

# APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA WAVELET AO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO HVDC

NATHALIA P. DE SOUZA, VITOR BASSO, MURILO DA SILVA

*Departamento Acadêmico de Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
86300-000, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil*

*E-mails: nathaliasouza@alunos.utfpr.edu.br, vitorbassoxp@hotmail.com,  
muriilosilva@utfpr.edu.br*

**Abstract**— The implementation of High Voltage Direct Current electric power transmission lines has attracted studies for the development of new tools and equipment to aid in the protection, operation and compensation of these systems, highlighting the importance of locating occurrences of transmission line faults of its great extent. Given the above, this paper aims to present a study for fault location at High Voltage Direct Current transmission lines based on the concept of traveling waves using data recorded at the two terminal of the system. This study proposes the application of the Wavelet Transform to characterize and detect the instant of arrival of the voltage waves in the power system terminal from a faulty situation and thus estimate the distance of occurrence of this fault. The system used was developed in the ATPDRAW based on the Brazilian HVDC system that interconnects Porto Velho-RO to Araraquara-SP.

**Keywords**— High Voltage Direct Current, Fault Location, Transmission Lines, Travelling Waves, Wavelet Transform.

**Resumo**— O crescimento da implementação das linhas de transmissão de energia elétrica *High Voltage Direct Current* (HVDC) tem atraído estudos para o desenvolvimento de novas ferramentas e equipamentos que auxiliem na proteção, operação e compensação destes sistemas, destacando-se neste cenário, a importância da localização de ocorrências de faltas nas linhas de transmissão de grande extensão. Dado o exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo para localização de faltas em linhas de transmissão *High Voltage Direct Current* (HVDC) fundamentado no conceito de ondas viajantes, utilizando dados registrados nos dois terminais do sistema. Este estudo propõe a aplicação da Transformada *Wavelet* para caracterizar e detectar o instante de chegada das ondas de tensão nos terminais do sistema de potência, oriundas de uma situação faltosa e, assim, estimar a distância de ocorrência desta falta. O sistema utilizado para teste foi desenvolvido no ATPDRAW, com base no sistema HVDC brasileiro que interliga Porto Velho-RO a Araraquara-SP.

**Palavras-chave**— *High Voltage Direct Current*, Linhas de Transmissão, Localização de Faltas, Transformada *Wavelet* e Ondas Viajantes.

## 1 Introdução

O desenvolvimento econômico e social de um país está atrelado entre outros fatores à disponibilidade da energia elétrica. Desta maneira, os Sistemas Elétricos de Potência (SEP), em suas etapas de geração, transmissão e distribuição devem garantir um alto grau de confiabilidade e conformidade do fornecimento da energia elétrica (Silva *et al*, 2006).

Desde os primeiros SEPs do mundo, para o transporte dos centros de geração até os consumidores finais, utilizou-se muito das linhas de transmissão em corrente alternada, dado a facilidade de conversão da energia e o menor custo do sistema. Todavia, em 1954, os sistemas de Alta Tensão em Corrente Contínua ou *High Voltage Direct Current* (HVDC) passaram a ser implantados no mundo com a implantação da primeira linha de transmissão HVDC em Gotland 1, na Suécia (Rudervall *et al*, 2000).

Embora o uso de transmissão HVDC apresente diversas vantagens, em algumas aplicações o custo pode ser maior que a transmissão em corrente alternada. Em Corrente Alternada (CA), os custos se resumem basicamente às estações transformadoras, às torres, às linhas de transmissão (condutores) e, para longas distâncias, aos compensadores. Em HVDC, o custo inicial do sistema é elevado devido aos conversores, porém, as torres e as linhas são mais baratas em relação à transmissão CA para uma mesma

potência, pois se utilizam menos condutores, demandando uma torre com área de servidão menor (Silva, 2017). Sendo assim, o custo de uma linha HVDC em comparação com uma linha CA comumente usada, pode ser menor, dependendo da distância desta linha a ser instalada.

Existem diversas razões que levam a escolha da instalação de uma linha HVDC. No Brasil, inicialmente escolheu-se esse tipo de linha de transmissão para suportar a mudança de frequência de 50Hz para 60Hz, sendo essa linha instalada pela Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional com uma potência de 6300MW e tensão em corrente contínua de aproximadamente  $\pm 600\text{kV}$ , a uma distância de 800km. Mais recentemente, passou a operar no Brasil, o sistema HVDC que interliga o complexo do Rio Madeira, entre Porto Velho-RO a Araraquara-SP, com uma extensão de 2386km (Isa-CTEEP, 2011) em  $\pm 600\text{kV}$ , com uma capacidade de cerca de 6450MW de energia gerada. Atualmente, também estão sendo implantadas novas linhas HVDC, para escoar a energia produzida pela Usina Hidrelétrica de Belo Monte.

Dado o crescimento da implementação das linhas HVDC, vêm sendo necessários estudos para o desenvolvimento de ferramentas e equipamentos para a operação confiável destes sistemas. Neste contexto, destaca-se a importância da localização de faltas nos sistemas de transmissão HVDC, visto a grande

extensão das linhas e ao ambiente em que estão inseridas.

Hoje existem diversas propostas para localização de faltas em linhas de transmissão HVDC, como por exemplo, (Al Hassan *et al.*, 2016) utilizam modelagem do comportamento das ondas viajantes aplicadas a cabos aéreos e subterrâneos, (Ünal and Ekici, 2017), aplicam aprendizagem de máquinas e transformada wavelet; (Vasanth, Yeap and Ukil, 2016) aplicam transformada wavelet e redes neurais artificiais; (Hossam-Eldin *et al.*, 2016) utilizam ondas viajantes e logic fuzzy; (Shukr *et al.*, 2012) determinam a impedância a partir da Transformada Rápida de Fourier (FFT) para estimar a localização da falta, entre outros. O estudo do tema tem bastante relevância devido ao crescimento da utilização de sistemas HVDC e busca pela melhoria das metodologias já propostas.

Este trabalho estuda a aplicação do método das Ondas Viajantes e da Transformada *Wavelet* ao problema de localização de faltas em sistemas de transmissão HVDC, visto a alta capacidade e precisão no tempo da transformada wavelet detectar descontinuidade em um sinal faltoso de forma a caracterizar a reflexão das ondas de tensão e ou corrente nos terminais de um sistema HVDC.

No que segue será apresentado uma fundamentação teórica das técnicas e ferramentas utilizadas na proposta, o algoritmo aplicado ao problema, as simulações e resultados alcançados, findando com as conclusões sobre a aplicação proposta.

## 2 Metodologia

### 2.1 Ondas Viajantes e Localização de Faltas

No instante em que ocorrem distúrbios em uma linha de transmissão de energia elétrica, provocados por uma diversidade de fenômenos eletromagnéticos como, por exemplo, descargas atmosféricas, bruscas mudanças acontecem nas condições dos circuitos elétricos que compõem o sistema de transmissão as quais são propagadas pelo sistema conforma a teoria de ondas viajantes (Souza, 2007).

A teoria das ondas viajantes (Bewley, 1963) demonstra que a ocorrência de uma falta em uma linha de transmissão produz ondas de tensão que se propagam, a partir do ponto de falta, nos dois sentidos da linha. Ao encontrar uma descontinuidade, essas ondas se refletem e retornam ao ponto de falta, onde haverá novas reflexões, gerando, portanto, transitórios de alta frequência (Silveira *et al.*, 2001) e (Coury *et al.*, 2011, p.79). Tal fenômeno pode ser representado graficamente pelo diagrama Lattice (Bewley, 1963), conforme Figura 1.

No diagrama Lattice da Figura 1, a distância entre os extremos da linha (A e B) é representada por uma linha vertical e o tempo representado por duas linhas horizontais. A linha em zigzag representa como a onda viaja entre os extremos e descontinuidades. O

declive da linha em zigzag fornece os tempos correspondentes para as distâncias viajadas ( $t_a$  e  $t_b$ ). A tensão em um dado ponto no tempo e a uma determinada distância é encontrada pela adição de todos os termos que estão diretamente acima daquele ponto (Bovolato *et al.*, 2009).

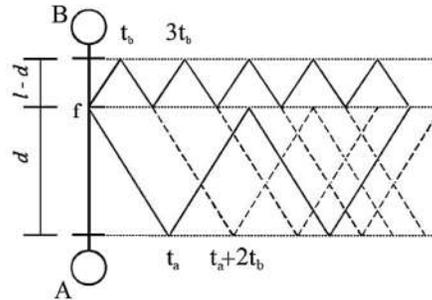


Figura 1. Sistema Elétrico e Diagrama Lattice (Silva, 2003).

Com base no conceito das ondas viajantes, a localização do ponto de ocorrência de um distúrbio pode ser estimada, detectando-se o tempo de chegada das ondas em ambos os terminais da linha. Neste trabalho, propõe-se a utilização da Transformada *Wavelet* para detectar a chegada das ondas de tensão nos terminais da linha, dado a sua capacidade de caracterizar descontinuidade presente em um sinal com alta resolução no tempo.

### 2.2 Transformação Modal

A transformação modal é o desacoplamento e simplificação da representação da corrente e tensão medidas em sistemas com múltiplas fases. Os condutores deste tipo de sistema são acoplados devido a admitância e impedância mútua entre eles. As “n” fases acopladas são representadas por “n” modos de propagação desacoplados. Sinais modais são usados para identificar a localização de faltas pois cada modo tem uma velocidade de propagação distinta.

Um sistema HVDC que é constituído por dois pólos, um positivo e um negativo, pode ser tratado com um sistema bifásico e os sinais de corrente e tensão podem ser transformados em sinais modais aéreos e terra. A eq. 1 caracteriza essa transformação:

$$\begin{bmatrix} V_{m0} \\ V_{m1} \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} V_P \\ V_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde,  $T$  é a matriz de transformação ortogonal definida por:

$$T = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Tal que,  $V_P$  é a tensão medida no pólo positivo e  $V_N$  é a tensão medida no pólo negativo.  $V_{m0}$  denota o modo 0 da tensão e  $V_{m1}$  denota o modo 1 da tensão (Al Hassan *et al.*, 2016).

### 2.3 Transformada Wavelet

A Transformada *Wavelet* (TW) é uma ferramenta matemática que decompõe um dado sinal em diferentes escalas com distintos níveis de resolução, utilizando funções *wavelets*. Dentre as suas características, a TW permite a representação local de um sinal tanto no domínio do tempo como da frequência (Silva *et al*, 2006).

A TW é muito bem aceita para uma ampla faixa de sinais que não são periódicos e que podem conter ambos os componentes senoidais e de impulso, como é típico nos transitórios dos SEP. Em particular, a habilidade da *Wavelet* em se concentrar em pequenos intervalos de tempo para componentes de alta frequência, e em longos intervalos de tempo para componentes de baixa frequência, melhora a análise de impulsos e oscilações localizadas, particularmente na presença da componente fundamental e dos componentes harmônicos de baixa ordem (Hwan e Aggarwal, 2000).

Para análise de sinais discretizados no tempo ou amostrados, como no problema em estudo, utiliza-se a versão discreta da TW, conhecida como Transformada Wavelet Discreta (TWD) dada pela Equação 3:

$$TWD(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n) g\left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3)$$

Sendo  $x(n)$  o sinal discreto analisado,  $g(\cdot)$  a *wavelet* mãe,  $a$  e  $b$  os parâmetros de escala e translação os quais são funções de um parâmetro inteiro  $m$ . Tal que  $a = a_0^m$  e  $b = nb_0 a_0^m$ , que permite uma expansão da família originada pela *Wavelet* mãe, gerando as *Wavelets* filhas. Nesta equação,  $k$  é uma variável inteira que se refere a um número particular da amostra de um determinado sinal de entrada. O parâmetro de escala permite o aumento da escala geométrica, isto é, 1,  $1/a_0$ ,  $1/a_0^2$ , e assim por diante (Silva *et al*, 2006).

Geralmente, o emprego da TWD consiste no sucessivo agrupamento de pares de filtros passa baixa e passa alta, em cada estágio de escala da TWD.

Isto pode ser interpretado como sucessivas aproximações da mesma função, onde cada aproximação ressalta importantes informações relativas a uma dada escala (faixa de frequência). Este processo de filtragem é melhor representado pela técnica da Análise Multiresolução (AMR) (Burrus, Gopinath, and Guo, 1998). Tal processo se baseia na filtragem de um sinal a ser analisado por meio de bancos de filtros passa alta e passa baixa e na dizimação em cada escala, de modo a fornecer versões do sinal original relativas aos sinais de aproximação e detalhe, conforme ilustra a Figura 2.

A aproximação compreende as baixas frequências do sinal original, enquanto o detalhe engloba o conteúdo de alta frequência. Dessa forma, o sinal original é dividido em diferentes escalas de resolução, especificamente em diferentes faixas de frequências de modo que cada uma das sub-bandas

pode ser tratada individualmente de acordo com o problema estudado.

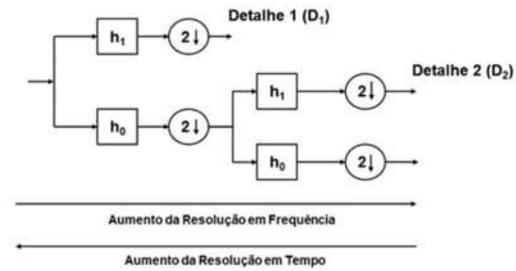


Figura 2. Processo de Filtragem de um Sinal no Primeiro Nível (adaptado Silva, 2006).

Este trabalho propõe utilizar a alta capacidade da TWD de detecção de discontinuidades presente em um sinal, para caracterizar no tempo, o instante da chegada das ondas de tensão providas de uma situação faltosa ocorrida em um ponto da linha de transmissão HVDC.

### 3 Algoritmo Proposto

Para o desenvolvimento do algoritmo proposto, foi utilizado como base o algoritmo apresentado em (Silva *et al.*, 2004) para linhas de transmissão CA. Porém, neste trabalho foi utilizado como modelo, uma linha de transmissão HVDC, sendo necessário a adaptação do algoritmo para determinar a distância de uma falta ocorrida no sistema teste. Foram gerados três tipos de falta diferentes, para haver uma confiabilidade maior do algoritmo.

Para a obtenção dos dados faltosos, foi utilizado neste trabalho o modelo R2\_MAD\_NEW4D de linha de transmissão HVDC desenvolvido pelo Eng. Guilherme Sarcinelli Luz (Luz, 2016), disponível na biblioteca de *cases* do software ATPDraw, demonstrado na Figura 3. O sistema é composto por fontes CA, retificadores e inversores de 12 pulsos, transformadores, bancos de filtros, linhas de transmissão e equivalentes das fontes.

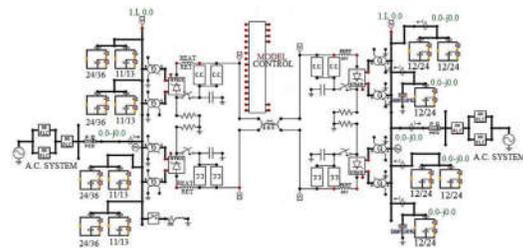


Figura 3. Modelo de Linha de Transmissão HVDC. (Luz, 2016).

O modelo original do sistema teste foi adaptado para aplicação de faltas em toda a extensão da LT conforme apresenta a Figura 4. As modificações feitas foram com relação à linha de transmissão, a qual foi seccionada em duas partes para implementação do modelo de falta pólo-terra composto por chave controlada por tempo e resistência de falta.

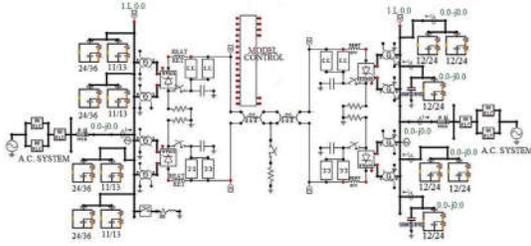


Figura 4. Modelo de Linha de Transmissão HVDC com aplicação da falha.

Uma vez adaptado o sistema teste, foram coletados dados de falha polo-terra, variando-se a distância do ponto de falha e a resistência de falha, os quais são processados posteriormente para estimação da localização da falha. O fluxograma representado pela Figura 5, demonstra as etapas que compõem o algoritmo de localização de falhas proposto.

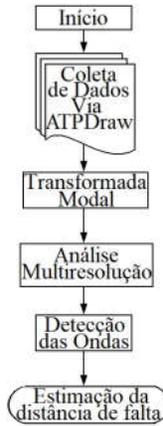


Figura 5. Fluxograma do Algoritmo Proposto.

Após a coleta dos dados faltosos, estes são desacoplados utilizando a transformada modal e assim, facilitando em seguida a análise. Posteriormente, os sinais do modo 1 são decompostos utilizando a análise multiresolução *wavelet*. Nesta etapa os sinais são decompostos utilizando-se a *wavelet*-mãe symlet 2 (sym2) por melhor se adequar ao problema proposto baseado em testes empíricos utilizando-se outras *wavelets*-mãe. Decomposto o sinal original em diferentes níveis, são utilizados os sinais de detalhe 1 para análise e detecção do tempo de chegada das ondas nos terminais do sistema HVDC teste.

Os tempos de chegada das ondas são obtidas detectando-se no tempo o primeiro pico dos sinais de detalhe 1, obtidos em ambos os terminais do sistema.

Determinado os tempos de chegada da onda e conhecendo-se a velocidade de propagação da onda na linha, estima-se a distância da falha conforme eq. 4, a qual é descrita com base no Diagrama Lattice da Figura 1.

$$d = \frac{l - (v_1 \times t_d)}{2} \quad (4)$$

tal que:  $d$  é a distância da falha com relação ao terminal A,  $l$  o comprimento da LT,  $t_d$  é a diferença entre o tempo da chegada da primeira onda no terminal B ( $t_b$ ) e o tempo de chegada da primeira onda no terminal A ( $t_a$ ) dado pela eq. 5,  $v_1$  a velocidade de propagação da onda dado pela eq. 6:

$$t_d = t_b - t_a \quad (5)$$

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (6)$$

A indutância e capacitância característica do sistema de transmissão utilizado é igual a  $L=0,860602 \times 10^{-3}$  H e  $C=0,0134166 \times 10^{-6}$  F.

#### 4 Simulações e Análise dos Resultados

Para validação do algoritmo proposto, realizaram-se testes a partir da variação da distância de falha de 100 em 100km e da resistência de falha em 0, 15 e 50 ohms, valores comumente utilizados pelas concessionárias de transmissão brasileiras, totalizando 72 diferentes situações faltosas. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

O erro percentual relativo ( $\epsilon_{rel}$ ) apresentado é calculado em relação ao comprimento total da linha de transmissão, conforme Equação 4.

$$\epsilon_{rel}(\%) = \left| \frac{d_{estimado} - d_{real}}{l_{LT}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

O erro absoluto ( $\epsilon_{abs}$ ) e o erro médio total ( $\epsilon_{medio}$ ) são calculados por meio das Equações 5 e 6, sendo:  $N$ , o número de situações consideradas,  $d_{estimado}$ , a distância calculada pelo algoritmo,  $d_{real}$ , a distância real da falha e  $l_{LT}$ , o comprimento da linha (Silva, 2017).

$$\epsilon_{abs}(m) = |d_{estimado} - d_{real}| \quad (8)$$

$$\epsilon_{medio} = \frac{\sum_1^N \epsilon_{rel}(\%)}{N} \quad (9)$$

Na Figura 6 é apresentado o sinal de detalhe 1, fornecido pela aplicação da TW para caracterização e detecção do instante de chegadas das ondas nos terminais do sistema para uma falha a 2000 km do terminal de retificação com uma resistência de falha de 0 ohms. Neste caso, o algoritmo estimou a falha a 1999,67 km.

Na Tabela 1, tem-se os resultados variando-se a distância da falha com uma resistência de falha de 0 ohm. Observa-se que o maior erro foi de 0,120% ou 2,932 km de um total de 2400 km. O erro médio obtido foi de 0,056% ou 1,34km denotando uma ótima precisão do algoritmo. Verifica-se também que quanto

maior a distância da falta ou quão mais perto a falta do terminal de carga, melhor foi a precisão do algoritmo.

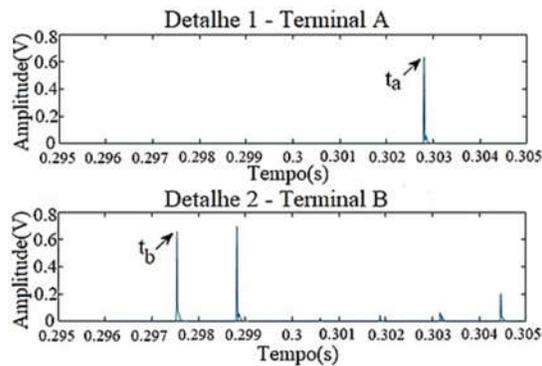


Figura 6. Sinal do detalhe 1 dos terminais 1 e 2 do sistema HVDC utilizado.

Tabela 1. Dados de distância de falta com resistência de falta de  $0\Omega$

Distância Real (km)	Distância Estimada (km)	Erro Absoluto (km)	Erro (%)
100	97,068	2,932	0,120
200	197,205	2,795	0,114
300	297,342	2,658	0,108
400	397,479	2,521	0,103
500	497,616	2,384	0,097
600	597,753	2,247	0,092
700	697,890	2,110	0,086
800	798,027	1,973	0,081
900	898,164	1,836	0,075
1000	998,301	1,699	0,069
1100	1098,438	1,562	0,064
1200	1198,575	1,425	0,058
1300	1298,712	1,288	0,053
1400	1398,849	1,151	0,047
1500	1498,986	1,014	0,041
1600	1599,123	0,877	0,036
1700	1699,260	0,740	0,030
1800	1799,397	0,603	0,025
1900	1899,533	0,467	0,019
2000	1999,671	0,329	0,013
2100	2099,808	0,192	0,008
2200	2199,945	0,055	0,002
2300	2300,082	0,082	0,003
2400	2400,219	0,219	0,009
Erro Médio			0,056

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados obtidos, variando-se a resistência de falta em 15 e 50 ohms, respectivamente. Novamente, evidencia um bom desempenho do algoritmo, o qual manteve o erro

médio em torno de 0,056% do comprimento total da linha.

Tabela 2. Dados de distância de falta com resistência de falta de  $15\Omega$

Distância Real (km)	Distância Estimada (km)	Erro Absoluto (km)	Erro (%)
100	97,068	2,932	0,120
200	197,205	2,795	0,114
300	297,342	2,658	0,108
400	397,479	2,521	0,103
500	497,616	2,384	0,097
600	597,753	2,247	0,092
700	697,890	2,110	0,086
800	798,027	1,973	0,081
900	898,164	1,836	0,075
1000	998,301	1,699	0,069
1100	1098,438	1,562	0,064
1200	1198,575	1,425	0,058
1300	1298,712	1,288	0,053
1400	1398,849	1,151	0,047
1500	1498,986	1,014	0,041
1600	1599,123	0,877	0,036
1700	1699,260	0,740	0,030
1800	1799,397	0,603	0,025
1900	1899,534	0,466	0,019
2000	1999,671	0,329	0,013
2100	2099,808	0,192	0,008
2200	2199,945	0,055	0,002
2300	2300,082	0,082	0,003
2400	2400,219	0,219	0,009
Erro Médio			0,056

Tabela 3. Dados de distância de falta com resistência de falta de  $50\Omega$

Distância Real (km)	Distância Estimada (km)	Erro Absoluto (km)	Erro (%)
100	97,068	2,932	0,120
200	197,205	2,795	0,114
300	297,342	2,658	0,108
400	397,479	2,521	0,103
500	497,616	2,384	0,097
600	597,753	2,247	0,092
700	697,890	2,110	0,086
800	798,027	1,973	0,081
900	898,164	1,836	0,075
1000	998,301	1,699	0,069
1100	1098,438	1,562	0,064
1200	1198,575	1,425	0,058
1300	1298,712	1,288	0,053

1400	1398,849	1,151	0,047
1500	1498,986	1,014	0,041
1600	1599,123	0,877	0,036
1700	1699,260	0,740	0,030
1800	1799,397	0,603	0,025
1900	1899,534	0,466	0,019
2000	1999,671	0,329	0,013
2100	2099,808	0,192	0,008
2200	2199,945	0,055	0,002
2300	2300,082	0,082	0,003
2400	2400,219	0,219	0,009
Erro Médio			0,056

Na Figura 7, são sintetizados os resultados apresentados nas tabelas anteriores, onde, as curvas estão sobrepostas para demonstrar que a resistência de falta não influi significativamente na precisão do algoritmo.

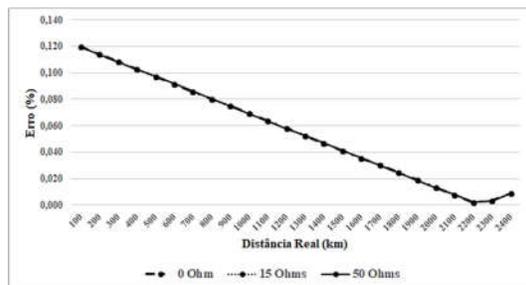


Figura 7. Gráfico da distância real pelo erro percentual.

## 5 Conclusões

Este trabalho apresenta um estudo da aplicação da Transformada *Wavelet* (TW) e do método das ondas viajantes para localização de faltas em uma linha de transmissão HVDC com dois terminais.

Nos testes realizados, observou-se que o erro médio obtido foi de 0,056% do comprimento da linha mesmo com resistência de falta de 50 ohms. Pode-se inferir também que a resistência de falta não prejudicou a precisão do algoritmo para valores até 50 ohms. Percebe-se também que para o sistema utilizado os resultados tendem a ser melhores ao se aproximar do terminal B, ou seja, maiores distâncias, contudo, testes com outros sistemas são necessários para confirmação desta tendência.

Embora os resultados sejam preliminares apontam a uma promissora aplicabilidade da metodologia proposta ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão HVDC.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Departamento Acadêmico de Elétrica, bem como a Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação da

Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio e infraestrutura disponibilizada.

## Referências Bibliográficas

- Aggarwal, R. K., Coury, D. V., Johns, A. T., Kalam, A. (1993) “*A practical approach to accurate fault location on extra high voltage teed feeders*”. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, n. 3, Jul. 1993
- Al Hassan, H. A.; Grainger, B. M. (2016). “*Fault Location Identification of a Hybrid HVDC-VSC System Containing Cable and Overhead Line Segments Using Transient Data*”. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D).
- Bewley, L. V. (1963). “*Traveling Waves on Transmission Systems*”, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Bovolato, L. F and Bovolato, M. de C. (2009). “*Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica*”.
- Burrus, C. S.; Gopinath, R. A. and Guo, H. (1998). *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Fatih Ünal; Sami Ekici, (2017). *A fault location technique for HVDC transmission lines using extreme learning machines*. 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG) IEEE Conferences, pp. 125 – 129.
- Hossam-Eldin, A.; Lotfy A.; Elgamal M.; Ebeed, M (2016). *Combined traveling wave and fuzzy logic based fault location in multi-terminal HVDC systems*. IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 1-6.
- Isa-CTEEP (2011). “*Relatório de Administração*”. [http://www.isactEEP.com.br/Arquivos/Download/IE\\_MADEIRA\\_DEMONSTRACOES\\_FINAL\\_NCEIRAS\\_E\\_RELATORIO\\_ADM\\_2011.pdf](http://www.isactEEP.com.br/Arquivos/Download/IE_MADEIRA_DEMONSTRACOES_FINAL_NCEIRAS_E_RELATORIO_ADM_2011.pdf)
- Luz, G. S. (2016). “*Modelo R2\_MAD\_NEW4D de linha de Transmissão HVDC*”. ATPDraw.
- Rudervall, R; Charpentier, J.P. and Sharma, Raghuvver (2000). “*High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Systems Technology Review Paper*”. Energy Week.
- Shukr, M.; Thomas, D. W. P. and Zanchetta, P. (2012). “*VSC-HVDC Transmission Line Faults Location Using Active Line Impedance Estimation*”. IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), pp. 1-6.
- Silva, M. da. (2003). “*Localização de Faltas em Linhas de Transmissão Utilizando a Teoria de Ondas Viajantes e Transformada Wavelet*”. São Carlos-SP.
- Silva, M. Da.; Oleskovicz, M. and Coury, D. V. (2004). “*Aplicação da teoria de ondas viajantes e da transformada wavelete ao problema de*

- localização de faltas em sistema de transmissão*". Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2004.
- Silva, M. Da.; Oleskovicz, M. and Coury, D. V. (2006). "*Localização de Faltas em Linhas de Transmissão com Três Terminais Baseada na Aplicação da Transformada Wavelet Estacionária para Extração dos Componentes de Frequência Fundamental*". Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2006.
- Silva, W. E. P da (2017). "*Localização de Faltas em Sistemas de Transmissão de Alta Tensão em Corrente Contínua*". São Carlos-SP.
- Silveira, P. M.; Seara, R and Zurn, H. H. (2001). "*Localização de Faltas por Ondas Viajantes – Uma nova abordagem baseada em decomposição wavelet*". XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Campinas.
- Souza, T. B. P (2007). "*Análise de Ondas Viajantes em Linhas de Transmissão para Localização de Faltas: Abordagem via Transformada Wavelet*". UFPA-Belém.
- Vasanth, S; Yeap, Y. M.; Ukil A (2016). *Fault location estimation for VSC-HVDC system using Artificial Neural Network*. IEEE Region 10 Conference (TENCON), pp. 501-504.