

Localização de Cargas Clandestinas em Linhas de Distribuição Através do Método de Ondas Trafegantes.

Leandro Coqueiro Silva¹
Ricardo Cerqueira Medrado¹
Davi Franco Rêgo²
Lucas Costa Mendes¹
Fernando Augusto Moreira³
Jorge Eduardo Soto Marambio¹
¹Norsul Engenharia e Consultoria
²Instituto Federal da Bahia
³Universidade Federal da Bahia
Salvador, Brasil
norsul@norsulengenharia.com.br

Krystyanny da Rocha Cavalcanti⁴
Edmilson de Lima Santos⁴
Marcus Vinícius de Carvalho Santos⁴
⁴Eletrobras Distribuição Alagoas
Maceió, Brasil
krystyanny.cavalcanti@ceal.com.br

Resumo - Conexões de cargas em linhas de distribuição de energia elétrica causam transitórios que trafegam próximos à velocidade da luz e se propagam ao longo da linha como ondas trafegantes. Uma vez conhecidas as cargas regulares de um trecho de rede 13,8kV com extensão de 15,55km, foi desenvolvido um método de localização de conexões clandestinas em linhas de distribuição, tendo como referência técnicas utilizadas na localização de faltas nas linhas de transmissão através das ondas trafegantes. Para a localização das conexões clandestinas foi utilizado o método de localização conhecido na literatura como método “D”, o qual consiste na localização de cargas através de dois analisadores de rede, temporalmente sincronizados, instalados em terminais opostos do trecho de interesse. Foi desenvolvido um modelo computacional, utilizando o software ATP/EMTP® (Alternative Transients Program / Electromagnetic Transients Program), simulando um circuito trifásico com linhas a parâmetros distribuídos. Assim, através do transitório gerado pela conexão de uma carga à rede, no trecho avaliado, o método permite identificar a posição exata da carga clandestina.

Palavras-Chave - Conexões clandestinas. Linha de distribuição. Localização. Método D. Ondas trafegantes.

I. INTRODUÇÃO

Este artigo integra o projeto de P&D “Identificação Remota de Perdas Comerciais com Cargas Rurais Móveis – Blindagem de Áreas Críticas fundamentada em conceitos de Smart Grid, e modelo de ondas trafegantes para monitoramento de linhas”, em execução, conforme código ANEEL 162/2013. O projeto vem sendo conduzido pela Fundação Escola Politécnica, com apoio técnico da Norsul Engenharia e Consultoria Ltda e financiado pela Eletrobras Distribuição Alagoas.

As perdas elétricas não técnicas representam grandes prejuízos para as Distribuidoras de Energia no Brasil. Geralmente a origem das perdas não técnicas surge em zonas urbanas de alta concentração populacional. Entretanto, a Eletrobras Distribuidora de Alagoas possui grandes perdas elétricas na zona rural durante o período de irrigação do setor canavieiro, chegando a uma perda de faturamento de até 60% da energia adicional injetada nestes períodos. Essas perdas comerciais na área rural normalmente estão associadas à ligações clandestinas de conjuntos moto-bomba utilizados na irrigação da cana.

Como ponto de partida para o desenvolvimento de uma solução utilizando métodos de ondas trafegantes, o artigo apresenta uma descrição preliminar dos métodos de localização de faltas e sua possível utilização na localização das conexões clandestinas que são realizadas em meio rural, de forma a caracterizá-las quanto à distância entre ligações.

Este trabalho apresenta uma série de simulações computacionais, e analisa os transitórios provocados pela entrada na rede de modelos simplificados de cargas, representando conjunto moto-bombas, classificados como conexões clandestinas, em meio rural, na região canavieira abrangida pelo referido projeto de P&D.

Atualmente, em sistemas de potência, a utilização do método de ondas trafegantes vem sendo largamente aplicado para localização de faltas em linhas de transmissão. Existem pesquisas que procuram mostrar a viabilidade do método para a mesma aplicação em sistemas de distribuição, ressaltados o aumento da complexidade da análise e o refinamento metodológico requerido [1].

A análise do transitório eletromagnético gerado pela ocorrência de eventos no sistema de potência pode fornecer informações importantes para a localização destes eventos.

Este artigo avalia a aplicabilidade do próprio sinal transitório gerado pela conexão clandestina e registrado nas duas extremidades da linha, de forma a entender através de simulações os fenômenos que ocorrem em linhas de transmissão/distribuição quando da ocorrência destes eventos no sistema.

O texto está estruturado da seguinte forma: a seção II apresenta a fundamentação teórica aplicada para a abordagem do problema, a seção III apresenta a metodologia adotada nesse trabalho, enquanto a seção IV apresenta os resultados obtidos e finalmente as conclusões são apresentadas na seção V.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É consolidada a utilização de ondas trafegantes em associação com técnicas de processamento digital de sinais para localização de faltas em linha de transmissão de energia elétrica.

Algumas técnicas de localização de faltas são baseadas nas componentes de alta frequência dos transitórios, dentre elas destacam-se as técnicas baseadas na teoria das ondas trafegantes. 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 combinam técnicas de inteligência computacional com técnicas de processamento digital de sinais têm sido utilizadas [2]-[5]. Métodos baseados na Correlação Cruzada, na Transformada Wavelet associados a Redes Neurais também têm sido usados [6]-[7].

Desde a década de 50 a Administração de Energia de Bonneville (Bonneville Power Administration - BPA), empresa do setor energético norte-americano, tem usado a tecnologia de ondas trafegantes para localização de faltas em seus sistemas de transmissão de extra-alta tensão [8]-[11].

Dentre os métodos de localização de faltas comumente utilizados, destacam-se quatro tipos, segundo o seu princípio de operação: A, B, C e D [12].

Método A: Faz uso do próprio sinal transitório gerado pela falta e amostrado em apenas uma das extremidades da linha de transmissão. Este é um localizador de um terminal que utiliza o primeiro pulso incidente sobre o analisador e reflexões deste pulso originadas no ponto de falta.

Método B: Este é um localizador de dois terminais e faz uso de um pulso de sincronismo gerado após a falta, pelos relés digitais religadores instalados na linha de transmissão. Este sinal de sincronismo é localizado nas duas extremidades da linha e a localização da falta é calculada com base na diferença entre os tempos de chegada da frente de onda nas duas extremidades da linha de transmissão.

Método C: O método C é análogo ao princípio de funcionamento de um radar e utiliza as técnicas de reflectometria. Ele consiste em injetar um pulso em uma das extremidades da linha e registrar o instante de chegada da frente de onda que foi refletida no ponto de falta.

Método D: O localizador do tipo D não utiliza fontes geradoras de pulso. Seu princípio se baseia na captura dos próprios sinais transitórios gerados pelo arco de falta. Utiliza

duas unidades de registro de transitório, localizadas nas extremidades da linha.

Em redes de baixa tensão existem estudos para a localização de cargas ilegais através da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). A técnica consiste em calcular a distância do analisador à conexão da carga através da inserção de um pulso de curta duração na rede e análise do instante das reflexões provenientes das descontinuidades (cargas, ramificações, faltas e defeitos) na extensão do cabo [13]. Para determinar a posição da descontinuidade, utiliza-se o tempo decorrido entre o pulso de entrada e o pulso refletido. Para a determinação do espaço percorrido pelo pulso, multiplica-se a velocidade de propagação pelo tempo de reflexão. Se o pulso é injetado no início do cabo e refletido no final, deve-se observar que o tempo de reflexão corresponde ao necessário para percorrer o comprimento do cabo duas vezes. Nesse caso deve-se dividir o tempo pela metade para encontrar a posição da descontinuidade. Esta técnica é referente ao princípio do método classificado como C. Mas devido a sua dificuldade na aquisição de equipamentos que injetam pulso na rede de média-alta tensão, partiu-se para a análise de viabilidade do método D para detecção de cargas clandestinas, onde este necessita apenas da frente de onda causada pelo transitório na rede. Este método é descrito com mais detalhes a partir da próxima seção deste artigo.

III. METODOLOGIA

A. Método D

A localização de faltas por ondas trafegantes baseia-se na determinação do intervalo de tempo que a onda de tensão ou corrente leva para trafegar do ponto da falta aos terminais da linha onde estão instalados os localizadores e na velocidade de propagação da onda na linha [14]. Este processo pode ser retratado conforme mostra a Figura 1.

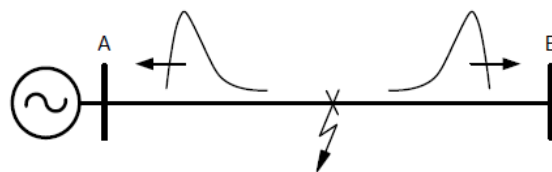


Figura 1. Ondas trafegantes

Partindo deste pressuposto, foram realizadas simulações para identificar a localização de cargas clandestinas através dos transitórios de tensão gerados por estas cargas na rede.

Assim, o localizador do tipo D aplicado à localização de cargas clandestinas faz uso do próprio sinal transitório gerado pela conexão da carga. Este localizador funciona na forma diferencial, com dois terminais, e requer a instalação de duas URTs (Unidade de Registro de Transitórios) ou analisadores de rede, cada qual instalada em um terminal da linha de transmissão/distribuição. A localização da carga no trecho é obtida pela diferenciação dos tempos de chegada das primeiras ondas transitórias em cada uma das extremidades do trecho analisado.

As URTs, temporalmente sincronizadas, têm a finalidade de realizar a detecção e registro dos tempos de chegada da primeira frente de onda gerada pelos eventos transitórios da entrada de uma carga na rede. Para este sincronismo, deve existir alguma técnica que garanta a mesma base de tempo para as duas URTs. Atualmente isto pode ser realizado através da incorporação de um módulo GPS (Global Positioning System) a cada uma das URT's, ou através da emissão de sinais de sincronismo na rede. A Figura 2 mostra um diagrama de Lattice para este tipo de localizador quando ocorre a conexão da carga na linha de transmissão.

A partir da Figura 2 pode-se ver que para este tipo de localizador é irrelevante a duração da conexão, desde que o impacto sobre a linha gere transitórios com energia suficiente para serem detectados pelas URTs. Como o método não faz uso das ondas refletidas, o excesso de cargas conectadas no trecho analisado não causará grandes transtornos na avaliação da posição da carga originadora do transitório, apenas gerando uma atenuação na frente de onda, provocada pelas reflexões ocorridas em todos os pontos de descontinuidade do condutor.

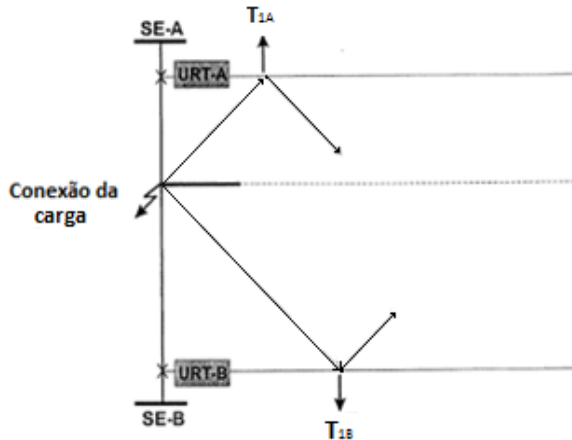


Figura 2. Diagrama de Lattice para localizador do tipo D

Aplicando o método D, a distância de cada URT à carga que dá origem ao sinal transitório é determinada através das equações (1) e (2):

$$d_{AF} = \frac{L}{2} + \frac{(T_{1A} - T_{1B})}{2} \times v \quad (1)$$

$$d_{BF} = \frac{L}{2} + \frac{(T_{1B} - T_{1A})}{2} \times v \quad (2)$$

Onde:

d_{AF} : distância entre o ponto de medição A e a conexão clandestina;

d_{BF} : distância entre o ponto de medição B e a conexão clandestina;

L : distância entre medidores A e B.

T_{1A} : tempo de chegada da frente de onda ao medidor A;

T_{1B} : tempo de chegada da frente de onda ao medidor B;

v : velocidade de propagação da onda trafegante;

B. Rede Elétrica Simulada

No estudo do caso do projeto P&D, foi destacado o alimentador Y3 da Subestação Periperi, representado geograficamente na figura 3, como trecho a ser simulado por ser uma área reconhecida pelos altos índices de perdas.

A figura 3 destaca os consumidores de média tensão (marcação amarela) e os consumidores de baixa tensão (marcação rosa) na região mencionada.

Para realizar as simulações foi desenvolvido um modelo no ATP utilizando os dados das redes de distribuição rurais do estado de Alagoas, conforme mostra a tabela I.



Figura 3 - Disposição georreferenciada da área escolhida.

TABELA I: CARACTERÍSTICAS DA REDE MODELO

Parâmetro	Valor
Altura da linha	9 m
Impedância Característica da Linha	570,16 Ω
Distância entre condutores	1,2 m
Resistividade do Solo	100 $\Omega.m$

IV. RESULTADOS OBTIDOS

Utilizando os dados da Tabela 1, foi desenvolvido um modelo da rede elétrica no software ATP simulando um circuito trifásico com linhas a parâmetros distribuídos, conforme mostrado na figura 4.

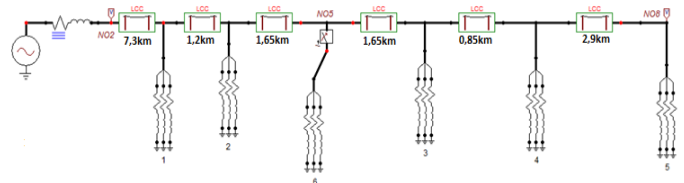


Figura 4. Configuração utilizada para identificação de conexões clandestinas através do Método D (carga clandestina entre consumidores 2 e 3).

As medições foram realizadas no ponto identificado como "NO2", de forma a simular a aquisição de sinais a partir da saída de uma subestação, bem como também foram realizadas no final do trecho destacado, identificada por "NO8", onde as perturbações transitórias possuem maior amplitude. As linhas foram modeladas com trechos de 7,3km, 1,2km, 3,3km,

0,85km, e 2,9km respectivamente, da esquerda para a direita, para representar a distância real entre os cinco primeiros consumidores de média tensão (representados pelas cargas 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente) explorado no trecho piloto do projeto P&D. O passo de tempo utilizado no ATP variou de 500ns a 2μs.

Foi acrescentada, ainda, uma sexta carga no ponto 'NO5', que se conecta, no ponto central do trecho de 3,3km, na linha através do fechamento de uma chave. Esta carga simula uma carga móvel clandestina, que entra no sistema a partir de um ponto onde não deveria haver nenhuma conexão. A descrição pormenorizada das cargas está expressa na Tabela II.

TABELA II: POSIÇÃO DOS CONSUMIDORES E CARGAS ASSOCIADAS AOS MESMOS

Consumidor	Distância da Subestação	Resistência/ Indutância da Carga	Quantidade de motores
1	7,3km	128Ω / 197mH	2
2	8,5km	128Ω / 197mH	2
3	11,8km	128Ω / 197mH	2
4	12,65km	128Ω / 197mH	2
5	15,55km	128Ω / 197mH	2
6 (clandestino)	10,15km	257Ω / 394mH	1

Na configuração mostrada na Figura 4, a carga clandestina é conectada no vão entre os consumidores regulares dois e três, a 10,15km do medidor A e a 5,4km do medidor B. Esta carga é conectada ao circuito através de uma chave que é acionada em 20ms.

O resultado da simulação da rede elétrica é exibido na Figura 5.

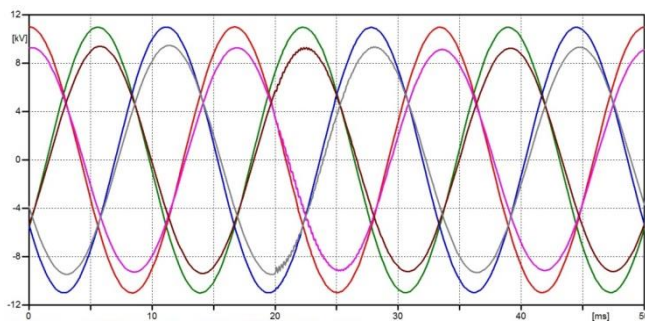


Figura 5. Resposta trifásica do transitório gerado pela conexão da carga clandestina em 20ms.

Para melhor visualizar o efeito do transitório da conexão da carga na rede, aplicou-se um zoom na fase C medida nos dois analisadores, a partir do instante t=20ms, conforme apresentado na figura 6.

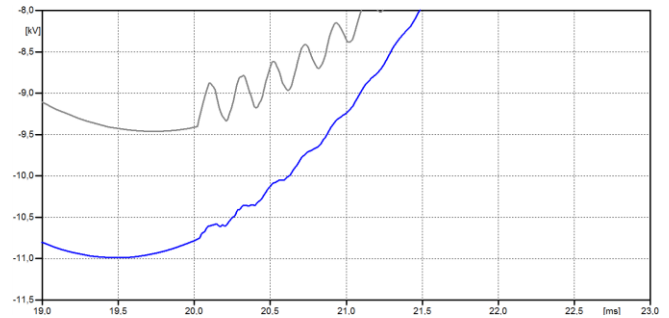


Figura 6. Resposta ampliada do transitório gerado pela conexão da carga clandestina no instante t=20ms, identificado pelos pontos de medição A (azul) e B (cinza).

Observa-se que o sinal transitório é percebido primeiro no ponto de medição B, por estar mais próximo à conexão da carga clandestina; poucos microssegundos depois o sinal é detectado, com menor amplitude, pelo medidor A.

A figura 7 demonstra a superposição dos dois sinais, quando estes são submetidos a um filtro passa-alta do tipo Butterworth para eliminar a componente de 60 Hz da rede elétrica:

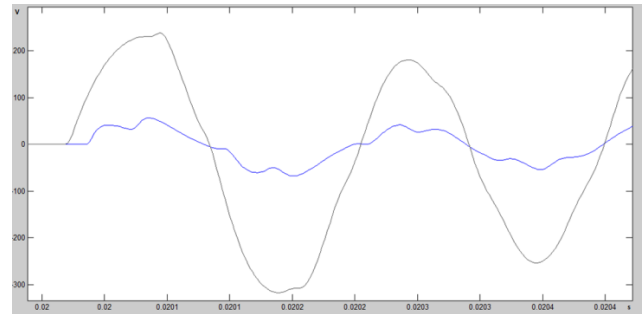


Figura 7. Resposta ao transitório gerado pela conexão clandestina identificada pelo medidor A (azul) e B (cinza), após aplicação do filtro.

Aplicando as equações (1) e (2) aos resultados das medições, considerando os tempos de identificação da onda trafegante (T_{1B} e T_{1A}) para cada um dos medidores, temos os seguintes resultados:

$$T_{1B} = 20.020\mu s$$

$$T_{1A} = 20.036\mu s$$

$$L = 15,55km$$

$$v = c \times 0,989583 = 0,2968749km/\mu s$$

A constante 0,989583 foi determinada a partir da velocidade de propagação da onda no ATP para o modelo apresentado na figura 4 e c é a velocidade da luz, aproximadamente igual a $3 \times 10^8 m/s = 0,3km/\mu s$.

$$d_{BF} = \frac{15,55}{2} + \frac{(20036 - 20020)}{2} \times 0,2968749$$

$$d_{BF} = 5,4km$$

$$d_{AF} = \frac{L}{2} + \frac{(T_{1A} - T_{1B})}{2} \times v = 10,15km$$

É possível observar que a localização calculada através do método coincide com o ponto onde a carga clandestina foi conectada.

Para uma maior confiabilidade do método, foram realizadas simulações com a carga clandestina localizada em outros dois diferentes pontos na linha modelada.

Deslocou-se a carga clandestina para o trecho entre os consumidores regulares três e quatro, a 12,225km do medidor A e a 3,325km do medidor B, conforme mostrado na figura 8.

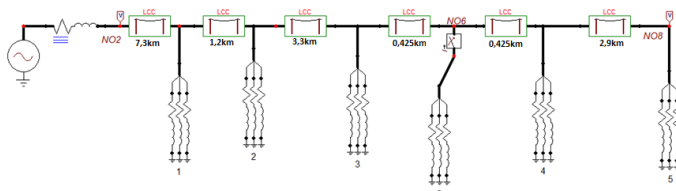


Figura 8. Configuração utilizada para identificação de conexões clandestinas através do Método D (carga clandestina no meio dos consumidores 3 e 4).

O resultado da simulação da rede elétrica apresentada na figura 8 é exibido nas figuras 9 e 10.

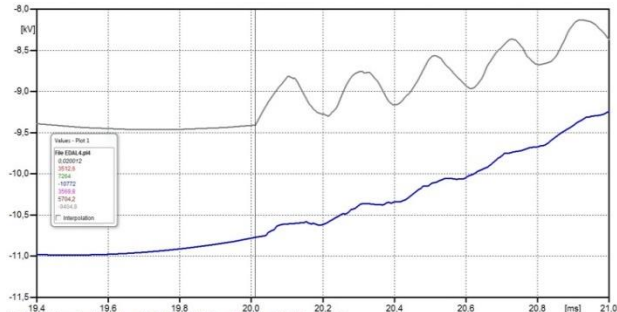


Figura 9. Resposta ampliada do transiente gerado pela conexão da carga clandestina em 20ms, identificado pelos pontos de medição A (azul) e B (cinza).

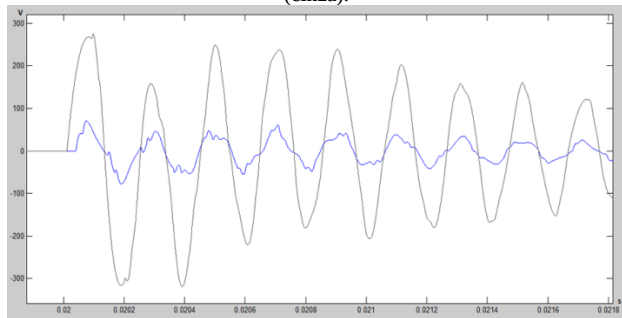


Figura 10. Resposta ao transiente gerado pela conexão clandestina identificada pelo medidor A (azul) e B (cinza), após filtro passa-alta.

Aplicando as equações (1) e (2) aos resultados das medições, considerando os tempos de identificação da onda tráfegante (T_{1B} e T_{1A}) para cada um dos medidores nesta configuração, obtém-se os seguintes resultados:

$$T_{1B} = 20.012\mu s$$

$$T_{1A} = 20.042\mu s$$

$$d_{BF} = \frac{15,55}{2} + \frac{(20012 - 20042)}{2} \times 0,2968749$$

$$d_{BF} = 3,322km$$

$$d_{AF} = \frac{L}{2} + \frac{(T_{1A} - T_{1B})}{2} \times v = 12,228km$$

A simulação deste cenário apresentou um erro de apenas três metros entre os valores calculados e reais para a distância entre medidores e a carga.

Por fim, realizou-se o mesmo procedimento testando a hipótese da carga clandestina conectar-se no vão entre os consumidores regulares um e dois, a 3,65km do medidor A e 11,9km do medidor B, conforme a figura 11.

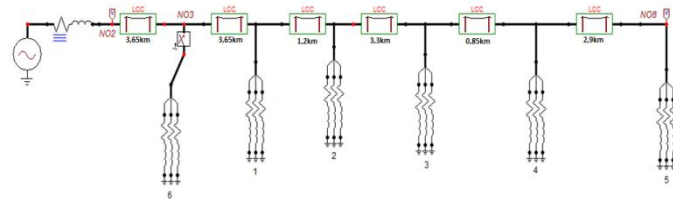


Figura 11. Configuração utilizada para identificação de conexões clandestinas através do Método D (carga clandestina antes do consumidor 1).

O resultado da simulação da rede elétrica apresentada na figura 11 é exibido nas figuras 12 e 13.

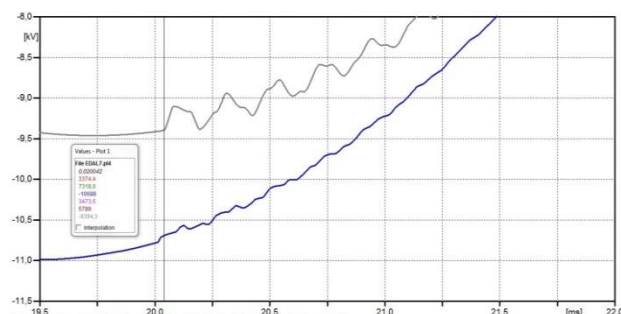


Figura 12. Resposta ampliada do transiente gerado pela conexão da carga clandestina em 20ms, identificado pelos pontos de medição A (azul) e B (cinza).

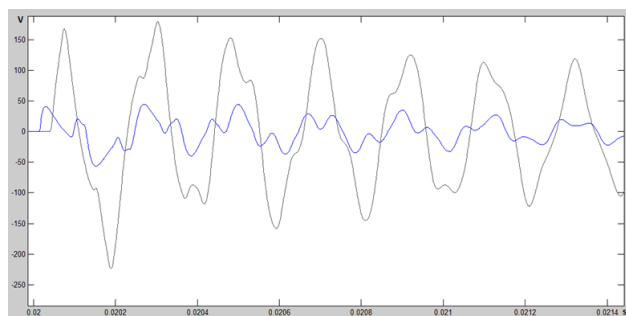


Figura 13. Resposta ao transiente gerado pela conexão clandestina identificada pelo medidor A (azul) e B (cinza), após filtro passa-alta.

Através dos tempos obtidos para esta configuração, determinaram-se as distâncias da carga aos analisadores:

$$T_{1B} = 20.042\mu s$$

$$T_{1A} = 20.014\mu s$$

$$d_{BF} = \frac{15,55}{2} + \frac{(20042 - 20014)}{2} \times 0,2968749$$

$$d_{BF} = 11,93km$$

$$d_{AF} = \frac{L}{2} + \frac{(T_{1A} - T_{1B})}{2} \times v = 3,62km$$

Neste último caso, o erro associado à diferença entre a distância real e a calculada foi de 30 metros.

A tabela III resume os resultados obtidos da identificação da conexão clandestina na linha de distribuição.

TABELA III. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Ensaio	Distância Real		Distância Calculada		Erro
	Medidor A	Medidor B	Medidor A	Medidor B	
1	10,15km	5,4km	10,15km	5,4km	0m
2	12,225km	3,325km	12,228km	3,322km	3m
3	3,65km	11,9km	3,62km	11,93km	30m

V. CONCLUSÕES

A análise dos resultados das simulações demonstra que o método D, comumente utilizado para localização de faltas em linhas de transmissão, é, a princípio, viável para localização de cargas clandestinas em linhas de distribuição, pois os valores reais coincidiram ou aproximaram-se dos valores calculados. No pior caso simulado obteve-se um erro de 30m para a linha de distribuição de 15,55km, o que representa um erro aproximado de 0,2%.

O método D apresentou bons resultados, pois sua resposta independe da quantidade de reflexões no interior do trecho analisado. Como o método trabalha apenas com a frente de onda do sinal transitório, que se propaga em ambas as direções, para identificar a localização da conexão da carga clandestina basta garantir que o sinal transitório chegue a ambos os medidores com energia suficiente para ser captado.

Para garantir este resultado satisfatório, a carga clandestina deve ser relevante, frente às demais cargas do alimentador analisado, pois a amplitude do transitório gerado pela conexão clandestina é maior quanto maior for sua carga e menor for o carregamento do alimentador da rede de distribuição.

A aplicação deste método requer, ainda, um sincronismo que garanta a mesma base de tempo para os dois analisadores, na faixa de microssegundos. Atualmente isto pode ser realizado incorporando um módulo GPS (Global Positioning System) a cada um dos analisadores da rede.

Na prática, para identificar os transitórios, é necessário utilizar-se de analisadores de rede com altíssima frequência de amostragem e boa sensibilidade às pequenas variações de tensão.

Como cada μs influencia diretamente na localização da conexão da carga clandestina, para captar os transitórios como os simulados neste artigo recomenda-se a utilização de um analisador de rede com uma frequência de amostragem em torno de 1 MHz. Além disto, é preciso que o analisador possua sensibilidade para detectar os padrões das pequenas variações da tensão da rede provocadas pela conexão das cargas.

Técnicas de processamento digital de sinais poderiam ser usadas com esse fim.

Diante da falta de equipamentos no mercado para identificar com precisão os transitórios de alta frequência e baixa amplitude, sobretudo em linhas de distribuição de tensões mais elevadas, recomenda-se o desenvolvimento de um novo produto apto a implementar este método na prática, localizando conexões clandestinas em redes de distribuição e reduzindo as perdas comerciais das distribuidoras de energia elétrica.

Enfim, conclui-se que o método D, originalmente criado para localizar faltas em linhas de transmissão pode ser aplicado para identificar conexões clandestinas a partir dos transitórios gerados pela entrada das cargas, conforme comprovaram as simulações deste artigo. Entretanto, a barreira tecnológica atualmente existente dificulta a reprodução destes resultados em experimentos reais.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Cosier, Contribuições aos Métodos para Localização de Faltas em Alimentadores de Distribuição. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2006;
- [2] A. R. Almeida, et al. Localização de Faltas em Sistemas de Transmissão de Alta Tensão a partir de Registros Oscilográficos Usando Análise de Componentes Independentes. Anais do V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Foz do Iguaçu – PR, Brasil. 22-25/04/2014;
- [3] P. A. H. Cavalcante, Localização de Faltas em Linhas de Transmissão usando Morfologia Matemática. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2011;
- [4] CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. Projeto Nacional de um Localizador de Defeitos por Ondas Viajantes, 2001;
- [5] Y. M. P. Melo, Localização de Faltas em Linhas de Transmissão: Estudo de Métodos Baseados na Teoria das Ondas Viajantes e na Análise de Componentes de Frequência Fundamental. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática, Campina Grande, 2012;
- [6] A. Borghetti, Integrated Use of Time-Frequency Wavelet Decompositions for Fault Location in Distribution Networks: Theory and Experimental Validation. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 4, 2010;
- [7] E. Metello, Transformada Wavelet Aplicada à Localização de Faltas por Ondas Viajantes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília – UnB, 2012;
- [8] L. J. Lewis, Travelling Wave Relations Applicable to Power-System Fault Locators. AIEE Transactions, v. 70, p.10. July, 1951
- [9] P. F. Gale, P. A. Crossley, In: DPSP – Developments in Power System Protection, Conference Publication, 1993. Fault Location Based on Travelling Waves. IEE, 1993, p. 6.
- [10] R. F. Stevens, T. W. Stringfield, A Transmission Line Fault Locator Using Fault Generated Surges. AIEE Transactions, volume 67, 1948, part II, pp. 1168-1178.
- [11] L. R. Spaulding, C. C. Diamond, A Transient Fault Locator for High Voltage Transmission Lines. AIEE Transactions, volume 68, 1949, part II, pp. 1005-1010.
- [12] S. S. Abreu, Localização de Faltas em Linhas de Transmissão Aéreas pelo Método das Ondas Viajantes Utilizando Filtros Digitais e Transformada Wavelet. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2005;
- [13] A. Pavic, M. Stojkov, K. Trupinic, “Illegal connection location on main power cable,” in *Proc. of the 12th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conf., MELECON*, pp. 983-986, 2004.
- [14] R. H. Salim, Detecção de Faltas em Sistema de Distribuição Utilizando a Transformada Wavelet. 2006. 96 f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.