



UNIÃO EDUCACIONAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TRABALHO DE FINAL DE CURSO

OUTROS TRABALHOS EM:
www.projetoderedes.com.br

PLC – POWER LINE COMMUNICATIONS

JOSIAS RODRIGUES CORRÊA

2004



UNIÃO EDUCACIONAL DE MINAS GERAIS

**CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
JOSIAS RODRIGUES CORRÊA**

PLC – POWER LINE COMMUNICATIONS

Projeto de final de curso apresentado à Uniminas como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Esp. Alexandre Campos

Uberlândia
2004

JOSIAS RODRIGUES CORRÊA

PLC – POWER LINE COMMUNICATIONS

Projeto de final de curso apresentado à Uniminas como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Banca Examinadora:

Uberlândia, 26 de Junho de 2004

Prof. Esp. Alexandre Campos

Prof^a. Dra. Kátia Lopes Silva

Prof. Esp. Alexandre Rangel

Prof. Dr. Mauro Hemerly Gazzani

Agradecimentos

Agradeço à minha esposa Jassira e minha filha Júlia que ao longo destes 4 anos, abriram mão de uma grande parcela de nosso convívio familiar para que na faculdade eu pudesse me preparar para enfrentar uma nova realidade profissional vivida por mim. Agradeço aos meus pais e irmãos pelo incentivo, paciência e colaboração, aos funcionários e professores da Uniminás pelo apoio, especialmente agradeço ao meu orientador Alexandre Campos que com muita dedicação contribuiu em minha formação pessoal e profissional, e aos colegas de curso pela amizade e companheirismo de sempre.

Resumo

Este trabalho tem como principal objetivo fazer um estudo sobre esta nova alternativa para transmissão de dados em banda larga que as distribuidoras de energia elétrica estão testando: PLC – *Power Line Communications*. São abordados temas como: histórico, qualidade do serviço, tecnologia empregada, aspectos legais (regulamentação), dificuldades encontradas nos primeiros testes com PLC, exploração de outros serviços pelas concessionárias de energia elétrica com a tecnologia PLC, uma visão geral sobre como está a tecnologia no Brasil e outros Países e também um comparativo entre PLC e outro serviço de Internet em banda larga (ADSL).

O PLC apresenta-se como mais um meio de acesso à transmissão de sinais de dados, voz e imagem que, juntos, poderão ser transmitidos e recebidos em alta velocidade e com larga faixa de segurança e confiabilidade. Esta convergência de serviços é um dos grandes trunfos da tecnologia PLC, que acompanhando a tendência mercadológica oferece uma larga gama de serviços ao cliente em um único meio de transmissão de dados.

O mercado consumidor de Internet em banda larga, com exigências cada vez mais rígidas, terá em breve uma alternativa a mais de conexão com a Internet. Com o PLC a tendência é a redução de custos e melhoria da qualidade do serviço, devido ao grau de concorrência mais elevado que certamente ocorrerá quando esta tecnologia estiver disponível comercialmente no Brasil. Na Espanha após o início da comercialização do serviço PLC os preços para serviço em banda larga em ADSL e *Cable Modem*, tiveram seus preços reduzidos pois o novo serviço, além de mais barato, possui o dobro da velocidade e também um telefone IP grátis. Outro aspecto importante a salientar é a *inclusão digital*¹ proposta por governo e organizações não governamentais, que será amplamente beneficiada caso o PLC consiga ser economicamente e tecnicamente viável.

¹ Acesso a tecnologia como Internet para pessoas com baixo poder aquisitivo como forma de igualdade social.

Estudos mostram que esta nova tecnologia de transmissão de dados promete elevar muito as taxas de transmissão de dados para o usuário final. Outro fator muito relevante é a capilaridade² que o sistema pode atingir. Hoje segundo dados da ANEEL³, são 47 milhões de unidades consumidoras, das quais 85% são consumidores residenciais, em mais de 99% dos municípios brasileiros.

Certamente, após alguns aspectos técnicos serem regulamentados, a ANATEL⁴ e ANEEL permitirão que a tecnologia PLC possa ser comercialmente explorada no Brasil. Na Europa e Estados Unidos já existe exploração comercial desta tecnologia, em fase inicial. No Brasil, quatro empresas distribuidoras de energia elétrica (CEMIG em Minas Gerais, ELETROPAULO em São Paulo, COPEL no Paraná e LIGHT no Rio de Janeiro) estão com projeto piloto em fase final de avaliação e certamente estarão provendo serviços de acesso à Internet em banda larga tão logo o sistema esteja regulamentado.

Em todos os continentes estão sendo realizados projetos experimentais utilizando uma série de técnicas de modulação do sinal nas redes de baixa tensão, visando fugir do grande problema até então enfrentado pelo PLC: ruídos⁵ na rede secundária. Hoje técnicas de modulação GMSK, Spread *Spectrum* e OFDM conferem os melhores resultados para solucionar tal problema.

² Disponibilidade do serviço em vários locais devido ao grande volume de redes elétricas secundárias.

³ Agencia Nacional de Energia Elétrica

⁴ Agencia Nacional de Telecomunicações

⁵ São sinais gerados na rede por diversos eventos. Possuem frequência e amplitude variáveis

Abstract

The aim of this paper is to make a study about this new alternative to data transmission using broad band, which is being tested by the electric power distributor: PLC - Power Line Communications.

The following themes are boarded: History, quality of service, technology utilized, legal aspects (Regulations), difficulties found in the first tests with PLC, exploration of others services by the electric power concessioners with PLC technology, a general view about the technology in Brazil and others countries and also a comparison between PLC and another service of internet broad brand (ADSL).

PLC presents itself as a way of transmitting data signals, voice and image, which together, can be conveyed and received at a large security and trust ability. This convergence of services is one of the great triumphs of the technology PLC, which followed by the tendency of the market, offers a great amount of services to the client in just one way of data transmission.

The Internet market of broadband, which is very demanding, will have soon one more alternative of connecting to the Internet. Using PLC, the tendency is to cut down on costs and enhance the quality of service, due to the great level of competition that will certainly emerge by the time this technology is available in Brazil. In Spain, right after launching the PLC service, price for broad band services in ADSL and cable modem, had their prices cut down because of the new service, not only had lower price but was also twice faster and offered an IP telephone for free. Another important aspect to remember is the digital inclusion proposed by the government and also by non-governmental companies, which will be largely benefited, if the PLC technology proves to be economically and technically viable.

Studies show that this new technology of data transmission is expected to heighten the speed of access for the end user. Another relevant aspect is the capillarity the system can reach. Nowadays, according to ANEEL, there are 47 million consumer units, 85% of which are residential consumers, in more than 99% of Brazilian counties.

Certainly, after some technical aspects are regulated, ANATEL and ANEEL will allow the PLC technology to be commercially exploited in Brazil. In Europe and USA these technology are already being exploited commercially. In Brazil, four companies

(CEMIG in Minas Gerais, ELETROPAULO in Sao Paulo, COPEL in Parana and LIGHT in Rio de Janeiro) have a pilot project in avaliation phase and certainly will be providing service of broadband Internet as soon as the system is regulated.

Experimental projects are being done in all continents, using a series of techniques of signal modulation in low tension networks, aiming to avoid a great hitch faced so far by PLC: noise in the secondary network. Nowadays techniques of modulation GMSK, Spread Spectrum and OFDM offer the best result to solve such problem.

Sumário

	p.
<i>Resumo</i> _____	<i>iv</i>
<i>Abstract</i> _____	<i>vi</i>
1 INTRODUÇÃO _____	1
1.1 Princípio de Funcionamento do PLC _____	2
1.2 O Predecessor do PLC _____	3
1.3 Histórico _____	5
1.4 Oportunidades de negócio _____	5
1.4.1 Serviços residenciais _____	6
1.4.2 Serviços de acessos _____	6
1.4.3 Serviços exclusivos das concessionárias _____	6
1.5 Relevância deste trabalho e descrição dos capítulos _____	7
2 TECNOLOGIA PLC _____	8
2.1 Introdução _____	8
2.2 Sistema PLC _____	9
2.2.1 Sistema OUTDOOR _____	9
2.2.2 Sistema INDOOR _____	10
2.2.3 Modem PLC _____	11
2.3 Espectro de Frequência utilizado pelo PLC _____	11
2.4 Modulação do Sinal _____	12
2.4.1 Modulação OFDM _____	12
2.4.2 Modulação GMSK _____	13
2.4.3 Modulação Spread Spectrum _____	14
2.5 Interferências do PLC no Sistema Rádio _____	14
2.6 Acoplamento _____	15
2.6.1 Acoplamento no modem DS2 _____	15
2.7 Vantagens da Tecnologia PLC _____	16

2.8	Desvantagens da Tecnologia PLC	17
2.9	Aplicações	17
2.9.1	Redes Domésticas independentes	18
2.9.2	Internet banda larga	18
2.9.3	Serviços PLC específicos para as empresas de energia elétrica	18
3	<i>OBSTÁCULOS ENFRENTADOS PELA TECNOLOGIA PLC</i>	20
3.1	Introdução	20
3.2	Restrições Técnicas	20
3.2.1	Relação Sinal/Ruído	20
3.2.2	Interferência	21
3.2.3	Segmentação de Alimentadores	22
3.2.4	Segurança no Trabalho	22
3.3	Características das Redes de Energia Elétrica Brasileiras	22
3.3.1	Linha Convencional (Baixa Tensão)	23
3.3.2	Linha Compacta	24
3.3.3	Linha Pré-formada	25
3.4	Regulamentação	26
4	<i>PROJETOS EM PLC</i>	27
4.1	Introdução	27
4.2	PLC ENDESA (Espanha)	28
4.3	PLC DS2 (Espanha)	28
4.3.1	Arquitetura do Sistema DS2	29
4.4	PLC Main.net (Israel)	30
4.4.1	Arquitetura do Sistema PLUS	31
4.5	PLC Amperion Connect (EUA)	33
4.5.1	Arquitetura do Sistema Misto da Amperion Connect	33
4.5.2	Tecnologia Amperion para uso interno das empresas	34
4.5.3	Produtos Amperion Connect	35
4.5.4	Equipamentos do Cliente (CPE)	36

4.5.5 Equipamentos anciliares para agregação _____	36
4.6 Projetos Brasileiros em PLC _____	37
4.6.1 CEMIG _____	37
4.6.2 ELETROPAULO _____	40
4.6.3 COPEL _____	42
4.6.4 LIGHT (RIO) _____	43
5 <i>COMPARATIVO PLC x ADSL</i> _____	45
5.1 Comparativo entre PLC e ADSL e Linha discada _____	45
6 <i>CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS</i> _____	48
7 <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> _____	50

Lista de Figuras

	p.
<i>FIGURA 1: Visão geral do PLC – Fabricante DS2. (DS2,2004)</i>	3
<i>FIGURA 2: Power Line Carrier.</i>	4
<i>FIGURA 3: Visão geral do sistema PLC. (ENDESA, 2003).....</i>	9
<i>FIGURA 4: Sistema Outdoor. (ENDESA, 2003).....</i>	10
<i>FIGURA 5: Sistema Indoor. (ENDESA, 2003).....</i>	10
<i>FIGURA 6: Modem PLC. (ENDESA, 2003).....</i>	11
<i>FIGURA 7: Espectro de freqüência PLC. (ENDESA, 2003)</i>	11
<i>FIGURA 8: Sub-portadoras de um sinal OFDM. (APTEL, 2003)</i>	12
<i>FIGURA 9: Relação sinal/ruído na modulação OFDM. (APTEL, 2003).....</i>	13
<i>FIGURA 10: Espectro de Freqüência GMSK, OFDM e Spread Spectrum. (APTEL, 2003).....</i>	14
<i>FIGURA 11 Acoplamento de 3 Fases. (REIS, 2002)</i>	15
<i>FIGURA 12: Acoplamento no Modem PLC. (DS2, 2004).....</i>	16
<i>FIGURA 13: Modelo de linha convencional. (APTEL, 2003).....</i>	24
<i>FIGURA 14: Modelo de linha compacta. (REIS, 2002)</i>	25
<i>FIGURA 15: Modelo de linha pré-formada. (REIS, 2002)</i>	25
<i>FIGURA 16: Instalação telefonia IP e Internet banda larga oferecido pela ENDESA.</i>	28
<i>FIGURA 17: Layout instalação equipamentos DS2. (DS2, 2004)</i>	30
<i>FIGURA 18: Layout da instalação equipamentos Main.net.(MAIN.NET, 2004)</i>	32
<i>FIGURA 19: Layout Equipamentos PLC Amperion. (AMPERION, 2004).....</i>	37
<i>FIGURA 20: Layout projeto PLC CEMIG. (CEMIG, 2004)</i>	38
<i>FIGURA 21: Download via conexão discada com Modem de 56 KBit/s. (IGUAÇU ENERGIA, 2004)..</i>	46
<i>FIGURA 22: Download via conexão ADSL de 512Kbps. (IGUAÇU ENERGIA, 2004)</i>	46
<i>FIGURA 23: Download via conexão PLC de 7,5 Mbps. (IGUAÇU ENERGIA, 2004).....</i>	46

Lista de siglas e abreviaturas

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPERION	Fabricante de equipamento PLC – EUA
AMR	Automatic Meter Reading
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APTEL	Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações.
ARRL	Associação de Radio Amador Americana
ASCOM	Fabricante de equipamento – Suíça
ATM	Asynchronous Transfer Mode
Backhaul	Conexão ponto-a-ponto
BB	Bobina de Bloqueio
BPL	Broadband Power Line
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais AS
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardisation
CISPR22	Norma Européia sobre radiação
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CPE	Customer Permisses Equipment
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
DBM	Nível de potência de determinado equipamento
DHCP	Dynamic Host Control Protocol
DS2	Fabricante de produtos PLC – Espanha
EBA	Fabricante de equipamento - EUA
ENDESA	Companhia de Energia Elétrica Espanhola
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC-Part 15	Norma Americana sobre emissão de radiação (Radio Frequency Devices)
FEC	Forward Error Correction
FSK	Frequency Shifting Key
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying

HomePlug Alliance	Grupo formado por empresas para estudo e padronização do PLC
IEC	International Eletrotechnical Commission
INFOVIAS	Subsidiária da Cemig para serviços de Telecomunicações
IP	Internet Protocol
ISPs	Internet Service Provider
LIGHT	Companhia Energica do Rio de Janeiro
Main.net	Fabricante de produtos PLC - Israel
NAXOS	Revenda Equipamentos PLC
NOC	Network Operations Center
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPLAT	Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão
PLC	Power Line Communications
PLUS	Power Line Ultimate System (Main.net)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisão e aquisição de dados)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SNMP	Simple Network Management Protocol
SS	Spread Spectrum (Tipo de modulação de sinais-Espalhamento espectral)
STM1	Módulo da estrutura SDH
TPC	Transformador de Potencial Capacitivo
USB	Universal Serial Bus
UTC	United Telecom Council
VLAN	Virtual Local Área Network
VoIP	Voz sobre IP
WAP	Wireless Access Point
WiFi	Rede sem fio
WiFi Hotspot	Ponto de acesso à rede sem fio



1 INTRODUÇÃO

A transmissão de dados via rede de energia elétrica (*PLC - Power Line Communications*), teve seu nome escolhido pela maioria dos estudiosos do assunto para identificar esta tecnologia de transmissão de dados em banda larga⁶ via rede de energia elétrica. Embora muito promissor o sistema tem enfrentado inúmeros problemas relativos à interferência e ruídos. As primeiras implementações foram difíceis, porque a rede elétrica sofre interferências, como a multiplicação de harmônicos (sinais) de diversos equipamentos. Em casa, isso acontece quando liga-se um secador ou um liquidificador e o mesmo interfere na TV ou no rádio, por exemplo. A Internet via rede elétrica só evoluiu a partir do desenvolvimento de técnicas de modulação do sinal, voltadas para protegê-lo dessas interferências.

Avanços significativos foram alcançados nos últimos 3 anos e permitiram que algumas empresas Européias e Americanas iniciassem ao final de 2003 a operação comercial do PLC. Neste trabalho serão especialmente explorados dados técnicos e comerciais do serviço de PLC prestado comercialmente pela distribuidora de energia elétrica espanhola ENDESA e pelas empresas fornecedoras de equipamentos MAIN.NET (Israel) e DS2 (Espanha). No Brasil os testes iniciaram-se há aproximadamente 4 anos nas concessionárias de energia elétrica de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro. Nestas empresas os testes realizados encontram-se em fase final de análise de viabilidade (técnica e financeira). É importante salientar que a regulamentação da prestação de serviço do PLC ainda não ocorreu no Brasil. Esta regulamentação está discutida em uma comissão da ANATEL por um grupo de estudo denominado CB7. A função deste grupo de trabalho está voltada para o desenvolvimento de telecomunicações. Segundo informações da APTEL a regulamentação do PLC no Brasil está prevista para ocorrer até o final do ano de 2004 (APTEL, 2003).

O tema tem despertado muito interesse das empresas de energia elétrica, fabricantes de equipamentos e universidades de todo o mundo, que se organizaram em

⁶ Diversidade do tipo de dados transmitidos em mesmo meio físico

vários grupos de fomento, pesquisa e regulamentação da tecnologia PLC. Um dos mais importantes é o **PLCForum** que é formado por 90 membros de 17 países. O *PLCForum* reúne seus associados trimestralmente em assembleias desde o ano de 2000. Neste ano de 2004 foi realizado em maio de 2004 a 17ª assembleia na cidade de Bruxelas. Foi criado também um grupo HOMEPLUG ALLIANCE que reúne principalmente empresas Americanas e Européias. Outros órgãos reguladores do sistema elétrico e de telecomunicações também participam das discussões sobre PLC, tais como CENELEC, UTC e ETSI.

No Brasil o grupo de maior expressão em PLC, a APTEL, esta promovendo um seminário para o mês de junho/2004. O escopo do **V Seminário sobre Tecnologia Broadband over Power Line (PLC)** será o mais amplo possível, o evento será realizado na cidade de Goiânia e terá como objetivo principal divulgar a tecnologia PLC/BPL⁷, bem como abordar aspectos de sua implantação e operação comercial. Ocorrerão seções técnicas sobre:

- ✓ Tecnologia BPL;
- ✓ Cenário Mundial para BPL;
- ✓ Aspectos Regulatórios e Normas Técnicas;
- ✓ Experiências na implantação de operação comercial;
- ✓ Aspectos complementares com operadoras de telecomunicações;
- ✓ Composição da Rede Híbrida Fibras Ópticas/BPL;
- ✓ Aspectos sociais – Inclusão Digital;
- ✓ Estágio de desenvolvimento no Brasil;
- ✓ Outros tipos de soluções aplicáveis à nossa indústria.;

1.1 Princípio de Funcionamento do PLC

Como existem várias técnicas sendo estudadas atualmente no mundo, este trabalho se baseará em técnicas do fabricante Espanhol (DS2), onde a tecnologia já está disponível comercialmente, através da distribuidora de energia elétrica ENDESA.

O princípio de funcionamento da tecnologia PLC é parecido com o que já ocorre com o ADSL⁸ que utiliza a linha telefônica para inserir dados modulados em alta

⁷ Broadband Power Line

⁸ Assimetrical Digital Subscribe Line

freqüência em um meio físico de transmissão já existente. No caso do PLC é utilizada a rede física de energia elétrica para transmissão dos sinais. A figura 1 mostra uma visão geral do sistema PLC no projeto do fabricante DS2 em parceria com a concessionária de energia elétrica ENDESA. O sinal que trafega a partir do backbone⁹ Internet é injetado na rede secundária do transformador através do *head end* (HE). Este sinal é compartilhado por todos os usuários desta rede, que são segregados em VLAN's para garantir privacidade e segurança. Em cada usuário é instalado um repetidor de sinal (*Home Gateway*), em paralelo com o medidor de energia elétrica. Deste ponto em diante todas as tomadas estão com sinal disponível para conexão de um modem PLC (CPE¹⁰).

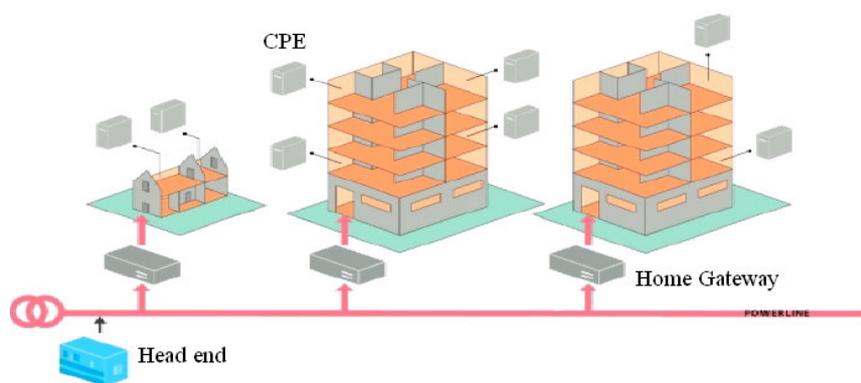


FIGURA 1: Visão geral do PLC – Fabricante DS2. (DS2,2004)

1.2 O Predecessor do PLC

Aproveitando a tecnologia *Power Line Carrier* amplamente utilizada pelas concessionárias de energia elétrica em redes de alta tensão¹¹, foi criada uma tecnologia de nome parecido para explorar a transmissão de dados em redes de baixa tensão¹² (*PLC – Power Line Communications*). O *Power Line Carrier*, entretanto, possui baixa capacidade de transmissão de dados e é explorado até os dias de hoje pelas concessionárias de energia elétrica para outros serviços como: voz e comunicação de dados em baixa velocidade (teleproteção, telecontrole e telemetria). São comunicações de banda estreita, que operam em baixa freqüência (de 30 a 400 KHz¹³). Estes serviços

⁹ trecho de maior capacidade da Internet ("Espinha dorsal")

¹⁰ Customer Premises Equipment

¹¹ Rede para transmissão de energia elétrica a longa distancia. Geralmente possuem tensões entre 69.000 Volts e 500.000 Volts.

¹² Rede para transmissão de energia elétrica a curta distancia (Vão do Transformador às Residenciais). Geralmente possuem tensões 127 Volts e 220 Volts.

¹³ Unidade de freqüência Hertz (KHz – milhares de Hertz)

são explorados transmitindo-se ondas portadoras em linhas de transmissão de energia com tensões entre 69KV a 500KV.

Sistemas de *Powerline Carrier*, chamados no Brasil de OPLAT (Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão), têm sido utilizados pelas empresas de energia elétrica desde a década de 30.

O *Powerline Carrier* trabalha em banda estreita, baixa velocidade e com modulação analógica. A velocidade de transmissão de dados conseguida neste caso não passa de 9,6 Kbps¹⁴. A figura 2 mostra a interligação de duas subestações utilizando a tecnologia *Power Line Carrier*. O sinal de alta frequência é injetado/retirado da rede alta tensão através de um Transformador de Potencial Capacitivo (TPC). Na entrada da subestação A deste exemplo é mostrado a Bobina de Bloqueio (BB) que funciona como um filtro passa baixa¹⁵. Este filtro impede que os sinais de alta frequência cheguem ao transformador. Antes da bobina de bloqueio existe um TPC que é conectado na chegada da linha de transmissão com a função de filtro passa alta¹⁶ para tratar unicamente os sinais de alta frequência. Portanto a combinação destes dois filtros faz com que os sinais de dados e sinais do sistema elétrico sigam caminhos diferentes na entrada da subestação.

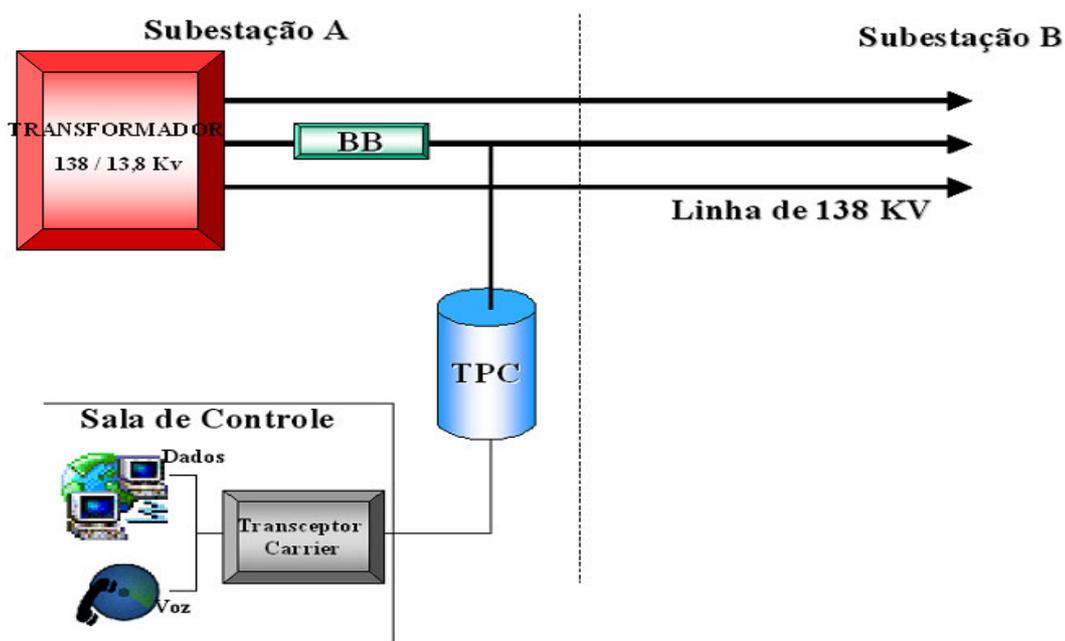


FIGURA 2: Power Line Carrier.

¹⁴ Kilobits por segundo

¹⁵ Permite a passagem de frequências abaixo de 600 Hz e bloqueia as demais frequências

¹⁶ Permite a passagem de frequências acima de 100 KHz. Este valor depende da frequência utilizada pelos equipamentos.

Aproveitando conhecimentos da tecnologia *Power Line Carrier*, foram realizadas algumas tentativas de comunicação de dados, voz e imagem, ou seja, aplicações em banda larga, nas redes de média tensão¹⁷ e redes de baixa tensão.

1.3 Histórico

Em 1991, na Inglaterra, a empresa Norweb Communications começou os testes de comunicação em redes de baixa tensão. Em outubro de 1997, Norweb e Nortel anunciaram que tinham resolvido os problemas associados a ruídos em linha de energia e interferências. Em março de 1998 o sucesso da iniciativa levaria a Nortel e United Utilities a constituírem uma parceria para comercializar mundialmente a tecnologia e assumir os novos desenvolvimentos em PLC: criou-se então a Nor.Web DPL. Em junho de 1998, a UTC (*United Telecom Council*), que congrega as concessionárias de energia elétrica, preparou o primeiro fórum PLC com 3 comitês: técnico, regulatório e comercial. Outros dois fóruns foram realizados, sendo o terceiro realizado em setembro/2003.

Em 2000 algumas empresas de energia elétrica Brasileiras iniciam testes com a tecnologia PLC.

1.4 Oportunidades de negócio

A crescente demanda por serviços de telecomunicações e a falta de infraestrutura física de telecomunicações suficiente para levar esses sinais até o usuário final têm atraído o interesse dos fabricantes para a utilização das redes de distribuição de baixa e média tensão como suporte para esse tipo de aplicação, que exige largura de banda maior que os tradicionalmente utilizados.

As empresas distribuidoras de energia elétrica têm levado em consideração os seguintes aspectos para investir no estudo e desenvolvimento da tecnologia PLC:

- ✓ O nível de desenvolvimento da tecnologia é bastante elevado, comprovado através da realização de diversos testes de campo bem sucedidos;
- ✓ Já existem diversas operações comerciais em desenvolvimento /andamento;

¹⁷ Rede para transmissão de energia elétrica a média distância. Geralmente possuem tensões entre 13.800 Volts e 34.500 Volts. Utilizadas para levar energia elétrica das Subestações até os transformadores abaixadores das ruas.

- ✓ Já existe um número razoável de fornecedores oferecendo seus produtos comercialmente: EBA, Main.net, DS2, Amperion, Current Technologies, Ascom, etc.;
- ✓ Existem diversas empresas de energia elétrica, interessadas nas possibilidades da tecnologia que, além de atender suas necessidades internas, permite a oferta de serviços de comunicações em banda larga.

É importante salientar que em 23 de Abril de 2003, a Agência Regulatória Federal de Serviços de Telecomunicações dos Estados Unidos – FCC – emitiu diversas declarações de seu Presidente, *Commissioner Powell* e Conselheiros, favoráveis ao emprego de tecnologia PLC, tendo, inclusive, alterado o nome/referência para BPL (*Broadband over Power Lines*)

São muitas as oportunidades de negócios utilizando-se a tecnologia PLC, podendo-se até dividir em três grandes grupos de aplicações: residenciais, serviços de acessos e serviços exclusivos das concessionárias.

1.4.1 Serviços residenciais

Nos serviços residenciais tem-se: monitoração de alarmes residenciais, segurança, domótica¹⁸, redes locais e outros.

1.4.2 Serviços de acessos

Nos serviços de acessos são explorados: Internet em banda larga, telefonia local e distante, voz sobre IP, entretenimento, vídeo, etc.

1.4.3 Serviços exclusivos das concessionárias

Para os serviços exclusivos das concessionárias o universo é muito amplo e já estão sendo realizados vários testes. A aplicação da tecnologia PLC no ambiente das concessionárias de energia elétrica pode trazer benefícios significativos a estas, já que a racionalização de suas atividades operacionais proporcionadas pela aplicação da tecnologia contribui para a redução de seus custos.

¹⁸ Automação residencial.

Um sistema de supervisão baseado na tecnologia PLC pode, por exemplo, auxiliar na isolação de falhas ao nível de consumidor, agilizando a manutenção e minimizando os tempos de indisponibilidade.

Aplicações típicas de gerenciamento da rede de distribuição tais como leitura automática de medidores (AMR), gerenciamento de carga, monitoração da qualidade da energia fornecida, gerenciamento de falhas (Automação da Rede) são apenas alguns exemplos de atividades operacionais tornadas mais eficientes e menos custosas pelo emprego da tecnologia PLC.

1.5 Relevância deste trabalho e descrição dos capítulos

A relevância deste trabalho se dá pela pesquisa de uma nova tecnologia de transmissão de dados em banda larga que poderá se tornar em um futuro próximo em uma alternativa atraente tanto para consumidores quanto para as empresas de energia elétrica.

No capítulo 1 serão abordados temas como: histórico do desenvolvimento da tecnologia, visão geral do PLC, predecessor do PLC e também oportunidade de negócios para as concessionárias de energia elétrica.

No capítulo 2 serão abordados: o funcionamento da tecnologia PLC, espectro de frequência, modulação de sinais, acoplamento do sinal PLC, vantagens e desvantagens e aplicações.

No capítulo 3 serão abordados temas sobre obstáculos enfrentados pela tecnologia PLC tais como: regulamentação, interferências, ruídos e também tipos de linhas de distribuição de energia elétrica, pois estas influenciam diretamente no comportamento e qualidade do serviço PLC.

No capítulo 4 será feita uma análise da atual conjuntura da tecnologia PLC em termos de Brasil e mundo, com destaque para os projetos da concessionária espanhola ENDESA e projeto dos fabricantes de equipamentos DS2 (Espanha), Main.net (Israel) e Amperion Connect (EUA). Serão abordados também neste capítulo, os projetos pilotos das concessionárias brasileiras CEMIG, ELETROPAULO, COPEL e LIGHT.

No Capítulo 5 será feita uma análise comparativa entre ADSL e PLC.

A conclusão e os comentários finais serão apresentados no capítulo 6.

2 TECNOLOGIA PLC

2.1 Introdução

Quando os cabos elétricos são utilizados como meio de transmissão, a instalação elétrica domiciliar comporta-se como uma rede de dados onde cada “tomada elétrica” é um ponto de conexão da rede.

O PLC utiliza redes de distribuição secundária, onde estão conectados os consumidores, com abrangência de alguns quarteirões por circuito. Requer baixo investimento, pois as tomadas de energia elétrica já serão os pontos de entrada e saída de dados.

No PLC a largura de banda disponível é compartilhada entre dezenas de usuários ao mesmo tempo (usuários que estiverem ligados ao mesmo transformador); logo o desempenho de uma conexão pode variar de acordo com o número de pessoas que estiverem navegando simultaneamente; assim como em outras tecnologias de acesso a Internet, como o ADSL, cable, linha discada e outras. Em função deste compartilhamento, é necessário proteger a privacidade do tráfego individual, para tal deve-se empregar tecnologia de redes virtuais (VLAN¹⁹ - baseada na IEEE 802.1Q) que assegura divisão de domínios de broadcast. No modelo atual, cada HE (*head end*) é constituído de 254 canais individuais, ou seja, são 254 usuários que compartilham a mesma rede física, porém em redes lógicas diferentes. Deve-se também utilizar algoritmos de criptografia para otimizar a segurança, uma vez que a rede é fisicamente aberta. Visando monitorar o tráfego e corrigir erros, dentre outros aspectos, a tecnologia deve possuir um sistema de gerenciamento automático e de supervisão, como por exemplo DHCP²⁰ para atribuição automática de endereços e SNMP²¹ para gerência.

Hoje, fabricantes já conseguem taxas de transmissão de até 45Mbps utilizando a tecnologia PLC. Na Cebit²² de Hannover foram apresentados pelos fabricantes DS2 e Main.net equipamentos que operam a velocidades de 200Mbps. (DS2 / Main.net, 2004)

¹⁹ Virtual Local Area Network

²⁰ Dynamic Host Control Protocol

²¹ Simple Network Management Protocol

²² Maior feira de informática do mundo realizada em Hannover (Alemanha) em abril/2004

2.2 Sistema PLC

A arquitetura utilizada pela empresa Espanhola ENDESA e pelo fabricante de equipamentos para PLC “DS2”, constitui-se em três blocos distintos: sistema OUTDOOR, sistema INDOOR e modem PLC.

O primeiro bloco, chamado de sistema OUTDOOR, tem a função de interface entre o Backbone Internet e a rede elétrica. O segundo bloco, chamado de sistema INDOOR, tem a função de repetidor do sinal (instalado em paralelo com o medidor de energia elétrica do usuário). O terceiro bloco é o modem PLC que faz a interface entre a rede elétrica (tomada) e a placa de rede/porta de saída USB do computador. A figura 3 mostra uma visão geral do funcionamento do sistema PLC.

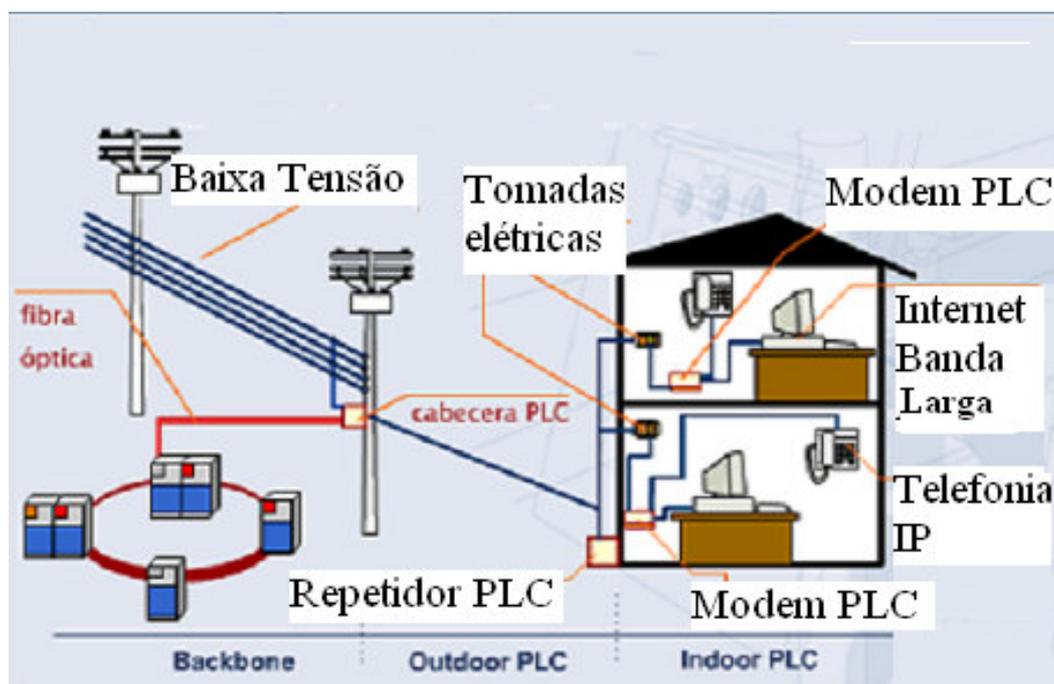


FIGURA 3: Visão geral do sistema PLC. (ENDESA, 2003)

2.2.1 Sistema OUTDOOR

É composto pela rede elétrica que vai desde o transformador de distribuição (lado de baixa tensão) até o medidor de energia elétrica residencial.

Na rede secundária do transformador é instalado o transceptor de sinais para a rede de baixa tensão (Cabeceira PLC) para conectar o *backbone* Internet à rede elétrica.

Neste ponto existe uma conversão de tipo do sinal (agora modulado em OFDM²³) para que os dados possam ser injetados na rede elétrica. Posteriormente no modem PLC será realizado a operação inversa para inserir dados TCP/IP no computador cliente. A figura 4 mostra a conexão do Cabeçera PLC à rede secundária do transformador

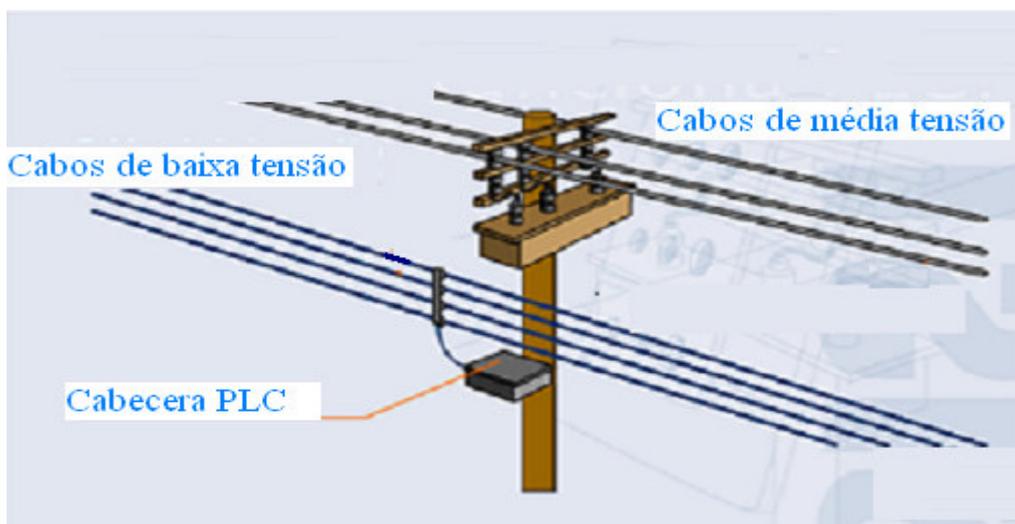


FIGURA 4: Sistema Outdoor. (ENDESA, 2003)

2.2.2 Sistema INDOOR

Este sistema abrange o trecho que vai desde o medidor de energia do usuário até todas as tomadas no interior da residência. Caso seja necessário, é instalado um equipamento na entrada do medidor de energia para repetir o sinal para o interior da residência. A figura 5 mostra a instalação do repetidor PLC e o medidor de energia elétrica.

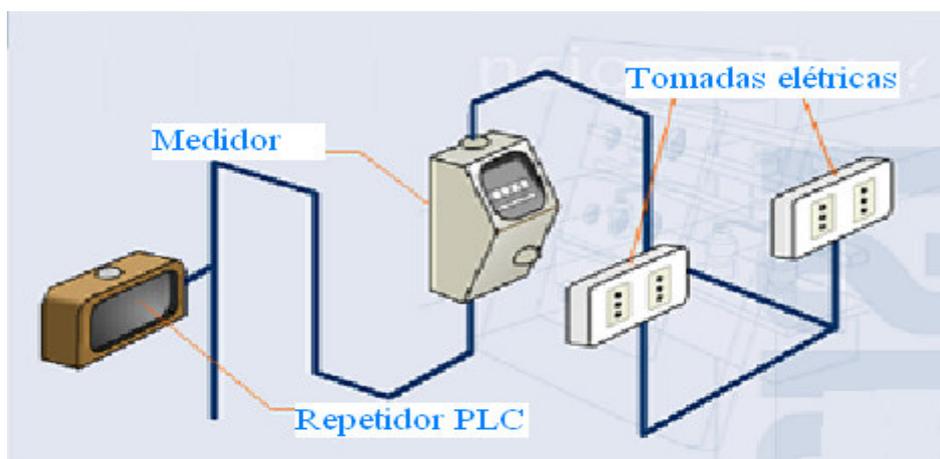


FIGURA 5: Sistema Indoor. (ENDESA, 2003)

²³ Orthogonal Frequency Division Multiplexing

2.2.3 Modem PLC

O Modem PLC adquire o sinal de dados diretamente da rede elétrica através de uma tomada simples. Neste modem existe um filtro passa alta para os *sinais de dados* e um filtro passa baixa para os *sinais elétricos*. A figura 6 mostra um modelo de placa modem PLC disponível no mercado.

Com este Modem PLC é possível conectar:

- * Um Computador
- * Um Telefone IP
- * Ou outro equipamento com interface Ethernet ou USB.



FIGURA 6: Modem PLC. (ENDESA, 2003)

2.3 Espectro de Frequência utilizado pelo PLC

O espectro de frequência utilizado pelo PLC dentro do sistema de energia elétrica é de 1,6Mhz a 35Mhz. O sistema elétrico é constituído de um faixa espectral de 60 HZ como frequência fundamental e geração de harmônicas de 120HZ a 1200Hz; pode-se verificar que não ocorre interferência de um sinal no outro devido a grande faixa de frequência que separa os dois sistemas (conforme mostrado na figura 7).



FIGURA 7: Espectro de frequência PLC. (ENDESA, 2003)

2.4 Modulação do Sinal

Um dos maiores problemas até hoje no desenvolvimento do PLC está na modulação de sinais. Alguns tipos de modulação utilizados no início da tecnologia PLC são muito sensíveis ao agressivo meio de transmissão “Rede Elétrica”.

2.4.1 Modulação OFDM

Com a evolução das pesquisas surgiu um tipo de modulação de sinais utilizado em outros dispositivos (por exemplo: celular GSM e TV digital) que se adaptou muito bem no PLC. Este método de modulação de sinais OFDM atua da seguinte maneira: ao invés de combater o ruído em linhas elétricas, ele deixa os sinais viajarem ao redor do ruído.

É uma técnica de modulação onde existe um número amplo de frequência sub-portadoras, as quais são transmitidas simultaneamente. Estas sub-portadoras são sobrepostas em diferentes ângulos de fase (ortogonalmente espaçadas), a fim de carregarem um número mais amplo de frequências numa área o menor possível. Uma quantidade menor de dados é transmitida em cada sub-portadora, porém a soma total é consideravelmente alta e proporciona uso eficiente do espectro.

Este tipo de modulação oferece grande adaptabilidade ao sistema, pois é possível suprimir portadoras interferentes ou interferidas ou variar o carregamento (número de bits) de cada portadora de acordo com a relação **sinal/ruído** ou atenuação do enlace. Este sistema necessita de amplificadores altamente lineares sob pena de harmônicas das portadoras provocarem interferências.

A figura 8 mostra as sub-portadoras de um sinal OFDM.

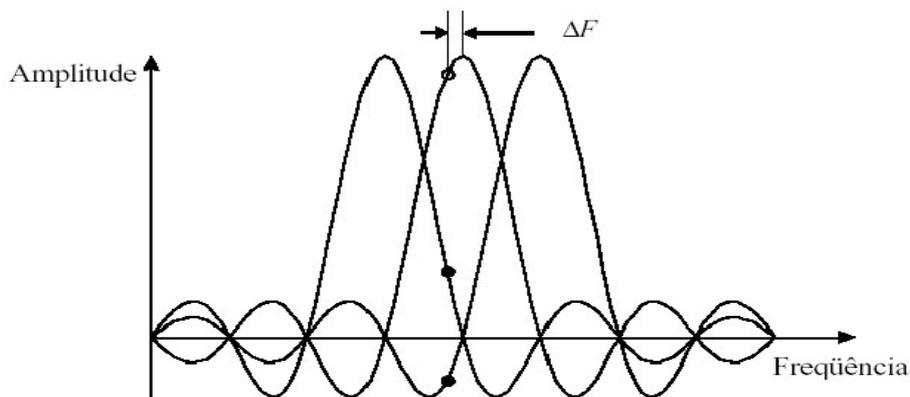


FIGURA 8: Sub-portadoras de um sinal OFDM. (APTEL, 2003)

OFDM proporciona alto desempenho num ambiente ruidoso, pois encontra sincronização em ambiente hostil; não requer equalização de canal, otimiza a relação sinal/ruído e utiliza um método de correção de erro denominado FEC²⁴ para surtos de ruído. A modulação ocorre em até 1280 portadoras diferentes simultaneamente.

Este padrão de modulação garante uma melhor adequação à rede elétrica pois de acordo com o nível de ruído e frequência em que estes ruídos se encontram, estes equipamentos alternam o carregamento dos dados automaticamente entre estas várias portadoras, garantindo assim estabilidade de comunicação mesmo sob condições de rede desfavoráveis.

A figura 9 mostra um exemplo de como a modulação em OFDM pode se adequar às diversas condições da rede em tempo real. À medida em que a relação sinal/ruído diminui, o carregamento de bits na portadora também diminui.

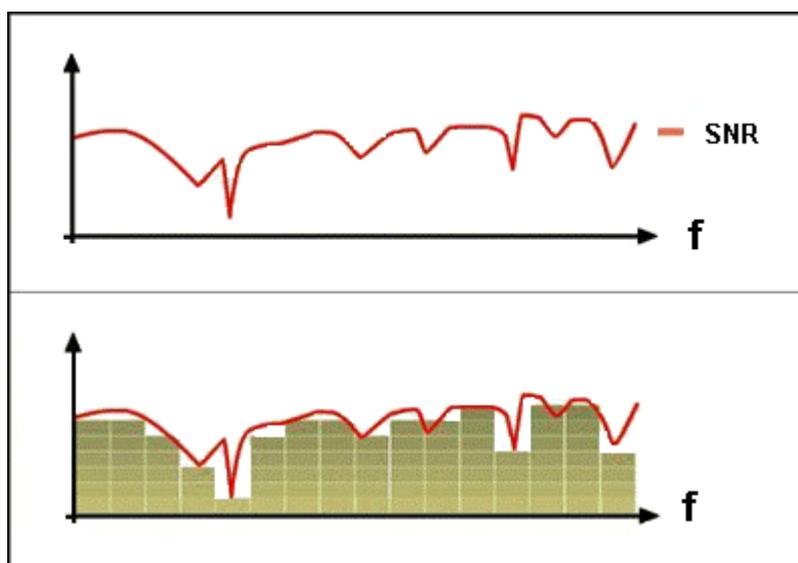


FIGURA 9: Relação sinal/ruído na modulação OFDM. (APTEL, 2003)

2.4.2 Modulação GMSK

Outra técnica de modulação é o GMSK²⁵, que transmite dados na fase da portadora, resultando num sinal envelope constante. Isso permite uma complexidade menor no amplificador, pois não produzirá harmônica indesejável.

²⁴ Forward Error Correction

²⁵ Gaussian Minimum Shift Keying

A técnica de modulação GMSK é um caso particular de modulação OFDM, às vezes referido como OFDM de banda larga. É um método robusto contra interferência em banda estreita, que é típico de radiodifusão em ondas médias.

2.4.3 Modulação Spread Spectrum

Alguns fabricantes utilizam também em PLC a modulação de sinais *spread spectrum* que também suporta as interferências e ruídos da rede elétrica.

A técnica de modulação de Espalhamento Espectral (*Spread Spectrum*), consiste em distribuir a potência do sinal ao longo de uma faixa de frequências muito ampla, de modo a garantir que a densidade espectral de potência seja bastante baixa. Em contrapartida, a largura de banda necessária para transmissão de taxas na ordem de *Megabits* é bastante elevada.

A figura 10 mostra o espectro de frequência utilizado em OFDM, GMSK e *spread spectrum*.

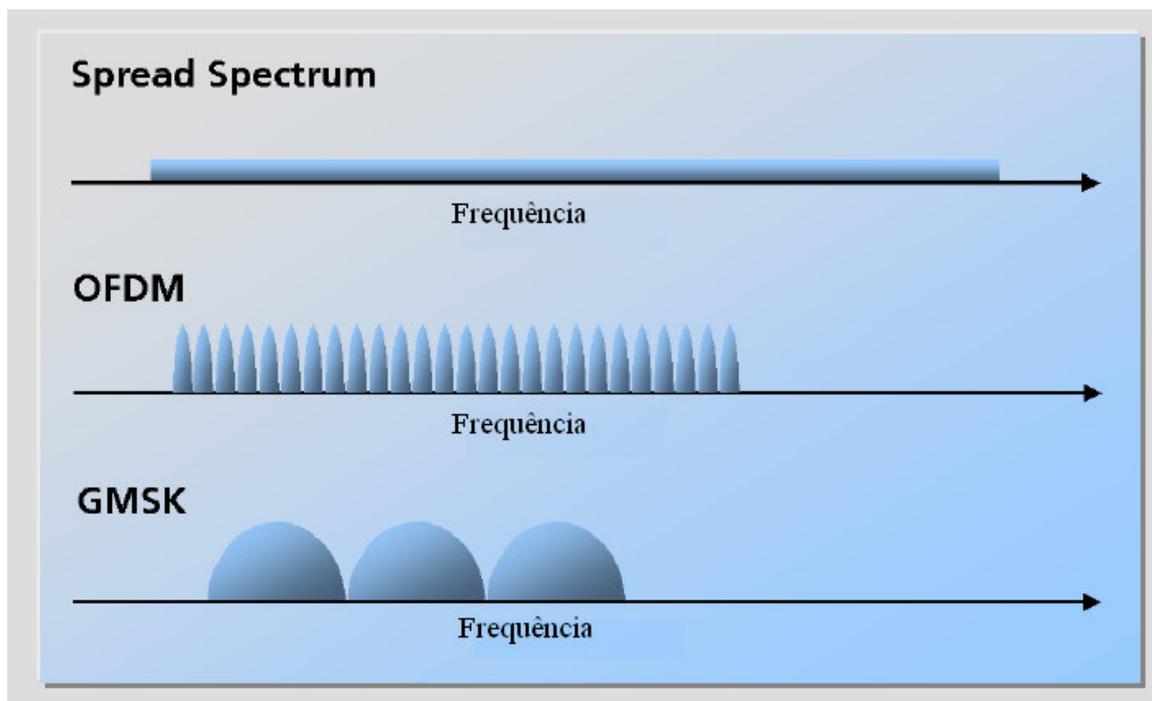


FIGURA 10: Espectro de Frequência GMSK, OFDM e Spread Spectrum. (APTEL, 2003)

2.5 Interferências do PLC no Sistema Rádio

Cabos metálicos podem deixar vazar quantidades de radiação causando interferências para os serviços que usam o espectro de rádio, mas o PLC deve procurar

lacunas no espectro que viabilizem esta tecnologia, não interferindo principalmente em rádio de ondas curtas e rádio amadores. Vários serviços de segurança e militares dependem desta faixa de ondas curtas do espectro (que vai de 1,5MHz a 30MHz). Alguns países (como Alemanha e EUA) têm estabelecido limites de radiação (NB30²⁶) para tentar garantir a coexistência entre PLC e usuário do espectro de rádio.

2.6 Acoplamento

O acoplamento do sinal PLC na linha pode ocorrer em duas ou três fases, conforme característica de cada equipamento. Optando por duas fases, a terceira trabalha com sinal induzido.

A figura 11 mostra o acoplamento do sinal PLC nas três fases do sistema elétrico. Estes acoplamentos usam filtros passa banda para segregar os sinais de energia e dados.

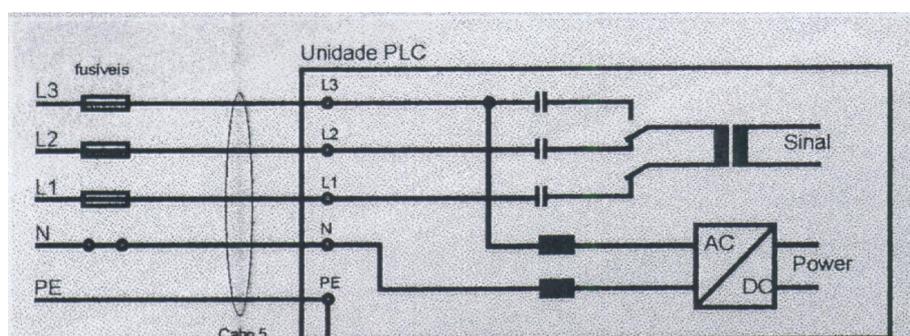


FIGURA 11 Acoplamento de 3 Fases. (REIS, 2002)

2.6.1 Acoplamento no modem DS2

No modem do fabricante DS2 o acoplamento dos sinais ocorre do seguinte modo: o sinal que sai da interface digital do micro (USB ou Ethernet) é tratado por um bloco de processamento de dados; em seguida passa por um bloco de processamento digital e logo após é convertido para sinal analógico de alta frequência para ser inserido na rede elétrica (sinal modulado conforme padrão definido pelo fabricante). No caminho inverso o sinal de alta frequência é capturado da rede elétrica e convertido para sinal

²⁶ Norma internacional ANSI que trata sobre limites de radiação

digital, tratado pelo bloco de processamento de dados que se encarrega de entregar os dados na interface digital para o micro.

A figura 12 mostra como ocorre este acoplamento de sinal no modem DS2. Este acoplamento separa os sinais de energia 60Hz dos sinais de dados, sem prejuízo dos sinais de dados e com segurança, para equipamentos e usuários.

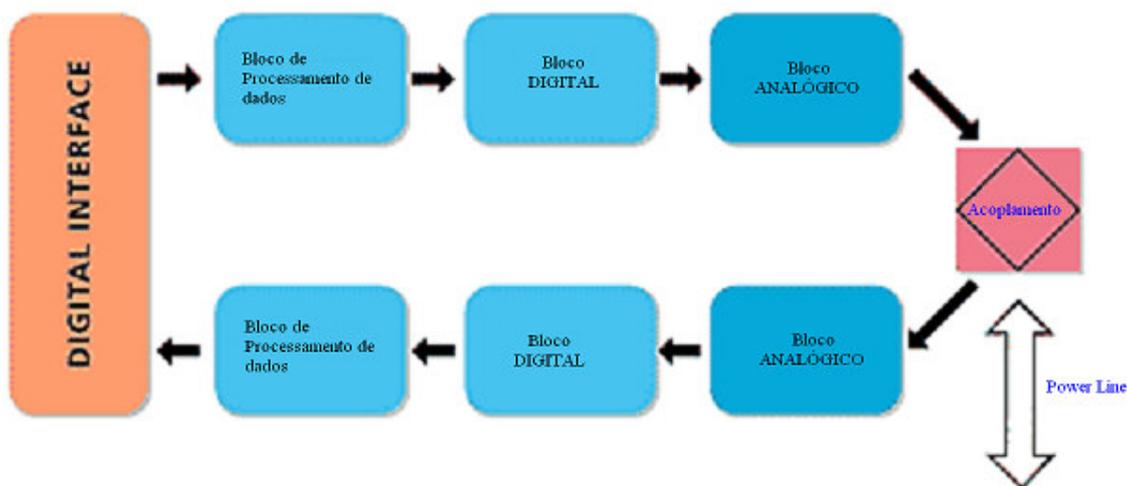


FIGURA 12: Acoplamento no Modem PLC. (DS2, 2004)

2.7 Vantagens da Tecnologia PLC

Embora a tecnologia PLC ainda não esteja totalmente pronta e regulamentada, algumas vantagens podem ser citadas para mostrar que o PLC é uma alternativa viável para transmissão de dados em banda larga:

- ✓ Alta capilaridade do sistema elétrico para diminuição dos custos de implantação;
- ✓ Não há necessidade de nova cabeção (a rede já está pronta);
- ✓ Barramento compartilhado (significa custo compartilhado);
- ✓ Oportunidade de novos negócios e diversificação de atividades;
- ✓ Rede doméstica com novas e múltiplas aplicações;
- ✓ Fácil instalação.

2.8 Desvantagens da Tecnologia PLC

As desvantagens que atualmente impedem uma massificação da tecnologia PLC estão principalmente ligadas à padronização e regulamentação e em parte pela diversificação e qualidade das redes de distribuição de energia elétrica:

- ✓ Mesmo nos países onde já existe exploração comercial, não existe uma regulamentação forte aceita mundialmente. Cada país vem condicionando a regulamentação conforme os avanços da tecnologia. No Brasil, ainda não existe sequer uma regulamentação. Existe apenas uma autorização da ANATEL para realização de testes com a tecnologia;
- ✓ A padronização também é outro grande empecilho, apesar das tentativas do PLCforum, HomePlug Alliance, ANATEL e outros órgãos;
- ✓ A qualidade das redes elétricas é um problema para algumas concessionárias brasileiras que possuem redes antigas e com necessidade de melhorias até mesmo para o fornecimento de energia elétrica;
- ✓ Falta escala de produção, o que encarece os equipamentos.
- ✓ O excesso de ruído na rede elétrica brasileira diminui a velocidade de transmissão e pode até silenciar o sinal;
- ✓ Outro fator que pode ser considerado como uma desvantagem é o fato do meio ser compartilhado com aproximadamente 50 usuários por subsistema. Como a banda é compartilhada é necessário utilizar fortes esquemas de segurança para evitar ataques.

2.9 Aplicações

O número de aplicações em PLC é muito vasto. Hoje além de uma simples rede doméstica em PLC, facilmente instalada e sem investimento em infraestrutura a tecnologia disponibiliza também Internet em banda larga com toda sua gama de serviço já conhecida e também aplicações dedicadas para as empresas de energia elétrica.

2.9.1 Redes Domésticas independentes

Hoje é possível construir uma rede local sem a necessidade de investimentos em infraestrutura utilizando a tecnologia PLC. Existem no mercado vários modelos de modem PLC que são ligados diretamente à tomada elétrica possibilitando assim a construção de uma LAN em pouquíssimo tempo, uma vez que estes equipamentos são *Plug-and-Play*. O custo destes equipamentos é em torno de R\$ 300,00 (o par) e existem vários modelos disponíveis. (NAXOS, 2004).

2.9.2 Internet banda larga

O acesso a Internet em banda larga, foco principal do PLC disponibiliza ao usuário uma banda compartilhada que nesta terceira geração de equipamentos pode chegar a 200Mbps (equipamentos lançados na Cebit de Hanover em Abril/2004). Na primeira geração os equipamentos dos projetos pilotos tinham capacidades de 4,5Mbps e os de segunda geração 45Mbps. Dentre os serviços disponíveis em banda larga pode-se destacar:

- ✓ Acesso em banda larga à Internet;
- ✓ Vídeo sob demanda;
- ✓ Telefonia IP;
- ✓ Serviços de monitoração e vigilância;
- ✓ Serviços de Monitoramento de trânsito (câmeras e comandos) ;
- ✓ Automação residencial (domótica).

2.9.3 Serviços PLC específicos para as empresas de energia elétrica

Agregando valor ao investimento PLC as empresas têm também disponível aplicações típicas de gerenciamento da rede de distribuição tais como:

- ✓ Leitura automática de medidores (AMR);
- ✓ Gerenciamento de carga;
- ✓ Monitoração da qualidade da energia fornecida;

- ✓ Gerenciamento de falhas (Automação da Rede). Auxiliar na isolação de falhas ao nível de consumidor, agilizando a manutenção e minimizando os tempos de indisponibilidade.

Estes são apenas alguns exemplos de atividades operacionais tornadas mais eficientes e menos custosas pelo emprego da tecnologia PLC. Com a aproximação do uso comercial em alta escala muitos outros serviços poderão ser incorporados ao sistema.

3 OBSTÁCULOS ENFRENTADOS PELA TECNOLOGIA PLC

3.1 Introdução

Neste capítulo serão destacadas algumas das restrições técnicas e as tecnologias ou métodos empregados para solucioná-los.

3.2 Restrições Técnicas

Os sistemas PLC vêm sendo desenvolvidos para aplicações em redes de distribuição de baixa e média tensão. Ambas aplicações enfrentam restrições técnicas similares, tais como:

- ✓ Relação Sinal/Ruído;
- ✓ Interferência;
- ✓ Segmentação de alimentadores;
- ✓ Segurança no Trabalho;

Tanto a relação sinal/ruído quanto a interferência são fatores determinantes e correlacionados para estabelecer o espectro disponível para utilização pelo sistema. A relação sinal/ruído influi na potência de transmissão dos equipamentos e esta, por sua vez, influi no nível de sinal irradiado pelo sistema. Este nível é estabelecido pelos organismos que regulam o sistema de telecomunicações.

3.2.1 Relação Sinal/Ruído

Não existe nenhum estudo ou publicação no Brasil sobre as características de ruído de linhas de distribuição de baixa e média tensão e como estas influenciam no desempenho de um sistema PLC. A faixa de frequências utilizada pelos produtos atualmente disponíveis ao mercado foi determinada por estudos considerando características existentes na Europa e Estados Unidos e portanto não atendem ao mercado brasileiro pois já existe utilização desta faixa do espectro de frequência.

Outro grande problema são os capacitores para correção do fator de potência das lâmpadas de iluminação pública a vapores metálicos, os quais necessitam de reatores de alto fator de potência e são alimentados diretamente na rede de baixa tensão, atenuando

fortemente o sinal. A solução para estes problemas é a utilização de métodos de modulação especiais, como a modulação por espalhamento espectral (*Spread Spectrum*), OFDM, GMSK (um FSK melhorado), citadas no capítulo 2.

3.2.2 Interferência

Basicamente, o tema pode ser dividido em duas áreas: a interferência provocada em outros sistemas licenciados que compartilham o espectro com o sistema PLC e aquela provocada por outros usuários licenciados no sistema PLC em operação.

Interferência provocada em outros sistemas licenciados:

Esta diretamente relacionada ao nível de potência que o organismo de regulação irá determinar como limite de operação para sistemas PLC; embora já venha se discutindo esse tema no Brasil há algum tempo, ainda não existe um padrão definido e certamente acompanhará uma das definições (Européia/Americana). Nos EUA equipamentos e sistemas PLC devem se submeter aos limites de emissão estabelecidos pela Norma FCC - Parte 15. Na Europa se aplica a Regulamentação estabelecida na Norma CISPR 22, que está sendo revista para a inclusão de equipamentos PLC.

O PLC está sujeito a limites de radiação de 30 microvolts/metro, medidos a uma distância de 30 metros (conforme a norma alemã NB30 – o que certamente será seguido pela regulamentação brasileira).

Interferência provocada por outros usuários licenciados no sistema PLC:

A preocupação neste caso é com relação à redução do espectro disponível para o sistema causada pela interferência provocada por outros licenciados, implicando em taxas de transmissão muito baixas, e inviabilizando sua aplicação. Considerando que as instalações desse sistema se viabilizarão em locais de grande concentração urbana onde já existem outros sinais nessa faixa, o prévio conhecimento dos níveis de sinal interferente nessas regiões se revela de extrema importância para o sucesso do empreendimento.

É importante ressaltar que na faixa espectral utilizada pelos equipamentos que vêm sendo oferecidos ao mercado brasileiro, já se encontram licenciados os seguintes serviços:

- ✓ Móvel marítimo;
- ✓ Móvel aeronáutico;
- ✓ Radioamador;
- ✓ Radiodifusão;

3.2.3 Segmentação de Alimentadores

Para atender a um elevado número de consumidores conectados a um alimentador poderá ser necessário dividir os consumidores em grupos menores, dividindo o alimentador em diversos segmentos. O espectro utilizável será dividido em múltiplos canais e ocupado por diversos pares de modem operando no mesmo alimentador e circuito de distribuição.

É importante ressaltar que a segmentação dos alimentadores também contribui para o aumento da segurança dos dados que trafegam na rede já que reduz o número de usuários compartilhando a banda no mesmo nó PLC.

3.2.4 Segurança no Trabalho

A segurança dos trabalhadores é um grande fator de preocupação já que os equipamentos são instalados diretamente nas linhas de energia.

Dispositivos que permitem a passagem de sinais através de transformadores/disjuntores não devem permitir a fuga de tensão, sob pena de eletrocutarem os trabalhadores que desempenham tarefas no local. A solução mais comumente empregada consiste em treinar as equipes de campo para a identificação de dispositivos PLC, sensibilizando-os para o potencial de perigo desses equipamentos.

3.3 Características das Redes de Energia Elétrica Brasileiras

Na Europa e EUA são muito utilizadas redes subterrâneas, as quais minimizam problemas inerentes a interferências, atenuação e ruídos. No Brasil a maioria das redes são do tipo convencional (aérea). Estas redes possuem algumas características que

podem ser de vital importância para a transmissão de dados. As características desejáveis de uma linha de transmissão de dados são:

- ✓ Impedância característica uniforme ao longo da linha;
- ✓ Baixa atenuação para sinais transmitidos;
- ✓ Baixa reflexão e baixa irradiação;
- ✓ Baixa captação de sinais externos e ruídos.

Geralmente nas concessionárias de energia elétrica existem 3 tipos de redes de distribuição aérea. Cada tipo tem vantagens e desvantagens para transmissão de dados, conforme comparativo descrito abaixo:

3.3.1 Linha Convencional (Baixa Tensão)

A utilização deste tipo de linha apresenta uma dificuldade prática devido a que grande parte da rede brasileira de iluminação pública utiliza capacitores para fins de correção do fator de potência dos conjuntos lâmpadas/reatores. Como em muitos casos a iluminação é alimentada diretamente a partir da rede aérea de distribuição, estes capacitores atenuam ou bloqueiam a transmissão de sinais de frequências elevadas.

As linhas aéreas de baixa tensão têm comportamento semelhante a linhas de comunicação de condutores paralelos aéreos permitindo, em princípio, a transmissão de sinais de frequências mais elevadas, sem risco da ocorrência de irradiações questionáveis. Elas diferem das linhas aéreas de média tensão devido ao fato de que as cargas dispostas ao longo de sua extensão se repetem em intervalos mais curtos e são representadas por cargas de baixa impedância para os sinais transmitidos. Além do efeito do desacoplamento de sinal, estas cargas apresentam perdas elevadas, aumentando a atenuação total.

Ao contrário das linhas de média tensão, os isoladores nas linhas de baixa tensão não costumam gerar ruído. Podem estar presentes ruídos produzidos pelo homem, tais como aqueles provocados por aparelhos elétricos dotados de motores de escova. Além desses ruídos, estão presentes sinais de emissoras comerciais de radiodifusão em nível comparável aos encontrados em linhas de média tensão.

Os ramais de serviço que conectam cada consumidor à linha se constituem em dezenas de pontos de derivação geradores de reflexões. A combinação dos ruídos presentes nas linhas de baixa tensão, com as frequentes derivações e os elevados valores

de atenuação total, faz dessas linhas um ambiente relativamente hostil para a transmissão de sinais de telecomunicações.

A figura 13 mostra um modelo de linha convencional. Neste tipo de linha a transmissão de dados é diretamente influenciada por:

- ✓ Impedância característica variável ao longo da linha;
- ✓ Descasamento devido a conexões de transformadores de 13,8KV;
- ✓ Ruídos causados por isoladores defeituosos (média tensão);
- ✓ Reflexões devido a derivações para outros consumidores;
- ✓ Interferências de emissoras de rádio em ondas médias.

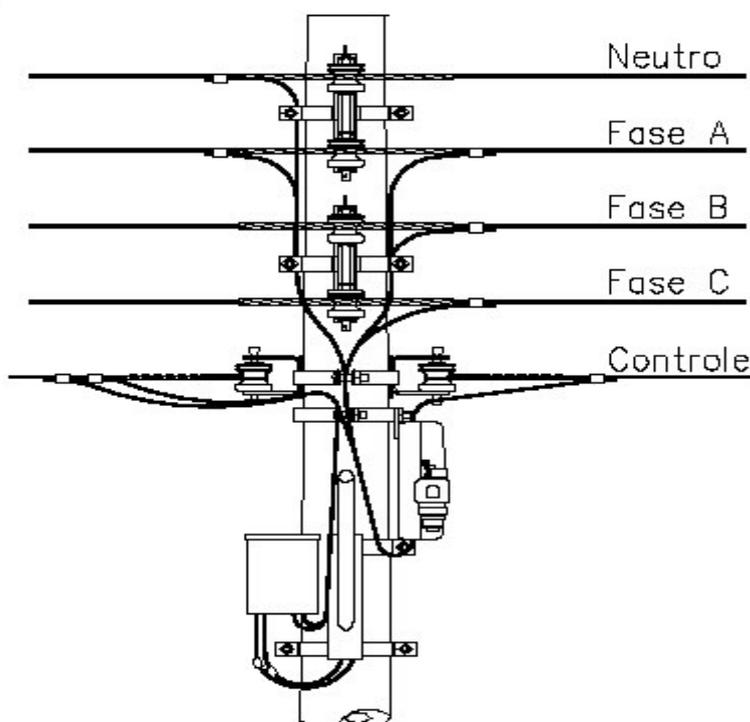


FIGURA 13: Modelo de linha convencional. (APTEL, 2003)

3.3.2 Linha Compacta

A figura 14 mostra um modelo de linha compacta. Neste tipo de linha a transmissão de dados é diretamente influenciada por:

- ✓ Condições mais favoráveis para transmissão de sinais;
- ✓ Menor afastamento entre condutores, logo menor irradiação;
- ✓ Afastamento entre cabos mais constante, logo menor reflexão;

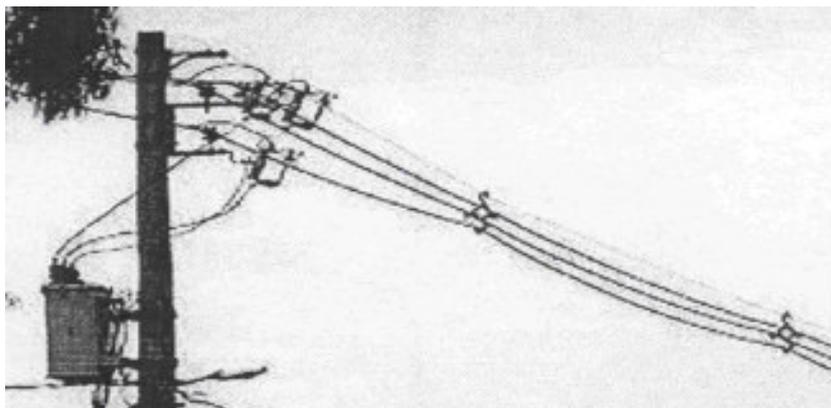


FIGURA 14: Modelo de linha compacta. (REIS, 2002)

3.3.3 Linha Pré-formada

A figura 15 mostra um modelo de linha pré-formada. Neste tipo de linha a transmissão de dados é diretamente influenciada pelas características da rede que são:

- ✓ Impedância característica mais constante devido sua construção (menor reflexão);
- ✓ Possui características similares aos cabos coaxiais;
- ✓ Baixa irradiação e interferência, pois cabos são blindados;
- ✓ Alta atenuação para sinais de alta frequência (perdas no dielétrico).

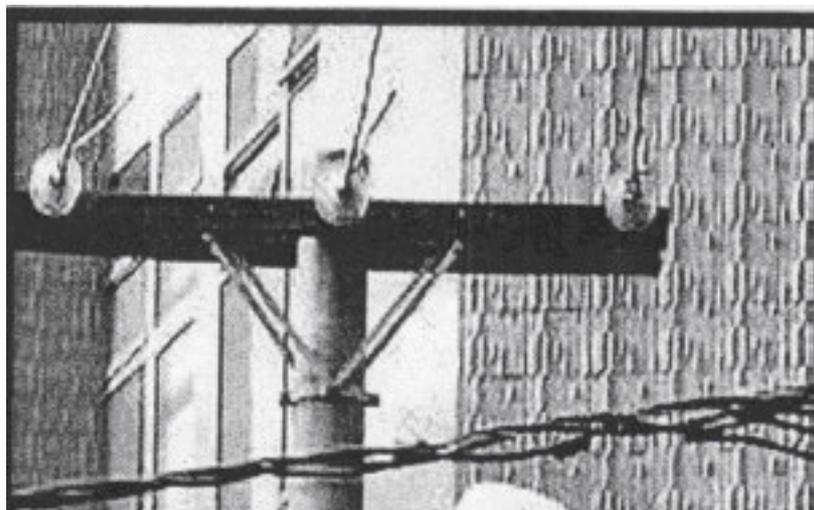


FIGURA 15: Modelo de linha pré-formada. (REIS, 2002)

3.4 Regulamentação

Outra dificuldade ainda não solucionada no Brasil e também no resto do mundo é a regulamentação desta tecnologia. Somente as frequências 3 a 148,5 KHz para *Power Line Carrier* estão regulamentadas pelo CENELEC²⁷.

Nos EUA, foi criada em 2000, uma aliança chamada “HomePlug Powerline Alliance”, composta de 13 grandes empresas (3Com, AMD, Cisco, Compaq, Conexant, Enikia, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic, RadioShack, SoniBlue e Texas Instruments), que se empenhou em desenvolver uma especificação que possa ser aceita globalmente para rápida liberação, adoção e implementação, interoperabilidade e especificação de produtos.

No Brasil foi entregue à ANATEL um modelo de regulamentação proposto por integrantes do grupo CBC7²⁸ no dia 12 de fevereiro 2004. A ANATEL, tem provido discussões para criar uma regulamentação do uso da tecnologia. Segundo a revista *PC world* de dezembro de 2003, O PLC ainda não tem aval da Anatel nem da Aneel para funcionar no Brasil, mas a regulamentação "está a caminho". De acordo com as estimativas da agência, a regulamentação para a Internet via rede elétrica deve ficar pronta ao longo de 2004. (PC World, 2003).

A FCC Part 15²⁹ é a única regulamentação mundial que determina limites para radiação não-intencional proveniente de sistemas de telecomunicações com fio. Situação estável e bastante experimentada, estabelecendo um limite de 30µV/m a uma distância de 30 metros e um fator de correção de 40dB/década para outras distâncias.

Utilizada por vários anos na totalidade do contingente de sistemas instalados nos Estados Unidos e Canadá. Esta experiência e utilização seriam suficientes para garantir a aplicabilidade da mesma como modelo na definição de uma regulamentação para redes PLC no Brasil.

²⁷ European Committee for Electrotechnical Standardisation

²⁸ Grupo de estudo coordenado pela ANATEL, com participação de fabricante de equipamentos e concessionárias de energia elétrica. A missão deste grupo é estudar e propor regulamentação para o PLC.

²⁹ Norma Americana para limites de radiação.

4 PROJETOS EM PLC

4.1 Introdução

Neste capítulo serão descritas algumas experiências realizadas com o PLC em várias empresas. No caso da distribuidora de energia elétrica espanhola ENDESA, foram obtidos dados da fase inicial (projetos piloto) até o estágio de lançamento comercial iniciado em novembro de 2003. Empresas brasileiras também estão em fase final de seus projetos piloto nas cidades de Belo Horizonte (CEMIG), São Paulo (ELETROPAULO), Curitiba (COPEL) e Rio de Janeiro (LIGHT).

No exterior, a conexão à web via rede elétrica já tem uso comercial em pelo menos sete países da Europa, Leste Europeu, Ásia e América Latina (Revista Teletime, 2003).

- ✓ Na Alemanha, as companhias de eletricidade Energie Baden-Württemberg (EnBW) e RWE Energie Essen vendem conexão BPL (PLC) para clientes residenciais desde 2002 usando equipamentos da Ascom;
- ✓ Na Suíça, a utility SIG oferece o acesso com essa tecnologia para estudantes da Universidade de Genebra;
- ✓ Na Rússia, a empresa de energia O.O.O. Energomegasbit (empresa Ltda.) montou uma rede para 20 mil assinantes na cidade de Jelesnogorsk;
- ✓ Em Hong-Kong já existem 10 mil clientes e são esperados mais 40 mil nos próximos dois anos;
- ✓ Na Inglaterra, um piloto comercial com mil usuários começou em setembro/2003 em Winchester comandado pela SSE Telecom;
- ✓ Na Espanha existem projetos comerciais na Iberdrola e ENDESA desde Novembro/2003;
- ✓ Também há BPL sendo comercializada em países latino-americanos, como Porto Rico e Guatemala, com tecnologia da EBA. (Revista Teletime, 2003).

4.2 PLC ENDESA (Espanha)

A ENDESA iniciou no ano de 2001, quatro projetos pilotos em PLC nas cidades de Saragossa, Sevilia, Barcelona e Santiago do Chile (através de sua subsidiária ENERSIS). Em média cada projeto atendeu a 40 usuários. Um ano após o projeto piloto da cidade de Saragossa foi ampliado para 2.500 usuários e posteriormente em novembro de 2003 iniciou a exploração comercial do serviço para 20.000 usuários.

Em janeiro 2004 a ENDESA iniciou também operação comercial na cidade de Barcelona. Segundo informações da empresa, a projeção é de atender 100.000 usuários até meados de 2004 nas duas cidades. (ENDESA, 2004)

Os serviços oferecidos são bastante atrativos e têm atraído muitos clientes para experimentar a transmissão de dados em banda larga. O assinante que contrata o serviço de Internet em banda larga ganha telefonia IP grátis. A figura 16 mostra a conexão dos equipamentos do usuário (manual de instalação ENDESA).

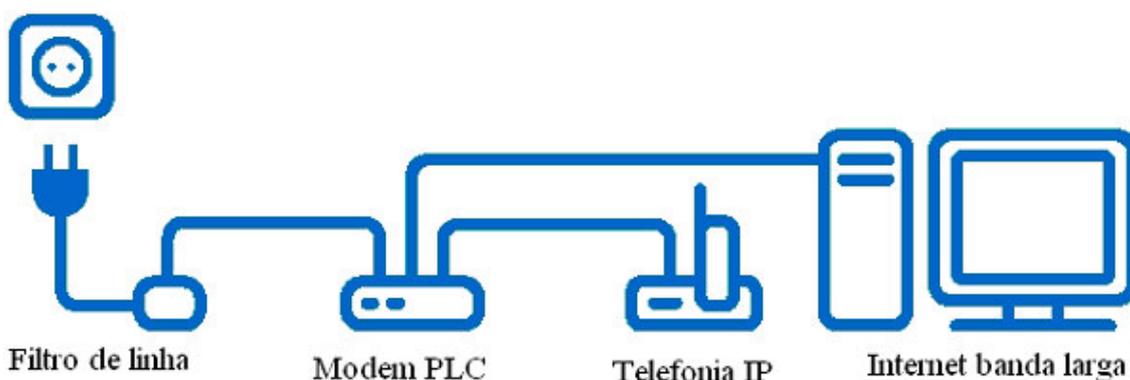


FIGURA 16: Instalação telefonia IP e Internet banda larga oferecido pela ENDESA.

4.3 PLC DS2 (Espanha)

O Sistema desenvolvido pelo fabricante de equipamentos PLC - DS2 é constituído por três unidades:

4.3.1 Arquitetura do Sistema DS2

A **Unidade Master**, também denominada HE (*Head End*), foi projetada para comunicações de dados orientada a pacotes. Pode tratar pacotes de até 8 Kb e tráfego em tempo real, típico de aplicações VoIP. Oferece taxas de até 45 Mbps, *full duplex*, ponto – multiponto, utilizando menos de 10 Mhz de espectro. Cada unidade pode tratar até 254 nós PLC, sendo seu gerenciamento executado através do protocolo SNMP.

A **Unidade Repetidora**, também denominada HG (*Home Gateway*), que retransmite o sinal oriundo de um HE para o restante dos equipamentos da rede, estendendo sua cobertura até o cliente final. Outra funcionalidade do HG é isolar o tráfego da rede *Powerline* criando outro segmento isolado do anterior com capacidade adicional de 45 Mbps. A ele podem ser conectados até 254 equipamentos PLC, ampliando a capacidade da rede. Oferece taxas de até 45 Mbps, *full duplex*, ponto – multiponto, utilizando menos de 10 Mhz de espectro, sendo seu gerenciamento executado através do protocolo SNMP. Possui *firewall* interno que permite isolar as redes *Powerline* da rede Ethernet, permitindo que só o tráfego autorizado circule entre as interfaces.

O **Equipamento de Usuário Final**, também denominados CPE (*Customer Premises Equipment*) - Modem do cliente tem a função de capturar o sinal de dados em uma tomada de energia qualquer e disponibilizá-lo ao usuário. Neste ponto é feito o acoplamento do sinal digital do micro em sinal analógico para ser enviado ao HE (*head end*) que fará a operação inversa. Deste modo, fica transparente para o usuário a utilização do protocolo TCP/IP. A figura 17 mostra um esquema de configuração típica dos equipamentos DS2. Nota-se que os usuários próximo do HE (*head end*) não precisam da unidade repetidora HG (*Home Gateway*).

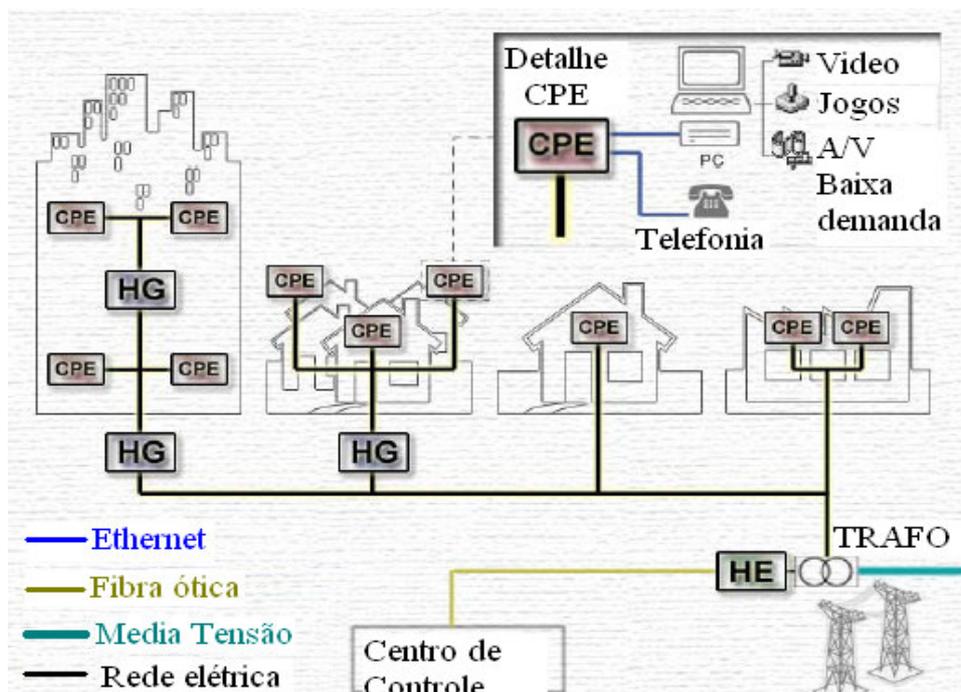


FIGURA 17: Layout instalação equipamentos DS2. (DS2, 2004)

4.4 PLC Main.net (Israel)

A empresa **Main.net** é um dos maiores fornecedores da tecnologia PLC no mundo. A empresa está presente em 15 países, inclusive no Brasil, fornecendo equipamentos e consultoria para as concessionárias de energia elétrica desenvolverem seus pilotos em PLC.

A concepção do sistema PLC da Main.net (PLUS - *Power Line Ultimate System*), que utiliza a tecnologia de modulação **Spread Spectrum**, difere do Sistema tradicional, em que se procura enviar o sinal mais potente possível para atingir o usuário final. Em sua implementação cada unidade envia o sinal com a menor potência que permita atingir o próximo ponto. O sistema emprega repetição inteligente e usa a atenuação das linhas elétricas para criar células similares às utilizadas em sistemas celulares, permitindo que diferentes unidades utilizem eficientemente as mesmas frequências, sem a ocorrência de colisões; as unidades se interconectam utilizando um protocolo multiponto proprietário. Para o usuário final, o sistema é totalmente transparente ao protocolo IP, viabilizando qualquer aplicação padrão deste protocolo.

O sistema é baseado em tecnologia que permite a combinação das aplicações de acesso e rede interna em uma mesma aplicação, sem a necessidade de hardware

intermediário (*home gateway*). Possui, também, o **NmPlus** (*Plus Network Management*) que possibilita o gerenciamento remoto e controle de todas as unidades disponibilizadas aos usuários.

4.4.1 Arquitetura do Sistema PLUS

O Sistema PLUS pode ser facilmente integrado a qualquer infra-estrutura de comunicações (SDH/ATM/IP, por exemplo), constituindo-se por três tipos de equipamentos:

Unidades Indoor (*Indoor units*) – instaladas pelos usuários finais em suas residências ou escritórios (*plug and play*), apresentadas nas seguintes configurações:

- ✓ **NtPlus** – A unidade NtPlus (*Network Termination*) é a unidade básica para acesso à Internet, conectando o computador (ou qualquer outro periférico) à tomada elétrica. É equipada com conector para ligação do computador e, opcionalmente, outra entrada para conexão de telefone analógico padrão.
- ✓ **TelPlus** – A unidade TelPlus disponibiliza aplicações de telefonia sobre IP, possuindo conector telefônico padrão (RJ11) para ligação de telefone analógico padrão.

Unidades de Acesso (*PLUS Backbone*) - instaladas ao longo das linhas de distribuição formam o backbone do sistema.

- ✓ **CuPlus** – A unidade CuPlus (*Concentrating Unit*) é instalada na rua nas proximidades do transformador de baixa tensão. Esta unidade transfere a informação vinda do backbone para a rede elétrica e vice-versa, comunicando-se com o Gerenciamento de Rede de um lado e com as unidades de acesso de outro lado. Um sistema comercial consiste em diversas unidades CuPlus, criando diversas células PLC.
- ✓ **RpPlus** – A unidade RpPlus (*Repeater Unit*) é um repetidor que conecta as unidades indoor à rede Plus, possibilitando a cobertura de longas distâncias mesmo em ambientes ruidosos. A unidade pode ser instalada em qualquer armário de rua e aumenta a qualidade da conexão.
- ✓ **CtPlus** – A unidade CtPlus (*Communications Transformer*) é uma solução para o mercado americano, caracterizado por baixa quantidade de

consumidores por transformador de baixa tensão. Ela possibilita a transmissão de sinais PLC em linhas de média tensão em redes com essa topologia.

- ✓ **AmrPlus** – A unidade AMR (*Automatic Meter Reading*) viabiliza uma eficiente integração com Sistemas de Leitura Automática de Medidores, possuindo uma interface adicional para conexão a concentradores de leitura.

Unidades de Controle/Gerenciamento (*Network Management and Control*):

São instaladas no Centro Regional de Controle da empresa, comunicam-se via backbone IP com todas as unidades do sistema, gerenciando e controlando todos os componentes da rede Plus. Oferecem as seguintes facilidades:

- ✓ Ativação/desativação de componentes do sistema;
- ✓ Controle de falhas;
- ✓ Dados para bilhetagem e estatística;
- ✓ *Download* remoto de softwares;
- ✓ Detecção de falha para todas as unidades do sistema.

A figura 18 apresenta um esquema de configuração típica dos equipamentos do fabricante Main.net.

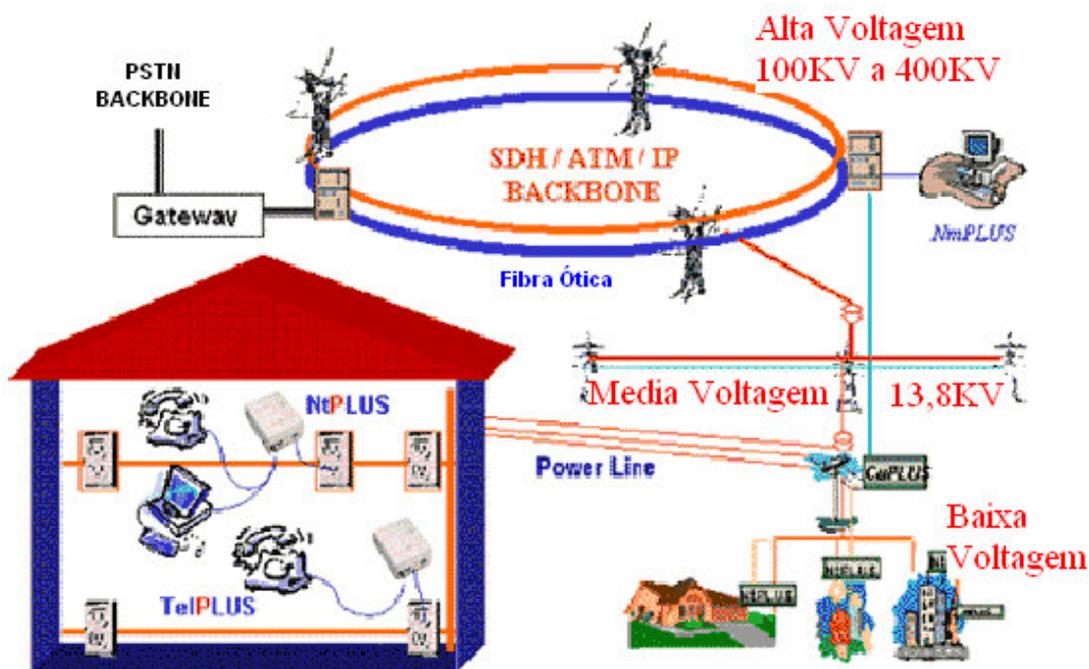


FIGURA 18: Layout da instalação equipamentos Main.net.(MAIN.NET, 2004)

4.5 PLC Amperion Connect (EUA)

O Serviço PLC da Amperion Connect se difere dos demais, por usar um **sistema misto** para chegar até ao usuário final. O serviço PLC funciona nas redes de média tensão onde existem uma série de pontos onde é retirado o sinal e injetado em um sistema de rede sem fio já comumente utilizado.

4.5.1 Arquitetura do Sistema Misto da Amperion Connect

O sistema “**Amperion Connect**” oferece um conjunto de produtos de hardware e software que permite serviços de acesso de banda larga para usuário residencial e corporativo e serviços próprios para as distribuidoras de energia elétrica. O acesso proprietário da Amperion denominado **PowerWiFi** interliga a rede Power Line com o usuário final via uma conexão sem fio no padrão **802.11b**, o que permite o emprego de equipamentos ditos “de prateleira” por parte do usuário final.

Os equipamentos Amperion fornecem 15 a 20 Mbps ao longo da rede de média tensão. A versão atual utiliza padrão **802.11b** nos pontos de acesso do cliente (Repetidor/Extrator ou Extratores), o qual tem uma cobertura com raio de aproximadamente 182 metros. Caso sejam utilizadas antenas unidirecionais no CPE (*Customer Premise Equipment*) o raio pode ser estendido até 305 metros. A vazão por Repetidor/Extrator é de 11Mbps nominal e 4-6Mbps entregue. Este valor é consistente com a máxima taxa de dados do 802.11b. A Amperion pretende num futuro próximo incorporar nos seus produtos os rádios **802.11a** e **802.11g** que certamente aumentarão a vazão do sistema.

A Amperion aproveita a infra-estrutura existente de média tensão e utiliza tecnologia padrão em **PowerWiFi** conseguindo, desta forma, minimizar os custos de instalação por usuário (sem instalações adicionais, os clientes podem adquirir equipamentos numa loja de eletrônica e acessar imediatamente a rede **Amperion Broadband**). Incorporando o PowerWiFi, a Amperion tem sido capaz de aproveitar os avanços da indústria WiFi, a qual está focada em criar melhorias na segurança e performance do atual padrão 802.11b. Esta tendência de evolução pode ser verificada na migração para 802.11g e outras arquiteturas ainda mais seguras.

As novas tecnologias *wireless* são facilmente incorporadas aos produtos Amperion. Os usuários finais recebem enormes vantagens de custo devido à escala e, também, à possibilidade de serem beneficiados com o futuro desenvolvimento da tecnologia. A solução **Amperion Connect** permite que toda a rede da empresa de energia elétrica se comporte como um **WiFi Hotspot**, permitindo serviços nômades e/ou de valor adicionado e aplicações inovadoras.

4.5.2 Tecnologia Amperion para uso interno das empresas

Os equipamentos da Amperion permitem um grande número de aplicações internas às empresas de energia elétrica (e outras provedoras de serviços públicos), podendo tornar as operações internas mais eficientes.

Os dispositivos Amperion têm a capacidade de detectar formas de sinais que ocorrem em antecipação à falhas dos elementos do sistema elétrico, tais como condutores, transformadores e capacitores. Esta informação pode permitir que equipes de manutenção sejam despachadas proativamente para substituir os elementos defeituosos antes da falha e o conseqüente desligamento, melhorando a performance e a confiabilidade da rede.

O **BPL** de acesso também pode ser utilizado para estender as funções do sistema **SCADA**³⁰ tradicional em toda a rede elétrica. Esta implantação melhora a confiabilidade do sistema e minimiza a dependência das empresas distribuidoras de energia elétrica aos chamados e reclamações dos clientes. Estas capacidades não são disponíveis com *Power Line* de faixa estreita. Portanto, análise preditiva de falhas e os alcances do **BPL** são benefícios adicionais, que poderão levar à melhoria de serviços aos clientes.

O emprego de aplicações internas requer apenas um pequeno percentual da faixa disponível. Isto permite à concessionária ou ao provedor de serviço de telecomunicações o uso da maior parte da faixa para serviços de banda larga ao cliente. A utilização integrada parece ser a melhor solução tanto para os clientes das empresas de energia elétrica quanto para os empreendedores destes novos serviços.

³⁰ Supervisory Control And Data Acquisition. (Supervisão e aquisição de dados)

Existem dezenas de aplicações potenciais para empresas de energia elétrica que poderiam ser facilitadas por instalações da Amperion. Em perspectiva operacional a capacidade de alta velocidade do BPL permitirá às empresas a expandir a segurança da sua infra-estrutura, além de melhorar a rede de telecomunicações, permitindo aplicações tais como, vídeo de segurança e outras.

4.5.3 Produtos Amperion Connect

Os blocos básicos da solução **Amperion Powerline** estão descritos nesta seção. A linha de produtos **Falcon** é destinada ao transporte *Powerline* em linhas aéreas, e a linha de produtos **Lynx** suporta o transporte *Powerline* em linhas subterrâneas.

Cada linha de produto é composta de um **Injetor**, **Repetidor/Extrator** e **Extrator**. Todos os produtos Amperion são compatíveis com **FCC Part 15**.

Injetor – Produz e modula o sinal *Powerline* de 15 a 20Mbps na linha de média tensão que é recebido, ao longo da linha, pelos Repetidores/Extratores ou Extratores. O Injetor é alimentado pelo conjunto *chipset* de WiFi 802.11a que cria um *uplink* sem fio (*wireless*) com um *throughput* de 20 a 25Mbps, a partir do seu WAP (*Wireless Access Point*) conectado via 10/100 Ethernet a um roteador/switch de agregação. O ponto de injeção pode ocorrer em qualquer local da linha de média tensão mas tipicamente é localizada perto de uma subestação, onde a agregação com outros sinais de *Powerline* pode ser facilmente realizada.

Repetidor/Extrator – Recebe e regenera o sinal *Powerline* e, também, fornece um nó de extração com Ponto de acesso **802.11b** incluído. O ponto de acesso gerencia a comunicação sem fio até o CPE (*Customers Premise Equipment*) do cliente na faixa de alcance do Repetidor/Extrator. A norma para o acesso 802.11b fornece várias vantagens:

- ✓ Separação de segurança do cliente e a linha de MT;
- ✓ Baixo custo da unidade de cliente – CPE;
- ✓ Instalação sem obras;
- ✓ O cliente instala equipamento CPE sem participação de terceiros;
- ✓ Mudança de paradigma da tradicional solução *Powerline* que sempre liga o cliente de banda larga com a linha de energia e o transformador.

Extrator – Instalado no final de uma linha de média tensão onde não se faz necessária uma repetição de sinal (para fins de propagação). Também o Extrator pode ser instalado entre repetidores, sempre que pontos adicionais, de acesso sem fio, são necessários para atendimento de novos clientes.

4.5.4 Equipamentos do Cliente (CPE)

A Amperion realizou testes de interoperabilidade, para comunicação com Repetidores/Extratores, em diversos equipamentos de prateleira, certificados para padrão **802.11b**. Equipamentos **802.11b WiFi** tais como cartões para computadores notebook são muito baratos. Além do fato dos preços destes produtos estarem em queda constante. Um fato talvez mais importante é que mais de 30% de novos computadores portáteis estão sendo vendidos com adaptadores de WiFi instalados e se espera que este número chegue a 70% em 2004 (de acordo com Intel). São várias as vantagens da CPE da solução *Amperion Powerline* versus as soluções tradicionais de *Powerline* com fio.

4.5.5 Equipamentos anciliares para agregação

São equipamentos adicionais de terceiros que são utilizados para conectar o **Injetor** à rede do provedor de serviços de telecomunicações. São os seguintes:

- ✓ **Pontos de Acesso Wireless** – Links WAP até o respectivo Injetor.
- ✓ **Switch** – Para ponte Ethernet entre o WAP e o conversor de meio/roteador.
- ✓ **Conversor de Meio/Roteador** – O roteador (por ex: Cisco 2600) serve de interface entre os WAPs 802.11a e a rede *backhaul*. De outra forma, se o roteamento é feito de forma centralizada **NOC**³¹, e a fibra óptica está presente na subestação, um conversor de fibra óptica para Ethernet é tudo que é necessário no nível de subestação.
- ✓ **Equipamento de terminação para circuitos de backhaul de Internet** – Por exemplo, E1, DS3, STM1, microondas ponto a ponto, etc.
- ✓ **Servidores PPPOE e RADIUS** – Estes servidores são utilizados para prover autenticação e segurança no acesso a ISPs e são normalmente agregados no NOC do provedor de serviço, mas pode ser instalado também no campo.

³¹ Network Operations Center

- ✓ **Gabinetes com tratamento ambiental** – São gabinetes tropicalizados
- ✓ fabricados para uso externo e podem ser utilizados fora das subestações permitindo acesso fácil e rápido aos equipamentos ancilares.

A figura 19 mostra como são montados os equipamentos da Amperion.

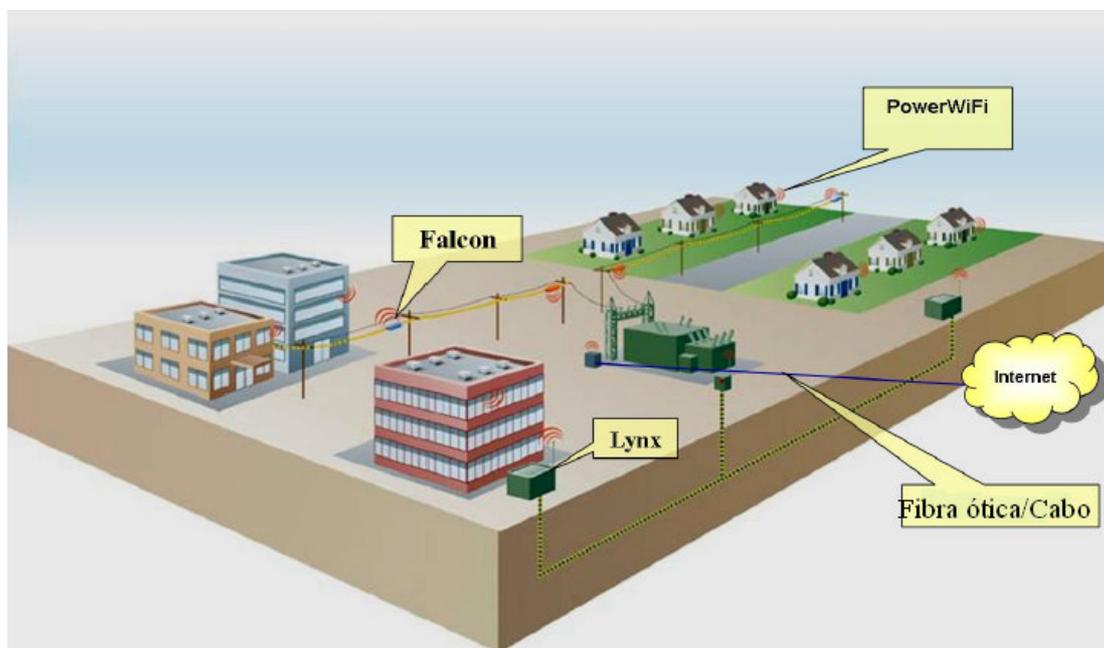


FIGURA 19: Layout Equipamentos PLC Amperion. (AMPERION, 2004)

4.6 Projetos Brasileiros em PLC

No Brasil, várias concessionárias de energia elétrica realizam testes com a tecnologia PLC. As pioneiras nos testes de campo foram CEMIG, ELETROPAULO, COPEL e LIGHT que iniciaram seus testes em 2001/2002. Embora existam outros experimentos em diversas distribuidoras de energia elétrica que também testam a tecnologia PLC, neste trabalho serão considerados apenas os resultados obtidos pelas empresas citadas acima. Além das companhias de energia elétrica, vários órgãos brasileiros estão envolvidos com o estudo e regulamentação da tecnologia.

4.6.1 CEMIG

A Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG está testando, desde Dezembro de 2001, em Belo Horizonte, o projeto piloto PLC que permite acesso à Internet em banda larga, através da rede de distribuição elétrica convencional sem a

necessidade de utilizar a rede de telefonia. "A Cemig é a primeira concessionária do País a disponibilizar esse tipo de serviço e, provavelmente, a primeira empresa da América Latina a trabalhar com essa tecnologia", explica o diretor de Gestão Empresarial da Cemig, Stalin Amorim Duarte. A figura 20 mostra o layout do sistema PLC instalado pela CEMIG em seu primeiro protótipo. (CEMIG, 2003)

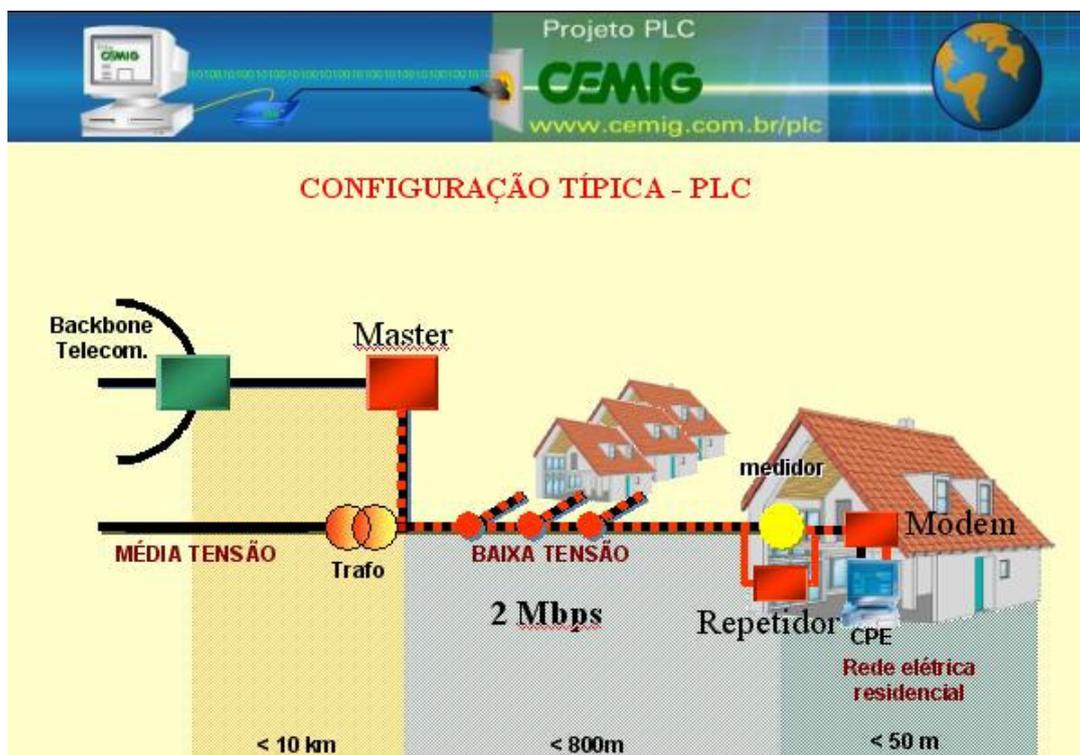


FIGURA 20: Layout projeto PLC CEMIG. (CEMIG, 2004)

De acordo com Stalin Amorim Duarte, a nova tecnologia de transmissão de dados, via rede elétrica, em banda larga, irá viabilizar projetos que já estão em andamento na Empresa, como implantação de tarifa horo-sazonal³², leitura de consumo e acompanhamento de carga, em tempo real, à distância.

O canal de acesso utilizado nesse piloto tem uma velocidade de 2Mbps compartilhado, o que corresponde a uma velocidade 50 vezes maior que o acesso convencional à Internet, via rede de telefonia. O projeto piloto foi testado de dezembro/2001 a Novembro/2002 em 40 pontos em Belo Horizonte.

³² Custo variável da energia consumida em função do horário.

O superintendente de Telecomunicações e Informática da Cemig, Luiz Henrique de Castro Carvalho, lembra que os estudos para a realização do projeto tiveram início em 1998, quando a Cemig verificou que poderia compartilhar a sua rede de distribuição de energia elétrica, com a transmissão de dados em banda larga. O projeto piloto está sendo realizado em parceria com a Empresa de Infovias e o investimento é de cerca de R\$ 200 mil.

Os moradores do conjunto Iraí, selecionados para participar do projeto, foram escolhidos a partir de um perfil estabelecido pela Cemig, que caracterizasse um local onde pudesse existir, ao mesmo tempo, algumas dificuldades e facilidades que contribuiriam para o sucesso do piloto.

Para Luiz Henrique de Castro Carvalho, esse projeto representa "o estado da arte" em termos de comunicação de dados via rede elétrica. Com relação à escolha da Associação ele enfatiza: "poderíamos ter feito esse trabalho junto a uma universidade ou com a comunidade científica, porém optamos por uma entidade onde estamos privilegiando pessoas que nem sempre têm acesso a projetos dessa natureza".

O acompanhamento para avaliar a performance do sistema foi feito através do preenchimento de um formulário onde os usuários fornecem as informações referentes ao acesso à Internet.

Para o engenheiro de telecomunicações, Ângelo de Barreto Aranha, coordenador executivo do projeto, a performance do sistema está de acordo com as expectativas previstas. "Para se ter uma idéia de como está a velocidade de acesso à Internet nesse piloto, o *download* de um arquivo que gasta em média uma hora, está sendo feito em torno de um minuto".

Em consulta realizada sobre a previsão de implantação comercial do PLC pela CEMIG em março/2004 junto ao engenheiro de telecomunicações, Ângelo de Barreto Aranha, este informou que:

“Não temos por enquanto, nenhuma preocupação com aspectos comerciais, nossa intenção foi fundamentalmente verificar se o sistema funciona com qualidade ou não. Desativamos o piloto em Novembro de 2002, e reunimos todos os dados coletados em um criterioso relatório técnico. Atualmente estamos trabalhando em parceria com a **Infovias** em um 2º piloto, com equipamentos bem mais rápidos (45Mbps). Acredito que ainda estamos longe de ter esta oferta de serviço por parte das distribuidoras, existem questões regulatórias importantes que ainda estão em fase embrionária na Anatel e Aneel. Também há a questão da não tropicalização dos equipamentos, que leva o sistema a ter desempenho inferior ao requerido para aplicações comerciais no Brasil. Em função de um acordo de

confidencialidade, não podemos enviar nenhum documento extra vinculado ao projeto".
(CEMIG, 2004).

4.6.2 ELETROPAULO

O Projeto PLC da ELETROPAULO, teve os mesmos moldes do modelo testado pela CEMIG, pois as duas concessionárias têm como sócio o grupo norte-americano AES, conglomerado de geração e distribuição de energia, que detém ações de ambas as distribuidoras de energia. Os equipamentos utilizados no projeto piloto também foram do mesmo fabricante (ASCOM).

Para fazer uma síntese do projeto da ELETROPAULO pode-se citar uma entrevista do diretor de marketing da empresa, Luiz Hernandez ao jornal ESTADÃO, que dá uma boa visão do que o projeto representa para a empresa.

Segundo informações do Jornal, a Eletropaulo dá últimos retoques em sistema que cria a banda larga de acesso universal. A Eletropaulo está com pressa. Quer pôr em funcionamento já em 2004 sua rede de banda larga via tomada elétrica. "Ainda não se definiu nosso papel, se será de **alugar** o uso dos fios para uma operadora ou **atuar** junto ao usuário final", explica o diretor de marketing da empresa, Luiz Hernandez. "Mas estamos bastante interessados no desenvolvimento e na aplicação da tecnologia."

"O truque é transmitir sinais de frequências diferentes pelo mesmo fio", resume o responsável pela tecnologia dentro da Eletropaulo, Paulo Pimentel. A diferença é que, enquanto a eletricidade caminha na frequência de 60 hertz (ciclos por segundo), os dados voam na faixa de 5 a 30 megahertz (milhões de ciclos por segundo).

Os detalhes técnicos ainda precisam ser normatizados pela Anatel, a agência governamental que regula o setor. Mas, pelos testes feitos na capital pela Eletropaulo, o futuro da tecnologia é garantido. "Nossos testes, feitos em grupos pequenos de 30 usuários em prédios e condomínios, mostraram que seu uso é seguro", explica Pimentel. Segundo o técnico, o maior temor do grupo de estudos da Anatel - a irradiação de sinal e interferências - não foi constatado.

A Internet pela tomada elétrica tem uma topologia interessante. Para que funcione, novos aparelhos seriam instalados junto aos transformadores dos postes. Eles receberiam uma ponta dos cabos de fibra óptica que atravessam a cidade. Os dados

então chegariam pela rede elétrica até a casa do usuário, onde um modem especial filtraria o sinal da eletricidade e entregaria o sinal de dados ao PC.

Aplicações para a tecnologia não faltam, segundo Luiz Hernandez. "Prédios antigos e históricos, que não comportariam um cabeamento convencional, poderiam se tornar *online* de forma instantânea", conta. Ambientes de exposições, como o Parque Anhembi, também seriam beneficiados. Outro importante trunfo é a exploração de uma rede de cabos e postes que já está pronta e atende a praticamente 100% do município.

Os testes efetuados pela Eletropaulo usaram componentes da 1.^a geração do PLC. Com eles, foram obtidos velocidades de dados da ordem de 45 megabits/s. Pimentel ressalta que a banda é dividida entre os usuários "*plugados*" a um mesmo transformador, mas isso não será limitante. "Temos em média **70 clientes** para cada transformador, o que resulta num desempenho melhor que as opções de banda larga disponíveis hoje."

E o futuro promete, pois novas tecnologias apresentadas no congresso **Futurecom**, realizado em outubro em Florianópolis (SC), vão permitir largura de banda de até 206 megabits/s em equipamentos até 70% mais baratos. "2004 será o ano do PLC", aposta Pimentel. (Estadão, 2003).

A Eletropaulo que está testando a tecnologia desde 2001 em parceria com o CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações), que valida os testes e avalia tecnicamente o projeto, informou que os investimentos nesta tecnologia chegam a R\$ 5 milhões e são feitos dentro do programa de pesquisa e desenvolvimento da distribuidora. Segundo Paulo Pimentel, os testes já realizados em escolas, edifícios comerciais e residências foram considerados satisfatórios.

Uso comercial - De acordo com Paulo Pimentel, a distribuidora vislumbra, além do uso comercial, a aplicação da tecnologia para uso próprio. O PLC pode ser adotado, comenta Pimentel, para telemedição, controle de perdas e monitoramento do sistema com um todo. A empresa já avalia a possibilidade de fazer a medição integrada de água, luz e telefone usando a tecnologia. Segundo Pimentel, os fabricantes dos equipamentos já estão se organizando para iniciar a produção no Brasil. A distribuidora testou equipamentos de quatro diferentes tecnologias e considerou a de origem espanhola, **DS2**, como a mais integrada à realidade do país. (UOL-Tecnologia, 2004)

Para a Eletropaulo, o maior interesse em lançar o PLC é que a receita seja revertida em serviços de comunicação da própria distribuidora. "Com esse dinheiro queremos pôr câmeras de vídeo nas subestações para monitorá-las e inibir ataques de vândalos. As imagens seriam transmitidas pela tecnologia PLC", descreve Pimentel. (Revista Teletime, 2004)

4.6.3 COPEL

Pioneira nesse experimento no País, a Copel (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) anunciou em abril/2001 que instalaria a PLC em 50 domicílios selecionados na região de Curitiba.

O contrato de cooperação foi assinado em março de 2001 na CeBIT, na Alemanha, época em que a empresa alemã RWE Plus demonstrou sua linha de produtos RWE PowerNet, capazes de alcançar taxas de transmissão de até 2 Mbps.

A Copel investiu cerca de um milhão de dólares no projeto e os resultados demonstraram que o sistema funcionou bem em conexões de curta distância – algo em torno de 300 metros entre a fonte de sinal e a residência –, alcançando taxas de transferência de até 1,7 Mbps (seis vezes superior aos 256 Kbps alcançados pela maioria das conexões de alta velocidade disponíveis no país).

O sistema tem capacidade de transmissão de dados superior a quase, senão todos, os sistemas existentes hoje no mercado. Suas velocidades de backbone variam de 6 Mb/s (simétrico 3/3 Mb/s) à 45 Mb/s (assimétrico 23/17 Mb/s) dependendo do equipamento empregado nas linhas.

Segundo Orlando César de Oliveira, CEO da Copel Telecomunicações S/A e Coordenador Geral do projeto PLC, a Copel vem com uma nova visão de mercado: "**o objetivo é ligar qualquer um a qualquer um**". Este pensamento resume a nova visão de mercado a ser implementada, "o cliente terá a opção de escolher o prestador de serviço que mais lhe agrade, a opção de escolher o produto que mais se enquadre à suas necessidades". É o fim da visão de mercado onde o cliente para ter acesso a um serviço de internet de alta velocidade é obrigado a assinar um plano caríssimo para ter acesso a conteúdo, e-mail e outros serviços que não serão utilizados. "Nosso objetivo é a universalização da internet e faremos isto baseado em energia, **você só paga o que**

usa". Isto mostra a intenção de tornar a internet algo acessível e sem obrigar o cliente a optar e pagar por serviços que não deseja.

Foram testados **diferentes equipamentos PLC**, em parceria com diversos ISP's³³ para a certificação de equipamentos e também do modelo de negócio com os ISP's para acesso em alta velocidade.

Muito embora os preços ainda não estejam definidos, "a intenção não é apenas **ser mais uma opção ao ADSL ou ao Cable**, e sim uma excelente opção, com alta velocidade, liberdade de escolha e serviço sob demanda , portanto com valores justos".

O uso de filtros e bloqueio de conexões entrantes que tornam a navegação um serviço incompleto estão fora de cogitação. "Não implementaremos quaisquer restrições e limitações que vão contra o livre acesso e uso da internet", afirmou Orlando.

Pela própria abrangência da rede da Copel o acesso a tecnologia será facilitada e não dependerá da assinatura de uma linha de telefone ou de uma tv a cabo. O equipamento instalado na casa do cliente poderá ser interno ou externo, este último com conexão via USB ou cabo RJ 45 e seu preço deverá ser mais barato que os equipamentos atuais. (COPEL, 2003)

4.6.4 LIGHT (RIO)

A Light está testando a internet via rede elétrica em oito prédios, em diferentes regiões do Rio de Janeiro: no Centro, na zona sul e Barra da Tijuca, segundo informações de Paulo Magalhães Duarte Sobrinho, diretor do projeto de PLC da Light.

Serviço, que utiliza tecnologia PLC, começou a ser testado em outubro de 2002. A avaliação leva em conta propagação do sinal na rede e viabilidade comercial.

O estudo de implantação da tecnologia PLC está sendo realizado em parceria com a EDF (*Electricité de France*), controladora da empresa. "Os testes estão sendo bem planejados para que, no futuro, possamos aproveitar a grande cobertura que a rede elétrica proporciona. Com essa tecnologia podemos transmitir dados, voz e imagem em banda larga", explica Magalhães.

³³ Internet Server Provider (Provedores de serviço)

O acesso à Internet é feito de maneira simples, utilizando um modem que é ligado diretamente à rede elétrica pela tomada. De acordo com Magalhães, a aceitação do produto tem sido grande. "Os resultados dos testes têm superado as nossas expectativas. Os clientes em teste estão considerando esse tipo de conexão muito melhor do que os sistemas tradicionais".

Para definir a viabilidade comercial do serviço, Magalhães explica que ainda é necessário uma avaliação completa da qualidade do produto, levando em consideração a velocidade de transmissão e a frequência de interrupção, por exemplo. A *Light* ainda não estabeleceu prazo para a conclusão dos testes e nem para a implantação comercial do serviço.

5 COMPARATIVO PLC x ADSL

Neste capítulo será abordado um teste comparativo realizado pela concessionária **Iguaçu Energia** que realizou testes de laboratório para comparar desempenho do PLC comparado ao ADSL e também conexão discada de 56Kbps.

5.1 Comparativo entre PLC e ADSL e Linha discada

As telas abaixo mostram *Downloads* realizados a partir de três Links de acesso Internet diferentes: Acesso discado (Modem Comum), acesso ADSL e acesso PLC.

Como base para os testes, utiliza-se um arquivo existente e disponível no *WebSite* da Iguaçu Energia e realiza-se os *downloads* via conexão discada (Modem Comum de 56 KBit/s), e em seguida via ADSL (Link de 512 KBit/s). O arquivo em questão é o Adobe *Acrobat Reader* que possui um tamanho de 8,96 MBytes.

Para realizar o teste no acesso PLC, foi configurado um *WebServer* na Rede de Acesso PLC contendo o mesmo *WebSite* da Iguaçu Energia, porém substituindo o arquivo utilizado anteriormente para *Download* por outro cujo tamanho é de 100 MBytes utilizando o mesmo nome.

Desta forma pode-se observar o comportamento do *Download* via PLC por um tempo maior e, já que a velocidade de acesso PLC ficou limitada a 7.5 MBit/s (por uma condição imposta pela Rede Elétrica em que foi instalado), busca-se identificar nesta condição, variações de velocidade, tempo do *Download* e estabilidade do Link.

Nesta situação, somente o próprio PLC e a condição da Rede Elétrica poderiam limitar ou influenciar na velocidade do *Download*, já que a rede em que este *WebServer* está instalado é uma rede de 100 MBit/s e o PLC está conectado diretamente a ela.

Assim, os seguintes resultados foram obtidos:

***Download* via conexão discada com Modem de 56 KBit/s:** Link estável, velocidade constante porém baixa, conforme mostra a figura 21. (IGUAÇU ENERGIA, 2004)

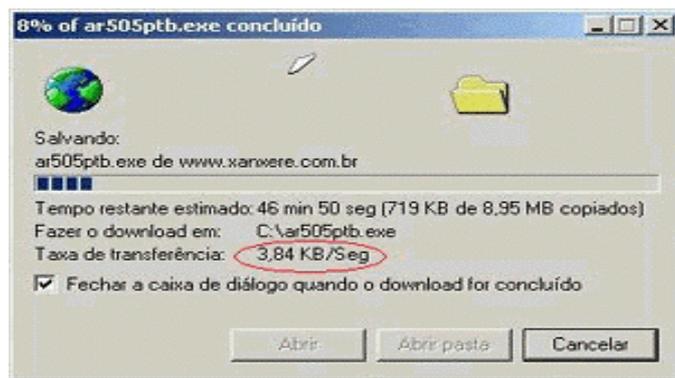


FIGURA 21: Download via conexão discada com Modem de 56 KBit/s. (IGUAÇU ENERGIA, 2004)

Download via conexão ADSL de 512 KBit/s: Link estável, velocidade variando de acordo com a quantidade de assinantes conectados simultaneamente no sistema. A figura 22 mostra este desempenho.

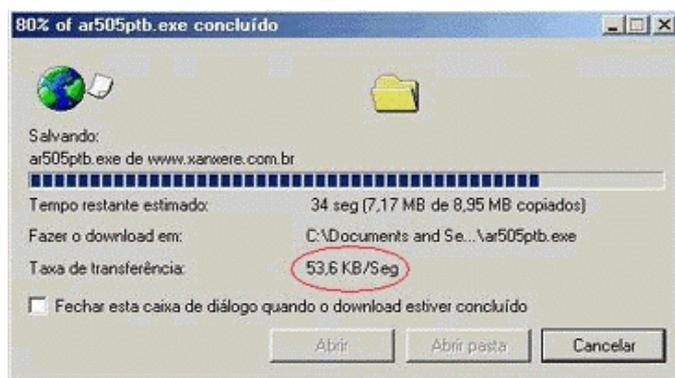


FIGURA 22: Download via conexão ADSL de 512Kbps. (IGUAÇU ENERGIA, 2004)

Download via conexão PLC de 7.5 MBit/s: Link estável, velocidade estabilizada no início do Download. Pequenas variações momentâneas ($\pm 0,05\%$) em decorrência de alterações de modulação no sistema elétrico, conforme figura 23.

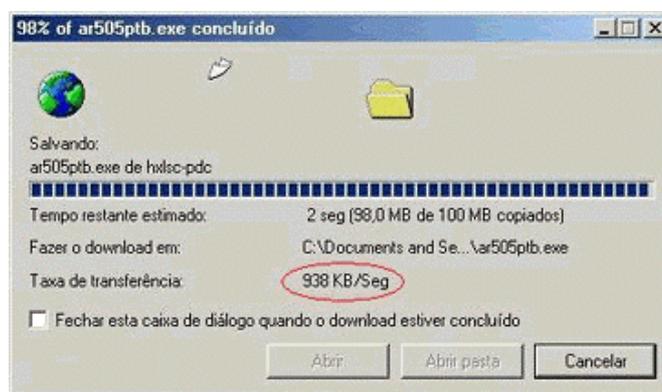


FIGURA 23: Download via conexão PLC de 7,5 Mbps. (IGUAÇU ENERGIA, 2004)

Um comparativo das figuras anteriores (21, 22 e 23) mostra o quanto o Link de PLC foi eficiente nos testes realizados pela IGUAÇU ENERGIA: A taxa de transferência foi de 3,84 KB/seg para linha discada, de 53,6 KB/seg para ADSL e de 938,0 KB/seg para PLC. Porém é importante ressaltar que em PLC existe uma variação muito grande em função de carga da rede, ruído e interferência. Outro fator importante a ser verificado é a banda compartilhada com vários usuários que também faz uma limitação de tráfego (se um enlace possui 45Mbps e 50 usuários, esta banda será compartilhada conforme o numero de usuários conectados a cada momento na rede).

Testes desta natureza servem para mostrar que a tecnologia é viável e precisa de avanços para minimizar as limitações do agressivo meio de transmissão utilizado pelo PLC.

6 CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS

O sonho de usar a rede elétrica como meio de comunicação dá mais um passo para virar realidade comercial no Brasil e no mundo. Segundo a APTEL³⁴ a transmissão de dados pela rede elétrica pode ser vislumbrada como um potencial concorrente dos principais meios de acesso à Internet em banda larga – ADSL, cabos e satélites – ainda que, hoje, os preços dos equipamentos sejam semelhantes ou um pouco superiores que os utilizados nas outras tecnologias.

Embora a rede de distribuição elétrica seja um meio extremamente hostil como canal de comunicação; experiências bem-sucedidas neste sentido começaram a acontecer recentemente, graças a um revolucionário método de modulação de sinais (OFDM). Segundo o editorial do jornal Globo on line de março/2003, para o estudante de engenharia elétrica ou de telecomunicações, é altamente recomendado estudar profundamente o padrão OFDM. Outro método de modulação que propiciou grandes avanços na tecnologia PLC foi o *spread spectrum* utilizado principalmente pelo fabricante Main.net.

A Tecnologia PLC configura-se como sendo uma nova fonte de receita para as 64 concessionárias de brasileiras de energia elétrica (estatais ou privadas), pois elas são proprietárias dos cabos de energia de média e baixa tensão; os seus consumidores já estão interligados, a infra-estrutura já está montada, existe uma grande área de cobertura e devemos considerar também que a estrutura de cobrança também já está implementada.

Segundo a ANEEL, existem no Brasil 47 milhões³⁵ de consumidores residenciais e comerciais; portanto uma clientela potencial para o PLC.

Essa última milha³⁶, portanto, poderá ser a grande oportunidade de fazer chegar à casa do assinante uma conexão com a Internet em banda larga e com um custo reduzido. Assim, grandes possibilidades de parcerias futuras podem ser vislumbradas entre concessionárias de energia elétrica e de telecomunicações.

³⁴ Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações.

³⁵ Fonte: ANEEL 06 março 2004.

³⁶ Conexão entre provedor de acesso e cliente.

O PLC não veio para tomar o lugar de outros serviços de acesso em banda larga e sim veio como **uma alternativa a mais** de acesso em banda larga. Com isso o consumidor ganha, pois diminuem os custos e melhora a qualidade devido à concorrência.

Enfim, existem diversas empresas de energia elétrica interessadas nas possibilidades da tecnologia que, além de atender suas necessidades internas, permite a oferta de serviços de comunicação em banda larga.

Vista como um **fracasso** por alguns e como a **esperança** da democratização da tecnologia por outros, a internet via rede elétrica está ganhando espaço. A tecnologia já atingiu um nível de maturidade capaz de ser experimentada comercialmente e expor-se ao teste final de validação (o mercado). No Brasil é possível que em dois ou três anos seja uma realidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL, Brasília: Agência Reguladora de Telecomunicações. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br>> acesso em 22 mai. 2004.

ANEEL, Brasília: Agência Reguladora de Energia. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>> acesso em 22 mai. 2004.

APTEL, Rio de Janeiro: Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações. Disponível em <<http://www.aptel.com.br>> acesso em 12 mar. 2004.

BARRETO. *Projeto PLC CEMIG*. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <josiasuniminas@bol.com.br> em 24 mar. 2004.

CEMIG, Belo Horizonte: Concessionária de Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.cemig.com.br/plc>> acesso em 10 mai. 2004.

DS2-PLC, Madrid: Projeto PLC DS2. Disponível em <http://www.ds2.es/home/index_total.php> acesso em 20 fev. 2004.

ENDESA-PLC, Barcelona: Projeto PLC Endesa.. Disponível em<<http://www.plcendesa.es>> acesso em 01 mar. 2004.

HOMEPLUG ALLIANCE, EUA: Grupo formado por empresas de telecomunicações. Disponível em<<http://www.homeplug.com>> acesso em 09 mar. 2004.

IGUAÇU ENERGIA, Foz do Iguaçu: Concessionária de Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.ienergia.com.br/projetos/comparativo.htm>> acesso em 21 mai. 2004.

LIGHT, Rio de Janeiro: Concessionária de Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.lightplc.com.br>> acesso em 10 mai. 2004.

MAIN.NET-PLC, Tel Aviv: Projeto PLC Main.net.. Disponível em<<http://www.mainnet-plc.com/plc.htm>> acesso em 01 mar. 2004.

NAXOS, São Paulo: Empresa de venda de produtos TI. Disponível em < <http://www.naxos.com.br/produtos/powernet/powernet.asp> > acesso em 05 mai. 2004.

PLCFÓRUM, XVII, 2004, Bruxelas. Programa e Resumos. Grupo de estudo PLC. Disponível em < http://www.plcforum.com/frame_members.htm > acesso em 20 fev. 2004.

REIS, Dalton José. Telecomunicações em alta velocidade na rede elétrica secundária: 2002. 32f. Dissertação (Pós-graduação) – Curso de Pós-graduação “latu sensu” aperfeiçoamento em engenharia de telecomunicações, IETC, Belo Horizonte.