

Tecnologia Power Line Communication – PLC: Uma Revisão

Lucas Oliveira de Azevedo, Antônio Anderson Pereira dos Santos, Hevla Kézia Mendonça Oliveira, Karoline Rodrigues Lima, Katiane Estevam Gurgel de Assis, Humberto Dionísio de Andrade, Idalmir de Souza Queiroz Júnior, Antonio Sérgio Bezerra Sombra

Resumo—A tecnologia *Power Line Communication* (PLC) utiliza a rede elétrica para transmissão de dados. A infraestrutura já existente torna o sistema de comunicação mais econômico e de fácil instalação. Este artigo tem o objetivo de apresentar uma visão geral da tecnologia PLC e quais os desafios esta tecnologia deve enfrentar para obter uma maior disseminação. Alguns detalhes técnicos como ruídos, interferências em outros equipamentos, adaptações da rede elétrica precisam ser analisados e regulamentados para que sua comercialização em larga escala torne-se uma realidade. Com os investimentos necessários, esta tecnologia pode contribuir para democratização do acesso à rede.

Palavras-chave— *Power Line Communication, Transmissão de dados, Rede elétrica.*

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia PLC, abreviação de *Power Line Communication*, consiste na comunicação através das linhas de energia elétrica, seja de baixa, média ou alta tensão [1-4]. É uma tecnologia ampla e versátil podendo ser utilizada para medição automática remota de energia, conexão e desconexão de serviços, detecção de falhas no sistema elétrico, administração do consumo de energia, transmissão de pacotes de dados e voz, entre outras aplicações [5].

Esta não é uma tecnologia recente e possui uma longa trajetória histórica, desde o século XIX até os dias atuais. Os maiores problemas enfrentados por essa tecnologia são de ordem técnica, já que as redes de energia não foram concebidas com o propósito de realizar comunicação [6]. Outro problema é a falta de normatização específica e unificada [2].

A pesquisa referente à tecnologia PLC abrange diversas aplicações. Em [5] é proposto um esquema de seleção de canais com a finalidade de reduzir o impacto da atenuação e ruído em sistemas PLC de banda curta. No artigo [6] foi realizada uma análise da interferência da utilização dos

eletrodomésticos na taxa de transmissão das redes PLC, através de monitoramento. Uma proposta de sistema de controle eficiente e inteligente de iluminação baseado em tecnologia PLC é apresentado em [7]. Em [8] é apresentado um algoritmo para diagnóstico de falhas em controladores de transmissão CA, utilizando tecnologia PLC. E em [9] é feito uma análise da aplicação de PLC em IoT.

Este artigo tem o objetivo de apresentar a tecnologia PLC, seu histórico, as principais características e quais os desafios esta tecnologia deve enfrentar para que seja comercialmente viável em larga escala. Após esta seção introdutória, o procedimento metodológico é apresentado na seção II, a seção III aborda o histórico da tecnologia PLC, a seção IV trata das características gerais da tecnologia, na seção V estão as discussões a cerca do trabalho realizado e finalmente as conclusões deste trabalho são apresentadas na seção VI.

II. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este trabalho trata-se de uma revisão da literatura sobre a tecnologia PLC, com o objetivo de selecionar e discutir informações relevantes referentes ao tema proposto. Portanto, esta é uma pesquisa de caráter exploratório e descritivo. A coleta de informações para a realização do presente artigo utilizou, entre outros trabalhos, artigos disponíveis na biblioteca digital IEEE Xplore e dissertações.

Além de descrever sobre o funcionamento e aplicação da tecnologia PLC, este estudo objetiva entender quais os obstáculos impedem sua maior disseminação. Dessa forma, foram selecionados trabalhos que tratam dessas questões. Ao longo do artigo são apresentados estudos e pesquisas que servem de base para as discussões apresentadas ao final do artigo.

III. HISTÓRICO DA TECNOLOGIA PLC

O primeiro registro da utilização de PLC data de 1838, por Edward Davy, que propôs um sistema para aferição remota do nível de tensão das baterias do sistema de telégrafo Londres-Liverpool, patenteando essa técnica em 1897. Nessa mesma época, tecnologias de transmissão de dados por cabos da rede elétrica (*ripple control*) era utilizada para o controle das lâmpadas das ruas de Londres [2], [4].

Pouco tempo depois, em 1905, já havia patentes envolvendo a comunicação por rede elétrica nos Estados Unidos, e em 1913 começaram a ser produzidos os primeiros medidores eletromecânicos para PLC, sendo também o ano que marcou o início da comercialização da tecnologia sob o nome de *Power Line Carrier*, no Brasil sendo chamada de Ondas Portadoras de Linhas de Alta

Lucas Oliveira de Azevedo, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: lucasoliveira765@outlook.com; Antônio Anderson Pereira dos Santos, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: anderson.pereira.n2@hotmail.com; Hevla Kézia Mendonça Oliveira, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: keziahevla@gmail.com; Karoline Rodrigues Lima, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: karolinerodrigueslima@hotmail.com; Katiane Estevam Gurgel de Assis, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: katianeestevam@gmail.com; Humberto Dionísio de Andrade, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: humbertodionisio@ufersa.edu.br; Idalmir de Souza Queiroz Júnior, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró-RN, e-mail: idalmir@ufersa.edu.br; Antonio Sérgio Bezerra Sombra, Departamento de Física, UFC, Fortaleza-CE, e-mail: asbsombra@gmail.com. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Tensão (OPLAT) [2], [4].

Em 1922 os sistemas de *Power Line Carrier* já estavam sendo utilizados nas linhas de alta tensão para fins de telemetria, com a capacidade de transmitir dados a uma distância de até 500 km, na faixa de 15 kHz a 500 kHz e com taxa de transmissão de até 9,6 kbps, operando com uma potência de até 10 W [4], [10].

No início da década de 1930 sistemas de comunicação através das redes de energia entraram em operação para o controle de sistemas de potência, com o nome de *Ripple Carrier Signaling* (RCS), operando na faixa de 125 Hz até 3 kHz e em 1940, dispositivos domésticos como alarmes de bebê já estavam disponíveis, se utilizando de tecnologias de comunicação pela rede elétrica [11].

Ocorreram alguns avanços nos anos de 1950 a 1970, porém não foram promissores já que não houve melhorias que viabilizassem o uso das redes BT, MT e AT para a transmissão de dados [4]. Durante a década de 1970, a maior parte das aplicações utilizando PLC estava limitada a baixas taxas de transmissão, devido, principalmente, à falta de investimento. Por serem sistemas pouco funcionais e onerosos, a tecnologia PLC era vista como pouco viável [7]. Os principais fatores que atrapalhavam a implementação da tecnologia PLC nessa época eram de ordem técnica, principalmente pelo fato de que as redes de energia não eram apropriadas para as comunicações, havendo elevadas taxas de ruído, interferência, atenuação e problemas de multipercurso [2], [3].

Apenas a partir da década de 1980, a tecnologia obteve maior atenção, especialmente no ano de 1988 quando foram criadas sofisticadas técnicas de controle de erro, através da codificação dos canais em modems. Houve também a implementação de modulação digital e maior interesse nas pesquisas para o aumento da velocidade de transmissão. Nas décadas de 80 e 90 a tecnologia ganhou destaque no cenário mundial devido à possibilidade da eliminação do problema do acesso à internet “em última milha”, ou seja em regiões mais afastadas, onde os serviços de telecomunicações por ondas eletromagnéticas são mais escassos. Foi estabelecido na Europa o padrão CENELEC, pelo Comitê Europeu de Normatização Eletrotécnica, que permitiu e normatizou a comunicação bidirecional em redes elétricas de baixa tensão em distâncias de até 500 m, com taxa de dados acima de 144 kbps na banda de 3 kHz-148,5 kHz e potência de sinal máxima de 5mW, potência 2000 vezes menor que aquela utilizada na tecnologia *Power Line Carrier* [2], [3], [10].

Com a Lei das Telecomunicações em 1996 e a abertura do ramo das comunicações para o mercado, surgiram novas possibilidades. Durante a década de 90, com a disseminação em massa da internet, a tecnologia PLC passou a ser competitiva no mercado da transmissão de dados. Com isso começaram a surgir problemas referentes à padronização e interoperabilidade, já que existiam diversos serviços, cada um com suas particularidades. Para solucionar esse problema surgiu a *HomePlug Alliance* em 2000 constituída por 13 empresas com a finalidade de padronizar as aplicações de PLC em ambientes prediais e residenciais, surgindo assim o padrão *HomePlug* 1.0, que permitiu taxas de transmissão de até 14 Mbps para aplicações *indoor*, e posteriormente (em 2005) o padrão *HomePlug AV* [3].

Em 2004 foi criado o projeto *Open PLC European*

ISSN 2526-7574, Anais do II ECOP - Pocket, UFERSA, Pau dos Ferros/RN, v.5, 2021

<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/ecop>

Research Alliance (OPERA), com a finalidade de popularizar a tecnologia [3]. Em 2005 o padrão ES 59013 do CENELEC alocou as faixas de frequência entre 1,6 MHz e 12,7 MHz para aplicações *outdoor* e as faixas entre 14,35 MHz e 30 MHz para aplicações *indoor*. No mesmo ano o IEEE começou o estudo para o desenvolvimento de um novo padrão que pudesse ser aceito mundialmente; neste projeto, os esforços do IEEE estão sendo orientados para o desenvolvimento de um padrão que permita a transmissão de dados com taxas acima de 100 Mbps na faixa de frequência entre 1 MHz e 100 MHz [3].

Atualmente tem-se realizado na Europa diversos estudos para viabilizar as aplicações de PLC em banda larga. Nos EUA já há uma nova regulamentação do uso da tecnologia PLC em banda larga e sua coexistência com outros tipos de tecnologias operando na mesma banda de frequências [3]. Em 2008, no Brasil, a ANATEL realizou uma consulta pública com a proposta de regulamentar a utilização da rede de energia elétrica para acesso de dados em banda larga [3]. Apesar de todo o estudo e desenvolvimento durante as últimas décadas, a tecnologia PLC ainda se encontra defasada em relação às demais tecnologias de telecomunicações e transmissão de dados.

IV. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Linhas de força foram originalmente concebidas para transmitir energia elétrica de um pequeno número de geradores para um elevado número de consumidores na frequência padrão de 50-60 Hz [12]. Devido à estrutura e logística bastante consolidadas de transmissão de energia, torna-se atrativo utilizar toda esta estrutura para a transmissão de dados por meio de banda larga para áreas mais remotas [12].

A Tecnologia PLC utiliza a rede de transmissão de energia elétrica já existente para transmitir dados de forma simultânea em baixa potência (1 a 30 MHz), sem interferir no sinal da rede elétrica [3]. Há dois tipos de sistemas PLC: *Indoor* ou *last inch* e *Outdoor* ou *last mile* [12].

A. *Sistema Indoor e Outdoor*

O sistema *Indoor* é caracterizado por uma rede PLC interna. Esta rede é utilizada em ambientes residenciais, prediais ou comerciais [3]. É nesta rede que o consumidor tem contato direto com a tecnologia PLC, pois o sistema *Indoor* transforma todos os pontos de tomadas da instalação em pontos de acesso à rede de dados por meio de Modems PLC. Este sistema abrange desde o medidor até as tomadas interiores.

O sistema *Outdoor* corresponde à rede externa. Utiliza tensões abaixo de 1 kV da infraestrutura de distribuição. Neste sistema que complementa o sistema *Indoor*, a rede da concessionária passa a ser a provedora de serviços de rede banda larga. Um dos maiores problemas do sistema *Outdoor* é a desregulamentação do mercado de telecomunicações, que o torna pouco viável [12]. Neste sistema, o Modem PLC instalado na tomada das residências recebe o sinal enviado pela central de distribuição e realiza a codificação e decodificação dos sinais elétricos para os sinais e dados.

B. *Modelo do Canal PLC*

O canal PLC é seletivo na frequência, variante no tempo e tumultuado por ruído colorido de fundo e por ruído impulsivo. Além disso, as estruturas de redes de transmissão

diferem de um país para outro [12]. Estes fatores dificultam a elaboração do canal de transmissão PLC.

A existência de ruídos e outros fatores que prejudicam a transmissão são inevitáveis, principalmente, porque os cabos da rede não foram originalmente concebidos para transmissão de dados [3]. Esta característica implica no aparecimento do efeito multipercurso devido a reflexões do sinal.

Devido às dificuldades de modelação do canal de transmissão PLC, é necessária a aplicação de técnicas adequadas de modulação no processo de transmissão e recepção do sinal na tecnologia PLC. A técnica de modulação *Orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM) permite a transmissão de dados por meio de subportadoras, logo, esta técnica é indicada para transmissão PLC, pois no canal PLC apenas uma pequena porcentagem de subportadoras são atingidas pelo efeito de seletividade de frequência [13]. Códigos de correção podem ser utilizados para corrigir as subportadoras indesejadas, assim como tais subportadoras indesejadas podem ser substituídas por novas subportadoras [14].

C. Ruídos na transmissão PLC

Considerando que a rede pré-existente não é de uso exclusivo para fins de comunicações de dados, há uma grande variedade de aparelhos conectados à rede, gerando ruídos. Estes ruídos apresentam características similares ao ruído *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), que possui densidade espectral de potência constante em todo o espectro de transmissão [15].

Os ruídos presentes na transmissão PLC podem ser agrupados em dois tipos: os ruídos de fundo formados pelos ruídos coloridos, ruídos de faixa estreita e ruídos periódicos assíncronos em relação à frequência; e os ruídos impulsivos formados pelos ruídos impulsivos assíncronos e ruídos periódicos síncronos em relação à frequência [14].

O ruído de fundo colorido possui densidade espectral de potência relativamente baixa variando com a frequência e é causado por uma superposição de fontes de ruídos. Já o ruído de banda estreita apresenta forma senoidal com amplitudes modulares ocupando sub-bandas é causado pela presença de sinais e transmissão na faixa de ondas médias e curtas. O ruído impulsivo periódico, assíncrono à frequência é formado por impulsos fora de sincronia com frequência fundamental da rede é causado geralmente por fontes de alimentação chaveadas. O ruído impulsivo periódico, síncrono à frequência é constituído por impulsos em sincronia com a frequência fundamental da rede, causado por circuitos retificadores que utilizam diodos presentes em fontes de alimentação. E por fim, o ruído impulsivo aperiódico é causado pela mudança de transientes nas redes elétricas como acionamento de eletrodomésticos. Este ruído apresenta densidade espectral de potência superiores ao ruído de fundo (acima de 50 dB).

V. DISCUSSÕES

A grande vantagem do PLC é que a rede elétrica já existente democratizaria o acesso à banda larga. Considerando que os outros tipos de comunicação têm alcance limitado, essa tecnologia iria abranger toda a população que dispõe de energia elétrica, tornando-se uma ferramenta de inclusão digital. Outro ponto positivo é a

redução no custo de implementação do sistema, como o sinal PLC é transmitido através dos fios das redes de distribuição de energia não é necessário a instalação de novos cabos. Dessa forma, todas as tomadas se tornam um ponto de rede, podendo ser utilizada nos mais diversos cenários como casas, indústrias, escritórios etc. [17].

A principal desvantagem desse sistema é que as redes elétricas são suscetíveis à ruídos o que prejudica a propagação dos sinais transmitidos. Diferentemente de muitos outros sistemas de comunicação, em linhas de energia o ruído não pode ser descrito apenas pelo modelo AWGN. Portanto é necessária uma investigação mais aprofundada para chegar a um modelo confiável [14]. Além dos ruídos, há ainda a interferência em outros equipamentos eletrônicos de comunicação por ondas de rádio. Pois o PLC utiliza frequências altas que sobrepostas a um condutor elétrico geram sinais de radiofrequência. A variedade de padrões é outra desvantagem que dificulta a universalização da tecnologia [17].

A tecnologia PLC vem se mostrando eficiente em diversas aplicações. De acordo com [14], nos últimos anos a tecnologia PLC tem sido extensivamente empregada em sistemas de medição inteligente em todo o mundo, especialmente Europa e China. O artigo aponta os benefícios dos sistemas de medição inteligente: Fornecem comunicação bidirecional, permitindo que as concessionárias interajam com os medidores.

Em [14] é desenvolvido um hidrômetro inteligente que usa sensor de fluxo que coleta consumo doméstico de água. Através de modem PLC os dados são transmitidos por meio de rede elétrica para análise no *Data Center*. Isso reduz a intervenção humana e os equipamentos de medição, aumentando a precisão da leitura e coleta de dados. Um sistema de segurança de comunicação de linha de energia baseado na aquisição de dados de múltiplas fontes de eletricidade, água, gás e calor é proposto em [15].

Além de medição inteligente, o sistema PLC vem sendo testado para outras aplicações. Em [16], os autores propõem um método de detecção online para deterioração de linha de transmissão usando PLC na rede de distribuição do sistema de baixa tensão. Como o sinal PLC é transmitido ao longo da linha de transmissão, quando ela se deteriora a transmissão do sinal é afetada. Dessa forma, a qualidade das linhas de transmissão pode ser identificada pela detecção on-line dos sinais do PLC recebidos e os cabos ou chaves deterioradas podem ser reparados. Isso evitaria acidentes causados pela deterioração da linha de transmissão.

Apesar do avanço nos testes e comercialização de produtos utilizando PLC, a comercialização ainda não ocorre em grande escala [17]. Um dos maiores desafios enfrentados no desenvolvimento da comunicação por rede elétrica são os vários padrões existentes, que dificultam sua universalização. Outra questão é a necessidade de regulamentação e adaptações na rede elétrica para que o sistema PLC possa operar. Mesmo com regulamentação aprovada pela Anatel e ANEEL em 2008 e 2009, ainda são necessários ajustes técnicos visando reduzir os efeitos dos ruídos e eliminar a interferência em outros aparelhos. E apesar de não necessitar da instalação de fios adicionais, é preciso a reestruturação de instalações precárias para tornar viável a comunicação [17].

VI. CONCLUSÃO

A tecnologia PLC apresenta muitas vantagens em relação aos outros tipos de comunicação, como wireless, fibra ótica, cabo coaxial e outras. Em lugares mais afastados das regiões metropolitanas, onde a implantação do sistema wireless é inviável técnica ou comercialmente, o PLC pode ser implantado e atender a uma parte maior da população. A utilização da rede elétrica para transmissão de dados dispensa a instalação de fios adicionais, tornando o sistema mais econômico e menos complexo.

Mas para que a tecnologia PLC torne-se viável, algumas questões devem ser analisadas, como o excesso de ruídos e a interferência causada em equipamentos eletrônicos que utilizam radiofrequência. Outro ponto importante é que mesmo que não seja necessária a instalação de novos fios, pode ser preciso reestruturar a instalação existente, caso esteja precária, além de realizar adaptações na rede elétrica. Dessa forma, detalhes técnicos ainda precisam ser definidos por meio de regulamentação para que o PLC avance.

Diante do que foi apresentado, fica evidente o enorme potencial que tem a tecnologia *Power Line Communication*. Mas para ser comercializada em larga escala, pesquisadores, investidores e órgãos governamentais devem unir esforços no sentido de tornar sua implantação viável técnica e comercialmente.

REFERÊNCIAS

- [1] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert, *Broadband Power line Communications: Network Design*, 2005.
- [2] N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani and B. Honary, "Power line communications: state of the art and future trends," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 4, pp. 34-40, April 2003, doi: 10.1109/MCOM.2003.1193972.
- [3] R. P. Franzin, "Estudo da técnica FBMC aplicada em power line communications," M.S. Dissertação, Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Computação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.
- [4] K. Dostert, "Power Line Communications", Prentice Hall PTR, 2001.
- [5] A. Omri, J. Hernandez Fernandez, A. Sanz and M. R. Fliss, "PLC Channel Selection Schemes for OFDM-based NB-PLC Systems," *2020 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC)*, Málaga, Spain, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISPLC48789.2020.9115404.
- [6] R. Duriga, M. Koppl, S. Pocarovsky and M. Orgon, "Impact of household electrical appliances on transmission speed in PLC networks," *2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, Brno, Czech Republic, 2020, pp. 168-172, doi: 10.1109/ICUMT51630.2020.9222461.
- [7] F. Shi, Z. Kou, J. Chen and W. Li, "Design and Application of Intelligent Lighting Control System for Classrooms Based on PLC," *2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, Chongqing, China, 2020, pp. 1268-1271, doi: 10.1109/ITOEC49072.2020.9141695.
- [8] M. Qiu, "Fault Diagnosis Algorithm of AC Transmission Controller Based on PLC Technology," *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, Limassol, Cyprus, 2020, pp. 107-110, doi: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148253.
- [9] Y. M. Chung, "Overview and Characteristics of IoT PLC," *2020 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, Barcelona, Spain, 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICEIC49074.2020.9051002.
- [10] F.S. Marques, "Contribuições para regulamentação da tecnologia PLC no Brasil com base em testes de campo", M.S. Dissertação, Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.
- [11] M. S. Yousuf and M. El-Shafei, "Power Line Communications: An Overview - Part I," *2007 Innovations in Information Technologies (IIT)*, Dubai, 2007, pp. 218-222, doi: 10.1109/IIT.2007.4430363.

- [12] A. Majumder, J. Caffery. Power line communications: an overview. *IEEE Potentials*, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 4-13, out. 2004. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mp.2004.1343222>
- [13] J. A. M. de Souza, M. S. da Silva, C. R. L. Frances, J. W. A. Costa, M. E. V. Segatto, F. R. Antonio, N. L. Vijaykumar. A feasibility study of PLC technology for digital inclusion. *2006 International Telecommunications Symposium*, [S.L.], p. 1-6, set. 2006. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/its.2006.4433308>.
- [14] M. Zimmermann, K. Dostert. (2000) "The low voltage power distribution network as last mile access network-signal propagation and noise scenario in the HF-range" In: *AEÜ Int. J. Electron. Communications*, Vol. 54, No. 1, 2000.
- [15] J.Y. H. Ma, P. L. So, E. Gunawan. (2005) "Performance analysis of OFDM systems for broadband power line communications under impulsive noise and multipath effects" In: *IEEE Transactions*, Vol. 20, No. 2, Abril 2005.
- [16] S. Galli, A. Scaglione, Z. Wang. For the Grid and Through the Grid: the role of power line communications in the smart grid. *Proceedings Of The IEEE*, [S.L.], v. 99, n. 6, p. 998-1027, jun. 2011. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2011.2109670>
- [17] B. M. C. G. Coelho, "Estudo sobre a Viabilidade da Tecnologia PLC no Brasil e Considerações sobre uma Proposta de Tarifação," M.S. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.