

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PLC - COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA**

Área de Engenharia Elétrica

por

Hebert Francci Lima Lobo

Josemar dos Santos, Mestre  
Orientador

Itatiba (SP), dezembro de 2005

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PLC - COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA**

Área de Engenharia Elétrica

por

Hebert Francci Lima Lobo

Relatório apresentado à Banca Examinadora do  
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia  
Elétrica para análise e aprovação.  
Orientador: Josemar dos Santos, Mestre

Itatiba (SP), dezembro de 2005

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 HISTÓRICO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 A REDE ELÉTRICA COMO CANAL DE COMUNICAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 RUÍDO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 ATENUAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 IMPEDÂNCIA DA REDE ELÉTRICA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5 MULTIPERCURSO .....</b>	<b>9</b>
<b>3 PLC .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 TIPOS DE REDES DO PLC .....</b>	<b>13</b>
<b>4. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PLC .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 MODULAÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.1 Modulação de Onda Contínua .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.1.1 Modulação de Onda Contínua por Amplitude .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.1.2 Modulação de Onda Contínua em Freqüência .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1.1.3 Modulação de Onda Contínua em Fase .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.2 Modulação por Pulso .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.2.1 Modulação por Pulso Analógico .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.2.2 Modulação por Pulso Digital .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.3 Multiplexação do Sinal .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.4 Spread Spectrum .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.5 Modulação por Divisão de Freqüência Ortogonal .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.6 Modulação Estreita da Faixa .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 RUÍDOS PRESENTES NO CANAL PLC .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.1 Ruído Colorido de Fundo .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.2 Ruído de Faixa Estreita .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.3 Ruído Impulsivo Periódico – Assíncrono com Freqüência da Rede .....</b>	<b>25</b>

<b>4.2.4 Ruído Impulsivo Periódico – Síncrono com Frequência da Rede</b>	<b>25</b>
<b>4.2.5 Ruído Impulsivo Assíncrono .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 FAIXAS DE FREQUÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4 SEGURANÇA NA TRANSMISSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.5 QUALIDADE DE SERVIÇO (Q.S) .....</b>	<b>27</b>
<b>4.6 SERVIÇO DE VOZ .....</b>	<b>27</b>
<b>4.7 SEGURANÇA DA REDE .....</b>	<b>28</b>
<b>4.8 SERVIÇOS SUPORTADOS PELA TECNOLOGIA PLC .....</b>	<b>29</b>
<b>4.9 ARQUITETURA PARA A PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS .....</b>	<b>30</b>
<b>4.10 INTEROPERABILIDADE .....</b>	<b>31</b>
<b>4.10.1 Coexistência e Interoperabilidade .....</b>	<b>31</b>
<b>4.10.2 Interoperabilidade .....</b>	<b>31</b>
<b>4.10.3 Coexistência entre equipamento dentro da mesma rede: Powerline nos segmentos de acesso e In-Home .....</b>	<b>31</b>
<b>5. Tecnologia PLC no Brasil .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 CEMIG .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2 LIGHT .....</b>	<b>37</b>
<b>5.3 CELG .....</b>	<b>39</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADSL	Assymmetric Digital Subscriber Line
CDM	Code-Division Multiplexing
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CW	Onda Continua
DSB-SC	Double Sideband-Suppressed Carrier
FDM	Frequency Division Multiplex
FEC	Forward Error Correction
FH-SS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	Global System for Móbile Communication
IP	Internet Protocol
ISI	Inter Symbol Interference
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PSD	Densidade Espectral de Potência
SSB	Single Sideband
TCP	Transmition Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDM	Time-Division Multiplexing
VSB	Vestigial Sideband

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Topologia genérica da rede elétrica .....	4
Figura 2. Ruídos: (a) ruído impulsivo; (b) ruído impulsivo de alta frequência; (c) ruído tonal ....	7
Figura 3. Perturbação intersimbólica decorrente das diferenças temporais entre os sinais recebidos .....	9
Figura 4. Repetidor colocado próximo ao medidor Fonte: Cemig (2003).....	11
Figura 5. Funcionamento do PLC Fonte: OPOPULAR (2003) .....	12
Figura 6. PLC padrão HOMEPLUG Fonte: Homeplug (2000) .....	13
Figura 7. Sinal modulado por amplitude .....	16
Figura 8. Sinal modulado em frequência .....	17
Figura 9. Nível de ruído em modulação em frequência .....	17
Figura 10. Sinal modulado em fase .....	18
Figura 11. Modulação por pulso em amplitude .....	19
Figura 12. Exemplo de modulação por pulso digital .....	20
Figura 13. Densidade espectral de um sinal em banda base e um sinal espalhado .....	21
Figura 14. Divisão de canais segundo FDM e OFDM .....	23
Figura 15. Faixa de frequência dos tipos de modulação .....	24
Figura 16. Forma de onda e PSD de um típico evento com característica impulsiva .....	25
Figura 17. Faixa de frequência por segmento da rede PLC (Indoor e Outdoor) .....	26
Figura 18. Arquitetura de prestação de serviço .....	30
Figura 19. Configuração típica do projeto da CEMIG .....	35
Figura 20. Ligação de um <i>cable modem</i> a um Master PLC .....	36
Figura 21. Prédios em teste: (a) Rua Canning 21 – Ipanema; (b) Ed. Lagoa Azul – Cond. Pedra de Itaúna – Barra da Tijuca; (c) Ed. Barramar – Cond. Barramares – Barra da Tijuca; (d) Ed. Ghirlandaio – Cond. Novo Leblon – Barra da Tijuca; (e) Shopping Center Novo Leblon – Barra da Tijuca; (f) Ed. Rio Branco – Cinelândia; (g) Praia do Flamengo 66; (h) Hotel Othon – Copacabana Fonte: Light (2003) .....	38

# LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	24
----------------	----

## **RESUMO**

Lobo, Hebert Francci Lima. PLC - Comunicação de Dados Via Rede Elétrica . Itatiba, 2005.  
no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2005.

Este relatório de conclusão de curso apresenta uma análise da técnica de transmissão de dados via rede elétrica. A tecnologia PLC vem como uma solução de acesso rápido e para redes locais aproveitando a estrutura já existente de cabeamento elétrico.

Serão apresentados conceitos para que se possa entender o funcionamento do PLC, bem como detalhes técnicos que tornará mais clara a funcionalidade dessa tecnologia.

Finalizando o projeto será abordada a realidade do PLC no Brasil e testes realizados pelas principais concessionárias de energia do país.

## **ABSTRACT**

This report of course conclusion presents an analysis of the technique data-communication saw net electric. Technology PLC comes as a solution of access fast e for local nets using to advantage the existing structure already of electric cabeamento.

Concepts so that if it can understand the functioning of the PLC, as well as details will be presented technician who will become clearer the functionality of this technology.

Finishing the project she will be boarded the reality of the PLC in Brazil and tests carried through for the main concessionaires of energy of the country.

# 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 de energia, que continua sendo uma premissa básica desse tipo de transmissão. O uso das redes de distribuição de energia elétrica como meio de transmissão de sinais de comunicação é bastante difundido entre as Empresas de Energia Elétrica.

Circuitos de baixa e de alta tensão vêm sendo utilizados desde a década de 60 para o transporte de informações operacionais de voz, comando e controle dessas empresas. A crescente demanda por serviços de telecomunicações e a falta de infra-estrutura física para levar esses sinais até o usuário final tem atraído o interesse dos fabricantes para a utilização das redes de distribuição de baixa e média tensão como suporte para esse tipo de aplicação, que exige largura de banda maior que os tradicionalmente utilizados.

A utilização de redes de distribuição de baixa e média tensão para o transporte de sinais de banda larga conduziu ao aperfeiçoamento da tecnologia já existente, dando origem à tecnologia *Power Line Communications* – PLC Banda Larga, objeto de estudo deste projeto final de curso.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é tratar da tecnologia PLC utilizada para transmissão de informação via rede elétrica, e investigar até que ponto as soluções atualmente propostas e os produtos existentes no mercado mundial se adequam à realidade das redes brasileiras e quais os problemas inerentes à estrutura da rede elétrica podem ocorrer.

Para atingir este objetivo será feita inicialmente uma análise do estado da tecnologia que incluirá um estudo sobre produtos que oferecem comunicação pela rede elétrica. Serão apresentados conceitos básicos para que se possa entender o funcionamento do PLC, bem como detalhes técnicos que tornará mais clara a funcionalidade dessa tecnologia.

Finalizando o projeto será abordada a realidade do PLC no Brasil e testes realizados pelas principais concessionárias de energia do país.

## 1.2 HISTÓRICO

A primeira técnica que possibilitou a utilização da rede de distribuição de energia elétrica para a transmissão de alguns sinais de controle foi desenvolvida no início da década de 1950. O método, conhecido como *Ripple Control*, era caracterizado pela utilização de baixas frequências (100-900 Hz), possibilitando comunicação a taxas bem baixas e necessitando de alta potência para transmissão. O sistema possibilitava comunicações unidirecionais, sendo utilizado para tarefas simples como o acionamento da iluminação pública e o controle de carga.

Novos sistemas com taxas ainda modestas foram desenvolvidos até a década de 1980. As primeiras investigações no sentido de analisar as características da rede elétrica e as reais capacidades da mesma como canal para comunicações foram conduzidas por algumas empresas de energia na Europa e nos Estados Unidos, ainda nos anos 80. As faixas entre 5-500 kHz eram as mais consideradas e dois fatores tiveram predominância nestes estudos: a relação sinal/ruído e a atenuação do sinal na rede.

Sistemas capazes de fornecer comunicação de forma bidirecional através da rede de distribuição foram obtidos apenas na década de 1990, sendo marcados pela utilização de frequências mais elevadas e menores níveis de potência transmitida. Em 1991, Dr. Paul Brown da Norweb Communications (Norweb é a empresa de Energia Elétrica da cidade de Manchester, Inglaterra) iniciou testes com comunicação digital de alta velocidade utilizando linhas de energia. 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.

Em outubro de 1997 a Nortel e Norweb anunciaram que os problemas associados ao ruído e interferência das linhas de energia estavam solucionados. Dois meses depois foi anunciado pelas mesmas empresas o primeiro teste de acesso Internet, realizado numa escola de Manchester. Com isto foi lançada uma nova idéia para negócios de telecomunicações que a Nortel/Norweb chamaram de Digital Powerline. Em março de 1998 a Nortel e a Norweb criaram uma nova empresa intitulada de NOR.WEB DPL com o propósito de desenvolver e comercializar Digital PowerLine (DPL).

Todas as empresas elétricas do mundo estavam pensando em se tornar provedores de serviços de telecomunicações utilizando seus ativos de distribuição. Devemos lembrar que o setor de telecomunicações estava passando por um crescimento explosivo no mundo (celular e Internet) e particularmente no Brasil estava em curso a maior privatização de empresas de telecomunicações.

O acompanhamento dos desenvolvimentos e progressos da tecnologia Powerline era feito na época, no Brasil, pelo Sub-comitê de Comunicações do GCOI, e a APTEL, que foi criada em abril de 1999, realizou o seu primeiro Seminário em setembro de 1999, com o único tema: Tecnologia Powerline Communications (PLC) Vale também lembrar que na Europa em 1997 foi criado o PLC Fórum e em 1998 a UTC lançou nos USA o Power Line Telecommunications Forum (PLTF). Atualmente temos diversos produtos comerciais com tecnologia Powerline Communications e o próprio FCC (Federal Communications Commission) fizeram diversas declarações sobre a viabilidade desta tecnologia. É importante salientar que, em 23 de Abril de 2003, a Agência Regulatória Federal de Serviços de Telecomunicações dos Estados Unidos – FCC – emitiu diversas declarações de seu Presidente, Commissioner Powell e Conselheiros, favoráveis ao emprego de tecnologia conhecida como PLC (*Power Line Communications*), tendo, inclusive, alterado o nome/referência para BPL (*Broadband over Power Lines*).

## 2. A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As redes de distribuição foram inicialmente projetadas para transmitir energia elétrica de forma eficiente, assim estas não são adaptadas para fins de comunicação, fazendo com que seja necessário o emprego de técnicas avançadas. Devido às características especiais da rede de distribuição como canal de comunicação, investigações profundas e detalhadas deverão ser feitas para garantir a utilização da mesma de forma eficiente para fins de transmissão de dados.

As redes elétricas são usualmente classificadas em três níveis: ( $>100\text{kV}$ ) alta tensão, ( $1-100\text{kV}$ ) média tensão e ( $<1\text{kV}$ ) baixa tensão, cada qual adaptado para o interligar diferentes distâncias. Os níveis de tensão são interconectados por meio de transformadores, projetados de forma a proporcionar a menor perda possível operando nas frequências da rede (50 ou 60Hz). Isto faz com que, nas frequências tipicamente utilizadas para comunicação, estes equipamentos funcionem como filtros, isolando - sob o aspecto da transmissão de sinais - os diferentes níveis de tensão. A Figura 1 apresenta um exemplo típico da topologia da rede elétrica com os valores de tensão para cada nível.

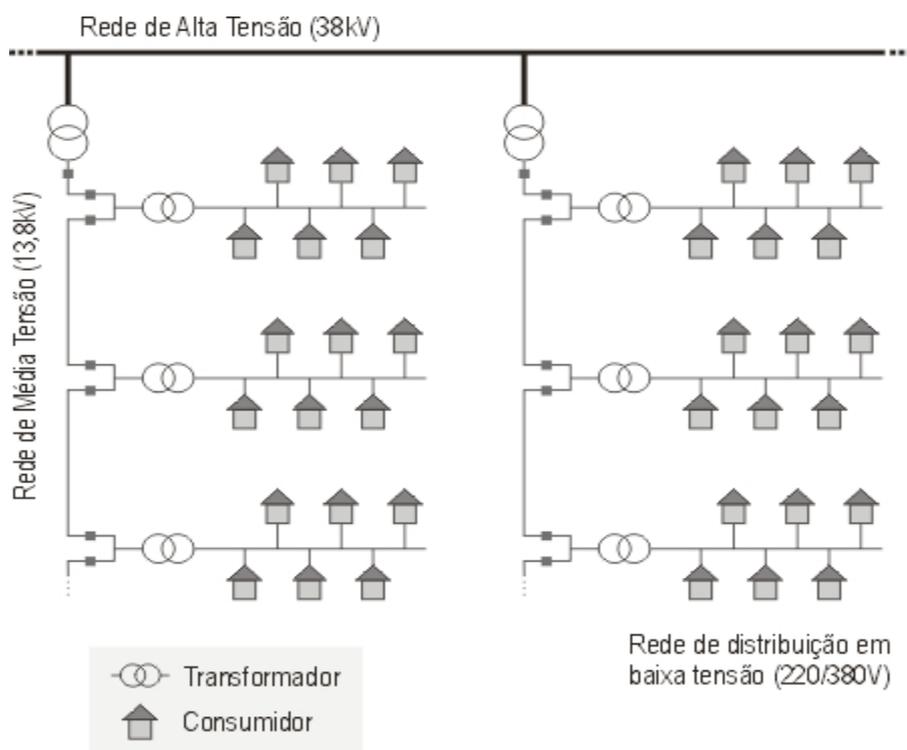


Figura 1. Topologia genérica da rede elétrica.

**Alta Tensão** - Utilizado para interligar os centros de geração aos centros de consumo, geralmente percorrendo grandes distâncias, este nível de tensão é marcado principalmente pelas perdas por efeito Joule, pelas descargas oriundas do efeito corona (que também introduzem componentes de alta frequência na rede) e por capacitâncias e indutâncias parasitas.

**Média Tensão** - Responsáveis pela interligação das subestações com os centros distribuídos de consumo, este nível de tensão pode também ser utilizado no fornecimento de energia elétrica a consumidores de maior porte como indústrias ou prédios.

**Baixa Tensão** - Este é o nível de tensão que efetivamente chega à maioria das unidades consumidoras derivando do secundário do transformador de redução. A natureza dinâmica com que as cargas são inseridas e removidas da rede, as emissões conduzidas provenientes dos equipamentos e as interferências de diferentes naturezas fazem deste ambiente o mais hostil, para a transmissão de sinais, dentre os três níveis de tensão apresentados.

## **2.1 A REDE ELÉTRICA COMO CANAL PARA COMUNICAÇÕES**

A rede de distribuição de energia elétrica é um meio extremamente hostil como canal de comunicações. Mesmo a simples conexão entre duas tomadas de energia elétrica em uma mesma instalação apresenta uma função de transferência bastante complicada devido principalmente a falta de casamento entre as impedâncias das cargas nas terminações da rede. Desta forma as respostas em amplitude e fase variam, numa faixa bem extensa, com a frequência. Em algumas frequências o sinal transmitido pode chegar ao receptor com poucas perdas, enquanto em outras frequências o sinal pode ser recebido com um nível de potência abaixo daquele apresentado pelo ruído, sendo completamente corrompido pelo canal.

O fato da função de transferência variar bastante com a frequência já não é um problema simples, contudo este não é o único aspecto. A função de transferência do canal PLC varia também com o tempo. Isto ocorre devido à natureza dinâmica com que as cargas são inseridas ou removidas da rede elétrica ou mesmo devido a alguns dispositivos que apresentam impedâncias que variam com tempo, como as fontes chaveadas ou ainda alguns tipos de motores [6].

Como resultado o canal pode apresentar, em algumas faixas, uma boa qualidade para a transmissão, enquanto em outras o canal pode ter uma capacidade bastante limitada.

Devido as propriedades de variância com a frequência e com o tempo, uma utilização eficiente da rede elétrica como meio de comunicações requer que uma abordagem adaptativa que compense de alguma forma as variações da função de transferência do canal PLC.

Típicas fontes do ruído presente na rede elétrica são: motores com escovas, fontes chaveadas, e os reatores para iluminação, dentre outras. Estes equipamentos introduzem componentes de alta frequência na rede caracterizando as “emissões conduzidas”. Constituindo outra forma de inserção de ruído, as “emissões irradiadas” são aquelas provenientes de emisoras de rádio em geral, ou mesmo de alguns equipamentos como aqueles citados anteriormente.

O impacto destas diferentes fontes de interferência no sistema é que num pacote de dados recebido, o número de erros pode ser considerável, necessitando de alguma forma de correção.

## **2.2 RUÍDOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA**

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.

O ruído é causado pela maioria dos aparelhos que estão ligados à rede elétrica. Os três principais tipos de ruído são o impulsional, o tonal e o impulsional de alta frequência.

O ruído impulsional (Figura 2a) é gerado principalmente por controladores de intensidade de lâmpadas e ocorre no dobro da frequência de alimentação da rede com algumas dezenas de Volts de amplitude com duração de cerca de 1ms.

Os ruídos impulsionais de alta frequência (Figura 2b) são causados, principalmente, por motores que existem em vários aparelhos como ventiladores, aspiradores de pó, etc. Esse tipo de ruído tem uma amplitude relativamente baixa, comparada com a anterior, e ocorre em uma banda de vários kHz.

O ruído tonal (Figura 2c) tem basicamente duas origens. A primeira que é não-intencional é causada por fontes chaveadas que são amplamente usadas em computadores. O ruído gerado é rico em harmônicos da frequência de chaveamento que é da ordem de 20kHz até 1MHz. Uma fonte de ruído tonal intencional são os intercomunicadores que utilizam a rede elétrica, nesse caso podem ser considerados como uma rede PLC também. O ruído gerado é entre 150kHz e 400kHz com alguns volts de amplitude. Outra fonte de ruído intencional que existe é a captação de sinais de rádio pela rede elétrica, já que a mesma age como se fosse uma antena.

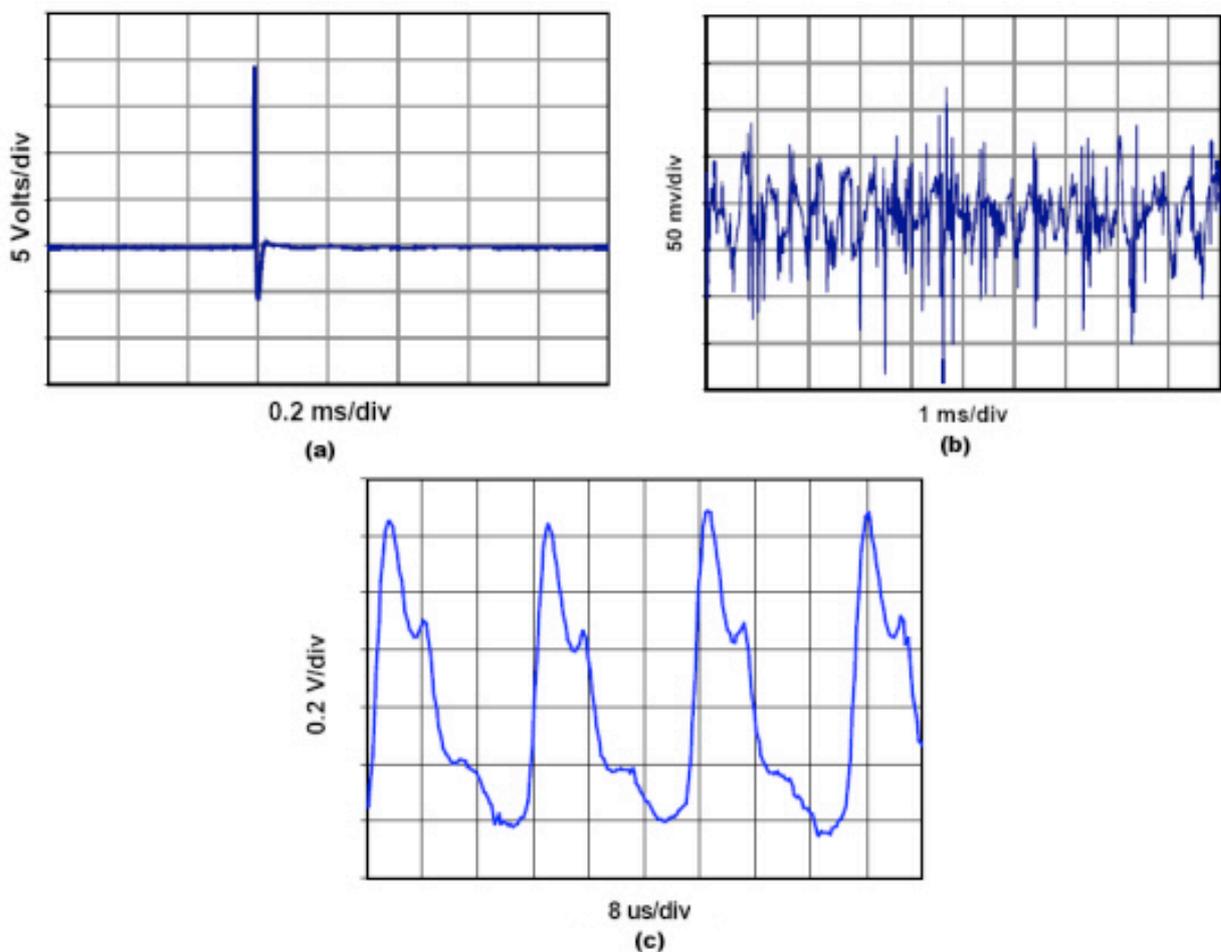


Figura 2. Ruídos: (a) ruído impulsionais; (b) ruído impulsionais de alta frequência; (c) ruído tonal

## **2.3 ATENUAÇÃO**

A atenuação é a propriedade do sinal diminuir sua amplitude durante a propagação. Os três principais fatores causadores da atenuação são o material do cabo utilizado, a frequência do sinal e a distância percorrida. Quanto maior a distância e a frequência, maior é a atenuação do sinal. A atenuação do sinal pode, ainda, variar com o tempo, devido ao ligamento e desligamento de aparelhos na rede elétrica. Na rede elétrica, diferentemente das outras redes em geral, o fator predominante para a atenuação é a indutância do cabo utilizado e não a capacitância, pois as impedâncias dos aparelhos que são ligadas à rede são em geral menores que a impedância característica do cabo [12]. A atenuação não é um grande fator de empecilho para a propagação do sinal, pois é possível aumentar em certa faixa a amplitude do sinal a ser transmitido para contornar seus efeitos. Se, entretanto, a atenuação for muito grande, uma solução seria aumentar muito o nível do sinal. Isso, entretanto é inviável, pois acarreta problemas relacionados à superação do nível de emissão que é regulamentado para as redes PLC.

## **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 , 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 [23].

## 2.5 MULTIPERCURSO

Os efeitos de multipercurso (*multipath*) podem distorcer o sinal durante a transmissão. As reflexões do sinal original podem chegar ligeiramente antes ou depois do sinal recebido desejado, resultando em perturbação entre símbolos. A figura 3 evidencia este caso.

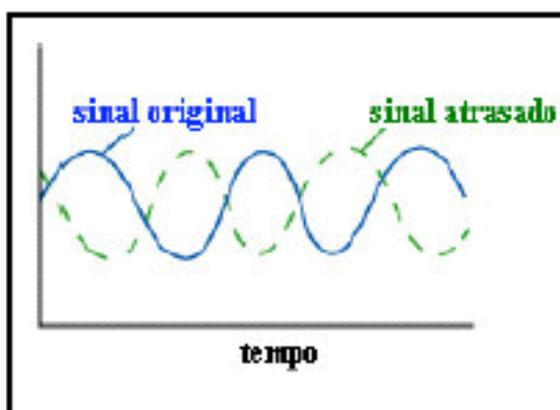


Figura 3. Perturbação intersimbólica decorrente das diferenças temporais entre os sinais recebidos

Como mostrado pela figura 3, a propagação do sinal não pode ser descrita por um caminho direto entre o transmissor e o receptor sendo que caminhos adicionais, formando uma componente de eco do sinal, devem ser considerados. Como resultado, o canal PLC apresenta um comportamento com multipercurso e desvanecimento seletivo em frequência.

Diferentemente da rede telefônica existente, a rede de distribuição de energia não é formada por ligações do tipo “ponto-a-ponto” entre um usuário e uma central, sendo caracterizada por uma estrutura de barramento, como mostrado na figura 1, onde a configuração típica de rede para consumidores locais consiste num cabo de distribuição derivado de um transformador de redução, seguido pelos diversos ramos interligando cada consumidor a este cabo. Os ramos por sua vez terminam no medidor de energia do usuário, após o qual se encontra o cabeamento interno ou *indoor*.

Além das características de impedância da rede, o caminho percorrido pelo sinal deve ser analisado com atenção. Inúmeras reflexões são causadas pelas conexões internas devido ao não casamento das impedâncias dos componentes da rede e dos equipamentos conectados. Dispositivos na rede de energia elétrica transmitem para várias estações simultaneamente.

Cada estação para outra estação de comunicação apresenta um único canal. Ruído e efeitos de distorção podem resultar em uma alta taxa de erro. As características dos dispositivos presentes na linha de energia elétrica e a própria linha, como já mencionado, contribuem na complexidade da função de transferência do canal.

### 3. PLC

O PLC (Power Line Communications) é a tecnologia que consiste em utilizar a rede elétrica como meio de tráfego de dados em banda estreita.

A partir de um ponto de terminação na rua disponibilizado por uma empresa operadora de telecomunicações, é instalado um MASTER PLC interligando-o ao referido ponto com um cabo de dados (normalmente a porta Ethernet de um cable modem), assim o sinal PLC é injetado pelo MASTER nos fios elétricos secundários do transformador vizinho através de conectores adequados. Deste modo, todos os consumidores que estiverem ligados no circuito elétrico deste transformador estarão recebendo o sinal em todas as tomadas da residência, em alguns casos será necessário instalar um repetidor no medidor de energia para reforçar o sinal, como pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Repetidor colocado próximo ao medidor

Fonte: CEMIG (2003)

Finalmente o sinal será captado em uma tomada elétrica pelo modem PLC e disponibilizado em uma porta padrão Ethernet para ligar na placa de rede do computador na casa do usuário. É esse modem que faz a decodificação dos sinais elétricos em sinais de informação. Na Figura 5, o diagrama apresenta uma configuração macro do sistema PLC utilizando a rede de distribuição de energia elétrica.

## REDE TELEMÁTICA NA TOMADA

O Popular

Veja como funciona o sistema de comunicação via rede elétrica

### 1) PLC NODE

Equipamento que possibilita através da rede de média tensão, a comunicação entre transformadores que alimentam a rede de baixa tensão, criando uma alternativa às redes de fibra óptica para serviço de acesso

### 2) MASTER PLC

É instalado em um ponto próximo ao transformador de energia elétrica de baixa tensão, a partir do qual o sinal é injetado nos fios. Todos os consumidores que estiverem ligados no circuito desse transformador receberão o sinal PLC em todas as tomadas da residência ou escritório

### 3) PLC REPEATER

Instalado no prédio ou numa residência, melhora a cobertura PLC em áreas críticas da rede, atuando como repetidor de sinal, além de gerar sub-redes

### 4) PLC MODEM

Na ponta do sistema, um modem cliente PLC com chip de DS-2, de 45 Mbps, é conectado a qualquer tomada elétrica de casa ou escritório para receber o sinal transmitido pelo Master PLC. É esse modem que faz a decodificação dos sinais elétricos em dados, imagem e voz

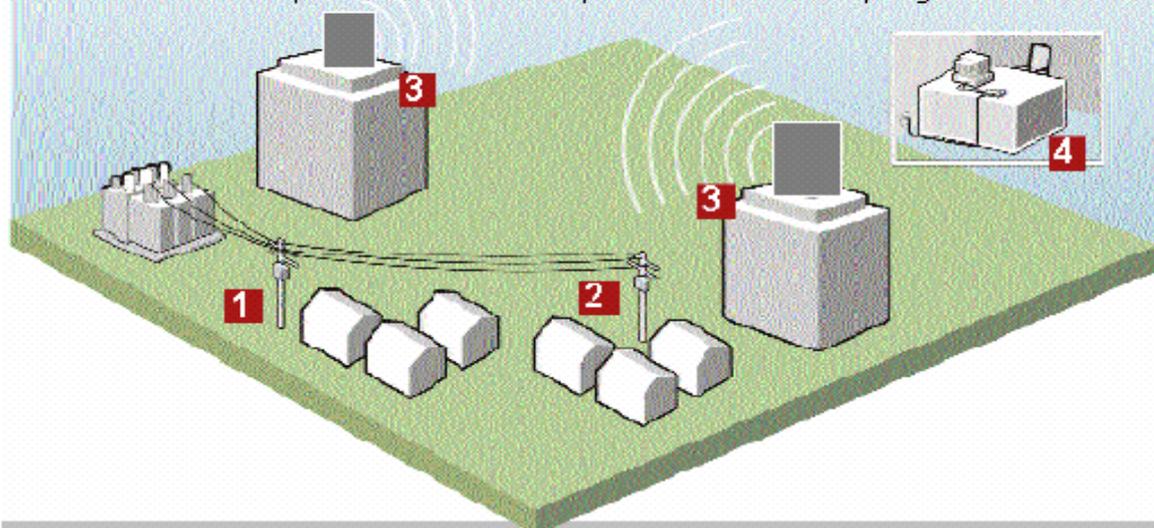


Figura 5. Funcionamento do PLC:

Fonte: OPOPULAR (2003)

Outro padrão de PLC é o HOMEPLUG onde não há necessidade de colocarmos na Rede o equipamento MASTER, neste padrão dois ou mais computadores ficam em rede apenas conectando entre eles e a tomada elétrica um ADAPTADOR HOMEPLUG, podendo então, compartilhar recursos e até a conexão com a Internet através de outra tecnologia tipo ADSL, RÁDIO ou CABO. A Figura 6 mostra um adaptador para rede local PLC.

- número definido de acordo com o fabricante.



Figura 6. PLC padrão HOMEPLUG

Fonte: HOMEPLUG (2000)

### 3.1 TIPOS DE REDES DO PLC

O termo rede PLC se refere a uma grande variedade de tipos de redes. Justamente por este fato, faz-se necessário à subdivisão das redes PLC segundo alguns aspectos, cujos mais importantes são:

- Rede Interna ou Externa
- Voltagem da rede elétrica na qual a rede PLC opera
- Alta ou Baixa velocidade

As redes PLC podem, basicamente, operar em três voltagens diferentes: Baixa, média e alta.

As redes de alta velocidade, quando falamos de redes PLC em geral, são consideradas redes com velocidade de alguns megabits por segundo.

As redes internas constituem redes feitas para interligar equipamentos dentro de uma casa ou prédio. Essas redes são geralmente de alta velocidade, pois a grande maioria das aplicações requer uma banda grande e interatividade.

Nas redes externas, temos uma gama bem maior de serviços que podem ser oferecidos, sendo, o principal, o de levar acesso à Internet até o assinante. Para este fim, geralmente é utilizado dois tipos de redes PLC. Uma que funciona em média tensão, interligando os transformadores de uma determinada região e, outra, fazendo a ligação de cada transformador até o usuário final

conhecida, genericamente, como última milha ou *last mile*. Com essa configuração, é necessário que haja apenas um link com a Internet em cada subestação que alimenta os transformadores. Existem também propostas de se realizar somente a conexão do assinante ao transformador de baixa tensão por uma rede PLC. Nesse caso, entretanto, seria necessário que cada transformador possuísse um link com a Internet.

Uma outra possibilidade também existente nas redes externas é o fornecimento de serviços de telefonia. Nesse caso seria necessária uma rede de alta velocidade para poder garantir a interatividade necessária nesta aplicação e atender a vários usuários.

Outros serviços que também podem ser realizados nesse tipo de rede são a leitura de medidores de energia de forma automática e o monitoramento de equipamentos da rede elétrica da companhia fornecedora de energia. Nesse tipo de aplicação, entretanto, a rede pode ser de baixa velocidade, pois a banda requerida é muito baixa.

## **4. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO PLC**

### **4.1 MODULAÇÃO**

A modulação consiste no processo de transformar um sinal em uma forma adequada para transmissão através de um determinado meio físico (canal) [8].

No processo de modulação que ocorre no transmissor, algum parâmetro da onda portadora é modificado de acordo com a mensagem a ser enviada pelo canal de transmissão. O receptor recria a mensagem original a partir do sinal recebido através do canal (processo de demodulação). Entretanto, a presença de ruído e a distorção no sinal recebido impossibilitam a recriação exata da mensagem original. A degradação do sinal no sistema como um todo é influenciada pelo tipo de modulação usado, sendo algumas técnicas mais sensíveis a ruídos e distorções que outras.

A modulação pode ser classificada em: modulação analógica também classificada como modulação de onda contínua (CW) e modulação por pulsos.

#### **4.1.1 Modulação de onda contínua**

A modulação de onda contínua é a forma analógica de modulação, que usa uma onda portadora senoidal para transmitir informação. Existem famílias de sistemas de modulação de onda contínua: modulação por amplitude, modulação por fase e frequência.

##### **4.1.1.2 Modulação de onda contínua por amplitude**

Nesse tipo de modulação a amplitude da onda portadora é variada de acordo com o sinal a ser transmitido. A Figura 7 mostra um sinal a ser transmitido e o seu equivalente após a modulação em amplitude.

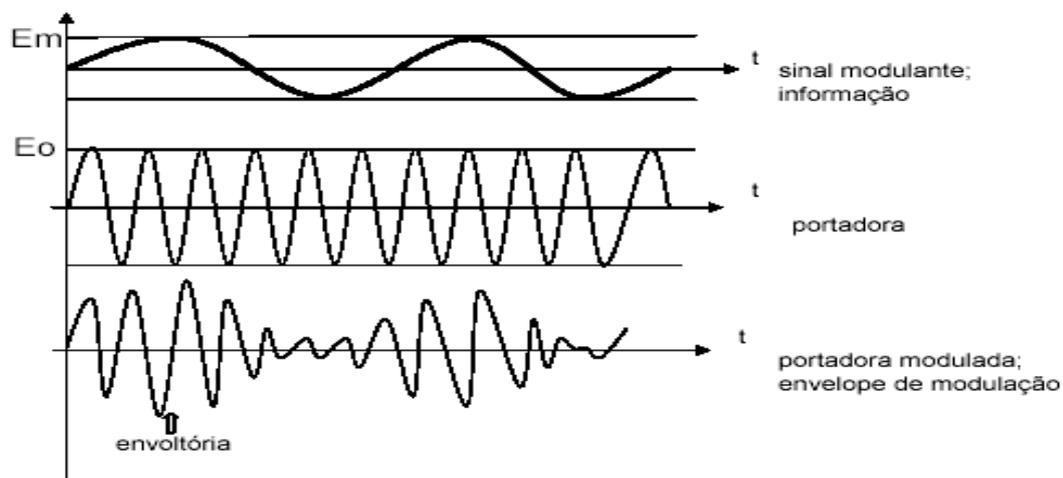


Figura 7. Sinal modulado por amplitude

A vantagem da modulação em amplitude é a sua simplicidade. Entretanto, suas desvantagens são:

- Desperdício de potência: a onda portadora usada é independente da informação e é transmitida junto com o sinal gastando mais potência;
- Desperdício de banda: as bandas laterais superior e inferior do espectro da onda modulada são simétricas em relação à frequência da onda portadora.

Essas desvantagens podem ser superadas utilizando formas lineares de modulação em amplitude (*Double Sideband-Suppressed Carrier-DSB-SC*, *Single Sideband-SSB*, *Vestigial Sideband-VSB*), mas que acarretam uma complexidade maior ao sistema.

Detalhes podem ser encontrados em [8].

#### 4.1.1.3 Modulação de onda contínua em frequência

A modulação em frequência consiste em desviar a frequência da portadora conforme as variações de amplitude do sinal modulante. Neste tipo de modulação as informações estão contida nos desvios de frequência provocados pela portadora. O desvio da frequência é dado pela diferença entre máxima e mínima frequência da portadora modulada. Podemos observa na figura 8, a onda portadora, o sinal equivalente da transmissão após a modulação em frequência e o desvio de frequência.

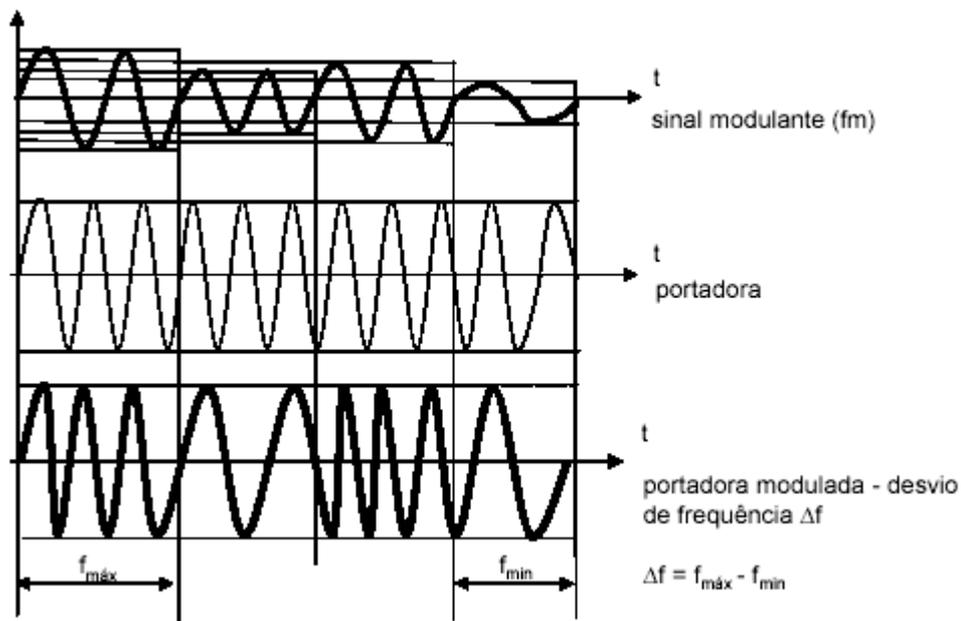


Figura 8. Sinal modulado em frequência

A transmissão de sinais por meio de ondas eletromagnéticas sofre a ação de vários tipos de ruídos. Particularmente, no sinal modulado em frequência, quando realizada sua recepção, a relação existente entre a amplitude do sinal e o nível de ruído (chamada normalmente de relação sinal/ruído, simbolizada por S/N e expressa em dB) não será constante devido ao índice de modulação ( $\beta$ ) depender inversamente da frequência do sinal modulante. Um gráfico que expressa o nível de ruído na comunicação em função da frequência é mostrado na figura 9.

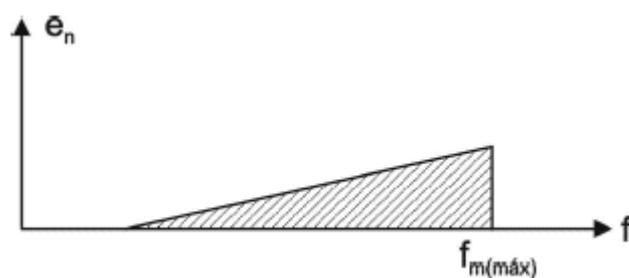


Figura 9. Nível de ruído em modulação em frequência

#### 4.1.1.4 Modulação de onda contínua em fase

A modulação em fase consiste em inverte a fase de portadora RF conforme mudança de amplitude do sinal modulante. Na figura10 podemos observa o sinal da portadora e o sinal modulado.

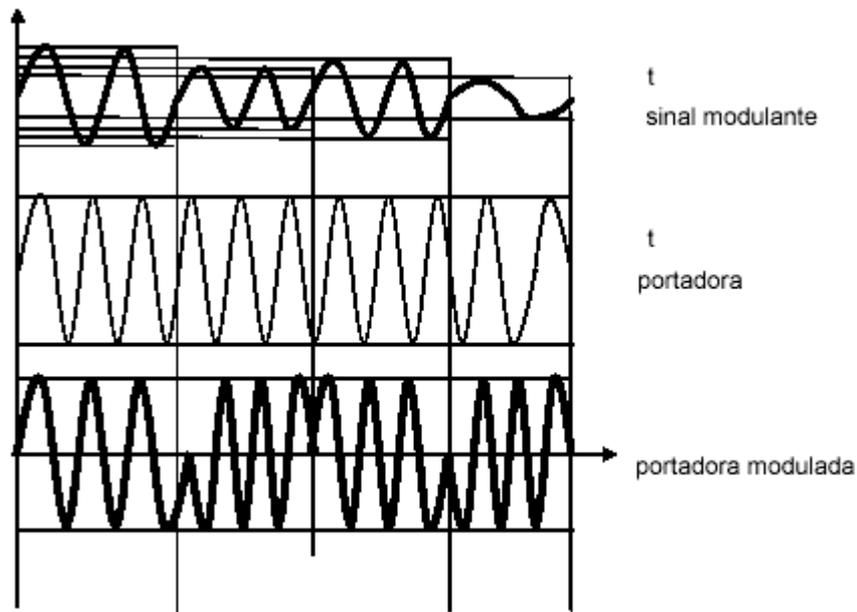


Figura 10. Sinal Modulado em fase

#### 4.1.2 Modulação por pulso

A modulação por pulsos iniciou a partir da teoria da amostragem, a qual estabelece que a informação contida em qualquer sinal analógico pode ser recuperada a partir de amostras do sinal tomadas a intervalos regulares de tempo.

A modulação por pulsos pode ser analógica ou digital. No caso analógico, os valores das amostras do sinal são transferidos para as amplitudes, durações ou posições de pulsos de formato fixo conhecido. No caso digital, os valores das amostras são convertidos para números binários que por sua vez são codificados em sequências de pulsos que representam cada um dos valores binários.

A modulação digital tem preferência sobre a analógica devido a um fator fundamental: a informação transmitida na forma digital pode ser regenerada, replicada e retransmitida, mantendo-se livre de distorções. Esta vantagem, entretanto, possui um certo custo: o sinal modulado digitalmente ocupa maior largura de faixa que seu correspondente modulado analogicamente. Outra vantagem da modulação digital consiste na possibilidade de multiplexação de sinais de informação originalmente analógica juntamente com dados provenientes de computadores os quais já são digitais por natureza.

O Teorema de Nyquist estabelece que essa taxa deve ser maior do que o dobro da frequência do sinal a ser amostrado para que se possa recuperar o sinal original a partir de suas amostras.

Entretanto, para sinais que não possuem banda limitada, pode haver sobreposições de componentes de alta frequência sobre os de baixa frequência (*aliasing*), tornando necessário o uso de filtros no processo de amostragem (os chamados filtros *antialiasing*).

#### 4.1.2.1 Modulação por pulso analógico

Esse tipo de modulação utiliza um trem de pulsos periódico como onda portadora e varia-se alguma propriedade de cada pulso de acordo com o valor amostrado correspondente do sinal da mensagem. As variações nos pulsos podem ocorrer na amplitude (Figura 11), na duração e na posição. A informação é transmitida de forma analógica, mas em instantes de tempo discretos.

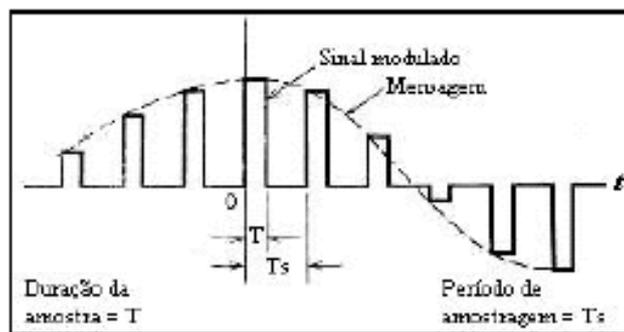


Figura 11. Modulação por pulso em amplitude

#### 4.1.2.2 Modulação por pulso digital

Nesse tipo de modulação, a mensagem é representada de tal forma que é discreta tanto na amplitude quanto no tempo, permitindo, então, a sua transmissão de forma digital como uma seqüência de pulsos de código. Código é uma representação discreta de um conjunto de valores discretos. Cada valor dentro de um código é chamado símbolo. Em um código binário, por exemplo, cada símbolo pode ter um de dois valores: ausência ou presença de pulso.

Existem diversos tipos de modulação por pulsos digital: unipolar sem retorno a zero (NRZ), polar sem retorno a zero (NRZ), unipolar com retorno a zero (RZ), bipolar com retorno a zero (BRZ) e Código Manchester. A Figura 12 mostra alguns exemplos desses tipos de modulação. Maiores detalhes podem ser encontrados em [8].

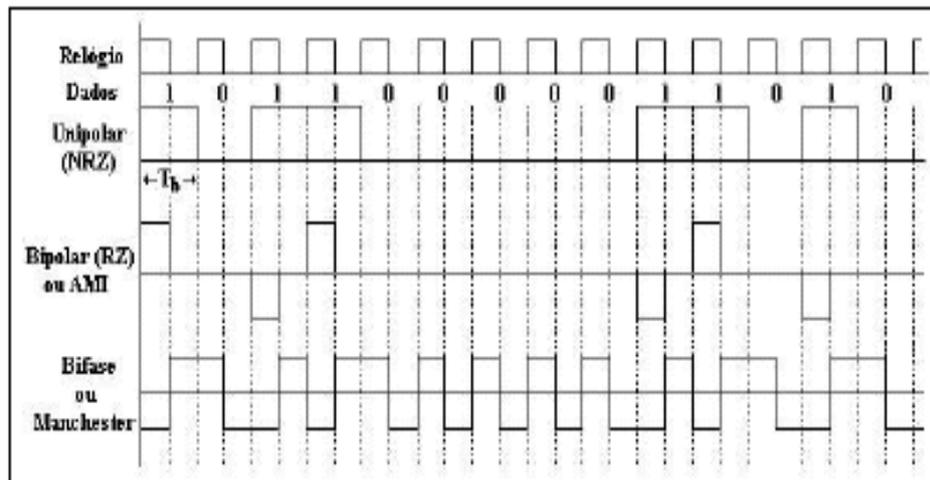


Figura 12. Exemplo de modulação por pulso digital

### 4.1.3 Multiplexação do sinal

O uso da modulação põe em foco outro importante requisito da transmissão de informação: a multiplexação. Multiplexação é o processo de combinar vários sinais para a transmissão simultânea sobre o mesmo canal. Dentre os métodos básicos de multiplexação pode-se citar:

- *Frequency-Division Multiplexing* (FDM): usa modulação por onda contínua para colocar cada sinal em uma frequência específica da banda. No receptor são usados vários filtros para separar os diferentes sinais e prepará-los para demodulação.

- *Time-Division Multiplexing* (TDM): usa modulação por pulsos para posicionar os sinais em diferentes fatias de tempo.

- *Code-Division Multiplexing* (CDM): no qual cada sinal é identificado por uma seqüência (código) diferente.

Essas técnicas de modulação são base para outras mais robustas utilizadas na comunicação pela rede elétrica: a *spread spectrum* (espalhamento espectral) e a OFDM.

### 4.1.4 Spread Spectrum

Esta técnica de modulação é caracterizada pela habilidade de rejeitar interferências na transmissão de informação. Segundo [8], uma modulação *spread spectrum* satisfaz duas definições:

- é uma forma de transmissão na qual a informação ocupa uma banda maior que a banda mínima para transmiti-la

- o espalhamento do espectro é realizado antes da transmissão através do uso de um código independente da informação. O mesmo código é usado pelo receptor para recuperar a informação original.

Esta modulação “sacrifica” a eficiência em termos de banda e potência em prol da segurança nas transmissões em ambientes hostis. Quando o sinal é espalhado no espectro de potência, ele fica com a aparência de um sinal de ruído, podendo ser transmitido pelo canal sem ser detectado por quem possa estar monitorando a comunicação. A Figura 13 mostra como fica o espectro de potência para um sinal espalhado e um sinal de banda base.

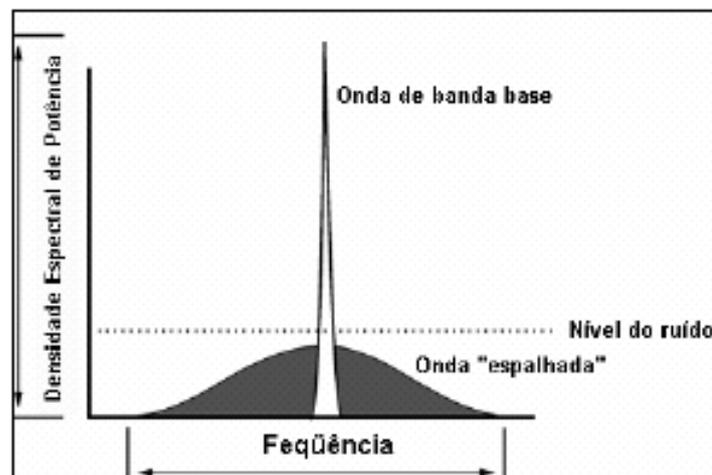


Figura 13. Densidade espectral de um sinal em banda base e um sinal espalhado

As vantagens desse tipo de modulação são:

- Baixa densidade espectral de potência

- Rejeição a interferências

- Privacidade: o código usado para o espalhamento tem baixa ou nenhuma correlação com o sinal e é único para cada usuário, sendo impossível separar do sinal a informação que está sendo transmitida sem o conhecimento do código utilizado.

Quanto aos tipos de sistemas spread spectrum, pode-se citar:

- FH-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). A banda total do canal de transmissão é dividida em diversos sub-canais de banda estreita e o sistema comuta rapidamente entre eles segundo uma seqüência aleatória, conhecida, tanto pelo transmissor como pelo receptor.

- DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Utiliza um canal de banda larga (>1Mhz) onde todos transmitem a uma alta taxa de chips (símbolos binários) segundo uma seqüência que segue um código aleatório predefinido (pseudo ruído). Este pseudo ruído é um sinal binário produzido a uma freqüência muito maior que o dado a ser transmitido, espalhando o sinal no domínio freqüência. Na recepção o sinal é filtrado segundo a mesma seqüência.

- Sistema híbrido DS/FH. A banda é dividida em sub-canais e em cada um deles um pseudo ruído é multiplicado com o sinal de dados. Um endereço é a combinação da seqüência das freqüências e o código do pseudo ruído.

#### **4.1.5 Modulação por divisão de freqüência ortogonal (OFDM)**

A técnica de multiplexação OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) foi criada visando minimizar a interferência entre canais de freqüência próximos uns aos outros e está baseada na propriedade da ortogonalidade entre sinais. Dois sinais são ditos ortogonais, quando a multiplicação de um pelo outro resulta em zero.

A tecnologia é complexa e exige processamento digital de sinais múltiplos. Consiste na divisão do canal em vários canais de banda estreita de diferentes freqüências (Figura 14). A diferença entre a técnica convencional FDM está na forma como os sinais são modulados e demodulados, garantindo a ortogonalidade dos sinais na OFDM.

Os benefícios dessa técnica de modulação são: maior número de canais para uma mesma faixa espectral quando comparado com a técnica FDM (vide Figura 14), resistência à interferência RF e pouca distorção causada por caminhos múltiplos. Isso é importante porque em um típico cenário de broadcast os sinais transmitidos chegam ao receptor através de vários caminhos de diferentes comprimentos (*multipath-channels*).

Como versões múltiplas de um sinal interferem umas com as outras (*inter symbol interference (ISI)*) torna-se extremamente difícil extrair a informação original. OFDM foi a técnica escolhida para a televisão digital da Europa, Japão e Austrália, assim como para serviços de áudio

em broadcast na Europa. Também vem sendo amplamente utilizada em transmissões sem fio (*wireless*).

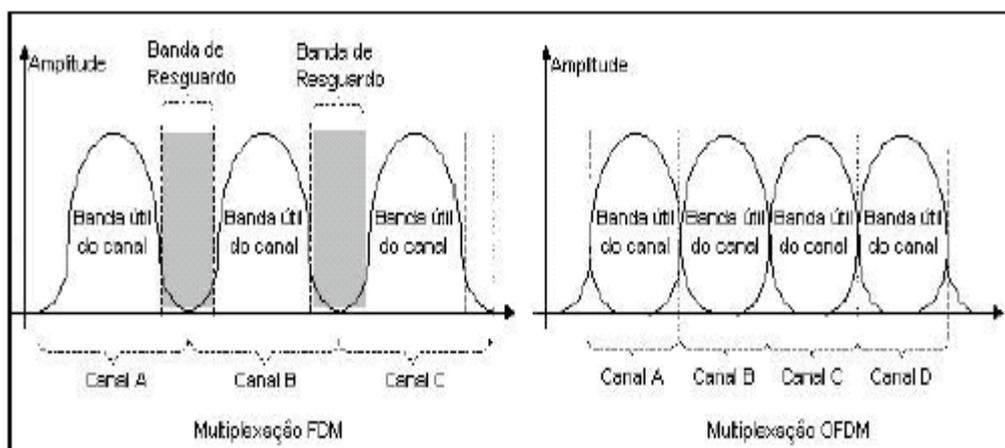


Figura 14. Divisão de canais segundo FDM e OFDM

#### 4.1.6 Modulação estreita da faixa (GMSK)

A Modulação GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) é o mesmo método de modulação utilizado na modulação GSM (Global System for Mobile Communications). O GMSK é um tipo especial de modulação de faixa estreita que transmite os dados na fase da portadora, resultando um sinal de envelope constante. Isto permite o uso de amplificadores menos complexos, sem produzir distúrbios harmônicos. O sistema multi-portadoras GMSK pode ser considerado como um sistema OFDM banda larga. O GMSK tem um formato de espectro do tipo Gaussiana, daí a origem do seu nome.

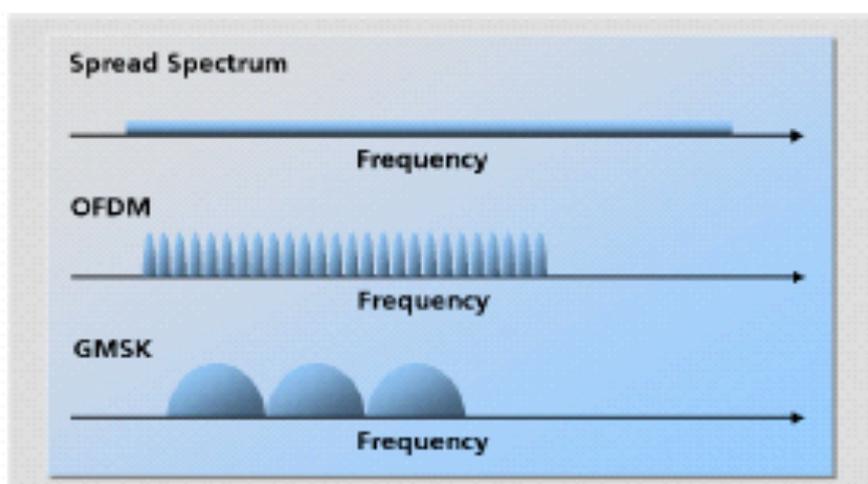


Figura 15. Faixas de frequência dos tipos de modulação

## 4.2 RUÍDOS PRESENTES NO CANAL PLC

No canal PLC, podemos encontrar cinco diferentes classes de ruídos, conforme apresentado em [13]:

### 4.2.1 Ruído Colorido de Fundo

Resultado da sobreposição de componentes de ruído de baixa potência provenientes de diversas fontes, a densidade espectral de potência (PSD) desta componente de ruído é relativamente plana, decrescendo com o aumento da frequência. Embora apresente um comportamento estocástico, o estudo realizado em [13] mostra que a PSD do ruído colorido de fundo varia muito lentamente quando comparada a taxas de alguns kbps, permanecendo muito próximo de um valor médio por intervalos de vários segundos e até mesmo alguns minutos durante o dia, podendo permanecer neste estado estacionário por até algumas horas durante a noite. Neste estudo alguns limites foram apresentados para o comportamento do ruído de fundo e são apresentados na equação 1.

$$N(f) = 10^{(k - 2,85 \times 10^8 f)} \text{ [ W/Hz]} \quad \text{Equação 1}$$

Onde  $K$  varia lentamente com o tempo e assume uma distribuição gaussiana com média  $\mu_k = -8,64V$  e desvio-padrão  $\sigma_k = 0,5V$ .

### 4.2.2 Ruído de Faixa Estreita

Duas são as fontes mais marcantes deste tipo de ruído: interferências de serviços de rádio difusão em geral e a peculiar interferência gerada pelas harmônicas de maior ordem da frequência de deflexão horizontal dos aparelhos de TV (15,625kHz PAL-Europa e 15,75kHz NTSC-EUA). Embora concentrado em faixas estreitas, este tipo de ruído apresenta uma alta PSD tendo, porém, suas maiores contribuições na faixa inferior aos 500kHz [6].

### 4.2.3 Ruído Impulsivo Periódico - assíncrono com a frequência da rede

Com frequências variando entre 50 e 200kHz, este ruído é gerado principalmente por fontes chaveadas.

### 4.2.4 Ruído Impulsivo Periódico - síncrono com a frequência da rede

Apresentando frequências de 50 ou 100Hz (Europa) este componente de ruído impulsivo tem em geral uma curta duração (alguns microssegundos), sendo causado por fontes de alimentação devido a comutação de diodos retificadores operando de forma síncrona com a rede.

### 4.2.5 Ruído Impulsivo Assíncrono

Causado por transientes na rede, este tipo de ruído apresenta curtas durações (10-100us) podendo alcançar picos de até 2kV, ocorrendo de forma aleatória. Devido a estes altos valores, a PSD deste tipo de ruído pode atingir níveis consideráveis acima da PSD do ruído de fundo conforme apresentado na Figura 16.. Esta figura mostra o resultado de medições realizadas onde pode ser observado que em algumas frequências o ruído de natureza impulsiva supera o ruído de fundo em até 40 dB.

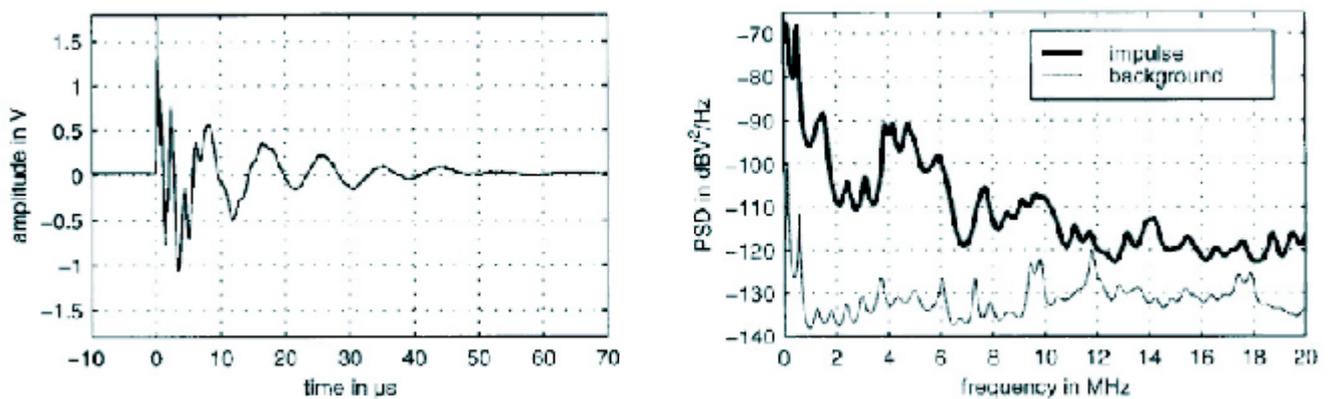


Figura 16. Forma de onda e PSD de um típico evento com característica impulsiva

As propriedades dos ruídos do tipo 1 a 3 permanecem estacionárias em intervalos de alguns segundos, minutos e algumas vezes mesmo durante horas e, devido a este comportamento, podem também ser considerados como ruído de fundo - caracterizado por sua lenta variação e uma PSD com valores moderados. Contudo, as características dos ruídos do tipo 4 e 5 variam em termos de

micro ou milisegundos e durante a ocorrência de tais eventos, a PSD do ruído presente na rede pode aumentar consideravelmente, causando erros na transmissão de dados [6].

### 4.3 FAIXAS DE FREQUÊNCIA

O sistema PLC utiliza duas faixas de frequência. A primeira faixa está compreendida entre 1MHz e 12MHz e é utilizada para transmissão "Outdoor". É nesta faixa de frequência que haverá comunicação entre o "Master" e os "Modems" mais próximos dos transformadores e entre o "Master" e os "Repetidores".

A outra faixa de frequência compreendida entre 18MHz e 26MHz é utilizada para transmissão "Indoor" entre "Repetidores" e "Modems". Na Figura 17, o diagrama apresenta o espectro de frequência utilizado pelo sistema.

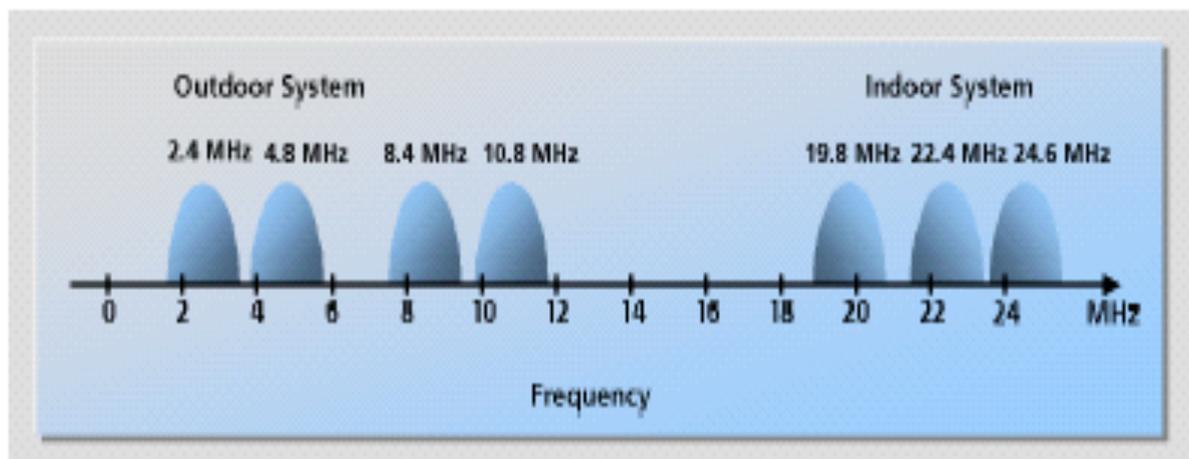


Figura 17. Faixa de frequência por segmento da rede PLC (Indoor e Outdoor)

### 4.4 SEGURANÇA NA TRANSMISSÃO

O sistema do PLC emprega a codificação para correção de erro. Isto permite a correção de erros de transmissão no lado da recepção. Um código de relação 1:2 é usado, implicando que os dados transmitidos estão duplicados, isto é, para cada bit de dados o sistema do PLC transmite 2 bits no canal correspondente. A experiência tem mostrado que o canal do PLC é frequentemente de excelente qualidade para as estações próximas (aproximadamente 1Km dependendo da qualidade

das instalações elétricas e do equipamento PLC empregado) do “Master”, neste caso não há necessidade de usar o FEC – (Forward Error Correction), conseqüentemente a capacidade do canal é duplicada. Os equipamentos PLC também monitoram automaticamente a qualidade do canal, de modo que se ela for alta o suficiente o FEC é desativado e se a qualidade cair o FEC é ativado.

#### **4.5 QUALIDADE DE SERVIÇO (Q.S)**

A partir de configurações definidas pela rede elétrica, deve ser realizada uma análise de desempenho contemplando a variação de pelo menos os seguintes parâmetros:

- quantidade de usuários conectados simultâneos;
- tipos de aplicação;
- protocolo de transporte;
- tamanho do pacote IP;
- direção do tráfego (“upload” e “download”).

Os parâmetros de desempenho analisados, levando em consideração os parâmetros de configuração acima mencionados, deverão ser baseados em normas que visam garantir a qualidade dos serviços prestados. Os parâmetros mínimos recomendáveis são:

- vazão;
- taxa de perdas de pacotes;
- teste de latência (pertinente para aplicações “real time”);
- jitter (variação do atraso);
- verificação da priorização do tráfego de serviços “real time”;
- análise de priorização de tráfego.

## 4.6 SERVIÇO DE VOZ

A inclusão do serviço de voz na oferta de conectividade via PLC é um grande atrativo para a implantação do PLC na rede, devido à inclusão do serviço de voz a um baixo custo, principalmente na expansão da rede. Entretanto o serviço de voz em redes de dados (não determinísticas) sofre com a qualidade ofertada pela rede e por equipamentos que a constituem. Como a voz no sistema PLC será transmitida sobre um protocolo de rede, no caso o IP, é recomendável a comprovação da qualidade de voz que tanto os equipamentos quanto a solução proporciona ao referido serviço. Isto para assegurar a oferta de uma qualidade mínima ao serviço de voz. Além da qualidade, é necessário também realizar testes de protocolos para a verificação da implementação e suas limitações como, por exemplo, a disponibilidade de serviços suplementares (chamada em espera, transferência, etc.).

Os parâmetros mínimos recomendados a serem verificados são:

- avaliação do protocolo de VoIP e levantamento de limitações da implementação;
- testes de verificação do protocolo utilizado;
- tamanho de pacotes das amostras de voz;
- medida objetiva da qualidade de voz;
- medida objetiva da qualidade de voz por sentido da chamada;
- levantamento dos benefícios e insumos da utilização ou não de VAD (supressão de silêncio);
- indicação e verificação do CODEC a ser utilizado;
- avaliação do eco proporcionado pelo sistema à chamada de voz;
- atraso da voz na rede;
- verificação da transmissão de fax, *modem* e dígitos DTMF pela rede;
- levantamento dos parâmetros de configuração de voz e análise crítica.

## 4.7 SEGURANÇA DA REDE

Com a comunicação através do sistema elétrico (topologia barramento), deve-se realizar uma análise da segurança da rede devido ao alto risco associado à solução. O risco não é somente devido à confidencialidade dos dados dos clientes, mas também evitar fraudes e acessos indevidos a serviços não autorizados.

Portanto a segurança da rede deve ser verificada para evitar acessos não autorizados, garantir confidencialidade, integridade e disponibilidade. Alguns itens que devem ser verificados são:

- vulnerabilidade;
- controle de acesso;
- proteção contra *softwares* maliciosos;
- controle de acesso à rede;
- controle de acesso ao sistema operacional;
- controles de criptografia;

## 4.8 SERVIÇOS SUPORTADOS PELA TECNOLOGIA PLC

O estágio atual da tecnologia PLC e as possibilidades de exploração de serviços que ela oferece merecem dupla atenção por parte dos dirigentes das Empresas de Energia Elétrica:

- a anunciada chegada da competição nos mercados de energia e a conseqüente pressão pelo aumento de resultados vêm forçando essas empresas a buscar fontes alternativas de receita;
- outra razão é que o emprego da tecnologia proporciona a redução de custos operacionais, outra imposição do mercado competitivo.

A aplicação da tecnologia contribui para a realização desses dois objetivos, viabilizando a exploração dos seguintes serviços:

- Acesso em Banda Larga à Internet;
- Vídeo sob demanda;
- Telefonia IP;
- Serviços de Monitoração e Vigilância;
- Serviços de Monitoramento de Trânsito (Câmeras e Comandos);
- Automação Residencial;
- Monitoramento de processos produtivos on-line;

#### 4.9 ARQUITETURA PARA A PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS

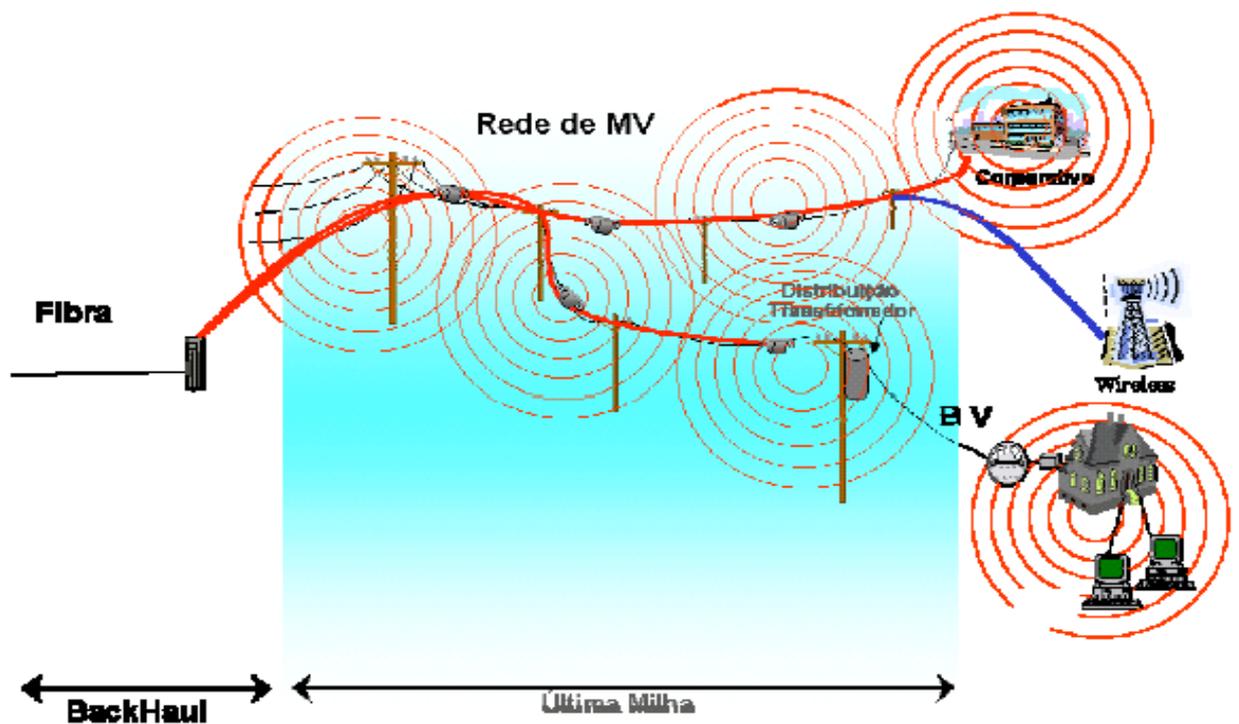


Figura 18. Arquitetura de prestação de serviço

Dois tipos de equipamentos PLC foram desenvolvidos. Inicialmente, se empregava unicamente a rede de Baixa Tensão e a injeção de sinais era realizada no secundário de

transformador. As distâncias percorridas pelo sinal do PLC eram curtas e o resultado comercial dependente do número de residências servidas pelo transformador.

O desenvolvimento de equipamentos para Média Voltagem ampliou o leque de opções de uso de PLC e estimulou a entrada de novas empresas elétricas no segmento.

## **4.10 INTEROPERABILIDADE**

### **4.10.1. Coexistência e Interoperabilidade**

A coexistência e a interoperabilidade dos equipamentos *Powerline* são temas da maior importância entre os fabricantes e demais interessados nesta tecnologia.

Existem dois temas a serem analisados:

- Interoperabilidade entre equipamentos de diferentes marcas;
- Coexistência entre equipamentos dentro da mesma rede *Powerline* nos segmentos de Acesso e *In-Home*.

### **4.10.2 Interoperabilidade**

A interoperabilidade se obtém naturalmente quando se trabalha com equipamentos de mesmo fabricante ou quando existe uma padronização adotada pelos diversos fabricantes.

Atualmente não existem padrões internacionais regulamentando a tecnologia, o que implica dizer que só existe interoperabilidade entre equipamentos do mesmo fabricante ou com mesma implementação tecnológica (mesmo *chipset*).

Grandes esforços vêm sendo realizados pelos diversos organismos de regulamentação mundial com o objetivo de se obter padronização que garanta a interoperabilidade. Na Europa, estão envolvidos diversos organismos regionais e continentais, tais como, CENELEC, ETSI, etc.

### **4.10.3. Coexistência entre equipamentos dentro da mesma rede: *Powerline* nos segmentos de Acesso e *In-Home***

Os organismos regulatórios internacionais estão trabalhando ativamente neste tema; tanto ETSI PLT e CENELEC SC205A-WG10 compartilham a idéia de dividir o espectro de frequências em duas partes: uma faixa para acesso e outra para *in-home*.

Infelizmente cada organismo propõe divisões de frequências diferentes; para solucionar o problema criou-se um Grupo de Trabalho conjunto das duas entidades com o objetivo de criar uma divisão comum do espectro.

Sob o ponto de vista do Acesso não é necessária à convivência de duas tecnologias já que, normalmente, a implementação é realizada com apenas uma tecnologia, sobre a rede elétrica de uma única empresa.

Já no segmento *In-Home*, diferentes tecnologias podem competir na mesma rede elétrica. Para evitar problemas de coexistência estão sendo desenvolvidos padrões pela ETSI PLT e no PLC FORUM.

Atualmente não existe padrão reconhecido mundialmente; os produtos oferecidos pelos diversos fabricantes não são compatíveis entre si e, conseqüentemente, a presença de diferentes tecnologias na mesma rede elétrica afeta o funcionamento e desempenho dos equipamentos instalados. O sinal transmitido por um equipamento de uma tecnologia é interpretado como ruído por equipamento de outra tecnologia, degradando a relação sinal/ruído do enlace e inviabilizando a operação.

A atual regulamentação em estudo pela ETSI/CENELEC indica as seguintes faixas de frequências:

- De 1 MHz a 10/13 MHz para o segmento de Acesso;
- De 10/13 MHz a 30 MHz para o segmento *in-home*.

## 5. TECNOLOGIA PLC NO BRASIL

A exemplo de vários países no mundo algumas empresas energéticas brasileiras estão testando a tecnologia PLC, inclusive em algumas delas havia previsão de lançamento no mercado no ano de 2004.

Porém, como em toda tecnologia lançada no Brasil, o fator econômico sempre é uma grande barreira a ser transposta e como os equipamentos PLC são importados, na sua maioria, o uso comercial dessa tecnologia tem demorado um pouco a sair.

Entretanto, com a viabilidade técnica comprovada por companhias energéticas de renome no cenário brasileiro e com a possibilidade de produção dos modems e outros equipamentos PLC no Brasil o uso comercial do PLC parece ser hoje apenas uma questão de tempo.

A possibilidade de se transmitir dados, voz e vídeo por um mesmo meio físico sendo esse presente em mais de 90% das residências brasileiras, foi o principal fator pelo qual as companhias energéticas apostaram suas fichas nessa nova tecnologia que promete revolucionar o tráfego de informação.

Para entendermos melhor a importância que o PLC pode ter no Brasil vamos partir para um exemplo mais genérico do que seria uma infra-estrutura de comunicação.

Bem durante muito tempo o Brasil vem investindo tanto pelas empresas privadas como pelo Governo em uma infra-estrutura de comunicação capaz de suportar o tráfego de informações da Internet por meio de grandes vias de dados, os chamados “*Backbones*”. Uma vez montada essa estrutura é preciso que as empresas e o Governo façam chegar às residências e empresas esse link com a Internet e é aí que mora o principal problema. No Brasil há uma escassez de tecnologias que percorrem esse último obstáculo que os profissionais da área chamam de “*The Last Mile*” ou a última milha. Hoje utilizamos as estruturas de TV a cabo, telefone ou até mesmo satélite para vencermos a última milha, porém sabemos que essas estruturas são centralizadas e que em muitos lugares do Brasil não há possibilidade e/ou viabilidade econômica de se implementar quaisquer dessas estruturas.

Agora então começamos a perceber a importância do PLC no Brasil e no Mundo, visto que mesmo em locais afastados e de difícil acesso temos na maioria absoluta das vezes estrutura elétrica.

Melhor que isso o PLC vem unir dois conceitos que hoje, mais do que nunca, estão na “moda” são eles: Convergência no ramo das Telecomunicações e Inclusão Digital.

A convergência se dá no momento em que podemos transmitir qualquer sinal de comunicação pelo cabeamento elétrico, abrindo um leque de aplicações enorme. Já a inclusão digital é evidente se pensarmos na possibilidade real de se levar Internet à qualquer Estado, Cidade, Bairro e residência onde temos energia elétrica, vale lembrar que no Brasil mais de 90% das residências possuem Energia Elétrica, enquanto menos de 10% das residências têm acesso a Internet.

Veremos a seguir alguns testes feitos pelas companhias de energia elétrica no Brasil, provando que a tecnologia PLC é viável segundo o aspecto técnico.

## **5.1 CEMIG**

O projeto PLC CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) foi um projeto piloto, implementado desde novembro de 2001 e tendo seus resultados publicados em janeiro de 2003 [17]. O projeto previa o acesso à Internet em banda larga através da rede secundária de distribuição elétrica sem a necessidade de utilizar a rede de telefonia, da seguinte forma:

- 1- Uma empresa operadora de telecomunicações, fornecedora de acesso à Internet em banda larga, disponibilizava um ponto de terminação na rua onde era conectado um equipamento denominado Master PLC (Figura 20).

- 2- O Master PLC injetava o sinal nas fases e no neutro do circuito secundário, ficando este sinal disponível a todos os consumidores (em média 50) que estivessem ligados no circuito elétrico deste transformador. Em alguns casos foi necessário instalar um repetidor no medidor de energia para reforçar o sinal.

3- Finalmente, o sinal era captado em uma tomada elétrica por um modem PLC e disponibilizado em uma porta padrão Ethernet ou USB (Universal Serial Bus) para ligar na placa de rede do computador na casa do usuário.

A configuração típica do projeto pode ser visualizada na Figura 19.

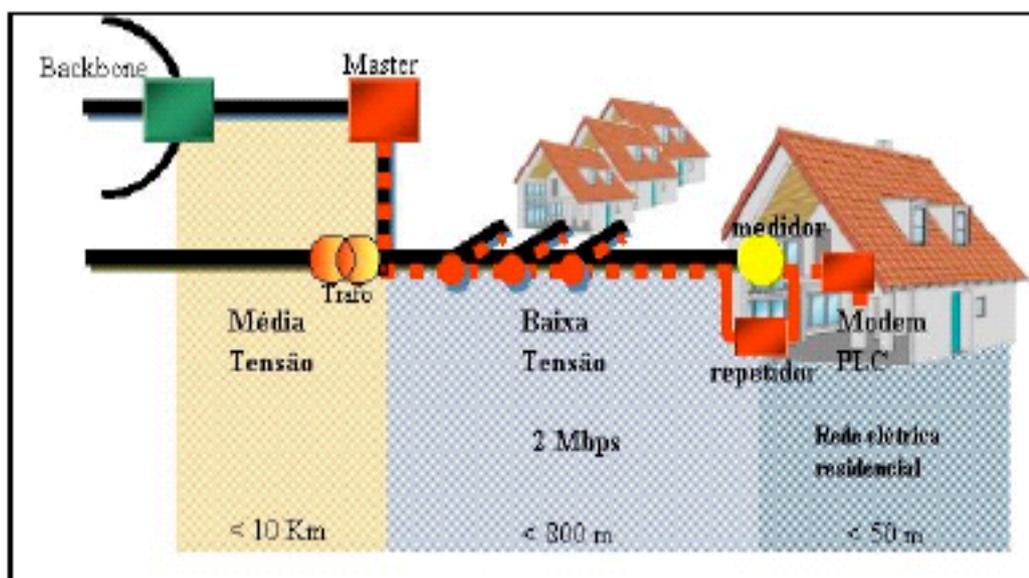


Figura 19. Configuração típica do projeto da CEMIG

Neste projeto, o sistema PLC foi concebido para trafegar nos circuitos secundários de distribuição, cobrindo trechos de 600m em média, a partir do transformador.

Portanto, um sistema de acesso para vencer a última milha. O acesso à Internet em banda larga foi implementado com o uso da tecnologia *cable modem* (Figura 20), sendo a velocidade máxima compartilhada por todos os consumidores ligados no mesmo transformador. Qualquer outra estrutura de telecomunicações poderia ter sido usada: fibra óptica, rádio e etc, desde que possuíssem em suas terminações as interfaces padronizadas compatíveis com o hardware PLC.

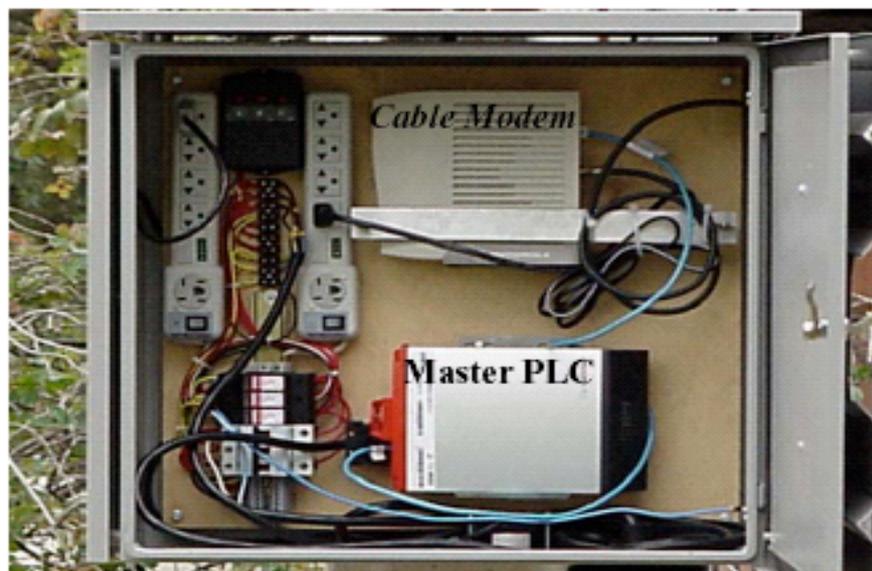


Figura 20. Ligação de um *cable modem* a um Master PLC

As características deste projeto foram:

- Equipamentos – ASCOM - banda larga;
- Serviços implementados – Internet banda larga;
- Bairros monitorados – Vila Paris e Belvedere;
- Locais – apartamentos, casas e escola pública;
- Pontos ativados – 40;
- Tempo de implementação – 30 dias;
- Taxa nominal – 2 Mbps;
- Tempo de funcionamento – 360 dias;
- Início de suporte ao usuário – 16/12/2001;
- Início de avaliação via web CEMIG – Dez/2001;
- Formulários de avaliação enviados – 420.

Como resultado final do projeto ficou clara a influência da carga da rede no desempenho do sistema: quanto maior a carga, maior a degradação nos acessos dos usuários. Essa situação está diretamente relacionada ao perfil do usuário, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas de correção dinâmica para compensar as variações da carga na rede.

Os resultados foram publicados em janeiro de 2003 e desde então não se tem informações sobre a atual situação ou se haverá outro projeto em continuação.

## 5.2 LIGHT

Já na Light pelo que podemos perceber o entusiasmo é ainda maior já que o acesso à Banda Larga via PLC já é distribuído a 8 grandes edifícios sendo 4 comerciais e 4 residenciais e os testes continuam a todo vapor.

Os prédios que estão em teste são mostrados na figura 21:



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 21. Prédios em teste: (a) Rua Canning 21 – Ipanema; (b) Ed. Lagoa Azul – Cond. Pedra de Itaúna – Barra da Tijuca; (c) Ed. Barramar – Cond. Barramares – Barra da Tijuca; (d) Ed. Ghirlandaio – Cond. Novo Leblon – Barra da Tijuca; (e) Shopping Center Novo Leblon – Barra da Tijuca; (f) Ed. Rio Branco – Cinelândia; (g) Praia do Flamengo 66; (h) Hotel Othon – Copacabana  
Fonte: Light (2003)

“As aplicações vão desde o auxílio no combate às perdas até a possibilidade de realizar cortes, religações e medições de consumo remotamente, ficando as informações disponíveis *on line* para os Centros de Operação a Light”.

“A tecnologia PLC permite, por exemplo, acesso à Internet muito mais rápido e mais confiável do que as opções atualmente existentes no mercado”.

“Como são transmitidas em frequências diferentes, os dois tipos de onda podem conviver harmonicamente nas linhas de energia, sem interferências”.

Essas são declarações de Paulo Magalhães Duarte Sobrinho, gerente do projeto PLC da Light em parceria com a EDF.

### 5.3- CELG

Projeto PLC CELG – Implantado em novembro de 2003, o projeto piloto da CELG para a nova tecnologia, está sendo realizado em parceria com o fabricante EBA, que promoveu a

instalação de equipamentos PLC em alguns setores da companhia, visando avaliar a engenharia da tecnologia na rede elétrica e difundi-la como alternativa de acesso à Internet; também verificar a conformidade das especificações técnicas dos equipamentos em relação às condições ambientais de Goiás e definir parâmetros de desempenho de modo a possibilitar a oferta de serviços diferenciados com alta qualidade.

Os equipamentos em teste estão instalados nos edifícios Gileno Godói e Eletra, no Jardim Goiás, com serviços de comunicação de dados, voz e imagem em banda larga com até 45 Mbps.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Transmitir dados, vídeo e voz por um meio físico que atende a mais de 90% das residências no Brasil é o principal trunfo do PLC. A possibilidade de utilizar a rede de distribuição de energia elétrica como alternativa para a transmissão de dados permite disponibilizar a praticamente todo domicílio ou estabelecimento comercial acesso a serviços de comunicação. Wiplug confirma um cenário certo para muitas empresas e residências, que será a adoção desta tecnologia inovadora, a qual será tão comum como é hoje uma linha telefônica para se conectar à Internet.

Ainda há o que melhorar, porém a evolução está cada vez mais acelerada. A barreira técnica encontra-se praticamente vencida, agora o que falta é realmente ultrapassar os obstáculos econômicos, que hoje é o principal fator que impede a implantação do sistema PLC no Brasil e no Mundo. São poucas empresas no Mundo que fabricam equipamentos PLC, por isso eles ainda são caros e conseqüentemente fogem da realidade brasileira.

O PLC nasceu na era da Internet e utiliza o protocolo IP na integração de rede e de serviço. Através de um único modem o usuário poderá acessar a internet, telefonia VoIP, TV Interativa, Segurança, etc. reduzindo custos com equipamentos desnecessários para o acesso do serviço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] DOSTERT, Klaus. **Powerline Communications**. Germany: Prentice Hall PTR, 2001, xii, 338p.

[2] MATICK, Richard E. **Transmission lines for digital and communication networks: An introduction to transmission lines, high-frequency and high-speed pulse characteristics and applications**. New York: IEEE, 1995, 360p.

[3] WADELL, Brian C. **Transmission Line Design Handbook**. London: Artech House, 1991, 510p.

[4] PODSZECEK, Heinrich K. **Carrier Communication over Power Lines**. 4.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1972, 183p.

[5] BEZ, Roberto. **Tendências Tecnológicas nas Telecomunicações**. Florianópolis, 2002.

[6] PIANOWSKY, Henrique. **Comunicação de dados vias redes de energia elétrica – PLC**. São Paulo, 2002. 123p.

[7] LAWREY, Eric Phillip. **Adaptive Techniques for Multiuser OFDM**. 2001.

[8] HAYKIN, S. **Communication Systems**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001

[9] INTELOGIS, INC. **Intelogis PLUG-IN Technology - Power Line Communications White Paper**, [S.l.:S.n.], 1998.

[10] ECHELON CORPORATION. **The LonWorks Network Platform—A Technology Overview**. Disponível em: <<http://www.echelon.com/products/lonworks/default.htm>>. Acesso em: outubro 2005.

[11] BMP TELECOMMUNICATIONS CONSULTANTS. **Experiência Mundial – State of the Arte of the PLC market and technology**. In: APTEL Conference., **Proceedings...**, Florianópolis, [S.n.], 2002.

- [12] SUTTERLIN, P., Downey, W.; **A Powerline Communication Totorial – Challenges and Technologies**. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/light/arquivos/pwrlinetutoall3.pdf>>. Acesso em: agosto de 2005
- [13] O. HOOIJEN, **A channel model for the residential power circuit used as a digital communication medium** IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol.40, n4, 1998;
- [14] BRADNER, S. **Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices: RFC 1242**. [S.l.]: Network Working Group, 1991.
- [15] CEBus INDUSTRY COUNCIL, Inc. **Bringing Interoperability to Home Networks**. Disponível em: <<http://www.cebuse.org/index.html>> Acesso: em setembro 2005.
- [16] **REVISTA UNICAMP**, Artigo sobre PLC da autoria de Marçal dos Santos. Disponível em: <<http://www.revista.unicamp.br/infotec/artigos/marcal4.html>>, Acesso: em agosto de 2005.
- [17] **CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE MINAS GERAIS**, Site da companhia Disponível em: < <http://www.cemig.com.br>>. Acesso em: setembro de 2005.
- [18] **LIGHT – COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**, Site que destaca o projeto PLC da companhia. Disponível em: <<http://www.lightplc.com.br/bra/index.htm>>. Acesso em: outubro de 2005.
- [19] **HOMEPLUG**, Site de fabricante de equipamentos PLC: Disponível em: <<http://www.wiplug.com.br>>. Acesso em: agosto de 2005
- [20] **PLCFORUM**, Site com discussões sobre PLC: Disponível em: <<http://www.plcforum.com>>. Acesso em: setembro de 2005
- [21] NETTO, Luiz Ferraz. **Instalações Elétricas**. 2003. Disponível em : <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14\\_03.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_03.asp)>. Acesso em: outubro de 2005.
- [22] MAJUMDER, A. and Caffrey, J. **“Power Line Communications: An Overview”**. *IEEE Potentials*, vol.23, pg 4-13.