

OUTROS TRABALHOS EM:  
[www.projetoderedes.com.br](http://www.projetoderedes.com.br)

**UNIVERSIDADE PAULISTA**

**A VIABILIDADE DA TECNOLOGIA PLC**

**COMO ALTERNATIVA PARA O PNBL**

Monografia apresentada para conclusão do Curso  
de Engenharia Elétrica - Telecomunicações pela  
Universidade Paulista – UNIP

Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Alexandre Cesar Pereira

Lucas Reis Silva

Luciano da Rocha Martins

Luciano Simões Caetano

Reginaldo Gomes de Moraes

SÃO PAULO - SP

2010

**UNIVERSIDADE PAULISTA**

## **A VIABILIDADE DA TECNOLOGIA PLC**

### **COMO ALTERNATIVA PARA O PNBL**

Monografia apresentada para conclusão do Curso  
de Engenharia Elétrica - Telecomunicações pela  
Universidade Paulista – UNIP

Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Orientador: Professor Pedro Kyska

Alexandre Cesar Pereira

Lucas Reis Silva

Luciano da Rocha Martins

Luciano Simões Caetano

A viabilidade da tecnologia PLC como alternativa para o PNBL / Alexandre César Pereira... [et al]. – São Paulo, 2010.

124 f.:il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Apresentado ao Instituto de  
Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Paulista, São Paulo, 2010.

Área de Concentração: Engenharia elétrica  
“Orientação : Prof. Pedro Kiszka Júnior”

1. Power line communications. 2. Internet. 3. Energia. 4. Rede elétrica. I. Título. II. Silva, Lucas Reis. III. Martins, Luciano da Rocha. IV. Caetano, Luciano Simões. V. Moraes, Reginaldo Gomes de.

## **A VIABILIDADE DA TECNOLOGIA PLC**

### **COMO ALTERNATIVA PARA O PNBL**

Monografia apresentada para conclusão do Curso  
de Engenharia Elétrica Eletrônica Opção B  
(Telecomunicações) pela Universidade Paulista –  
UNIP

Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Nome: \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Nome: \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Nome: \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

São Paulo – SP

2010

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que nos deu a oportunidade de estar aqui após tantas idas e

vindas em nossas vidas;

A nossos pais e familiares;

Ao nosso orientador;

Aos nossos professores;

Ao nosso coordenador.

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso aborda uma tecnologia existente desde o início do século XX, o PLC (Power Line Communications), mas seus estudos de viabilidade são mais atuais tendo início nos anos oitenta.

Propomos o PLC como alternativa ao PNBL (Plano Nacional de Banda Larga) proposto no PAC (Plano de Aceleração do Crescimento) do governo federal brasileiro. Neste estudo, o PLC Banda Larga que vem sendo pesquisado desde o início dos anos noventa transforma a rede elétrica em uma infraestrutura para além de sua principal função. Passa a trafegar dados, convertendo cada tomada de energia em pontos de voz e dados. Para isto, um decodificador, semelhante aos modems, separa a corrente elétrica dos sinais de voz, dados e internet. A utilização do PLC no PNBL trata-se da forma economicamente viável, em frente às outras tecnologias de acesso banda larga, de atender a maior parte da população, pois a infraestrutura elétrica existente já atende mais de 95% da população brasileira segundo dados da ANEEL.

O PLC não é apenas uma tecnologia para acesso a internet há varias aplicações além de transmissão de dados como telemetria, teleproteção, vídeo e comunicação de voz.

## **ABSTRACT**

This conclusion of course work covers a technology that has existed since the early twentieth century, the PLC (Power Line Communications), but its feasibility studies are more current with early in the eighties.

We propose as an alternative to the PLC National Broadband Plan proposed in the Growth Accelerate Plan of Brazilian federal government. In this study, the Broadband PLC that has been researched since the early nineties transforms into a grid infrastructure in addition to their primary function. Pass the travel data, converting each outlet point voice and data. To this end, a decoder, similar to modems, the electric current separates the voice signals, data and internet. The use of PLC in PNBL the way it is economically viable, compared to other broadband access technologies, to meet most of the population, because the existing electrical infrastructure already serves more than 95% of the population according to data from ANEEL.

The PLC is not just a technology to access the internet for many applications beyond data transmission and telemetry, teleprotection, video and voice communication.

## ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1: TRANSPARÊNCIA DO PROTOCOLO PLC PERANTE O PROTOCOLO TCP/IP.....	26
FIGURA 2: ARQUITETURA DE PROTOCOLO DE UMA LIGAÇÃO PLC.....	26
FIGURA 3: TOPOLOGIA – PLC.....	30
FIGURA 4: SOLUÇÃO PLC IN-BUILDING.....	32
FIGURA 5: QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO.....	33
FIGURA 6: ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	33
FIGURA 7: ESQUEMA DE CONFIGURAÇÃO DO PLC OUTDOOR.....	34
FIGURA 8: DIAGRAMA 100.....	36
FIGURA 9: DIAGRAMA 300.....	38
FIGURA 10: DEMONSTRAÇÃO DA FREQUÊNCIA PLC-BANDA LARGA.....	41
FIGURA 11: DIAGRAMA 500.....	43
FIGURA 12: FLUXOGRAMA PARA O ENVIO DE DADOS DOWNLOAD.....	44
FIGURA 13: FLUXOGRAMA PARA O ENVIO DE DADOS UPLOAD.....	44
FIGURA 14: ESQUEMÁTICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E O SISTEMA DO CLIENTE.....	46
FIGURA 15: ILUSTRAÇÃO DO APARELHO PARA O ACOPLAMENTO DO CLIENTE.....	48
FIGURA 16: ILUSTRAÇÃO DETALHADA DA RF ACOPLADA.....	50
FIGURA 17: CIRCUITO EQUIVALENTE DA RF ACOPLADA.....	52
FIGURA 18: ARQUITETURA DO SISTEMA.....	55
FIGURA 19: UNIDADE DE CONTROLE DO SINAL.....	56
FIGURA 20: UNIDADE DE MODULAÇÃO DO SINAL.....	57
FIGURA 21: TRANSFORMADOR DE ACOPLAMENTO.....	57
FIGURA 22: ECRS INSTALADOS EM UMA ESTAÇÃO.....	58
FIGURA 23: MODULAÇÃO QPSK.....	62
FIGURA 24: MODULAÇÃO QAM.....	63
FIGURA 25: MODULAÇÃO OFDM.....	64
FIGURA 26: MODULAÇÃO WAVELET – MULTIRESOLUÇÃO.....	68
FIGURA 27: MODEM PLC.....	72





## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: LIMITES DE RADIAÇÕES INDESEJADAS CAUSADAS POR SISTEMAS PLC NA REDE DE BAIXA TENSÃO.....	20
TABELA 2: LIMITES DE RADIAÇÕES INDESEJADAS CAUSADAS POR SISTEMAS PLC NA REDE DE MÉDIA TENSÃO.....	21
TABELA 3: TABELA FIGURA IN-BUILDING.....	32
TABELA 4: OFDM – APLICADO NO PLC.....	65
TABELA 5: DADOS DO MASTER.....	115
TABELA 6: DADOS DO CPE 1.....	116
TABELA 7: DADOS DO CPE 2.....	116
TABELA 8: DADOS DO CPE 3.....	116

## **LISTA DE ABREVIações:**

PLC – Power Line Communications

BPL – BroadBand Power Line

OPLAT – Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão

PNBL – Plano Nacional de Banda Larga

PAC – Plano de Aceleração do Crescimento

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

IEEE – Instituto de Engenheiros Elétricos Eletrônicos

CEMIG – Companhia Energética do Estado de Minas Gerais

COPEL – Companhia Paranaense de Eletricidade

ONU – Organização das Nações Unidas

DOU – Diário Oficial da União

BT – Baixa Tensão

MT – Media Tensão

PLIC – Power Line Indoor Communications

PLOC – Power Line Outdoor Communications

LAN – Local Area Network

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

WSK - Wavelet Shift Keying

QAM – Quadrature Amplitude Modulation

OSI – Open System Interconnection

USB – Universal Serial Bus

RF – Radio Frequência

TV – Televisão

AC – Alternate Current

IBS – Interactive Broadband System

SNR – Signal Noise Relation

VHF – Very High Frequency

UHF – Ultra High Frequency

Zo – Impedância de Saída

Za – Impedância do pára-raios do Sinal RF

Zl – Impedância de Linha

Zg – Impedância de Terra

FDM – Frequency Division Multiplexing

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying

COFDM – Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

ECC – **Equipamento da Central de Controle**

ECS – **Equipamento de Controle da Subestação**

ECR – **Equipamento de Comunicação Remota**

OPGW – Optical Ground Wire

ISP – Internet Service Provider

SDH – Synchronous Digital Hierarchy

ATM – [Asynchronous Transfer Mode](#)

## SUMARIO

2.1.Padronização.....	18
2.2.Resolução 527/2009 da ANATEL.....	20
2.3.Resolução ANEEL 357/2009.....	22
2.4.Norma IEEE 1901.....	23
3.1.Características do Sinal PLC.....	25
3.2.Arquitetura do Protocolo PLC.....	26
3.3.A Estrutura da Tecnologia PLC.....	27
3.4.Topologia PLC.....	29
3.5.PLIC – Power Line Indoor Communications.....	31
3.6.PLOC – Power Line Outdoor Communications.....	33
4.1.Modulação QPSK.....	61
4.2.Modulação QAM.....	62
4.3.Modulação OFDM.....	63
4.4.Modulação Wavelet.....	68
4.5.Ruído e Interferência.....	70
5.1.Modems:.....	72
5.2.Repetidores Baixa Tensão:.....	73
5.3.Repetidores Média Tensão:.....	73
5.4.Gateways Outdoor e Indoor:.....	73
6.1.Entendendo Melhor o Histórico.....	75
6.2.Notícias recentes.....	76
6.3.Desafios do mercado.....	77

6.3.1.Custos.....	77
6.4.Projetos pilotos em território brasileiro.....	78
6.5.Introdução a uma política de marketing.....	87
6.6.Marketing para Tecnologia PLC.....	89
6.7.Comportamento do Consumidor de Novas Tecnologias.....	93
6.8.Planejamento Estratégico Mercadológico da Tecnologia PLC.....	94
6.9.Inclusão Digital.....	95
7.1.Estados Unidos da América.....	99
7.2.Europa.....	100
7.3.Mercado Brasileiro.....	102
7.4.Avaliação das implementações PLC.....	108

## INTRODUÇÃO

A tecnologia que utiliza a infraestrutura elétrica para tráfego de dados pode ser chamada tanto de BPL (Broadband over Power Line) como PLC (Power Line Communications), neste trabalho é utilizado termo PLC, pois está foi a adotada pelas normas nacionais ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

O PLC teve seu nome escolhido pela maioria dos estudiosos do assunto para identificar esta tecnologia de transmissão de dados em banda larga (internet) e redes locais (LAN – Local Area Network), na qual é composta por uma infraestrutura básica que são as redes de distribuição de energia elétrica (de média e baixa tensão) e circuitos elétricos internos de estabelecimentos comerciais e residenciais ou home networking.

Com os avanços tecnológicos obtidos nos meios de comunicações, o mercado de telecomunicação tem necessitado de novos meios que transmitam mais informações em uma maior velocidade com um tempo ainda menor. Este mercado vem sendo sufocado pelo pouco espaço e velocidade existente, onde suas conexões estão fazendo com que se inviabilize o uso de suas transmissões tornando cada vez mais lentas e onerosas.

A transmissão de banda larga através dos meios atualmente utilizados possui alto custo, tanto na montagem de sua infraestrutura quanto para a instalação e taxa de serviço. Devido a isso, a exclusão digital no Brasil atinge boa parte da população que

ainda não possui condição financeira em obter o serviço de internet, principalmente os locais remotos e distantes dos grandes centros.

Segundo informações publicadas em 2009 pela ONU (Organização das Nações Unidas), o Brasil ocupava o 71º lugar em inclusão digital e o PLC veio para suprir essa lacuna, promovida pelo desinteresse econômico das grandes empresas de telecomunicações em atender as comunidades carentes. O objetivo da grande inclusão digital é buscar que todo o brasileiro independente da idade, sexo, renda, raça, origem étnica, nível de excepcionalidade ou locação geográfica, ganhem acesso às ferramentas e habilidades tecnológicas necessárias na nova economia.

O custo de implantação da tecnologia PLC, utilizando-se a rede de média tensão para a transmissão de dados, é inferior aos custos das tecnologias disponíveis. A transmissão de banda larga através da rede elétrica é a disseminação da internet para todos os lares. O PLC vai democratizar o uso doméstico da internet, chegando a milhões de pessoas que não tem acesso a internet, permitindo que a mídia cultural eletrônica possa ser de uso integral na cultura moderna existente.

Em nosso trabalho serão especialmente explorados dados técnicos e comerciais referente aos testes realizados em meados do ano de 2000 até os dias de hoje. Companhias como a Copel (Companhia Paranaense de Eletricidade), Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais) e a AES Eletropaulo (Eletricidade de São Paulo) que estão com projetos em desenvolvimento.

## 1. HISTÓRIA

Na história do PLC, a primeira técnica a fazer uso da linha de transmissão de energia para controle de mensagens foi o método - Ripple Control. Esta técnica é caracterizada pelo uso de baixas frequências entre 100 e 900Hz com uma taxa de transmissão muito baixa e alta taxa de energia, por volta dos 10kWs. O sistema fornecia a comunicação unidirecional, entre as aplicações utilizadas eram o gerenciamento de iluminação de ruas e o controle de cargas.

Em 1920, foram realizados os primeiros testes utilizando as linhas de alta tensão, começaram a usar a tecnologia para: telemetria, comunicação de voz e operação remota para o sistema hidroelétrico, porém com a implementação das fibras ópticas o sistema foi esquecido.

Em meados dos anos 1980, ocorreram experiências e concluiriam ser possível a transmissão de dados em alta frequência na rede de distribuição elétrica. Frequências entre 5 a 500kHz foram testadas nas quais a relação sinal ruído demonstraram bons níveis nas medições de atenuação do sinal através da rede elétrica.

A comunicação bidirecional foi desenvolvida no final dos anos 1980 e início dos anos 1990.

1991, o Dr. Paul Brown da empresa Norweb Communications – uma empresa do sistema elétrico da cidade de Manchester, na Inglaterra, realizou o primeiro teste para transmissão de dados sobre a rede de energia elétrica.



1995 a 1997 chegaram a uma conclusão, que a transmissão de dados via rede elétrica era possível. Em 1997, perceberam que os ruídos e interferências estavam solucionados, usando somente algumas faixas de frequência, portanto realizou o primeiro teste de acesso a internet em uma escola de Manchester.

1997 foi criado na Europa o PLC Fórum, no intuito promover a tecnologia e divulgar informações sobre o PLC, entre fabricantes, desenvolvedores da tecnologia PLC, os potenciais usuários desta tecnologia e também as entidades regulatórias, tais como agências reguladoras, entidades de classe e órgãos públicos.

2001 a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) dá início ao seu projeto piloto, realizados nos bairros de Belvedere e Vila Paris. São os primeiros testes na América Latina.

2005 a Light (Companhia de Energia do Rio de Janeiro) inicia seus testes que foram realizados na baixada fluminense;

2008 a AES Eletropaulo (Companhia Energética da região metropolitana de São Paulo) dá início aos testes visando disponibilizar apenas infraestrutura de acesso. Nos testes, as taxas de transmissão são de 2 Mbps;

2008 - IEEE 1675 é o padrão IEEE para Broadband over Power Line oferecendo testes e verificação de padrões para os hardwares PLC.

2009 - COPEL (Companhia Paranaense de Energia) inicia seus testes de desempenhos com cerca de 300 usuários.

2009 – Agência Nacional de Telecomunicações do Brasil (ANATEL) publica a Resolução 527/2009 que versa sobre as condições de uso de radiofrequência por sistemas de banda larga por meio de redes de energia elétrica (PLC).

2009 - Resolução ANEEL 357/2009 dezembro de 2009. Regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação de sinais.

2009 – IEEE 1775 que versa sobre a compatibilidade eletromagnética (CEM) - requisitos de teste e métodos de medição

2009 – o IEEE cria o padrão 1901 o padrão global para banda larga sobre redes de energia elétrica.

2010 – Operadora Intelig e AES Eletropaulo iniciaram oferta dos serviços PLC em alguns bairros nobres de São Paulo.

2010 – Em outubro de 2010 o grupo P1901 em uma nova reunião anuncia a retificação do padrão IEEE 1901.

## 2. REGULAMENTAÇÃO E NORMAS

Os equipamentos que compõem o sistema PLC devem possuir certificação expedida ou aceita pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), de acordo com a regulamentação vigente e atender às normas cabíveis, referentes ao sistema elétrico, expedidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). E também atender as normas Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE).

**Dos Serviços:** PLC banda larga permite o provimento de diversos serviços de dados, vídeo e voz, que são exatamente os mesmos que podem ser providos pelas outras tecnologias de broadband. O modelo adotado pela ANATEL para o mercado Brasileiro não exige nenhuma regulamentação adicional para a prestação dos serviços, utilizando a tecnologia PLC.

**Dos produtos:** Os produtos utilizados nas redes PLC necessitam receber certificação da ANATEL. Esta certificação irá buscar garantir dentre outras, a compatibilidade funcional, a compatibilidade eletromagnética, segurança elétrica e atendimento aos requisitos de emissão de frequências, objetivando minimizar interferências em outros sistemas.

### 2.1. Padronização

Um forte inibidor para o desenvolvimento rápido das redes PLC banda larga é a falta de padronização nos produtos. Com a ausência da padronização, não existe interoperabilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes.

Desta forma, um provedor de rede após a escolha da tecnologia fica dependente da evolução tecnológica e dos preços da tecnologia escolhida. Além disto, os custos dos equipamentos permanecem elevados, dificultando uma adoção mais ampla da tecnologia, gerando um claro círculo vicioso.

Buscando dentre outras, uma solução para este problema, diversos players atuantes na tecnologia Broadband PLC criaram alguns fóruns de discussão, que contribuíram com os órgãos de padronização, principalmente na Europa, Estados Unidos e Japão. Dentre os fóruns podem ser destacados:

- PLCForum - [www.PLCforum.com](http://www.PLCforum.com), criado no início de 2000, é constituído de 45 membros regulares e 15 convidados permanentes. 77% dos membros são entidades europeias, sendo a maioria constituída de fornecedores de produtos e desenvolvedores de soluções.
- PLC Utilities Alliance, criado no início de 2002, constituído de 8 empresas de Energia Elétrica europeias que atuam em 13 países da Europa de um total de 25 países no mundo todo. Essas empresas atendem a um mercado superior a 100 milhões de consumidores.
- A HomePlug Powerline Alliance, formada em grande parte por fornecedores de produtos, visa basicamente estabelecer padronização abertas dos equipamentos PLC de rede interna

Com a seqüência dos trabalhos de padronização espera-se que ocorra um fenômeno equivalente ao que ocorreu com a padronização do protocolo 802.11, promovido

pela WiFi Alliance, que permitiu uma disseminação extraordinária das redes locais wireless, em todo o mundo.

## **2.2. Resolução 527/2009 da ANATEL**

Esta resolução da ANATEL foi criada para definir os parâmetros para a instalação, comercialização e utilização de serviços PLC ou Sistemas de Banda Larga por meio de redes de energia elétrica (PLC).

No Diário Oficial da União, datado de 13 de abril de 2009, foi publicada a Resolução 527/2009 que aprova o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica.

A Resolução estabelece que a comunicação a ser estabelecida pelo sistema PLC, confinada nas redes de energia elétrica, somente poderá ocorrer na faixa de radiofrequências de 1,705 MHz a 50 MHz. E que os equipamentos que compõem o sistema PLC serão tratados como equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita e operam em caráter secundário.

As radiações indesejadas causadas por sistemas PLC, operando na rede de distribuição de Baixa Tensão, devem estar limitadas aos valores descritos na Tabela 1.

Faixa de frequências (MHz)	Intensidade de campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
1,705-30	30	30
30-50	100	3

Tabela 1: Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas PLC na Rede de Baixa Tensão

As radiações indesejadas causadas por sistemas PLC, operando na rede de distribuição de Média Tensão, devem estar limitadas aos valores descritos na Tabela 2.

Faixa de frequências (MHz)	Intensidade de campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
1,705-30	30	30
30-50	90	10

Tabela 2: Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas PLC na Rede de Média Tensão

Os sistemas PLC devem possuir as seguintes características técnicas:

- I. incorporar técnicas de mitigação de interferências que possibilitem reduzir remotamente a potência do sinal e remanejar as frequências em operação em tais sistemas, incluindo filtros ou permitindo o completo bloqueio de radiações indesejadas em frequências ou de faixas de frequências.
- II. para frequências abaixo de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível ao menos de pelo menos, 20 dB abaixo dos limites especificados na legislação vigente.
- III. para frequências acima de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 10 dB abaixo dos limites especificados na legislação vigente.

IV. manter as configurações de mitigação de interferência, mesmo quando houver falta de energia na rede ou quando o equipamento for desligado e religado, de forma consecutiva ou esporádica.

V. dispor de mecanismo que possibilite remotamente, a partir de uma central de controle, o desligamento da unidade causadora de interferência prejudicial, caso outra técnica de mitigação não alcance o resultado esperado.

### **2.3. Resolução ANEEL 357/2009**

No dia 25 de março de 2009 a diretoria da agência aprovou a proposta de regulamentação, como já fez a Anatel, permitindo às distribuidoras de energia elétrica fornecerem o serviço mediante o uso da tecnologia.

Conforme foi publicado no Diário Oficial da União no dia 27 de março de 2009, a distribuidora terá liberdade para "uso privativo da tecnologia PLC" nas atividades de distribuição de energia e na aplicação da tecnologia em projetos sociais com fins científicos ou experimentais. Para uso comercial, as distribuidoras terão que seguir regras previstas nos contratos de concessão.

A resolução 357/2009 regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital e/ou analógica de sinais. E foram adotadas as seguintes definições:

- I. Power Line Communications – PLC (ou, Broadband over Power Line – PLC): sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de transporte

para a comunicação digital e/ou analógica de sinais, tais como: internet, vídeo, voz, entre outros.

- II. Cessionário de PLC: toda pessoa jurídica detentora de concessão, autorização ou permissão nos termos da regulamentação da Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel para a exploração comercial de serviço de telecomunicações utilizando a tecnologia PLC.
- III. Distribuidora: Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica.

## **2.4. Norma IEEE 1901**

IEEE P1901 é o grupo de trabalho do IEEE responsável pelo desenvolvimento do padrão global para comunicações, através da rede elétrica de alta velocidade IEEE-1901. Na reunião ocorrida em Tóquio no dia 24 de julho de 2009, o grupo de trabalho aprovou o "projeto de norma IEEE 1901" com o padrão de banda larga sobre redes de energia elétrica a definição de controle de acesso médio da camada física e especificações. Em janeiro de 2010, o projeto de norma foi publicada pelo IEEE.

O Projeto de Norma P1901 inclui duas camadas físicas diferentes, uma baseada em modulação OFDM e outra baseada na modulação Wavelet. Cada camada física é opcional, e quem for implementar conforme a especificação pode, mas não tem a obrigação de incluir ambos. Dispositivos que usam a camada física OFDM não se comunicam com dispositivos baseados na camada física Wavelet. Alguns membros do P1901 sustentam que esta falta de interoperabilidade atrapalha a finalidade de ter um



padrão. Outros afirmam que é um passo necessário para a consolidação do mercado. A camada física OFDM é derivada de tecnologia HomePlug que é amplamente usada em todo o mundo baseado em produtos HomePlug. A camada física Wavelet é mais restrita implantado, primeiramente no Japão.

"O padrão IEEE 1901 terá um impacto significativo nas tecnologias de comunicações em residências, empresas e indústrias, porque ela torna a transmissão de dados pela rede elétrica tão atraente como as redes sem-fio em termos de velocidade, e oferece considerável vantagem por passar entre as paredes e outras estruturas que obstruem o sinal de radiofrequência", disse Judy Gorman, managing director IEEE Standards Association.

### **3. TECNOLOGIA PLC**

#### **3.1. Características do Sinal PLC**

O sinal PLC é transmitido sobre os fios de cobre (ou alumínio) das redes de distribuição de baixa e média tensão. A transmissão de sinais de comunicação sobre as linhas de corrente alternada foi difícil, mas hoje em dia com técnicas de criptografia, segurança e modulação superaram todos os obstáculos, por exemplo:

- As características topológicas das linhas de distribuição de energia elétrica (linhas abertas, de características não lineares, a existência de derivações ao longo de toda a linha, os transformadores, etc.);
- Existência de ruídos e interferências não previsíveis, causadas pela abertura e fechamento de circuitos, aparelhos conectados às tomadas, etc.;
- Problemas de segurança de dados pelo compartilhamento dos mesmos circuitos entre diversos consumidores;
- Irradiações das frequências transmitidas em linhas abertas, sem nenhum tipo de blindagem, com um enorme potencial de interferência com sistemas que operam na mesma frequência, em bandas licenciadas ou não, no espaço aberto.

A técnica de modulação deve permitir a superação destas restrições. As técnicas em geral utilizadas nos sistemas Broadband PLC são: QPSK, QAM, OFDM e Wavelet (sendo que as duas ultimas são as normatizadas pela IEEE 1901).

### 3.2. Arquitetura do Protocolo PLC

A arquitetura PLC, assim como outras tecnologias que necessitam trocar informações, é baseada no Modelo OSI e trabalha nas camadas Física e de Enlace de acordo com a Figura 1.

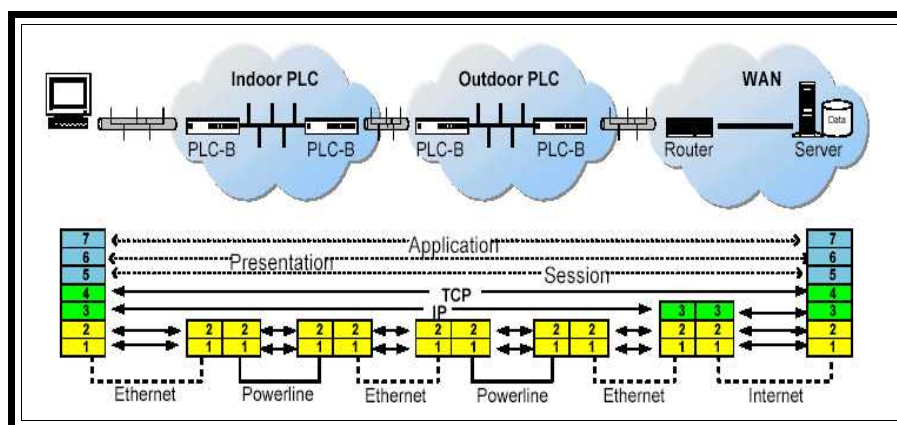


Figura 1: Transparência do Protocolo PLC perante o protocolo TCP/IP  
Fonte: Ascom - Telecom. <http://www.ascom.com>

O sistema PLC é transparente em relação ao protocolo TCP/IP como verificado na Figura 2, em que a estação (Master Node) terá a mesma configuração do modem remoto (Slave Node):

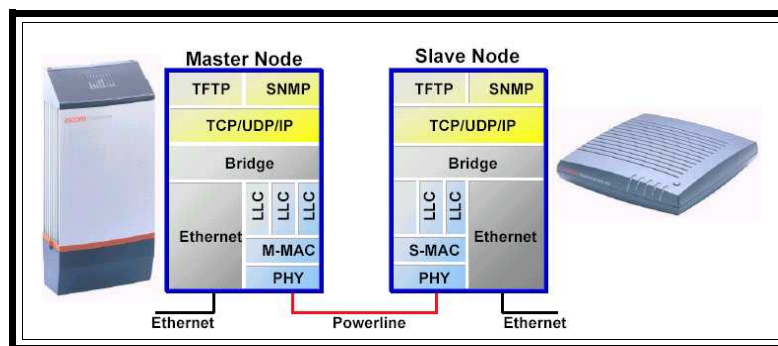


Figura 2: Arquitetura de Protocolo de uma ligação PLC  
Fonte: Ascom - Telecom. <http://www.ascom.com>

### **3.3. A Estrutura da Tecnologia PLC**

A tecnologia PLC é capaz de transmitir sinais de dados e voz pela rede convencional de distribuição de energia, usando sinais de alta e de baixa frequência. Os sinais de alta frequência não conseguem ultrapassar os transformadores nem os bancos de capacitores, por isso é necessário a utilização de dispositivos externos, que fazem o tratamento dos sinais de dados e voz na baixa tensão (secundário) do sistema elétrico de distribuição, onde serão entregues nas residências, condomínios e empresas atuando deste modo como última milha.

Nesses ambientes, é necessário o uso de um modem externo (filtro), usando interfaces convencionais como o padrão de rede de conexão local Ethernet ou USB (Universal Serial Bus) interface que liga o computador a outros dispositivos periféricos. Estes modems filtram os sinais de dados e voz e, distribuem estes sinais para os vários dispositivos locais, como computadores, telefones, aparelhos de fax e etc., de acordo com a aplicação.

Os sistemas PLC podem ser classificados como Indoor ou Outdoor e como Banda Estreita (Narrow Band) ou o sistema para fornecimento do serviço de comunicação de dados de banda larga (Broad Band) também pode ser utilizado para fornecer comunicações das estações regionais das concessionárias para outras estações, diminuindo custos com telefonia e banda larga.

O sistema de comunicação de dados via PLC-banda larga, pode servir como parte do controle e sistema de monitoração de uma rede elétrica e terá menor custo quando utilizada a sub-tecnologia conhecida como PLC-Banda Estreita.

No sentido da tecnologia PLC fornecer comunicações de dados via banda larga para as estações de uma concessionária de energia alguns elementos podem ser necessários, como elementos de bloqueio para que sejam anulados os problemas de interferências em hubs (multiplicador de pontos de conexão) e repetidores RF (sinais de rádio frequência) para aumentar os níveis do sinal.

O sistema PLC-Banda Estreita não requer modificações na rede de distribuição, não necessita de equipamentos adicionais para acondicionamento do transformador de distribuição. A comunicação não é afetada por equipamentos ou condições anormais que possam existir na rede de distribuição elétrica, tais como banco de capacitores, transações da rede aérea para subterrânea e vice versa, quedas de tensão e harmônicos. Não existem pontos cegos para o sistema, que poderiam ser causados por fenômenos de ondas estacionárias geradas pela extensão do alimentador elétrico ou por sua configuração.

O sistema PLC é composto por um equipamento denominado MASTER instalado em um ponto próximo ao transformador de energia elétrica, a partir do qual o sinal é injetado nos cabos da instalação elétrica. Assim o sinal PLC fica disponível em toda a estrutura elétrica ligada ao circuito desse transformador fazendo com que qualquer tomada de energia se transforme num ponto da rede PLC. Na outra ponta do sistema um modem PLC é conectado a uma tomada de energia para receber o sinal transmitido pelo MASTER, é esse modem que faz a decodificação dos sinais elétricos em sinais de informação.

Existem dois tipos de sistema PLC, a primeira é a interior (INDOOR), em que a transmissão é conduzida usando a rede elétrica interna de um condomínio, empresa ou casa. A segunda é o exterior (OUTDOOR), onde a transmissão é conduzida usando a rede pública exterior de energia elétrica.

### **3.4. Topologia PLC**

O PLC Outdoor como é conhecido faz uso da infraestrutura já existente da rede de distribuição elétrica da concessionária de energia, as linhas de transmissão utilizadas neste contexto são as linhas de média tensão (MT) e baixa tensão (BT), conforme figura 3 podemos ter uma visão da topologia PLOC.

Podemos observar que, por meio da subestação de distribuição de energia chegará através de um Provedor de Internet (ISP – Internet Service Provider) o sinal de dados, proveniente de diversas infraestruturas e tecnologias (SDH, ATM, Metro Ethernet, Wireless entre outras), sendo este sinal de dados entregue ao equipamento MASTER PLC, que irá fazer a modulação e posteriormente injetá-lo nas linhas de transmissão de média tensão, que por sua vez irá seguir até as regiões dos consumidores. Durante o percurso poderão ocorrer atenuações e interferências no sinal de dados, esses efeitos serão contornados através da aplicação de REPETIDORES PLC que irão atuar na intensidade do sinal até a região de distribuição, tais como, centros urbanos, área rural, indústrias, pequenos vilarejos entre outros. Dependendo da infraestrutura o sinal de dados será recebido e distribuído por outro equipamento MASTER PLC sendo este encarregado de enviar o sinal PLC aos consumidores que utilizarão MODEMS PLC, que por sua vez, irão separar o sinal de dados da rede

elétrica como veremos mais adiante. Como uma opção do modelo PLOC analisado na figura 3, o provedor de internet fornecerá a internet até os transformadores instalados nos postes próximos ao consumidor, onde o MASTER PLC irá efetuar a transferência do sinal dados para a rede elétrica de baixa tensão, que será discutido no tópico PLIC.

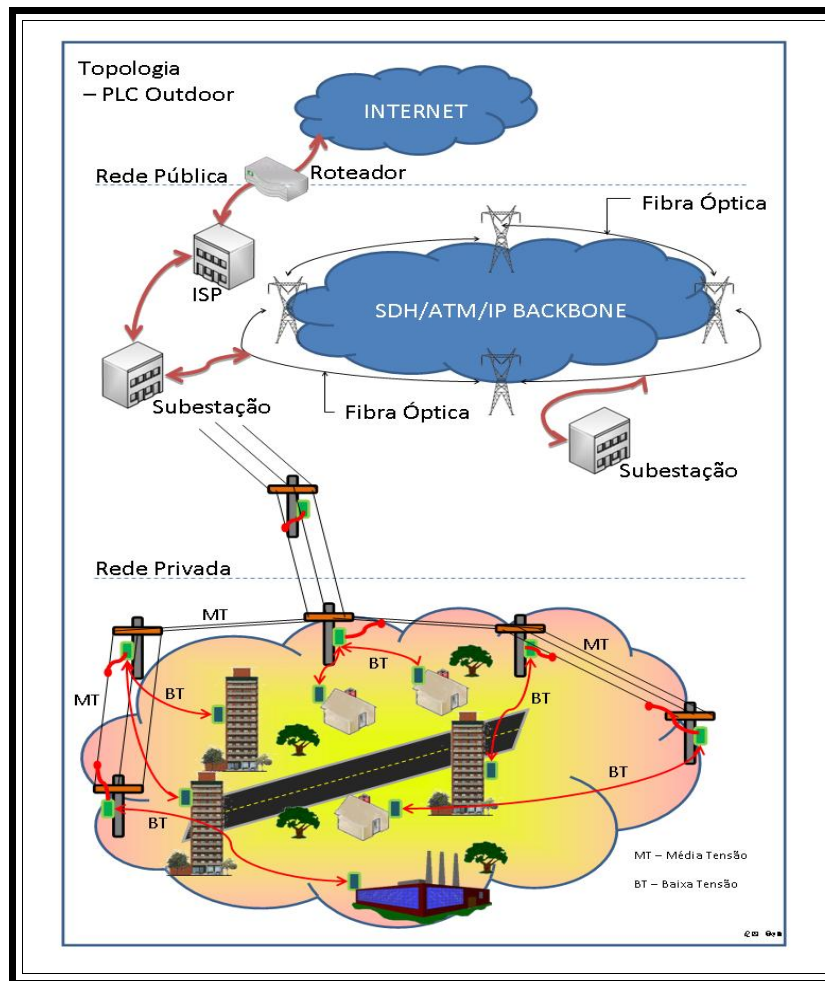


Figura 3:Topologia – PLC

Neste modelo de topologia podemos observar que existe uma variedade de obstáculos a serem enfrentados pela tecnologia PLC, começando na subestação de distribuição de energia elétrica, que pode se encontrar a longas distâncias do Provedor de internet exigindo uma infraestrutura adicional para que o sinal de dados chegue até ela. Outro ponto convergente é as longas distâncias que as linhas de distribuição de

energia elétrica poderão percorrer da subestação até os consumidores da tecnologia PLC, neste intervalo em relação ao sinal de dados podem ocorrer atenuações e interferências que inviabilizarão a entrega do PLC até o consumidor, porém já existem meios de contornar este obstáculo que é a utilização de repetidores que atuarão na intensidade do sinal tornando as longas distâncias outro obstáculo superado.

Uma necessidade das operadoras de telecomunicações que fornecerão estes serviços sobre as redes de distribuição de energia é o gerenciamento dos sistemas PLC que estarão em sua responsabilidade, efetuando manutenções nos sistemas de toda a infraestrutura do PLC, avaliando a qualidade dos sinais de PLC, garantindo sua segurança, confiabilidade e oferta de serviços aos consumidores.

### **3.5. PLIC – Power Line Indoor Communications**

PLIC em que a transmissão é conduzida usando a rede elétrica interna de um condomínio, empresa ou residência. Nesse local é instalado um equipamento switch que converte o sinal óptico em uma saída UTP (cabo de par trançado). Esse cabo é então conectado a um equipamento denominado MASTER instalado na Caixa de Distribuição, que se acopla aos ramais de carga dos medidores, assim o sinal PLC fica disponível em toda a estrutura elétrica ligada ao circuito desse transformador fazendo com que qualquer tomada de energia se transforme num ponto da rede PLC. Na outra ponta do sistema, um modem PLC é conectado a uma tomada elétrica para receber o sinal transmitido pelo MASTER. É esse modem que faz a decodificação dos sinais elétricos em sinais de informação.



Uma típica configuração In-building é apresentada na Figura 4 a seguir:

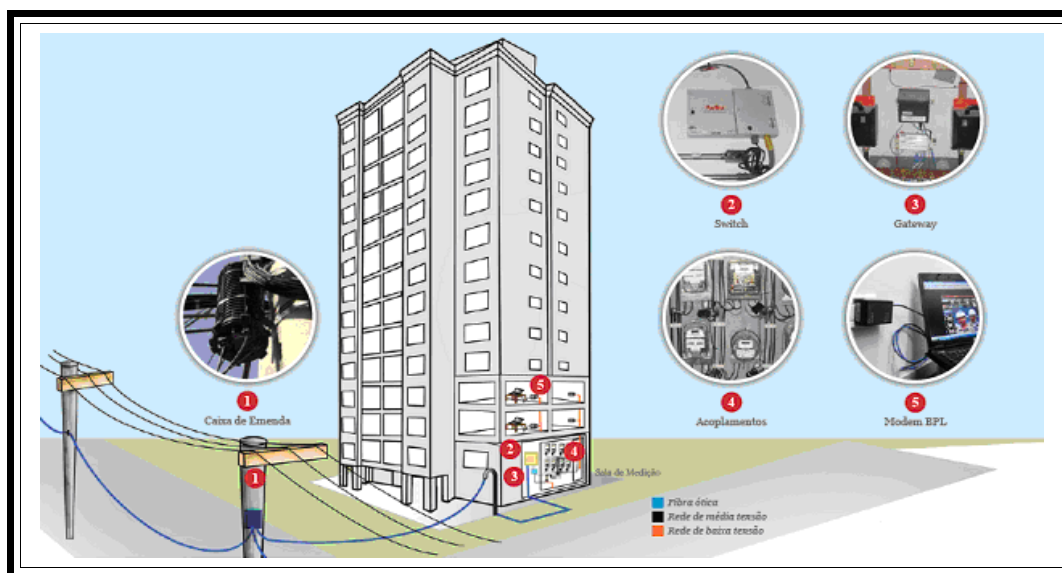


Figura 4: Solução PLC In-building  
Fonte: Eletropaulo Telecom

Legenda Figura 4:	
01	Caixa de emenda
02	Switch
03	Gateway
04	Acoplamento
05	Modem PLC

Tabela 3: Tabela figura In-Building

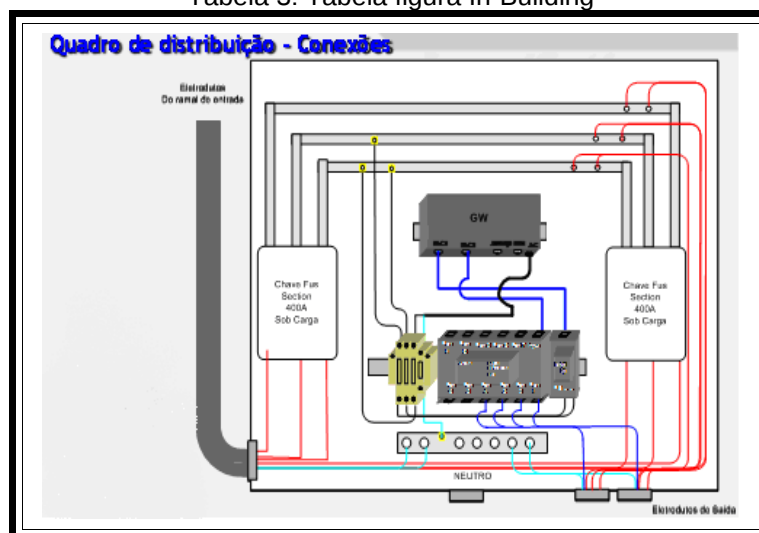


Figura 5: Quadro de distribuição.  
Fonte: Eletropaulo Telecom

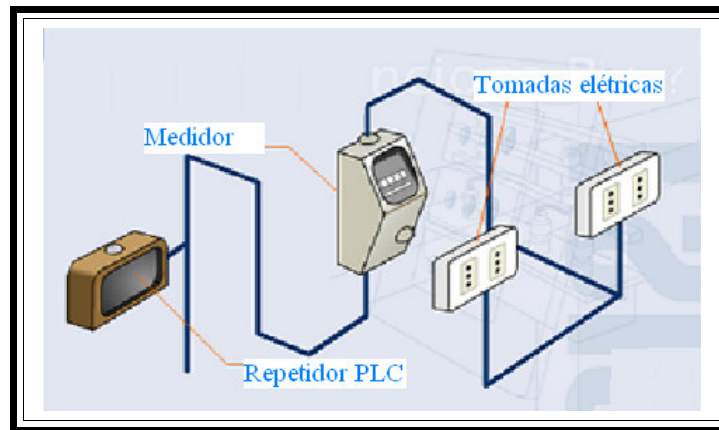


Figura 6: Esquema de distribuição.  
Fonte: Eletropaulo Telecom

### 3.6. PLOC – Power Line Outdoor Communications

O sistema PLC outdoor é composto por um equipamento denominado MASTER instalado em um ponto próximo ao transformador de energia elétrica, a partir do qual o sinal é injetado nos cabos secundários da rede de distribuição elétrica, atingindo o barramento de entrada do edifício. Na caixa de distribuição é instalado um REPETIDOR que se acopla aos ramais de carga dos medidores, assim o sinal PLC fica disponível em toda a estrutura elétrica ligada ao circuito desse transformador fazendo com que qualquer tomada de energia se transforme num ponto da rede PLC. Na outra ponta do sistema, um modem PLC é conectado a uma tomada elétrica para receber o sinal transmitido pelo REPETIDOR. É esse modem que faz a decodificação dos sinais elétricos em sinais de informação. A figura 7 é um esquema da solução outdoor.

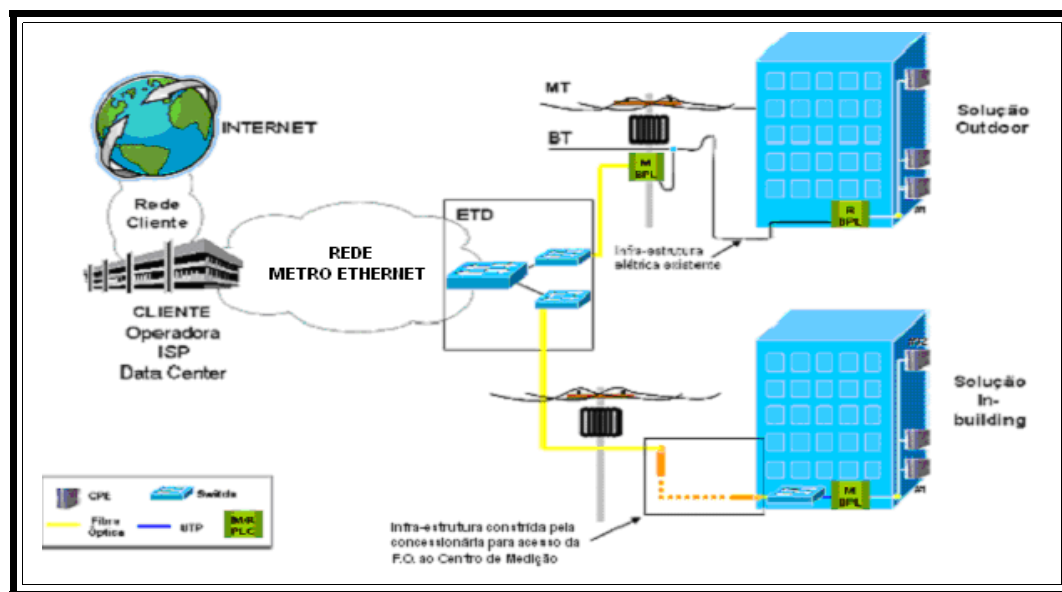


Figura 7: Esquema de configuração do PLC outdoor  
Fonte: Eletropaulo Telecom

Também distinguimos o PLC pela sua velocidade e largura de banda. Para compreender as aplicações utilizadas com a PLC é necessário conhecer detalhes aprofundados da tecnologia PLC. Ela se divide em duas tecnologias:

**Banda Larga** - altas frequências: oferta de serviços (dados multimídia, voz, banda larga, internet, etc.).

**Banda Estreita** - baixas frequências: supervisão e monitoramento da rede elétrica.

### 3.6.1. PLC Banda Larga

O PLC Banda Larga é um sistema de comunicação para prover serviços de banda larga (voz, dados, multimídia, vídeo e etc.), utilizando o cabeamento de alta tensão do sistema elétrico existente que pertence às concessionárias de energia elétrica.

O campo de aplicação do PLC é o fornecimento de serviços de banda larga usando um ou mais cabos de energia da rede de distribuição, enquanto simultaneamente é fornecida energia elétrica.

Um sinal RF de Rádio frequência no primeiro ponto é modulado com o sinal de dados e inserido na rede de distribuição, que serve como um canal de transmissão. No segundo ponto o sinal de rádio frequência é recuperado da rede de energia com um demodulador recuperando o sinal modulado para o sinal de dados original. Os dados são enviados do segundo ponto para o primeiro de forma similar, apenas mudando a frequência da banda. (MAJUMDER, 2004).

Este serviço de banda larga full-duplex (comunicação bidirecional simultânea) entre duas localidades supre várias necessidades como, serviço de telefonia, serviço de TV a cabo, Internet e outros serviços que necessitam de alta velocidade de transferência de dados.

A rede de energia elétrica é formada por geradores, transformadores, linhas de transmissão e outros componentes. A Figura 8 ilustra a rede de distribuição de energia (100), sendo uma infra-estrutura necessária para fornecer transferência de dados em alta-velocidade.

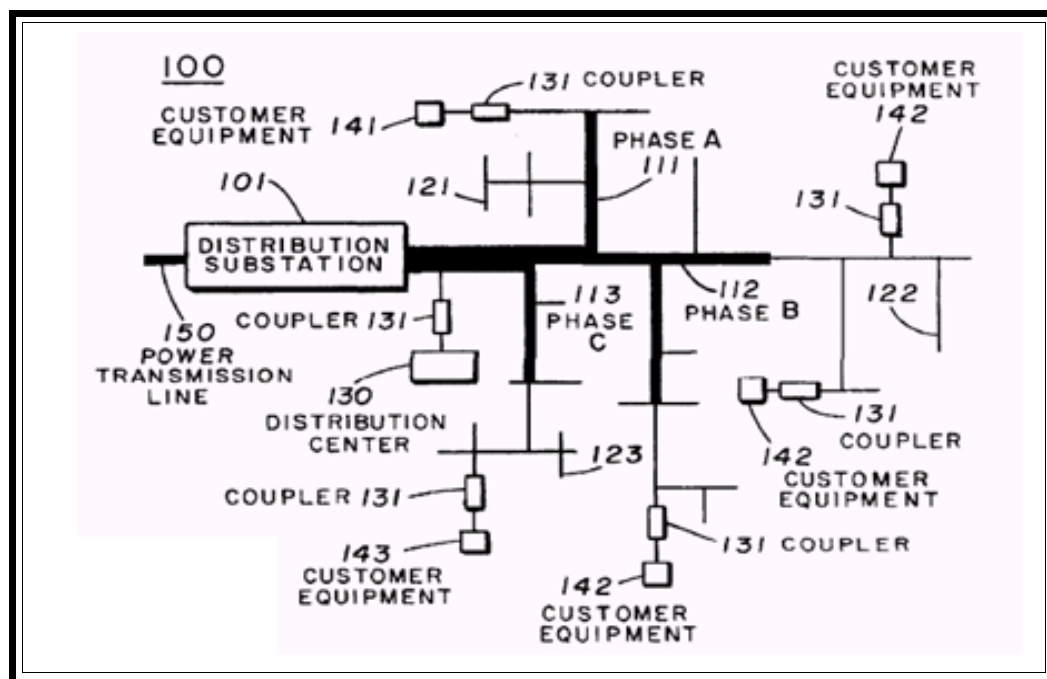


Figura 8: Diagrama 100

Sistema de transmissão de dados para fornecer serviços de comunicação sob uma rede de distribuição de energia.

Fonte: United States Patent - N°6,040,759

A subestação de distribuição (101) fornece tensões aos cabos de energia onde cada cabo fornece energia elétrica para um universo de 500 até 1500 clientes. A distribuição de energia é realizada por três fases com cerca de 7,2 kV AC. A subestação de distribuição recebe energia em alta-tensão, desde 25 kV até 138 kV, que vem das linhas de transmissão. Cada uma das três fases A, B e C respectivamente são designadas pelos cabos de alta tensão (111), (112), (113). Cada uma das três fases fornece energia aos clientes. Por exemplo, fase A fornece energia elétrica ao cliente localizado em (121), a fase B ao cliente localizado em (122), e a fase C ao cliente localizado em (123). Os clientes (121), (122), e (123), não necessitam de uma infraestrutura adicional para dispor de uma rede de alta velocidade de dados. E os consumidores ligados a partir do secundário do transformador, são abastecidos com níveis de tensão de 127V (fase e neutro) e 220V (fase - fase).

A rede de distribuição de energia pode fornecer serviços de comunicação de dados em alta velocidade com a instalação de um equipamento de dados no centro de distribuição (130) e o equipamento de dados do cliente (141), (142), e (143) localizados no cliente. O equipamento de dados do centro de distribuição e o equipamento de dados do cliente são conectados aos cabos de alta tensão usando o conector (131).

Os centros de distribuição recebem os meios de comunicação, tais como sinais analógicos de TV, sinais de TV digitalizados, sinais telefônicos, protocolo de dados de internet, e outros sinais de dados de alta velocidade fornecidos por empresas de telefonia, empresas de TV a cabo, provedores de internet, provedores de vídeo conferência, e outros provedores. O equipamento de distribuição de dados, que é chamado de Master, recebe dados das fontes multimídia de informação nas conexões como as redes de conexões usando pares trançados, cabos coaxiais, cabos de fibras ópticas, links de RF wireless, ou link via satélite. Além disso, o equipamento de distribuição de dados no distribuidor central (130) pode receber informação multimídia dos provedores de serviço.

Os provedores de serviços poderiam fornecer serviços sob o cabo de alta tensão (111) para o cliente. Por exemplo, o cliente solicitando uma conexão de alta velocidade de transmissão de dados como, um serviço de vídeo conferência através do equipamento distribuidor de dados localizado no centro de distribuição (130). Sob o pedido de recepção do equipamento, a distribuição de dados deve requerer um processo baseado em um protocolo predeterminado, e enviar a informação para o provedor de serviços adequado. O equipamento de distribuição de dados (130) deverá

estabelecer a conexão dos serviços. Detalhes do sistema de comunicação estão ilustrados na Figura 9 e serão descritos posteriormente.

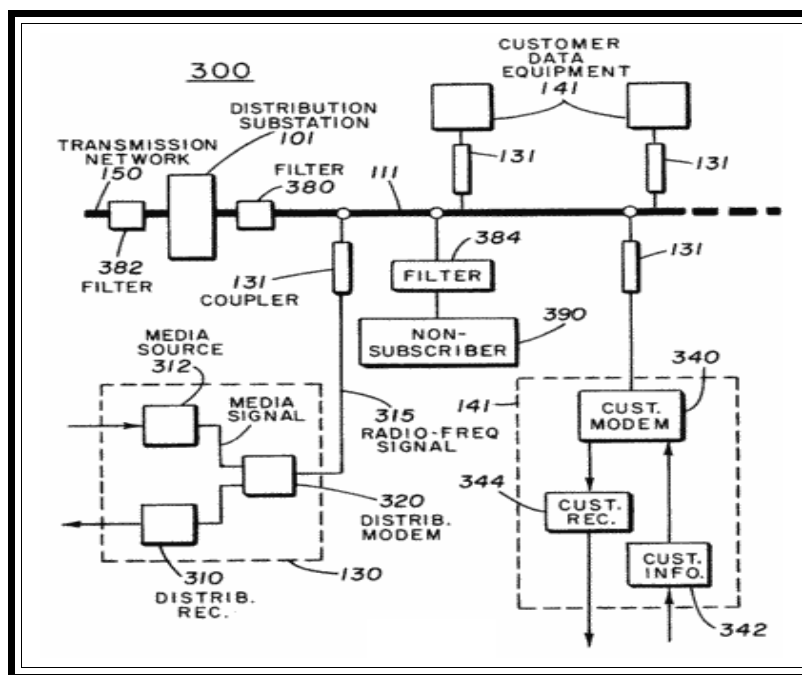


Figura 9: Diagrama 300

Detalhes da comunicação de dados para fornecer serviços de comunicação sob os cabos de energia da rede de distribuição.

Fonte: United States Patent - N°6,040,759

A Figura 9, ilustra o sistema de comunicação multimídia. Este sistema fornece transferência de vídeos, telefonia ou serviços de transferências de dados entre clientes locais e o centro de distribuição (130). Quando a variedade de serviços é recebida da media source (fonte de mídia) (312) a media signal (sinal de mídia) (314) contem informações de vários provedores de serviço. No caso da comunicação digital de dados da media source é considerado a fonte dos dados download para transferência para os clientes locais. O media signal pode conter os dados correntes e um sinal analógico e é enviado ao modem de distribuição (320).

O modem de distribuição modula os dados correntes e converte o sinal analógico em uma frequência diferente de banda, além disso, gerando um sinal RF (315). O sinal RF é então enviado ao cabo de alta tensão (111) utilizando um acoplador (131). O sinal RF é enviado através do cabo de alta tensão e é acoplado, usando outro acoplador (131), ao equipamento do cliente (141).

O modem do cliente (340) demodula o sinal RF e envia o sinal demodulado ao customer receiver (receptor do cliente) (344). O equipamento do cliente possui um customer information source (fonte de informações do cliente), (342) acoplada ao modem do cliente, para encaminhar informação ao centro de distribuição (130). O customer information (informação do cliente) inclui e-mail, vídeo, telefone, requisitos para programas da media source, e informação para outros serviços.

O sinal RF (315) conectado no cabo de alta tensão (111) trafega até a subestação (101) e o equipamento do cliente (141). Para captar o sinal RF vindo da rede elétrica proveniente da subestação de distribuição (101) o filtro (380) insere o sinal entre o nó de acoplamento (330) e da subestação de distribuição, embora os equipamentos dos sistemas de energia suprirem o sinal de RF. A transmissão pelo filtro (382) coloca no outro lado da subestação de distribuição serviços diferentes do sistema multimídia de comunicação tendo outros tipos de sinais de interferência.

Além disso, pode ser necessário para elevar a impedância vista pelo sinal de RF em direção a subestação de distribuição (101) para o melhor acoplamento e para ser transmitido o downstream pelo cabo de alta tensão (111).



A carga dos circuitos não se relaciona com o sinal de comunicações, assim como o banco de capacitores ou as conexões de energia do cliente não recebem as conexões de comunicação como nas fases (121), (122) e (123) da figura 9. Os circuitos de distribuição necessitam de isolamento para melhorar a transmissão entre o cabo e o não assinante dos sinais RF pelo cabo de alta tensão.

Um exemplo do arranjo da isolamento RF no (390), é mostrado na figura 9. O filtro (384) é acoplado ao cabo de alta tensão (111) para ajudar a direcionar a potência do sinal RF para o cliente assinante. O dispositivo de isolamento adicional de potência é colocado no condutor abaixo das conexões do condutor neutro a fim de melhorar a transmissão de RF.

O terminal do cliente (141), (142), (143) da figura 8, também provê dados upload para permitir ao cliente requisitar serviços, como, vídeo sob demanda. Os dados upload são acoplados no modem remoto onde geram modulações de sinal RF. O sinal RF upload é enviado pelo cabo de alta tensão em direção ao modem de distribuição.

Após a chegada do sinal RF upload ao modem de distribuição, o modem de distribuição demodula este sinal gerando dados upload para o centro de distribuição. Os dados upload podem conter informações requisitadas pelo centro de distribuição ou podem conter a recepção de serviços, como o serviço telefônico ou assinatura de TV a cabo. Pode conter informações como, e-mails, arquivos transferidos ou vias da comunicação full-duplex (dupla via)

A Figura 10 é um gráfico que ilustra a alta frequência utilizada pelo sistema de transmissão PLC-Banda Larga.

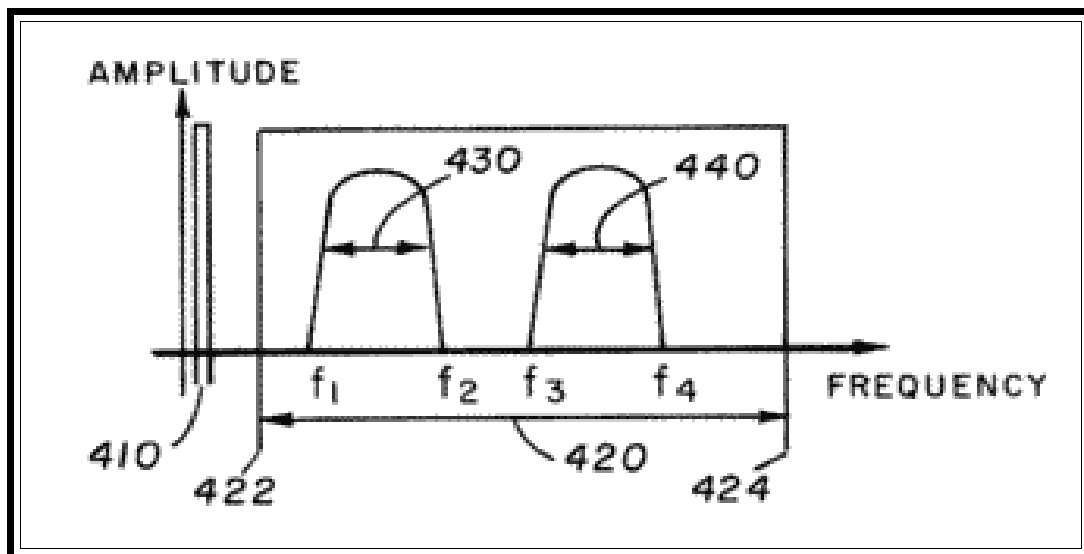


Figura 10: Demonstração da frequência PLC-Banda Larga.  
Fonte: United States Patent - N°6,040,759

A banda de RF (420) utiliza frequências de aproximadamente 1.0 MHz (422), até 1000 MHz (424). A parte da banda RF (430), é utilizada para dados upload e outra parte (440), para dados download. Em sistema multimídia de comunicação, aplicado a um circuito de distribuição elétrica, a banda de frequência varia de aproximadamente 15 MHz ( $f_1$ ) a 50 MHz ( $f_2$ ) e tem sido utilizada para transferências de dados upload e a banda de frequência de 50 MHz ( $f_3$ ) a 88 MHz ( $f_4$ ) é utilizada para transferências de dados download.

Baseado em medições das relações de sinal ruído em vários pontos dos cabos de alta tensão determinou-se que os dados poderiam ser transferidos acima de 0,8 bits/hertz. Esta indicação, por exemplo, informa que acima de 2Mbps poderiam ser transferidos dados em cada direção dos cabos. A velocidade de 2Mbps é uma velocidade bastante utilizada e mostra o potencial competitivo para PLC-Banda Larga.

O sistema de comunicação pode usar informações sobre características de medidas do canal do equipamento de distribuição de dados e o equipamento de dados do cliente para selecionar dinamicamente os melhores canais de RF para usar em um determinado grupo de serviços.

A multiplexação por divisão de frequência FDM (Frequency Division Multiplexing) é utilizada pelo centro de distribuição para combinar os sinais do modem, com o intuito de ser utilizado para comunicações Download, e o sinal RF resultante é então enviado ao cabo de alta frequência. As informações defeituosas do canal armazenadas no equipamento de distribuição de dados podem ser utilizadas para selecionar melhores bandas de frequência para transferir tanto o sinal RF upload quanto o sinal RF download.

Os modems utilizados para a tecnologia ADSL são utilizados em pares trançados similares aos cabos de alta tensão (111). Por exemplo, modem ADSL exibe imunidade inerente às fontes de ruídos que são comuns nos modem PLC - Banda Larga.

Quando o dado é transferido através do cabo de alta tensão, muitos bits são somados aos dados para ser efetuada a correção de erros FEC (Forward Error Correction – Correção adiantada de erros). As técnicas de FEC são bem conhecidas para aqueles que trabalham no campo de comunicações de dados. Modems utilizando modulação QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – técnica de modulação que utiliza parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação transmitida), podem ser utilizados para uma conexão full-duplex. Quanto aos modems que utilizam a modulação QPSK, estes ocupam em torno de 2MHz da banda larga

disponível e garantem o fornecimento de dados, acima de 2Mbps em cada canal. A figura 11 ilustra o sistema de comunicação de dados utilizando três cabos de alta tensão de uma rede de distribuição de energia servindo como canal de comunicação para dados em alta velocidade

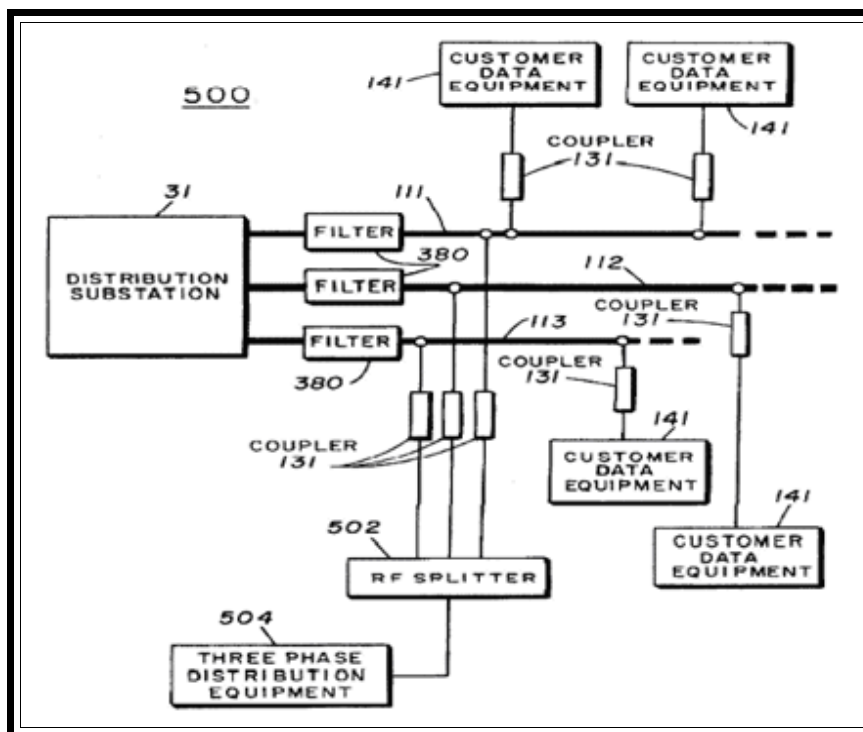


Figura 11: Diagrama 500

Ilustração das três fases de sistema de distribuição de energia para fornecer serviços de comunicação.  
Fonte: United States Patent - N°6,040,759

Um modem de distribuição em um sistema de distribuição de três fases (504) é conectado ao RF splitter (502). O sinal RF do modem de distribuição é dividido em três sinais de mesma potência e transferido aos três cabos de alta tensão para fase A, fase B, e fase C, ou respectivamente na porta A, porta B, e porta C. O sinal RF download, pode então ser recebido pelos clientes em cada um dos três cabos de alta tensão pela fase A, fase B e pela fase C no modem remoto. Portanto há sinal de dados em cada fase. No próximo passo o sinal é encaminhado a um splitter (filtro de altas frequências),

que é responsável por dividir as frequências desejadas, e assim um sinal filtrado é encaminhado ao Modem do usuário.

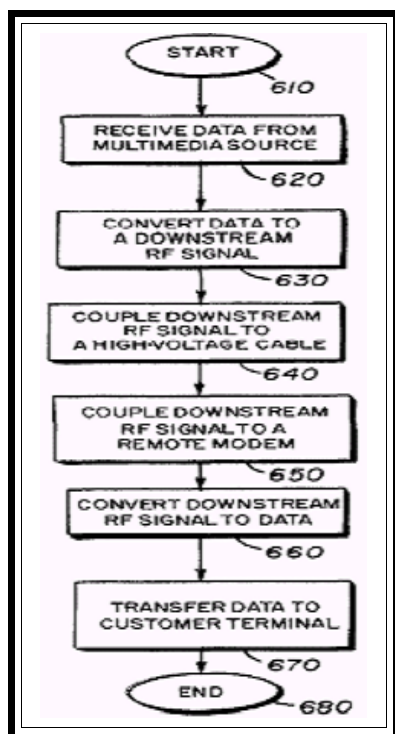


Figura 12: Fluxograma para o envio de dados download.  
Fontes: United States Patent - N°6,040,759

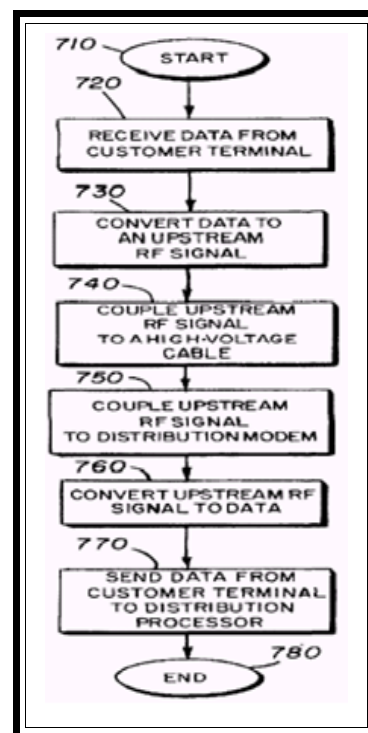


Figura 13: Fluxograma para o envio de dados upload  
Fontes: United States Patent - N°6,040,759

As figuras 12 e 13 são fluxogramas que demonstram os métodos para transferência de dados para um cliente final, e vice-versa, onde um cabo de alta tensão seria o canal de comunicação.

Primeiro no nível (610), a distribuição de modem recebe dados multimídia, e então converte os dados em um sinal RF download, no nível (620). Um acoplador, então, envia o sinal RF download a um cabo de alta tensão, no nível (630). Numa locação do cliente, um acoplador acopla o sinal RF download a um modem remoto, no nível (640). O sinal RF download é então

convertido em dados, no nível (650). Os dados são então transferidos ao cliente final, no nível (660). E, posteriormente, processados pelo cliente final e dirigidos a um serviço de aplicação no cliente.

Quando a informação é transferida da locação do cliente a um centro de distribuição, o método de transferência como mostrado na figura 13, começa quando um modem remoto recebe dados de um cliente final, nível (710). Então os dados são convertidos pelo modem em um sinal RF upload, no nível (720). O sinal RF upload é então acoplado de um modem remoto a um cabo de alta tensão, nível (730).

Depois o sinal RF upload do cliente é enviado ao centro de distribuição, o sinal RF upload é acoplado ao modem de distribuição, nível (740). O modem de distribuição então converte o sinal RF upload em dados, nível (750). Os dados contidos no sinal RF upload é então enviado ao equipamento de distribuição de dados para processar como um sinal do cliente.

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

### 3.6.1.1. Acoplamento ao cabo de alta tensão

Um sistema elétrico de potência é composto por geradores, transformadores, linhas de distribuição, entre outros componentes. As linhas de distribuição são partes da rede de distribuição de energia que fornece energia aos clientes.

Na Figura 14, a rede de transmissão (1100), fornece a transmissão de tensão, usualmente 88 kV, ao transformador de (1105) na subestação de distribuição (1110), para converter e transmitir tensão padrão, tipicamente de 4 a 15 kV. Este caso segue um exemplo, pois o mesmo é diferente do padrão brasileiro.

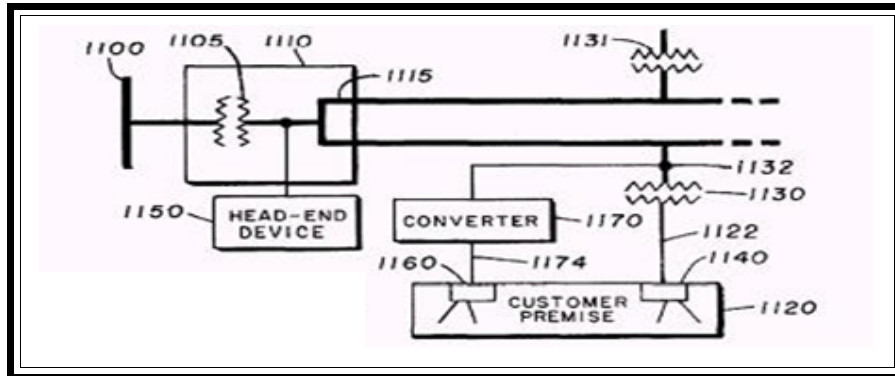


Figura 14: Esquemático da rede de distribuição de energia e o sistema do cliente.

Fonte: United States Patent - N°6,040,759

A tensão elétrica é então distribuída sobre cabos de distribuição (1115) para um cliente (1120). As linhas de distribuição são formadas tipicamente por três fases do sistema alimentação. Cada fase da linha de distribuição tem tensão de distribuição de 127 Volts pelo transformador de distribuição (1130) para distribuir aos clientes. A ligação no cliente, normalmente é feita com três

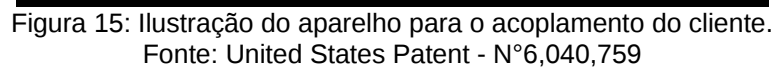
cabos de energia (1122). A linha de distribuição converge para um centro de distribuição e medição no cliente (1140). O centro de distribuição possui disjuntores e conexões para distribuição da energia elétrica na residência. O único uso da rede de distribuição elétrica, não havendo elementos adicionais, é para distribuir energia elétrica ao cliente.

Ainda com referência a figura 14, é demonstrado um head-end device (dispositivo terminal) (1150) acoplado a um gateway (concentrador utilizado como ponte de acesso) (1160) por um conversor (1170). O cabo conversor (1174) e o cabo de distribuição (1115) são elementos para o acoplamento. O cabo de conversão (1174) pode ser uma fibra óptica, um cabo coaxial, um cabo de par trançado ou condutores similares. O dispositivo final (1150) transmite e recebe sinais de RF do gateway (1160). Quando os sinais de RF são modulados com dados usando técnicas conhecidas, o terminal (1150) e o gateway (1160) servem como componentes de um sistema de banda larga interativo, conhecido como IBS.

Os aparelhos conectados dentro do cliente (1120) até a ponte (1160) podem ser um telefone, um computador, uma TV, um sistema de segurança, entre outros. Os tipos de serviços que podem ser providos para IBS são numerosos.

A Figura 15 ilustra a rede de distribuição tendo equipamentos adicionais para prover duas vias de transferência de dados de alta velocidade.





Na figura 15, o conversor (1170) serve para prover serviços de banda larga. O conversor é utilizado para transferir um sinal RF, tipicamente tendo frequência de 1 a 60 MHz em média, entre head-end device (1150) e o gateway (1160). A variação de frequências para os sinais RF pode ser em várias regiões em bandas de VHF e UHF. O cabo (1302) e o (1115) de distribuição, Fig.9, está acoplado a uma única fase do transformador de distribuição (1130). O transformador de distribuição fornece três cabos por residência usando os cabos (1122). O transformador é aterrado pelo terminal (1308) e acoplado a um cabo de aterramento (1309) por um cabo de cobre (1310). Esse ponto onde o cabo de aterramento (1309) e o cabo de aterramento do transformador (1310) são conectados é chamado de conector terra (1307).

O cabo de aterramento (1309) é fixado num suporte do poste (1311) e é conectado à haste de aterramento (1312) embaixo ao pé do poste. O ponto onde o cabo de aterramento (1309) e a haste de aterramento são conectados é chamado conector de aterramento (1313). Todos os elementos descritos acima são partes de uma típica ligação elétrica para fornecer eletricidade ao cliente (1120), Figura 14.

Também conectado ao cabo de alta tensão (1302) há um para raios (1314). O terminal de alta tensão do pára-raios (1315) está conectado ao cabo de alta tensão (1302) pelo cabo de cobre de derivação com o auxílio de um conector de cobre. O conector-terra do para raios (1316) é conectado ao conector-terra (1309) pelo condutor (1323). Um dispositivo de RF (1320) tem um terminal RF de saída (1321) acoplado ao conector-terra do pára-raios (1316).

Ainda da figura 15, vê-se que a conexão de RF (1322) do dispositivo de sinalização RF (1320) é ligada ao conector-terra (1307). O head-end device, que transmite o sinal RF, é acoplado ao dispositivo RF (1320) usando a impedância RF característica do pára-raios. Embora os pára-raios sejam colocados nos postes de energia para proteção das descargas atmosféricas, a capacidade destes pára-raios é suficiente para acoplar o sinal RF. A Figura 16 ilustra a estrutura para acoplar o dispositivo de RF (1320) no cabo de alta tensão (1302). O dispositivo de RF (1320) é compreendido pelo modem RF (1420) acoplado ao transformador RF (1410). A conexão do primeiro cabo

(1422) e a conexão do segundo cabo (1424) está conectados ao modem RF (1420) no enrolamento primário (1412) do transformador RF.

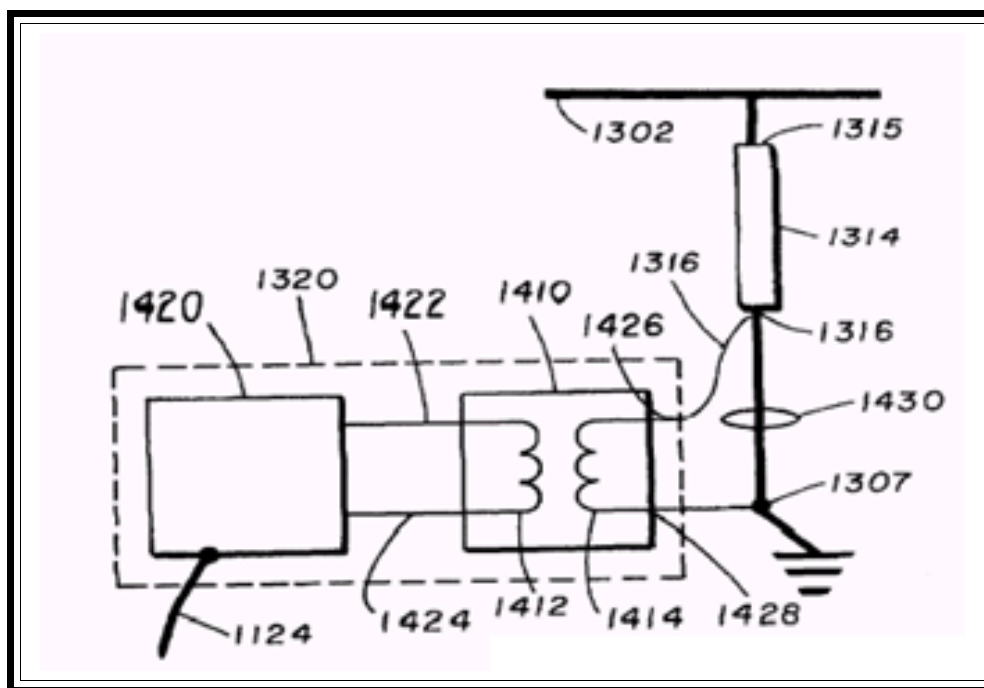


Figura 16: Ilustração detalhada da RF acoplada.  
Fonte: United States Patent - N°6,040,759

O enrolamento secundário (1414) do transformador RF (1410) tem um terminal de saída (1426) conectado ao terminal de aterramento do pára-raios (1316) e o outro terminal do secundário do transformador (1428) é conectado ao conector-terra (1307).

Para fazer o aumento da impedância RF no cabo terra (1309) entre o terminal de baixa tensão do pára-raios (1316) e do nó neutro (1307), o transdutor (1430) pode ser colocado ao redor do cabo terra.

O transformador RF serve como mecanismo de proteção, por fornecer uma alternativa para a descarga de tensão terra caso o cabo-terra (1309) esteja desconectado, o transformador fará o casamento de impedâncias.

Como o para raios (1314) é utilizado como um elemento no acoplamento dos equipamentos, o uso de um capacitor de alta tensão ou outro acoplador de alta tensão RF, pode ser adaptado, podendo substituir o pára-raios. Os acopladores RF passarão sinais de alta frequência, mas bloquearam os sinais de baixa frequência, portanto fornecerá isolamento a baixa frequência. Um circuito elétrico equivalente do arranjo de acoplamento da figura 12, é mostrado na Figura 13.

Devido à existência de uma grande impedância no cabo de distribuição (1302), causado pelos pára-raios a qualquer sinal normal de 60 Hz, acredita-se que este novo uso do pára-raios é único. Contudo acredita-se também que um pára-raios modificado poderia ser desenvolvido e teria serventia para duas utilidades, como um pára-raios e como um acoplador RF.

Tal pára-raios modificado resultaria em um novo elemento elétrico aperfeiçoado acoplando essas características, mas poderia ser fabricado ou manufaturado usando métodos similares aqueles utilizados na fabricação dos pára-raios existentes.

Devido ao fato dos equipamentos apresentados serem instalados nas redes de distribuição de energia existente, poderá ser necessária a adição de transdutores ou elementos similares para ajustar as impedâncias RF. Este

ajuste das impedâncias RF é necessário para obter um acoplamento RF satisfatório. Contudo, para receber sinais RF do head-end device (1150), da figura 14, o modem RF (1420), da figura 16, pode também transmitir um sinal de modem. O sinal de modem transmitido é acoplado através do transformador (1410), da figura 16, do para raios (1314), da figura 15, e do cabo de alta tensão (1302), da figura 14, ao head-end device (1150), da figura 16. O sinal de modem do cliente transmitido é utilizado para transferir informação ao head-end device (1150), figura 14. Devido ao conversor (1170), da figura 15, transferir sinais RF modulados com dados em ambas as direções a presente tecnologia pode ser utilizada para prover IBS.

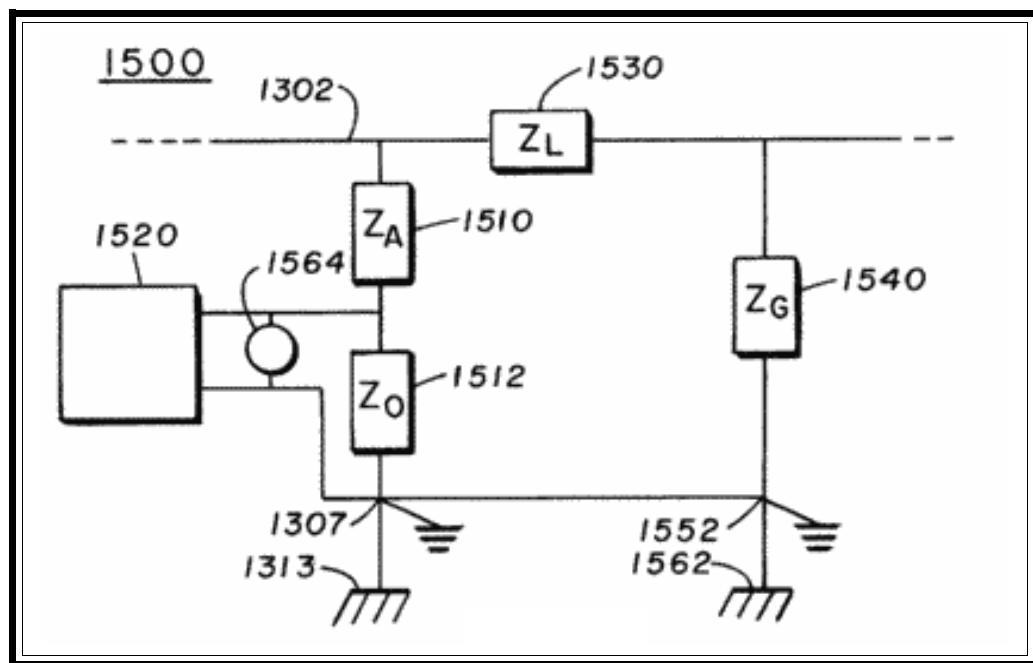


Figura 17: Circuito equivalente da RF acoplada  
Fonte: United States Patent - N°6,040,759

Na figura 17, um circuito equivalente (1500) é um circuito de acoplamento RF. Um modem RF (1520) é equivalente ao modem RF (1420),

Figura 16. A impedância de saída  $Z_o$  (1512) é a impedância entre o fundo do pára-raios e o conector-terra (1307). A impedância do pára-raios,  $Z_a$  (1510) é a impedância equivalente do pára-raios a um sinal RF. A impedância de linha,  $Z_l$  (1530) representa a impedância do cabo de distribuição (1302) ao sinal RF. Conectado de um lado da linha de impedância é a impedância de terra,  $Z_g$  (1540) representando a impedância RF de terra. Conector-terra (1307) é acoplado a um conector-terra remoto (1552). O conector de aterramento (1313) é acoplado a um conector de aterramento (1562) por uma haste de aterramento fincada na terra.

Uma descarga do tubo gás (1520) é colocada através de terminais do modem RF (1520) como um equipamento de segurança para prevenir uma falha no circuito, a descarga do tubo de gás age como um circuito aberto, a menos que apareça uma sobre tensão através dos terminais da impedância de saída (1512).

Quando na aproximação do sinal RF ao head-end device (1150), figura 14, é colocado num cabo de alta tensão (1302),  $Z_a$ , e  $Z_o$  serve como um divisor de tensão. Embora a porção do sinal RF no cabo de alta tensão seja acoplado ao modem RF (1520). Desde que somente uma pequena porção do sinal de entrada RF é recebida pelo modem RF (11520).

Quando o modem RF (1520) transmite um sinal de modem,  $Z_a$  e a combinação de  $Z_l$  e  $Z_g$  agem como um divisor de tensão para o modem transmissor de sinal e posteriormente para ser recebido head-end device

(1150). A impedância de saída,  $Z_o$ , (1512) serve como um ponto de impedância dirigida quando o modem RF transmite um sinal.

O circuito equivalente de  $Z_o$  a um sinal RF pode ser poucos micro-henry em série de 10 a 30 ohms. O circuito equivalente de  $Z_a$ , equivale impedância de 1 a 150 pF em paralelo com taxas de Mbps. A impedância equivalente de ambos  $Z_l$  e  $Z_g$  pode ter uma média muito ampla de valores, dependendo do comprimento da linha da locação e número das conexões de distribuição. Contudo, para ampliar variações na impedância do circuito equivalente devido à estrutura da distribuição da rede, condições ambientais, tais como temperatura e umidade podem também causar estas mudanças de impedâncias.

O circuito equivalente (1500) como ilustrados na figura 17, aplica-se a análise dos nós ou de malha em conjunção com equações de linhas de transmissão para determinar as características de transmissão do IBS.

### **3.6.2. PLC Banda Estreita**

Sistema de comunicação para fornecer serviços de automação das redes de distribuição das concessionárias, utilizando o cabeamento de alta tensão da infra-estrutura existente.

O sistema apresenta três módulos básicos que são:

- Equipamento da Central de Controle (ECC);
- Equipamento de Controle da Subestação (ECS);

- Equipamento de Comunicação Remota (ECR).

O sistema se comporta conforme Figura 17 abaixo:

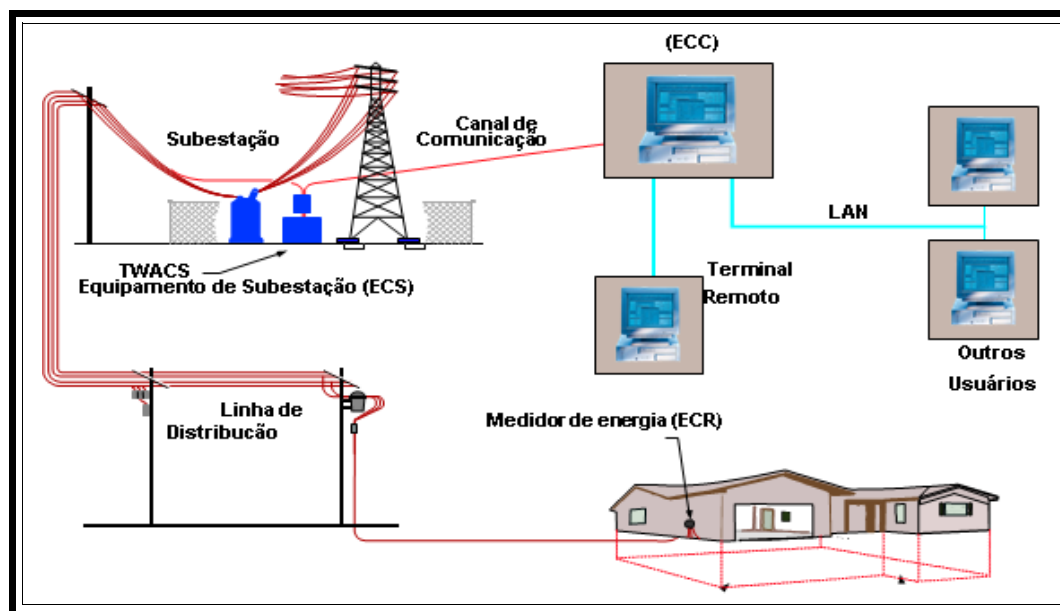


Figura 18: Arquitetura do sistema

Fonte: Nansen – Instrumentos de Precisão (<http://www.nansen.com.br>)

O ECC pode ser conectado ao ECS por qualquer tipo de rede de comunicação disponível normalmente por microondas, rádio ou rede telefônica. Este sistema utiliza apenas um ECS que fica na subestação e pode estabelecer comunicação com todos os consumidores e equipamentos. Esta comunicação com os medidores é feita por meio da própria rede de distribuição. Como terceiro nível do sistema, existe os medidores de energia com as unidades ECR interno ao medidor.

O equipamento da central de controle ECC é composto de um servidor de controle baseado em um computador e o software de gerenciamento, responsável pela gerência das ações de supervisão e controle. Toda a



estrutura está conectada à rede corporativa da concessionária, permitindo assim que sejam compartilhadas as informações com toda a empresa.

O equipamento de controle da subestação (ECS) é segundo nível do sistema, e está localizado na subestação da concessionária. Estes equipamentos são responsáveis por toda a parte de modulação para emissão de dados para os ECR's, bem como a parte de demodulação dos dados recebidos por eles. Está composta pelos seguintes equipamentos:



Figura 19: Unidade de Controle do Sinal  
Fonte: Nansen – Instrumentos de Precisão  
(<http://www.nansen.com.br>)

A Unidade de Controle de Sinal visto na figura 18 é a unidade que faz comunicação com a ECC. Possui toda a parte microprocessada dos equipamentos de subestação, onde se tem a parte de codificação e decodificação de informações da Central de Controle.

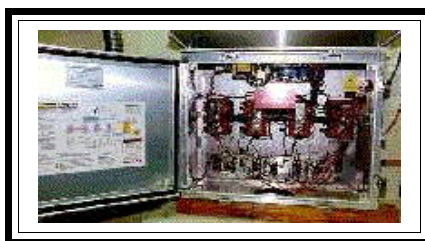


Figura 20: Unidade de Modulação do Sinal  
Fonte: Nansen – Instrumentos de Precisão  
<http://www.nansen.com.br>

Unidade de Modulação de sinal (Figura 19) recebe as informações do equipamento anterior, e faz a modulação com a portadora que a própria onda fundamental.



Figura 21: Transformador de Acoplamento  
Fonte: Nansen – Instrumentos de Precisão  
<http://www.nansen.com.br>

O transformador de Acoplamento da figura 20, recebe o sinal modulado na tensão de 480V e faz o acoplamento com a rede de distribuição (13.8KV, 23KV, média tensão). Para esta finalidade este equipamento é construído sob encomenda a partir dos dados de placa do transformador da subestação.

O terceiro nível da solução como visto na figura 21, é o equipamento chamado de ECR. Estes equipamentos são verdadeiros transponder's (equipamentos microprocessados responsáveis pela medição), que estão instalados no interior dos medidores e que efetuam a leitura do disco dos medidores. São placas microprocessadas com registradores internos para a função de faturamento.



Figura 22: ECRs instalados em uma Estação  
Fonte: Nansen – Instrumentos de Precisão  
<http://www.nansen.com.br>

Tal sistema apresenta comunicação bidirecional e o link de comunicação entre a Central de Controle e o equipamento de subestação utilizado pode ser linha telefônica, link de fibra óptica, wireless, etc.

Os equipamentos de subestação estão conectados em paralelo com o secundário do transformador da subestação, em consequência desta

configuração o equipamento de subestação pode ler todos os medidores que se encontram no circuito daquela barra.

Os equipamentos de comunicação remota ECRs que se encontram dentro do medidor e fazem leitura do disco, armazenando as informações em forma de pulsos, são equipamentos microprocessados que tem a função de ler e armazenar todas as informações necessárias para faturamento. Desta forma, o equipamento de subestação necessita fazer somente a leitura dos registradores totalizadores internos. Isto é importante porque reduz o tráfego de informações na rede, não necessitando de uma velocidade grande para comunicação.

Estes módulos ECRs, conectados a um módulo externo podem exercer as funções de corte e religamento dos consumidores. Os equipamentos de comunicação remota podem ter como funções:

- Automação do sistema de telemedição;
- Levantamento da curva de carga de consumo com intervalo de integração de uma hora e de 15 minutos;
- Registros de falta de energia com data e hora da ocorrência;
- Conexão e desconexão remota nos transponder's com módulos de corte e religamento;

- Controle de demanda com a retirada do consumidor da rede, de acordo com um consumo máximo pré-determinado;
- Tarifa diferenciada em até 6 horários pré-estabelecidos;

Monitoramento de tensão na rede, com até 8 registradores contendo data e hora da ocorrência - DIC (duração de interrupção individual por unidade consumidora) e FIC (frequência de interrupção individual por unidade consumidora).

#### **4. MODULAÇÃO**

Primeiramente, cabe definir o conceito de modulação. Modulação é o processo de transformar um sinal em uma forma adequada pra que ele seja

transmitido por determinado canal. Devido ao avanço das técnicas de modulação que a tecnologia PLC pode se desenvolver, pois havia a necessidade de se acoplar o sinal eletrônico ao canal da rede elétrica.

#### **4.1. Modulação QPSK**

A modulação QPSK é uma técnica de modulação derivada do PSK, porém neste caso, são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. Como agora são utilizados dois parâmetros, existem mais tipos possíveis de símbolos nesta constelação, o que permite que sejam transmitidos mais bits por símbolo. Por exemplo, se quisermos transmitir 2 bits por símbolo, ao invés de 1 bit por símbolo como no caso PSK acima, neste caso, como teremos 4 tipos de símbolos possíveis, a portadora pode assumir 4 valores de fase diferentes, cada um deles correspondendo a um dabit, como por exemplo 45°, 135°, 225° e 315°. A figura abaixo ilustra em um diagrama de fase e quadratura (IQ) os 4 possíveis símbolos gerados pela modulação QPSK usando 2 bits por símbolo.

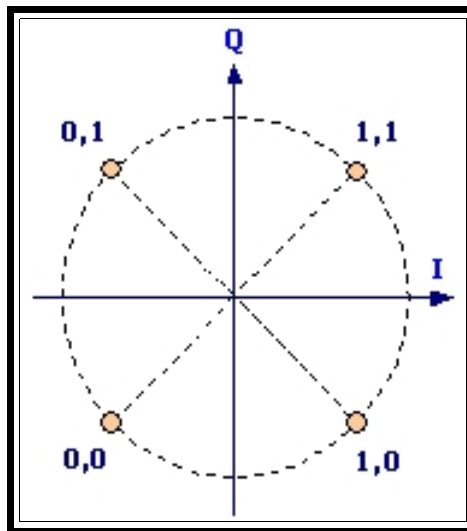


Figura 23: Modulação QPSK

## 4.2. Modulação QAM

Nesta forma de modulação, os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura, sendo que cada símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude, diferentemente da modulação PSK, na qual todos os símbolos estão à igual distância da origem. Isto significa que as informações são inseridas nos parâmetros de amplitude e quadratura da onda portadora.

No caso do 16 QAM, a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Podemos ter também, por exemplo, o modo 64 QAM, cuja constelação apresenta 64 símbolos, cada um deles representando 6 bits. A figura abaixo mostra as constelações geradas pelos dois modos QAM mencionados acima:

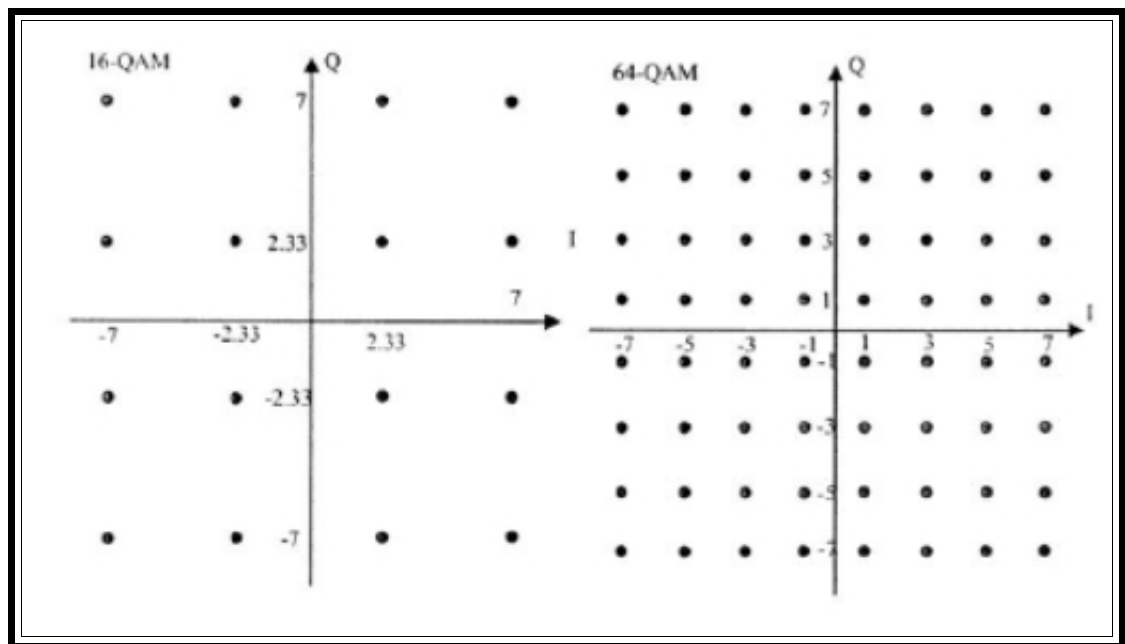


Figura 24: Modulação QAM

Pode-se notar que no modo 16QAM alcança-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16 QAM, a distância euclidiana entre os símbolos é maior do que no caso do modo 64QAM. Isto permite que o modo 16QAM possibilite uma melhor qualidade de serviço (QoS), pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo.

### 4.3. Modulação OFDM

**OFDM**, também conhecido como discrete multitone modulation (DMT), é uma técnica de modulação baseada na ideia de multiplexação por divisão de frequência (FDM) onde múltiplos sinais são enviados em diferentes frequências. Muitos são familiarizados com FDM pelo uso de aparelhos de rádio e televisão: normalmente, cada estação é associada a uma determinada



frequência (ou canal) e deve utilizá-la para realizar suas transmissões. OFDM parte deste conceito mas vai além, pois divide uma única transmissão em múltiplos sinais com menor ocupação espectral (dezenas ou milhares). Isto adicionado com o uso de técnicas avançadas de modulação em cada componente, resulta em um sinal com grande resistência à interferência.

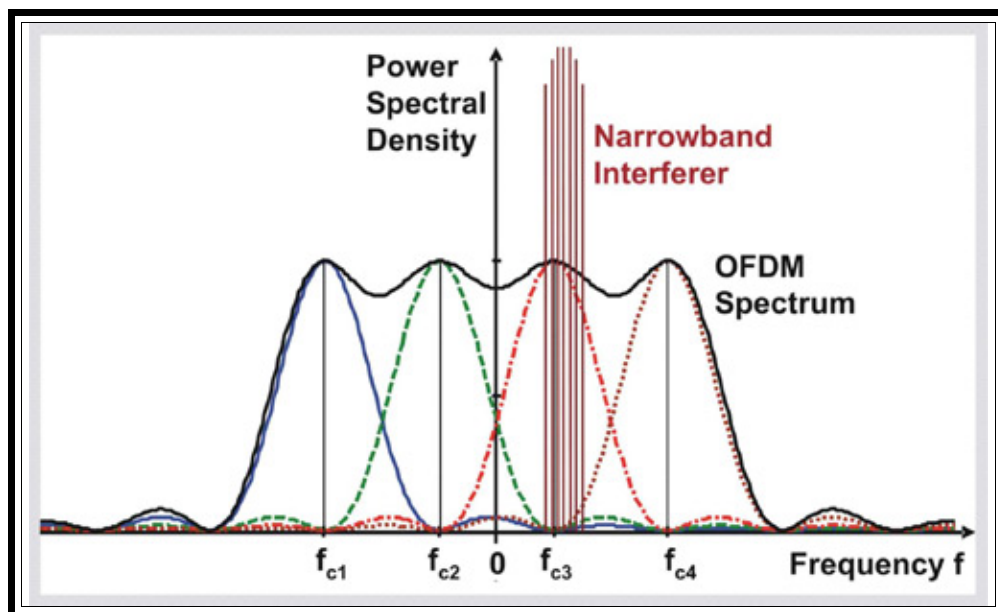


Figura 25: Modulação OFDM

Fonte: [http://www.iss.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/OFDM/OFDM\\_en.html](http://www.iss.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/OFDM/OFDM_en.html)

A figura 25 apresenta um modelo usado em termos de multibanda OFDM, no qual o espectro é separado em várias subportadoras. Onde são transmitidos fluxos de dados independentes em cada subportadoras.

A interferência de banda estreita é facilmente contornada através da retirada da subportadora comprometida, onde a banda estreita é persistente, no caso os dados são codificados através de todas as subportadoras. Isso é feito

no receptor, mas pode ser realizado adicionalmente no transmissor, a fim de poupar energia. Conforme tabela 4 o OFDM oferece um desempenho superior para Aplicações em PLC.

Eficiência Espectral	Robustez Contra Distorção do Canal	Robustez Contra Ruído Impulsivo	Capacidade de adaptar a mudanças no canal	Compatibilidade Eletromagnética – EMC	Custos de Implementação
Boa	Excelente	Razoável	Excelente	Boa	Razoável

Tabela 4:OFDM – aplicado no PLC

OFDM é quase sempre utilizado juntamente com codificação de canal (técnica de correção de erro), resultando no chamado COFDM.

É uma tecnologia de alto grau de complexidade em sua implementação, mas é amplamente utilizada em telecomunicações, usando sistemas digitais para facilitar o processo de codificação e decodificação dos sinais. Sua aplicação é encontrada em tecnologias de broadcasting e também em algumas formas de redes de computadores. Sua principal característica quanto ao desempenho é o fato de apresentar boa imunidade a multi-percursos, geradores dos famosos "fantasmas" presenciados nas televisões analógicas.

Um sinal OFDM em banda base tem como característica a soma de várias sub-portadoras ortogonais, com os dados de cada sub-portadora sendo independentemente modulados usando alguma forma de QAM ou PSK. Este sinal em banda base é usado para modular uma portadora principal, usada para transmissão via rádio frequência.

As vantagens da utilização do OFDM são várias, incluindo elevada eficiência espectral, imunidade contra multi-percursos e filtragem de ruído simples.

A modulação e demodulação OFDM são tipicamente feitas usando a transformada rápida de Fourier (FFT).

Embora sua complexidade seja elevada, COFDM possui melhor desempenho sob canais em condições realmente desafiadoras.

Combinando OFDM com técnicas de correção de erro, equalização adaptativa e modulação reconfigurável, temos a COFDM cujas propriedades são:

- Resistência contra dispersão óptica
- Resistência contra distorções lentas de fase e desvanecimento
- Resistência contra multi-percursos usando intervalo de guarda
- Resistência contra resposta em frequência nula e interferências de frequência constante
- Resistência contra burst de ruído

COFDM geralmente possui espectro aproximadamente "branco", o que traz algumas propriedades eletromagnéticas benignas no que diz respeito a interferências.

Alguns sistemas OFDM usam algumas sub-portadoras para carregarem sinais piloto, que são usados para sincronismo.

Em transmissões abrangentes, os receptores podem se beneficiar pela recepção simultânea de sinais vindos de vários transmissores espalhados pelo espaço, pois a ocorrência de interferências destrutivas será restrita a um número limitado de sub-portadoras, enquanto as demais terão interferência construtiva. Este é bastante interessante para alguns países pois assim podem ser empregadas redes de frequência única no âmbito nacional. Uma característica marcante é a redução do efeito "fantasma". O uso de redes de frequência única também proporciona um uso mais efetivo do espectro disponível do que as redes analógicas convencionais.

Entretanto, OFDM sofre com canais variantes no tempo ou com a presença de offset de frequência de alguma portadora. Além disso, devido à aplicação da FFT (Fast Fourier Transform) no transmissor, o sinal tende a ter altas taxas de peaks-to-average. Estes efeitos são enfatizados quando vários usuários estão enviando dados para a mesma estação base.

#### 4.4. Modulação Wavelet

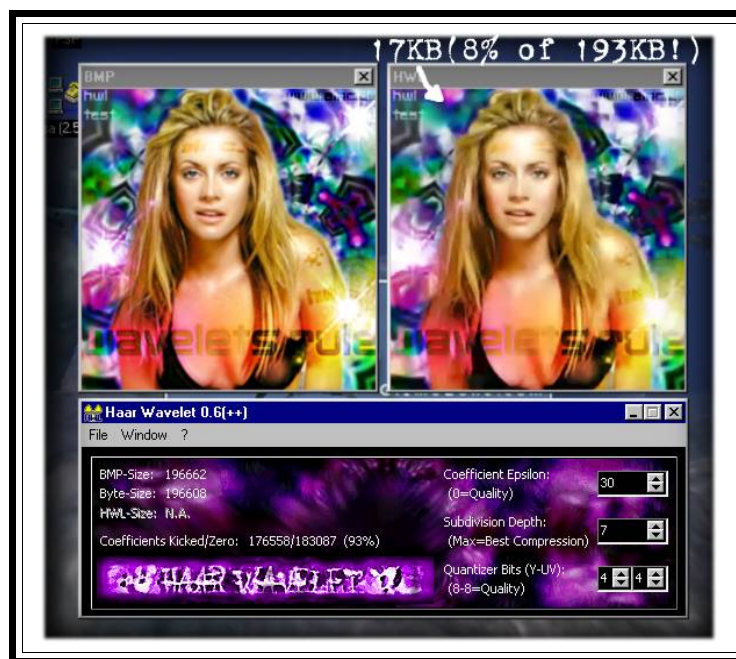


Figura 26: Modulação Wavelet – Multiresolução

Fonte: <http://ainc.de/Wavelet.htm>

Trata-se de um novo tipo de modulação digital, chamada de Wavelet Shift Keying (WSK), baseado em transformadas discretas de wavelet. é uma modulação técnica que faz uso de transformações de wavelet para representar os dados a serem transmitidos. Um dos objetivos deste tipo de modulação é o envio de dados em várias taxas ao longo de um canal que é desconhecido. Se o canal não está claro para uma específica taxa de bits, significando que o sinal não será recebido, o sinal pode ser enviado a uma taxa pouco diferente quando a relação sinal / ruído é maior.

A seqüência de bits de entrada é convertida em uma seqüência de funções escalonadas, indicando qual versão da wavelet-mãe deve ser transmitida em cada intervalo de símbolo. O sinal modulado consiste em uma

seqüência de versões (superpostas ou não) escalonadas e deslocadas de uma wavelet. Tais esquemas podem ser vistos como uma generalização dos sistemas OFDM baseados em wavelets.

Wavelets já foram propostas no âmbito da modulação, particularmente em sistemas OFDM envolvendo aplicações xDSL. Em telecomunicações, wavelets têm ser aplicadas a vários aspectos de sincronização. Também são relevantes em modulação. Um estudo recente introduziu novas wavelets ortogonais relacionados à Nyquist elevadas a coseno. Apesar de não ser wavelets de suporte compacto, wavelets são adequados para implementar técnicas de modulação: seus requisitos espectrais são bem definidos. Isso é análogo à idéia por trás dos sistemas OFDM. Comum esquemas de sinalização para transmitir informação digital através de canais passa-banda são baseadas em uma onda portadora perpétua. Wavelets têm sido adotadas com sucesso em muitas situações práticas para substituir ondas senoidais. Parece ser algo esperado uma substituição de um oscilador clássico por um gerador de forma de onda que produz um wavelet básica.

Durante o último par de décadas, wavelets têm fornecido um novo método para análise de funções matemáticas. Eles têm sido úteis em ambos os matemática pura e aplicada (como na análise harmônica), bem como em engenharia elétrica. Eles acabaram por ser poderoso para provar teoremas, e tem muitas propriedades interessantes. A principal vantagem de utilizar ondas é que elas fornecem uma sólida estrutura matemática para a análise de funções em diferentes escalas. Esta propriedade faz com base em análise wavelet uma

ferramenta poderosa no processamento de imagem. Idéias como multiresolução - versões de uma imagem em várias resoluções - se combinam naturalmente com a nossa intuição sobre a resolução de uma imagem. Devido a esta propriedade de multiresolução, wavelets são também úteis na caracterização da estrutura de uma imagem. Os coeficientes de escala grossa do wavelet contêm muitas informações sobre a estrutura da imagem. Além disso, wavelets constituem uma base esparsa para a maioria das imagens naturais e, portanto, são úteis na compressão de imagem.

#### **4.5. Ruído e Interferência**

Segundo a Anatel, a agência tomou as precauções necessárias para evitar que o compartilhamento da rede de cabos provoque interferência negativa no fornecimento de energia ou na velocidade da conexão da internet. Havia o risco, por exemplo, de ao ligar um liquidificador a velocidade da conexão cair.

A nota divulgada pela agência informa que foi estabelecida a obrigatoriedade da utilização de filtros "capazes de atenuar as radiações indesejadas". Além disso, informa a Anatel, "os sistemas deverão dispor de mecanismo que possibilite o desligamento remoto, a partir de uma central de controle, da unidade causadora de interferência prejudicial, caso outra técnica para sua atenuação não alcance o resultado esperado".

## **5. EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS:**

A seguir são apresentados fotos de equipamentos típicos de uma rede PLC, e que já foram descritos em capítulos anteriores.



## 5.1. Modems:

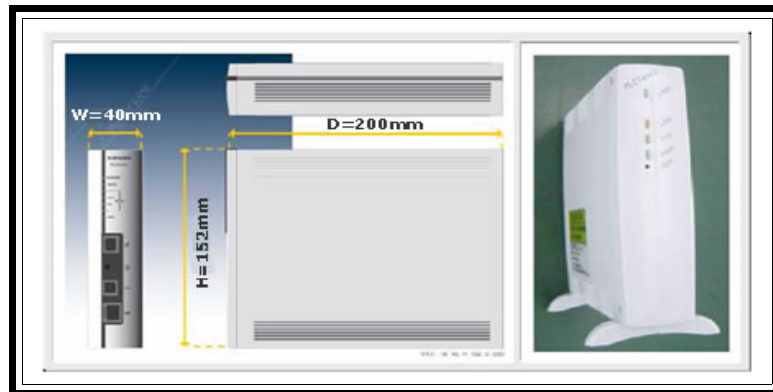


Figura 27: Modem PLC  
Fonte: PLC Utilities Alliance, PUA (2004)



Figura 28: Modem PLC  
Fonte: website Ascom



Figura 29: Modem Panasonic  
Fonte: [http://www.panasonic-electric-works.plpewplhtmlfp\\_modem\\_eu.php](http://www.panasonic-electric-works.plpewplhtmlfp_modem_eu.php)

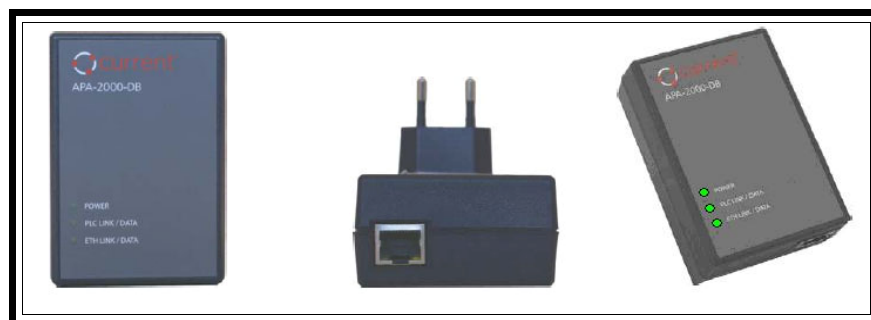


Figura 30: Modem BPL  
(residência / escritório do assinante)  
Fonte: <http://www.currentgroup.com/inbuilding.php>

## 5.2. Repetidores Baixa Tensão:



Figura 31: Repetidor junto ao medidor residencial.

Fonte: PLC Utilitie



Figura 32: Repetidor em um gabinete outdoor.

Fonte: PLC Fórum (2004)

## 5.3. Repetidores Média Tensão:



Figura 33: Repetidores MT

Fonte: PLC Utilities Alliance, PUA (2004)

## 5.4. Gateways Outdoor e Indoor:



Figura 34: OGW – Outside Gateway  
(localizado no poste de energia elétrica)  
Fonte: <http://www.currentgroup.com/inbuildi>

[ng.php](http://www.currentgroup.com/inbuilding.php)



Figura 35: IGW – Indoor Gateway  
(Sala de medidores do edifício)  
Fonte: <http://www.currentgroup.com/inbuilding.php>

## **6. ESTUDO MERCADOLOGICO DO PLC**

### **6.1. Entendendo Melhor o Histórico**

Em 25 de agosto de 2009, os diretores da Aneel aprovaram o regulamento sobre comunicação de dados por meio da rede elétrica (PLC).

Em essência, as distribuidoras de energia elétrica podem usar PLC para o consumo próprio, mas não podem usar PLC para vender serviços de telecom. Elas podem, contudo, alugar a rede elétrica para empresas de telecom – sempre depois de licitação, ou seja, a operadora que oferecer o maior aluguel ganha o direito de vender serviços PLC. As distribuidoras devem pôr o contrato com as operadoras à disposição da Aneel, para facilitar a fiscalização. E, se for necessário reformar a rede de energia elétrica para que os serviços PLC funcionem, o custo da reforma fica a cargo da operadora de telecom.

A reunião do dia 25 foi a segunda pois no dia 18 de agosto de 2009, os diretores da Aneel já haviam se reunido com o mesmo propósito: aprovar o regulamento. Mas um funcionário da Eletropaulo se opôs a uma das características do regulamento: a distribuidora deve aplicar 90% do aluguel para reduzir o custo de energia elétrica, e 10% para qualquer outra. Na ocasião, dois diretores da Aneel deram razão ao funcionário da Eletropaulo. Então Joísa Campanher Dutra, diretora da Aneel, retirou o regulamento da pauta, e os diretores trataram de outros assuntos. E sete dias depois o

regulamento voltou á pauta sem nenhuma alteração, e foi aprovado sem nenhuma reclamação.

## **6.2. Notícias recentes**

Várias tecnologias disputam hegemonia das redes elétricas inteligentes em um mercado que deve movimentar US\$ 200 bilhoes até 2015 (dados da empresa Pike Research).

O Brasil é considerado um mercado-alvo por especialistas e empresas interessadas em explorar os negócios gerados pela tecnologia de transmissão de dados pela rede elétrica. Porém o problema é a adoção do conceito de redes elétricas inteligentes (smart grids), conforme informações do presidente da Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e de Sistemas Privados de Telecomunicações (APTEL) o senhor Pedro Jatobá.

Em 18 de outubro de 2010 o IEEE anunciou a retificação do padrão IEEE 1901. O IEEE considera que o novo padrão PLC será importante para impulsionar a tecnologia a uma grande variedade de aplicações, incluindo smart energy, transportes e LANS tanto para residências e empresas.

Produtos para redes totalmente de acordo com a IEEE 1901 poderão fornecer taxas que excedem os 500 Mbps em redes LAN. Em aplicações para first-mile/last-mile, compatíveis com o IEEE 1901, poderão alcançar distâncias de até 1500m. A tecnologia empregada pela IEEE 1901 usa técnicas de modu-

lação sofisticada, para transmitir dados sobre a corrente alternada padrão de qualquer voltagem na transmissão em frequências abaixo de 100 MHz.

A organização de padrões observa que a IEEE 1901 foi reconhecida como o padrão que habilitará a universalização das comunicações em aplicações smart grid. No entanto, o IEEE fará esforços para promover esta tecnologia também em outras aplicações.

No setor de transporte, por exemplo, a variedade de padrões de taxas de transmissão tornará possível a entrega de entretenimento em áudio ou vídeo para os assentos dos aviões, trens, e outros transportes de massa. Veículos elétricos podem baixar listas de reprodução de áudio ou vídeo enquanto recarrega as baterias à noite, de acordo com o IEEE.

Nas residências, o PLC irá completar as redes wireless provendo pontos de acesso nas paredes e onde ela não pode alcançar. O PLC irá complementar redes wireless em hotéis e outros prédios com vários andares levando dados multimídia a maiores distâncias e permitindo as redes wireless completarem a comunicação próxima do usuário.

## **6.3. Desafios do mercado**

### **6.3.1. Custos**

Reduzir os custos é o desafio para a popularização da tecnologia PLC, a interoperabilidade pretendida vai definir as possibilidades de todo um segmento

industrial, ainda incipiente na maioria dos países. Todos seguindo os padrões do IEEE 1901 não haverá mais as variedades de padrões que foi uma barreira para a universalização dos dispositivos. Na política tecnológica, pelo menos mais quatro padrões disputam a hegemonia da transmissão de dados pela rede elétrica.

Aliança High-Definition Power Line Communication (HD-PLC);

Home Plug Powerline Alliance (HPA);

Universal Powerline Association (UPA);

Européia Open PLC Research Alliance (Opera);

Para o Brasil, o argumento para a adoção mais intensiva da rede elétrica como meio de comunicação é seus 98% de capilaridade, superior aos 52% da rede de telefonia e aos 10% das redes ópticas. Projetos como os de Barreirinhas, interior do Maranhão, interligando escolas, posto de saúde, prefeitura e centro de artesanato pela fiação elétrica existente, mostram que é possível realizar a utopia e promover a inclusão digital a custos mais reduzidos.

#### **6.4. Projetos pilotos em território brasileiro**

Atualmente, a comunicação de dados em alta velocidade através da rede elétrica vem, a cada dia, ganhando mais atenção, apesar de estarmos vivenciando o ápice do desenvolvimento das comunicações digitais via fibra

ótica. A grande abrangência e capilaridade da estrutura já existente da rede elétrica, o alto custo de acesso a serviços agregados de telecomunicações (internet de banda larga, vídeo conferência, etc.) e a automação industrial são alguns dos fatores que impulsionam o desenvolvimento de aplicações para a tecnologia PLC de banda larga.

No Brasil como apenas 5% dos brasileiros acessam a rede de dados, sendo que destes somente 3,5% o faz dos seus domicílios, o primeiro alvo dos desenvolvedores de equipamentos PLC de banda larga é o público residencial, todavia o mercado corporativo também apresenta seu potencial de rentabilidade.

A tecnologia PLC pode ser a solução ideal para levar a internet e a telefonia para qualquer casa com uma conexão elétrica. É uma solução de acesso popular, que consome apenas 9 watts de energia e poderá suprir a falta de um meio de transmissão de dados de baixo custo, um dos grandes empecilhos que ainda existem para a ampla disseminação do acesso à rede para o público em geral.

A topologia da rede elétrica no Brasil atinge 93% da população do país, mas apresenta alguns fatores que podem comprometer a implementação da tecnologia, por exemplo, a rede elétrica não é subterrânea, assim sendo, alguns equipamentos atingem temperaturas de até 50 graus, prejudicando a qualidade dos serviços. As oscilações da rede elétrica, à medida que luzes ou



aparelhos conectados à rede são ligados ou desligados também são fatores negativos, pois características como impedância, atenuação e resposta de frequência podem variar drasticamente de um momento para o outro. Há também a questão comercial que esbarra na falta de escala industrial e a questão da própria rede, que capacita cerca de 60 a 70 domicílios em cada transformador, enquanto os transformadores das redes européias conectam até 250 residências. Apesar destes fatores a expectativa é de que a internet via rede elétrica se torne realidade para os usuários nos próximos anos e seja mais uma opção além dos pares de cobre, satélites, cabos coaxiais e sistemas wireless.

Empresas como CEMIG de Minas Gerais, COPEL do Paraná, a ELETROPAULO de São Paulo e a LIGHT do Rio de Janeiro, já implantaram projetos-piloto para avaliar a viabilidade da tecnologia PLC através de suas redes. Mesmo com a promessa de acesso em banda larga e automação da leitura do consumo de energia (telemetria), sem falar da aparente facilidade de instalação, as empresas enfrentam um grande desafio para que o mercado acredite na nova tecnologia, pois os benefícios são tão poderosos quanto os empecilhos.

#### **6.4.1. Projeto Copel**

Pioneira nesse experimento no país, a COPEL (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) anunciou em abril de 2001 que instalaria a PLC em 50

domicílios selecionados na região de Curitiba, que já tinham computadores instalados, de modo que comparações pudessem ser feitas.

O contrato foi assinado na Alemanha, em 2001, época em que a empresa alemã RWE Plus apresentou sua linha de produtos RWEPowerNet, que conseguiam taxas de até 2 Mbit/s.

A COPEL investiu cerca de 1 milhão de dólares neste projeto e os resultados foram satisfatórios em conexões de curta distância – em torno de 300 metros entre a fonte de sinal e o receptor – alcançando taxas de transferências de até 1,7 Mbit/s.

#### **6.4.2. Projeto Cemig**

A CEMIG (Companhia Elétrica de Minas Gerais) foi à segunda distribuidora a anunciar um experimento semelhante em dezembro de 2001, na cidade de Belo Horizonte, utilizando a tecnologia da empresa ASCOM. A responsável pela infra-estrutura é a INFOVIAS, uma joint venture entre CEMIG e AES, que opera redes ópticas em Minas Gerais. A Internet chega ao usuário trafegando pela rede óptica da INFOVIAS e a CEMIG oferece a última milha pela rede elétrica, do poste à residência.

Os investimentos para o projeto chegaram a R\$ 200 mil, e hoje ele funciona em 50 pontos da capital mineira, sendo 15 em um condomínio residencial, 20 em uma entidade de ensino profissionalizante para alunos

carentes, e outros 15 pontos em um prédio de construção antiga em um bairro. O canal de acesso utilizado também é de 2 Mbit/s compartilhado.

A idéia de CEMIG de oferecer acesso à internet como valor agregado nasceu da necessidade de implantar telemetria de consumo e controle de carga em tempo real na rede de Belo Horizonte, que serão explorados comercialmente assim que a ANATEL definir uma regulamentação para o setor.

#### **6.4.3. Projeto Eletropaulo**

Em 2002, a concessionária de energia elétrica ELETROPAULO também iniciou testes práticos de viabilidade da tecnologia PLC na região metropolitana e no interior do estado de São Paulo. A empresa deve seguir os mesmos moldes do projeto da CEMIG, o projeto de oferta da PLC em alta velocidade segue a estratégia do grupo norte-americano AES, conglomerado de geração e distribuição de energia, que detém ações de ambas as distribuidoras de energia.

#### **6.4.4. Projeto Light**

Desde o ano passado a LIGHT começou a testar na cidade a internet através da rede elétrica. O projeto piloto está ocorrendo em oito edifícios, quatro residenciais e quatro comerciais, no Centro, na Zona Sul (Copacabana e Ipanema) e na Barra da Tijuca.

Este projeto trabalha em parceria com três grandes empresas da área de PLC. São elas, a ASCOM, MAIN.NET e DS2. Os modems da ASCOM e MAIN.NET, mais voltados para internet residencial, alcançam velocidades de até 4,5 Mbit/s. Já os modems DS2, podem chegar até 45 Mbit/s.

Neste projeto foram instalados 6 equipamentos concentradores para configurar 6 redes PLC com topologia LAN às quais foram interligados 10 clientes/assinantes em cada, totalizando 60 clientes/assinantes. Em cada rede PLC, foi conectado um circuito dedicado para provisionamento do acesso à internet através de um ISP. O gerenciamento da rede foi realizado por um centro instalado nas dependências da LIGHT. O objetivo da rede de gerência foi prover os serviços de operação, manutenção e provisionamento de conexão dos assinantes do sistema PLC ao acesso Internet.

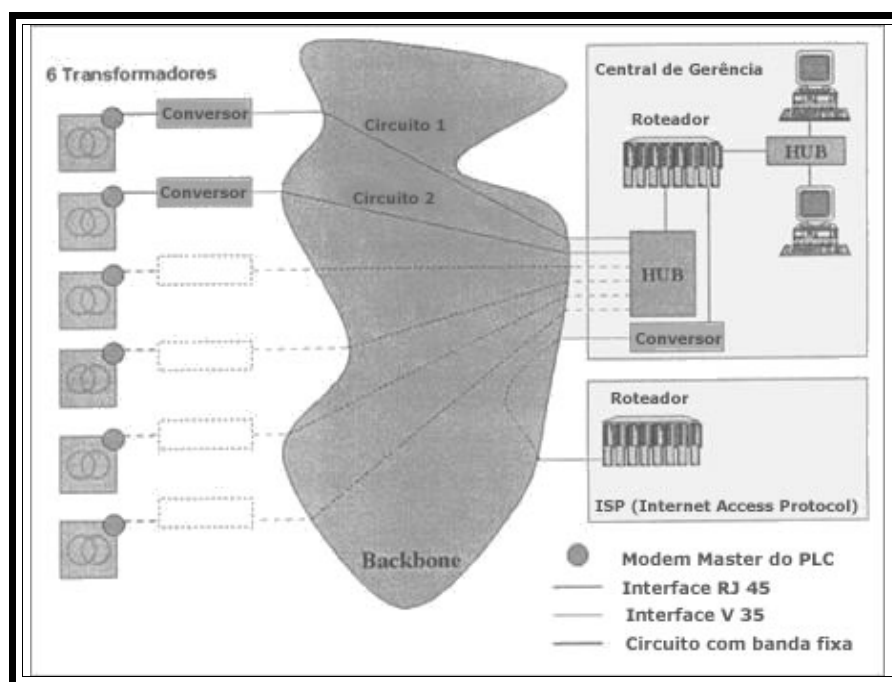


Figura 36: Diagrama do projeto experimental da LIGHT para rede PLC

#### **6.4.5. Projeto Cepel**

Em experiências realizadas pelo CEPEL (Centro de Pesquisas da Eletrobrás) em 2001, utilizando equipamentos da empresa suíça ASCOM Powerline Communications, avaliou-se as redes internas de uma residência quanto às limitações do sistema.

Junto à entrada de energia da residência, após o medidor de consumo, foi instalada uma unidade concentradora, a qual tem o papel de interligar a rede elétrica interna com o backbone de dados fornecido pela provedora de acesso, podendo ser fibra óptica, TV a cabo ou ADSL. A partir deste ponto, o sinal é então recebido em diferentes pontos da residência por múltiplas unidades receptoras. Os equipamentos testados operaram com frequências de 19 MHz a 21 MHz e atingiram a taxa de transmissão de 1,25 Mbit/s, utilizando protocolo FTP. Segundo o fabricante, em condições ideais, o sistema pode oferecer taxas maiores que 3 Mbit/s. O grande desafio está em desenvolver equipamentos que operem com taxas de transmissão acima de 10 Mbit/s, como nas redes ethernet. Mesmo com equipamentos sofisticados, as limitações físicas da rede elétrica nacional ainda não nos permitiram esta façanha.

Em se tratando da rede de baixa tensão aérea, estudos também realizados pelo CEPEL verificaram que as frequências entre 0,2kHz e 2 kHz apresentam melhor condição de propagação. Frequências acima de 100 kHz

são fortemente atenuadas pela distância e pela inserção de cargas na rede. Para verificar de forma prática, um equipamento concentrador foi montado, na rede de baixa tensão, logo após o transformador enquanto outros dois equipamentos receptores foram instalados a 30m e 150m de distância do ponto inicial. Depois de realizadas as medições no sistema em funcionamento, concluiu-se:

O sistema ensaiado é sensível às variações de carregamento da rede, desaconselhando a utilização do sistema para aplicações em tempo real em determinados horários;

A comunicação entre pontos distantes é fortemente prejudicada pela atenuação dos sinais, indicando a necessidade de unidades repetidoras que ocasionariam uma sensível redução na taxa efetiva de transmissão;

O sistema encontra uma dificuldade prática que é o fato da iluminação pública estar diretamente ligada à rede de distribuição e em grande parte dos casos, utiliza-se capacitores para correção do fator de potência dos conjuntos lâmpada-reator.

A atenuação dos sinais se agrava com o aumento da frequência se forem considerados os fenômenos de perda por irradiação que ocorre quando o comprimento de onda do sinal de frequência mais baixa se torna comparável às dimensões do afastamento entre os condutores.

#### **6.4.6. Projeto barreirinhas**

Em 2007, os moradores da cidade maranhense de Barreirinhas tiveram a oportunidade de se conectar gratuitamente à internet através da banda larga, em 150 pontos entre escolas, postos de saúde, órgãos públicos, residências e pequenas empresas, dentro do projeto "Vila Digital" promovido entre o Ministério das Comunicações e associações de empresas.

O projeto experimental custou cerca de 1,2 milhão de reais e teve a duração de dois anos. O ministério participa do projeto como cooperador técnico, por meio do programa Gesac (Governo Eletrônico Serviço de Atendimento ao Cidadão), segundo comunicado distribuído à imprensa.

A iniciativa faz parte da estratégia da pasta de [diversificar as tecnologias usadas no Gesac](#). Hoje, os 3,4 mil pontos do programa usam satélite, uma tecnologia mais cara que opções como ADSL, PLC ou WiMax. Atualmente, a fornecedora de infra-estrutura dos 3,4 mil pontos é a Comsat, cujo [controle deverá ser adquirido pela BT](#).

Também integram o projeto das vilas digitais a Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras), Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte do Brasil), Cemar (Companhia Energética do Maranhão), a Prefeitura de Barreirinhas e a Aptel (Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistema Privados de Telecomunicações).

Como quase 100% dos cabos de energia elétrica atingem as casas de Barreirinhas, o governo usou a tecnologia PLC (Power Line Communication) na versão mais recente, onde a velocidade de tráfego pode atingir 200 Mbps. "A velocidade é 20 vezes maior quando foram feitos os primeiros testes", em 2004, afirma o presidente da Aptel, Pedro Luiz Jatobá, que coordena o projeto.

Barreirinhas foi escolhida porque tem um dos mais baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do País, classificada na 5.287ª posição entre os municípios brasileiros. Com 40 mil habitantes, a cidade é a porta de entrada do Parque dos Lençóis Maranhenses, e tem um grande movimento de turistas, mas pouca infra-estrutura, de acordo com o ministério.

## **6.5. Introdução a uma política de marketing**

Este item apresenta o estudo mercadológico de uma nova tecnologia como diferencial estratégico de evolução, crescimento e lucratividade. São tratados contexto sociológicos, estratégicos e a disponibilidade de novos recursos tecnológicos que suprem necessidades distintas de formas distintas.

Iremos analisar as prováveis possibilidades, aplicações e aceitação de uma tecnologia no mercado nacional. Abordando os seguintes aspectos:

- Identificar as necessidades e os desejos dos consumidores



- Identificar as oportunidades e ameaças com a adaptação e implantação de uma nova tecnologia no setor elétrico e de comunicação no Brasil.
- Comprovar a viabilidade mercadológica da tecnologia PLC.

A tecnologia abordada neste trabalho apresenta um diferencial tecnológico que abre diferentes possibilidades para o setor de distribuição energia elétrica.

As empresas dos seguimento tem a possibilidade de agregar valor ao seu negócio e passar a oferecer à sociedade serviços ainda não oferecidos, como a transmissão de dados e voz. Isso pode trazer uma grande impacto melhorando a informação a população assim aumentando a lucratividade. As empresas de telefonia fixa, TV a cabo, Internet, dentre outros.

Inclusão digital possibilita a criação de alternativas para se levar o acesso indiscriminado à informação a todas as camadas sociais. Este processo leva à diminuição das diferenças sociais, democratizando o conhecimento, modifica e abre novas oportunidades à sociedade e pode propiciar desenvolvimento econômico e geração de riquezas para o país.

O estudo de viabilidade mercadológica PLC a ser implantada no mercado brasileiro, analisa-se esta tecnologia e seus serviços correlatos ofertados, como um estudo de marketing. Esse estudo deve levar em

consideração o ambiente tecnológico, as necessidades e desejos dos usuários compreendendo e satisfazendo suas necessidades. Estão envolvidos com a implantação desta nova tecnologia. Empresa de distribuição de energia elétrica, envolvida com o consumidor final seguindo por seus fornecedores, parceiros e colaboradores e por fim os clientes.

## **6.6. Marketing para Tecnologia PLC**

O foco desse item destina a examinar o modo de como as organizações atuam com a tecnologia de forma individual, planejam, executam e distribuem suas atividades para beneficiar seus clientes pontuais no âmbito local.

Adéqua-se as características da tecnologia PLC, a ter suas variáveis estudadas e analisadas.

### **6.6.1. Produto**

A tecnologia PLC como produto ou serviço deve atender as necessidades de seus usuários, com seus benefícios e características únicas como, por exemplo, desempenho superior, maior disseminação e custos inferiores, o PLC deve ter suas necessidades supridas a fim de gerar fidelidade, continuidade e lucratividade para as empresas que a operem e desenvolvam o produto ou serviço.

### **6.6.2. Preço**

O estabelecimento de uma política de preços é uma ferramenta estratégica decisiva na venda e na aceitação de um produto e tem grande importância na aceitação da tecnologia PLC. Preços deve ser decidido em relação ao mercado-alvo, sua percepção de valor, variedade de produtos e serviços e a concorrência a ser encontrada. O fator preço deve ser acompanhado de produtos e serviços a garantir a satisfação do requisito e as estratégias de implantação pelas empresas envolvidas devem ser objetivas e sem espaço para dúvidas e erros, que possam causar reprovação do cliente.

### **6.6.3. Promoção**

Esse item deve ser um atrativo e uma forma de captar cliente despertando a curiosidade. Para isso se aproveita da publicidade, propaganda, marketing direto, relações públicas e promoção de vendas, de maneira que o público alvo possa associar as características do produto ou dos serviços às empresas relacionadas de maneira integrada.

### **6.6.4. Ponto de Venda**

As empresas devem definir seus mercados-alvos e, em seguida, decidir como se posicionar nestes mercados. Tornar a tecnologia PLC acessível significa facilitar seus processos de adesão. Os usuários desejam qualidade, variedade, continuidade, conveniência e preços acessíveis.

A tecnologia e os artefatos e ferramentas envolvidas, devem ser moldados e desenvolvidos em prol dos usuários, seu conforto e satisfação. Os projetos destes artefatos devem partir do desejo e das necessidades deste consumidor e não em prol exclusivamente de um melhor projeto técnico. Um projeto tecnológico não tem missão, não tem porque existir, se o mesmo não tiver um objetivo a favor de seu uso e seu usuário, deve custar o que este consumidor pode pagar estar disponível onde ele está presente e esta informação deve estar a ele acessível quando o mesmo a necessitar, desenvolvendo um composto mercadológico integrado.

Deve-se identificar que necessidade a tecnologia PLC poderá vir a suprir em alta intensidade, que seja um diferencial, pelo acesso diferenciado a informação ou como um diferencial tecnológico a ser perseguido e procurado.

Relações das empresas com seu mercado e seu consumidor, aborda-se:

#### **6.6.5. Análise**

Utiliza análise com objetivo de identificar as forças vigentes no mercado e suas interações com os usuários potenciais. Uma vez que são pontos estratégicos que as empresas envolvidas no desenvolvimento da tecnologia PLC devem entender para desenvolver seu planejamento estratégico.

#### **6.6.6. Adaptação**

Um processo de adequação deve ser desenvolvido para as linhas de produtos ou serviços junto ao ambiente identificado através da análise. Isto permite uma apresentação ou configuração da tecnologia e serviços correlatos, como marca serviços ofertados e, ainda, da assistência e do atendimento ao cliente.

#### **6.6.7. Ativação**

Ativação é uma interação dos elementos mercadológicos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia, leva em consideração elementos básicos, a logística, o esforço da venda, marketing adequado à realidade nacional, comunicação integrada (publicidade, propaganda, promoção e merchandising).

#### **6.6.8. Avaliação**

Este utiliza indicadores adequados à tecnologia proposta, tais como o nível de satisfação do usuário e o crescimento e a adoção da tecnologia PLC pelos usuários potenciais.

No caso das empresas envolvidas com a tecnologia PLC, a aplicação destes modelo é utilizada e gera parâmetros para a disponibilização dessa tecnologia no mercado, gerando indicativos para responder, questionamentos como:

- Quais necessidades deverão ser supridas pela tecnologia PLC?
- De que forma essas necessidades deverão ser supridas?
- Quais clientes poderão ser alcançados pela tecnologia?

## **6.7. Comportamento do Consumidor de Novas Tecnologias**

Ao entender as atividades físicas e mentais realizadas pelos clientes potenciais, bem como as decisões e ações de como comprar e utilizar a tecnologia em questão, as empresas passam a entender o comportamento dos consumidores.

Após esse entendimento os consumidores são diferenciados em dois grupos distintos: entusiastas e inovadores.

No primeiro grupo, os consumidores têm, em geral, um maior poder aquisitivo, conhecimento técnico e alta escolaridade e são ávidos por inovação. No segundo grupo, os consumidores apresentam um potencial de consumo não tão grande e absorvem as tecnologias paulatinamente com a evolução da mesma.

## **6.8. Planejamento Estratégico Mercadológico da Tecnologia PLC**

O planejamento estratégico, uma atividade de escolha dos caminhos que a empresa deve trilhar para que se adquira maior garantia de que no futuro atinja uma condição desejável é fator preponderante para o sucesso de implantação de uma tecnologia, assim como a criação de um modelo de negócios, com metas definidas e resultados que almeja atingir e manter, cumprir sua missão com a relação aos clientes, funcionários, parceiros e investidores.

No caso da tecnologia PLC e seu impacto estratégico nas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil, o planejamento estratégico é responsável pelo equacionamento de diversas questões acerca do potencial da tecnologia.

Questionamentos estratégicos deverão estar respondidos quando a tecnologia PLC estiver cumprindo as necessidades propostas. Este fato possibilitará o aumento de seu mercado em relação às tecnologias pré-existentes e a manutenção de sua base de consumidores, provendo a disseminação da informação para fins de entretenimento, comércio ou governo.

Deve-se desenvolver uma correta análise estratégica e que permita identificar e aprimorar diversos fatores, dentre os quais:

Desenvolver competências no nível tecnológico dentro das empresas envolvidas na busca da identificação de deficiências e da aplicação da tecnologia.

Permitir a criação de alianças estratégicas, que visam identificar parcerias com o desenvolvedores, fabricantes, e prestadores de serviços.

Acompanhar de perto os avanços técnicos seja em atendimento e conforto do usuário.

John Naisbitt coloca: “A nova fonte de poder não é o dinheiro nas mãos de poucos, mas informação nas mãos de muitos”.

## **6.9. Inclusão Digital**

O tema Inclusão Digital não envolve somente acesso a informação e posse de um artefato informacional como um computador. Os fatores geradores de exclusão digital vão além dos fatores tecnológicos, como a exclusão social, a fome, a miséria, o isolamento, o analfabetismo e o preconceito.

Tecnologia alguma soluciona estes problemas isoladamente e de forma instantânea. O proposto pela tecnologia PLC e conforme constatado no trabalho é a contribuição em um dos fatores que levam a Inclusão Digital - o acesso a informação. Este, devido à utilização da rede de distribuição elétrica (que chega a mais de 95% da população brasileira), possibilita uma



oportunidade impar de democratização de acesso e de conhecimento aos esquecidos e excluídos.

Como resultado, vislumbra a proposta de modelo de Inclusão Digital na aplicação da tecnologia PLC, embasada nos seguintes aspectos:

- ter como ponto de partida a visão de mercado potencial para sua implantação;
- realizar investimentos em parcerias entre os setores públicos e privados;
- prever ações sociais e assistencialistas com um amplo espectro de entidades sendo atendidas pelas tecnologias – escolas, universidades, estabelecimentos assistenciais de saúde, estabelecimentos governamentais, espaços públicos democratizados, dentre outros;
- disseminar o uso empresarial da tecnologia, com diferenciais de acesso, segurança, velocidade e custos compatíveis.



## 7. IMPLEMENTAÇÕES

Nos últimos anos, tem havido um interesse global crescente na tecnologia PLC. Até o início do segundo semestre de 2004 detectou-se um total de mais de 100 iniciativas em PLC cobrindo mais de 40 países e 600 empresas. A figura a seguir ilustra este quadro:

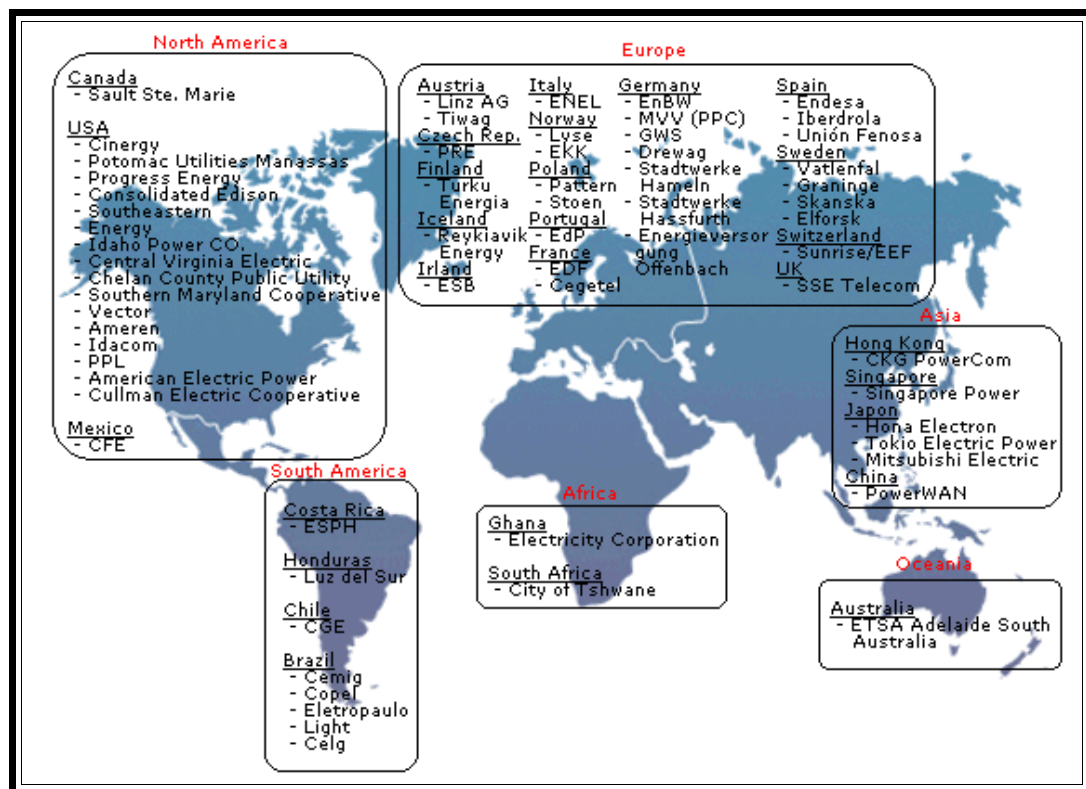


Figura 37: Experimentos e comercialização de redes PLC no mundo.

Fonte: Arthur D. Little.

Entre 2001 e 2003 muitas experiências de operação foram realizadas de forma bem sucedida, confirmando a viabilidade das redes PLC e criando ambiente para iniciativas comerciais.

A situação de hoje evoluiu transformando experiências PLC piloto em implantações comerciais. Mais de 10 países já estão comercializando e muitos outros já anunciaram esta intenção de fornecer serviços de Banda Larga PLC.

### **7.1. Estados Unidos da América**

Nos Estados Unidos da América (EUA), as empresas autorizadas na prestação de serviços de utilidade pública (Utilities), não consideram a tecnologia PLC apenas uma forma de expandir seus negócios para a prestação de serviços de telecomunicações. De fato, estas empresas têm deixado esta tarefa para uma parceira voltada a telecomunicações.

Seu interesse em PLC reside no potencial de serviços que uma rede de distribuição de eletricidade inteligente pode representar, em termos de aumento de sua eficiência, confiabilidade e segurança.

Nos Estados Unidos, a tecnologia atende pelo nome HomePlug. Lá há um apoio forte vindo do American Recovery and Reinvestment Act (ARRA). Foram destinados US\$ 4,5 bilhões para financiamento de vários projetos, determinados pelo presidente Barack Obama. O segmento está explodindo, segundo estudo do Pike Research, que estima que os negócios relativos a "redes elétricas inteligentes" vão triplicar, saindo de US\$ 10 bilhões em 2009 para US\$ 35 bilhões em 2013 nos Estados Unidos.

A IBM por sua vez já apresentou seus planos para alcançar as áreas rurais.

A companhia internacional broadband eletric communications (IBEC) oferece pacotes com velocidades de 256 Kbps a 3 Mbps para as regiões de vazios demográficos com até três domicílios por quilômetro quadrado. Os preços variam entre 30 e 90 dólares.

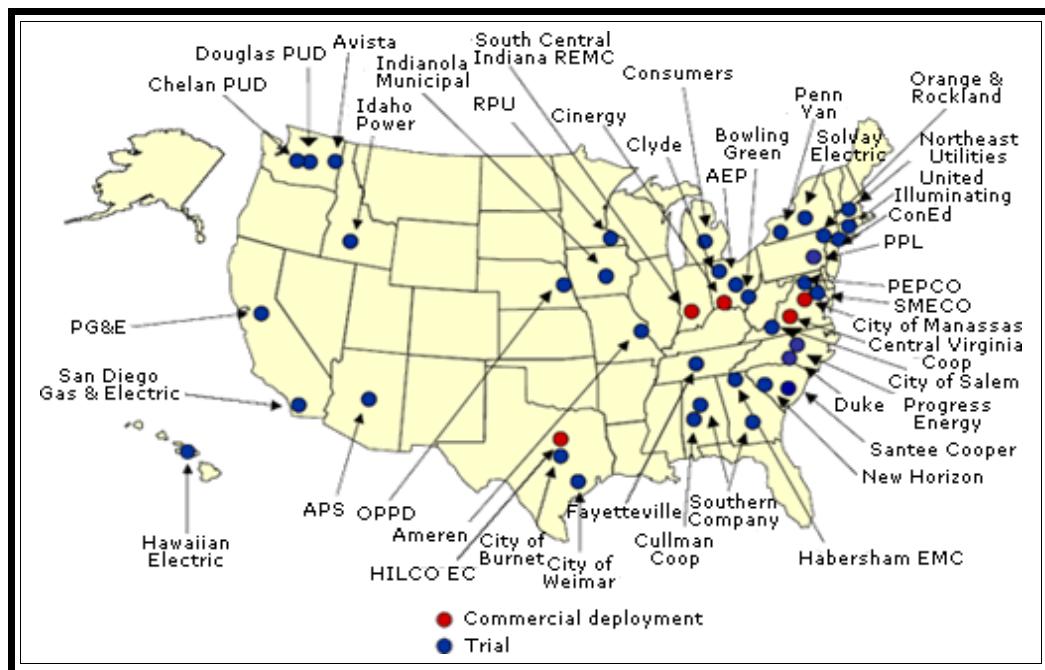


Figura 38: Iniciativas PLC nos EUA.

Fonte: [www.uplc.org](http://www.uplc.org).

## 7.2. Europa

Muitos experimentos já foram realizados de forma bem sucedida na Europa, mostrando que PLC é uma solução viável para implantar redes de telecomunicações alternativas utilizando a infra-estrutura já existente. As empresas

autorizadas de exploração dos serviços de utilidades energéticas na Europa estão liderando testes e implantações.

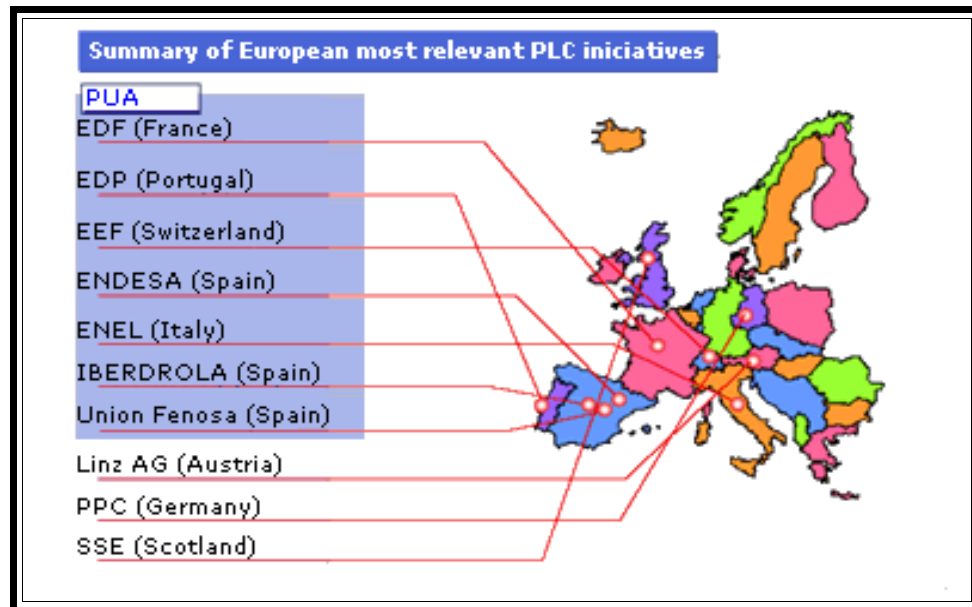


Figura 39: Experimentos PLC na Europa.  
Fonte: PLC Utilities Alliance, PUA (2004) and PLC fórum (2004).

A avaliação da tecnologia PLC através de pesquisa de satisfação, feita em 2004 no mercado Europeu, mostrou que esta tecnologia suporta com qualidade os Serviços de voz e Internet, sendo preferida pelos usuários em relação às tecnologias concorrentes.

Ilustrando o grande interesse da Comunidade Européia em relação ao desenvolvimento da tecnologia PLC cabe citar o projeto OPERA (Open PLC European Research Alliance). O Projeto OPERA é um projeto de pesquisa e desenvolvimento lançado em Janeiro de 2004, com duração esperada de 48 meses.

Foi dividido em 2 fases, sendo a primeira de 24 meses, financiada diretamente pela Comunidade Européia. O projeto OPERA conta com um Consórcio de 37 empresas de países interessados na promoção e padronização da tecnologia, cobrindo a Europa, Israel e Brasil.

O Brasil participa do Projeto OPERA através da APTEL (Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações).

### **7.3. Mercado Brasileiro**

No Brasil, a iniciativa da tecnologia PLC foi introduzida pelo Projeto Ilha Digital de Barreirinhas em dezembro de 2004, com o objetivo de levar a Internet à população do município de Barreirinha no Maranhão como demonstração e operação prática do uso da tecnologia PLC.

Este projeto permitiu o acesso à Internet em escolas, prefeitura, postos de saúde e centro de artesanato, contando com a parceria de diversas empresas que contribuíram com seus conhecimentos produtos e soluções.

Dentre as empresas envolvidas neste teste pode-se citar as concessionárias ELETROPAULO, CELG, CEMAR e a fabricante de equipamentos EBA. Uma das vantagens de implantação da tecnologia PLC no projeto Barreirinha, via rede elétrica, foi o curto período de execução do projeto, comprovando a facilidade de instalação desta tecnologia.

Devido a esta iniciativa de implantação, o Brasil é o único país convidado e já participante do projeto europeu OPERA através da Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações - APTEL, que congrega as concessionárias de Energia Elétrica.

### **7.3.1. Programa Nacional de Banda Larga - Brasil Conectado**

O PNBL foi criado pelo Governo Federal com o objetivo de ampliar o acesso à internet em banda larga no país.

O Brasil se torna um grande mercado para o PLC com a implantação do Programa Brasil Conectado, que teve início com a publicação do Decreto nº 7.175, de 12 de maio de 2010, que lançou as bases para as ações a serem construídas e implantadas coletivamente. As diversas medidas do Programa agrupam-se em objetivos distintos. Para isso, as ações do Programa estão organizadas em quatro grandes dimensões:

- I. Ações regulatórias que incentivem a competição e normas de infraestrutura que induzam à expansão de redes de telecomunicações;
- II. Incentivos fiscais e financeiros à prestação do serviço de acesso em banda larga, com o objetivo de colaborar para o barateamento do custo ao usuário final;



- III. Uma política produtiva e tecnológica, capaz de atender adequadamente à demanda gerada pelo PNBL;
- IV. Uma rede de telecomunicações nacional, com foco de atuação no atacado, neutra e disponível para qualquer prestadora que queira prestar o serviço de acesso em banda larga.

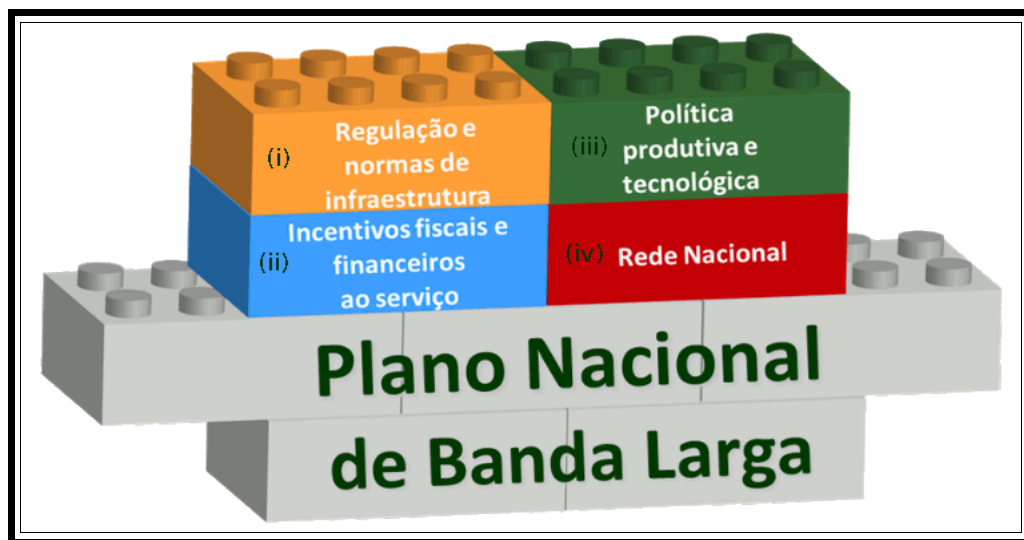


Figura 40: Implementação PNBL  
Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)

### 7.3.2. Objetivos do PNBL

Criar oportunidades, acelerar o desenvolvimento econômico e social, promover a inclusão digital, reduzir as desigualdades social e regional, promover a geração de emprego e renda, ampliar os serviços de governo eletrônico e facilitar aos cidadãos o uso dos serviços do Estado, promover a capacitação da população para o uso das tecnologias de informação e aumentar a autonomia tecnológica e a competitividade brasileiras.

O início do caminho para se alcançarem esses objetivos é a expansão da cobertura do serviço, a elevação da velocidade disponível e a redução do seu preço.

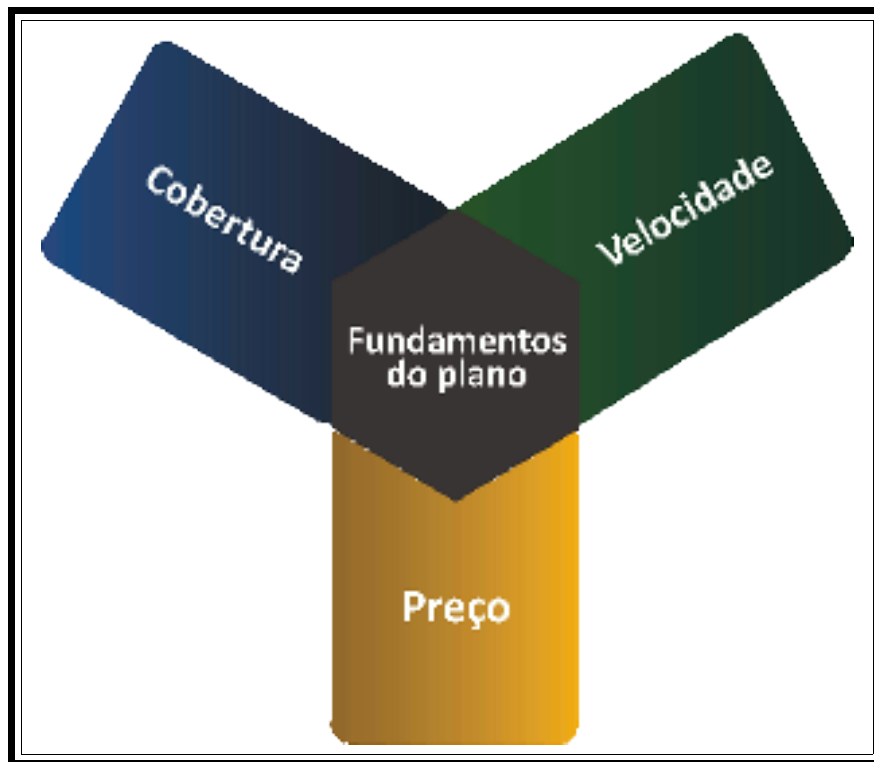


Figura 41: Objetivo PNBL  
Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)

### 7.3.3. PNBL e o PLC

Vendo o incisos 2 e 4 do (Decreto nº 7.175 de maio de 2010) art. 4o PNBL visa:

Prestar apoio e suporte a políticas públicas de conexão à Internet em banda larga para universidades, centros de pesquisa, escolas, hospitais, postos de atendimento, telecentros comunitários e outros pontos de interesse público;

E prestar serviço de conexão à Internet em banda larga para usuários finais, apenas e tão somente em localidades onde inexista oferta adequada daqueles serviços.

Com isso a viabilidade do PLC o coloca um passo a frente das de outras tecnologias, pois mesmo havendo um custo inicial com a implantação dos equipamentos distribuidores de sinal de dados (PON – Passive Optical Network) nas subestações. O custo do PLC é menor porque será utilizada infraestrutura existente na rede acesso.

Em parcerias com as empresas de distribuição de energia o governo poderia utilizar além das infraestrutura óptica utilizar as fibras-ópticas passadas via OPGW que interligam a matriz energética brasileira desde a geração até as subestações de distribuição. Além de uma política de ampliação das redes-ópticas brasileiras.

De acordo com pesquisa do governo federal a capilaridade óptica do Brasil hoje (figura 42) e previsão para 2014 (figura 43):

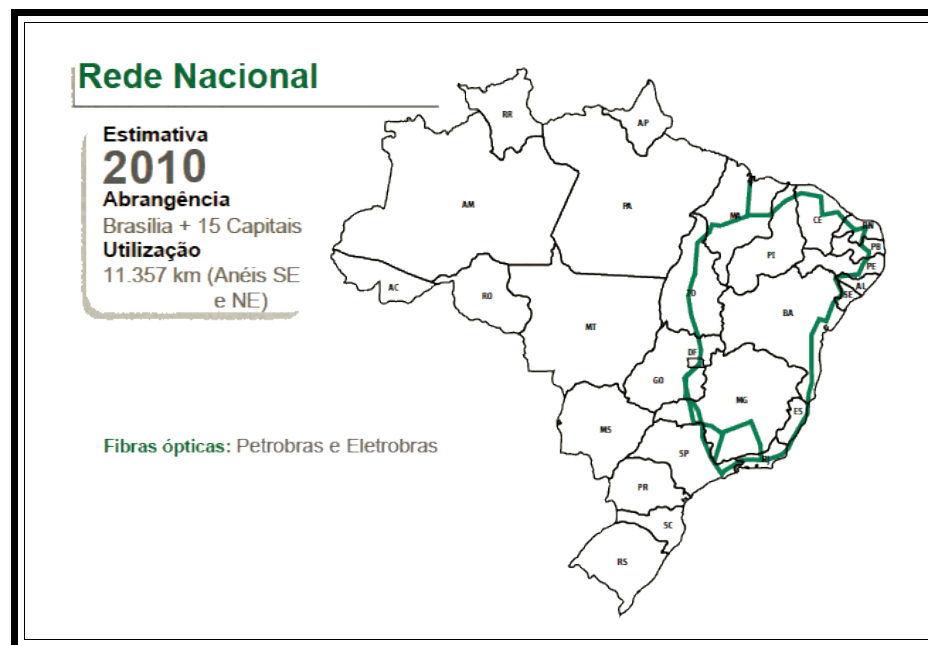


Figura 42: Abrangência óptica em 2010  
 Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)

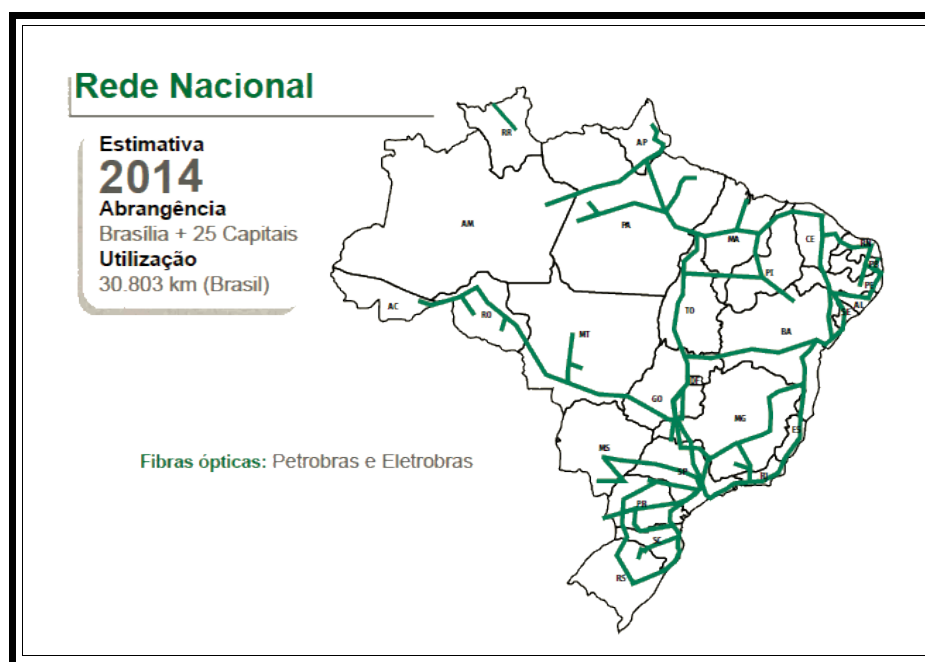


Figura 43: Abrangência óptica em 2010  
 Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)

## **7.4. Avaliação das implementações PLC**

A situação atual das implantações de PLC em todo mundo, permite chegar às seguintes conclusões:

- As atividades de PLC sobre a infra-estrutura elétrica não afetam o serviço elétrico e foram executadas sem incidentes;
- A tecnologia se mostrou pronta para implantações comerciais;
- Foram implantados comercialmente serviços PLC como acesso a Internet em banda larga e voz sobre IP com grande aceitação dos usuários;
- PLC sobre a média tensão está se tornando uma das principais opções para a rede de distribuição;
- A cada ano que passa, PLC mostra ser uma tecnologia competitiva quando comparada com outras tecnologias de acesso;

Prestadoras de serviços de utilidades em todo mundo estão partindo para iniciativas comerciais.

## CONCLUSÃO

Com base no Plano Nacional de Banda Larga identificamos que seria uma grande oportunidade de estudar e expor uma tecnologia viável que possa atender todo o território brasileiro mas com grande foco em locais onde não há nenhuma outra tecnologia para transmissão de voz e dados.

Concluimos que a tecnologia PLC com os novos padrões e normas possui condições de atender a população sem acesso a internet mas, possui energia elétrica em suas residências. Neste ponto de vista temos a rede acesso pronta para que muitas pessoas tenham internet de alta velocidade em suas casas, e assim tenha acesso as informações, entre outras oportunidades fornecidas pelo mundo globalizado.

Este estudo apresenta a aplicação do PLC como provedor de serviços de transmissão de dados com qualidade utilizando infraestrutura pronta. Atendendo localidades onde outras tecnologias não atuam por diversos problemas, como por exemplo: geográfico, demográfico entre outros.

Talvez uma barreira para o PLC sejam os equipamentos alocados em subestações de transmissão e distribuição de energia elétrica (que não foi abordado em nosso estudo). Estes hardwares devem atender diversas normas e preparações para instalação em ambientes inóspitos, e devem suportar variações eletromagnéticas da subestação.

Com base em nossa pesquisa e em outros estudos o PLC pode ser implantado pois atende o interesse da população de regiões mais distantes que são excluídas do mundo digital, disponibilizando o acesso a um mundo de informações e conhecimento que é a internet.

Os primeiros que devem ser atendidos pelo PLC são instituições de ensino público que necessitam de acesso à internet para complementar o conteúdo educacional. Propiciando aos seus alunos o mundo de informações que a internet nos possibilita.

## 8. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA

AES ELETROPAULO TELECOM. *Pesquisa e Desenvolvimento*. São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.eletropaulotelecom.com.br>> Acesso em 29 de agosto de 2010.

TELECO, *Introdução e possibilidades do PLC*. São Paulo, SP [200-]. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais.asp>> . Acesso em: 22 de agosto de 2010.

Portal Terra, Anatel publica regulamento para internet via rede elétrica, Disponível em 14 de abril de 2009 <<http://tecnologia.terra.com.br/interna/0,,OI3700536-EI4802,00.html>> Acesso em 15 de agosto de 2010.

LIMA, Ronald Marcio. ESTUDO MERCADOLÓGICO DA TECNOLOGIA DE TRANSMISSÃO DE DADOS PELA REDE ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.lactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/Ronald.pdf>>. Acesso em 15 de agosto de 2010.

Portal UOL/Folha, Anatel regulamenta critérios técnicos para banda larga via rede elétrica. Disponível em 14/04/2009 <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u550155.shtml>> Acesso em 15 de agosto de 2010.

NANSEM, Disponível em: < <http://www.nansen.com.br/> > . Acesso em: 12 outubro de 2010.

R2010b Documentation → Wavelet Toolbox, Disponível em> <<http://www.mathworks.com/help/toolbox/wavelet/ug/f8-97720.html>> acesso em 26 de outubro de 2010.

THE TUTORIAL WAVELET, Disponível em: <<http://users.rowan.edu/~polikar/wavelets/wtpart3.html>> acesso em 26 de outubro de 2010

Agencia Nacional de Telecomunicações. Regulamentação. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br>> Acesso em 31 de outubro de 2010.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Regulamentação. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em 31 de outubro de 2010.

CAMPISTA, Miguel Elias M.. *Um Mecanismo Eficiente de Redução de Colisões para a Transmissão de Dados Através da Fiação Elétrica Domiciliar*. Grupo de Teleinformática e Automação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio



de Janeiro, out./nov.2002. Disponível em:  
<<http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/CCD05.pdf>>. Acesso em: 31 outubro de 2010.

CEMIG, COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. *Projeto Piloto PLC*. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/plc/>> . Acesso em: 03 de novembro de 2010.

CEPEL, CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. *Sobre o Uso de Redes de Distribuição como Meio de Comunicação de Dados*. Workshop Internacional sobre Power Line Communications – PLC – ANEEL, Rio de Janeiro, maio 2007. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/8%20-%20Fábio%20-%20CEPEL.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/8%20-%20Fábio%20-%20CEPEL.pdf)>. Acesso em 02 de novembro de 2010.

IEEE Standads Association. Normas, Grupo P1901. Disponível: <<http://grouper.ieee.org/groups/1901/>> Acesso em 04 de novembro de 2010.

de OLIVEIRA, Hélio Magalhães. ANALISE DE SINAIS PARA ENGENHEIROS: Uma abordagem via Wavelets. 1 ed. [S.l.]: BRASPORT, 2007. pag. 268.

de OLIVEIRA, Hélio Magalhães. ANALISE DE FOURIER E WAVELETS: sinais estacionários e não estacionários. 1 ed. [S.l.]: Editora universitária UFPE, 2007. pag. 342.

DOSTERT, K.. *Power line communications*. Nova Jersey: Prentice Hall, 2001.

FERREIRA, H. C.. *Power Line Communications: An Overview*, Transactions of the S.A. Institute of Electrical Engineering's, Michigan: AbeBooks, set. 1996

FOROUZAN, A. B.. *Comunicação de dados e redes de computadores*, Porto Alegre: Bookman, 2006

GONZÁLES, R. C.; Woods, R. E.. *Processamento de Imagens Digitais*, São Paulo: Editora Edgard Blücher, maio 1992.

LOVATO, Lourival. *A viabilidade da transmissão de dados em redes de energia Elétrica de baixa tensão*. 2002. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

MARUBAYASHI, G. e Tachikawa. *Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line*, IEEE 4th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Vol. 3, Set. 1996.

MAJUMBER, A. and Caffrey, J. *Power Line Communications: An Overview*: IEEE Potentials, Michigan, 2004. vol.23, 4-13 p.

PAVLIDOU, N., Han Vinck, A. J., Yazdani, J. and Honary, B. *Power Line Communications: State of the Art and Future Trends*. IEEE Communications Magazine, Houston, 2003. 34-40p.

SOARES, L. F.G., LEMOS, G., Colcher, S. *Redes de Computadores: Das Lan, Mans e Wans às Redes ATM*. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 2.ed.

SOUSA, L. B. *Redes de computadores: dados, voz e imagem*. 3ªed. São Paulo: Érica, 2000.

Malathi, P. e Dr. Vanathi, P.T., "Power Line Communication using OFDM and OGA", AIML Journal, Volume 7, Issue 1, Junho, 2007, [www.icgst.com](http://www.icgst.com).

de Oliveira, Hélio Magalhães. *ANALISE DE SINAIS PARA ENGENHEIROS: Uma abordagem via Wavelets*. 1 ed. BRASPORT, 2007. pag. 268. ISBN 9788574522838

de Oliveira, Hélio Magalhães. *ANALISE DE FOURIER E WAVELETS: sinais estacionários e não estacionários*. 1 ed. Editora universitária UFPE, 2007. pag. 342. ISBN 9788573154177

SALOMON, David. *Data Compression: The Complete Reference*. 2 ed. Nova Iorque: Springer, 2000.

HELD, Gilbert. *UNDERSTAND BROADBAND OVER POWERLINE* - Auerbach Publications, 2006

WSK - Wavelet Shift Keying. Disponível: < <http://www2.ee.ufpe.br/codec/WSKvf.pdf> >  
Acesso em 21 de novembro de 2010.

## 9. ANEXO - DEMONSTRAÇÃO DO PLC EM UMA MAQUETE

O objetivo da maquete é simular uma aplicação prática do sistema PLC, entregando sinais de dados e elétrico em tomadas de baixa tensão. A maquete “Projeto PLC” simula um circuito elétrico abastecido pelo sinal PLC nas tomadas de baixa tensão.

Uma tensão elétrica de 127V ou 220V é aplicada na tomada principal da maquete, essa tem por função ligar todo o circuito elétrico.

Na sequência, o MASTER (Equipamento responsável pela injeção do sinal PLC na rede elétrica ou no circuito) é alimentado e consequentemente aplica o sinal de dados PLC no circuito elétrico da maquete. Logo abaixo é exibida a figura com o desenho da maquete.

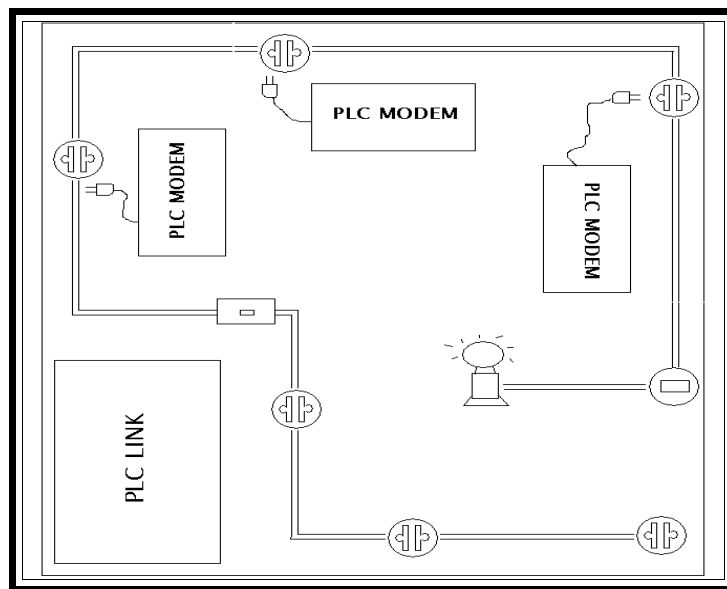


Figura 44: Desenho da maquete apresentada

O disjuntor é responsável em fazer a proteção do circuito elétrico nas tomadas que receberão os MODENS-CPE PLC (Equipamentos colocados no usuário final para que o sinal elétrico seja transformado em dados).

A maquete recebe três MODENS-CPE PLC que são diretamente ligados às tomadas e fazem transferência de sinais elétricos em sinais de dados. Neste processo é demonstrado o funcionamento da Tecnologia PLC, onde dois computadores são ligados ao circuito elétrico e ambos se comunicam via rede elétrica. Na última etapa, uma carga resistiva é inserida no circuito, a fim de demonstrar ruídos ou atenuações no sinal de dados.

Entre os equipamentos e elementos da maquete, destacam-se:

O Master que é o responsável pela injeção do sinal PLC na rede elétrica ou no circuito. Isto é feito através de um acoplador que faz parte do máster. A descrição dele é a seguinte na tabela 5.

Modelo:	API-2000-GW
Fabricante	CURRENT
Número de série	S/N 0821610118
Tensão	100-240 VOLTS AC
Corrente maxima	110V/0,16A – 230V/0,08A
Frequência	50/60Hz

Tabela 5: Dados do Master

O modem CPE é colocado no usuário final para que o sinal elétrico seja transformado em dados. Nas tabelas 6, 7 e 8, demonstramos os três modelos na maquete

Modelo:	APA-2000-DB - CURRENT
Número de série:	S/N-0733700940
Tensão:	100-240 VOLTS AC
Frequência:	50/60Hz

Tabela 6: Dados do CPE 1

Modelo:	APA-2000-DB - CURRENT
Número de série:	S/N-0733700954
Tensão:	100-240 VOLTS AC
Frequência:	50/60Hz

Tabela 7: Dados do CPE 2

Modelo:	APA-2000-DB - CURRENT
Número de série:	S/N-0733700962
Tensão:	100-240 VOLTS AC
Frequência:	50/60Hz

Tabela 8: Dados do CPE 3

Também foram utilizadas:

- seis tomadas;
- uma lâmpada incandescente de 127 V/ 60 Watts;

Conforme a experiência feita com a maquete, é visível que a tecnologia PLC se mostra sólida. Com ela, é possível simular a comunicação entre máquinas e equipamentos através da rede elétrica, mostrando num ambiente de laboratório, as possibilidades que a tecnologia oferece para aplicação de diversos serviços, e assim, demonstrar o potencial de mercado.