

# Localização de Faltas em Sistemas de Transmissão de Alta Tensão a partir de Registros Oscilográficos Usando Análise de Componentes Independentes

A. R. Almeida<sup>1</sup>, O. M. Almeida<sup>1</sup>, J. P. Silva<sup>1</sup>, M. H. S. Alves<sup>1</sup>, F. C. M. Abreu<sup>2</sup>

**Resumo**— Vários métodos de localização de faltas usando técnicas de inteligência computacional têm sido usados para estimar a localização de faltas em linhas de transmissão. Uma das fontes de informação para estes métodos são as Ondas Viajantes geradas no momento em que ocorre a falta. Quando as Ondas Viajantes são utilizadas, o principal problema é encontrar a segunda Onda Viajante reversa a partir de diferentes sinais de perturbação. Este trabalho apresenta um novo método baseado na utilização da técnica de processamento de sinais Análise de Componentes Independentes (ACI) para estimar a localização de faltas monofásicas em um sistema de transmissão de 500 kV, a partir de dados reais de oscilografia submetidos a diferentes sinais de perturbação. Resultados obtidos com dados reais de oscilografia e simulação da linha de transmissão mostram que a metodologia implementada pelo software Matlab é uma ferramenta bastante eficiente e precisa na localização de faltas em sistemas de transmissão.

**Palavras-chave**—Localização de Faltas, Análise de Componentes Independentes, Ondas Viajantes, Processamento Digital de Sinais, Sistemas de Transmissão de Alta Tensão.

## I. INTRODUÇÃO

Considerável atenção tem sido dada à utilização da teoria das Ondas Viajantes em associação com técnicas de processamento digital de sinais para detectar e estimar a localização de faltas em linhas de transmissão de energia elétrica. A localização de faltas com precisão adequada auxilia o setor de operação do sistema elétrico, diminui o tempo de ocorrência e contribui para a qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica.

As técnicas de localização de falta tradicionais são baseadas em duas categorias: as técnicas baseadas em componentes da frequência fundamental do sistema elétrico e as técnicas baseadas em alta frequência.

As técnicas de frequência fundamental são baseadas em modelos de linhas de parâmetros distribuídos que leva em consideração o efeito da capacitância da linha e da impedância característica da linha, sendo que estas técnicas, normalmente, não apresentam bons resultados de precisão na localização de faltas devido a erros ocasionados pelo efeito combinado de corrente de carga, resistência do ponto de falta e ângulo de incidência da falta [3].

As técnicas de alta frequência são baseadas nas componentes de alta frequência dos transitórios, dentre elas destaca-se as técnicas baseadas na teoria das Ondas Viajantes. Estas técnicas geralmente usam informações extraídas dos transitórios de corrente e tensão e do ângulo de incidência da falta e podem ser usadas para encontrar a causa e natureza da falta de forma eficiente.

A literatura tem demonstrado que para determinar a localização e classificação das faltas com boa eficiência, abordagens que combina técnicas de inteligência computacional com técnicas de processamento digital de sinais tem sido utilizadas [4][5]. Métodos baseados na Correlação Cruzada, na Transformada Wavelet associados a Redes Neurais tem sido usados [6]. Entretanto, o desempenho do processo de Correlação Cruzada depende da impedância da falta e do modo de propagação em sistemas trifásicos, enquanto, a Transformada Wavelet fazem uso das componentes de frequência do sistema para o processamento do sinal. Deve-se observar que a eficiência destas técnicas está associado a taxa de amostragem do sinal de forma que quanto maior a taxa, mais informações podem ser extraídas [7].

Com relação às Redes Neurais, a principal dificuldade prática consiste na necessidade de um treinamento da Rede Neural para cada linha de transmissão [8].

Este trabalho propõe uma metodologia baseada na técnica de ACI em conjunto com a filtragem adaptativa segundo [9] para encontrar a distância de faltas monofásicas. Para isto utiliza-se dados reais de oscilografia de uma linha de transmissão de energia elétrica de tensão de 500 kV de um

Este artigo foi realizado em parceria com a Eletrobras-Chesf.

<sup>1</sup>O Autor é professor do departamento de engenharia elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: [aryfrance@ufpi.edu.br](mailto:aryfrance@ufpi.edu.br)).

<sup>1</sup>O Autor é professor do departamento de engenharia elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: [otacilio@ufpi.edu.br](mailto:otacilio@ufpi.edu.br)).

<sup>1</sup>A Autora é aluna de graduação do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: [jaynnepeessoa@hotmail.com](mailto:jaynnepeessoa@hotmail.com)).

<sup>1</sup>O Autor é aluno de graduação do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: [marcos.hsalves@gmail.com](mailto:marcos.hsalves@gmail.com)).

<sup>2</sup>O Autor é professor do departamento de engenharia elétrica da Faculdade Santo Agostinho (FSA) (e-mail: [carlosm.abreu@yahoo.com.br](mailto:carlosm.abreu@yahoo.com.br)).

sistema elétrico real e de grande porte. Para o tratamento do sinal foi adicionado aos sinais transitórios de faltas ao longo da linha de transmissão outras perturbações com característica de ruído branco gaussiano não correlacionado com o sinal desejado na localização da distância da falta.

## II. LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

A Teoria das Ondas Viajantes mostra que a ocorrência de uma falta produz ondas de tensão que se propagam a partir do ponto de defeito nos dois sentidos da linha. Ao encontrar uma descontinuidade essas ondas se refletem e retornam ao ponto de defeito, onde haverá novas reflexões. Uma maneira prática de abordar o problema é através do Diagrama de Lattice, como apresentado na Fig. 1.

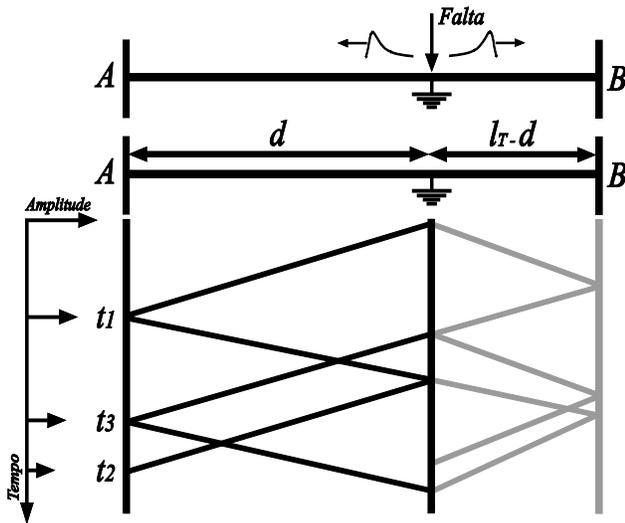


Fig. 1. Diagrama de Lattice.

A distância de uma falta em relação a um ponto de referência ou de medição A até a metade da linha pode ser calculado por:

$$d = \frac{v(t_2 - t_1)}{2} \quad (1)$$

Em que  $v$  é a velocidade de propagação das ondas;  $t_1$  é o tempo de propagação da primeira frente de onda originada no ponto de falta até o terminal A;  $t_2$  é o tempo de propagação considerando-se o tempo de retorno dessa primeira onda até o ponto de falta e desse ponto novamente ao terminal de origem segundo [10].

Sabe-se que, por causa do acoplamento mútuo nas linhas de transmissão, existirão diferentes modos de propagação das ondas no caso de faltas aterradas, normalmente um modo terra  $v_0$  e dois modos aéreos  $v_1$  e  $v_2$ . Esses modos de propagação podem ser separados com o uso de transformações modais como, por exemplo, a transformada de Clarke ou Whedepohl, segundo [11].

Uma vez separados, utiliza-se a velocidade do modo aéreo para o cálculo da distância da falta, que possui velocidade de propagação próxima à velocidade da luz, ou seja,  $3 \times 10^8$  m/s. Esses modos de propagação têm velocidades e atenuações e

consequentemente conduzem a efeitos de dispersão sobre frentes de ondas descritas pelas componentes de fase.

Para sistemas com linhas transpostas, os dois modos aéreos têm a mesma impedância característica e velocidade de propagação. No caso das faltas aterradas como, por exemplo, faltas monofásicas, as ondas refletidas no terminal remoto e refratadas no ponto de falta não podem ser mais desprezadas e duas diferentes condições devem ser consideradas: As faltas na primeira metade da linha e as faltas da segunda metade da linha.

Faltas na primeira metade da linha: a distância pode ser calculada pela Equação (1), após a obtenção do intervalo de tempo entre duas primeiras ondas que chegam ao terminal de medição.

Faltas na segunda metade da linha: nestes casos a primeira onda refletida no terminal remoto e refratada no ponto de falta chegará antes da segunda onda direta refletida no ponto de falta, como apresentado no diagrama de Lattice da Fig. 1. Sendo assim, a distância  $d$  pode ser calculada pela Equação (2), onde  $l_t$  é o comprimento da linha de transmissão.

$$d = l_t - \frac{v(t_3 - t_1)}{2} \quad (2)$$

A metade faltosa da linha pode ser determinada a partir de medições e comparações dos intervalos de tempo das duas primeiras frentes de ondas que chegam à barra de medição A e na barra remota B.

O principal problema na localização de falta pelas Ondas Viajantes é encontrar a segunda onda viajante reversa que reflete no ponto de medição a partir de diferentes ângulos de faltas e de impedância de falta fazendo com que índices de reflexão e refração mudem influenciando nos transitórios gerados pela falta, consequentemente podendo influenciar na sua localização quando submetidas a muitos sinais relacionados com os distúrbios, mas não correlacionados com o sinal de falta desejado.

## III. ANÁLISE DE COMPONENTES INDEPENDENTES

A Análise de Componente Independente (ACI) é um método de análise proposto por Jutten e Herault a partir de 1985. É uma extensão da Análise de Componente Principal (PCA) que vem sendo estudada no contexto de separação cega de fonte (BBS) de suas misturas lineares, usando independência estatística como critério de separação cega de fontes sem o conhecimento dos coeficientes de mistura, nem a provável distribuição das fontes do sinal.

A estimação dos modelos de dados da ACI é executada geralmente formulando uma função objetiva (ou de contraste) e algoritmo de otimização, onde as propriedades estatísticas (consistência, robustez e variação assintótica do modelo de ACI) dependem da escolha da função objetiva e, as propriedades algorítmicas (velocidade de convergência, capacidade de memória e estabilidade numérica) dependem do algoritmo de otimização.

Na simples forma de ACI observam-se  $m$  variáveis

escalares aleatórias  $x_1, x_2, \dots, x_m$  as quais são assumidas serem uma combinação linear de  $n$  desconhecidas componentes independentes, e possuem média zero. Além de que deve-se assumir  $n \leq m$  conforme [11]. Organizando as variáveis observadas  $x_i$  no vetor  $x=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  e as variáveis  $s_i$  no vetor  $s$ , respectivamente; pode-se então escrever a relação linear como:

$$x=As \quad (3)$$

Sendo  $A$ , uma matriz  $m \times n$  de rank completo, chamada de matriz de mistura e  $s$  são as variáveis  $s_i$ . O problema de ACI é então estimar as componentes independentes  $s_i$ , a partir de misturas  $x_m$ , o que corresponde a estimar os padrões dos sinais de falta chamadas de Funções Base ou equivalentemente, estimar a mistura  $A$ .

A fundamental restrição do modelo é que pode somente estimar as componentes independentes não gaussianas. Por conveniência matemática, define-se aqui que a componente independente  $s_i$  tem variância unitária.

O problema de estimar a matriz  $A$  na Equação (3) pode ser um pouco simplificado ao se executar um pré-embranqueamento do dado  $x$ , segundo [12].

O vetor observado  $x$  é linearmente transformado para o vetor:

$$v=Mx \quad (4)$$

Tal que seus elementos  $v_i$  são mutuamente decorrelacionados e todos tem variância unitária. Assim a matriz de correlação de  $v$  é igual a unidade:

$$E\{xx^T\}=I \quad (5)$$

Em geral, esta transformação é sempre possível e pode ser realizada pela Análise de Componente Principal (PCA). Ao mesmo tempo, a dimensionalidade dos dados é reduzida de forma que a dimensão do vetor transformado  $v$  igualar-se-ia ao número de componentes independentes,  $n$ , sendo que isto também tem o efeito de reduzir o ruído.

Depois da transformação, tem-se que:

$$v=Ms=MA s \quad (6)$$

Supondo que  $B=MA$  é uma matriz ortogonal devido às suposições sobre as componentes  $s_i$ , tal que:

$$E\{vv^T\}=BE\{ss^T\}B^T=BB^T=I \quad (7)$$

Assim reduz-se o problema de encontrar uma matriz arbitrária  $A$  de rank completo para o problema de encontrar uma matriz ortogonal  $B$ . Nesse caso tem-se que:

$$s=B^T v \quad (8)$$

Se a  $i$ -ésima coluna de  $B$  é denotada  $b_i$ , então a  $i$ -ésima componente independente ou Funções Base podem ser calculadas pela observação de  $v$  como  $s_i=(b_i)^T v$ .

#### IV. ALGORITMOS DE ACI

Os atuais algoritmos de ACI podem ser divididos em duas categorias. Os algoritmos da primeira categoria baseiam-se em computação batch minimizando ou maximizando alguns relevantes critérios de funções. O problema com estes algoritmos é que eles requerem operações matriciais complexas [13].

A segunda categoria inclui algoritmos adaptativos frequentemente baseados no método do gradiente estocástico, cuja estrutura destes algoritmos pode ser alterada ou ajustada de tal forma que o comportamento ou desempenho satisfaça algum critério desejado, podendo ser treinados para executar uma filtragem específica e tomar decisões.

Uma maneira de estimar o método de ACI é encontrar uma transformação que minimize a informação mútua entre as componentes, onde a informação mútua é uma medida natural da dependência entre as variáveis aleatórias.

Após escolher um princípio de estimação para ACI, necessita-se de um método prático para sua execução. E muitos são os algoritmos para ACI com características distintas, baseadas na estabilidade e na velocidade de convergência. Alguns exemplos disponíveis são: algoritmo Héault-Jutten, algoritmo de decorrelação linear, algoritmo para máxima probabilidade ou estimação infomax e algoritmos adaptativos [14] e [15].

A Fig. 2 apresenta o diagrama de blocos do fluxograma proposto usando a técnica de Análise de Componentes Independentes com sistemas adaptativos para localizar a falta.

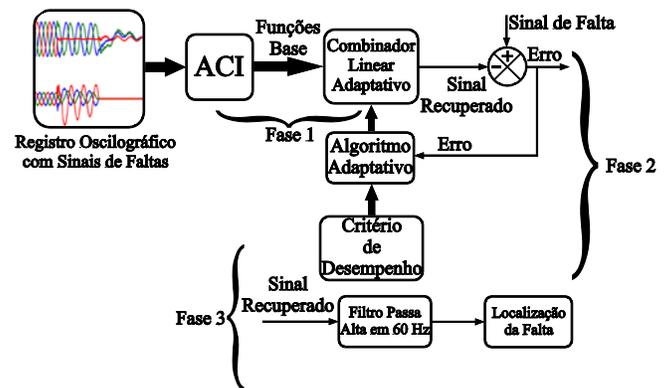


Fig. 2. Fluxograma proposto implementado usando a técnica de ACI no Matlab.

A Fase 1 representa a extração das Funções Base ou padrões de sinais originais de faltas monofásicas obtidas pelo oscilógrafo e perturbações submetidas a variações das distâncias ao longo da linha de transmissão usando a técnica de Análise de Componentes Independentes. A Fase 2 representa a recuperação do sinal original de falta a partir de um sistema adaptativo baseado no gradiente estocástico e no subespaço de faltas gerados pelas Funções Base.

A Fase 3 representa a localização da distância da falta através da análise das Ondas Viajantes recuperadas ou sinais transitórios de alta frequência.

V. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ACI COM DADOS REAIS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Com relação ao sistema elétrico de transmissão em condição faltosa, dispõe-se de dados reais fornecidos pela Eletrobras-Chesf cujo armazenamento do conjunto de dados reais foi realizado pelo software Matlab [16].

A técnica de ACI proposta para resolver o problema de localização de faltas foi aplicada a um problema real de uma linha de 500 kV, usando dados de oscilografia [17].

De forma a validar a técnica de ACI, foram usadas 4000 diferentes situações de falta monofásica encontradas nos dados de oscilografia, de uma linha de transmissão de 500 kV sendo que o seu conjunto de dados constituem-se de (400 situações de falta para cada 10 tipos de relação sinal-ruído SNR), tais situações foram usadas para extração das Funções base.

A Fig. 3 apresenta o diagrama unifilar do sistema elétrico de transmissão de 500 kV, indicado pela seta uma linha de 50 km que interliga uma subestação de Teresina II a Sobral III (TSD-SBT). O trecho indicado apresenta uma falta monofásica na linha de Transmissão de 500 kV, e a Fig. 4 apresenta o sinal transitório de falta monofásica armazenado num oscilógrafo amostrado numa frequência de 351.717 Hz num intervalo de 3 segundos.

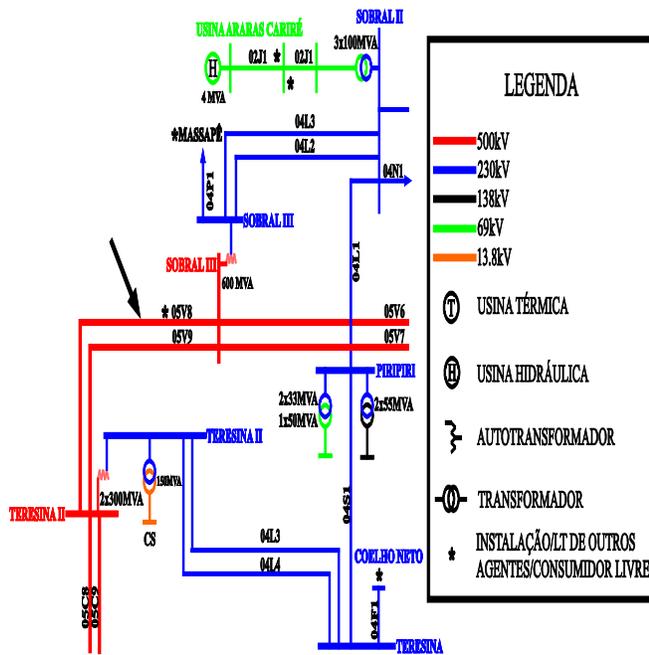


Fig. 3. Sistema de Transmissão de 500 kV.

VI. RESULTADOS

A Fig. 4 apresenta o sinal transitório de uma das faltas monofásicas, consideradas para a validação da proposta. Nesse caso a falta ocorreu a 23 km em uma linha de transmissão de 500 kV que interliga as subestações (TSD-SBT). Pode-se observar da Fig. 4, os tempos de propagação de onda  $t_1$  e  $t_2$  que foram utilizados para o cálculo da localização da falta conforme a teoria das Ondas Viajantes. Na Fig. 5 apresenta-se

o sinal de falta monofásico adicionado com um ruído branco gaussiano de relação sinal-ruído (SNR) de 30 dB e na Fig. 6 com uma SNR de 60 dB e na Fig. 7 com uma SNR de 100 dB.

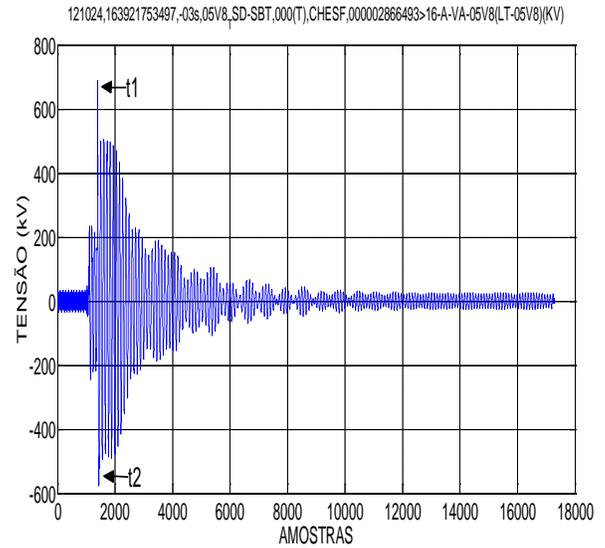


Fig. 4. Sinal transitório de uma falta monofásica de registro oscilográfico.

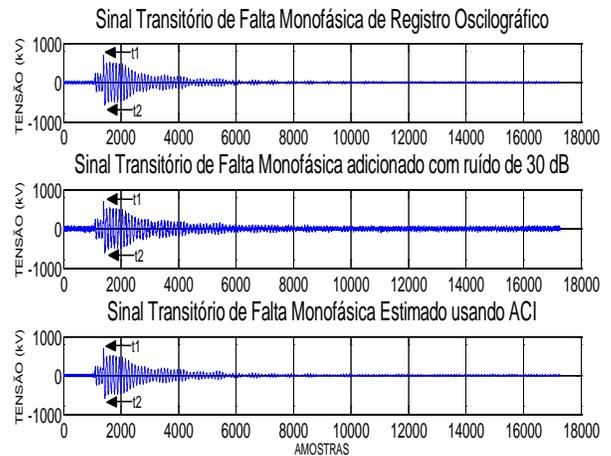


Fig. 5. Sinal transitório de uma falta monofásica recuperado com ruído de 30dB.

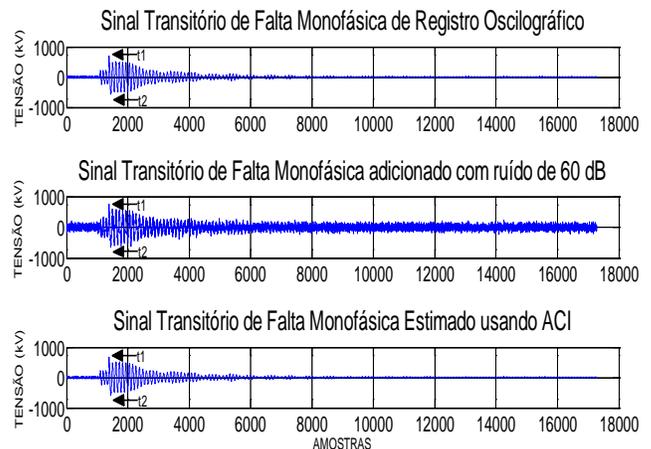


Fig. 6. Sinal transitório de uma falta monofásica recuperado com ruído de 60dB.

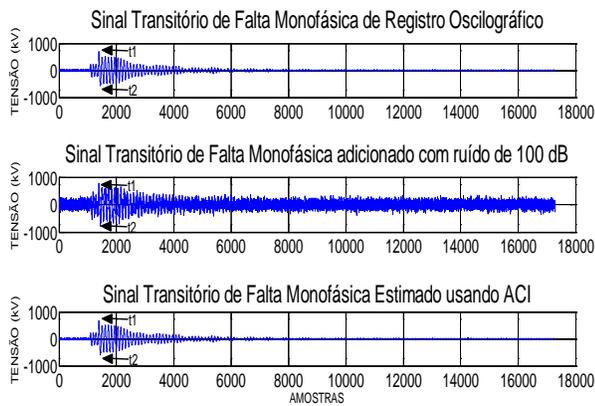


Fig. 7. Sinal transitório de uma falta monofásica recuperado com ruído de 100dB.

A Tabela 1 apresenta os resultados da técnica de ACI na localização da distância através dos cálculos do erro médio para diferentes números de Funções Base dos sinais de faltas monofásicas submetidas a diferentes valores de SNR e para a distância entre a linha real de transmissão de 500 kV para uma falta monofásica na fase A terra (AT). O erro percentual e médio é mostrado no lado direito de cada coluna da Tabela 1, sendo definido de acordo com as Equações (9) e (10), onde N é o número de situações encontradas e  $l_{LT}$  é o comprimento da linha de transmissão entre a subestação de TSD-SBT de 500 kV que é de 50 km.

$$Erro\% = \left| \frac{d_{estimado} - d_{real}}{l_{LT}} \right| \times 100\% \quad (9)$$

$$Erro\_medio = \frac{\sum_{i=1}^N Erro\%}{N} \quad (10)$$

TABELA 1  
Localização de uma falta monofásica (AT) a uma distância de 23 km que interliga a subestação TSD-SBT.

SNR	12	8	3	Erro (%)	Erro (%)	Erro (%)
	Funções Base	Funções Base	Funções Base			
	localização Estimada 100 kHz	localização Estimada 200 kHz	localização Estimada 400 kHz	Erro (%) 100 kHz	Erro (%) 200 kHz	Erro (%) 400 kHz
10 dB	21,15 km	22,35 km	23 km	3,2	1,3	0
20 dB	21,15 km	22,35 km	23 km	3,2	1,3	0
30 dB	21,15 km	22,05 km	23 km	3,2	1,9	0
40 dB	21 km	22,05 km	23 km	4	1,9	0
50 dB	21 km	22,05 km	22,75 km	4	1,9	0,5
60 dB	21 km	22 km	22,75 km	4	2	0,5
70 dB	20,35 km	22 km	22,75 km	5,3	2	0,5
80 dB	20,35 km	22 km	22,75 km	5,3	2	0,5
90 dB	20,35 km	22 km	22,75 km	5,3	2	0,5
100 dB	20,35 km	22 km	22,75 km	5,3	2	0,5
Erro médio (%)				4,43	1,83	0,30

## VII. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Observando as Figs. 5, 6, 7 e a Tabela 1 foram analisadas as faltas monofásicas na localização de 23 km numa linha de transmissão entre as subestações TSD-SBT. Pode-se verificar que a distância da falta, com respeito à influência do sinal transitório da falta quando submetido a diferentes valores de SNR com o objetivo de dificultar a filtragem e estimação da localização da falta. Os testes demonstraram que o algoritmo conseguiu estimar a localização encontrando o primeiro e o segundo tempo de propagação da Onda Viajante. Foram alcançados resultados bastante satisfatórios para sua localização, mesmo para faltas submetidas a poucas Funções Base obtidas pela técnica de Análise de Componentes Independentes e altos valores de SNR de 100 dB.

A taxa de amostragem tem uma importante influência no desempenho do algoritmo. Verifica-se que a precisão do algoritmo está diretamente relacionada a um menor número de Funções Base e quanto maior a taxa amostral, maior será a precisão do algoritmo para uma menor quantidade de Funções Base.

De um modo geral observa-se que o algoritmo se mostra robusto a sinais com ruídos de até 100 dB, possibilitando encontrar a segunda Onda Viajante reversa. Os baixos erros médios verificados pelos sinais transitórios de falta quando submetidas a altas taxas de amostragem comprovam a validade e a confiabilidade da técnica de ACI na localização de faltas em sistemas de transmissão real.

Uma série de testes foi ainda realizada com o intuito de se verificar o desempenho e a precisão do algoritmo proposto sobre a influência da falta monofásica a outros tipos de sinais não correlacionados com o sinal original. Nestes testes verifica-se que o erro médio ficou dentro de 1% na taxa amostral de 400 kHz.

O algoritmo apresenta desempenho bastante satisfatório devido aos baixos erros medidos possibilitando uma boa precisão na estimação da localização da falta. A técnica de Análise de Componentes Independentes em conjunto com a filtragem adaptativa de sinais usando a da teoria das Ondas Viajantes apresenta vantagens quando comparado com outros tipos de algoritmos da literatura [8].

Avanços podem ser feitos no estudo do método proposto procurando estendê-lo no sentido de:

- Localizar faltas bifásicas, bifásicas-terra e trifásicas.
- Classificar e detectar faltas usando ACI.
- Utilizar de dados de transitórios de sinais de corrente elétrica e localizar faltas em tempo real.
- Aplicar o método proposto com outras técnicas de processamento digital de sinais.

## VIII. AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a empresa Eletrobras-Chesf pela parceria em trabalhos conjuntos e ao grupo de Programa de Educação Tutorial – PET da Universidade Federal do Piauí – UFPI e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará – UFC.

## IX. REFERÊNCIAS

*Periódicos:*

- [1] Mann, B. J., Morrison, I. F. "Digital Calculation of Impedance for Transmission line protection", *IEEE Trans. PAS 901 (1971)*, pp. 270-279.
- [2] Takagi, T., Yamakoshi, Y., Baba, J. Uemura, K., Sakaguchi, T. "A New Algorithm of An Accurate Fault Location for EHV/UHV Transmission Lines, Part I: Fourier Transform Method", *IEEE Trans. Power Appar. Syst. PAS-100, 3, (1981)*, pp. 1316-1322.
- [3] E. H. Shehab-Eldin, P. G. Maclaren, "Travelling Wave Distance Protection – Problem Areas e Solutions", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 3, pp. 894-902, July 1988.
- [4] F. B. Costa, B. A. Souza, and N. S. D. Brito, " A wavelet-based algorithm to analyze oscilographic data with single and multiple disturbances," *IEEE PES General Meeting, Pittsburg, USA, jun 2008*.
- [5] E. K. Dutta, P. B. Dutagupta "Novel Signal Processing Techniques for fault Detection and Location in HV Subtransmission and Transmission Lines" *IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong, December 1993.
- [6] S. P. Márcio, R. Seara, and Z. H. Helmur, "Localização de Faltas por Ondas Viajantes - Uma abordagem Baseada em Decomposição Wavelet". XVI SNPTEE, Campinas, São Paulo-Brasil, Outubro 2001.
- [7] O. A. A. Elmubark, "Fault Detection, Classification and Location in Power Transmission Line Using Artificial Neural Network," MSc. Dissertation, Dept. Elec. Eng., Sudan Univ. of Sci. & Tech. Khartoum, March 2011.
- [8] Costa, F. B, Brito, N. S. D, and Sousa, B. A, "Detecção de Faltas evolutivas e múltiplos distúrbios em registros oscilográficos baseada na Transformada Wavelet discreta" *In: Revista Controle & Automação/vol.21 no 2./Março e Abril 2010..*
- [9] Barros, A. K., E. Nascimento, and N. Ohnishi, "Single Channel Speech Recovery by coding" *In: International Joint Conference on Neural Networks*, p. 85-88, Budapest 2004.
- [10] R. Kamyab Moghadas and S. Gholizadeh " A New Wavelet Back Propagation Neural Networks for Structural Dynamics Analysis" *IAENG, Engineering Letters*, February 2008.
- [11] E. Clarke, *Circuit Analysis of AC Power Systems*, vol. I. New York: Wiley, 1950, p. 81.
- [12] Hyvarinen, A. and E. Oja, "Independent Component Analysis: Tutorial," 1999.
- [13] Comon, P., "Independent Component Analysis a new concept?" *Signal Processing*, 36: 287-314, 1994.
- [14] Hyvarine, A. and E. Oja, "A Fast Fixed-Point Algorithm for Independent Component Analysis," 1997.
- [15] A. Hyvarinen and P. Hoyer, and J. Hurri. "Image feature extraction by sparse coding and independent component analysis." *In Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR'98)*, pages 1268-1273C, Brisbane, Australia, 1998.
- [16] Martí, J. R., "Accurate Modeling of Frequency Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol, PAS-101, no. 1, pp 147-155, jan 1982.
- [17] Operador Nacional do Sistema – ONS, "Requisitos Mínimos para linhas de Transmissão, Sub-módulo 24", Procedimentos de Rede, revisão 2, 2002, Brasil.