.

## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BÉLICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abrigadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÓES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENGER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENGER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaio para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodoviar - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIUS CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELLICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobretensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO





