

2

Tecnologia PLC

Este capítulo tem por objetivo descrever a tecnologia PLC que consiste na utilização das redes de energia elétrica para fins de comunicação.

Na seção 2.1 é apresentado o histórico da tecnologia PLC.

Na seção 2.2 são descritos os equipamentos utilizados em PLC

Na seção 2.3 são descritas as topologias de rede usadas em PLC.

Como essas redes não foram concebidas inicialmente para a transmissão de sinais de comunicação com altas taxas há uma série de características peculiares a este meio que o torna hostil à transmissão de sinais de comunicação. Essas limitações da utilização da rede de energia elétrica para comunicação estão descritas na seção 2.4.

2.1

Histórico

Inicialmente, as redes elétricas de distribuição foram criadas para a transmissão eficiente de energia elétrica. Como o seu objetivo inicial não era a transmissão de dados, técnicas avançadas de comunicações tiveram de ser empregadas para adequar este meio à transmissão digital.

Os sistemas *Powerline Carrier*, também chamados de OPLAT (Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão), são utilizados pelas companhias de energia elétrica desde a década de 30. Esses sistemas foram e são utilizados para fins de telemetria, controle remoto e comunicação de voz.

No início dos anos 50 foi desenvolvida a primeira técnica de transmissão de dados através das linhas elétricas. O método chamado de *Ripple Control* possibilitava a comunicação em frequências baixas (100-900Hz), mas demandava altas potências de transmissão. A comunicação era feita em uma só direção, enviando sinais de controle para tarefas simples como acionamento de equipamentos e controle remoto de tarefas. Na década de 80, o desenvolvimento de sistemas ainda era restrito a utilização de faixas de baixa frequência.

Pesquisas iniciais, para analisar as características das redes elétricas e sua utilização para transmissão de dados, foram realizadas nos Estados Unidos e na Europa a partir da década de 80.

Em 1991, iniciou-se na Inglaterra testes com comunicação digital de alta velocidade utilizando a rede de energia elétrica. Entre 1995 e 1997, ficou demonstrado que era possível resolver os problemas de ruído e interferências e que a transmissão de dados de alta velocidade poderia ser viável. Também verificou-se a viabilidade do fornecimento de comunicação de forma bidirecional com frequências mais elevadas e menores níveis de potência de transmissão [25].

Na Europa em 1997 foi criado o PLC Fórum e em 1998 foi lançado nos EUA o *Power Line Telecommunications Forum* (PLTF). Atualmente tem-se diversos produtos comerciais já empregando a tecnologia *Powerline Communications* [26].

2.2

Equipamentos PLC

Há diversos tipos de equipamentos PLC, que podem ser utilizados na oferta de serviços de telecomunicações sobre a rede de distribuição de energia elétrica [27]:

- Modems utilizados nas instalações dos usuários (Customer Premises Equipments – CPE);
- Equipamentos de concentração;
- Repetidores ou equipamentos intermediários (de baixa ou alta tensão);
- Equipamentos de Transformador MT/BT (média tensão/baixa tensão);
- Equipamento de Subestação.

A Figura 2.1 ilustra o posicionamento destes tipos de equipamentos em uma rede.

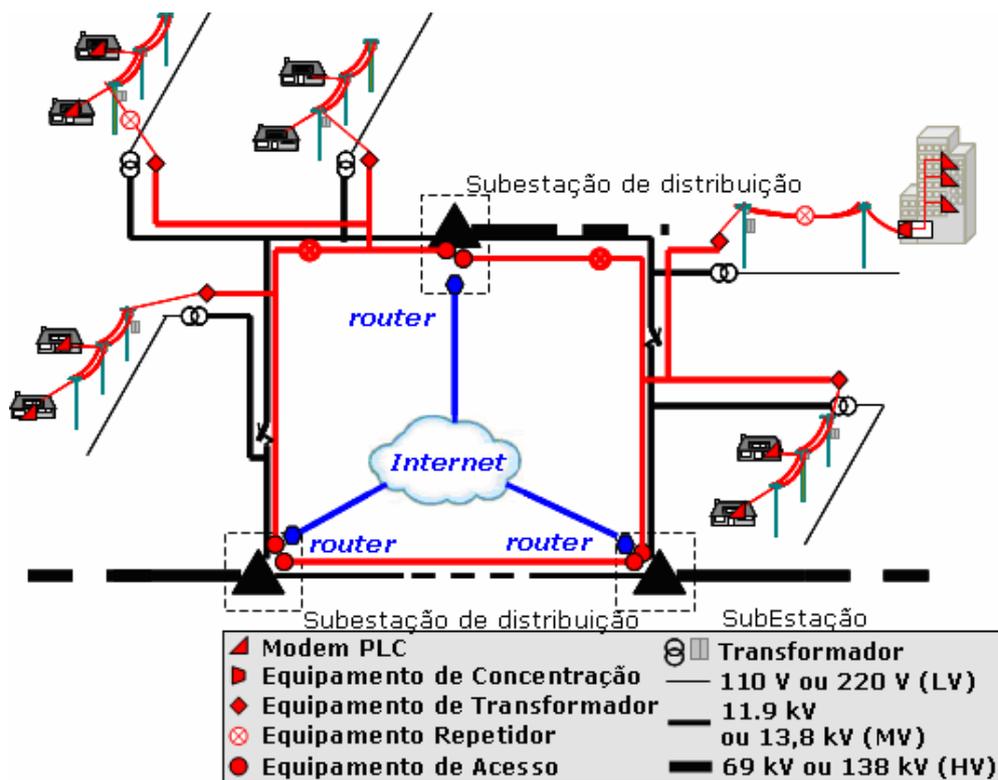


Figura 2.1: Equipamentos PLC

Segue-se uma breve descrição de cada um destes equipamentos:

Modem PLC (CPE)

O Modem PLC é um equipamento que realiza a interface entre os equipamentos dos usuários e a rede elétrica de distribuição, transformando o sinal do equipamento terminal de telecomunicações em sinal modulado e transportado sobre a rede elétrica.

O Modem recebe alimentação e os sinais de telecomunicações pela rede elétrica de distribuição doméstica. O Modem permite também separar as aplicações de voz e dados, para os respectivos telefones ou computadores pessoais.

Repetidor

O Repetidor recupera e reinjeta o sinal PLC proveniente dos Equipamentos de Transformador para a rede elétrica de distribuição doméstica. É instalado normalmente junto à sala de medidores de cada prédio ou em algum local intermediário (por exemplo, postes sem transformador) na rede de distribuição de baixa tensão.

Algumas vezes pode ser utilizado como um nó intermediário para expandir a cobertura ou aumentar a largura de banda em segmentos críticos da rede (por exemplo, devido a uma elevada atenuação entre o equipamento PLC do Transformador e o Modem PLC). Há também Repetidores em Média Tensão com propósitos semelhantes.

Em alguns casos, dependendo da topologia da rede elétrica, o repetidor pode não ser necessário, caso em que o equipamento PLC do Transformador consegue uma conexão de elevada qualidade com o Modem PLC.

Equipamento de Concentração

Determinados condomínios ou prédios podem exigir um equipamento de concentração que otimize a largura de banda para um conjunto de usuários próximos. Em prédios, este equipamento é geralmente instalado junto à sala de medidores. Algumas vezes pode ser utilizado como um nó intermediário para expandir a cobertura ou aumentar a largura de banda em segmentos críticos da rede.

Equipamento de Transformador (*Master/Gateway*)

O Equipamento de Transformador é o dispositivo PLC instalado junto aos transformadores MT/BT. Sua função é extrair o sinal proveniente da rede de distribuição PLC (média tensão, fibra óptica, rede a cabo, etc) e injetá-lo sobre a rede de acesso (baixa tensão).

Possibilita o fluxo de dados *downstream* do Equipamento Transformador até o Modem PLC ou para os Repetidores numa configuração ponto multiponto full-duplex. Os Equipamentos de Transformador são dotados de uma configuração modular flexível com:

- Placas BT, as quais injetam o sinal PLC proveniente da rede de distribuição PLC sobre os cabos de baixa tensão;
- Placas MT que permitem a interconexão destes equipamentos sobre a rede de distribuição de média tensão.

Equipamento de Subestação (*High End*)

O Equipamento de Subestação é o dispositivo PLC instalado junto a Subestação. Sua função é, por um lado, permitir a interconexão com os provedores de serviços (Internet ou PSTNs - *public switched telephone networks*, por exemplo) e por outro lado, injetar o sinal na rede de média

tensão. As funções do equipamento de Subestação podem ser desempenhadas, dependendo da configuração, pelo mesmo Equipamento de Transformador.

Equipamentos Acessórios (Unidades de Acoplamento)

As unidades de acoplamento são os equipamentos acessórios necessários para injetar e adaptar o sinal de telecomunicações do equipamento PLC para a grade de distribuição (MT e BT). Há dois tipos de unidades de acoplamento, acoplamento capacitivo e acoplamento indutivo.

A solução de acoplamento a ser implementada é escolhida com base na qualidade do sinal e facilidade de instalação nas condições específicas da rede de distribuição utilizada. As soluções de acoplamento têm evoluído bastante, otimizando tempos, procedimentos, desempenho e segurança de instalação.

2.3

Topologias de redes

A topologia geral de uma rede de telecomunicações onde se utiliza a tecnologia PLC é ilustrada na Figura 2.2 [27].

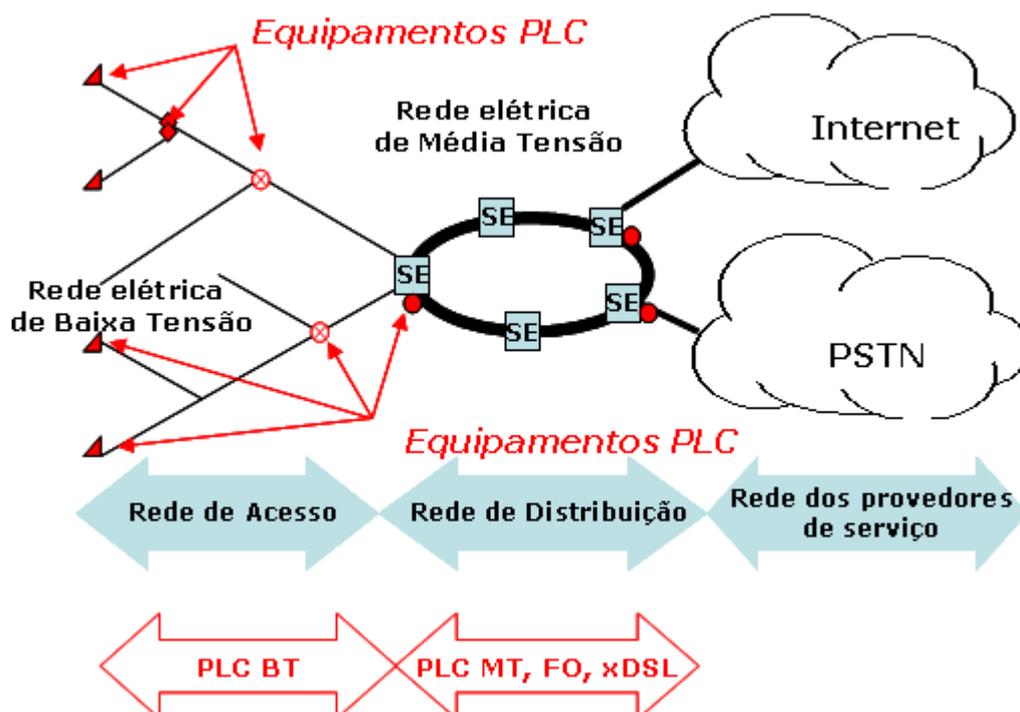


Figura 2.2: Redes PLC

Observando a figura 2.2, distingam-se os seguintes segmentos de rede:

A Rede de Acesso PLC

A grade de baixa tensão realiza a função do segmento de acesso (última milha) da rede de telecomunicações. A rede de acesso interconecta Modems PLC com o Equipamento PLC de Transformador. O *socket* elétrico convencional torna-se um ponto de conexão a serviços de telecomunicações.

Os Equipamentos PLC de Transformador localizam-se junto aos Transformadores de MT/BT (média tensão/baixa tensão). A figura 2.3 ilustra a rede de acesso de baixa voltagem. Na figura está indicada a estação base (EB) também chamada de estação Master que faz a interconexão entre a rede de acesso (baixa tensão) e a rede backbone.

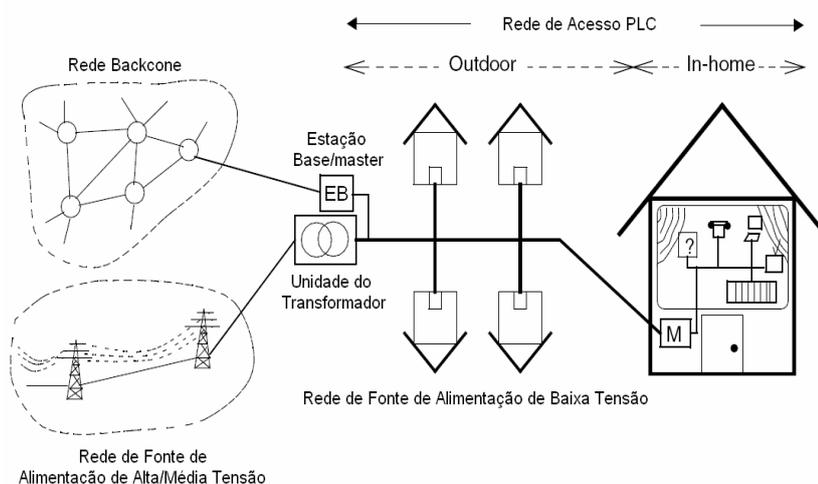


Figura 2.3: Diagrama da rede de acesso de baixa voltagem

A rede de acesso PLC pode ainda envolver repetidores, em função da distância entre os equipamentos PLC.

Redes PLC de baixa voltagem representam uma alternativa às tecnologias tradicionais empregadas para prover acesso às redes PSTNs, rede digital de serviços integrados (*integrated services digital networks - ISDN*), redes ADSL (*asynchronous digital subscriber line*) ou redes HFC (*hybrid fiber coax*) com baixo custo e com alta velocidade. Desenvolver redes PLC de baixa voltagem é mais barato que, por exemplo, desenvolver uma rede HFC, pois somente o equipamento no transformador (e opcionalmente, alguns repetidores

em altas áreas populacionais) precisa ser instalado e nenhum cabeamento adicional é necessário. O único cabo que precisa ser instalado é o de conexão WAN para o modem PLC (ou um enlace PLC de média voltagem).

O Modem PLC pode também ser utilizado para estabelecer uma rede local (*local area Network* - LAN) levando o sinal PLC a todos os cômodos da casa ou escritório, possibilitando diversos usuários se conectar e dividir uma conexão em alta velocidade. A figura 2.4 mostra uma típica rede PLC doméstica.

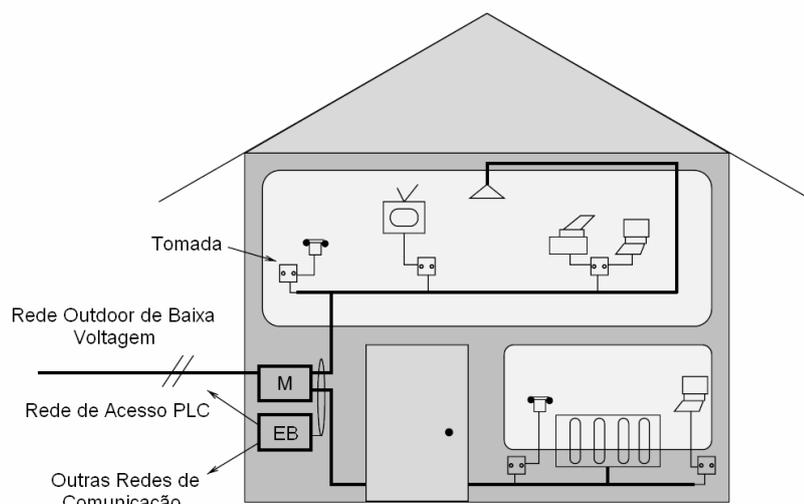


Figura 2.4: Típica rede PLC doméstica

Uma rede doméstica é uma rede própria e operada pelo usuário final que usa a fiação doméstica interna para prover comunicação entre os dispositivos a ela conectados. O assinante PLC é conectado à rede através de um modem PLC. Na figura está indicado a estação base (EB) que conecta a rede PLC doméstica a área externa (*Outdoor*) e a unidade do medidor de energia elétrica (M).

A Rede de Distribuição PLC

É a parte da rede de acesso que pode ter uma abrangência, inclusive metropolitana, que interliga a rede de acesso de última milha aos provedores, ou ao backbone. Observe-se que devido a sua capilaridade potencial recebe uma denominação especial: rede de distribuição.

A rede de distribuição interconecta os Equipamentos PLC instalados nas subestações MT/BT. Esta interconexão admite uma variedade de soluções, que podem ser combinadas. Desta forma a rede de distribuição pode se basear:

- no sistema de distribuição de média tensão, conectando diferentes subestações MT/BT por meio de equipamentos PLC de média tensão (pode se utilizar tanto a rede aérea quanto a rede subterrânea);
- em um sistema de transmissão por fibras ópticas conectando diferentes subestações MT/BT;
- em qualquer tecnologia como xDSL (*digital subscriber line*) ou LMDS (Local Multipoint Distribution Systems).

Normalmente as subestações são conectadas por uma configuração de referência em anel com rotas de proteção em caso de falha.

O desenvolvimento de PLC de média tensão é de elevada importância, na medida em que impacta positivamente em termos de economia e a rapidez de implantação, permitindo as prestadoras e concessionárias de serviços servir-se de suas redes de distribuição para conectar diferentes subestações de baixa tensão.

Interconexão às redes de provedores de serviços (Internet, PSTN)

Em algum ponto da rede de distribuição é necessário interconectar aos provedores de serviço de Internet ou telefônicos. Outros serviços de valor adicionado como *video streaming* e serviços multimídia podem exigir uma interconexão ou serem providos diretamente pelo operador de PLC.

Deve-se observar que embora a interconexão com a PSTN possa requerer equipamentos de comutação adicionais, normalmente de custos elevados, o serviço de voz pode tecnicamente ser provido internamente a mesma rede de distribuição sem custos extras para o provedor de PLC.

2.4

A Rede de distribuição de energia elétrica vista como canal de comunicação

Em sua função original a rede de distribuição de energia elétrica é usada para o transporte e distribuição de energia elétrica aos consumidores. Nesta seção analisa-se a rede de distribuição de energia elétrica de uma forma ampliada, ou seja, sendo também utilizada como canal para comunicação de

voz, de vídeo e de dados. Vale ressaltar que a maioria das aplicações PLC utiliza a Rede de Baixa Tensão.

As redes de Média e Baixa Tensão são compostas por linhas ou condutores metálicos caracterizados por parâmetros como resistências, indutâncias, capacitâncias e condutâncias distribuídas, sendo um meio hostil à propagação de sinais elétricos, principalmente os de alta frequência, por apresentarem as seguintes características:

- Atenuação por conta dos efeitos resistivos e reativos das linhas;
- Reflexões devido à inserção e retirada dinâmica de cargas na rede elétrica;
- Ruídos decorrentes das perturbações eletromagnéticas e conseqüentes interferências conduzidas e irradiadas.

Vale enfatizar que a atenuação e os ruídos são os grandes obstáculos para a propagação adequada de sinais.

A rede de distribuição de Energia Elétrica como meio de comunicações de dados, de vídeo e de voz é caracterizada por apresentar atenuação proporcional ao aumento da frequência e da distância, fase não linear, seletividade na frequência e ruído conduzido ou irradiado nos condutores metálicos (linhas de distribuição de energia) de média e baixa tensão.

Para a transmissão de sinais por redes de distribuição de energia elétrica alguns fatores devem ser observados, tais como:

1. Linha de Distribuição como um canal atenuador com seletividade em frequências (*Frequency Selectivity Channel*)

Ao se transmitir um sinal PLC numa rede elétrica, observa-se a ocorrência de reflexões e retransmissões em todos os pontos onde houver variação na impedância da linha elétrica. No caso das redes de energia elétrica, as reflexões decorrem de:

- descasamento de impedância das cargas nas terminações da rede;
- variação ao longo do tempo da impedância da linha em locais da rede onde há inserção e retirada de cargas;
- mudanças dos parâmetros das linhas

Como a linha de distribuição possui uma resposta com seletividade em frequência, ocorrem nulos em frequências na faixa de interesse, causando assim uma atenuação muito forte em determinadas frequências.

A figura 2.5 ilustra algumas respostas típicas do canal PLC [2].

O formato dessas respostas é semelhante a de outros canais multipercursos, tal como os canais rádio móveis.

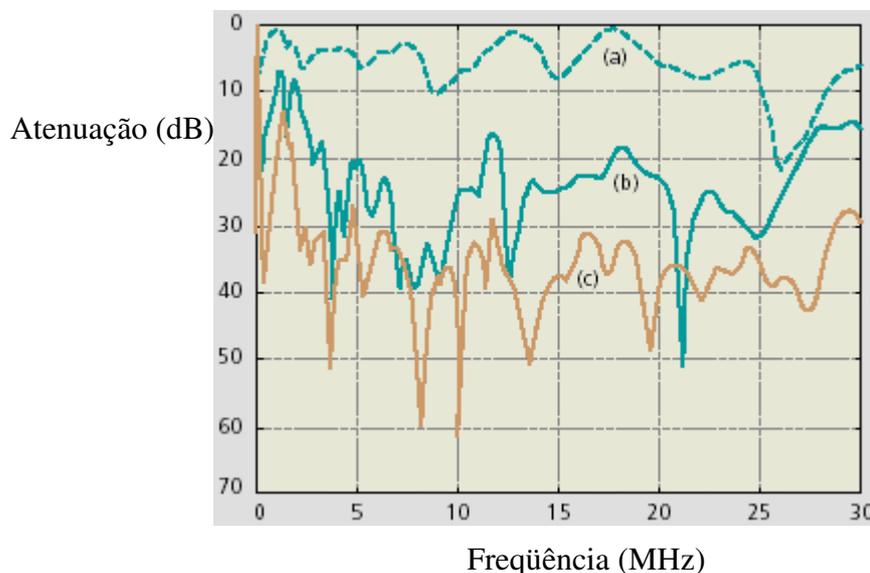


Figura 2.5: Resposta em amplitude para 3 canais em um apartamento: a) dentro de um mesmo circuito elétrico b) com uma maior distância de transmissão c) através de diferentes circuitos

2. Interferência intersimbólica

Além da seletividade em freqüência, canais não ideais distorcem os sinais que se propagam por eles. Se as respostas em amplitude e fase do canal são ideais, as componentes de freqüências que compõem o sinal sofrem as mesmas alterações em amplitude e fase. A forma do sinal é conservada, verificando apenas uma mudança em amplitude e um atraso temporal. Entretanto, para casos não ideais as freqüências são modificadas de forma heterogênea provocando uma dispersão (espalhamento) do sinal.

Quando sinais consecutivos passam por um canal não ideal, eles podem se sobrepor gerando o que é denominado de Interferência intersimbólica (*intersymbol interference – ISI*) [28].

3. Ruídos

Uma outra fonte de problemas para os canais PLC são os diversos tipos de ruídos encontrados nas linhas.

Em contraste com outros canais de comunicação, o ruído encontrado nas linhas de potência não é o ruído aditivo Gaussiano branco (*Additive White Gaussian Noise* - AWGN) [11].

São, a saber, o ruído colorido de fundo, ruído de banda estreita, ruído periódico síncrono, ruído impulsivo periódico síncrono, ruído impulsivo assíncrono e ruído impulsivo não periódico [1]. Esses diversos tipos de ruídos são detalhados abaixo:

- Ruído colorido de fundo: este apresenta uma baixa densidade espectral de potência (*power spectral density* - PSD) variante com a frequência e constitui principalmente da soma de numerosas fontes de ruído de baixa densidade de potência existentes ao longo das linhas elétricas. Este tipo de ruído é não estacionário e pode atingir níveis consideráveis durante o funcionamento de determinados equipamentos.
- Ruído de banda estreita: São interferências de fontes externas de ondas de rádio que são capturadas pelas linhas. Neste sentido, deve ser mencionado que, apesar da faixa de frequência usada pelo sistema, as linhas de potência são extremamente propensas a receber sinais em bandas acima de 30MHz (por exemplo, FM comercial). Portanto, deve-se ter um cuidado especial com a especificação dos filtros do receptor para prevenir os distúrbios causados pelos sinais de alta frequência.
- Ruído impulsivo periódico síncrono com as principais frequências: Esses impulsos são de curta duração (10-100 μ s) durante a qual a PSD diminui com a frequência.
- Ruído impulsivo assíncrono: esses impulsos são eventos produzidos por comutadores de potência. A faixa de duração do impulso varia de vários microssegundos a poucos milissegundos. A densidade espectral de potência pode ser superior a 50dB acima do nível de ruído de fundo.
- Ruído impulsivo não periódico: Esse ruído ocorre devido à conexão e desconexão das cargas na linha ou qualquer outro evento esporádico.

Enquanto o ruído de fundo mostra características estacionárias, o ruído impulsivo aparece em pequenos intervalos, mas apresenta uma alta densidade espectral de potência (até 50dB acima do ruído de fundo). Por essa razão o ruído impulsivo é considerado a principal fonte de erro para os dados transmitidos sobre as linhas de potência.

Portanto, para propiciar uma comunicação confiável de alta velocidade sobre as redes de potência deve-se dispor de técnicas de processamento do sinal para combater as adversidades desse ambiente.

Os transceptores PLC podem facilmente combater o ruído de fundo, porém o ruído impulsivo é o mais difícil de lidar. Se os distúrbios do ruído impulsivo são menores que a duração do símbolo, não há influência nos dados transmitidos. Caso contrário o ruído impulsivo pode distorcer os dados.

O ruído impulsivo é geralmente combatido com códigos corretores de erros (forward error correction - FEC) [29].

Como já mencionado, as técnicas utilizadas para combater o desvanecimento multipercurso e interferência intersimbólica (ISI) são: i) o espalhamento espectral (*spread spectrum* – SS) ii) a modulação multiportadora (*multicarrier modulation* - MCM).

A escolha do esquema de modulação utilizado para sistemas PLC deve levar em conta três fatores principais:

- A presença de ruído e impulsos causando uma baixa relação sinal-ruído (*signal-to-noise ratio* - SNR).
- A variação no tempo e na frequência devido à natureza do canal.
- Limitações regulatórias com respeito à compatibilidade eletromagnética (*electromagnetic compatibility* - EMC) que limitam a potência transmitida.

A técnica aqui a ser utilizada é o OFDM. O esquema de transmissão e recepção OFDM será tratado no capítulo 4.

2.5

Resumo do Capítulo

Power Line Communication (PLC) é uma tecnologia que usa a rede de energia elétrica para transportar sinais de comunicação. Como faz uso de uma infra-estrutura já disponível, não necessita de obras para ser implementada já que, os futuros clientes dessa tecnologia utilizarão apenas a tomada de energia elétrica para se comunicar ao telefone, obter acesso à internet, assistir vídeos, transmitir e receber fax, etc.

Dentre os equipamentos utilizados estão: Modems PLC, Equipamentos de concentração, Repetidores ou equipamentos intermediários (de baixa ou alta tensão), Equipamentos de Transformador BT/MT e Equipamento de Subestação.

A topologia geral de uma rede de telecomunicações onde se utiliza a tecnologia PLC é composta pela rede de acesso, rede de distribuição e redes de provedores de serviços.

Como as redes de distribuição de energia elétrica não foram concebidas inicialmente para a transmissão de sinais de comunicação com altas taxas de transmissão há uma série de características peculiares a este meio de transmissão que torna o meio hostil à transmissão de sinais de comunicação.

O canal é caracterizado por uma atenuação proporcional ao aumento da frequência e da distância, fase não linear, seletividade na frequência e ruído conduzido ou irradiado nos condutores metálicos (linhas de distribuição de energia) de média e baixa tensão.

Os canais não ideais distorcem os sinais que se propagam por eles. Esses sinais se sobrepõem gerando a Interferência intersimbólica. Mas, felizmente, já se dispõe de técnicas de processamento do sinal para combater as adversidades desse ambiente.