

GRUPO -XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

SISTEMA REMOTO DE DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FALTA EM UMA LINHA DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DO SISTEMA DE ONDAS PORTADORAS UTILIZANDO O SOFTWARE ATP

JOSÉ F. ADAMI* **** M. L. B. MARTINEZ** *****ANTONIO C. DALLBELLO**
***UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FIHO**
****UNIFEI – UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – MG**
*****CEMAT – CENTRAIS ELÉTRICAS MATOGROSSENSES S.A.**

RESUMO

Este artigo apresenta uma técnica remota de detecção e localização de falta, em uma linha de transmissão (LT) através do sistema de onda portadora (Power Line Carrier - PLC) e o seu nível de recepção, utilizando o software ATP (Alternative Transients Program) e conceito de ondas viajantes. Os parâmetros utilizados nas simulações foram baseados no sistema PLC, instalado numa linha de transmissão de 138[kV] da concessionária Centrais Elétricas Matogrossenses S/A, tendo em vista um projeto de pesquisa e desenvolvimento de supervisão de uma LT, cujo objetivo é a redução tempo e custos na localização de uma falta.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Sistema de Ondas Portadoras, Falta, Localização, ATP.

1.0 INTRODUÇÃO

As concessionárias de energia elétrica, atualmente, utilizam as linhas de transmissão para transportar energia elétrica (60 Hz) e também vários sinais de comunicação como voz, dados, e sinais de proteção em alta frequência. O sistema, que tem sido usado desde o início do século XX (1) e que possibilita esta transmissão simultânea sem interferência mútua, é denominado de Sistema de Ondas Portadoras (PLC), através de sinais com frequências entre 30 kHz a 500 kHz.

2.0 O SISTEMA DE ONDA PORTADORA

A Figura 1 ilustra um sistema PLC (2), onde observam-se seus principais componentes: bobina de bloqueio, capacitor de acoplamento, caixa de sintonia, equipamento PLC e a própria linha de transmissão.



FIGURA 1 - Sistema de onda portadora – PLC(2).

A seguir, são descritas as funções principais destes elementos.

2.1 Bobina de bloqueio

Trata-se de um circuito ressonante paralelo sintonizado, cuja função é oferecer alta impedância a uma frequência específica de onda portadora ou uma faixa de frequência entre 30 a 500 [kHz]. Ela é inserida em série com um dos condutores da linha de transmissão. Possui uma impedância desprezável na frequência industrial (60 Hz) e, portanto, não afeta a corrente normal do sistema de potência. Valores típicos da indutância de uma bobina de bloqueio encontra-se na faixa entre 0.1 a 2 [mH], com correntes nominais entre 400 a 4000 [A] (2)

2.2 Capacitor de acoplamento de alta tensão.

Tem como objetivo oferecer impedância reativa alta na frequência de transmissão de energia, porém baixa para sinal portador de informação. É ligado diretamente à linha evitando influências nos equipamentos terminais da frequência da rede de energia. Os valores típicos dos capacitores de acoplamento variam entre 2000 a 20000 [pF] (2), dependendo da máxima tensão do sistema.

2.3 Caixa de sintonia (unidade de casamento e sintonia).

Busca evitar interferências e ruídos, proteção, bem como permitir a realização do casamento de impedância entre o PLC e a linha de alta tensão, resultando assim em uma melhor eficiência na transmissão do sinal. Assim, a combinação do sintonizador de linha, capacitor de acoplamento e a bobina de dreno fornecem os instrumentos necessários para acoplar a energia da portadora à linha da transmissão e bloquear a frequência industrial.

2.4 Linha de transmissão

É o meio utilizado para transmissão da frequência industrial (60 Hz) e sinais de alta frequência gerados no sistema PLC. As linhas aéreas são a escolha predominante para linhas de transmissão].

3.0 SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA PLC NO ATP

A Figura 2 ilustra o sistema de ondas portadoras no ATP (3) para uma linha de transmissão de 138 [kV] de 100 [km]. As características do sistema PLC foram as mesmas da LT da CEMAT.

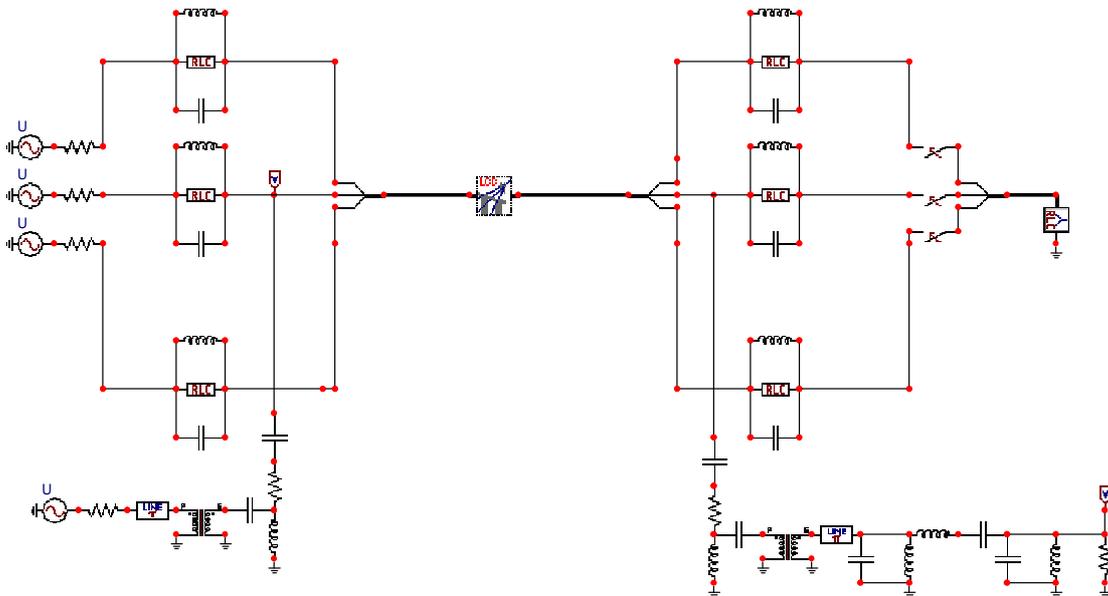


FIGURA 2 - Sistema de Ondas Portadoras no ATP

Dados da linha: Tensão nominal - 138 [kV]; Cabo de transmissão de energia CAA# 266,5 MCM "Partridge" de diâmetro 16,28 [mm]; Alturas dos condutores $H_a = 20,35$ [m]; $H_b = 18,55$ [m]; $H_c = 16,75$ [m]; Flecha condutor :5,36 [m]; Cabo pára-raios: 5/16" H_s de diâmetro 9,31 [mm]; Altura cabo pára-raios $H_p = 25$ [m]; Flecha do cabo pára-

raios: 4,76 [m]; Freqüência da portadora: 232 [kHz];

Sistema PLC: Potência de transmissão da portadora: 0,316 W ou 25 dBm .

Parâmetros da bobina de bloqueio: Ramo 1: Indutor principal = 0,531 [mH]; Ramo 2: Resistor = 420 [Ω]; Indutor = 0,28 [mH]; Capacitor = 3,01 [nF]; Ramo 3: Capacitor = 1,59 [nF].

Cabos coaxial: os comprimentos considerados no projeto foram de 210 e 130 [m], conforme as distâncias reais, fornecendo: R=14,06 [Ω/ km]; L = 0,38 [mH/km]; C = 67 [nF/km].

Filtro passa-faixa: utilizado na recepção - Indutância série Ls = 2291,83 [mH], capacitância série Cs = 205,82 [pF], capacitância paralela Cp = 318,31 [nF] e indutância paralela Lp = 1481,88 [nH].

Dois filtros LC: Indutância = 1 [mH]; capacitância = 10 [μF].

A Figura 3 ilustra o sinal composto (Sinal portadora 232 [kHz] + sinal de 60 [Hz]).

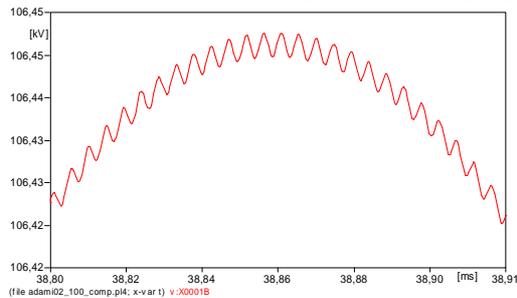
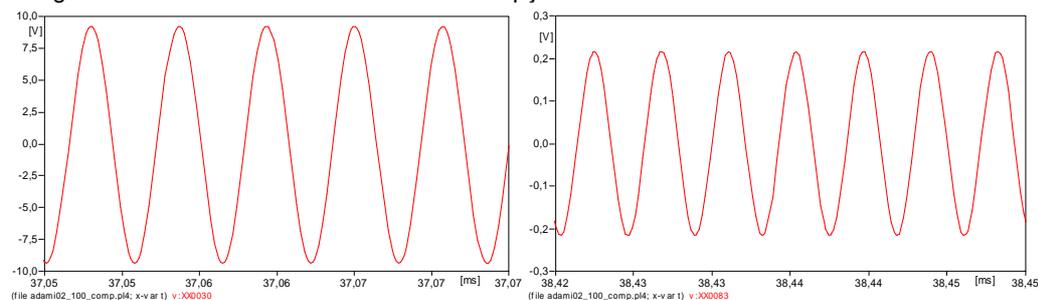


FIGURA 3 – Sinal Composto

A Figura 4 ilustra o sinal de transmissão e recepção do sistema PLC.



(a) (b)
FIGURA 4 – Sinal de transmissão (a) e recepção (b) da Portadora do PLC.

O sinal de recepção de 0,22 [Vp] , como mostra a Figura 4 (b), corresponde a um nível em dBm de:

$$dBm = 10 \log \frac{P_1}{1mW}; \quad Eq.01$$

$$P_1 = \frac{V_P^2}{2R} = \frac{0,22^2}{2 \times 75} = 3,23 \times 10^{-4}$$

$$dBm = 10 \log \frac{3,23 \times 10^{-4}}{1mW}$$

$$dBm = -4,9 \text{ [dBm]}$$

Foi realizado pela equipe de manutenção da CEMAT na LT (Nobres e Cidade Alta) um ensaio para medir o sinal de recepção do sistema PLC. Injetou-se uma portadora de 232 kHz com o nível de 24,7 dBm / 75Ω em uma das subestações. Posteriormente mediu-se, na outra estação, o nível de recepção da portadora de 4,5 dBm / 75Ω. Este sinal foi satisfatório já que apresentou um nível superior ao mínimo necessário conforme (4). Este ensaio foi realizado em condições de tempo bom. O valor calculado para tempo bom e ruim foram respectivamente de -2,2 dBm / 75 Ω e -8,31 dBm / 75 Ω (5).

Comparando os resultados do ensaio, cálculo e o simulado percebe-se uma diferença, que se deve ao fato de que, em simulações, sempre são consideradas as piores condições e em ensaio de campo, não foram realizados em condições de tempo ruim. Nesta condição o sinal de recepção é deteriorado devido ao ruído aumentar nas LT's (4).

Além disso, qualquer variação no comprimento da LT, dos cabos coaxiais considerados, acarretará auteração no

casamento de impedância do sistema, podendo aumentar ou diminuir o nível de recepção devido as reflexões. Mostrando assim, que a simulação é uma ferramenta útil na análise previa da qualidade de recepção do sistema.

4.0 TOPOLOGIA DO SISTEMA DE DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM UMA LT ATRAVÉS DO SISTEMA PLC.

O sistema proposto consiste na montagem de uma estrutura para a retirada do sinal de comunicação da LT para a aquisição de dados acerca de faltas presente na linha de transmissão. A Figura 5 ilustra a topologia deste sistema.

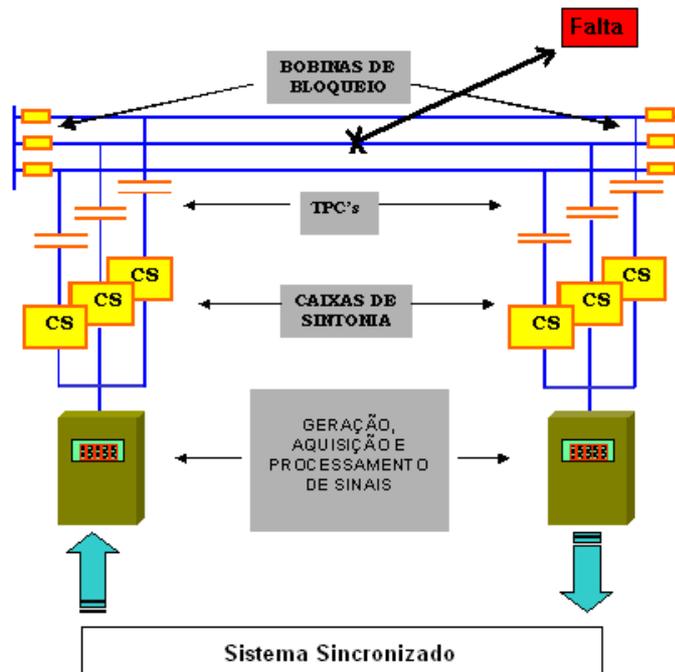


FIGURA 5 – Topologia do sistema de localização de falta na LT.

5.0 TÉCNICA DE DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FALTA EM UMA LT ATRAVÉS DO PLC

Neste tópico é apresentada a técnica de localização de uma falta em uma LT proposta no item anterior. Foi considerada uma linha de comprimento L como ilustrada na Figura 6. Utilizou-se para tal, o conceito de ondas viajantes, isto é, sinais oriundos por qualquer envendo e que trafegam na LT no sentido da carga e no sentido do gerador. O sistema é monitorado tanto na localidade A quanto na B. O tempo t_{R1} corresponde ao tempo para o sinal gerado pela falta ser detectado na localidade A e t_{R2} é tempo para o mesmo sinal de falta ser detectado na localidade B. Esta técnica necessita de sincronismo de tempo nas duas localidades.

Para localização onde ocorreu a falta utiliza-se o seguinte cálculo:

$$d_1 = \frac{L.t_{R1}}{t_{R1} + t_{R2}} \quad \text{ou} \quad d_2 = \frac{L.t_{R2}}{t_{R1} + t_{R2}} \quad \text{Eq 2}$$

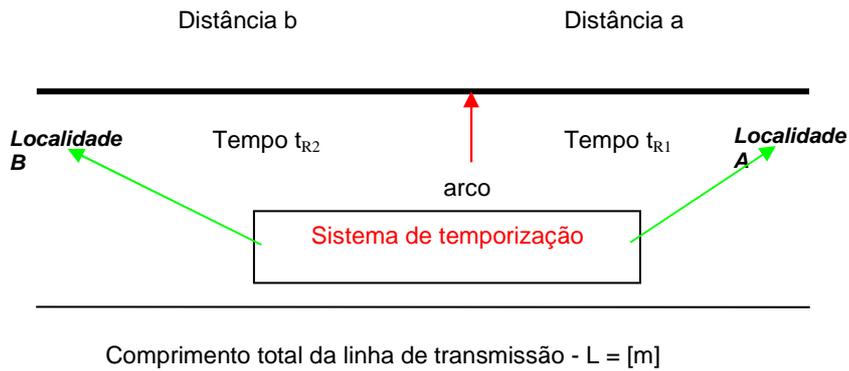


FIGURA 6 – Linha de Transmissão com monitoramento em ambas as localidades.

A Figura 7 mostra o sistema de ondas portadoras modelado no ATP utilizado na localização de uma Falta (curto circuito) ocorrida em uma linha de transmissão. Neste caso a falta ocorreu a 10 [km] de uma localidade e a 90 [km] da outra. Para este exemplo considerou-se que a falta ocorreu no tempo de 4,16666 [ms] em um período de $1/60 = 16,6666$ [ms]. As características deste sistema são as mesmas do sistema PLC apresentado anteriormente.

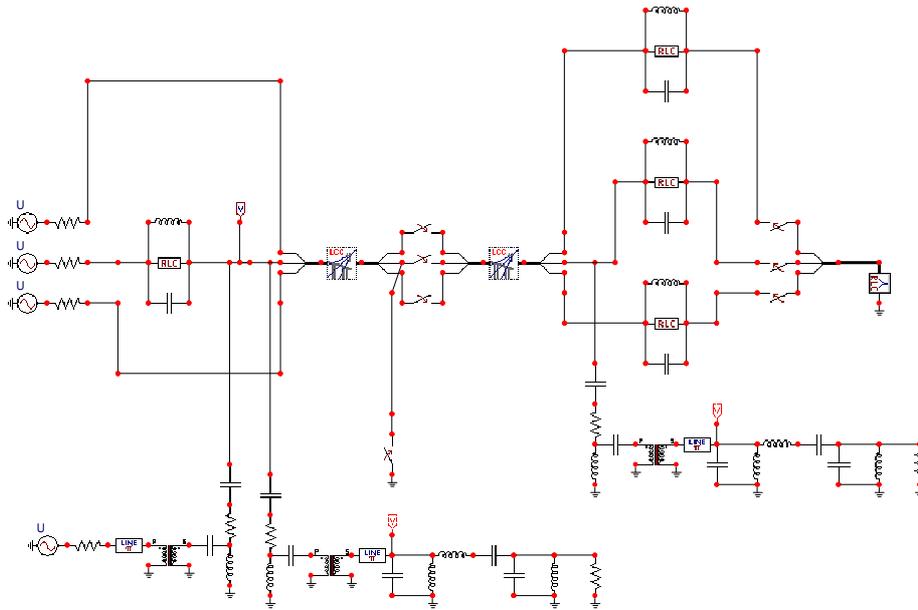


FIGURA 7 – Circuito PLC utilizado no ATP para simular uma Falta (Curto Circuito).

Cálculo do local onde ocorreu a falta

$$t_{R1} = 4,1947 - 4,16666 = 28,04 [\mu s]$$

$$t_{R2} = 4,418 - 4,16666 = 251,134 [\mu s]$$

$$d_1 = \frac{L \cdot t_{R1}}{t_{R1} + t_{R2}} = \frac{100000 \cdot 28,04}{28,04 + 251,143} = 10044 [m]$$

$$d_2 = \frac{L \cdot t_{R2}}{t_{R1} + t_{R2}} = \frac{100000 \cdot 251,143}{28,04 + 251,143} = 89956 [m]$$

A Figura 8 mostra os sinais de reflexões de uma Falta (curto circuito) capturados nas duas localidades após o fechamento da chave no tempo de 4,16666 [MS].

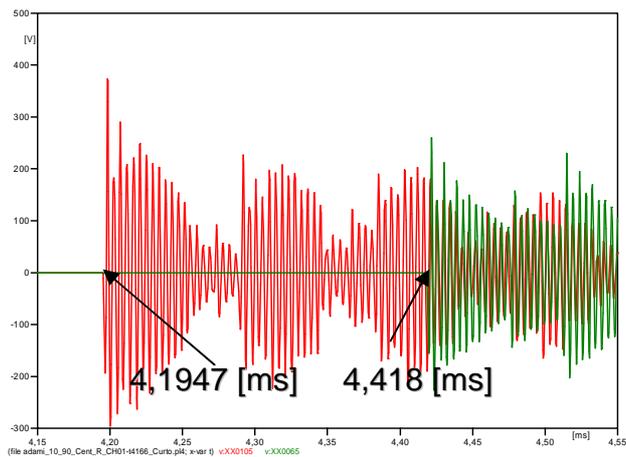


FIGURA 8 – Sinais de reflexões de uma falta (curto-circuito) ocorrida na LT.

A Tabela 1 mostra os resultados dos cálculos obtidos das análises das formas de onda com as reflexões do sinal gerado pela falta (curto-circuito) para várias distâncias, quando o mesmo ocorre no tempo de 4,1666 [ms]. A tabela 1 mostra as distâncias ideais e as calculadas pelas reflexões dos sinais gerados pela falta.

TABELA 1 - Distância onde ocorreu a falta (curto-circuito) das localidades A e B – Tch = 4,16666 [ms]

T_{R1} [μs]	t_{R2} [μs]	Distância da Localidade [m]			
		A (d_1)		B (d_2)	
$4,1947 - 4,16666 = 28,04$	$4,4179 - 4,16666 = 251,24$	10000	10040	90000	899960
$4,2226 - 4,16666 = 55,94$	$4,3900 - 4,16666 = 223,34$	20000	20030	80000	79970
$4,2506 - 4,16666 = 83,94$	$4,3621 - 4,16666 = 195,44$	30000	30045	70000	69995
$4,2786 - 4,16666 = 111,94$	$4,3341 - 4,16666 = 167,44$	40000	40067	60000	59933
$4,3063 - 4,16666 = 139,64$	$4,3063 - 4,16666 = 139,64$	50000	50000	50000	50000
$4,3342 - 4,16666 = 167,54$	$4,2784 - 4,16666 = 111,74$	60000	59990	40000	40010
$4,3622 - 4,16666 = 195,54$	$4,2502 - 4,16666 = 83,54$	70000	70066	30000	29934
$4,3901 - 4,16666 = 223,44$	$4,2222 - 4,16666 = 55,54$	80000	80092	20000	19908
$4,4180 - 4,16666 = 251,34$	$4,1946 - 4,16666 = 27,94$	90000	89996	10000	10004

A Figura 9 mostra o Sistema PLC utilizado para simular uma Falta com impedância de 40Ω e depois 5000Ω no ATP.

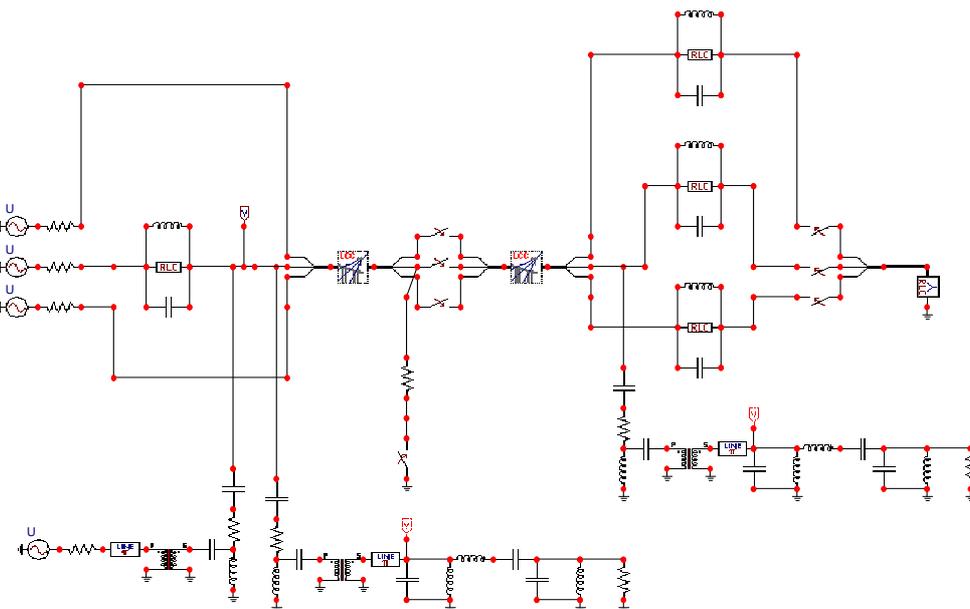


FIGURA 9 - Sistema PLC no ATP simulando Falta com impedância variável

As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados dos cálculos obtidos das análises das formas de onda das reflexões dos sinais gerados por uma Falta de baixa impedância (40 Ω) e alta impedância (5000 Ω) respectivamente para várias distâncias, quando a mesma ocorre no tempo de 4,16666 [ms]. Nas tabelas também apresentam os cálculos das distâncias ideais devido as reflexões, conforme equação 2.

$$t_{R1} = 4,2505 - 4,16666 = 83,84[\mu s]$$

$$t_{R2} = 4,3621 - 4,16666 = 195,44[\mu s]$$

$$d_1 = \frac{L.t_{R1}}{t_{R1} + t_{R2}} = \frac{100000.83,84}{83,84 + 195,44} = 30020[m]$$

$$d_2 = \frac{L.t_{R2}}{t_{R1} + t_{R2}} = \frac{100000.195,44}{83,84 + 195,44} = 69980[m]$$

TABELA 2 - Distância onde ocorreu a falta de baixa impedância (40 Ω) das localidades A e B -Tch = 4,16666 [ms].

t_{R1} [μs]	t_{R2} [μs]	Distância da Localidade [m]			
		A (d_1)		B (d_2)	
4,1948 - 4,16666 = 28,14	4,4179 - 4,16666 = 251,24	10000	10072	90000	89928
4,2227 - 4,16666 = 56,04	4,3900 - 4,16666 = 223,34	20000	20058	80000	79942
4,2505 - 4,16666 = 83,84	4,3621 - 4,16666 = 195,44	30000	30020	70000	69980
4,2784 - 4,16666 = 111,74	4,3341 - 4,16666 = 167,44	40000	40024	60000	59976
4,3063 - 4,16666 = 139,64	4,3063 - 4,16666 = 139,64	50000	50000	50000	50000
4,3342 - 4,16666 = 167,54	4,2785 - 4,16666 = 111,84	60000	59969	40000	40031
4,3621 - 4,16666 = 195,54	4,2505 - 4,16666 = 83,84	70000	69991	30000	30009
4,3900 - 4,16666 = 223,34	4,2226 - 4,16666 = 55,94	80000	79970	20000	20030
4,4179 - 4,16666 = 251,24	4,1946 - 4,16666 = 27,94	90000	89992	10000	10008

Tabela 3 - Distância onde ocorreu a falta de alta impedância (5000 Ω) das localidades A e B -Tch = 4,16666 [ms].

t_{R1} [μs]	t_{R2} [μs]	Distância da Localidade [m]			
		A (d_1)		B (d_2)	
4,1948 - 4,16666 = 28,14	4,4179 - 4,16666 = 251,24	10000	10072	90000	89928
4,2227 - 4,16666 = 56,04	4,3900 - 4,16666 = 223,34	20000	20058	80000	79942
4,2506 - 4,16666 = 83,94	4,3621 - 4,16666 = 195,44	30000	30045	70000	69955
4,2785 - 4,16666 = 111,84	4,3341 - 4,16666 = 167,44	40000	40046	60000	59954
4,3063 - 4,16666 = 139,64	4,3063 - 4,16666 = 139,64	50000	50000	50000	50000
4,3342 - 4,16666 = 167,54	4,2784 - 4,16666 = 111,74	60000	59990	40000	40010
4,3621 - 4,16666 = 195,54	4,2505 - 4,16666 = 83,84	70000	69991	30000	30009
4,3900 - 4,16666 = 223,34	4,2226 - 4,16666 = 55,94	80000	79970	20000	20030
4,4179 - 4,16666 = 251,24	4,1947 - 4,16666 = 28,04	90000	89960	10000	10040

$$t_{R1} = 4,2506 - 4,16666 = 83,94[\mu s]$$

$$t_{R2} = 4,3621 - 4,16666 = 195,44[\mu s]$$

$$d_1 = \frac{L.t_{R1}}{t_{R1} + t_{R2}} = \frac{100000.83,94}{83,94 + 195,44} = 30045[m]$$

$$d_2 = \frac{L.t_{R2}}{t_{R1} + t_{R2}} = \frac{100000.195,44}{83,94 + 195,44} = 69955[m]$$

Observou-se nas simulações que as variações das impedâncias de falta alteram as amplitudes dos sinais de reflexões (primeiro pico positivo maior que 12 [V] para impedância de 5000 [Ω] e menor que 350 [V] para curto), valores que são suficientes para análise da distância onde ocorreram as faltas.

6.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.

Após realizar a simulação do nível de recepção do sistema PLC contata-se que é útil para uma análise previa da qualidade do sistema.

Para a localização da falta pode-se observar nas tabelas 1, 2 e 3 que o erro na localização da falta em uma LT foram menores que 0,1 % ou melhor, menor que 100 metros em uma linha de 100 km.

7.0 CONCLUSÕES

As simulações do sistema PLC apresentaram resultados animadores comparados com os de medição. Desta forma conclui-se que a utilização do modelo utilizado no ATP pode ser utilizado para análise preliminar dos níveis de recepção de qualquer outro sistema PLC (30kHz a 500kHz), bastando corrigir a distância da LT do sistema, os parâmetros da linha, parâmetros do cabo coaxial e os parâmetros dos filtros para a nova frequência de operação do sistema PLC.

A técnica de localização de falta em uma LT com baixa e alta impedância mostrou-se bastante satisfatório. Podendo ser utilizada para simular qualquer tipo de LT contendo sistema PLC.

Este novo conceito de localização de falta remoto pode ser aplicado em campo, para isto deverá ser instalado em cada localidade um sistema de aquisição sincronizado para capturar sinais gerados pela falta e sua localização após tratamento da mesma.

Espera-se com esta pesquisa apresente uma nova maneira de redução de custos e tempo na localização remota de uma falta pelas equipes de manutenção das concessionárias de energia.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Cheek, R.C (1964), Power Line Carrier- Application. Eletrical Transmission and Distribution – Reference Book Westinghouse Corporation,1964.

(2) Areva , documentação técnica interna sobre PLC, 2005.

(3) J. R. Marti, Accurate Modelling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulations, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 101-157, January 1982.

(4) Sanders, M. P., Ray, R.r E. Power Line Carrier Cannel & Application considerations for transmission line relaying, Pulsar document number C045-P0597.

(5) Adami, j. F., Modelagem de uma Linha de transmissão com um Sistema de Ondas Portadoras simulando Distúrbio de Alta Frequência através do MATLAB / SIMULINK, XIX SNPTEE, Outubro de 2007.

9.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Nascido em Itajubá, MG em 15 de agosto de 1956.

José Feliciano Adami Engenheiro Eletricista pelo Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL (1978). Mestre em Ciências – Sistema de Potência pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (2001). Doutor em Engenharia pela UNIFEI (2008). Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista - UNESP – Guaratinguetá desde 2004. Membro do Grupo de Pesquisa e Estudos em Qualidade da Energia Elétrica – GQEE. Trabalhou na Siemens S/A na área telecomunicações de 1979 a 1999. Áreas de interesse: proteção de sistemas elétricos, qualidade da energia, energias renováveis e Telecomunicações.

Manuel Luis Barreira Martinez Engenheiro Eletricista pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI (1982). Mestre em Ciências – Sistema de Potência pela EFEI (1993). Doutor em Engenharia pela Universidade Politécnica de São Paulo em 2000. Professor Adjunto da Universidade Federal de Itajubá, desde 1994. Responsável pelo Laboratório de Alta Tensão – LAT- EFEI. Área de interesse: materiais elétricos e tecnologia em alta tensão, trabalha com para-ráios, transitório e isolamento em alta tensão de dispositivos e sistemas de potência. Experiência profissional nas empresas 3M, consultor da THEMAG e ELETRONORTE.

Antonio Carlos Dall Bello Licenciatura em Eletrônica, Eletricidade e Instalações Elétricas - Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET Pr (1990). Trabalha na Centrais Elétricas Matogrossenses S.A. desde julho de 1982, atuando na área de manutenção de campo e laboratório, instalação e comissionamento de Sistemas de Comunicação, Automação e Energia. Professor no CEFET-MT desde 1982 nos cursos de Eletrônica e Telecomunicações