

# DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE GRÁFICA PARA DETERMINAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS DE FALTAS MONOFÁSICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE EXTRA ALTA TENSÃO

## DEVELOPMENT OF GRAPHIC INTERFACE FOR DETERMINATION OF POSSIBLE CAUSES OF SINGLE-PHASE FAULTS IN EXTRA HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES

<sup>1</sup>BERNARDES, G.; <sup>1</sup>CLERICE, G.A.M.; <sup>1</sup>FERNANDES, V.R.O.; <sup>1</sup>MADALENA, L.A.G.;

<sup>1</sup>Curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos - UNIFIO/FEMM

### RESUMO

Os curtos-circuitos monofásicos em linhas de transmissão de Extra Alta Tensão (EAT) estão entre os principais motivos de interrupção no fornecimento de energia elétrica. O veredicto sobre o agente causador dessas ocorrências, atualmente, não é definido de forma rápida. Assim, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma interface gráfica, utilizando o software MATLAB, de modo a apresentar os possíveis causadores dessas falhas. Para tanto, a partir de ocorrências reais, foi estabelecida uma relação entre valores da resistência de falta e suas possíveis causas, que podem ser descargas atmosféricas, aproximação da fase a pontos aterrados, presença de excrementos de pássaros nos isoladores, aproximação de vegetação aos condutores e queimadas. Definida tal relação e desenvolvida a interface, valores reais de ocorrências com causas conhecidas, foram utilizados para teste e constatação da eficiência do método. Dentre as ocorrências utilizadas nos testes, houve um acerto na classificação de 94,12%, com um erro menor que 4% na resistência de falta entre os métodos de localização utilizados e com uma variação média na distância menor que 5%.

**Palavras-chave:** Resistência de Falta. Causas de Faltas Monofásicas Em EAT. MATLAB.

### ABSTRACT

The single-phase short circuits in Extra High Voltage (EHV) transmission lines are among the leading reasons for interruption in the supply of electric power. The verdict on the causative agent of these occurrences is currently not defined in a rapid manner. Then, the objective of this work is to develop a graphical interface using MATLAB software, in order to present the possible causes of failures. Therefore, from real occurrences, a relationship was established between values of fault resistance and its possible causes, which may be lightning, phase approximation to grounded points, presence of bird droppings in insulators, vegetation approximation to conductors and burned. Defined such relationship and developed the interface, real values of occurrences with known causes were used to test and verify the efficiency of the method. Among the occurrences used in the tests, there was a correctness of 94.12% in the classification, with an error less than 4% in the fault resistance between the location methods used with an average variation in the distance less than 5%.

**Keywords:** Fault resistance. Causes of Single-Phase Faults in EHV. MATLAB.

### INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência (SEP), composto por geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, está constantemente sujeito a ocorrências que causam perturbações no seu estado normal de funcionamento e a rápida identificação do local da falta e do agente causador, são primordiais para o reparo e reestabelecimento do sistema no menor tempo possível. Dessas ocorrências, 54%

são causadas por fenômenos naturais e condições ambientais, sendo que 68% são em linhas de transmissão e 70% envolvem curtos-circuitos Fase-Terra. (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2017; SATO; FREITAS, 2015).

Para Kindermann (1997), as Linhas de Transmissão (LT) de energia elétrica são os componentes mais vulneráveis do SEP, pois ao percorrerem o território de um país, passam por locais com terrenos e climas distintos, ficando expostas às intempéries e à interação com o meio ambiente, o que pode levar a uma falta.

Quando ocorre essa situação, os valores das grandezas elétricas do sistema sob falta alteram e tais dados podem ser utilizados para cálculo da resistência de falta (RF) resultante dessa ocorrência, o que permite inferir as possíveis causas da perturbação. Essas causas podem ser descargas atmosféricas, aproximação de fase a pontos aterrados, presença de excrementos de aves nos isoladores das estruturas, aproximação de vegetação aos condutores de energia elétrica, queimadas, dentre outras (CUNHA, 2010).

A finalidade desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma interface gráfica, para o cálculo de resistência de falta e a determinação das possíveis causas de curtos-circuitos monofásicos em linhas de transmissão de EAT, visando auxiliar o processo de tomada de decisão na recomposição de sistema elétrico sob falta ou para acionamento das equipes de manutenção.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento de uma interface gráfica capaz de efetuar os cálculos e classificar o agente causador do defeito, foi necessário um estudo abrangente sobre falhas em linhas de transmissão, bem como das teorias de cálculo de curto-circuito. O ponto de início foi o estudo realizado por Sousa et al. (2015), que relacionou resistência de falta com causa do defeito, e cujo cenário abrangeu quarenta e três ocorrências da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, sendo trinta e oito faltas monofásicas, quatro bifásicas e uma trifásica, que resultaram nas motivações: descarga atmosférica, queimada, queda de estrutura e vegetação. Para atualizar esses dados, decidiu-se realizar nova pesquisa da relação entre resistência e causa de faltas monofásicas, optando-se pelas informações da concessão ATE de propriedade da TAESA – Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A. que abrange as linhas de 525 kV Assis/Araraquara e Londrina/Assis, no período de 2014 a 2019. Nesse estudo foram encontradas faltas causadas por excremento de pássaros,

quando as fezes das aves provocam o curto-circuito entre o ponto aterrado em que está pousada e a fase atingida pelo material, e por aproximação de um condutor de fase a um ponto aterrado, ocasionado principalmente pela incidência de fortes ventos.

Para o cálculo da resistência de falta dessas ocorrências, foram utilizados os métodos relacionados à compensação de corrente de terra, o fator  $k_0$ , visto na equação 1, à impedância calculada pelos relés de proteção, denominada de  $Z_{vista}$ , conforme a equação 2, e à localização da falha.

Zocholl (1995) fez a dedução da equação 1, para a obtenção do fator de compensação de corrente de sequência zero, que é usada para ponderar a contribuição da corrente que flui para terra e que é inerente à LT.

$$k_0 = \frac{z_0 - z_1}{3 \cdot z_1} \quad (1)$$

sendo  $z_0$  e  $z_1$  as impedâncias da linha de sequência zero e positiva, respectivamente.

No estudo de Schweitzer (1988) o método para o cálculo da impedância aparente de sequência positiva ( $Z_{vista}$ ) foi desenvolvido, resultando na equação 2,

$$Z_{vista} = \frac{V_x}{I_x + k_0 \cdot I_n} \quad (2)$$

Nessa equação,  $V_x$  e  $I_x$  são as tensões e correntes da fase em falta (A, B ou C) e  $I_n$  é a corrente residual de neutro ( $3 \cdot I_0$ ).

A análise realizada por Tziouvaras (2001), para o desenvolvimento do cálculo da localização de falta utilizando tensões, correntes e impedâncias de sequência negativas, resultou nas equações 3, 4 e 5, que compõem a equação 6, de segundo grau. A raiz desta solução que estiver entre 0 e 1 é o valor de distância em p.u. (por unidade) entre o Terminal A e a localização da falha.

$$A = |I_{2B}|^2 \cdot [\text{Re}(Z_{2L})^2 + \text{Im}(Z_{2L})^2] - [\text{Re}(I_{2A} \cdot Z_{2L})^2 + \text{Im}(I_{2A} \cdot Z_{2L})^2] \quad (3)$$

$$B = -2 \cdot |I_{2B}|^2 \cdot [\text{Re}(Z_{2B} + Z_{2L}) \cdot \text{Re}(Z_{2L}) + \text{Im}(Z_{2B} + Z_{2L}) \cdot \text{Im}(Z_{2L})] - 2 \cdot [\text{Re}(I_{2A} \cdot Z_{2A}) \cdot \text{Re}(I_{2A} \cdot Z_{2L}) + \text{Im}(I_{2A} \cdot Z_{2A}) \cdot \text{Im}(I_{2A} \cdot Z_{2L})] \quad (4)$$

$$C = |I_{2B}|^2 \cdot [\text{Re}(Z_{2B} + Z_{2L})^2 + \text{Im}(Z_{2B} + Z_{2L})^2] - \text{Re}(I_{2A} \cdot Z_{2A})^2 - \text{Im}(I_{2A} \cdot Z_{2A})^2 \quad (5)$$

$$A \cdot m^2 + B \cdot m + C = 0 \quad (6)$$

sendo:

$V_{2A}$ ,  $I_{2A}$  e  $Z_{2A}$ : tensão, corrente e impedância ( $-V_{2A}/I_{2A}$ ) calculada do Terminal A respectivamente;

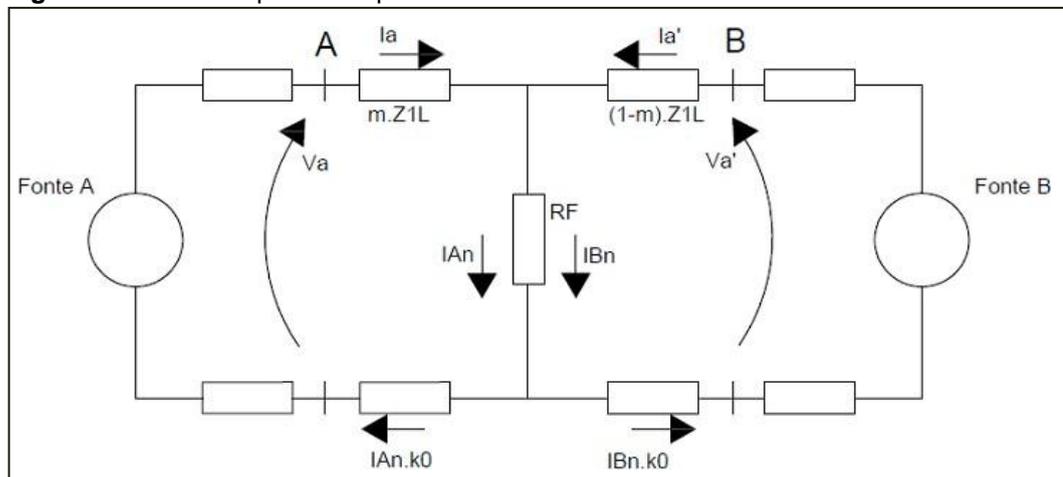
$V_{2B}$ ,  $I_{2B}$  e  $Z_{2B}$ : tensão, corrente e impedância ( $-V_{2B}/I_{2B}$ ) calculada do Terminal B respectivamente;

$Z_{2L}$ : a impedância de sequência negativa da LT;

$m$ : a distância em p.u. da falta.

Os cálculos da resistência de falta para as ocorrências da TAESA, foram realizados por meio da análise das malhas fechadas fase-terra, do circuito equivalente de curto-circuito monofásico ocorrido entre a fase A e terra, da Figura 1, considerando as correntes residuais das extremidades da LT. Os cálculos foram realizados para os pontos A e B, que representam a conexão dos relés de proteção e nota-se também o fator  $k_0$ , que representa a porção da corrente de falta que retorna aos terminais pelo terra. O componente RF mostrado no circuito equivalente para uma falta monofásica (Figura 1), representa um curto-circuito a uma distância 'm' na LT (MAEZONO et al., 2008).

**Figura 1** - Circuito equivalente para uma falta monofásica.



Fonte: os autores.

Da análise das malhas fechadas, obtêm-se as equações 7 e 8 já reduzidas, para o cálculo do módulo da RF dos Terminais A e B respectivamente, para uma falta ocorrida entre a fase A e a terra.

$$|\mathbf{RF}| = \frac{Z_{VISTA} - m \cdot Z_1 L}{\left( \frac{I_{An} + I_{Bn}}{I_a + k_0 \cdot I_{An}} \right)} \quad (7)$$

$$|\mathbf{RF}| = \frac{Z_{VISTA} - (1-m) \cdot Z_1 L}{\left( \frac{I_{An} + I_{Bn}}{I_a' + k_0 \cdot I_{Bn}} \right)} \quad (8)$$

sendo:

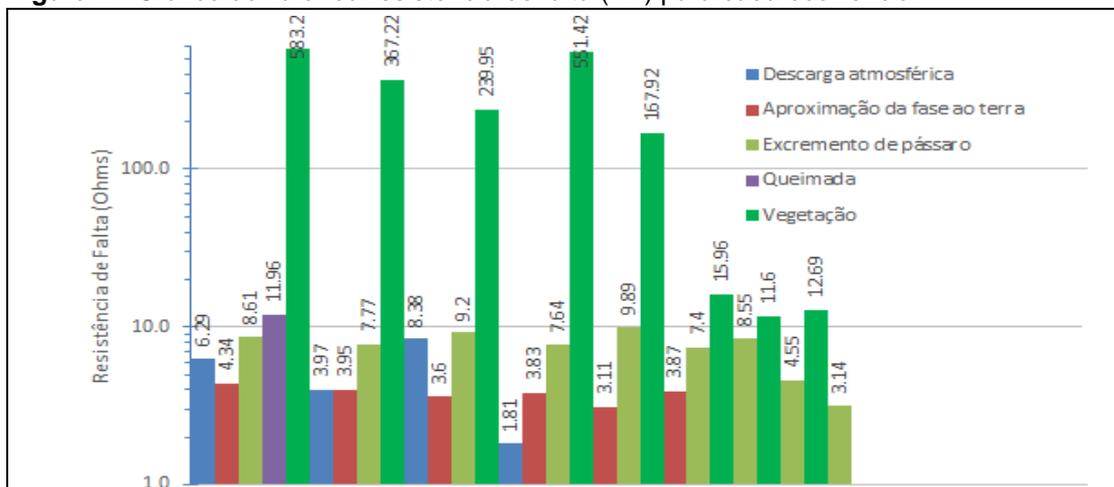
$Z_{1L}$ : a impedância da linha de transmissão de sequência positiva;

$I_{An}$  e  $I_{Bn}$ : a corrente residual de terra, calculada por  $I_n = I_{A0} + I_{B0} + I_{C0}$ , para os dados de corrente do ponto A e B respectivamente;

$I_a$  e  $I_a'$ : as correntes da fase “A”, onde ocorreu a falta, lida pelo relé de proteção dos pontos A e B respectivamente.

Do levantamento e dos cálculos realizados, resultou a Figura 2, com 28 faltas monofásicas:

**Figura 2** - Gráfico do valor da resistência de falta (RF) para cada ocorrência.



Fonte: os autores.

A análise de todos os dados levou à observação de que a resistência de falta para as causas de descarga atmosférica, de aproximação de fase ao terra e de curto-circuito provocado por excremento de pássaros, apresentaram valores muito próximos entre si, na faixa de 0 a 10 Ohms, sendo necessário o acréscimo de um evento específico que determinasse tal causa.

Para tanto, recorreu-se às informações, que hoje já estão disponíveis, e são utilizadas pelas equipes que analisam as ocorrências em linhas de transmissão de energia elétrica: uma delas é a incidência de raios, na região da falta, que pode indicar a descarga atmosférica como motivação e pode ser levantada de maneira on-line por meio de aplicativos, como o NetRaios, desenvolvido pelo ELAT/INPE – Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Esse aplicativo já é utilizado pelas empresas brasileiras concessionárias de transmissão de energia elétrica; outra informação, capaz de subsidiar a definição da causa da falta

monofásica, podendo ser obtida dos equipamentos registradores digitais de perturbação e sistemas supervisórios, é a ocorrência da função de proteção de fechamento sobre curto, denominada por alguns fabricantes de relés pelas siglas SOTF ou SOFT, e que indica que o sistema tentou religar automaticamente, porém a falta ainda estava presente, caracterizando uma motivação longa que é comum na aproximação da fase a um ponto de terra quando da existência de fortes ventos.

A compilação dos cálculos realizados com as informações da CEMIG resultou na Tabela 1, que apresenta os valores de resistências de falta típicas para causas de perturbação, e que foi elaborada para ser utilizada no desenvolvimento da interface gráfica e na realização dos testes, que utilizou as 17 ocorrências mais recentes na ATE, levando-se em conta o período de realização deste trabalho.

**Tabela 1** – Causa vs. RF e classificadores.

Causa	Resistência de Falta ( $\Omega$ )	NetRaios	SOTF
Descarga atmosférica	0,0 a 12,0	SIM	NÃO
Aproximação da fase ao terra	0,0 a 5,0	NÃO	SIM
Excremento de pássaro	5,1 a 10,0	NÃO	NÃO
Queimada	10,1 a 15,0	NÃO	NÃO
Vegetação (árvore)	15,1 a 600	NÃO	NÃO

Fonte: os autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a quantidade dos cálculos, foi desenvolvida uma interface gráfica, apresentada na Figura 3, que utiliza toda a teoria apresentada e facilita a determinação da possível causa da falta da ocorrência. A interface possui campos para o preenchimento dos dados de tensão e corrente de ambos os terminais da LT. Como a grande maioria dos softwares dos relés de proteção disponibiliza os dados na forma polar, ou seja, magnitude e ângulo, os dados de tensão e corrente devem ser preenchidos em kV (quilo Volt) e A (Ampère) respectivamente, juntamente com os ângulos. Ao ser selecionada a LT, 'LON\_ASS' para a LT 525 kV Londrina/Assis e 'ASS\_STAR' para a LT 525 kV Assis/Araraquara, o algoritmo busca os dados construtivos da linha e os exibem. Esses dados são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Dados das LTs.

Terminal A	Terminal B	Comprimento (km)	ZL (1) ( $\Omega$ )	ZL (0) ( $\Omega$ )
ASSIS	ARARAQUARA	243.12	4.962+76.535i	87.673+337.373i
LONDRINA	ASSIS	121.07	2.506+38.653i	44.278+170.385i

Fonte: Adaptado de TAESA, 2016.

A seleção dos classificadores específicos, 'Descarga atmosférica no local?', sobre incidência de raios e 'SOTF?', a respeito da função de fechamento sobre curto, deve ser realizada na sequência. Além disso, o usuário deve informar a distância da falta em relação ao Terminal A, obtida de equipamento localizador de falta por Ondas Viajantes (Traveling Waves – TW), bastando para isso, selecionar a caixa 'Localização TW' e preencher o campo destacado. Caso contrário, o sistema efetuará o cálculo e encontrará a localização pelo método de sequência negativa.

Acionando-se o botão 'CALCULAR', o algoritmo efetua todas as conversões, adequações e cálculos necessários e informa a localização (em km), as resistências dos terminais A e B e a média (em Ohms). Ao selecionar 'Verificar causa Provável', o algoritmo apresenta a classificação, de acordo com a Tabela 1. Se necessário o usuário pode salvar ou limpar todos os campos, bastando para isso, escolher a opção 'SALVAR' ou 'LIMPAR'.

Para avaliação do desempenho da interface gráfica, os dados de uma ocorrência com causa conhecida, foram utilizados: no dia 14 de novembro de 2018, às 14 horas e 53 minutos, aconteceu o desligamento da LT 525 kV Londrina/Assis, devido a um curto-circuito entre a fase C e terra, sendo que a equipe de manutenção de linhas encontrou a evidência de aproximação da fase à estrutura da torre T155, localizada a 76,5 km da SE de Londrina (Terminal A). Nessa ocorrência, o sistema supervisor registrou a atuação da função de fechamento sobre curto (SOTF), indicando a existência de uma falta de longa duração, e não houve o registro de incidência de raios na região. Os dados de tensão e corrente de ambos os terminais foram alimentados na interface, bem como selecionada a LT e o classificador SOTF, sendo obtidos os resultados conforme a Figura 3.

Observa-se nos resultados que o cálculo da localização da falta pelo método de sequência negativa foi de 73,71 km do Terminal A (erro de 3,64%), com uma resistência média de falta de 4,091 Ohms. Em comparação, para esta ocorrência, utilizando a localização da falta por TW, com distância de 76,48 km do Terminal A (erro de 0,03%), o resultado obtido de RF foi de 3,946 Ohms, com a mesma possível causa de aproximação da fase ao terra, o que está em concordância com a inspeção da equipe de manutenção. Isso demonstra a eficiência na determinação da causa e do método de localização por sequência negativa. Outras 16 ocorrências envolvendo as duas linhas foram calculadas e os dados compilados são apresentados na Tabela 3.

**Figura 3** - Interface gráfica para o cálculo e classificação de faltas monofásicas em LT.

V 1.0 **CAUSA PROVÁVEL DE FALTA NA LINHA DE TRANSMISSÃO** 26-Aug-2019

**DADOS DA FALTA** Data: dd-mm-aa **14-11-18**

**DADOS DA LT**

TERMINAL A **LONDRINA** TERMINAL B **ASSIS** Seleccione **LON\_ASS**

Magnitude		Ângulo	Magnitude		Ângulo	Real	Imaginário
Va (kV)	317.15	-119.90	Va (kV)	325.96	-124.20	ZL(1)	2.506 38.653
Vb (kV)	316.87	121.60	Vb (kV)	332.50	126.00	ZL(0)	44.278 170.385
Vc (kV)	187.64	0.00	Vc (kV)	142.16	0.00	L (km)	121.07
Ia (A)	139.28	-75.40	Ia (A)	144.52	14.40	<input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Sim Descarga Atmosférica no local?	
Ib (A)	123.97	152.50	Ib (A)	176.33	-109.40	<input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Sim SOTF?	
Ic (A)	4280.70	-79.20	Ic (A)	5764.80	-79.80	<input type="checkbox"/> Localização TW	
73.71 (km)		<b>Localização</b>	47.36 (km)		<input type="checkbox"/> Localização TW		
3.266 (Ohm)		<b>RF</b>	4.916 (Ohm)		4.091 Média (Ohm)		

**CALCULAR** **Verificar causa Provável**

**Causa Provável da Falta** APROXIMAÇÃO DA FASE AO TERRA.

C:\RF\_CAL\Resultados

**SALVAR** **LIMPAR**

Fonte: os autores.

**Tabela 3** - Resultados do cálculo de ocorrências.

Data	LT	Sequência Negativa		Ondas Viajantes		Resultado Classificação	Verificado
		RF ( $\Omega$ )	Dist. A (km)	RF ( $\Omega$ )	Dist. A (km)		
19/10/2014	LON_ASS	3,944	4,40	3,970	3,75	Descarga	Descarga
28/12/2014	LON_ASS	3,212	29,57	3,107	28,84	Aproximação	Aproximação
24/02/2015	LON_ASS	3,852	81,44	3,832	82,09	Aproximação	Aproximação
08/09/2015	ASS_STAR	7,286	184,01	6,283	189,77	Descarga	Descarga
05/03/2016	ASS_STAR	8,414	90,89	8,544	93,53	Pássaro	Pássaro
29/08/2016	ASS_STAR	11,981	180,17	11,960	177,45	Queimada	Queimada
11/11/2016	LON_ASS	3,564	87,71	3,598	86,95	Aproximação	Aproximação
02/10/2017	ASS_STAR	8,654	146,54	8,605	147,35	Pássaro	Pássaro
19/03/2018	ASS_STAR	6,754	87,80	7,772	101,43	Pássaro	Pássaro
08/06/2018	ASS_STAR	9,199	140,64	9,200	140,60	Pássaro	Pássaro
03/07/2018	ASS_STAR	9,190	171,98	7,641	183,34	Pássaro	Pássaro
18/10/2018	LON_ASS	4,364	55,77	4,281	62,94	Aproximação	Aproximação
29/01/2019	ASS_STAR	15,947	113,66	15,959	114,26	Vegetação	Vegetação
31/01/2019	ASS_STAR	11,583	115,48	11,500	112,97	Queimada	Vegetação
21/04/2019	ASS_STAR	9,887	134,26	9,891	132,48	Pássaro	Pássaro
25/03/2019	ASS_STAR	7,481	89,20	7,397	88,17	Pássaro	Pássaro

Fonte: os autores.

Nas 17 faltas reais, calculadas para a validação da interface, houve apenas um erro de classificação, relativo à ocorrência do dia 31/01/2019, que por meio da interface, foi classificada como queimada, porém, a equipe de manutenção verificou

como causa, vegetação. Isso se deve ao fato dessa ocorrência ter tido uma resistência média abaixo dos limiares obtidos das faltas da CEMIG e da TAESA (Tabela 1), sendo considerada atípica para a classificação de causa por vegetação. As demais ocorrências apresentaram uma classificação satisfatória, com uma variação média entre a RF calculada por TW e Sequência negativa menor que 4% e uma variação média na distância de menor que 5%. Observa-se então que a variação na distância da falta, nesse padrão, não interfere sobremaneira no cálculo da resistência de falta, e que, não apresenta variações significativas na classificação da causa.

## CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos com a interface gráfica desenvolvida, demonstrou a eficiência do método, com uma diferença média de valor de resistência de falta (RF) menor que 4% entre as duas formas de localização de falta utilizadas, para uma variação média na distância menor que 5%.

No cálculo dessa RF, os métodos de localização por TW e por Sequência Negativa foram equivalentes pois verificou-se que, com uma pequena diferença na distância, a variação do valor da resistência calculada não foi significativa e não interferiu na classificação.

Quanto à classificação da causa da falta monofásica das 17 ocorrências testadas, em apenas uma observou-se erro, o que equivale a um índice de 94,12% de acerto.

Para uma possível continuidade e avanço desta interface, alguns pontos podem ser desenvolvidos, sendo eles: a integração da interface com os softwares dos relés de proteção e o uso de inteligência artificial para aprimoramento da classificação por meio da análise das formas de onda de tensão e corrente da ocorrência.

## REFERÊNCIAS

CUNHA, L. V. **Desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas**: Influências do efeito corona na ruptura a meio vão. 2010. 125 f. Dissertação de mestrado - UFMG, Belo Horizonte, 2010.

KINDERMANN, G. **Curto-Circuito**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997.

MAEZONO, P. K. et al. **Very High Resistance Fault on a 525 kV Transmission Line**: Case Study. São Paulo, Virtus Consultoria e Serviços Ltda, 2008.

MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SATO, F.; FREITAS, W. **Análise de Curto-Circuito e Princípios de Proteção: Energia Elétrica-Fundamentos e Prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SCHWEITZER, E. O. **A Review of Impedance-Based Fault Locating Experience**. In: Northwest Electric Light & Power Association Conference, 1988. **Proceedings...** Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 1988.

SOUSA, W. M. et al. **Sistema de Localização Automática de Falhas em Linhas de Transmissão Utilizando Dados de Dois Terminais: Experiência Cemig. XVIII SNPTEE**. Curitiba, outubro 2015.

TAESA – Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A. **RELATÓRIO TÉCNICO ATE.RT.0024.01**: Revisão dos ajustes das proteções da LT 500kV Assis/Araraquara – SE Assis 500kV. Rio de Janeiro, 2016. 32 páginas.

TAESA – Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A. **RELATÓRIO TÉCNICO ATE.RT.0027.01**: Revisão dos ajustes das proteções da LT 500kV Assis/Londrina – SE Londrina 500kV. Rio de Janeiro, 2016. 34 páginas.

TZIOUVARAS, D. A.; ROBERTS, J. B.; BENMOUYAL, G. – **New multi-ended fault location design for two- or three-terminal lines** - Published in: 2001 Seventh International Conference on Developments in Power System Protection (IEE), April, 2001.

ZOCHOLL, S. E. **Three-Phase Circuit Analysis and the Mysterious k0 Factor**. In: Annual Western Protective Relay Conference, 22nd, 1995, Spokane. **Proceedings...** Spokane: Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 1995.