

# Estudo da Interferência do Sistema PLC no DSL

D. M. Mathe, F. S. Farias and J. C. W. A. Costa  
 Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado - LEA  
 Universidade Federal do Pará - UFPA  
 Belém, Brazil  
 E-mails: {derciomathe, fabriciosf, jweyl}@ufpa.br

**Resumo**—Este trabalho visa analisar o impacto da interferência provocada pelo sistema *Power Line Communication* (PLC) no sistema *Digital Subscriber Line* (DSL). Para tal, é apresentado um modelo analítico, capaz de estimar a intensidade do campo elétrico provocado pela linha de transmissão do sistema PLC. Posteriormente, é analisado o impacto que esse campo provoca na linha DSL operando nas proximidades. Este estudo foi feito através da ferramenta de simulação MATLAB. Os resultados mostram que os níveis de radiação provocados pelo sistema PLC poderão provocar perdas na capacidade do canal e erros na transmissão do sistema DSL. Por fim, concluiu-se que a frequência de operação do sistema PLC e o comprimento do acoplamento entre as linhas de transmissão causam maior impacto na perda da capacidade do sistema DSL. Além disso, a variação dos níveis de modulação *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), não provoca grande efeito para a minimização do impacto da interferência provocada pelo sistema PLC.

**Palavras-chave**—PLC; DSL; interferência; coexistência.

**Abstract**—This work aims to analyze the impact of interference caused by Power Line Communication (PLC) system on Digital Subscriber Line (DSL) system. For that, a simple analytical model able to estimate the intensity of the electric field caused by the PLC transmission line is presented and subsequently, the impact of the electric field on DSL line operating nearby is analyzed. This study was done through MATLAB simulation tool. The results show that levels of radiation caused by the PLC system can cause losses in channel capacity and transmission errors on the DSL system. Finally, it was found that the PLC operation frequency and coupling length between the transmission lines cause greater impact on DSL capacity loss. Moreover, the variation of the QAM modulation levels does not cause greater effect for minimizing the impact of interference caused by the PLC system.

**Keywords**—PLC; DSL; interference; coexistence.

## I. INTRODUÇÃO

As redes designadas *Home Networking* (HN) são redes indoor que possibilitam aplicações como: acesso à internet, segurança e serviços de telemetria. As HN podem ser utilizadas para ambos os fins comerciais e residenciais. Neste contexto, *Power Line Communication* (PLC) surge como uma alternativa atrativa para satisfazer a demanda por um tráfego maior de dados em HN. O termo PLC é usado para identificação de tecnologias, equipamentos, aplicações e serviços que visam prover meios de comunicação entre usuários, através da rede elétrica [1]. A principal vantagem

desta tecnologia é o uso de uma infraestrutura já existente, que oferece uma cobertura para todo ambiente. A faixa de frequências de operação do sistema PLC está compreendida entre 1 e 30 MHz, mas com futura expansão prevista para faixas de até 100 MHz. Entretanto, apesar de a tecnologia PLC apresentar a vantagem de não necessitar da instalação de uma nova infraestrutura de rede, esta tecnologia poderá sofrer interferências eletromagnéticas (EMI), geradas na rede elétrica por outros aparelhos conectados. Além disso, PLC apresenta um potencial maior para geração de interferência de radio frequência (RFI). Este potencial surge, devido ao fato de a rede elétrica, na qual a tecnologia PLC opera, não ter sido concebida para o tráfego de dados em altas frequência e, como consequência, a rede elétrica pode ser considerada um canal inapropriado para aplicações de serviços de banda larga, uma vez que, apresenta uma atenuação considerável e vários multipercursos [2]. Assim, a capacidade do canal em um sistema PLC é limitada. Por outro lado, a interferência provocada pelo sistema PLC poderá afetar outros sistemas que operam na mesma faixa de frequências ou em faixas adjacentes, como é o caso dos sistemas *Digital Subscriber Line* (DSL). Essa interferência poderá resultar no mau funcionamento do sistema afetado, provocando a redução da sua capacidade e erros de transmissão. Por essa razão, surge a necessidade de se estudar o impacto que a instalação de um sistema PLC em ambientes indoor poderá causar em outros sistemas de comunicação, como o DSL, que partilham a mesma faixa de frequências. Alguns estudos em torno da interferência entre sistemas PLC e DSL foram publicados. Em [3] os autores estudam, através de medições, o acoplamento entre os canais PLC e DSL. Os resultados desse estudo mostram que a capacidade do sistema DSL decresce devido à interferência provocada pelo sistema PLC. Entretanto este estudo foi feito para a faixa de frequências de até 30 MHz. Em [4] é, também, analisada a interferência que o sistema PLC provoca no DSL. Nesse trabalho, os resultados mostram que, o traçado dos pares condutores do sistema DSL poderá não ser efetivo para redução dessa interferência. Por outro lado, esse estudo mostra ainda a importância do uso de técnicas como o choque de modo comum que poderá reduzir o nível da interferência. No estudo apresentado em [5] os autores analisam o impacto da interferência provocada pelo sistema PLC no *Very High Data Rate Digital Subscriber Line 2* (VDSL2). Os resultados desse trabalho mostram que uma redução na densidade espectral de potência (PSD) do sistema interferente, PLC, poderá reduzir significativamente o impacto da interferência.

Este trabalho analisa a interferência provocada por um sistema PLC sobre o DSL, por meio de simulação. Para tal, é proposto um modelo analítico baseado no modelo para estimação da radiação provocada por uma linha de transmissão composta por dois condutores paralelos, como é o caso do sistema PLC, apresentado em [6]. Além disso, diferente dos trabalhos citados, este trabalho apresenta uma análise que considera uma faixa com frequências de operação de até 100 MHz, que corresponde à faixa de operação estendida do sistema PLC, para aplicações futuras [7].

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: A seção II apresenta a modelagem matemática do problema. A seção III apresenta o estudo de caso, em que se analisa a interferência provocada pelo sistema PLC no DSL. Os resultados deste estudo são apresentados na seção IV e, por fim, a seção V apresenta as respectivas conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

## II. MODELAGEM MATEMÁTICA

Esta seção apresenta o modelo matemático para estimação da interferência provocada pelo sistema PLC. Para a derivação deste modelo assume-se, primeiramente, que o campo elétrico gerado pelo sistema PLC varia somente com a sua frequência de operação. Assim, para estimação desse campo considera-se o modelo proposto em [6], para a estimação do campo elétrico radiado por uma linha de transmissão paralela. Esse modelo é dado por (1):

$$E_D = 1,316 * 10^{-14} * \frac{I_D f^2 L S}{d} \quad (1)$$

Onde:

$E_D$  corresponde ao campo elétrico provocado pela linha de transmissão, assumindo que o sistema opera em modo diferencial;  $I_D$  é a corrente elétrica que circula na linha, em modo diferencial;  $f$  é a frequência de operação do sistema;  $L$  representa o comprimento físico da linha de transmissão;  $S$  é a distância de separação entre os condutores da linha de transmissão e  $d$  é o ponto de análise do campo elétrico. Assumindo que a linha de transmissão PLC irá comportar-se como uma antena, em um dado comprimento, o ponto  $d$  deve localizar-se na zona do campo distante da antena.

Tendo o valor do campo elétrico e, associando à impedância característica do meio ( $Z_0$ ), podemos calcular a densidade de potência elétrica ( $P_d$ ) associada ao campo elétrico radiado, através de (2):

$$P_d = \frac{E_D^2}{Z_0} \quad (2)$$

Para efeitos de análise, o meio considerado entre os sistemas PLC e DSL é o vácuo.

Conforme mostra a Figura 1, considerando uma área cilíndrica de raio ( $r$ ) e comprimento ( $L$ ) envolvendo os condutores A e B da linha de transmissão, podemos calcular o valor da potência elétrica em qualquer ponto desta área, através de (3):

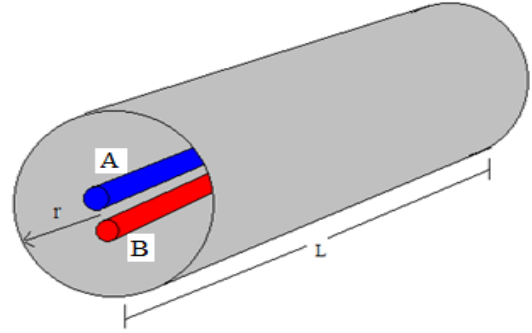


Fig. 1. Linha de transmissão paralela

$$P_{(w)} = \frac{E_D^2}{2\pi r Z_0 (L + r)} \quad (3)$$

Assim, assumindo que a linha de transmissão do sistema interferido, DSL, se encontra em um ponto da área do cilindro, que corresponde ao raio ( $r$ ), a potência de interferência que afeta o sistema DSL poderá ser dada por (4):

$$P_{i(PLC)} = 1,7319 * 10^{-28} * \frac{(I_D L S (f^2_{(PLC)}))^2}{240\pi^2 r^3 (L + r)} \quad (4)$$

Tendo a potência de interferência provocada pelo sistema PLC é possível estimar a relação sinal e ruído mais interferência (SINR) no sistema DSL. Esta relação será dada pela equação (5):

$$SINR_{(DSL)} = \frac{P_{i(DSL)} - L_{(DSL)}}{P_{i(PLC)} + N_{(DSL)}} \quad (5)$$

Onde:  $P_{i(DSL)}$  é a potência de transmissão do sistema DSL;  $L_{(DSL)}$  corresponde às perdas do sinal ao longo do cabo DSL e  $N_{(DSL)}$  é o ruído no canal.

Em seguida, tendo o valor da SINR, podemos calcular a capacidade do canal (*throughput*) do sistema DSL, através da equação de Shannon (6):

$$C_{(DSL)} = B * \log_2 [1 + SINR_{(DSL)}] \quad (6)$$

Onde:  $B$  é a largura de banda de operação do sistema DSL.

A taxa de erro de bits (BER) no sistema DSL será dada pela equação (7), onde  $M$  corresponde aos níveis de modulação QAM:

$$BER_{(DSL)} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) * \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{2(M-1)} * \frac{2^{C_{(DSL)}/B} - 1}{2^{(SINR_{(DSL)} - 1)}}} \quad (7)$$

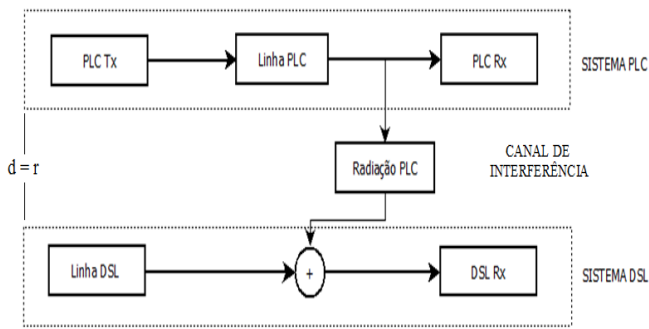


Fig. 2. Cenário de interferência PLC e DSL.

### III. ESTUDO DE CASO

Nesta seção é apresentado o estudo de caso da interferência entre os sistemas PLC e DSL. Ambos os sistemas operam em ambiente *indoor* e o cenário de interferência é representado pelo diagrama de blocos, na Figura 2. A partir do bloco PLC Tx, onde se encontra instalado o modem transmissor do PLC, injeta-se o sinal de banda larga que trafega através da infraestrutura da rede elétrica, representada pelo bloco Linha PLC. Desta forma, este sinal é distribuído entre vários pontos (tomadas) no ambiente indoor considerado. O bloco PLC Rx representa o ponto de recepção do sinal. Por outro lado, também é possível verificar, na figura, o sistema DSL instalado nas proximidades da rede elétrica que suporta o sistema PLC. O bloco designado por Linha DSL representa a linha de transmissão, que é o cabo de pares trançados de cobre, na qual trafega o sinal DSL até ao respectivo modem DSL Rx, onde se encontra o usuário final. A tecnologia DSL analisada neste trabalho corresponde ao padrão VDSL2, operando com uma largura de banda de 12 MHz. Assim, para efeitos de análise, é considerado apenas um par trançado isolado, para a linha DSL, isto é, não será considerada a influência da interferência entre os pares trançados, o *crosstalk*. Além disso, assume-se que a linha de transmissão do PLC, irradia ao longo de um comprimento de 1 metro, o que significa que, para este comprimento, a linha de transmissão comporta-se como uma antena. Portanto, este comprimento possibilita que a zona de campo distante da antena seja menor. O campo elétrico radiado pelo sistema PLC é representado pelo bloco designado por Radiação PLC. Este bloco encontra-se no canal de interferência entre os sistemas PLC e DSL.

Para o par trançado, foi simulado um cabo de cobre, isolado por um material dielétrico de polietileno, cujo diâmetro é de 0.4 milímetros e a distância de separação entre os condutores do cabo é de 0.25 milímetros. O comprimento do cabo varia de 10 até 100 metros. Por outro lado, para o sistema PLC, foi simulado um cabo de cobre com revestimento em policloreto de vinil (PVC).

Assumindo o perfil de interferência calculado através de (4) é selecionado, para cada simulação, um valor diferente do comprimento de acoplamento do campo radiado pelo sistema PLC no DSL. Em seguida, é calculado o valor da capacidade do canal DSL. Assim, o mesmo processo é repetido para diferentes comprimentos do cabo do sistema DSL.

É importante frisar que, neste trabalho, é avaliado apenas o impacto da radiação que o sistema PLC provoca no DSL. A interferência que o sistema DSL provoca no PLC será

avaliada nos trabalhos futuros. Os restantes parâmetros de simulação para ambos os sistemas são apresentados na Tabela I.

TABELA I. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Parâmetro	Valor
Comprimento do acoplamento PLC e DSL	(0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 e 1) m
Frequência de operação	(1.8 - 100) MHz
PSD no sistema DSL	-76.15 dBm/Hz
Largura de banda DSL	12 MHz
Ruído no canal DSL (N)	-140 dBm/Hz
PSD no sistema PLC	-85 dBm/Hz
Separação dos condutores no PLC (S)	$50 * 2.54 * 10^{-5}$ m [4]
Distância entre os cabos PLC e DSL	3 m
Níveis de modulação QAM (M)	8, 16, 32, 64, 128 e 256
Impedância característica ( $Z_0$ )	$120\pi$

### IV. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados da análise da interferência entre os sistemas PLC e DSL. Os resultados são apresentados na forma de perda da capacidade do canal DSL e pela taxa de erro de bits, que corresponde a relação entre o número de bits recebidos com erro e o número total de bits transmitidos.

A análise foi feita para diferentes valores do comprimento do cabo do sistema interferido, DSL. Entretanto, sob ponto de vista percentual das perdas na capacidade do canal DSL, os resultados mostraram uma variação insignificante. Por isso, os resultados apresentados neste trabalho referem-se a um comprimento fixo do cabo, 50 metros. É importante destacar-se que, a variação insignificante em relação ao comprimento do cabo é referente ao percentual das perdas que o sistema DSL sofre. Por outro lado, o comprimento do cabo influencia na variação do *throughput* do sistema DSL, devido à atenuação.

A Figura 3 mostra a variação do campo elétrico radiado pela linha de transmissão na qual opera o sistema PLC. Neste caso, o valor do campo elétrico radiado aumenta, em função da frequência de operação do sistema. Conforme mostra a figura, quando o sistema PLC opera com a uma frequência abaixo de 20 MHz, o campo elétrico radiado permanece abaixo do limiar (retas da cor azul) estabelecido em [6]. Porém, quando o sistema PLC opera a uma frequência acima de 20 MHz, o campo elétrico radiado excede o limite de radiação que é de 40 dB $\mu$ V/m para frequências abaixo de 88 MHz, e de 43.5 dB $\mu$ V/m, para frequências entre 88 MHz e 216 MHz. Assim sendo, pode-se afirmar que, se o sistema PLC operar na faixa de frequências acima de 20 MHz, poderá irradiar um campo elétrico que pode, também, ser considerado prejudicial para o funcionamento do sistema DSL.

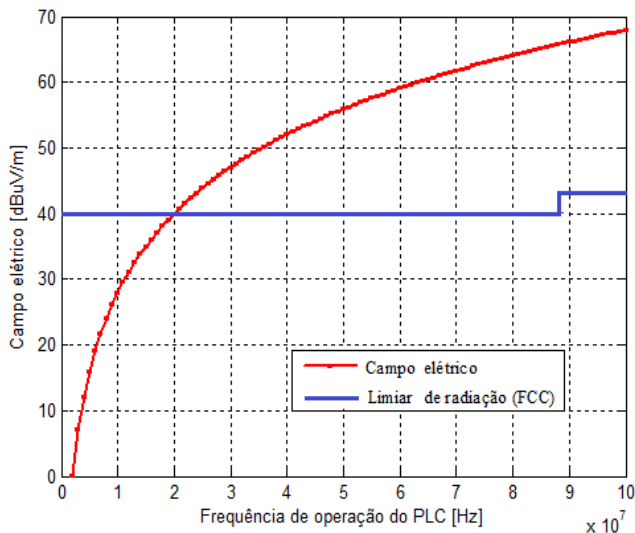


Fig. 3. Campo Elétrico radiado pelo sistema PLC.

A Figura 4 mostra a variação da capacidade (*throughput*) do canal do sistema DSL, quando sofre interferência do sistema PLC. Nota-se que, a perda da capacidade do sistema DSL é avaliada em função da frequência de operação do sistema interferente, o PLC. Assim sendo, conforme mostra a figura, o valor da máxima capacidade do sistema DSL encontrado durante as simulações é de cerca de 218 Mbps. Este valor teórico corresponde à capacidade do sistema DSL operando em condições ideais, isto é, sem considerar os fatores como: *crosstalk* ou a interferência de qualquer outro sistema externo, como é o caso do PLC. Entretanto, a figura mostra que, devido a interferência provocada pelo sistema PLC, a capacidade do sistema DSL decresce exponencialmente, em função do aumento da frequência de operação do sistema interferente. Além disso, esta figura mostra ainda que o impacto da interferência do sistema PLC no DSL varia em função do comprimento do acoplamento entre as linhas de transmissão. Considerando o menor comprimento do acoplamento, que é de 10 cm, podemos verificar que, quando o sistema PLC opera a uma frequência de 30 MHz ou 60 MHz, o impacto da interferência, irá provocar uma redução na capacidade do sistema DSL, de

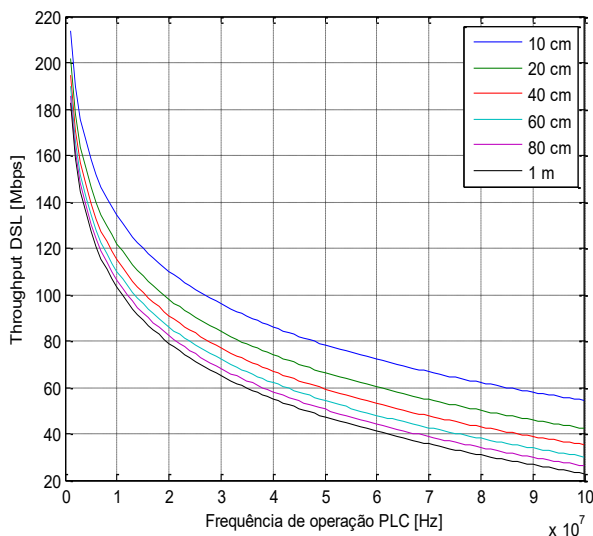


Fig. 4. Perda da capacidade do sistema DSL.

cerca de 220 Mbps para cerca de 100 Mbps e 70 Mbps, respectivamente. Assim, podemos afirmar, neste caso que, o sistema DSL perde cerca de 55.5% e 68% da sua capacidade. Por outro lado, quando o sistema PLC opera a uma frequência de 100 MHz, a capacidade do sistema DSL reduz para menos de 60 Mbps, isto é, o sistema perde cerca de 73% de sua capacidade. O impacto da interferência aumenta, conforme aumenta o comprimento do acoplamento e, considerando o pior caso, onde o tamanho do acoplamento entre as linhas de transmissão é de 1 metro, verifica-se que o impacto da interferência é ainda maior. Neste caso, quando o PLC opera a 30 MHz ou 60 MHz, o sistema DSL reduz sua capacidade para 62 Mbps e 41 Mbps, respectivamente, o que equivale a uma perda de cerca de 71% e 81%. Entretanto, essa capacidade reduz para pouco mais de 20 Mbps quando o sistema interferente, PLC, opera a uma frequência de 100 MHz.

Por fim, a Figura 5 mostra a taxa de erro de bits (BER) provocada pela interferência do sistema PLC, no sistema DSL. Os resultados para a BER mostram que, considerando diferentes níveis (M) de modulação QAM no sistema DSL, o impacto da interferência do PLC apresenta uma variação insignificante. Por isso, a curva apresentada na figura 5, refere-se à modulação 256 QAM. O limite estabelecido em [14] para BER, em sistemas DSL, é de  $10^{-7}$ . Isto significa que, valores da BER abaixo do limite, são considerados aceitáveis, enquanto que, os valores acima do limite são considerados prejudiciais para o sistema DSL. Neste caso, a BER aumenta em função do aumento da frequência de operação do sistema PLC. Conforme mostra a figura, a BER permanece abaixo do limiar para frequências abaixo de 34 MHz. Porém, quando a frequência de operação do sistema interferente, PLC for acima de 34 MHz, a BER no sistema DSL permanece acima de  $10^{-7}$ . Assim, pode-se afirmar que a partir de 34 MHz em diante, a interferência do sistema PLC no DSL poderá provocar erros de transmissão acima do limite.

## V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi feito um estudo sobre o impacto da interferência do sistema PLC no DSL. Para tal, foi apresentado um modelo analítico capaz de estimar a intensidade do campo elétrico gerado por um sistema PLC. Posteriormente, foi avaliado o impacto que esse campo elétrico poderá causar em uma linha DSL instalada nas proximidades. Os resultados deste estudo mostraram que os níveis de radiação provocados pela linha de transmissão PLC poderão ultrapassar os limites estabelecidos pela *Federal Communications Commission* (FCC), dependendo da faixa de frequências de operação. O campo elétrico radiado poderá ser acoplado ao sistema DSL operando nas proximidades, provocando perdas na sua capacidade, assim como erros de transmissão. Os resultados deste estudo mostraram, também que, além da frequência de operação do sistema interferente, PLC, o impacto da interferência, também, irá depender do comprimento do acoplamento entre as linhas de transmissão PLC e DSL. Concluindo-se, desta forma, que menor comprimento do acoplamento implica menor perda na capacidade no sistema DSL e vice-versa. Além disso, conclui-se ainda que, a variação nos níveis de modulação do sistema DSL não provoca grande efeito, para minimizar o impacto da interferência provocada pelo sistema PLC.

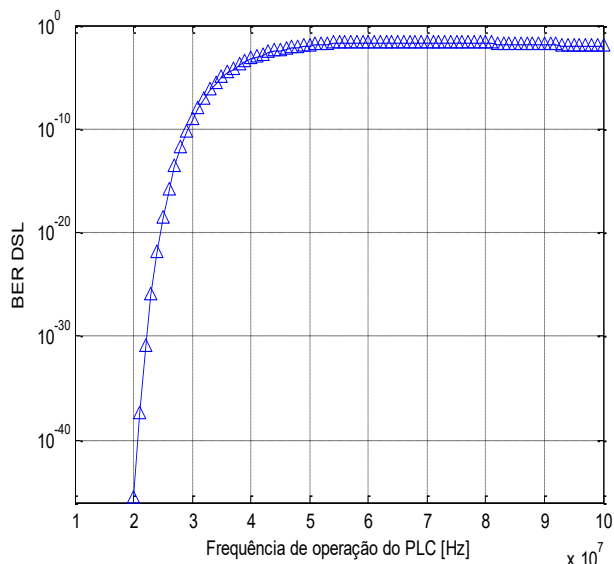


Fig. 5. Taxa de erro de bits no sistema DSL.

Para trabalhos futuros serão conduzidos testes experimentais, visando adequar o modelo proposto às condições mais próximas dos casos reais. Para tal, serão considerados fatores como o crosstalk entre os pares da linha DSL, assim como, o comportamento não linear da interferência gerada por um sistema PLC.

#### AGRADECIMENTOS

OS AUTORES AGRADECEM AO CNPQ (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO) E A CAPES (COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR) PELO APOIO À ESTA PESQUISA.

#### REFERÊNCIAS

[1] Pang, T.S.; So, P.L.; See, K.Y.; Kamarul, A., "Common-Mode Current Propagation in Power Line Communication Networks Using Multi-Conductor Transmission Line Theory," *Power Line Communications and Its Applications*, 2007. ISPLC '07. IEEE

International Symposium on , vol., no., pp.517,522, 26-28 March 2007.

- [2] Amilcar Mescoco, Pascal Pagani, Michel Ney, and Ahmed Zeddami, "Radiation Mitigation for Power Line Communications Using Time Reversal," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2013, Article ID 402514, 9 pages, 2013.
- [3] Ali, K.M.; Lai, S.W.; Messier, G.G., "An evaluation of frequency domain PLC interference cancellation for DSL systems," *Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.4315,4320, 9-13 June 2013.
- [4] M. Bshara, L. V. Biesen, and J. Maes, "Potential effects of power line communication on xDSL inside the home environment," in *Proc. 8th Int. Semetro, Paraiba, Brazil, Jun. 2009*, pp. 7–11.
- [5] Maes, J.; Timmers, M.; Guenach, M., "Spectral compatibility of in-home and access technologies," *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2011 IEEE International Symposium on*, vol., no., pp.7,11, 3-6 April 2011.
- [6] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, 2006.
- [7] Tlich, M.; Zeddami, A.; Moulin, F.; Gauthier, F., "Indoor Power-Line Communications Channel Characterization up to 100 MHz—Part II: Time-Frequency Analysis," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.23, no.3, pp.1402,1409, July 2008.
- [8] Nedko H. Nedev. Analysis of the Impact of Impulse Noise in Digital Subscriber Line Systems. PhD thesis, The University of Edinburgh, 2003.
- [9] Cioffi, J.M.; , "Lighting up copper [History of Communications]," *Communications Magazine, IEEE*, vol.49, no.5, pp.30-43, May 2011.
- [10] Farias, F.S.; Borges, G.S.; Rodrigues, R.M.; Santana, A.L.; Costa, J.C.W.A., "Real-time noise identification in DSL systems using computational intelligence algorithms," *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2013 International Conference on*, vol., no., pp.252,255,16-18 Oct. 2013.
- [11] S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang, "For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 998–1027, 2011.
- [12] H. C. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, and T. G. Swart, *Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines*. Wiley, 2010.
- [13] Zattar, H.; Correa, P.; Carrijo, G., "Analysis, Measurement and Evaluation of Power Line Communication Network Applied for popular Houses," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, vol.10, no.1, pp.1283,1288, Jan. 2012.
- [14] P. Golden, H. Dedieu, K. Jacobsen. *Fundamentals of DSL technology*. Boca Raton, FL: Auerbach Publications. 2006.