

Análise da transmissão do canal de retorno do Sistema Brasileiro de TV Digital via Power Line Communications

Fabício Braga Soares de Carvalho , Marcelo Sampaio de Alencar ¹ *

¹Instituto de Estudos Avançados em Comunicações
Depto. de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande - PB, Brasil, 58.109-970

[fabriciobsc,malencar]@dee.ufcg.edu.br

Abstract. *This paper presents an analysis of the data transmission technique using electrical distribution lines, known as Power Line Communications (PLC), as a proposal for transmitting the return channel of the Brazilian Digital Television System.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma análise da aplicação da técnica de transmissão de dados pela linha de distribuição de energia elétrica, denominada Power Line Communications (PLC), como proposta para a transmissão no canal de retorno do Sistema Brasileiro de Televisão Digital.*

1. Introdução

As linhas de energia elétrica foram concebidas para a transmissão e distribuição de eletricidade para a população. Em virtude da vasta rede existente, surgiu a idéia de utilizar tais linhas para a transmissão de dados, com diversas finalidades.

Inicialmente, a transmissão de dados via linhas de potência tinha por finalidade o controle do sistema no caso de faltas, que continua sendo uma premissa básica desse tipo de transmissão. A telemetria é usada para monitorar e controlar as linhas de transmissão. De fato, uma comunicação rápida e precisa entre geradoras, subestações e distribuidoras faz-se necessária para minimizar o impacto, sobre o usuário final, de defeitos ou problemas no sistema.

Entretanto, a vasta e complexa rede elétrica atinge praticamente todas as localidades, ao contrário dos outros meios de comunicação. Portanto, a sinalização e a troca de informações entre as subestações e distribuidoras foi adequadamente baseada na própria linha de transmissão. Atualmente, a telemetria e o sensoriamento remoto do sistema são ferramentas modernas e eficazes na manutenção da rede elétrica.

A primeira técnica que fez uso da rede elétrica para transmissão de dados foi desenvolvida por volta da década de 1950. O método denominado *Ripple Control* é caracterizado pelo uso de baixas frequências (entre 100 e 900 Hz) e baixa taxa de dados na rede de alta tensão (acima de 100 kV). O sistema permite uma comunicação unidirecional e é, até hoje, destinado ao controle da iluminação de postes em estradas, chaveamento

*Este trabalho é apoiado financeiramente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), com o apoio tecnológico do Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (IECOM).

de cargas e de tarifação, além das aplicações acima citadas. A partir da década de 1980, novos sistemas foram desenvolvidos, com taxas de dados maiores [Neto, 2003].

Nesse panorama, a partir da desregulamentação do mercado de telecomunicações (primeiramente nos EUA, e em seguida na Europa e na Ásia), e principalmente pelo crescimento da Internet que, impulsionada pelos avanços tecnológicos no processamento digital de sinais, passou a exigir cada vez mais serviços de telecomunicações para diversos fins, a transmissão de dados pela linha elétrica ganhou novo impulso [Majumder, 2004], [Pavlidou, 2003].

A expressão *Power Line Communications* (PLC), também conhecida como *Power Line Telecommunications* (PLT), é empregada para identificar tecnologias, equipamentos, aplicações e serviços que proporcionem a comunicação entre usuários por meio de linhas de potência (cabos que transmitem eletricidade) [plcforum, 2005]. O PLC é apontado como a maneira de implementar uma cadeia de comunicação universal, com a condução de tais serviços via linhas de distribuição, reduzindo o cabeamento interno e efetivamente integrando residências, escritórios e fábricas.

O foco atual nas pesquisas com PLC reside nas linhas de baixa tensão¹, chamadas de linhas de distribuição. A linha de distribuição é transformada em uma rede de comunicações com a superposição de um sinal de informação de baixa energia sobre a onda elétrica. Para garantir uma coexistência adequada e uma separação entre os dois sistemas, a faixa de frequência utilizada para comunicações é bem superior à frequência das linhas de energia (50 ou 60 Hz): de 3 a 148,5 kHz para aplicações de PLC em banda estreita, e de 1 a 30 MHz para aplicações de PLC em banda de difusão.

O PLC pode fornecer um enlace de comunicação natural para vários equipamentos, como por exemplo sensores de um sistema de alarme. Diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o intuito de que a rede de transmissão de baixa tensão atue como uma rede local (LAN) para conectar convenientemente, por exemplo, diversos computadores em um prédio sem a necessidade de uma rede interna.

O mercado atual envolvendo PLC encontra-se dividido em dois segmentos: o *last mile access*, ou acesso até as residências, e o *last inch access*, ou acesso dentro das residências. Alguns estudos apontam que o uso de PLC seria mais eficaz que o cabo, o *wireless* ou mesmo o *Home PNA*² para prover o acesso no interior das residências [Majumder, 2004].

O *last inch access* está conduzindo gradativamente à expansão do espectro das redes caseiras, por meio de um vasto conjunto de equipamentos conectados no interior das habitações por uma rede interna (*in-home*). Tal rede pode transformar todas as tomadas elétricas da casa em conexões de difusão para computadores pessoais, telefones e seus acessórios, bem como para outros dispositivos eletro-eletrônicos, como ilustrado na Figura 1.

Para o *last mile access*, o PLC é uma das diversas possibilidades tecnológicas, dentre as quais figura o *cable modem* e diferentes tipos de xDSL e difusão sem fio (*broad-*

¹As linhas de transmissão elétricas são classificadas em redes de alta (acima de 100 kV), média (entre 1 e 100 kV) e baixa tensão (abaixo de 1 kV).

²Rede da linha telefônica que utiliza múltiplos *sockets* em cada cômodo da casa, para prover capacidade considerável e dispersa, sem a necessidade de mais fios.

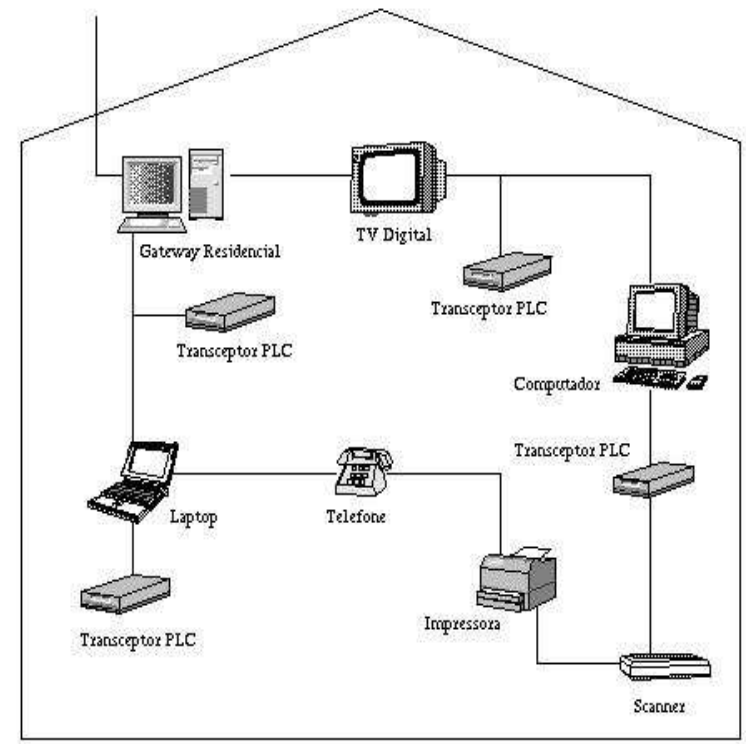


Figura 1. Last inch access, ou acesso dentro das residências

band wireless). Nenhuma das tecnologias se destaca com relação às demais; nem o PLC apresenta grandes vantagens técnicas com relação às outras técnicas, nem estas são muito superiores ao PLC [Majumder, 2004].

2. O canal de linhas de distribuição como meio de transmissão

As linhas de distribuição de energia elétrica constituem um meio muito hostil para a transmissão de dados, já que não foram projetadas para tal finalidade. Impedâncias variantes, ruído considerável e altos níveis de atenuação são alguns dos principais problemas referentes à transmissão nesse ambiente.

A propagação do sinal não ocorre em um único trajeto entre o transmissor e o receptor; por isso, o eco também é relevante e deve ser considerado, graças aos múltiplos trajetos existentes no canal. A reflexão do sinal geralmente surge devido às várias impedâncias distintas na rede elétrica.

Medições do canal mostram que para altas frequências a atenuação do canal aumenta. Desta maneira, o canal pode ser descrito como sendo aleatório e variante no tempo, com uma razão sinal ruído (SNR) dependente da frequência sobre a largura de faixa da transmissão [Majumder, 2004], [Pavlidou, 2003], [Ferreira, 1996].

2.1. Ruído

O ruído em linhas de potência constitui um problema significativo para a transmissão de dados, já que ele dificilmente pode ser modelado como um ruído gaussiano branco. A diversidade das características elétricas dos dispositivos conectados à rede pode alterar as características da linha.

As características do sinal podem ser tanto dependentes do tempo quanto da frequência, bem como da localização do transmissor e do receptor na infra-estrutura da linha de transmissão. Por exemplo, uma tomada próxima de uma fonte ruidosa pode apresentar uma SNR pequena comparada a outra que se situe mais distante dessa fonte (equipamentos domésticos em funcionamento). Ao se ligar ou desligar eletrodomésticos conectados à rede, a função de transferência do canal é alterada no tempo.

Fontes típicas de ruído são as ligações de equipamentos que utilizam algum tipo de chaveamento, seja ele eletrônico (lâmpadas fluorescentes e halogênicas, fontes chaveadas) ou mecânico (motor de escovas). O ruído nas linhas de transmissão pode ser de natureza impulsiva ou seletivo em frequência e, algumas vezes, ambos [Majumder, 2004], [Neto, 2003].

2.2. Atenuação

A atenuação da portadora é causada por fatores que dependem do número e da natureza das cargas conectadas, da indutância dos fios, da distância e da topologia da rede, e deve ser considerada na análise do canal elétrico. Para compensar tal situação, algumas vezes utilizam-se repetidores. Outra alternativa é o aumento de potência, mas que pode ser limitado pelas restrições dos padrões em vigor.

A atenuação varia não apenas com a frequência do sinal como também com o tempo, devido às cargas que são conectadas e desconectadas. Ou seja, as características elétricas da rede são variantes no tempo em razão dos dispositivos que são conectados e desconectados aleatoriamente.

Um canal variante no tempo exige maior complexidade no projeto de um sistema de comunicações; em determinado momento a comunicação funciona bem, mas depois uma fonte de ruído pode bloquear a comunicação. Uma possível solução é a adoção de um sistema que se adapte ao canal, porém isso requer uma implementação complexa.

O canal entre duas tomadas quaisquer de uma casa, para exemplificar, apresenta uma função de transferência complicada. Em tal meio de transmissão, a amplitude e a fase do sinal podem variar drasticamente com a frequência. Embora o sinal possa chegar até o receptor com poucas perdas em determinadas frequências, para outras ele pode ser completamente destruído [Majumder, 2004], [Neto, 2003].

2.3. Alocação de frequência

Nos Estados Unidos, a faixa de frequência de 0 a 500 kHz pode ser usada para comunicações pela rede elétrica. Na Europa, a regulamentação sobre o espectro usado para PLC é mais rigorosa e é regida pela norma europeia CENELEC EN 50065. No padrão europeu a atribuição de frequência para o PLC tem 5 sub-bandas, que variam de 3 a 148,4 kHz, sendo proibido o uso em PLC de frequências superiores a 150 kHz, para evitar interferência em serviços de rádio. Além da atribuição de faixa, órgãos reguladores também impõem limites nos níveis da radiação que é emitida por tais dispositivos. A máxima potência de transmissão é limitada a 5 mW.

A atribuição de frequência para o PLC na Europa é dada a seguir [Neto, 2003]:

- 3 a 9 kHz: O uso desta faixa de frequências é limitado para os fornecedores de energia;

- 9 a 95 kHz: Também chamada de *Banda A*, esta faixa é limitada para fornecedores de energia e seus concessionários, e é reservada para uso de telemetria;
- 95 a 125 kHz: Denominada *Banda B*, é destinada aos provedores de clientes. Nenhum protocolo de acesso é exigido para tal banda de frequência;
- 125 a 140 kHz: Limitada aos clientes de fornecedores de energia. Um protocolo de CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), que usa a frequência central de 132,5 kHz para realizar operações simultâneas de vários sistemas dentro desta faixa, foi definido. É referenciada como *Banda C*;
- 140 a 148,5 kHz: Conhecida como *Banda D*, é limitada aos clientes dos provedores de energia. Nenhum protocolo de acesso é definido para essa faixa de frequência.

2.4. Impedância da Rede Elétrica

A linha de potência é uma rede bastante espalhada, com a tensão média/baixa do secundário do transformador como a excitação para as várias cargas conectadas em paralelo. A impedância do canal é, portanto, fortemente variável, dependendo de cargas específicas serem conectadas à rede em momentos específicos. O casamento de impedâncias pode ser importante desde que a potência do sinal no lado do receptor atinja um máximo quando as impedâncias do transmissor, do receptor e do canal estão casadas.

Várias medições mostram que a impedância dos circuitos de rede elétrica residencial aumenta com a frequência e está na faixa de aproximadamente 1,5 a 80 Ω , a 100 kHz. Isto indica que esta impedância é determinada por dois fatores, quais sejam as cargas conectadas à rede e a impedância do transformador de distribuição.

As cargas das residências vizinhas também podem afetar tal impedância. As instalações elétricas aparentam ter um efeito relativamente pequeno e a impedância normalmente é indutiva. Para cargas resistivas típicas, a atenuação aproximada do sinal é de 2 a 40 dB, a 150 kHz, dependendo do transformador de distribuição usado e do tamanho das cargas. Também é possível que a carga capacitiva entre em ressonância com a indutância do transformador de distribuição e cause uma atenuação brusca do sinal com a frequência [Neto, 2003].

3. Perspectivas

O mercado de PLC está se expandindo rapidamente:

- Os avanços obtidos pelos pesquisadores são publicados anualmente no *International Symposium for Powerline Communications and its Applications* (ISPLC);
- Nos Estados Unidos, as redes caseiras que utilizam tecnologia PLC já estão se popularizando: cerca de 10% do mercado de redes internas já era dominado pelo PLC, em 2003;
- Serviços de energia avançados, capitaneados por companhias de energia e distribuidores, incluem aplicações como telemetria automática, controladores programáveis e gerenciamento de demanda de energia [Majumder, 2004];
- *HomePlug 1.0* é a especificação para uma tecnologia que conecta equipamentos entre si por meio da rede elétrica da residência. Os produtos certificados pelo *HomePlug* conectam computadores e outros equipamentos, que utilizam tecnologias como Ethernet, USB e Wi-Fi 802.11, à rede elétrica via um adaptador. Tais

produtos oferecem uma solução simples para os consumidores interessados em criar uma rede caseira sem adicionar novos fios.

O novo padrão desenvolvido pelo consórcio *HomePlug Alliance* (que inclui companhias de componentes eletrônicos e fornecedores de serviços) está sendo implementado para prover aplicações de entretenimento, como HDTV e *Home Theater*; o *HomePlug AV* está sendo projetado para suportar grande largura de banda e baixa demanda de latência de vários e simultâneos *streams* de HDTV e VoIP, estando disponível em mais de 90% das tomadas de uma casa. As aplicações têm como alvo a distribuição *in-home* de áudio, vídeo e dados. Na faixa de frequência de 2 a 28 MHz, o consórcio promete prover serviços a taxas de 200 Mbps na camada PHY e a 100 Mbps na camada MAC [homeplug, 2005];

- O uso de PLC *in-home* pode servir a dois propósitos:
 1. Fornecer uma rede local caseira com as vantagens da alimentação elétrica;
 2. Combinar o acesso e as capacidades da rede *in-home* para serviços e integração do sistema.

Há diversas aplicações para uma rede caseira de PLC: Internet compartilhada, impressoras, arquivos, controle da casa, jogos, monitoramento remoto e de segurança.

4. Vantagens e desvantagens do PLC

Pode-se considerar que a comunicação por linha de transmissão ou distribuição tem as seguintes vantagens e desvantagens:

- **Vantagens**

- Trata-se de uma rede de comunicações independente, em que a infraestrutura de cabos elétricos existente pode ser utilizada para a transmissão de dados de comunicação;
- As redes elétricas de alta e média tensão cobrem grandes distâncias;
- A cobertura geográfica da rede de baixa tensão em regiões habitadas é bem abrangente, facilitando o acesso quase universal à rede;
- Não necessita de fios adicionais e pode prover acesso com fidelidade para aplicações com praticamente 100% de cobertura em uma residência ou escritório, por exemplo;
- É bastante simples de instalar e utilizar. Para o usuário final, basta conectá-lo à tomada e já começa a funcionar.

- **Desvantagens**

- É um ambiente de comunicações particularmente complicado;
- Os níveis de ruído podem ser excessivos;
- A atenuação para frequências usualmente empregadas em comunicações é muito grande;
- Repetidores devem ser instalados para compensar as perdas nos cabos, bem como *bypasses* nos transformadores de distribuição;
- A instabilidade da rede elétrica pode levar à formação de transitórios, que anulam a resposta em frequência;
- Problemas de compatibilidade eletromagnética ocorrem entre os circuitos eletrônicos e as linhas de transmissão de energia elétrica;

- Parâmetros importantes do canal, tais quais impedância, atenuação e níveis de ruído, variam indefinidamente em função do tempo e da carga;
- Praticamente impossível de ser utilizado sem um código de controle de erro.

5. Canal de retorno para a TV Digital

A TV convencional está se tornando obsoleta no sentido comercial, deixando de ser um veículo ainda maior de informações e negócios. O novo padrão de TV digital que o Brasil pretende lançar necessariamente deve suportar interatividade, pelo fato da televisão ainda ser o principal canal de comunicações disponível para os mais diferentes tipos de usuários. Com a interatividade, o caminho da TV digital passa pela convergência com outras tecnologias, como por exemplo a Internet, sendo decisiva a alteração da forma e conteúdo da televisão atual. Programas interativos, comércio eletrônico, seleção de programas exclusivos, acesso à navegação *web* são alguns dos novos serviços que estarão disponíveis com a implantação da TV digital [Resende, 2004].

Particularmente no Brasil, em que cerca de 90% das residências possui televisores e pouco mais 12% da população tem acesso à Internet, a televisão digital, por ser a evolução natural da televisão analógica, passa a ser vista pelo governo brasileiro como a ferramenta para proporcionar a inclusão digital da população. O que o governo vislumbra como inclusão digital é a possibilidade dos brasileiros disporem, em seus lares, de televisores digitais que permitam a convergência entre televisão e computador, de forma que se possa assistir à programação normal, interagir com as emissoras e anunciantes e acessar a Internet. O objetivo é proporcionar o acesso das camadas mais pobres à tecnologia e ao computador, valendo-se da presença da televisão na maioria dos lares.

Neste contexto, o governo federal, por meio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), está investindo nas pesquisas que conduzam à definição do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Um dos campos de pesquisa mais desafiadores diz respeito à definição do canal de retorno (ou de interatividade). Isto porque o elemento chave para a interatividade nos padrões de TV digital é a capacidade dos receptores proverem a comunicação reversa. Os aparelhos de televisão convencional também estão aptos a receber o conteúdo da TV Digital e fazer a interatividade por meio de um equipamento chamado de *set-top box* [Carvalho, 2005].

Há cinco propostas de transmissão do canal de retorno sendo estudadas para o SBTVD:

- Emprego de canais de comunicação de dados da telefonia celular;
- Uso de redes *ad-hoc*;
- Utilização de radiofrequência;
- Via telefonia fixa (com *modem* telefônico, serviços xDSL ou *cable modem*);
- Uso de comunicações em linhas de distribuição (PLC).

A proposta que é analisada neste artigo refere-se ao uso de PLC para a transmissão do canal de retorno. Trata-se de algo que ainda não foi implementado, haja visto que as aplicações rotineiras de PLC dizem respeito à telemetria e controle da distribuição de energia por parte das operadoras energéticas ou mesmo à formação de redes *in-home*, ou redes internas sem a necessidade de cabeamento extra.

6. Transmissão do Canal de Retorno com PLC

O grande ponto a favor do uso de comunicações em linhas de distribuição é o fato de ser um meio amplamente disponível e estabelecido, com grande cobertura geográfica. Caso o PLC fosse designado para transmitir o canal de retorno para os televisores digitais, o usuário residencial só teria que conectar a tomada do equipamento, sem a necessidade de instalação de fios extras.

Porém, há diversos pontos negativos. Conforme já citado, as linhas de distribuição são um meio complicado para a transmissão de dados de comunicações a altas taxas: os níveis de ruído são excessivos, a atenuação é geralmente elevada, a necessidade de instalar repetidores e *bypasses* nos transformadores de distribuição é onerosa, além de ser praticamente impossível de ser utilizado sem um código de controle de erro.

Como a transmissão de altas taxas de dados pelas linhas de média e alta tensão se mostram inviáveis, a proposta de transmissão do canal de retorno da TV digital via PLC deve se restringir às aplicações em linhas de baixa tensão, seguindo as tendências das pesquisas atuais. O cenário mais promissor seria a aplicação da tecnologia PLC no ambiente residencial, restando a definição de como prover o canal de retorno até as residências.

O IECOM está analisando a possibilidade de empregar sistemas híbridos, com o PLC sendo utilizado no acesso às residências (*last inch access*), com o ponto de acesso à rede instalado junto ao transformador abaixador. O envio de dados até tal ponto de acesso, que compreenderia um bairro ou quarteirão, seria por meio de fibras ópticas (OPGW) ou por RF intrabanda.

A idéia seria utilizar o PLC para fornecer o canal de retorno a partir do transformador abaixador de tensão (que converte a tensão em 110V ou 220V para os usuários residenciais), já que o próprio transformador serve como um filtro passa-baixa, evitando que os dados do canal de interatividade passem para a linha de média e/ou alta tensão. E o sinal de retorno da TV digital poderia ser enviado da emissora, ou provedor, até o transformador por meio de fibras ópticas ou mesmo por intermédio de radiofrequência, para a partir daí ser retransmitido a todas as casas de um quarteirão ou de um prédio por PLC.

Também estão sendo realizadas, pelo IECOM, simulações que avaliem a qualidade da transmissão utilizando PLC, de modo a embasar os estudos técnicos relativos à escolha do meio de transmissão do canal de interatividade do Sistema Brasileiro de Televisão Digital. Tais testes visam dimensionar o alcance, a taxa de erro, a relação sinal-ruído, a perda de desempenho (avaliação da qualidade do serviço – QoS), a taxa de transmissão e testes de ruído e de carregamento do sistema.

Referências

- Majumder, A. and Caffrey, J. “Power Line Communications: An Overview”. *IEEE Potentials*, vol.23, pg 4-13, outubro/novembro 2004.
- Pavlidou, N. , Han Vinck, A. J. , Yazdani, J. and Honary, B. “Power Line Communications: State of the Art and Future Trends”. *IEEE Communications Magazine*, pg 34-40, abril 2003.
- Ferreira, H. C. , Grové, H. M. , Hooijen, O. and Han Vinck, A. J. “Power Line Communications: An Overview”. *IEEE AFRICON 4th*, vol.2, pg 558-563, setembro 1996.

Neto, J. P. L. “Estágio realizado no Laboratório de Comunicações da Universidade de Ehime - Japão”. Relatório de Estágio, LABCOM/UFCG, outubro 2003.

Carvalho, F. B. S. “Middleware - TV Digital”, Seminário da Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, LABCOM/IECOM/UFCG, fevereiro 2005.

Fernandes, J., Lemos, G. and Silveira, G. E. “Introdução à Televisão Digital Interativa: Arquitetura, Protocolos, Padrões e Práticas - Dia 3”. Minicurso apresentado na XXIII Jornada de Atualização em Informática do XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (JAI-SBC), 2004.

Resende, L. E. A. “Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho para o padrão de TV Digital ISDB-T”. Dissertação de Mestrado, PUC-RJ, Rio de Janeiro, maio 2004.

<http://www.plcforum.org> (acessado em março de 2005)

<http://www.homeplug.org/en/faq/index.asp> (acessado em abril de 2005)