

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Filadelfo Dias Martins

**PROPOSTA DE ARQUITETURA E MODELO DE
NEGÓCIOS EM SISTEMAS PLC**

Porto Alegre
2006

FILADELFO DIAS MARTINS

**PROPOSTA DE ARQUITETURA E MODELO DE
NEGÓCIOS EM SISTEMAS PLC**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação e Instrumentação Eletro-Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira

Porto Alegre

2006

Catálogo na Fonte

- A994 Martins, Filadelfo Dias
Proposta de arquitetura e modelo de negócios em sistema PLC.
/ Filadelfo Dias Martins. – Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2006.
209 f. : il., tab. ; 29 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2006.
1. Engenharia elétrica. 2. Sistema de distribuição. 3. Sistema PLC. I. Título.
- CDU: 621.3

Catálogo: bibliotecária Katia M. Leal - CRB 10/1697

FILADELFO DIAS MARTINS

PROPOSTA DE ARQUITETURA E MODELO DE NEGÓCIOS EM SISTEMAS PLC

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela Stuttgart University – Stuttgart, Alemanha

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Gladis Bordin Schuch, UFRGS

Doutora pela UFSC – Florianópolis, Brasil

Prof. Dr. Denis Borenstein, UFRGS

Ph.D. pela University of Strathclyde – Glasgow, Escócia

Prof. Dr. Moises Vidal Ribeiro, UFJF

Doutor pela UNICAMP – Campinas, Brasil

Prof. Dr. Walter Fetter Lages, UFRGS

Doutor pelo ITA – São Jose dos Campos, Brasil

Coordenador do PPGEE: _____

Prof. Dr. Marcelo Soares Lubaszewski

Porto Alegre, março de 2006.

*O ato de estudar não é um ato de consumir idéias, mas de criá-las e recriá-las,
... o ato de estudar é no fundo uma postura frente ao mundo.*

(Paulo Freire)

Ao meu pai **José de Carvalho Martins** e a minha mãe **Zuleika Dias Martins** pelo amor do dia a dia, a dedicação, a educação e a condução na formação da minha personalidade e a visão do meu papel como cidadão na sociedade.

(in memoriam)

Agradecimentos

- À **Deus**, em especial.
- Ao Professor **Dr. Carlos Eduardo Pereira**, pelo valioso apoio, pelas contribuições no desenvolvimento do trabalho e pela amizade.
- Aos Professores **Dr. Renato Machado de Brito, Dra. Maria Beatriz Luce, Dra. Gladis Bordin Schuch e Dr. Carlos Duque Dr. Moisés Ribeiro**, pela amizade e oportunidade de aprendizado.
- Aos Professores **Dr. Walter Felter Lages, Dr. Romeu Reginato, Dr. Alexandre Sanfelice Bazzanella, Dr. Adalberto Schuck e Dr. Arturo Suman Bretas**, pela agradável convivência e conhecimentos transmitidos.
- Aos amigos **Givaldo Carimbão, Joaquim Brito, Miguel Palmeira e Sérgio Giger**, pela ajuda para a concretização deste trabalho.
- Aos amigos de todas as horas **José Carlos Freire, Geraldo Guimarães, Evio Lima e Antonio Vieira**.
- Ao meu sobrinho Professor **Dr. Tácito Augusto Farias**, pela orientação e conhecimentos transmitidos.
- Aos meus filhos **Filadelfo Dias Martins Filho e Maria Eugênia Paiva Martins**, pela companhia e incentivo.
- À **Clair Azevedo** pelo incentivo, companheirismo e auxílio na organização e formatação do material.
- À Professora **Joice Welter Ramos**, grande amiga que ajudou na correção de linguagem a padronização técnica do texto.
- Aos grandes amigos que fiz neste Estado **Rosângela Andrade, Miguel Moreto, Porrua, Malcon, Diogo, Leandro, Felipe, Carla, Fernanda, Miriam, Janice, Luis, Caue German e Vinicius**.
- Ao amigo **Pedro Luiz de Oliveira Jatobá**.
- Aos amigos **Alpheu de Boni Júnior e Luiz Carlos Werberich** da Companhia Estadual de Energia Elétrica Paulo de Tarso do Ó Porto.
- Aos amigos **Carlos Renato Fontes e Lourival Lovato** da Companhia Paranaense de Energia Elétrica.
- À **Eletrobrás, a CEAL e o CEFET-AL**, pela oportunidade da capacitação no Rio Grande do Sul.
- Aos amigos do CEFET-AL **Roland dos Santos Gonçalves, Sandra Broad, Sérgio Teixeira, Rita de Cássia e Jorge Batista dos Santos**.
- Aos amigos **João Berchmas, Maryland Santos da Silva e Ricardo Lúcio** da CEAL
- À EBA PLC nas pessoas de **Ricardo Zelaschi e Leonardo Lopes da Silva**.

RESUMO

A presente dissertação tem por objetivo discutir a viabilidade da tecnologia PLC como rede de acesso ou última milha e também como modelo de negócios a ser explorado pelas Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica (EDEE).

A tecnologia PLC vista como rede de acesso ou última milha é um sistema de comunicação digital de dados a ser implementado a partir das redes elétricas de distribuição das EDEE. Essas redes apresentam características que dificultam a transmissão de sinais de telecomunicações em banda larga e banda estreita. As várias técnicas apresentadas neste trabalho dão a certeza da robustez e a comprovação da viabilidade da tecnologia PLC como meio de telecomunicação. A melhoria e melhor desempenho das redes PLC será alcançada quando os dados forem colhidos das redes de distribuição das EDEE do Brasil, através de futuros trabalhos de pesquisa da análise dos canais PLC e dos ruídos aditivos nas redes elétricas do nosso país. As EDEE podem aproveitar a tecnologia PLC como modelo de negócio. A ideia PLC como modelo de negócios é ampla, ou seja, várias configurações de negócio PLC podem ser exploradas. Os resultados numéricos e os benefícios à sociedade obtidos confirmam a relevância da tecnologia PLC.

Palavras-chave: Tecnologia *Powerline Communication* (PLC). Redes de Acesso PLC. Arquiteturas de Sistemas PLC. Modelos de Negócios. Plano de Negócios.

ABSTRACT

The current dissertation has the objective of discussing the viability of the PLC technology as a network access or last mile and also as a business plan to be explored by the power distribution companies.

The PLC technology is seen as an access network or last mile which is an electric circuit that will be implemented by the power distribution companies. These networks present characteristics that difficult the transmission of the telecommunications signals in broad and narrow bands. Digital processing signal techniques are essential and are introduced in PLC systems to solve problems created by impulsive noise and equalizations of PLC channels. The various techniques presented ensure the robustness and proves the viability of the PLC technology as a way of telecommunication. The improvement and better performance of the PLC networks will be reached when data starts to be collected from power distribution companies in Brazil, through future research work, from the spectral analysis of the fundamental and harmonic components, for the detection, the classification and the disturbs compression of power systems. The power distribution companies can take advantage of the PLC technology as a Business Plan. The idea of the PLC in a Business Plan can be broad, in other words, there are various types of areas that the PLC business can be explored. The numerical results and the benefits to society that can be obtained by the PLC technology confirms its relevance and importance.

Keywords: Powerline Communication Technology (PLC). PLC Acess Networks. Architecture of PLC Systems. Business Models. Business Plan.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
Lista de Abreviaturas.....	12
Lista de Figuras.....	14
Lista de Tabelas	17
INTRODUÇÃO	18
Motivação	20
Objetivos	21
Estrutura da Dissertação	21
Capítulo 1: A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMO CANAL DE COMUNICAÇÃO DE VOZ E DE DADOS	23
1.1 A Rede de Distribuição de Energia Elétrica	23
1.2 A Rede de Distribuição de Energia Elétrica como Sistema de Transmissão e de Distribuição de Energia Elétrica	24
<i>1.2.1 Tecnologia das Linhas de Distribuição de Energia Elétrica</i>	25
1.3 A Rede de Distribuição de Energia Elétrica como Canal para Comunicações de Dados e Voz	28
<i>1.3.1 Fatores a Serem Observados na Transmissão de Sinais por Redes Elétricas de Distribuição de Energia Elétrica</i>	29
1.4 A Rede Elétrica de Média Tensão (MT) de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica	33
1.5 A Rede Elétrica de Baixa Tensão (BT) de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica	34
<i>1.5.1 Características de Perdas em Linhas de Baixa Tensão</i>	36
Capítulo 2: TÉCNICAS DE MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO DE CANAL PARA SISTEMAS PLC	40
2.1 Técnicas de Modulação para Sistemas PLC	41
<i>2.1.1 Modulação QAM</i>	43
<i>2.1.2 Modulação APSK</i>	47
<i>2.1.3 Modulação Multiportadoras (MCM)</i>	49

2.2 Técnicas de Codificação de Dados (Códigos de Transmissão e Detecção de Erros) para Sistemas PLC	60
Capítulo 3: TRANSMISSÃO DE DADOS VIA SISTEMAS PLC	62
3.1 Modelo dos Canais PLC Outdoor	67
3.1.1 <i>Caracterização do Ruído Aditivo em Canais PLC Outdoor</i>	71
3.2 A Técnica OFDM/DMT	74
3.2.1 <i>Discrete Multitone Transceiver (DMT)</i>	76
3.2.2 <i>O Canal e seus Efeitos</i>	78
Capítulo 4: A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E OS SISTEMAS PLC	81
4.1 Definições da CEM	82
4.2 Regulamentos e Padrões	83
4.2.1 <i>Regulamentos da CEM Existentes</i>	83
Capítulo 5: ARQUITETURA E MODELO DE NEGÓCIOS DOS SISTEMAS PLC	88
5.1 Configurações Típicas PLC	88
5.2 Soluções Técnicas ou Arquiteturas Propostas de Sistemas PLC	90
5.2.1 <i>Definições e Análise das Arquiteturas Propostas</i>	90
5.2.2 <i>Arquiteturas Propostas de Sistemas PLC</i>	93
5.3 Modelo de Negócios dos Sistemas PLC	96
5.4 Mercado	97
5.4.1 <i>Entendendo o Mercado</i>	99
5.4.2 <i>Principais Competidores ou Sócios</i>	103
5.5 Análise Econômica	104
5.6 Vantagens Competitivas	104
5.7 Equipe Gerencial	106
5.8 Comprometimento do Empreendedor com o Negócio PLC	106
5.9 O Negócio PLC	107
5.9.1 <i>Modelos de Negócios</i>	107
5.9.2 <i>Alguns Exemplos do Negócio PLC</i>	109
5.10 Validação da Arquitetura 4 e Modelo de Negócio 4 dos Sistemas PLC	115
5.11 Plano de Negócios	119
PLANO DE NEGÓCIOS FICTÍCIO	121
6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	177
7 REFERÊNCIAS	179
ANEXOS	

Lista de Abreviaturas

ABRICEM	Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
AM	Modulação em Amplitude
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APSK	Modulação por Variação de Amplitude e Deslocamento de Fase
APTEL	Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BICM	<i>Bit Interleaved Coded Modulation</i>
BK	Bipolar Keying
BPLC	<i>Broadband Powerline Communication</i>
BT	Baixa Tensão
CAC	Central de Atendimento ao Cliente
CENELEC	Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica
CFS	<i>Carrier Frequency System</i>
CISPR	Comitê Internacional Especial para as Perturbações Eletromagnéticas
CP	Prefixo Cíclico
DFT	Discrete Fourier Transform
DMT	<i>Discrete Multitone Transceiver</i>
DSP	Processadores de Sinais Digitais
EDEE	Empresa Distribuidora de Energia Elétrica
EMC	Compatibilidade Eletromagnética
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FM	Modulação em Frequência
FTTX	Fibra para...
HDSL	<i>High Bit Rate Line Subscriber Digital</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i>
HFC	Redes Híbridas Fibra Óptica-Coaxial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBI	<i>InterBlockInterference</i>

ICI	<i>Interchannel Interference</i>
IDFT	<i>Inverse Discrete Fourier Transform</i>
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEM	Interferências Eletromagnéticas
IFFT	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
IPTV	TV Via Internet
ISP	Provedores de Serviços de Internet
MCM	Modulação Multiportadoras
MT	Média Tensão
OFDM	Multiplexação Ortogonal por Divisão de Freqüência
OPGW	<i>Optical Ground Wire</i>
PLC	<i>Powerline Communication</i>
PLIC	<i>Powerline Internal Telecoms</i>
PLOC	<i>Powerline Outdoors Telecoms</i>
PNA	<i>Phone Line Home</i>
PSD	Power Spectral density
PSK	Modulação por Deslocamento de Fase
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
REA	<i>Rural Electrification Administration</i>
RFI	Interferências de Rádio Freqüência
RS	Códigos Cíclicos <i>Reed-Solomon</i>
SNR	Signal-to-noise ratio
SREA	<i>Rural Electrification Administration</i>
TEQ	Time domain Equalizer
UFRGS	Universidade do Rio Grande do Sul
USA	<i>United States of America</i>
VoIP	Voz sobre Internet
VPL	Valor Presente Líquido
xDSL	<i>Digital Subscriber Line</i>

Lista de Figuras

Figura 1	Rede Elétrica.....	25
Figura 2	Parâmetros longitudinais e transversais	26
Figura 3	Resultado das reflexões no módulo da função transferência de um meio metálico ideal	30
Figura 4	Atenuação em um meio metálico com seletividade de freqüências	31
Figura 5	Característica da não linearidade da fase de um meio metálico com seletividade de freqüências.....	32
Figura 6	Padrão atual de meios metálicos.....	33
Figura 7	Resultado da medição da atenuação em um enlace ou meio metálico.....	36
Figura 8	Canal atenuador com seletividade de freqüências.....	37
Figura 9	Modelo para experimentos de atenuação.....	37
Figura 10	Atenuação em um sinal: dependência da distância e freqüência utilizada no condutor metálico.....	38
Figura 11	Atenuação em um sinal: dependência da distância e freqüência em um circuito com varias ramificações	39
Figura 12	Diagrama simplificado de blocos de um sistema de comunicação digital	42
Figura 13	As constelações 4-QAM e 8-QAM.....	44
Figura 14	Constelação para modulação 8×4 – QAM	45
Figura 15	1º quadrante da constelação para modulação 8×4 – QAM.....	47
Figura 16	Constelação para 32 – APSK.....	48
Figura 17	Exemplo de distribuição de 3 subportadoras utilizando OFDM	50
Figura 18	Modulação FDM e OFDM.....	51
Figura 19	Técnica OFDM com modulação QAM para sistemas <i>wireless</i>	53
Figura 20	Símbolo OFDM.....	57
Figura 21	Intervalo de guarda sem extensão cíclica.....	57
Figura 22	Intervalo de guarda com extensão cíclica.....	58
Figura 23	Tipos de codificação.....	61
Figura 24	Modelo geral do canal	69

Figura 25	Módulos da resposta em frequência de três canais PLC de redes de baixa tensão	70
Figura 26	Ruídos aditivos em canais PLC <i>outdoor</i>	72
Figura 27	Ruídos aditivo de acordo com o modelo proposto por Zimmermann e Doster.....	74
Figura 28	Modelo banda base do sistema de transmissão multi-portadoras OFDM.....	76
Figura 29	Modelo banda base sistema de transmissão multiportadoras DMT	76
Figura 30	O sistema básico DMT com N grande	76
Figura 31	Espectro de potência DMT transmitido.....	78
Figura 32	Canal e a decomposição multicanal da resposta do canal	79
Figura 33	Receptor para DMT	80
Figura 34	Conjunto de canais paralelos e independentes que é equivalente ao canal original quando a modulação multiportadora é usada	80
Figura 35	Bandas de frequências AM, HAM e ondas curtas	84
Figura 36	Três emissões padrões radiadas e existentes.....	86
Figura 37	Topologia da rede domiciliar usando a fiação elétrica.....	89
Figura 38	Topologia típica de rede PLC de baixa tensão.....	89
Figura 39	Topologia típica de rede PLC baixa mais média tensão.....	90
Figura 40	Arquitetura do modelo 1	93
Figura 41	Arquitetura do modelo 4	95
Figura 42	Mediação do consumo	112
Figura 43	Caminhão do SAC Móvel.....	113
Figura 44	Agência de atendimento ao público da Eletropaulo.....	114
Figura 45	Rentabilidade média anual.....	126
Figura 46	Arquitetura do modelo 4	130
Figura 47	Crescimento da Internet no Brasil	137
Figura 48	Evolução do custo de captação de usuários em reais.....	154
Figura 49	Índices de retenção de mercado	155
Figura 50	Evolução das taxas de retenção de clientes PLCBrasil.....	155
Figura 51	Percentual de vendas por canal.....	156
Figura 52	Evolução da carteira de fornecedores.....	156
Figura 53	Estrutura funcional.....	158
Figura 54	Processo do negócio PLC	159
Figura 55	Cronograma de atividades	165

Figura 56	Resultados econômicos.....	167
Figura 57	Principais gastos	168
Figura 58	Custos das redes PLC.....	168
Figura 59	Evolução dos resultados financeiros.....	169
Figura 60	Exposição de caixa	170
Figura 61	Investimentos	171
Figura 62	Evolução dos resultados financeiros.....	172
Figura 63	Exposição de caixa no cenário otimista	173
Figura 64	Evolução dos resultados financeiros no cenário pessimista.....	174
Figura 65	Evolução dos resultados de fluxo de caixa no cenário pessimista.....	175

Lista de Tabelas

Tabela 1	Atenuação <i>versus</i> alta frequência em cabos.....	36
Tabela 2	FCC Part 15 limite de emissão radiada.....	85
Tabela 3	NB30 e MPT 1570 emissões de limites radiados.....	86
Tabela 4	Indicadores macroeconômicos	98
Tabela 5	Número de usuários ou terminais de telecomunicações	98
Tabela 6	Investimentos em telecomunicações.....	98
Tabela 7	Posição do Brasil no Mundo em 2004	99
Tabela 8	Participação das atividades de comunicações no PIB	103
Tabela 9	IDH da comunidade de Barreirinhas.....	109
Tabela 10	Quadro comparativo das tecnologias de acesso interno.....	115
Tabela 11	Quadro comparativo das tecnologias de acesso externo	117
Tabela 12	Indicadores macroeconômicos	134
Tabela 13	Crescimento de usuários ou terminais de telecomunicações e conseqüentemente as redes de acesso.....	134
Tabela 14	Perfil do usuário de Internet	136
Tabela 15	Proporção de empresas que usam computadores.....	138
Tabela 16	Número de empregados que usam computadores	139
Tabela 17	Proporção de empresas usando a internet segundo o tipo de atividade	140
Tabela 18	Projeção de clientes e <i>market share</i>	141
Tabela 19	<i>Market share</i> relativo ao número total de empresas	142
Tabela 20	<i>Market share</i> relativo ao número total de usuários	142
Tabela 21	<i>Market share</i> relativo ao % de clientes <i>target</i>	143
Tabela 22	Projeções de vendas.....	143
Tabela 23	Comparação da PLCBrasil com potenciais concorrentes.....	147
Tabela 24	Estratégia de preços	150
Tabela 25	Mercado-alvo dos assinantes.....	152
Tabela 26	Apresenta o mercado-alvo de empresas (incluso os fornecedores)	152
Tabela 27	Mercado de Internet e voz a ser conquistado	153
Tabela 28	SWOT	163
Tabela 29	Demonstrativo financeiro	167
Tabela 30	Demonstrativo financeiro dos principais gastos.....	169
Tabela 31	Fluxo financeiro.....	170
Tabela 32	Indicadores de rentabilidade.....	172
Tabela 33	Fluxo financeiro no cenário otimista.....	173
Tabela 34	Fluxo financeiro no cenário pessimista.....	175
Tabela 35	Rentabilidade do empreendimento versão otimista	176
Tabela 36	Rentabilidade do empreendimento versão pessimista	176

INTRODUÇÃO

A tecnologia *Powerline Communications* (PLC) é utilizada a partir da década de 60 do século XX pelos empresários de energia elétrica que ampliavam as funções de sua rede elétrica. Essa rede, além de transportar e distribuir energia elétrica, servia de acesso para aplicações limitadas em banda estreita, taxas de transmissão bem baixas e alta potência de transmissão, tais como

- telemedição, telesupervisão e telecomando;
- comunicação de voz.

Esses serviços eram utilizados entre as pessoas responsáveis pela operação, manutenção e planejamento do sistema elétrico nas usinas geradoras de energia elétrica, nos centros de operação do sistema e nas diversas subestações. Para as aplicações de voz e de dados, usava-se um sistema de telecomunicações definido como *Carrier Frequency System* (CFS) que tinha como características o uso de faixa estreita em 3 kHz, 148,5 kHz e a modulação AM/FM.

A necessidade da sociedade por serviços de telecomunicações, principalmente por serviços de transmissão de dados em banda larga, foi o fator motivador para que grandes esforços venham sendo realizados no campo de pesquisa para viabilizar a utilização da tecnologia PLC em banda larga, também conhecida como *Broadband Powerline Communication* (BPLC), mais precisamente na faixa de frequência entre 1 MHz e 30 MHz, interessantes para Internet ou aplicações extremas de áudio e vídeo. O foco dessa pesquisa visa ao desenvolvimento de equipamentos que formam os componentes de uma rede PLC, tentando equacionar situações limites do acesso PLC, tais como

- melhoria na taxa de transmissão;
- atenuação e defasamento dos canais PLC (principais características das linhas de distribuição das redes elétricas);
- característica distância *versus* frequência das redes elétricas, sendo a atenuação aos sinais elétricos nelas transmitidos a consequência imediata, principalmente para os usuários banda larga que se localizam no final das linhas de baixa tensão – usuários fim de linha;

- topologia da rede e acoplamento de cargas que incrementam a atenuação dos canais PLC;
- maior eficácia dos equipamentos PLC diante do “ruído” inerente às redes elétricas em uso (existem situações em que tipos de ruídos degradam o sinal a ponto de inviabilizar a comunicação).

Atualmente, técnicas digitais sofisticadas de modulação e de codificação de canais são utilizadas como forma de reduzir os efeitos da degradação impostos à informação pelas características das redes elétricas (atenuação e defasamento) e o ruído inerente a estas redes, viabilizando a comunicação.

Os atuais DSP (Processadores de Sinais Digitais), por exemplo o DS2, possibilitam a implementação da técnica de modulação multiportadoras OFDM que é a utilizada nos dias de hoje nos sistemas PLC. Esta técnica de modulação possibilita o aumento da taxa de transmissão, evita interferências conduzidas e irradiadas, otimiza a banda de frequências e sua implementação é realizada com algoritmos da Transformada Discreta de Fourier.

A técnica de codificação de canal permite reduzir a influência do ruído ou das distorções do sinal introduzidas pelo canal PLC no receptor. Esta técnica está associada a uma diminuição da taxa de erros, isto é, a sistemas digitais de comunicação eficientes e confiáveis (sem erro).

A codificação de canal tem por princípio básico a introdução controlada de redundâncias na informação a ser transmitida, de forma que possíveis erros possam ser detectados e corrigidos durante a decodificação. A informação codificada pode ser transmitida a uma potência mais baixa do que a necessária sem codificação para se obter a mesma probabilidade de erro de transmissão.

Dois tipos básicos de codificação são largamente utilizados até hoje e são as bases para codificações mais complexas: os de bloco e os convolucionais.

Para se conseguir um bom desempenho nos sistemas PLC é preciso implementar processos de codificação que garantam uma dispersão de erros para o código usado. Assim a transmissão de dados em Banda Larga passa a ser interessante ou necessária a partir da utilização de frequências mais altas, tipicamente entre 1,6 MHz a 30 MHz.

Atualmente, os equipamentos que participam e formam uma rede PLC disponíveis no mercado permitem até 200 Mbps (pico), estando previsto para os próximos dois anos um incremento substancial nesta taxa para até 250 Mbps.

Vale salientar que diversos países da Europa (Portugal, Espanha, França e outros) já exploram comercialmente o serviço de banda larga sobre a linha de energia, assim como os Estados Unidos. Naqueles países os equipamentos que compõem um sistema PLC foram certificados, homologados, padronizados e normalizados. Porém, a homologação e a certificação naqueles países não é aceita no Brasil pela falta de um acordo de reconhecimento mútuo

entre o Brasil e a Europa e os Estados Unidos. Logo, os equipamentos de uma rede PLC que são importados deverão ser testados em laboratórios brasileiros para receberem a certificação ou homologação da ANATEL.

Várias pesquisas realizadas em todo o mundo, inclusive no Brasil, já provaram a eficácia e a robustez da tecnologia PLC. Percebendo toda esta situação em torno do acesso PLC, as empresas de energia elétrica, aproveitando-se da capilaridade das redes de distribuição existentes, pretendem

- introduzir um novo padrão de qualidade nos serviços prestados aos consumidores de energia elétrica;
- implementar a automação e o controle das redes elétricas pelos sistemas PLC melhorando a eficácia do gerenciamento e manutenção das redes de energia elétrica;
- registro *on-line* da demanda que permite as EDEE conhecer o comportamento dos clientes do produto energia elétrica;
- disponibilizar a rede PLC *Outdoor* como acesso ou *last miles*, de forma eficiente, e a baixo custo, aos Operadores de Telecomunicações, Provedores de Internet, Empresas de Segurança em geral e de TV a Cabo e outros grandes usuários de banda larga.

Motivação

A desregulamentação no mercado de telecomunicações e a entrada de novas operadoras fizeram com que a rede de acesso passasse a ser o foco das empresas que exploram os serviços de telecomunicações não apenas no Brasil, mas, principalmente no mundo. Com o fim do monopólio, as empresas de prestadoras de serviços de telecomunicações desejam oferecer diferencial de preço, de prazo e de instalação. Para isto, as empresas prestadoras dos serviços de telecomunicações precisam de uma rede de acesso de grande capilaridade, uma vez que quanto maior a acessibilidade de uma rede mais fácil torna-se a penetração no mercado.

O grande diferencial das operadoras de telecomunicações é o equilíbrio de investimentos entre o *backbone* e a rede de acesso, principalmente com a demanda de serviços de banda larga expandindo-se a cada dia e exigindo taxas de transmissão mais elevadas e um sistema de transmissão de elevada confiabilidade. Porém, sem a rede de acesso, não há como vender o serviço ao usuário final, que é o mais importante.

A solução ideal seria a instalação de fibras ópticas (acesso) dos nós (centrais de comutação) aos usuários. Porém o custo é elevado, principalmente no lançamento ou na

instalação dos cabos e, por esse motivo, inviável em curto prazo, mesmo em países desenvolvidos. É nesse vácuo que entra o papel da tecnologia PLC. As redes de acesso PLC são caracterizadas pela facilidade e baixo custo de instalação e pela alta capilaridade, o que permitiria equilibrar os investimentos entre o *backbone* e a rede de acesso, otimizar os serviços ofertados e, ainda, oferecer diferenciais de preço e de prazo de instalação aos usuários dos serviços de telecomunicações com os sistemas PLC. Logo, nota-se que as redes PLC são muito competitivas quando comparadas com as redes de acesso das tecnologias que atualmente existem no mercado, tais como:

- acesso via par metálico (RDSI, xDSL, par telefônico convencional);
- acesso via fibra óptica (FTTX);
- acesso via cabo coaxial (HFC);
- acesso via rádio (*Wireless*);
- acesso via satélite.

A grande motivação desse trabalho é conceber arquiteturas de sistemas PLC ou redes de acesso PLC através de soluções de engenharia elétrica e que essas arquiteturas definam modelos de negócio na idéia PLC.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver **soluções de tecnologias** de redes de acesso ou **arquiteturas de sistemas PLC** que definirão modelos de negócio ou **negócios da idéia PLC**. O foco é mostrar a viabilidade da tecnologia PLC, a partir da melhor solução tecnológica dentre as apresentadas sob o ponto de vista da **Engenharia Elétrica** e do modelo de negócio definido por essa arquitetura, através da validação da arquitetura escolhida e do modelo de negócios, ou seja, a elaboração do **business plan** ou **plano de negócios com base na situação real** do mercado de telecomunicações, em nosso país, ávido por uma solução que viabilize o subsistema rede de acesso ou última milha de uso fácil e baixo custo para o usuário final.

Estrutura da Dissertação

Para alcançar os objetivos propostos, a dissertação está estruturada em cinco capítulos que são brevemente descritos a seguir.

No Capítulo 1 estuda-se as linhas de distribuição de energia elétrica como canal de transmissão de voz, de vídeo e de dados. Abordam-se as características desse meio e as dificuldades para a transmissão da informação analógica e digital nas redes elétricas.

No Capítulo 2 são apresentadas as técnicas digitais sofisticadas de modulação e de codificação de canais. Essas técnicas minimizam as distorções introduzidas pelo canal PLC e pelo ruído aditivo. Abordam-se o modelo geral, a função transferência e o modelo de ruído aditivo do canal PLC *outdoor*.

No Capítulo 3 analisa-se o uso das redes elétricas para a transmissão da informação digital baseada em sistemas multiportadoras. Discute-se a técnica de modulação OFDM/DMT multiportadora.

No Capítulo 4 fica evidenciada a importância da compatibilidade eletromagnética entre os equipamentos que são instalados no mesmo ambiente eletromagnético. Apresenta-se também um Relatório Técnico de Análise de Compatibilidade Eletromagnética, que é uma síntese dos dados coletados e analisados das medições do campo eletromagnético radiado pelos equipamentos PLC instalados numa rede de distribuição de energia elétrica (rdee) da COPEL (Companhia Paranaense de Energia) no ano de 2003.

No Capítulo 5 são apresentadas arquiteturas de sistemas PLC. Esses sistemas representam possíveis soluções para o deficiente subsistema de acesso que compõe o atual sistema de telecomunicações do nosso país. Estas arquiteturas ou soluções tecnológicas definirão modelos de negócios que poderão ser explorados no mercado de telecomunicações brasileiro. As validações das arquiteturas e modelos de negócios também são apresentados.

Complementam o trabalho as conclusões, as perspectivas futuras e os Anexos.

Nas conclusões e perspectivas futuras tem-se a síntese da presente dissertação e a lista de possíveis investigações futuras. Nos Anexos são mostrados alguns dados do mercado brasileiro das telecomunicações.

CAPÍTULO 1

1 A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMO CANAL DE COMUNICAÇÃO DE VOZ, DE VÍDEO E DE DADOS

1.1 A Rede de Distribuição de Energia Elétrica

Em sua função original a rede elétrica de distribuição de energia (RDEE) é usada para o transporte e a distribuição de energia elétrica aos consumidores. Neste capítulo analisa-se as RDEE em uma nova função, ou melhor, ampliação de funções, como canal para comunicação de voz, de vídeo e de dados. O objetivo é descrever o ambiente ou o acesso PLC caracterizado pela RDEE em aplicações PLC na Média Tensão (MT) e na Baixa Tensão (BT), configurações por onde serão propagados os sinais PLC. Vale ressaltar que a maioria das aplicações PLC utiliza a Rede de Baixa Tensão (RBT) ou *last mile*. As redes de MT (RMT) e as RBT são caracterizadas por linhas ou condutores metálicos e, portanto, serão analisadas pelo estudo de algumas características e pelo comportamento dessas características das redes de MT e BT (condutores metálicos) para aplicações PLC na faixa entre 500 kHz e 30 MHz, tendo em vista que essas redes são formadas por parâmetros como resistências, indutâncias, capacitâncias e condutâncias distribuídas, sendo um ambiente hostil à propagação de sinais elétricos, principalmente os de alta frequência, devido aos seguintes parâmetros:

- atenuação por conta dos efeitos resistivos e reativos das linhas;
- reflexões devido à inserção e retirada dinâmica de cargas na rede elétrica;
- ruídos decorrentes das perturbações eletromagnéticas e conseqüentes interferências

conduzidas e irradiadas.

Vale enfatizar que a atenuação e os ruídos são os grandes obstáculos para uma propagação adequada de sinais. Logo, analisar os efeitos que influenciam a transmissão de sinais PLC pelas redes elétricas em nível da distribuição de energia elétrica torna-se fundamental.

1.2 A Rede de Distribuição de Energia Elétrica como Sistema de Transmissão e de Distribuição de Energia Elétrica

A Rede de Distribuição de Energia Elétrica são sistemas ou redes elétricas que foram concebidas para transportar e distribuir a energia elétrica em níveis de Média e Baixa Tensão, operando nas frequências da rede (50 ou 60 Hz). Os sistemas de Geração e de Transmissão de Energia Elétrica são interligados à rede de distribuição de Energia Elétrica através das subestações de Extra Alta Tensão (EAT) e Alta Tensão (AT). As subestações de Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT), localizadas próximas aos centros consumidores, e as subestações MT e BT, localizadas nos centros consumidores, são transformadores abaixadores de alta potência das redes de distribuição e estão interconectados por linhas de distribuição ou alimentadores de comprimentos, às vezes, significativos, devido as distâncias entre aquelas subestações e dessas aos consumidores. A energia elétrica presente na rede primária, ou seja, nas subestações MT/BT, é transportada pelos alimentadores aos centros de consumo ou demanda e, após, distribuídas para os sistemas consumidores de grande porte, em níveis de tensão de 34,5 kV ou 13,8 kV, como indústrias, comércio, centros urbanos e rurais. Já a rede secundária das subestações MT/BT é caracterizada pelas linhas de distribuição de Baixa Tensão ou condutores metálicos que suprem os consumidores de médio e pequeno porte na Tensão abaixo de 1 kV.

Na figura 1, temos uma configuração ou topologia de um sistema de transporte e de distribuição de energia elétrica de uma RDEE. Nessa figura podemos observar os diversos componentes que a formam, desde a subestação até o consumidor, assim como os diferentes níveis de tensão.

O padrão de Rede de Distribuição Urbana e rural no Brasil é o aéreo, baseado nos padrões do REA (*Rural Electrification Administration* - USA), em que os condutores nus são apoiados sobre isoladores de vidro ou de porcelana, fixados em cruzetas de madeira ou de concreto. Este tipo de rede tornou-se padrão nacional há várias décadas, porém vem sendo substituído gradualmente devido ao baixo nível de confiabilidade quando utilizado em áreas com maior densidade populacional.

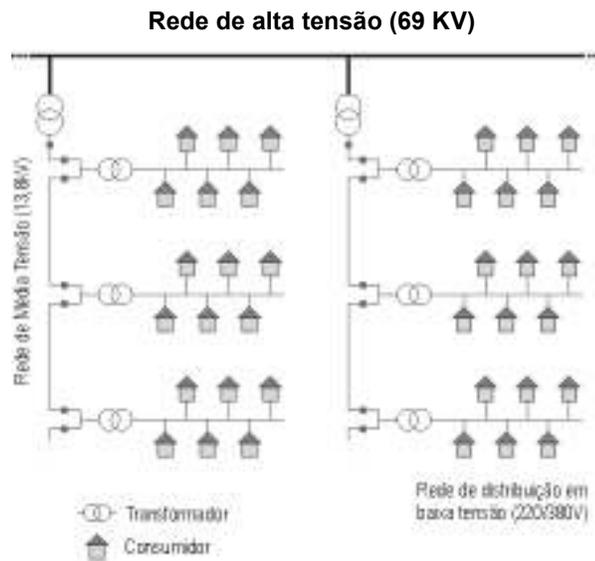


Figura 1 - Rede Elétrica.

1.2.1 Tecnologia das Linhas de Distribuição de Energia Elétrica (LDEE)

As linhas de distribuição ou condutores metálicos utilizados nas redes de distribuição de energia elétrica foram projetadas inicialmente para o transporte ou a propagação de sinais de baixa frequência. As aplicações PLC são baseadas em sinais de alta frequência. Logo, torna-se necessário conhecer a tecnologia das linhas e os materiais usados na composição desses condutores metálicos de modo que soluções outras venham a ser incorporadas ao processo de propagação de sinais PLC em linhas de distribuição de energia elétrica no sentido de adequar os sinais PLC de alta frequência às redes elétricas de distribuição.

As linhas ou condutores metálicos apresentam características primárias tais como: resistências (R), capacitâncias (C), indutâncias (L), condutâncias distribuídas (G) e secundárias: constante de propagação (Y), constante de atenuação (α), constante de fase (β) e a impedância característica (Z_0).

Os parâmetros primários das linhas metálicas são características obtidas diretamente a partir da natureza dos circuitos, da disposição geométrica dos condutores e do material utilizado.

Esta linha que pode ser vista na figura 2, possui dois tipos de parâmetros primários:

- *Longitudinais*: são as características que existem ao longo dos condutores que constituem a linha, tais como

- resistência por unidade de comprimento - R (Ω /km)

- indutância por unidade de comprimento - L (H/km)
- *Transversais*: são as características que existem entre os condutores que constituem a linha, tais como
 - capacitância por unidade de comprimento - C (F/km)
 - condutância do dielétrico por unidade de comprimento - G (mho/km)

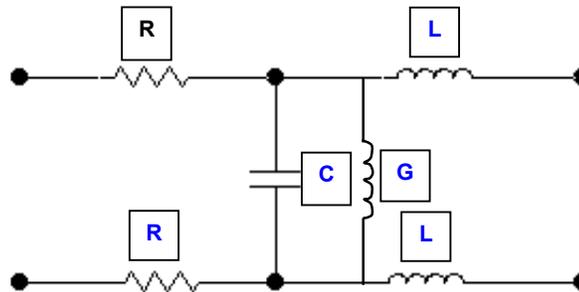


Figura 2 - Parâmetros longitudinais e transversais.

As características primárias dependem do diâmetro dos condutores (resistência ôhmica), do afastamento entre os condutores (capacitância), do material empregado como isolante entre os condutores, sua espessura e ainda a disposição dos condutores no cabo metálico. Porém, as características secundárias das linhas são funções das suas características primárias, as quais se determinam pela disposição geométrica dos condutores e pelas propriedades dos materiais utilizados.

Os parâmetros secundários são importantes para elaboração de projetos e para análise da rede PLC. Torna-se pertinente discutir brevemente os seguintes parâmetros:

- impedância característica;
- constante de propagação;
- constante de atenuação;
- constante de fase;
- velocidade de propagação.

Essas características são também influenciadas pela banda de frequências que formam o sinal, as condições climáticas e as observações a seguir:

- a resistência distribuída varia em função da temperatura ambiente;
- o valor da resistência distribuída é diretamente proporcional à raiz quadrada das frequências que compõem o sinal por causa do Efeito Peculiar;

- a capacitância distribuída depende dos materiais envolvidos na construção dos condutores;
- tendo o ar como dielétrico, a capacitância distribuída pode sofrer variações por conta de variações nas condições climáticas;
- o aumento na frequência pouco afeta a capacitância distribuída;
- no condutor metálico a diminuição da secção utilizada com o aumento da frequência, também diminui o campo magnético interno do condutor;
- no caso anterior, a conseqüente redução na indutância distribuída é muito pequena, sendo desprezível;
- os valores da condutância G dependem das perdas dielétricas e dos defeitos no isolamento. Em geral, o valor de G é considerável;
- os valores das frequências que compõem o sinal são diretamente proporcionais à condutância G ;
- a constante de atenuação (α) depende dos parâmetros resistências (R), capacitâncias (C), indutâncias (L) e condutâncias distribuídas (G) do condutor (meio), da banda de frequência do sinal, das condições climáticas e das propriedades do material usado na construção dos condutores.

$$\alpha = \sqrt{\left[\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2) \cdot (G^2 + \omega^2 C^2)} + (RG - \omega^2 LC) \right]^{1/2}} \quad (\text{Equação 1})$$

- a constante de fase (β) depende dos parâmetros resistências (R), capacitâncias (C), indutâncias (L) e condutâncias (G) que estão distribuídas no condutor (meio), além da banda de frequência do sinal. Essa constante representa o defasamento sofrido pelo sinal;

$$\beta = \sqrt{\left[\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2) \cdot (G^2 + \omega^2 C^2)} - (RG - \omega^2 LC) \right]^{1/2}} \quad (\text{Equação 2})$$

- a Constante de Propagação representada pela letra grega “ γ ”, caracteriza a maneira pela qual uma onda se propaga ao longo da linha de transmissão, com respeito às variações de fase e amplitude da mesma.

Assim, se uma linha de transmissão homogênea de pares simétricos e de comprimento infinito estiver sendo percorrida por uma tensão e uma corrente senoidais, sendo V_0 e I_0 respectivamente, a tensão e a corrente no início da linha, a tensão e a corrente num ponto a uma distância L do início da linha, serão obtidas as seguintes relações:

$$V = V_0 \cdot e^{-\gamma L} \quad (\text{Equação 3})$$

$$I = I_0 \cdot e^{-\gamma L} \quad (\text{Equação 4})$$

A constante de propagação é composta de uma parte real, α , chamada de constante de atenuação, e de uma parte imaginária, β , chamada de constante de fase.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (\text{Equação 5})$$

Segundo (SADIKU, 2004) a expressão geral da constante de propagação em função dos parâmetros primários de uma linha de transmissão é

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) \times (G + j\omega C)} \quad [m^{-1}] \quad (\text{Equação 6})$$

A impedância característica (Z_0) de uma linha é

- a impedância de entrada de uma linha suposta infinitamente longa;
- o conjunto de oposição à passagem de um sinal naquele meio (demonstra os efeitos resistivos e reativos de uma linha);
- independente do comprimento do condutor;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (\text{Equação 7})$$

1.3 A Rede de Distribuição de Energia Elétrica como Canal para Comunicações de Voz, de Vídeo e de Dados

A rede de distribuição de Energia Elétrica como meio de comunicações de dados, de vídeo e de voz é caracterizada pela atenuação proporcional ao aumento da frequência e da distância, fase não linear, seletividade na frequência e o ruído conduzido ou irradiado nos condutores metálicos (linhas de distribuição de energia) de MT e BT. Por ser um meio extremamente hostil como canal de comunicações, devido a essas características primárias e secundárias das linhas ou RDEE. O conhecimento das características das redes elétricas,

equipamentos e principalmente as linhas ou condutores metálicos de MT e BT da distribuição de energia elétrica faz-se necessário no momento do planejamento de um sistema PLC, de modo que as diretrizes definidas para o sistema digital de transmissão de dados concorra para tornar as características daquele meio compatível com os parâmetros ou características exigidas em aplicações de acesso. Além da qualidade no canal PLC ressalve-se que a confiabilidade do mesmo também é exigida. Por exemplo, o desligamento de parte de uma rede elétrica pode ser provocado pelo simples contato do condutor nú com as pessoas, um galho de árvore, as marquises e as sacadas de prédios, os painéis, os andaimes, as queimadas, os raios (descargas atmosféricas) e a poluição industrial exigindo assim a constante presença de equipes de manutenção para o restabelecimento da continuidade da rede elétrica.

1.3.1 Fatores a Serem Observados na Transmissão de Sinais por Redes Elétricas de Distribuição de Energia Elétrica

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

Ao se transmitir um sinal PLC numa rede elétrica de distribuição, iremos observar a presença de uma fração do sinal ou onda refletida e um outro sinal ou onda transmitida para o outro meio que também é parte do sinal original. Este é um cenário de um sinal incidente sobre regiões com impedâncias características diferentes. No caso das RDEE, as reflexões decorrem do descasamento de impedância das cargas nas terminações da rede, locais da rede onde a impedância varia no tempo devido à inserção e à retirada das mesmas no sistema de distribuição de energia elétrica e também nas mudanças dos parâmetros das linhas que ocasionem variações na impedância característica da rede, dando origem a sinais refletidos, por exemplo, conexão de cabos distintos, diferentes topologias, distância, nível de isolamento entre os condutores e outros parâmetros.

Segundo (HAYT, 2003) se a transmissão ocorrer em dois meios ou regiões 1 e 2 de impedâncias características diferentes, Z_{o1} e Z_{o2} , **a amplitude do campo elétrico** propagado entre aquelas regiões é dado por T ou Coeficiente de Transmissão (T), sendo

$$T = \frac{2Z_{02}}{Z_{01} + Z_{02}} = 1 - |\Gamma| \quad (\text{Equação 8})$$

Γ é a parte do **signal ou onda refletida** também conhecida como Coeficiente de Reflexão (Γ) sendo

$$\Gamma = \frac{Z_{02} - Z_{01}}{Z_{02} + Z_{01}} \quad (\text{Equação 9})$$

A principal consequência de reflexões são as interferências seletivas e destrutivas. Para algumas frequências o sinal ou onda propagada pode chegar ao destino, o receptor, com poucas perdas e, em outras frequências, o nível de atenuação é muito forte. Logo, conclui-se que a linha de distribuição possui uma resposta de frequência, a função de transferência, que varia bastante com a frequência. Portanto, as reflexões induzem a determinadas frequências a apresentarem uma atenuação muito forte. Como exemplo, na figura 3 temos uma simulação do módulo da função transferência de um meio sem atenuação, composto por dois caminhos

- um caminho com 200 m, direto entre o transmissor e receptor, percorrido por um sinal i_1 e
- outro caminho com 224 m, direto entre o transmissor e receptor, percorrido por ondas diretas i_2 e refletidas r_2).

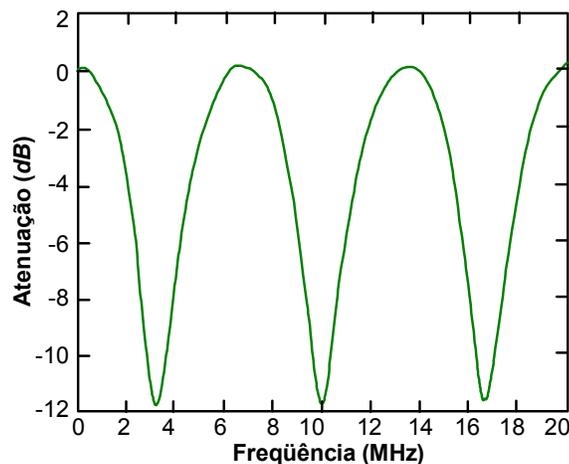


Figura 3 - Resultado das reflexões no módulo da função transferência de um meio metálico ideal.

A primeira frequência com grande atenuação é 3,334 MHz. Os sinais subsequentes que apresentarem apenas esta frequência terão um período de aproximadamente $0,3 \mu\text{s}$. No percurso de 224 m parte do sinal transmitido (i_2), que se propaga para o receptor será refletido na fração do sinal incidente (i_2), ou seja, a parte refletida (r_2). Esse sinal refletido (r_2) sofre um atraso de $0,15 \mu\text{s}$ que equivale a 180° de defasamento. No encontro dos sinais i_1 com r_2 , eles se somam e o sinal resultante é o sinal i , distorcido por conta da interferência destrutiva e seletiva provocada pela reflexão. Este fenômeno acontece também para os múltiplos ímpares de 3,334 MHz, uma vez que para os múltiplos pares a interferência é construtiva. Portanto, a transmissão de sinais usando a frequência 3,334 MHz e seus múltiplos ímpares é praticamente irrealizável. Diretamente relacionada a isso está a posição do receptor em relação ao transmissor. Vale salientar que os parâmetros distância do receptor ao transmissor e a trajetória (o caminho ou a rota) que o sinal deve percorrer entre o receptor e o transmissor são os fatores decisivos da influência da localização na interferência destrutiva e seletiva provocada pela reflexão nas ondas propagadas em uma linha ou condutor elétrico.

O meio metálico usado para a transmissão de sinais se apresenta como um **canal atenuador com seletividade na frequência** que é o resultado das características de atenuação e do defasamento combinadas. Estes fatos são ilustrados nas figuras 4 e 5 que representam a variação da atenuação e o defasamento impostos aos sinais propagados num meio metálico devido à reflexão que resulta em não linearidades em suas funções.

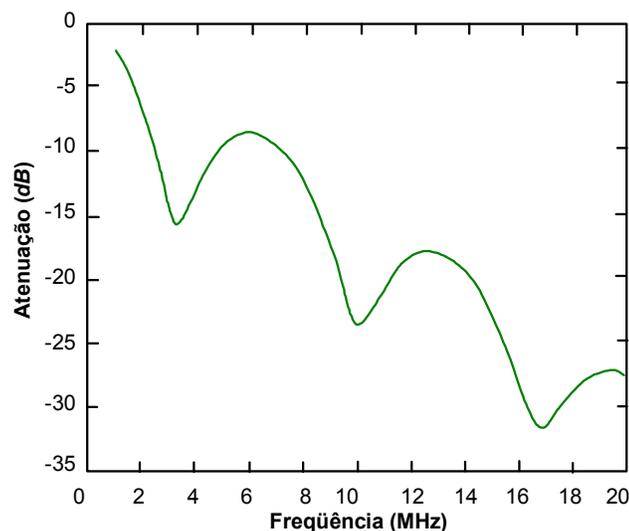


Figura 4 - Atenuação em um meio metálico com seletividade de frequências.

Na figura 4 podemos observar que determinados sinais são fortemente atenuados e outras freqüências são fracamente atenuadas, caracterizando a seletividade de freqüências do meio metálico.

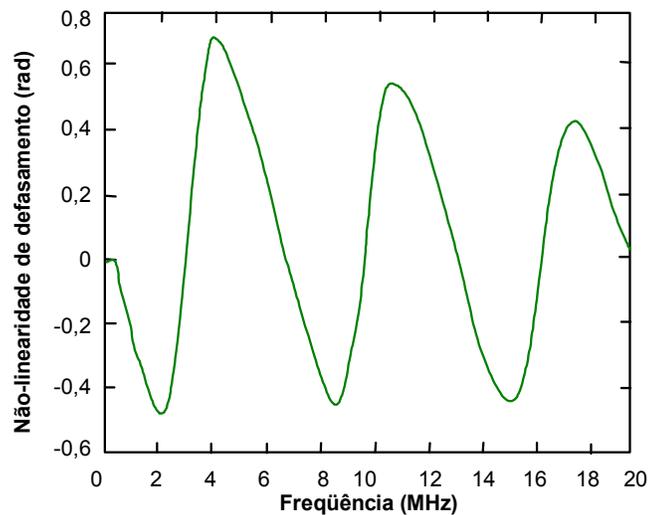


Figura 5 - Característica da não linearidade da fase de um meio metálico com seletividade de freqüências.

2) Interferência intersimbólica

Além da seletividade de freqüências, canais não ideais distorcem os blocos que se propagam por eles. Se as respostas em amplitudes e fase do canal são ideais, as freqüências que compõem o bloco sofrem as mesmas alterações em amplitude e fase. A forma do bloco é conservada, verificando apenas uma mudança em amplitude e um atraso temporal. Com a não idealidade, as freqüências são modificadas de forma heterogênea e ocorre uma dispersão (espalhamento) do bloco.

Quando blocos consecutivos passam por um canal não ideal, eles se sobrepõem e geram a Interferência intersimbólica.

Trata-se da interferência entre sinais subseqüentes.

3) Radiação eletromagnética

São irradiações emitidas pelas freqüências (ondas) transmitidas em linhas abertas, sem nenhum tipo de blindagem, com um enorme potencial de interferência nos sistemas que operam nas mesmas freqüências, em bandas licenciadas ou não, por acoplamento eletromagnético, no espaço aberto, ou em sistemas próximos.

Vale salientar que o comprimento de onda, λ , do campo eletromagnético é fundamental nessa análise. No caso de baixas frequências e grandes comprimentos de onda e o tamanho do condutor for menor do que o tamanho de λ , não existe irradiação, uma vez que a energia do campo eletromagnético se concentra na região interna do condutor. Contudo, para altas frequências e o comprimento de onda, λ , pequeno, o condutor metálico atua como uma antena ou uma fonte de ondas eletromagnéticas. A intensidade dessa fonte de propagação de perturbações eletromagnéticas no meio externo é reduzida com a blindagem nos condutores. Essa solução foi até alguns anos atrás os cabos subterrâneos blindados e instalados geralmente em dutos ou diretamente enterrados. Na figura 6 podemos observar uma opção bastante utilizada atualmente. Este sistema de condutores blindados é o sistema de distribuição com condutores aéreos cobertos e (ou) isolados que minimizam os problemas relacionados com o impacto ambiental, reduzem os riscos de contato acidental e as irradiações eletromagnéticas e ainda melhoram a confiabilidade no fornecimento de energia, em relação à rede aérea convencional.



Figura 6 - Padrão atual de meios metálicos.

1.4 A Rede Elétrica de Média Tensão (MT) de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

São configurações de redes elétricas com tensões de trabalho em 13,8 kV ou 34,5 kV dos sistemas de distribuição de energia elétrica (SDEE). Essas configurações são formadas por equipamentos e linhas que são utilizadas para o transporte e a distribuição de energia elétrica aos grandes centros de demanda.

Os equipamentos da rede elétrica (MT) dos (SDEE) por aplicação são

proteção: religadores, disjuntores e reles;

chaveamento: chaves a óleo, chaves faca e chaves fusíveis;

abaixadores de tensão: transformadores de potência;

estabilizadores de tensão: bancos de capacitores e estabilizadores indutivos de tensão.

As linhas são condutores metálicos de cobre ou alumínio e denominadas **alimentadores**. Em Media Tensão, o meio ou canal de comunicação para os sinais PLC são **os alimentadores**.

Para o uso de um sistema PLC, somente os equipamentos transformadores, bancos de capacitores e reguladores indutivos de tensão serão considerados. Eles fazem parte da composição dos valores L e C , ou seja, parâmetros primários do sistema e podem alterar as características necessárias para a viabilidade do canal PLC. Vale salientar que o transformador representa um circuito aberto para os sinais PLC. Estes equipamentos são dimensionados para baixas frequências de operação (50 Hz ou 60 Hz).

Conforme já relatado, o padrão das linhas MT de distribuição no Brasil são condutores metálicos sem blindagem, ou seja, nus. Essa condição representa uma porta aberta às irradiações eletromagnéticas naqueles condutores. Essas interferências ou perturbações eletromagnéticas irradiadas representam parte do ruído presente nas linhas. O ruído total presente nas linhas MT é o somatório das perturbações eletromagnéticas: irradiadas, conduzidas e do próprio material (térmico).

1.5 A Rede Elétrica de Baixa Tensão (BT) de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

Constitui-se de configurações de redes elétricas dos sistemas de distribuição de energia elétrica com tensões de trabalho em 127/220 V ou 220/380 V, também conhecidas como rede secundária de BT. Essas configurações são encontradas nas empresas distribuidoras de energia elétrica e nas instalações elétricas internas de ambientes residenciais, prediais, comerciais e industriais.

Nas empresas distribuidoras de energia elétrica tem-se os seguintes equipamentos dessa rede, por aplicação e na tensão de trabalho em 127/220 V ou 220/380 V:

proteção: disjuntores de BT, elos;

chaveamento: chaves fusíveis.

As linhas de BT são condutores metálicos de cobre ou alumínio, sendo o meio ou canal de comunicação mais utilizado para aplicações PLC. Nesse caso as linhas BT das

empresas distribuidoras de energia elétrica passam a ser reconhecidas como a rede externa de acesso PLC ou sistema *Outdoor* ou *Powerline Outdoors Telecoms* (PLOC) para aplicações PLC em altas frequências. Contudo, para as mesmas aplicações e banda de frequências, nas instalações elétricas internas de ambientes residenciais, prediais, comerciais e industriais a rede interna de BT passa a se chamar sistema *Indoor* ou *Powerline Internal Telecoms* (PLIC).

O padrão atual nacional de construção de cabeamento das redes BT nas empresas distribuidoras de energia elétrica segue o seguinte modelo:

Três cabos isolados denominados fases e um quarto cabo nú que é o neutro. Este é um sistema de cabeamento de condutores os quais são distribuídos nas áreas urbanas e rurais e deles derivam os ramais de serviços a cada ambiente dos consumidores. Esses originam, as ramificações, ou seja, as muitas ramificações a depender da demanda e da densidade populacional da região. Logo, os ramais de serviços que interligam cada ambiente do consumidor às linhas formam pontos de descasamento de impedância, ou seja, pontos de reflexões para os sinais incidentes. Sabemos que no ambiente do consumidor a inserção e a retirada de cargas representa um processo dinâmico ao longo do tempo, devido às cargas as mais variadas, principalmente as de baixa impedância em ambientes residenciais (eletrodomésticos, motores, iluminação e outros) que se repetem a cada momento nas redes elétricas de baixa tensão, o que torna a impedância do canal PLC dentro ou fora do ambiente do consumidor um parâmetro que varia dinamicamente no tempo e no ritmo das inserções e retiradas de cargas nos sistemas de distribuição de energia elétrica de baixa tensão.

Como forma de baratear o custo de implantação das redes de baixa tensão nas comunidades mais pobres, as empresas distribuidoras de energia elétrica utilizam, em determinadas situações, o sistema de cabeamento conhecido como linhas multiplexadas. Este sistema é formado por vários condutores blindados e isolados, o que favorece a imunidade às perturbações eletromagnéticas irradiadas. Além disso, impõem aos sinais incidentes PLC os efeitos de reflexões nos pontos de derivações do sistema multiplexado além das perdas do material dielétrico para as altas frequências.

Nas situações de impossibilidades de redes aéreas, por exemplo, no caso de adequação ao meio ambiente e outros casos, as empresas distribuidoras de energia elétrica optam por redes subterrâneas. Este sistema de cabeamento apresenta cabos subterrâneos isolados e não blindados nas fases e o neutro condutor nú. Esses cabos são lançados no solo em dutos subterrâneos e, freqüentemente, conectados aos secundários dos transformadores da distribuição de energia elétrica e, dessa forma, interligados à rede elétrica de distribuição. A topologia dessas redes leva-as a apresentarem altas condutâncias e

capacitâncias, devido à proximidade do solo e a baixas impedâncias característica, por conta das interconexões, acarretando consideráveis atenuações.

1.5.1 Características de Perdas em Linhas de Baixa Tensão

Os condutores de baixa tensão apresentam uma característica de atenuação que depende muito mais da topologia da rede e das cargas conectadas, embora aumente com a distância entre o transmissor e o receptor e a frequência utilizada no enlace.

Em (TANAKA, 1988), foram levantados dados em medições de atenuação em cabos usando faixas de alta frequência, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Atenuação *versus* alta frequência em cabos

Referência	Comprimento do enlace	Faixa de frequência	Atenuação
TANAKA, 1988	10 m	10 kHz a 20 MHz	-3 a -30 dB
TANAKA, 1988	20 m	10 kHz a 20 MHz	-3 a -40 dB
TANAKA, 1988	30 m	10 kHz a 20 MHz	-10 a -55 dB

A curva característica de atenuação em cabos de 300 m e na faixa de frequência de 500 kHz a 20 MHz e ainda realizada em (ZIMMERMANN, DOSTERT, 1998) segue o padrão mostrado na figura 7. O resultado das medições nesses cabos mostram que a atenuação varia aproximadamente de 15 dBm a 85 dBm ao ser inserido na linha um sinal com nível de 65 dBmV na saída do transmissor.

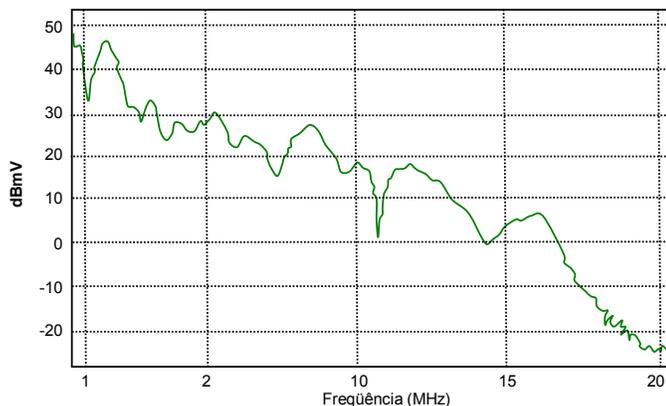


Figura 7 - Resultado da medição da atenuação em um enlace ou meio metálico.

O circuito da figura 3 em (ZIMMERMANN, DOSTERT, 2002a) mostra que uma linha de uma rede elétrica de distribuição de energia, de média e baixa tensão, possui como característica de atenuação um canal atenuador com seletividade de freqüências, conforme a figura 8. Nessa figura, pode-se observar atenuações de -1,57 dB em 500 kHz até -28,5 dB em 20 MHz e altas atenuações nos múltiplos ímpares de 3,334 MHz.

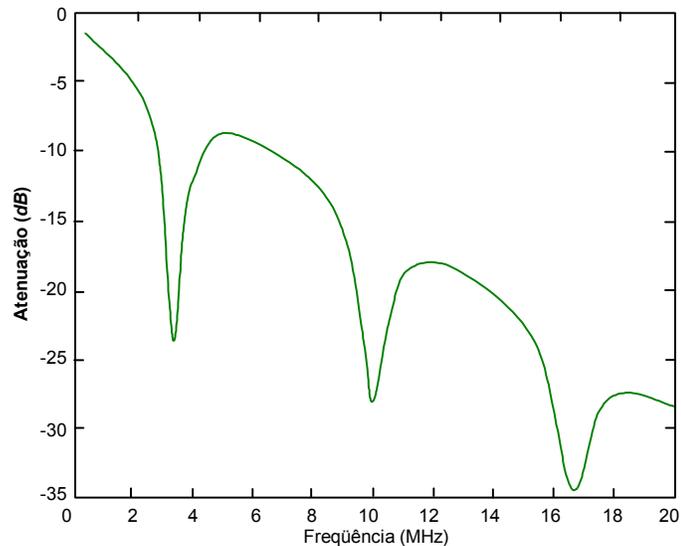


Figura 8 - Canal atenuador com seletividade de freqüências.

O experimento foi realizado em (ZIMMERMANN, DOSTERT, 2002a) utilizando um circuito simples com apenas uma ramificação com 12 m. Esta ramificação está a 30 m do transmissor (TX) e a 170 m do receptor (RX) como podemos ver na figura 9.

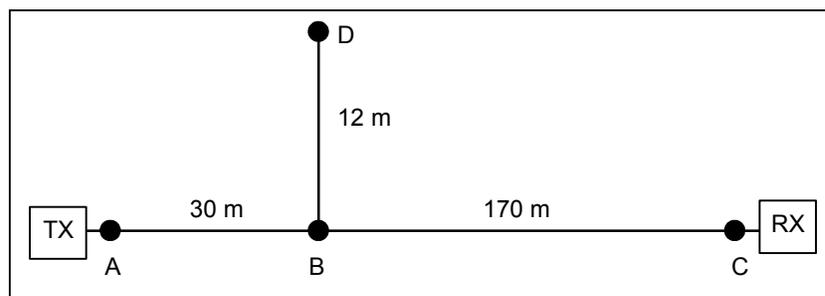


Figura 9 - Modelo para experimentos de atenuação.

A dependência da **distância** e da **freqüência** utilizada pela atenuação de um sinal transmitido em um condutor metálico é simulada em (ZIMMERMANN, DOSTERT, 1999) conforme figura 10. Nessa figura, as atenuações mostradas são funções dos parâmetros básicos do meio ou canal, pois não existem ramificações na topologia apresentada. Podemos destacar, naquela figura, quatro situações topológicas diferentes, ao considerar-se a figura 8 como padrão e as outras configurações diferenciando-se uma das outras pelas distâncias de 100 m, 200 m, 300 m e 380 m resultando em grupos de funções de atenuação diferenciados entre si.

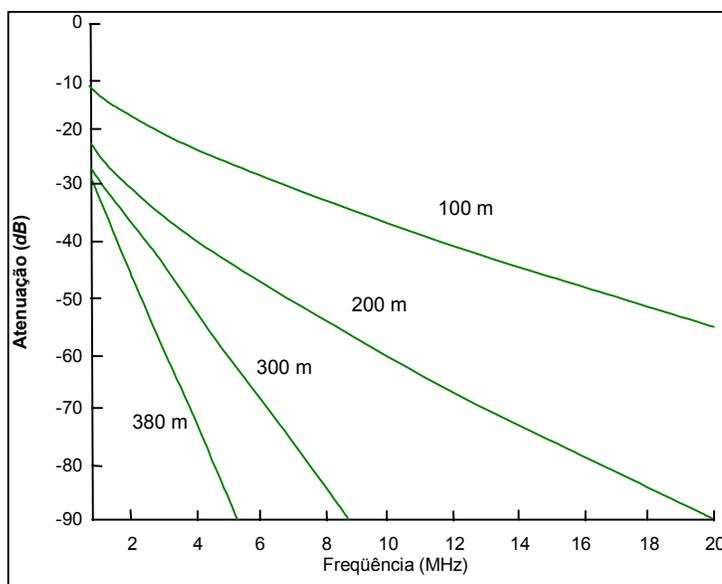


Figura 10 - Atenuação em um sinal: dependência da distância e freqüência utilizada no condutor metálico.

A figura 10 destaca a proporcionalidade entre a atenuação e a distância e aquela e a freqüência e a necessidade de repetidores ao longo da linha de baixa tensão.

A atenuação dos condutores de uma rede de baixa tensão apresenta uma característica de atenuação que depende da topologia da rede, das cargas conectadas, distância entre o transmissor e o receptor e a freqüência utilizada no enlace. Este fato é ilustrado na figura 11. Essa figura representa a função de transferência de uma rede de 110 m, com seis derivações, sendo que cada ramificação tem uma extensão de 15 m. Facilmente concluímos que a topologia desta rede foi modificada com relação à configuração da rede das figuras 8 e 9 e que a característica de reflexão aparece mais vezes devido a mais ramificações. Portanto, a atenuação é muito maior e mais variável na faixa do sinal transmitido.

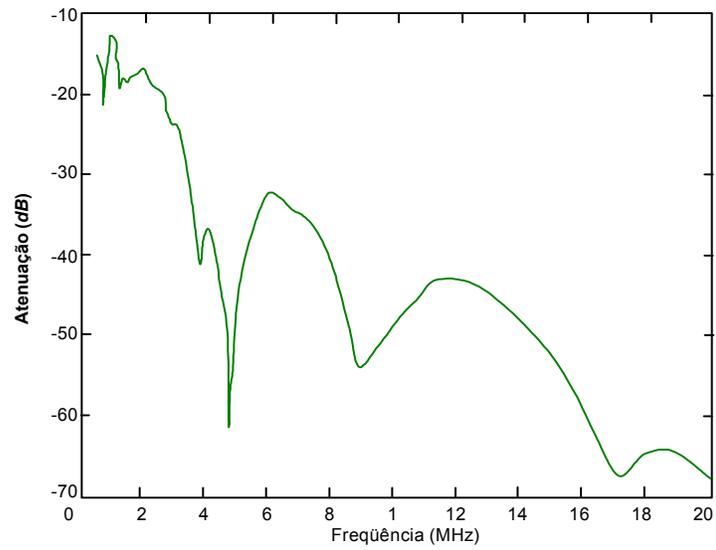


Figura 11 - Atenuação em um sinal: dependência da distância e freqüência em um circuito com varias ramificações.

CAPÍTULO 2

2 TÉCNICAS DE MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO DE CANAL PARA SISTEMAS PLC

Impulsionados por um aumento significativo de demanda, os sistemas de comunicação têm apresentado nos últimos anos uma crescente evolução com o objetivo de proporcionar modelos cada vez mais adaptados à realidade das novas tecnologias e, ao mesmo tempo, buscando tornarem-se mais atrativos com relação aos aspectos técnicos e econômicos.

O advento das novas tecnologias de comunicação sem fio, por exemplo, tem causado uma verdadeira revolução nas redes móveis, permitindo altas taxas de transmissão, novas facilidades de implementação e um custo mais baixo quando comparado a outras tecnologias já sedimentadas no mercado. Todavia, as implementações de infra-estruturas de comunicação podem esbarrar em problemas que vão desde limitações geográficas ou técnicas e, principalmente nas limitações orçamentárias, que acabam por inviabilizar o desenvolvimento de um projeto.

Uma rede PLC é projetada para enviar informação com qualidade e confiabilidade entre os dispositivos que a compõem. Porém, como atender a estes pré-requisitos diante de ruídos conduzidos e irradiados, da não linearidade do defasamento e das atenuações existentes nas redes elétricas?. Uma das formas de minimizar as dificuldades na transmissão do sinal PLC é projetar um sistema de comunicação digital que favoreça a qualidade da comunicação.

Os ruídos de faixa estreita e os ruídos impulsivos, principalmente os assíncronos, podem causar erros em alguns *bits* ou rajadas de *bits* transmitidos. Nesses casos é preciso implementar técnicas sofisticadas de transmissão digital de dados para minimizar os efeitos nocivos do canal PLC e do ruído aditivo. Porém, O ruído colorido permite uma melhor convivência com sinais PLC no processo de transmissão daqueles sinais. Dentre as técnicas de processamento de sinais recentemente investigadas encontram-se

- técnicas de modulação mono-portadoras, multi-portadoras e de espalhamento espectral;
- técnicas de codificação de canais (códigos para correção de erros);
- técnicas de equalização;
- técnicas de estimação de canais;

- técnicas de cancelamento de ruídos impulsivos;

Os fabricantes de *chipsets* DS2 e Intellon já implementaram algumas dessas técnicas naqueles processadores digitais de sinais (DSP). Algumas empresas do setor elétrico brasileiro que vêm testando a tecnologia PLC desde 2001 concluíram que o *chipsets* DS2 é atualmente o DSP de melhor performance para as condições climáticas de um país tropical como o Brasil.

Neste capítulo serão analisados alguns fundamentos de comunicações digitais com ênfase ao estudo das técnicas de modulação multi-portadoras e de codificação de canais (códigos para correção de erros).

2.1 Técnicas de Modulação para Sistemas PLC

Nos dias atuais a sociedade moderna depende, e muito, dos serviços de comunicações, principalmente aqueles que requerem uma alta capacidade de banda. Ações como o envio de figuras animadas de uma estação de trabalho de *design*, aquisição de dados estatísticos de um outro computador, ou manipulação de um banco de dados localizado num centro de controle distante e outras são realizadas e incorporadas ao cotidiano das necessidades de nossa sociedade. Para atender a demanda crescente dos serviços de banda larga torna-se necessário o uso de sistemas de comunicações digitais de performance aceitável.

Um sistema de comunicação digital, em seu modelo discreto, pode ser representado pelo diagrama de blocos da figura 12 (HAYKIN, 2004). Para análise daquela configuração pode-se admitir a transmissão de um sinal de informação ou mensagem desde a fonte de informação até o usuário da informação. Os blocos funcionais do transmissor e do receptor são associados, tais como

- codificador da fonte - decodificador da fonte;
- codificador de canal - decodificador de canal;
- modulador - demodulador.

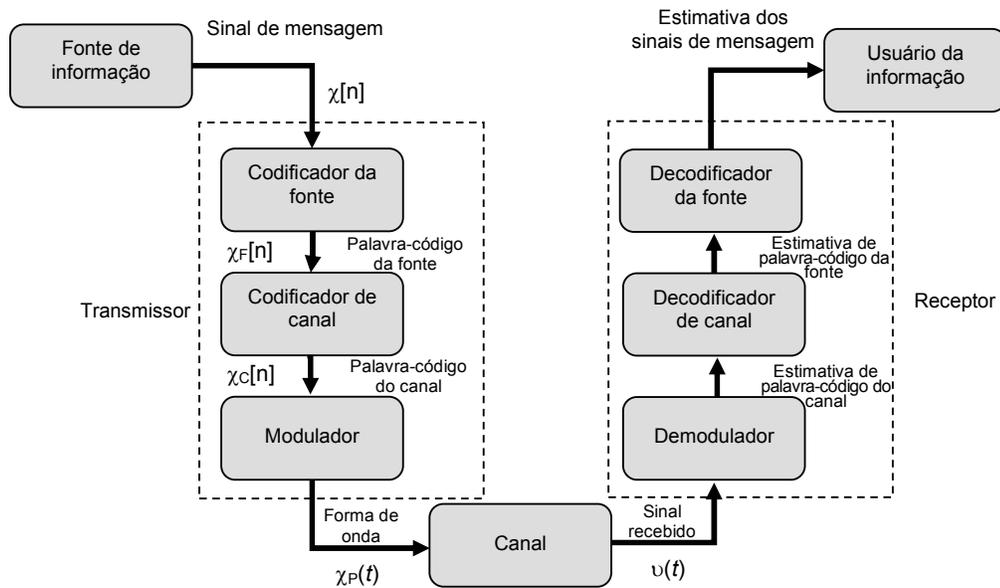


Figura 12 - Diagrama simplificado de blocos de um sistema de comunicação digital.

A informação ou sinal de mensagem, $x[n]$, originada na fonte de informação representa dados binários ou uma seqüência de *bits*, por exemplo, dados, textos, números, imagens gráficas, áudio e vídeo que podem estar armazenadas na memória de um computador. O codificador da fonte exclui as informações redundantes no sinal de mensagem, ou seja, gera as seqüências de *bits* ou *bit stream* e controla a utilização do canal para torná-la eficiente. A seqüência de símbolos resultante, $x_F[n]$, é chamada palavra-código da fonte ou *bit stream*. O fluxo de dados é processado em seguida pelo codificador de canal, o qual produz uma nova seqüência de símbolos chamada palavra-código do canal. A palavra-código do canal $x_C[n]$ é mais longa que a palavra código da fonte em virtude da redundância controlada que é incorporada a sua construção. Finalmente o modulador representa cada símbolo da palavra-código do canal por meio de um símbolo analógico correspondente e selecionado apropriadamente de um conjunto finito de símbolos analógicos possíveis. A seqüência de símbolos analógicos, $x_p(t)$, produzidos pelo modulador, é chamada de forma de onda ou símbolos portadores. Geralmente são senóides cujas características de amplitude e fases serão modificadas com as variações dos *bits* nas palavras binárias, no processo de modulação, passando a serem representados por $s_k(t)$, e, finalmente, sendo apropriadas para serem transmitidas por um canal. Porém, nesse

estágio do sistema, ou seja, em um canal ou meio de transmissão caracterizado por uma função de transferência, tem-se também a presença de ruído, $u(t)$, que adicionado ao sinal $s_k(t)$ (seqüência de símbolos analógicos modulados), serão transmitidos para o RX. No RX, na saída do canal, o sinal recebido é processado em ordem inversa a do TX, reconstruindo, assim, uma versão reconhecível ou estimativa do sinal de mensagem original.

Na configuração apresentada na figura 12 pode-se afirmar que a modulação é um processo importante realizada na transmissão de sinais digitais em qualquer sistema de comunicação digital. Um sistema de modulação digital tem por função converter o sinal analógico ou dados binários (seqüência de *bits*) em um outro sinal analógico, ou seja, em formas de onda compostas por n amostras e adequá-lo para sua posterior transmissão.

2.1.1 Modulação QAM

No contexto de conversão de dados (ou sinais) digitais para analógicos, as técnicas de modulação AM, FM e PM são denominadas, respectivamente, chave de desvio de amplitude (ASK), chave de desvio de frequência (FSK) e chave de desvio de fase (PSK).

A técnica *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) é uma combinação das técnicas ASK e PSK elaborada de maneira a aumentar o número de *bits* transmitidos *bit*, *dibit*, *tribit* por dimensão. Dessa forma pode-se aumentar a taxa de transmissão de *bits* $\frac{1}{T_B}$.

Diferentes técnicas de modulação realizam, digo, ocupam diferentes bandas de frequências.

Encontrada na literatura em (HIROSAKI, 1981; RAMSEIER, ARZBERGER, HAUSER, 1999; VANKA, KOSUNEN, SANCHIS, HALONEN, 2000; CHO, YOON, JEONG, KAVEHRAD, 2001), a Modulação QAM é uma generalização bidimensional da modulação AM em quadratura na medida em que sua formulação envolve duas funções de base ortogonais em banda passante, conforme são mostradas nas seguintes equações:

$$\phi_i(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (\text{Equação 10})$$

$$\phi_q(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \text{sen}(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (\text{Equação 11})$$

ϕ_i e ϕ_q representam as i (*in phase*) componentes de amplitude em fase de período T e as q (*quadrature phase*) componentes de amplitude em quadratura de período T e f_c a frequência da portadora.

Um diagrama denominado **constelação** ou espaço de amplitude e fase mostra o relacionamento entre amplitudes, fases e *bits*. Na figura 13 podemos observar as **constelações 4-QAM** e **8-QAM** em que um número qualquer de amplitudes pode ser combinado com uma grande quantidade de variações na fase.

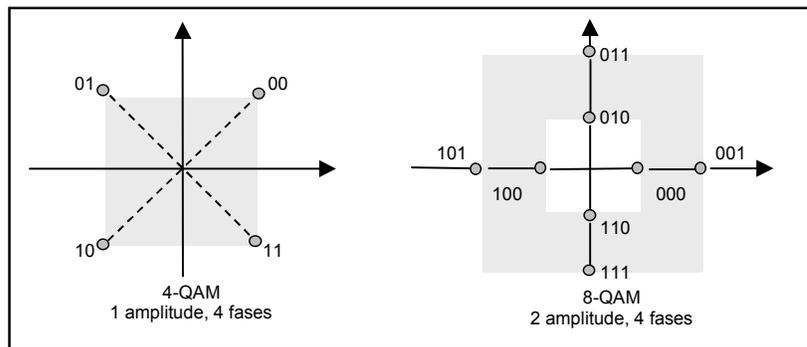


Figura 13 - As constelações 4-QAM e 8-QAM.

Admitamos que o n -ésimo ponto de mensagem no plano (ϕ_i, ϕ_q) seja indicado por $(a_n d_{\min}/2, b_n d_{\min}/2)$, em que d_{\min} é a distância mínima entre dois pontos da informação ou sinal de mensagem na constelação, a_n e b_n são números inteiros e $n = 1, 2, 3, \dots, m$. Admitamos que $(d_{\min}/2) = \sqrt{E_0}$ e que E_0 é a energia do sinal que possui a menor amplitude. Logo, o K -ésimo sinal QAM ou M-QAM é definido por

$$s_k(t) = \sqrt{\frac{2E_0}{T}} a_k \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E_0}{T}} b_k \sin(2\pi f_c t) = \phi_i - j\phi_q, \quad (\text{Equação 12})$$

sendo $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, m$ e $0 \leq t \leq T$.

O sinal ou símbolo analógico modulado $s_k(t)$, que trataremos por s_k , consiste em duas portadoras, uma em fase e a outra em quadratura, sendo cada uma delas modulada por um conjunto de amplitudes discretas, daí o nome modulação de amplitude em quadratura.

As m amostras da seqüência s_k transferem um certo número n de *bits* que compõem uma palavra binária, sendo $N = \log_2(M)$ e $M = i.q = 2^n$. Na modulação 4-QAM temos o

valor de $M = 4$ e símbolos de 2 bits. Contudo, na modulação 8-QAM, o valor de $M = 8$ e símbolos de 3 bits. Como se pode observar, existe uma relação entre o número de bits ou símbolos QAM que segue a potência de 2.

O conjunto de todos os pares de coordenadas, α_{QAM} , representa todas as possíveis M formas que s_k pode assumir, conforme a seguinte equação:

$$\alpha_{QAM} = \{ \phi_i - j\phi_q \mid \phi_i \in \{ \pm d_l, \pm 3d_l, \dots, \pm(l-1)d_l \} \} \quad \text{(Equação 13)}$$

Na equação acima, como podemos observar, α_{QAM} é o conjunto de todos os valores complexos de s_k e os componentes ou coordenadas cartesianas complexas representam as características de módulo e fase de um determinado símbolo analógico (s_k). Cada possível seqüência de bits em uma palavra binária corresponde a um valor complexo $s_k \in \alpha_{QAM}$, associado às características de amplitude e fase de um determinado símbolo portador a ser usado na transmissão. Na figura 14, podemos observar uma constelação 32-QAM ou uma representação gráfica de α_{QAM} , sendo uma configuração de 4 amplitudes e 8 fases. Nessa constelação, os pontos ou símbolos portadores estão espaçados de uma distância d_i na direção em fase e por uma distância d_j na direção em quadratura. Nesse caso, como $M = 32$, as palavras binárias são compostas por 5 bits ($N = \log_2(M) = 5 \text{ bits}$) com cada ponto referenciado a sua respectiva palavra binária e $d_i = d_j = 2$.

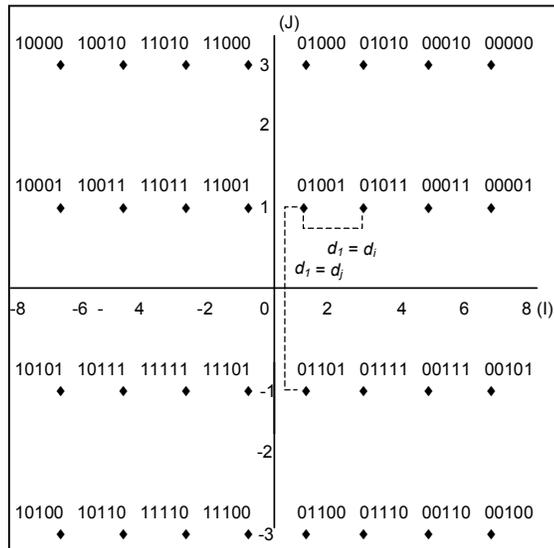


Figura 14 - Constelação para modulação 8×4 - QAM.

O símbolo analógico que representa a palavra binária 01110 é $s_k = 3 - j3$ e possui amplitude $E \times 4,243$, sendo E um ajuste de energia e a fase -45° .

Na recepção, sabemos que, em uma situação real, o ruído de canal e a interferência intersimbólica agem juntos, afetando a qualidade e a confiabilidade do sistema de comunicação. Por isto, o RX passou a ser projetado com um equalizador que minimiza os efeitos da interferência intersimbólica.

No caso do demodulador QAM, admitindo que η_l seja o ruído de canal, h_l a função transferência do canal, s_k o símbolo portador transmitido, $sm_l = s_k(t)h_l + \eta_l$ o i -ésimo símbolo portador ou valor complexo recebido e a interferência intersimbólica seja desprezível (para efeitos de simplificação) tem-se a equalização do canal, $smeq_l$, definida por

$$smeq_l = \frac{sm_l}{h_l} = \frac{s_k(t)h_l + \eta_l}{h_l} = s_k(t) + \eta eq_l \quad (\text{Equação 14})$$

Na modulação QAM, ou seja, na transmissão, o mapeamento é o processo de escolha da forma de onda ou símbolo portador para uma conhecida palavra binária com N dígitos. Na equação abaixo, o mapeamento é identificado pelo operador μ .

$$\mu : \{0,1\}^N \rightarrow \alpha_{QAM} . \quad (\text{Equação 15})$$

Contudo, na recepção, a detecção é o processo inverso, ou seja, decidir qual seqüência de *bits* $smeq_l$ foi transmitida com a menor taxa de erro possível. A menor taxa de erros de detecção de símbolos ocorre quando o canal foi equalizado corretamente e o ruído aditivo é mínimo. Torna-se necessário eleger valores limites para a detecção das seqüências de *bits* transmitidas $smeq_l$ para garantir relações sinal/ruído aceitáveis. Este processo pode ser melhor observado na figura 15 tomando-se como exemplo a palavra binária 01011. O valor do símbolo portador $smeq_l$ (valor complexo) deveria atender aos limites

$$L_{Fi} = (2i)d_i \quad i = 0, \pm 1, \dots, \pm \left(\frac{i}{2} - 1 \right) \quad (\text{Equação 16})$$

$$L_{Qj} = (2j)d_j \quad j = 0, \pm 1, \dots, \pm \left(\frac{j}{2} - 1 \right) \quad (\text{Equação 17})$$

e as equações

$$L_{F inferior} \leq real(smeq_i) \leq L_{F superior} \quad \text{(Equação 18)}$$

$$L_{Q inferior} \leq imagem(smeq_j) \leq L_{Q superior} \quad \text{(Equação 19)}$$

Por exemplo, na figura 15, no caso da palavra ser reconhecida como 01011, valor complexo $smeq_i$ e decomposto em $L_{F1} \leq real(smeq_i) \leq L_{F2}$ e $L_{Q0} \leq imagem(smeq_j) \leq L_{Q1}$.

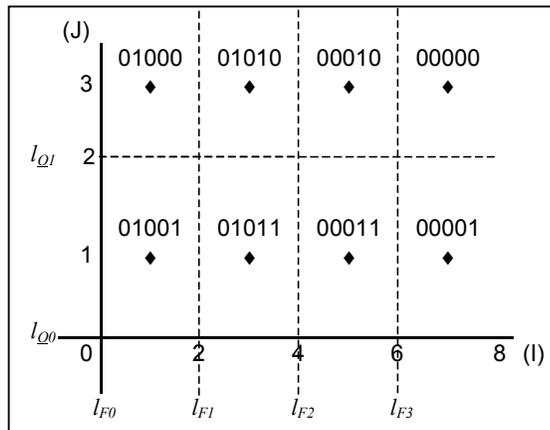


Figura 15 - 1º quadrante da constelação para modulação 8×4 – QAM.

2.1.2 Modulação APSK

A técnica APSK é encontrada na literatura em (ROHLING, MAY, 2002). Neste tipo de modulação a amplitude e a fase da portadora são moduladas ao mesmo tempo e, conseqüentemente, muda simultaneamente as características de amplitude e a fase dos símbolos portadores para compor cada possível seqüência de *bits* em uma palavra binária. Admitindo as condições mostradas a seguir:

- o conjunto α_{APSK} representa todos os possíveis símbolos portadores com todas as possíveis características de amplitude e fase destes símbolos;
- a modulação APSK estabelece valores complexos s_k com amplitude a^A e fase

$$\Delta\phi.P = \frac{2\pi}{N_p}.P \text{ de acordo com a combinação de bits em uma palavra binária;}$$

- N_a é o número de amplitudes que poderá assumir;
- N_p é o número de fases,

podemos definir o conjunto α_{APSK} , como é mostrado por

$$\alpha_{APSK} = \{a^A \cdot e^{j\Delta\phi \cdot P} | A \in \{0, \dots, N_a - 1\}, P \in \{0, \dots, N_p - 1\}\} \quad \text{(Equação 20)}$$

A figura 16 representa graficamente o conjunto α_{APSK} . A partir de um processo de modulação M-APSK, equivalente ao QAM, os símbolos portadores resultantes da modulação podem transferir até N dígitos binários e $N = \log_2(M)$. Dessa forma, retornando à figura 15, podemos observar que $N_a = 2$, $N_p = 16$, $M = N_a \cdot N_p = 32$ e $N = \log_2(M) = 5$ dígitos binários. Ou seja, cada ponto do diagrama é um elemento do conjunto α_{APSK} , que está associado à palavra binária de 5 bits.

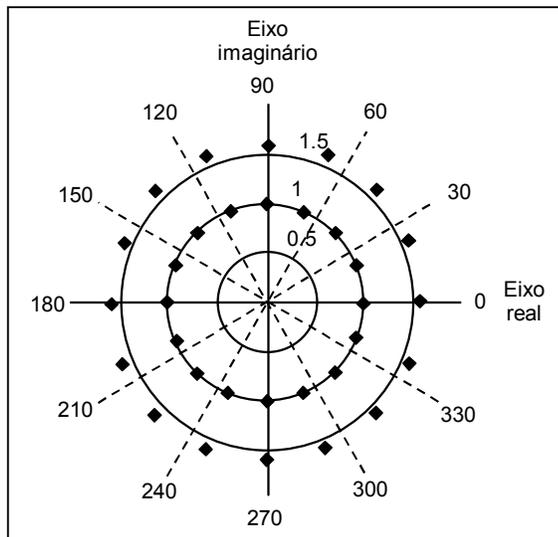


Figura 16 - Constelação para 32 – APSK.

Na recepção ou demodulador APSK, a equalização e a detecção seguem os mesmos padrões e critérios usados no receptor QAM (equação 14). Os limites para a detecção são mostrados abaixo:

$$L_{Ai} = \frac{a^i + a^{i+1}}{2}, \quad i = 0, \dots, N_a - 2 \quad \text{(Equação 21)}$$

$$L_{p_j} = \frac{\Delta\varphi}{2} + j\Delta\varphi, \quad j = 0, \dots, N_p - 1 \quad (\text{Equação 22})$$

2.1.3 Modulação Multiportadoras (MCM)

Novas técnicas são desenvolvidas visando baratear os custos dos meios de transmissão e buscando utilizar os canais de comunicação disponível da melhor forma possível. Dentre essas técnicas destacamos a multiplexação dos sinais. Esse processo de multiplexação possibilita que vários sinais possam ser enviados ao mesmo tempo em um mesmo canal. Existem diferentes técnicas de multiplexação sendo as mais importantes a multiplexação por divisão em frequência, por divisão no tempo e por divisão em códigos.

Na divisão por frequência, se cada um dos sinais a ser transmitido tem uma largura de banda B , ele será transmitido em "envelopes" de frequências, que diferem entre si por uma quantidade maior ou igual a $2B$. Este tipo de multiplexação é chamado de FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Neste caso, o número de sinais que pode ser transmitido simultaneamente usando FDM depende da frequência, da portadora e da largura de banda do canal.

Com a evolução das tecnologias, a demanda por bandas de transmissão cresceu bastante e a largura dos canais disponíveis deve ser aproveitada ao máximo.

A idéia básica da modulação multiportadoras (MCM - *Multi-Carrier Modulation*) ou modulação multicanal está fundamentada em um princípio de engenharia comumente usado: dividir para conquistar. Ou seja, um problema de difícil solução é resolvido particionando-o em vários problemas mais simples, encontrando as soluções desses problemas mais simples e no final globalizando essas soluções, que é a resolução do problema.

O problema de difícil solução a que nos referimos é a transmissão de dados por um canal que apresenta interferência intersimbólica e ruídos. Dessa forma, a transmissão de dados através de um canal degradador é transformada na transmissão paralela de fluxo de dados por meio de um grande número de subcanais, de forma que a interferência intersimbólica seja simplificada pela transmissão de sinais ortogonais e que o ruído aditivo do canal seja a única fonte primária de depreciação do sinal e deficiência de transmissão.

Nos dias de hoje, nos sistemas PLC, a técnica de modulação mais utilizada é a **MCM**. Contudo, a técnica de modulação multiportadoras mais eficiente é a multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM/DMT). A OFDM é encontrada na literatura em (BINGHAM, 1990; HENSEN, 1998; ITU-RSG; MERCHAN, ARMADA, GARCIA, 1998; LITWIN, 2000; WANG, GIANNAKIS, 2000; ROHLING, MAY, 2002; SPETH; PINTO, ALBUQUERQUE,

2002; LIN, PHOONG, 2003; CHU, NA, 2003) e é usada para a transmissão de dados nos canais PLC, comunicação sem fio e radiodifusão.

Antes da transmissão, a informação é dividida em um grande número de subcanais com baixa taxa de transmissão de *bits*. Estes são usados para modular as portadoras ortogonais individuais de tal maneira que a duração do símbolo correspondente se torne maior do que o atraso de propagação dos canais de transmissão. As subportadoras são posicionadas de tal forma que os zeros de cada uma coincida com os das outras (figura 17).

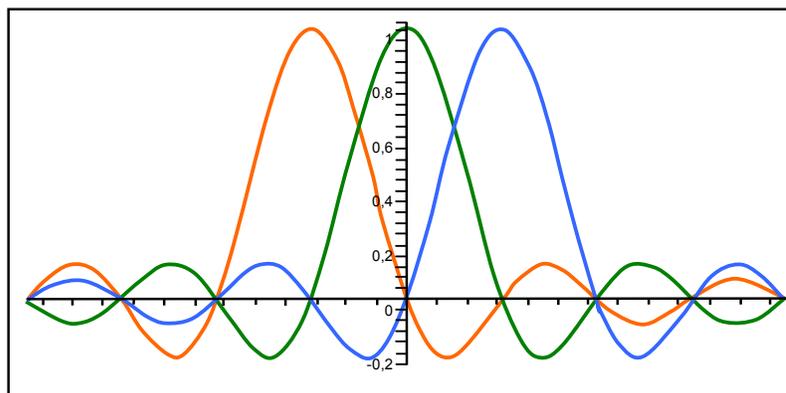


Figura 17 - Exemplo de distribuição de 3 subportadoras utilizando OFDM.

As portadoras devem ser matematicamente ortogonais (linearmente independentes) no domínio do tempo e o sinal em cada portadora precisa ter um número inteiro de ciclos, no período de símbolo, resultando em zero o processo de integração do produto de todos os sinais no tempo de forma que a interferência intersimbólica é minimizada pela transmissão de sinais ortogonais, ou seja, inserindo um intervalo de tempo de guarda entre os símbolos sucessivos.

Este procedimento permite transmitir altas taxas de dados com uma baixa complexidade em canais degradadores. Consideremos que estes ambientes de transmissão de dados são meios atenuadores devido à distância, à frequência e a seletividade de frequências.

No caso do canal atenuador com seletividade de frequências, o processo de equalização da banda transmitida torna-se mais simples devido à nova característica desse canal, ou seja, um conjunto de múltiplos subcanais com atenuações suaves.

O grande diferencial do uso da modulação OFDM na tecnologia PLC (*Powerline Communications*) ou comunicação pela rede elétrica, está na forma como é controlada essa modulação. As frequências são monitoradas em tempo real, com o sistema alternando o carregamento dos sinais de acordo com a presença ou não de ruídos.

Conforme o ruído se propaga pelas diversas frequências, os sinais são carregados e transmitidos (modulados) em várias frequências simultâneas, com níveis de carregamento diferentes, e aproveitando as melhores condições possíveis do *link*, garantindo assim altas taxas de transmissão, boa performance e confiabilidade. Dessa forma, o sistema pode facilmente se adaptar às mudanças das condições de transmissão da rede elétrica.

Vantagens e desvantagens da OFDM

- A OFDM é uma técnica que facilita a equalização do canal, e tem como característica um conjunto de múltiplos subcanais com variações leves (suaves) de atenuações.
- Um sistema baseado em OFDM, além de proporcionar uma maior taxa de transmissão, apresenta maior robustez aos efeitos nocivos associados ao desvanecimento seletivo em frequência.
- Cada símbolo é detectado separadamente, o que pode minimizar os erros provocados por ruídos em determinados subcanais.
- Os sistemas baseado em OFDM são imunes à Interferência entre símbolos OFDM distintos por conta da inserção de prefixos cíclicos (CP 's) nos blocos para a transmissão.
- Em um sistema FDM normal, por exemplo, as portadoras estão suficientemente espaçadas de modo a poderem ser recebidas utilizando filtros convencionais. Entretanto, para tornar a filtragem possível, bandas de guarda têm de ser introduzidas entre essas portadoras, o que resulta em uma diminuição da eficiência espectral.

Na OFDM, ao invés de se utilizar uma banda de guarda entre subportadoras para poder separá-las na recepção, emprega-se uma sobreposição das mesmas, resultando em um ganho espectral de até 50% em relação à técnica FDM (figura 18).

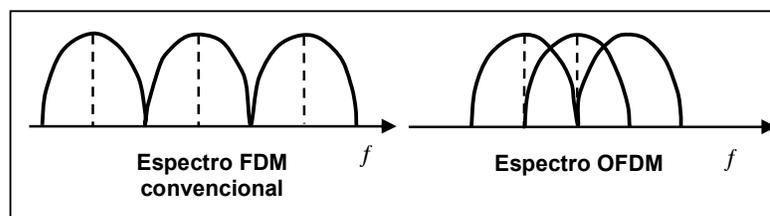


Figura 18 - Modulação FDM e OFDM.

Em um sinal OFDM é possível organizar as subportadoras de forma que as suas bandas laterais se sobreponham sem que haja interferência entre elas. Para que isso ocorra, as subportadoras devem ser matematicamente ortogonais (linearmente independentes), ou seja, no domínio do tempo, o sinal em cada subportadora precisa ter um número inteiro de

ciclos no período de símbolo, resultando em zero o processo de integração do produto de todos os sinais no tempo.

Entretanto, algumas desvantagens também existem, tais como

- a OFDM apresenta dificuldade de sincronismo da portadora;
- a OFDM é eficiente somente se o bloco de informação é muito maior que o prefixo cíclico (CP) a ser enviado.
- A grande faixa de freqüências de sinais transmitidos necessita de amplificadores com grandes regiões lineares decorrente do fato de o sinal transmitido não exibir uma natureza constante em sua envoltória.
- Há perda da ortogonalidade quando a resposta de freqüência varia enquanto o símbolo OFDM está sendo transmitido naquele canal.

Modelo de um sistema MCM

Fundamentalmente, a modulação multiportadoras sobreposiciona várias formas de ondas que são as portadoras moduladas para representar uma entrada – seqüência de *bits*. Na figura 19, a seqüência de *bits* ou *Bit Stream (BS)* é o fluxo de dados binários que chegam e são aplicados a um demultiplexador que produz uma saída de N fluxos secundários ou N novas seqüências de *bits* a serem aplicadas e transmitidas em N subcanais com a mesma largura de banda e com freqüência central f_i e $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Os blocos divisores de sinais separam a seqüência de *bits* BS em duas novas seqüências, denominadas de seqüência de subsímbolos de dois elementos moduladas em *Bipolar Keying (BK)*. Na saída desses blocos, temos um sinal digital ou sinal BK (bipolar *Keying*). Esses pulsos BK com amplitudes $-K$ e $+K$ representam os *bits* da seqüência de subsímbolos de dois elementos e, também, modulam as amplitudes de sinais de alta freqüência F em fase e em quadratura, obtendo os sinais $\phi_i = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t)$ e $\phi_q = \sqrt{\frac{2}{T}} \text{sen}(2\pi f_c t)$ que, combinados, resultará no sinal ou impulso complexo QAM, ou $s_k(t)$, ou s_k . Agrupando os valores complexos s_k , mapeados de acordo com a equação 13 para um conjunto α qualquer, em blocos de tamanho N , o i -ésimo bloco transmitido é representado por

$$SF(i) = [s_{k(iN,1)}, s_{k(iN,2)}, \dots, s_{k(iN,N)}]^T \quad (\text{Equação 23})$$

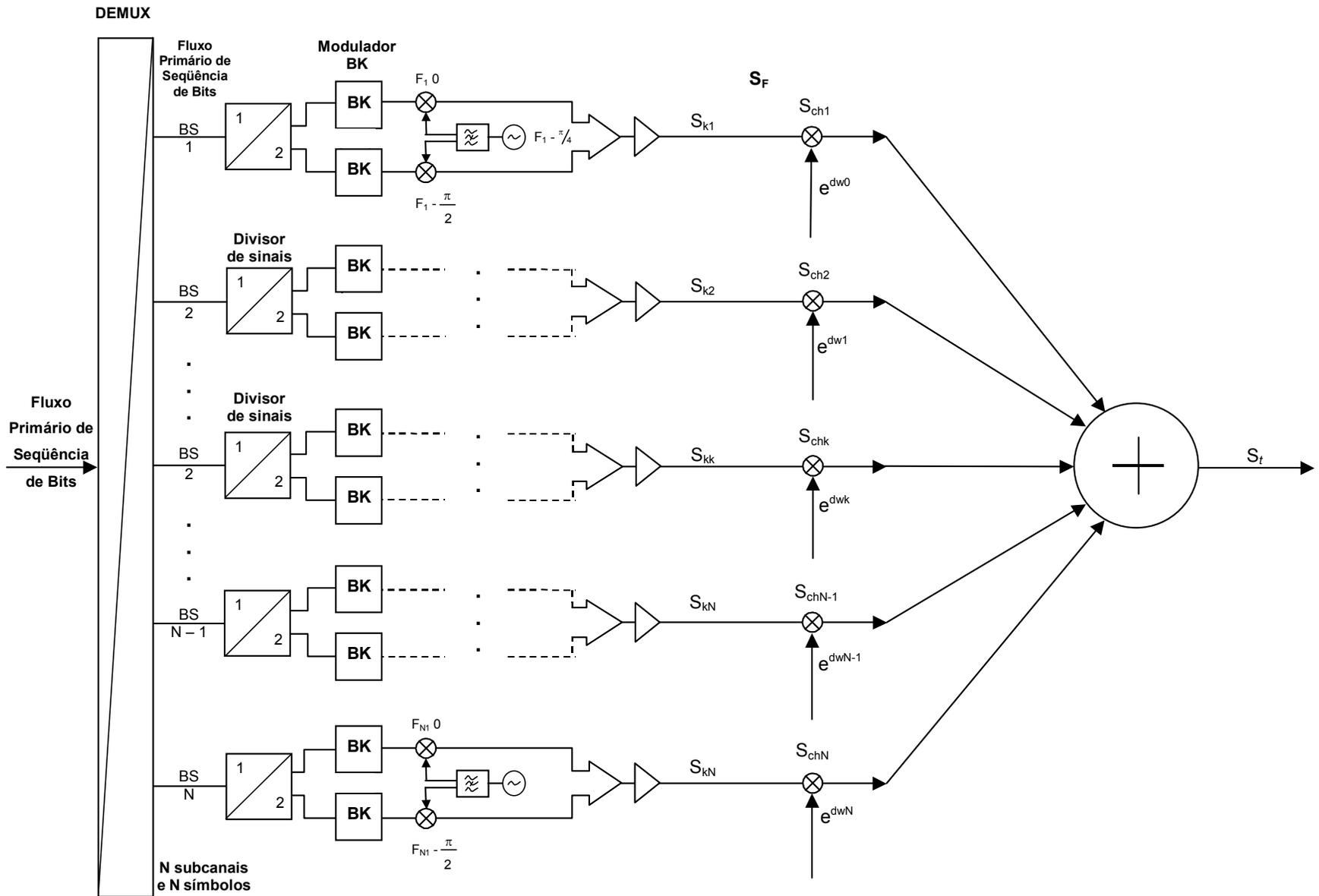


Figura 19 - Técnica OFDM com modulação QAM para sistemas *wireless*.

Ao estabelecer um modelo de multiportadoras, cada elemento de SF irá modular uma portadora de frequência específica, f_k . Na saída do modulador têm-se símbolos portadores com frequências w_k com $k = 1, 2, \dots, N$ e, ainda, com amplitude e fase propostas pelos valores complexos $s_{k(iN,k)}$. Os N símbolos portadores se somam, formando o símbolo OFDM mostrado na figura 19. Dessa figura, podemos destacar o seguinte:

- os valores complexos $s_{k(iN,k)}$ modulam os símbolos portadores de frequência específica, f_k , ou seja, multiplicam-se os valores complexos $s_{k(iN,k)}$ por e^{jw_k} (símbolos portadores);
- S_F é um vetor no domínio da frequência formado por N valores (impulsos) complexos;
- S_t é o símbolo OFDM, ou seja, é um sinal no domínio do tempo correspondente a S_F .
- Em geral, **nos sistema PLC**, a última etapa de modulação e a primeira na demodulação utilizam, respectivamente, os algoritmos da transformada rápida de Fourier: IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) e FFT (*Fast Fourier Transform*) (HAYKIN, 2001; DINIZ, SILVA, NETTO, 2004).

Concepção básica da técnica OFDM

Conforme já visto, a técnica OFDM consiste na transmissão paralela de dados através de diversos subcanais e esses dados modulam diversas subportadoras com modulação QAM ou PSK ou qualquer esquema de modulação a taxas baixas de transmissão por subportadora. Essas taxas decrescem à medida que cresce o número de subportadoras ou subcanais empregados e aumenta a duração dos símbolos transmitidos em cada subportadora. A largura de banda dos subcanais de um sistema OFDM é um canal de faixa estreita e é dimensionada pelo resultado da divisão da largura de faixa total do sistema pelo número de subportadoras utilizadas. O fato de se ter canais mais estreitos desfavorece a seletividade em frequência.

Descrição Matemática

O sinal de um símbolo portador QAM, componente de um conjunto de N subportadoras QAM espaçadas de $\Delta_f = \frac{1}{T_s}$ e iniciando em $t_s = 0$, é definido no domínio do tempo através da função $g_k(t)$, conforme as equações mostradas a seguir:

$$g_k(t) = e^{j2\pi(f_0+k\Delta_f)t}, \quad t_s \leq t \leq T_s \text{ e } k = 0,1,2,\dots,N-1 \quad (\text{Equação 24})$$

$$g_k(t) = 0, \quad t_s + T_s < t < t_s \quad (\text{Equação 25})$$

T_s é a duração do símbolo QAM transmitido pela subportadora de ordem κ .

Os símbolos QAM, $s_{k(iN,k)}$ são conhecidos como subsímbolos OFDM. O sinal OFDM equivalente em banda base é o somatório do resultado da modulação de N subportadoras do tipo $g_k(t)$ pelos subsímbolos OFDM, $s_{k(iN,k)}$. O i -ésimo sinal OFDM a ser transmitido é dado por

$$S_t(t - iT_s) = \sum_{k=0}^{N-1} s_{k(iN,k)} e^{j2\pi(f_0+\Delta_f)(t-iT_s)} \quad (\text{Equação 26})$$

Considerando que m é a quantidade total de amostras do sinal OFDM e transformando esse sinal de tempo contínuo para tempo discreto, o resultado obtido será

$$S_t(n\Delta t - im\Delta t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_{k(iN,k)} e^{j2\pi(f_0+k\Delta_f)(n\Delta t - im\Delta t)} = \sum_{k=0}^{N-1} s_{k(iN,k)} e^{j2\pi\left(\frac{n-im}{N}\right)k} \cdot e^{j2\pi\left(\frac{n-im}{N\Delta_f}\right)f_0} \quad (\text{Equação 27})$$

e Δt é o intervalo de amostragem.

Substituindo na equação acima $ut(n\Delta t - im\Delta t)$ por η , ($\eta = 0,1,2,\dots,m$), e levando o termo constante para fora do somatório, teremos

$$S_t(\eta) = \left(e^{j2\pi\eta\frac{f_0}{N\Delta_f}} \right) \sum_{k=0}^{N-1} s_{k(iN,k)} e^{j2\pi\eta\frac{k}{N}} \quad (\text{Equação 28})$$

Fazendo o termo $\left(e^{j2\pi\eta\frac{f_0}{N\Delta_f}} \right) = 1$ na equação 28, obtemos símbolos OFDM

$$S_t(\eta) = \sum_{k=0}^{N-1} s_{k(iN,K)} e^{j2\pi\eta\frac{k}{N}} \quad (\text{Equação 29})$$

Algumas observações valem a pena salientar:

- é um termo constante, característico do deslocamento em frequência, assume o valor 1 quando o termo $N\Delta_f$ for múltiplo de f_0 ;

- a equação descreve a Transformada de Fourier Discreta Inversa, IDFT, multiplicada pelo fator N . Ela é implementada de forma eficaz pelo uso do algoritmo IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*);
- a grande facilidade de um sistema OFDM está na implementação do processo de modulação e do processo de demodulação a partir de Transformadas de Fourier Discretas - DFT (IDFT para modulação e DFT para demodulação);
- na prática é comum se usar respectivamente os algoritmos de transformada rápida de Fourier (IFFT e FFT) para a modulação e a demodulação do sinal OFDM;
- no receptor, por meio de técnicas de correlação feitas por uma FFT, recuperam-se as informações extraídas de seus respectivos símbolos portadores;
- termo $xm_{(iN,k)}$ representa o valor complexo extraído do κ -ésimo símbolo portador recebido e definido por

$$xm_{(iN,k)} = \sum_{\eta=0}^{N-1} x_t(\eta) e^{-j2\pi\eta\frac{k}{N}}, \quad (\text{Equação 30})$$

- o termo $x_t(\eta)$ é a n -ésima amostra do sinal recebido.

Intervalo de guarda

O efeito do espalhamento do atraso do canal (τ_{rms} - delay spread) é minimizado de modo eficaz pela técnica OFDM. Na entrada do Transmissor de um sistema OFDM, a conversão da seqüência serie para a seqüência paralela de *bits* aumenta a duração de cada símbolo transmitido (T_s) proporcionalmente ao número N de subportadoras ou subcanais, o que reduz a relação entre τ_{rms} e T_s .

Um dos problemas mais presentes em sistemas de comunicações digitais é a interferência entre amostras adjacentes ou Interferência Intersimbólica. O OFDM utiliza-se de uma solução bastante eficaz para se evitar estes problemas. Um tempo de guarda ou prefixo cíclico (MUQUET, WANG, GIANNAKIS, COURVILLE, DUHAMEL, 2002) é introduzido no início de cada símbolo OFDM evitando, dessa forma, que os componentes multipercursos de um símbolo OFDM fiquem impossibilitados de interferir na recepção do símbolo OFDM subsequente. O tempo de guarda precisa ser maior do que o maior atraso existente no canal. Portanto, um símbolo OFDM (de duração T_{simb}) será a composição do símbolo útil (de duração T_{util}) e pelo tempo de guarda (de duração T_g), mostrado na figura 20.

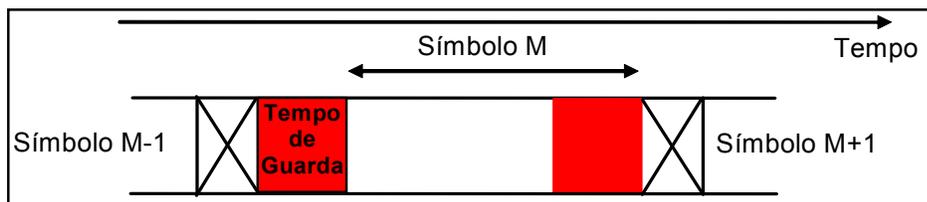


Figura 20 - Símbolo OFDM.

Intervalo de guarda sem extensão cíclica

Na figura 21 podemos observar duas subportadoras, as subportadoras 1 e 2 do subcanais 1 e 2, respectivamente, sendo a transmissão da subportadora 2 subsequente à 1. No caso mostrado na figura 21, o tempo de guarda é gerado a partir da ausência de sinal, acarretando a não ortogonalidade entre as subportadoras e originando a interferência entre as subportadoras através do efeito ICI (*Interchannel Interference*). Ou seja, na recepção, quando o receptor OFDM, através do demodulador, realizar o processo da demodulação na subportadora 1, encontrará alguma interferência da subportadora 2. A motivação desta interferência é a diferença entre o número de ciclos entre as subportadoras 1 e 2 dentro do intervalo de cálculo da FFT (T_s), não ser um número inteiro. No processo de demodulação da subportadora 2 também irá aparecer alguma interferência da subportadora 1 pelos motivos já relatados.

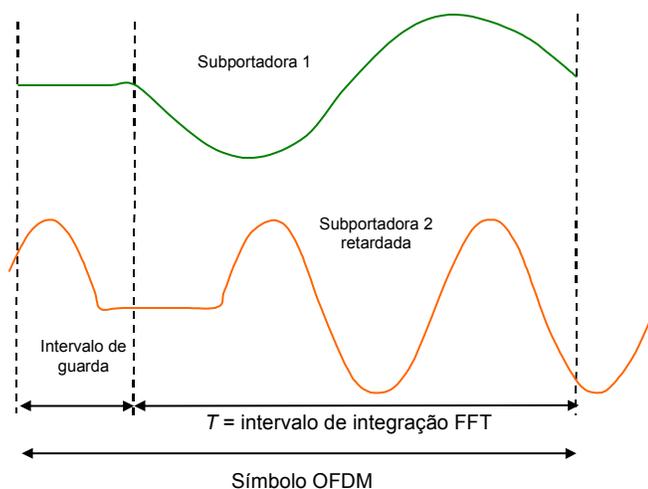


Figura 21 - Intervalo de guarda sem extensão cíclica.

Intervalo de guarda com extensão cíclica

A figura 22 mostra uma configuração utilizada para eliminar a ICI (*Interchannel Interference*): o símbolo OFDM é estendido ciclicamente no tempo de guarda. Realiza-se este processo, acrescentando ao início de cada símbolo uma certa quantidade de amostras da parte final do mesmo. Contando que os respectivos valores de retardo sejam menores que o tempo de guarda, pode-se garantir que réplicas retardadas do símbolo OFDM terão um valor inteiro de ciclos dentro do intervalo de cálculo FFT. Desta forma, os sinais multipercurso com retardo menor que o tempo de guarda não causarão ICI.

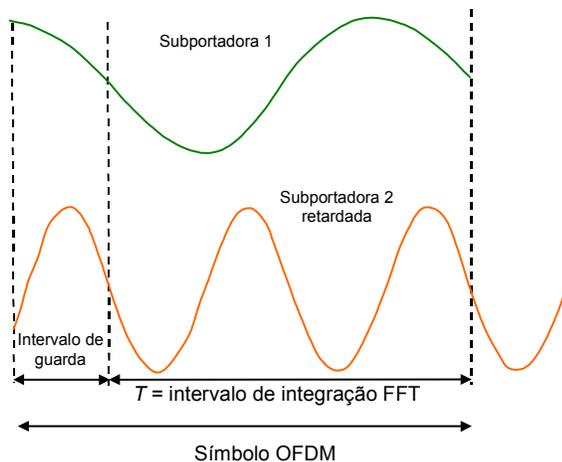


Figura 22 - Intervalo de guarda com extensão cíclica.

Utilização dos códigos de detecção e correção de erros

Todos os processos que forma um sistema OFDM passam a ser válidos se coordenados por métodos eficazes de detecção e correção de erros. A Modulação multiportadoras usa os códigos de detecção e correção de erros. A MCM, associada aos processos que eliminam erros seqüências, é freqüentemente denominada BICM (*Bit Interleaved Coded Modulation*) (CAIRE, TARICCO, BIGLIERI, 1998; GOFF, 2003)

Fontes de degradação de desempenho da técnica OFDM

ICI (*Interchannel Interference*)

No receptor OFDM a falta de ortogonalidade entre as subportadoras será percebida se a freqüência da portadora do sinal recebido não coincidir com a freqüência do oscilador local. O desvio de freqüência originado pode gerar a interferência entre as subportadoras –

ICI. O ruído de fase, as variações na frequência de trabalho do oscilador do transmissor e receptor OFDM (fora do Δf permitido) podem provocar a ICI se estiverem fora dos valores ou da margem de erro especificada.

Ruído de fase e o desvio de frequência

Numa comparação com os sistemas monoportadora, o ruído de fase e os desvios de frequência não provocam interferências e, sim, degradações na relação sinal/ruído. Para que taxa de erro de *bit* (BER – *Bit Error Rate*) seja mantida, deve-se aumentar a potência do sinal transmitido. Contudo, nos sistemas multiportadoras OFDM, ainda que sejam mais suscetíveis ao ruído de fase e ao desvio de frequência que o sistema de portadora única, estas degradações podem ser mantidas em níveis admissíveis.

Erro de temporização do símbolo

Refere-se a erros no símbolo devido aos efeitos da maior ou menor precisão dos circuitos de extração de sincronismo de símbolo na recepção. O intervalo de guarda no símbolo OFDM aumenta ainda mais a imunidade aos erros temporização do símbolo.

Bit Loading

Possibilidade do sistema OFDM se adaptar às condições do meio de transmissão (pela avaliação da relação sinal/ruído). Trata-se de transmitir cada símbolo portador com um número flexível de *bits*. O parâmetro que serve de referência para o carregamento de cada subcanal é a relação sinal/ruído do subcanal. Os subcanais, através de suas subportadoras (frequências), são monitorados no receptor e as condições do estado do canal são disponibilizadas ao transmissor, em tempo real, com o sistema, alternando o carregamento dos sinais de acordo com a presença ou não de ruídos. Para isto, torna-se necessário adequar o transmissor de algoritmos muito complexos a uma variância temporal do canal muito lenta.

Conforme o ruído se propaga pelas diversas frequências, os sinais são carregados e transmitidos (modulados) em várias frequências simultâneas, com níveis de carregamento diferentes, caso o transmissor tenha conhecimento sobre o estado do canal. Caso contrário, taxas iguais de *bits* são destinadas a cada subcanal.

A escolha da constelação e a técnica de modulação

Em (FERREIRA, et al., 1999), chegou-se a conclusão de que a otimização da performance dos sistemas PLC passa também pela escolha adequada da técnica de modulação e pelas diferentes formas de constelação.

2.2 Técnicas de Codificação de Dados (Códigos de Transmissão e Detecção de Erros) para Sistemas PLC

A informação digital é representada por um código binário, isto é, dados a transmitir constituem uma seqüência de símbolos de um alfabeto binário (0,1).

Num canal passa-baixo, os dados binários transmitidos são representados por um sinal digital, ou seja, por uma seqüência de impulsos que se sucedem a uma cadência fixa (sincronizada por um relógio). Para a transmissão de cada símbolo binário, essa informação é representada por um sinal elementar caracterizado pelo fato de ter um *bit* por vez de dois níveis de tensão. A freqüência dos símbolos binários é conhecida como taxa de dados ou *bits (data rate)*, expressa em *bit/s* ($L = 2^N$, para $N = 1$ *bit* por vez resulta em $L = 2$ níveis de tensão). Ao agrupar-se símbolos binários, é possível representá-los por impulsos de L níveis ($L = 4, 8, 16, \dots$), onde esses grupos de símbolos binários (*dibit, tribit, \dots*) ou sinais elementares têm freqüência conhecida como taxa de modulação (*modulation rate*), expressa em *baud* ($L = 2^N$ para $N > 2$ e inteiro). Os códigos de transmissão exploram as possíveis relações estabelecidas entre os dados binários e a seqüência de sinais elementares que os representam.

Nos dias de hoje, um modelo de comunicação deve atender a um mercado exigente e de demanda crescente que requer sistemas digitais de comunicações concebidos para serem disponíveis, eficientes e confiáveis. Isso é possível se os atuais sistemas digitais de comunicações, caracterizados por redes ou meios de acesso de alta capilaridade, atenderem as especificadas largura de banda, relação sinal/ruído e a *data rate*, além de apresentar as taxas de erro cada vez menores, mesmo num cenário de transmissão de dados em bandas e taxas cada vez maiores. Para isto, voltemos a 1948, quando Shannon provou que, com uma codificação adequada na informação ou sinal de mensagem durante a transmissão, é possível reduzir a níveis significativos, ou melhor, desejáveis, os erros introduzidos na informação transmitida sem diminuir a taxa de *bits*. Outra contribuição importante de Shannon ficou conhecida como Limite de Shannon. Trata-se de estabelecer um limite teórico máximo da relação sinal/ruído de um canal de transmissão de dados com ruído. Portanto, com valor abaixo daquele limite, a confiabilidade não seria possível num sistema de transmissão de informação a partir da fonte de informação até ao usuário da informação. Após o trabalho de Shannon, outras contribuições não menos importantes são realizadas no sentido de aprimorar as técnicas de codificação visando a diminuição da taxa de erros (codificação de canal), resultando em muitos algoritmos de codificação e decodificação.

A codificação é uma técnica usada nos meios de comunicação para aumentar a performance daquele meio (HAYKIN, 2004). São modificações na informação que aumentam o desempenho dos sistemas digitais de comunicação. A Codificação tem como objetivo

- reduzir a taxa de erro de *bit* (BER);
- contribuir para a maior relação sinal/ruído com igual potência;
- manter a taxa de erro em níveis aceitáveis quando se aumenta a largura de banda e conseqüentemente a taxa de dados.

Sistemas codificados são caracterizados por um ganho de código. Esse parâmetro é definido como o aumento da relação sinal/ruído requerida para se conseguir uma probabilidade de erro determinada. Na figura 23 podemos observar nos diversos tipos de códigos, duas categorias principais: **codificação de formas de onda** e **seqüências estruturadas** e subcategorias. Temas de interesse nessa fase do estudo.

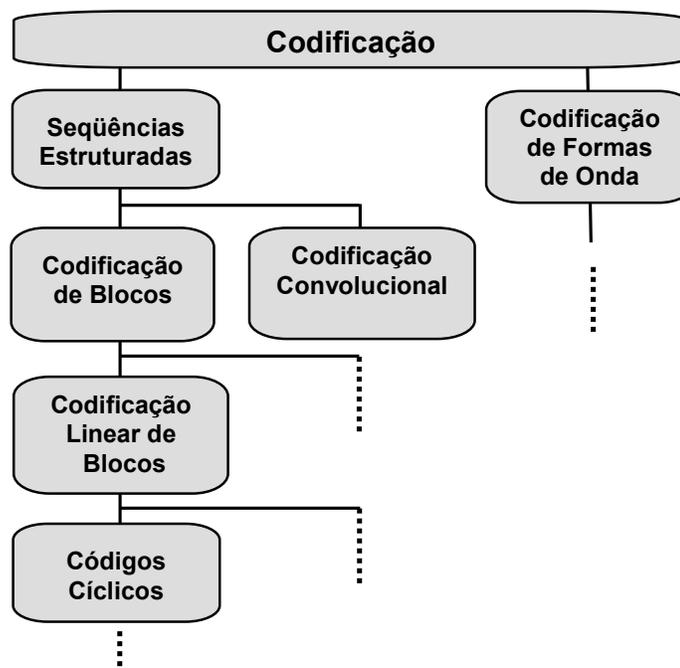


Figura 23 - Tipos de codificação.

A descrição sobre os tipos de codificação encontra-se no Anexo 1.

CAPÍTULO 3

3 TRANSMISSÃO DE DADOS VIA SISTEMAS PLC

O advento da Internet no início da década de 90 do século passado motivou uma explosão da demanda por transmissão de dados em alta velocidade e por novos serviços. O mercado atual de telecomunicações é cada vez mais exigente. Para o usuário deste mercado as necessidades de telecomunicações terão que ser atendidas a qualquer hora (*anytime*), a quem quer que seja (*anyone*) e em qualquer lugar (*anywhere*). Dessa forma, os atuais sistemas de telecomunicações com elevado estágio de desenvolvimento tecnológico terão de estar adequados a parâmetros da facilidade do uso, a análise de desempenho, ao custo e, ainda, acompanhar o desenvolvimento da tecnologia. Atualmente, a desregulamentação do mercado de telecomunicações, as técnicas avançadas de processamento de sinais, a necessidade da facilidade de uso de meios de comunicação de banda estreita e, principalmente, banda larga, tem motivado um grande interesse em pesquisas em torno de novos meios ou acesso para a transmissão de dados. Dentre as diversas tecnologias de acesso possíveis, temos a tecnologia PLC, caracterizada como um sistema de alta capilaridade, que tem despertado grande entusiasmo no ambiente das telecomunicações, principalmente pela facilidade de uso. As principais vantagens das redes PLC são

- infraestrutura de cabeamento já pronta e existente em cerca de 96% dos ambientes residenciais, prediais, governo, comerciais e industriais;
- alta taxa de transmissão de dados, atualmente 200 Mbps e a capacidade teórica ultrapassa 500 Mbps (ZIMMERMANN, DOSTERT, 1999; SANDERSON, 2000);
- conectividade permanente (internet com disponibilidade 24 horas por dia);
- desenvolvimento de novas técnicas de transmissão digital de dados (DOSTERT, 2000);
- solução *last meters* – transformação da rede elétrica de distribuição predial ou residencial em uma rede local de dados;
 - cada tomada é um ponto de acesso de uso simples e descomplicado;
 - o aumento elevado da capacidade de processamento dos modernos DPS e FPGA e a diminuição constante do custo dos mesmos;
- facilidade de uso e na implementação do sistema PLC;

- solução de acesso – *last milles* para as operadoras de telefonia. Desta forma, promove a competição naquele seguimento de prestação de serviço e a inclusão digital.

No início do século XX, os empresários de energia elétrica, motivados por ampliar as funções da rede, começaram a usar as redes elétricas como meio de comunicação para transmissão da voz. Na década de 70 do século XX, além de voz, dados de controle também eram transmitidos naquela rede em banda estreita. Porém, na década de 80 do século passado, registrou-se avanço nas técnicas de processamento de sinais para a modulação digital e codificação de canais em modems que permitiram taxas em torno de 14,4 kbps. Na Europa, estabeleceu-se o padrão CELENEC, que opera numa faixa de frequência de até 500 kHz, permite taxas de transmissão de dados de até 144 kbps para distâncias inferiores a 500 m e limita a potência média dos sinais transmitidos em 5 mW. A partir da década de 90, século XX, a performance dos dispositivos que compõem o sistema PLC, melhorou ao longo do tempo. O uso da faixa entre 1 MHz e 30 MHz para a transmissão banda larga de dados na década de 90 do século passado até os dias de hoje deverá ser ampliada para 60 MHz, assim como a taxa de transmissão de dados de 200 Mbps (dispositivo processador de sinal - DS2), atualmente, para 250 Mbps.

Algumas entidades na Europa, EUA, Brasil e outras partes do mundo desenvolvem atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico, padronização e regulamentação para o PLC. Na Europa a atividade *Framework Programmes* é um conjunto de ações da Comunidade Européia para fundear e promover pesquisa e desenvolvimento tecnológico, ou seja tem como objetivos estratégicos ampliar as bases científicas e tecnológicas de indústria, estimular a competitividade internacional e promover atividades de pesquisa no apoio a outras políticas da Comunidade Européia. O projeto Opera (*Open PLC European Research Alliance for New Generation PLC Integrated Network*) ou Aliança Européia para uma Rede PLC Banda Larga Integrada, de Nova Geração, é uma atividade do *Framework Programmes* (FITEC INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, 2005). O projeto Opera tem como objetivos:

- Realizar a necessária pesquisa, demonstração e disseminação, numa escola Européia, de modo a possibilitar aos cidadãos europeus o uso de suas vantagens mesmo diante dos obstáculos da tecnologia PLC.
- Melhorar os atuais sistemas PLC:
 - baixa tensão (BT) e media tensão (MT);
 - atender requisitos de banda, distância, facilidade de operação, EMC, gerência de rede e modelamento de canal.

- Desenvolver soluções ótimas para conexões das redes de acesso PLC às redes *Backbone*:
 - criar soluções *backbone* adaptáveis (satélite, MV PLC, etc.);
 - objetivo é atingir todos os usuários independentes de onde estejam.
- Desenvolver “serviços prontos para venda” sobre a tecnologia PLC e desenvolver ou melhorar os terminais de usuários.

No Brasil a APTEL – Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações – foi convidada pela Comunidade Européia para participar da fase II do projeto OPERA. Na APTEL as atividades referentes à tecnologia PLC ficam a cargo do Fórum APTEL Brasil PLC através das comissões de assuntos tecnológicos, inclusão social/digital, assuntos regulatórios, *marketing/networking*, mercado, PLC em municipalidades e relações internacionais – América Latina.

PLC Fórum foi criado na Europa em 1997. Atualmente possui mais de 90 membros (fabricantes e empresas de energia elétrica) e tem como principais objetivos: compartilhar as informações entre fabricantes, empresas que desenvolvem aplicações, usuários potenciais e órgãos de regulamentação; desenvolver normas para serviços e produtos de telecomunicações em linhas de energia, com a intenção de submetê-las aos órgãos nacionais e internacionais de regulamentação. O FCC (*Federal Communications Commission*), órgão regulador dos EUA sinaliza para uma nova regulamentação que viabilize o uso da tecnologia PLC em banda larga (FCC, 2004) e sua coexistência com outros tipos de tecnologias, já existentes, na mesma banda de frequência.

As redes domiciliares, através da fiação elétrica, usam a rede de distribuição de energia elétrica existente nos ambientes residenciais e prediais para a transmissão de dados em alta velocidade. Atualmente, várias tecnologias proprietárias foram desenvolvidas. A característica de interoperabilidade dessas técnicas, ou seja, de dispositivos de diferentes tecnologias não conseguirem se comunicar, motivou a criação, em abril de 2000, do *HomePlug* Fórum, que criou um novo padrão denominado *HomePlug* 1.0. Este especifica a subcamada de acesso ao meio e a camada física para redes de baixa tensão. O Fórum industrial *HomePlug* tem como principais objetivos

- fornecer um fórum para o desenvolvimento de normas abertas;
- patrocinar programas de educação do mercado e de usuários para acelerar a demanda por essa tecnologia;
- publicar especificação de rede interna de *powerline* classe Ethernet 10 Mbps;
- atender a regulamentação FCC (USA) - parte 15.

Sabe-se que já está em fase de desenvolvimento a nova versão do padrão *HomePlug* versão 2 (INTELLON, 2004) para a transmissão de dados via canais *indoor* (LIN, LATCHMAN, NEWMAN, & KATAR, 2002, 2003) que deverá atender as aplicações de alta velocidade com taxas de pico e média iguais a 200 Mbps e 120 Mbps, tais como HDTV (*Higt Definition Television*), vídeo-conferência e outras aplicações multimídia.

Atualmente, a média das taxas praticadas nas redes PLC domiciliares ou sistema *indoor* é de no máximo 200 Mbps. Porém, analisando-se apenas os canais PLC em ambiente prediais, estimativas recentes apontam capacidades de canais PLC superiores a 600 Mbps.

As redes elétricas de baixa e média tensão das distribuidoras de energia elétrica que compõem a solução PLC – *last miles* também estão sendo analisadas (JEE, EDISON, RAO, & CERN, 2003). Para esses ambientes nenhuma padronização foi definida, pois trata-se de ambientes com bastante concorrência. Atualmente, outras tecnologias já estão estabelecidas, tais como o *cable modem*, o xDSL (*Digital subscriber Line*), a fibra óptica e a comunicação sem fio.

Por meio de informações de fabricantes, baseados em medições de um período, a média das taxas praticadas nas redes PLC de baixa tensão é 20 Mbps e nas redes PLC de media tensão é de 25 Mbps, caracterizando a tecnologia PLC de alta competitividade em comparação com outras tecnologias, mesmo num cenário desfavorável pelas seguintes características dos canais PLC (CANETE, CORTES, DIEZ & ENTRAMBASAGUAS, 2002):

- as variações entre as diferentes redes elétricas;
- as diferentes condições físicas e características topológicas das redes elétricas;
- as atenuações proporcionais à distância e à frequência;
- as ocorrências de ruídos impulsivos com alta potência;
- as variações das impedâncias vistas pelo transmissor e pelo receptor;
- as perturbações eletromagnéticas conduzidas por acoplamento direto por cabo e as irradiadas por outros serviços que operam na mesma faixa de frequência;
- as variações periódicas das respostas impulsivas dos canais PLC.

Em artigo recente, a expressão *horrible channel* (BIGLIERI, 1998) foi usada para caracterizar os canais PLC. Porém, para minimizar tais efeitos nocivos à transmissão de dados através de canais PLC são usadas as técnicas de processamento de sinais. Dentre as técnicas recentemente investigadas, pode-se citar

- técnicas mono-portadoras, multi-portadoras e de espalhamento espectral;
- técnicas de codificação de canais;
- técnicas de equalização;
- técnicas de estimação de canais;

- técnicas de acesso ao meio;
- técnicas de cancelamento de ruídos impulsivos;
- técnicas de gerenciamento de espectro.

Fabricantes de *chipset* como a empresa espanhola DS2 e a empresa americana Intellon implementam nos *chips* ou grupo de *microchips* da linha de produção, algumas dessas técnicas, durante o processo de fabricação. Esses fabricantes diante de um mercado exigente e concorrido investigam novos avanços na tecnologia de processamento de sinais para melhorar a performance dos futuros *chipset*.

Atualmente, no Brasil, as pesquisas dos canais PLC como meio de transmissão de dados em banda larga e banda estreita, nas soluções *last miles* ou *outdoor* e *last meters* ou *indoor*, apresentam as seguintes características (RIBEIRO, 2005):

1) A análise de sistemas PLC desenvolvidos na Europa e nos EUA. Inicialmente, esses sistemas são implementados em campos de prova por empresas do setor elétrico, associações, fórum e parcerias entre empresas e, após, passam por um período de observação. O objetivo dessas entidades é ter uma idéia real de algumas características desse processo:

- potencialidade real da tecnologia PLC;
- desempenho dos vários fabricantes, nas variadas configurações e condições climáticas de um país tropical;
- benefício da sociedade brasileira pela inclusão das ilhas e cidade digitais na comunidade digital (Fórum APTEL BRASIL PLC).

2) Alguns trabalhos práticos têm sido realizados, mas limitam-se à montagem de soluções já prontas à análise dos sistemas PLC nas universidades; análises computacionais de desempenho de algoritmos no nível da camada física têm sido o principal foco destas investigações.

3) Investigação de Modelos de negócios nas diversas arquiteturas que podem ser implementadas com o uso do PLC.

4) APTEL através do Fórum APTEL BRASIL PLC realiza um trabalho importantíssimo para a consolidação da tecnologia PLC em nosso país desenvolvendo atividades nos assuntos tecnológicos e regulatórios, inclusão social/digital, *marketing/networking*, mercado PLC em municipalidades e relações internacionais – América Latina (Projeto OPERA).

5) As parcerias entre as empresas que exploram ou utilizam os serviços de transmissão de dados e as universidades através dos Projetos de P & D da tecnologia PLC possibilitando o desenvolvimento de soluções que podem ser introduzidas em diferentes aplicações, gerando, como consequência, novas técnicas e soluções para que sejam absorvidas pelo setor produtivo.

No entanto, o desenvolvimento de tais soluções demanda primeiramente o conhecimento do estado da arte da tecnologia PLC (PAVLIDOU et al., 2003). Este conhecimento pode ser colocado da seguinte forma (RIBEIRO, 2005):

1) Como se implementa um sistema completo de transmissão e recepção ponto a ponto e multi-ponto?

2) Quais são as técnicas atuais mais adequadas para lidar com os problemas que caracterizam as aplicações *indoor* e *outdoor* em banda larga ou banda estreita?

3) Como desenvolver ou melhorar os sistemas de repetição de sinais?

4) Como garantir o acesso de vários usuários a um mesmo meio?

O uso ótimo das redes elétricas de distribuição de energia para a transmissão de dados passa, primeiramente, pelo estudo das características inerentes a esses meios de transmissão. Tal estudo traz à luz as reais potencialidades e os principais problemas encontrados nas redes elétricas que dificultam a transmissão de dados a altas taxas e com baixa probabilidade de erro. Obtém-se, assim, o conhecimento necessário para o desenvolvimento de uma modelagem adequada dos canais PLC e dos ruídos presentes neste meio. Dentre os modelos de canais PLC encontradas na literatura, a seção 3.1 descreve o modelo de multi-percursos dos sinais transmitidos, o mais atual e coerente modelo para canais PLC *outdoor*. Em 3.1.1 encontram-se as características principais dos diversos tipos de ruídos presentes nos canais PLC. Finalmente, a seção 3.2 apresenta a técnica multi-portadora OFDM/DMT empregada em aplicações PLC banda larga.

3.1 Modelo dos Canais PLC *Outdoor*

Uma rede de distribuição de energia elétrica é caracterizada por ser um canal atenuador com seletividade na frequência. Além da atenuação por desvanecimentos seletivos em frequência, característica das RDEE, aquele canal impõe altas atenuações ao sinal PLC transmitido em função da frequência do sinal e da distância do enlace e, também, a presença de ruídos com nível de potência suficiente para corromper rajadas de dados transmitidos. Em termos comparativos, o canal PLC pode ser caracterizado como um meio termo entre um tradicional canal de telefonia fixa e um canal de comunicação sem fio. Porém, as redes de distribuição de energia diferem consideravelmente umas das outras, em termos de estrutura, topologia e propriedades, tomando como paradigma os convencionais meio *wireline*, tais como fios telefônicos, pares trançados e cabo coaxial.

A principal característica da tecnologia PLC é a divisão em uma parte interna e outra externa. A parte interna corresponde à rede domiciliar ou rede elétrica de distribuição de energia elétrica instaladas em ambientes residenciais, prediais, comerciais e industriais, sendo denominada de sistemas ou aplicações PLC *indoor* ou *last meters* ou *intra building*. Porém, a parte externa corresponde as RDEE das empresas do setor elétrico, também conhecido como sistemas ou aplicações PLC *outdoor* ou *last miles*. Para isolar as duas redes é feita uma divisão na banda de frequência definida para uma aplicação PLC. As pesquisas recentes apontam a faixa de frequência de 500 kHz a 10 MHz para aplicações *last miles* e a faixa entre 10 MHz e 30 MHz para aplicações *last meters* (LANGFELD, 2001). Portanto, para transmissão de dados em banda larga via canais, PLC, o enfoque tem sido a caracterização das respostas em frequência na faixa entre 500 kHz e 30 MHz.

A busca de uma modelagem consistente e representativa dos canais PLC para aplicações banda larga é baseada nas duas estratégias descritas a seguir (ZIMMERMANN & DOSTERT, 1999, 2002a).

Estratégia *bottom up*: nesse caso o comportamento das redes elétricas é descrito pelas matrizes de admitância e de impedância do circuito elétrico (BARNES, 1998; ESMAILIAN, KSCHISCHANG, & GULAK, 2000; BOSTOEN & WIEL, 2000; ESMAILIAN, GULAK, & KSCHISCHANG, 2000). É um tipo de modelagem que se usa nos sistemas PLC *indoor* devido a quantidade menor de parâmetros quando comparada a uma rede PLC *outdoor*. Para que o processo seja bem sucedido é necessário um levantamento detalhado e preciso de uma quantidade razoavelmente elevada de parâmetros dos componentes da rede elétrica que forma o sistema PLC *indoor* para determinar os elementos das matrizes que fornecem a resposta em frequência do canal PLC. Dessa forma, garante-se a precisão esperada para este tipo de modelagem.

Estratégia *top down*: os métodos baseados nesta estratégia consideram os canais PLC como uma “caixa preta” e descrevem as características do canal em termos de sua função de transferência (TANAKA, 1988; DOSTERT, 1998; ZIMMERMANN & DOSTERT, 1999, 2002a; DOSTERT, 2000). Alguns modelos apropriados por funções de transferência de redes elétricas são encontrados na literatura. Porém são modelos que necessitam do conhecimento de vários parâmetros, que na sua maioria são difíceis de se obter. Dentre os modelos de canais PLC encontrados na literatura, o modelo ilustrado na figura 24 descreve o modelo multipercursos dos sinais transmitidos desenvolvido por (ZIMMERMANN & DOSTERT 2002a). Por ser uma modelagem dos canais PLC *outdoor*, em termos da função de transferência, permite uma representação simples e independente da topologia da rede elétrica.

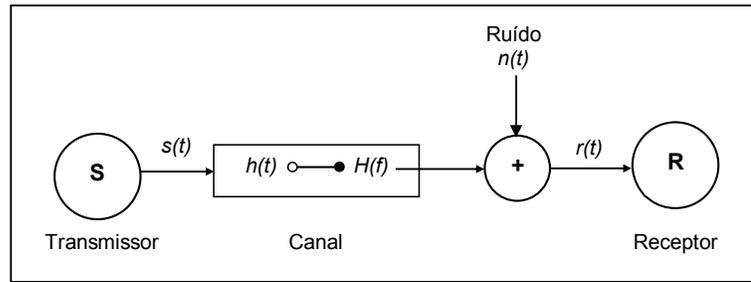


Figura 24 - Modelo geral do canal.

O modelo de meio físico ou multi-propagação proposto em (ZIMMERMANN & DOSTERT, 2002a) é o mais recente e atual modelo utilizado e é descrito a seguir:

- a resposta em frequência do canal PLC, obtida a partir da modelagem multi-percursos dos sinais transmitidos, é dada por

$$H(f) = \sum_{i=1}^N \underbrace{G_i(f, d_i)}_{\text{multipercurso}} * \underbrace{A(f, d_i)}_{\text{atenuação}} * \underbrace{\exp(-j2\pi f \tau_i)}_{\text{atraso}}, \quad (\text{Equação 31})$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$
multipercurso *atenuação* *atraso*

$$G_i(f, d_i) = |g_i(f)| e^{j\phi_i(f)}, \quad (\text{Equação 32})$$

$$A(f, d_i) = \exp[-(a_0 + a_1 f^k) d_i], \quad (\text{Equação 33})$$

$$\tau_i = \frac{d_i \sqrt{\epsilon_r}}{c_0}, \quad (\text{Equação 34})$$

- A equação (31) representa o modelo simplificado da função transferência do canal proposto por (ZIMMERMANN & DOSTERT, 2002a). Nesta equação são considerados os efeitos de propagação do sinal em múltiplos caminhos e de sua atenuação devido às perdas de potência no cabo, em consequência das variações de frequência e do comprimento do condutor.

- i representa o i -ésimo percurso de multi-propagação (número de possíveis caminhos para o sinal);
- a_0 e a_1 são os parâmetros de atenuação do i -ésimo percurso;
- k é o expoente do fator de atenuação;

- d_i é o comprimento do i -ésimo percurso;
- τ_i é o atraso devido ao i -ésimo percurso,
- c_0 é a velocidade da luz;
- ε_r é a constante dielétrica do cabo;
- $A(f, d_i)$ é a atenuação gerada em função da distância no i -ésimo multi-percurso;
- A expressão $G_i(f, d_i)$, representa o fator de ponderação no i -ésimo percurso (peso dado aos possíveis caminhos). Tal valor é dado pelo produto dos fatores ou índices de transmissão e reflexão no i -ésimo percurso.
- O módulo da atenuação no i -ésimo percurso tem um limitante superior dado por

$$|G_i(f, d_i)| \leq 1. \quad (\text{Equação 35})$$

Para percursos com número elevado de reflexões e transmissões $|G_i(f, d_i)| \rightarrow 0$, sua influência na modelagem dos canais PLC é insignificante. Desta forma, o número de percursos utilizados na modelagem dos canais PLC deve levar em consideração os percursos cujos fatores de ponderação são dominantes.

Em termos práticos, longos percursos são caracterizados por um número muito grande de transmissões e reflexões e, conseqüentemente, exibem grandes atenuações.

A figura 25 mostra as respostas em freqüência de alguns canais PLC, introduzidos em (LANGFELD, 2001; ZIMMERMANN & DOSTERT, 2002a), de redes de distribuição de baixa tensão. Conforme observado, os canais PLC variam consideravelmente, sendo dependentes das cargas conectadas, da distância entre o transmissor e o receptor e da faixa de freqüência utilizada.

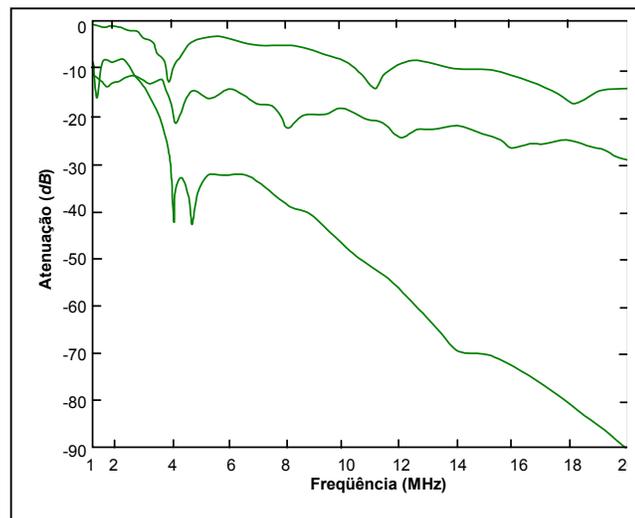


Figura 25 - Módulos da resposta em freqüência de três canais PLC de redes de baixa tensão.

3.1.1 Caracterização do Ruído Aditivo em Canais PLC Outdoor

Por definição, os ruídos são quaisquer sinais aleatórios que têm a capacidade de reduzir a inteligibilidade de uma informação de som, imagem ou dados. Os ruídos podem ser caracterizados:

- no tempo: através de suas propriedades estatísticas (por sua média, seu desvio padrão σ ou pela variância σ^2);
- por uma função $R_x(\tau)$ denominada função autocorrelação que é uma medida da similaridade de um sinal e sua versão atrasada no tempo.

Os ruídos podem ser aditivos (somam-se ao sinal) ou multiplicativos (o sinal resultante é o produto). O processo de otimização e a confiabilidade nos ambientes *last miles* e *last meters* depende da caracterização dos ruídos presentes nestes canais. Alguns estudos sobre os principais tipos de ruídos presentes em canais PLC foram realizados em (TANAKA, 1988; ZIMMERMANN & DOSTER, 2000a; DOSTERT, 2000; ZIMMERMANN & DOSTERT, 2002b) e concluíram que os **ruídos presentes nos canais PLC são aditivos** e de natureza não Gaussiana. Esse modelo de ruído aditivo é o mais completo já proposto na literatura. Na figura 26 podemos observar que o ruído aditivo na saída dos canais PLC é constituído de vários componentes de ruído (anteriormente descritos). Pode-se também representar esse tipo de ruído pela expressão matemática a seguir.

$$R_{\text{aditivo em canais PLC}} = R_{\text{cf}} + R_{\text{be}} + R_{\text{ipaff}} + R_{\text{ipsff}} + R_{\text{ia}}, \quad (\text{Equação 36})$$

onde

- $R_{\text{aditivo em canais PLC}}$ é o componente de ruído aditivo do canal PLC;
- R_{cf} é o componente de ruído colorido de fundo presente no canal PLC;
- R_{be} é o componente de ruído em banda estreita presente no canal PLC;
- R_{ipaff} é o componente de ruído impulsivo periódico e assíncrono a frequência fundamental presente no canal PLC;
- R_{ipsff} é o componente de ruído impulsivo periódico e síncrono com a frequência fundamental presente no canal PLC;
- R_{ia} é o componente de ruído impulsivo assíncrono presente no canal PLC.

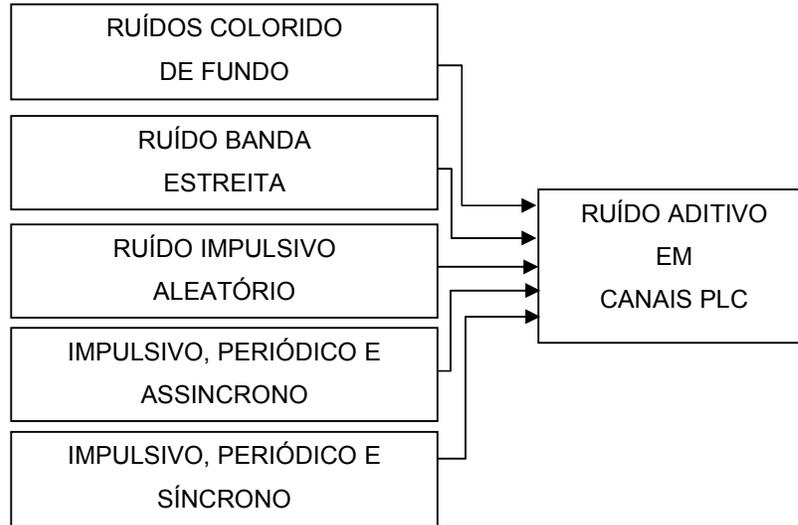


Figura 26 - Ruídos aditivos em canais PLC *outdoor*.

A descrição sobre os tipos de ruídos presentes nas linhas MT e BT encontra-se no Anexo 2.

A seguir, algumas considerações que irão complementar o estudo das componentes do ruído aditivo.

1) Ruído de Fundo

- O ruído de fundo é o grupo dos componentes do ruído aditivo: ruído colorido, ruído em banda estreita e o ruído impulsivo periódico à frequência fundamental reunidas em uma única classe.

- As características dos componentes do ruído de fundo: ruído colorido, ruído em banda estreita e o ruído impulsivo periódico à frequência fundamental são imutáveis por períodos de segundos, minutos ou até horas.

Os ruídos impulsivos periódicos síncronos a frequência fundamental e ruídos impulsivos assíncronos são de curta duração. A PSD ou níveis desses sinais é muito maior que a PSD dos ruídos colorido de fundo. Por isto, os ruídos impulsivos periódicos síncronos a frequência fundamental e ruídos impulsivos assíncronos impõem a maior distorção nos sinais quando da transmissão de dados pelos canais PLC. Os ruídos impulsivos periódicos síncronos e assíncronos são caracterizados por variações de amplitude em frações de tempo muito pequena (*ms* ou μs) e serem de curta duração, em torno de dezenas a centenas de μs , causam erro no sinal por um intervalo de tempo pequeno (menos de 1% do

tempo na maioria das vezes). A distribuição de amplitude de ruídos impulsivos assíncronos é basicamente exponencial causada pela sua natureza aleatória.

Segundo (CHAN, 1989), a partir de medições numa fotocopiadora, observa-se a geração de ruídos impulsivos consideráveis naquele ambiente. Diante dos resultados de medições conclui-se que os ruídos impulsivos medidos chegam a exceder aproximadamente 27 dB o ruído de fundo e ocupam cerca de 1% do tempo do total. No caso da atuação de *dimmers*, o chaveamento de SCR's produz ruídos impulsivos periódicos de aproximadamente 40 dB acima do ruído de fundo.

Os sinais ou ruídos impulsivos assíncronos são sinais aleatórios (estocásticos ou randômicos), ou seja, para caracterizá-los são necessárias todas as histórias temporais possíveis (amostras) que ocorrerem. Dessa forma, a modelagem desses sinais é através de momentos estatísticos (a média e a função de correlação). Por serem sinais aleatórios, os impulsos não apresentam uma morfologia padrão. Com a necessidade de se ter um modelo estocástico para este cenário em (ZIMMERMANN, DOSTERT, 2002a; ZIMMERMANN, DOSTERT, 2002b), uma descrição matemática representada pela equação 37 foi elaborada para modelar este tipo de ruído, fundamentada na Cadeia de Markov Particionada (ZIMMERMANN, DOSTERT, 2002a). Essa forma de modelagem do ruído passa por construir invólucros retangulares impulsivos, com amplitude A_i e comportamento temporal descrito pela largura do impulso (t_w) e pelo tempo de início (t_{arr}).

$$r(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot \text{imp} \left(\frac{t - t_{arr,i}}{t_{w,i}} \right), \quad (\text{Equação 37})$$

com $r(t)$ sendo o trem de impulsos assíncronos, N o número de impulsos presentes no tempo t e imp uma função que modela o impulso com amplitude e largura unitárias.

Esta modelagem separa os $r(t)$ estados de ruídos em dois grupos distintos: um grupo de estados sem distúrbios e um outro grupo de estados com distúrbios.

A determinação dos parâmetros é conseguida pela implementação de algoritmos recursivos sobre as medidas dos ruídos feitos em um canal PLC.

A figura 27 apresenta o ruído aditivo constituído pelo ruído de fundo e pelos ruídos impulsivos, que foram gerados a partir do modelo de Dostert e Zimmermam, na faixa de frequência entre 2 e 3 MHz. As PSDs do ruído de fundo e dos ruídos impulsivos são, respectivamente, iguais a $-130 \text{ dBV}^2/\text{Hz}$ e $-110 \text{ bBV}^2/\text{H}$, e a amplitude máxima dos ruídos impulsivos é menor que 20 mV.

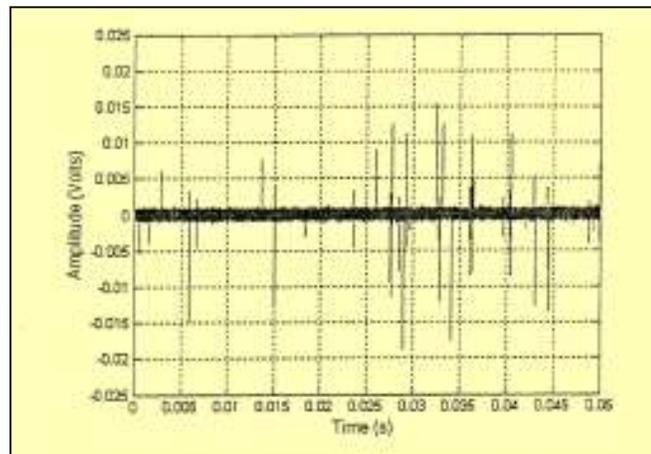


Figura 27 - Ruídos aditivo de acordo com o modelo proposto por Zimmermann e Dostert.

3.2 A Técnica OFDM/DMT

A técnica de transmissão OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) é uma técnica multi-portadora que divide a faixa de freqüências em vários subcanais iguais utilizando sub-portadores ortogonais. A Modulação multiportadora empregada sobrepõe várias formas de ondas portadoras moduladas para representar uma seqüência de *bits* (*bits stream*). O sinal multiportadora ou OFDM que é transmitido é a soma do \tilde{N} sub-sinais independentes de mesma largura de banda e freqüência central f_i , $i = 1, \dots, \tilde{N}$. Cada um destes sub-sinais ou sub-canais pode ser modulado usando, por exemplo, a modulação QAM, PAM e outras. A origem da técnica OFDM remonta os trabalhos (CHANG, 1966; SATZBERG, 1967; WEINSTEIN & EBERT, 1971; PELED & RUIZ, 1980). O nome OFDM é usado para designar esse tipo de sistema multi-portadora em aplicações sem fio, enquanto o nome DMT (*Discrete Multitone Transceiver*) é empregado para aplicações com fio. Ambas as técnicas OFDM e DMT implementam as mesmas sub-portadoras ortogonais para dividir a largura de banda do canal em várias sub-bandas. A diferença entre essas técnicas reside, principalmente, no fato de que a técnica DMT faz uso de algoritmos de otimização para a alocação ótima dos *bits* nas sub-bandas, enquanto a técnica OFDM aloca um mesmo número de *bits* em todas as sub-bandas. Além disso, a técnica DMT é utilizada em canais bidirecionais que variam lentamente com o tempo, tais como *cable TV*, canal telefônico e certas classes de canais PLC. Por outro lado, a técnica OFDM é usada em aplicações

unidirecionais, cujos canais variam rapidamente com o tempo, tais como os canais de comunicação sem fio.

A principal vantagem das técnicas multiportadoras OFDM/DMT consiste no fato de que a mesma minimiza a ocorrência da interferência inter-simbólica (IIS), uma vez que o tempo de duração da forma de onda do sinal que representa o símbolo OFDM é muito maior que o tempo de duração da resposta impulsiva do canal de comunicação. Diferentemente dos sistemas SISO (*Singel Input Single Output*), que transmitem uma seqüência de N símbolos com uma única portadora e ocupa toda a banda disponível, W , por um período $T = 1/W$, nos sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) a largura de banda é utilizada para transmitir paralelamente N símbolos, sendo que cada um dos símbolos ocupa a largura de banda igual a W/N por um período igual a N/W . Note-se que ambas as abordagens usam a mesma largura da banda disponível.

Para eliminar completamente a presença da IIS com a técnica OFDM-DMT, basta utilizar um período de guarda entre os símbolos OFDM consecutivos, cujo comprimento é maior que o comprimento da resposta impulsiva do canal de comunicação. Além de reduzir a IIS, a interferência entre as sub-portadoras (*intercarrier interference* ICI) pode ser removida e seu período da guarda é constituído de uma cópia da parte final do símbolo OFDM. Neste caso, o período da guarda, também chamado de prefixo cíclico (*Cyclic-Prefix* – CP), é removido no receptor (PELED, RUIZ, 1980). Dentre as várias soluções proposta para a obtenção das N sub-portadoras ortogonais para a modulação e de modulação de dados em sistemas multiportadoras, os sistemas OFDM/DMT, baseados na DFT (*Discrete Fourier Transform*) (WEINSTEIN, EBERT, 1971), são os que apresentam o menor custo computacional e são assintoticamente ótimos, em termos de desempenho, quando $N \rightarrow \infty$. A DFT elimina a necessidade do uso de um banco de osciladores, os quais são normalmente difíceis de serem sintonizados para gerar as sub-portadoras. A recente popularidade da OFDM deve-se, em parte, ao fato de que a DFT pode ser eficientemente implementada com algoritmos rápidos, tal como a FFT (*Fast Fourier Transform*) que demanda $\log N$ operações por sub-portadora.

As figuras 28 e 29 mostram os modelos banda base dos sistemas multi-portadoras OFDM e DMT. Note-se que o bloco TEQ do sistema de DMT implementa um equalizador para encurtar o comprimento da resposta impulsiva do canal de comunicação (STARR *et al.*, 1998). A formulação do sistema DMT será apresentada a seguir, posto que a mesma é válida para o sistema OFDM com pouquíssimas modificações. Em (RIBEIRO, 2005) encontra-se formulação para o sistema OFDM.

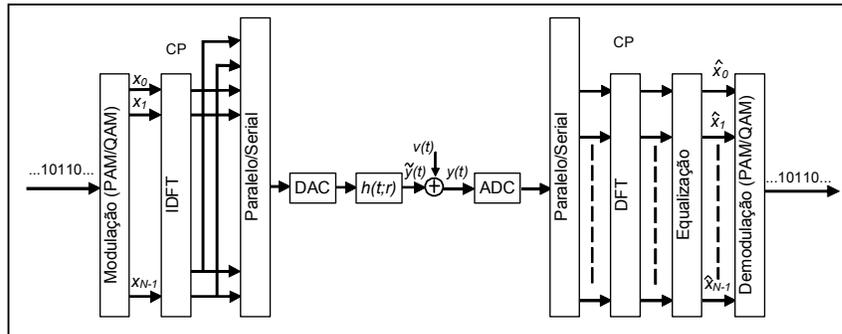


Figura 28 - Modelo banda base do sistema de transmissão multi-portadoras OFDM.

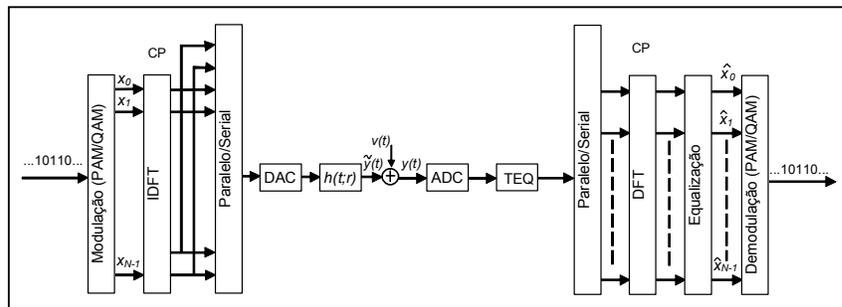


Figura 29 - Modelo banda base sistema de transmissão multi-portadoras DMT.

3.2.1 Discrete Multitone Transceiver (DMT)

O DMT é uma forma comum de modulação multiportadora e é usada em sistemas VDSL, ADSL e PLC, respectivamente.

O transmissor do sistema DMT é ilustrado na figura 30, considerando N grande.

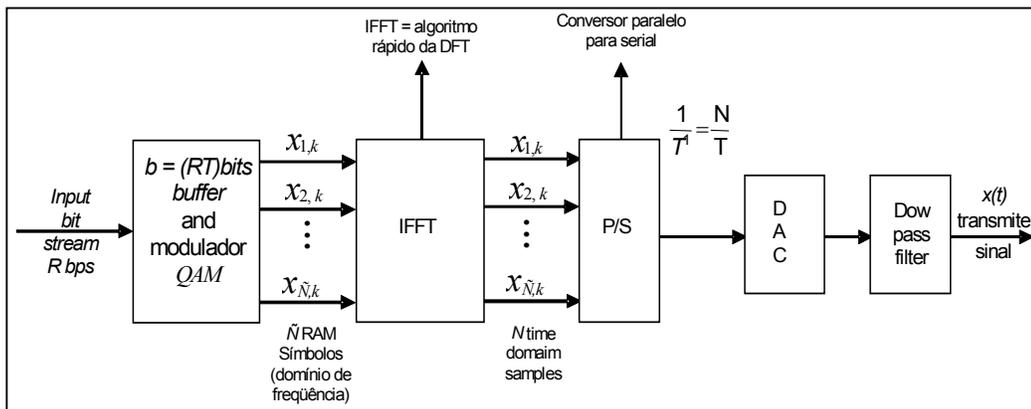


Figura 30 - O sistema básico DMT com N grande.

Analisando-se a figura 30 pode-se ver que na entrada do transmissor é aplicada uma seqüência de *bits* de taxa de dados R bits/seg e armazenada (*buffered*) em blocos de $b = RT$ bits. O sinal transmitido no período T é chamado o símbolo, sendo T o período do símbolo (em segundos) e $\frac{1}{T}$ a taxa do símbolo. Com relação aos b bits, os b_i bits são planejados para uso no i -ésimo sub-canal $i = (1, \dots, \tilde{N})$ e $b = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} b_i$. Estes b_i bits para cada um dos \tilde{N} subcanais passam por um processo de modulação multiportadoras QAM no DMT Encoder (modulador QAM) e são transformados em um complexo subsímbolo, X_i , com amplitude $|X_i|$ e fase $\angle X_i$. O módulo de X_i pode ser visto como a amplitude do i -ésimo sinal QAM na modulação multiportadora. Existem 2^{b_i} possíveis valores para estes subsímbolos. Sucessivos blocos de b bits são processados de maneira idêntica. Nesta secção, usa-se o sobrescrito k no $X_{i,k}$ para representar os i -ésimo subsímbolos no k -ésimo símbolo transmitido. O valor eficaz (*rms*) de X_i é chamado de energia do subsímbolo e a potência do subsímbolo é dada por $P_i = \frac{\mathcal{E}_i}{T}$. Voltando à figura 30, após a modulação (estágio DMT

Encoder) os \tilde{N} símbolos QAM irão passar por processamento digital de sinal que utiliza o algoritmo da inversa da transformada rápida de Fourier, ou mais precisamente da IDFT: a IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*), no estágio IFFT daquela figura, e o resultado é um conjunto de N amostras no domínio no tempo $x_{n,k}$, com $n = 0, 1, \dots, N-1$ e $N = 2\tilde{N}$. O conjunto de N sucessivas amostras no domínio do tempo é o k -ésimo símbolo DMT obtido na saída do estágio P/S (conversor Paralelo/Serial). Essas N amostras, ou um símbolo OFDM, possuem taxa de $\frac{1}{T} = \frac{N}{T}$, ou seja, a taxa de amostragem do modulador DMT. As amostras são sucessivamente aplicadas (após a conversão para o formato serial) no conversor digital/analógico (DAC) para serem transmitidas no canal PLC ou de outra aplicação *wireline*. A saída do DAC é um sinal (xt) modulado contínuo no tempo. Note-se que $T = NT'$.

A IFFT é um exemplo de uma transformação (modulação) ortogonal e preserva a energia da entrada do símbolo no domínio da freqüência. Portanto,

$$\sum_{i=1}^{\tilde{N}} |X_{i,k}|^2 = \sum_{n=1}^N x_{n,k}^2 \quad (\text{Equação 38})$$

e desse modo a potência transmitida é

$$P = \frac{\mathcal{E}}{T} = \frac{\sum_{i=1}^{\tilde{N}} \mathcal{E}_i}{T} = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} P_i \quad (\text{Equação 39})$$

Frequência transmitida

No sistema DMT, as frequências f_i são fixadas em $f_i = \frac{i}{T}$, onde $i=1, \dots, \tilde{N}$ e a não transmissão de sinal (energia) pode ocorrer nas frequências acima de $f_{\tilde{N}} = \frac{\tilde{N}}{T} = \frac{1}{2T'}$. Em vez disso, o que acontece é que a faixa (banda) de frequência de $f_{\tilde{N}}$ até $f_{\tilde{N}} + \frac{1}{2T}$ é substituída pela faixa de frequência vaga de 0 a $\frac{1}{2T}$, como mostra a figura 31. Isto pode ser visto da seguinte forma: transmitir o N -ésimo símbolo da banda base, em que a parte real daquele símbolo utiliza a faixa de 0 a $\frac{1}{2T}$ e a parte imaginária a faixa de frequência de $f_{\tilde{N}}$ até $f_{\tilde{N}} + \frac{1}{2T}$ da forma de onda modulada em $f_{\tilde{N}} = \frac{1}{2T'}$. Contudo, nós imaginamos aqueles dois sinais como os componentes em base e em quadratura de um único sinal QAM bidimensional em $f_{\tilde{N}} = \frac{1}{2T'}$.

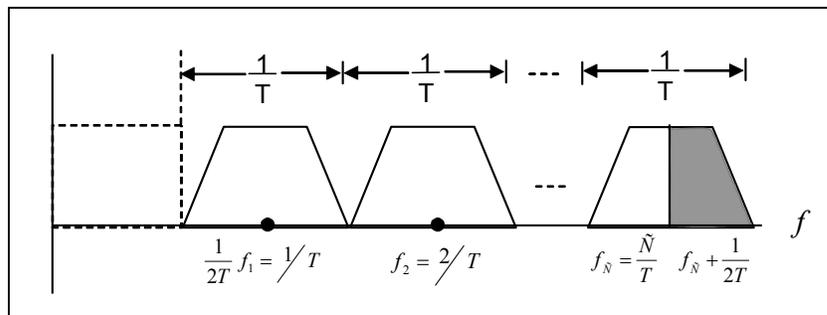


Figura 31 - Espectro de potência DMT transmitido.

3.2.2 O Canal e seus Efeitos

A figura 32 ilustra um modelo de canal com a resposta impulsiva $h(t)$ e o ruído aditivo $u(t)$ (Gaussiano) usado como meio ou acesso de comunicação. Chama-se a saída do canal

de $y(t)$. Analizando-se o uso da modulação multiportadora em um canal passível de sofrer degradações por conta da interferência intersímbolos (ISI), quando \tilde{N} é grande, a função de transferência da resposta do canal $H(f)$ é contínua e pode ser aproximada pela curva discretizada ilustrada por retângulos na figura 32.

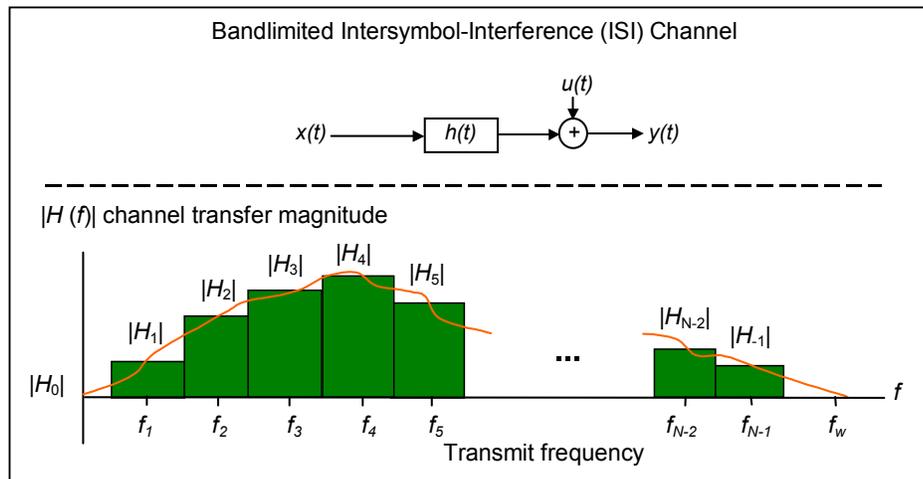


Figura 32 - Canal e a decomposição multicanal da resposta do canal.

Na figura 32 cada um dos retângulos é uma banda de frequências $f_i = \frac{1}{T}$ da banda larga, isto é, da banda ou faixa do canal. O valor da função transferência em cada frequência central $H(f_i)$ é observada como H_i , as frequências f_i são as frequências centrais, $f_i = 1, \dots, \tilde{N}$ na DMT e H_i tem uma amplitude $|H_i|$ e uma fase $\angle H_i$. A variância por dimensão do ruído amostrado é representada por σ^2 (desvio padrão). Quando \tilde{N} é suficientemente grande os retângulos da figura 34 são muito estreitos e é correto matematicamente escrever

$$Y_{i,k} = H_{i,k} \cdot X_{i,k} + U_{i,k} \tag{Equação 40}$$

onde

$$Y_{i,k} (i = 1, \dots, \tilde{N}) \tag{Equação 41}$$

é a saída complexa dos N -pontos FFT na figura 33 e $U_{i,k}$ ($i = 1, \dots, \tilde{N}$) é definido de maneira similar para o ruído.

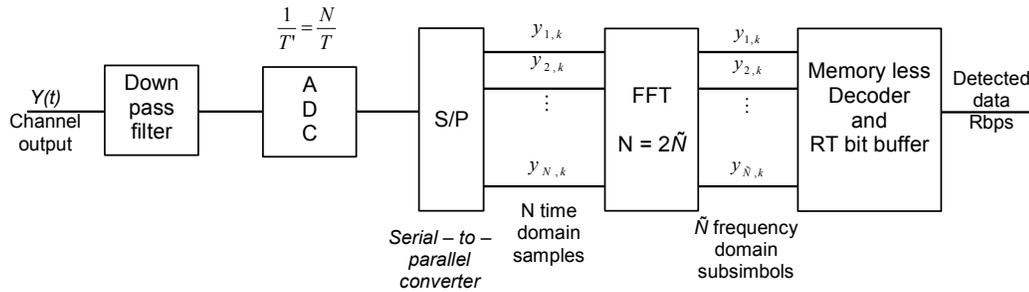


Figura 33 - Receptor para DMT.

Conclui-se que as \tilde{N} amostras de saída do receptor FFT correspondem a \tilde{N} independentes subcanais, isto é, sem interferência entre eles, como é mostrado na figura 34.

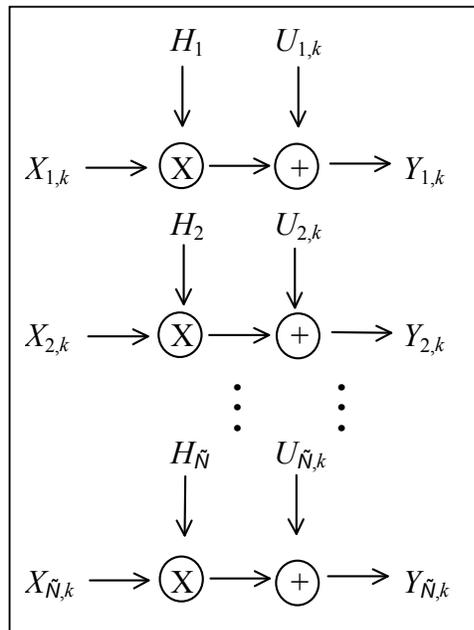


Figura 34 - Conjunto de canais paralelos e independentes que é equivalente ao canal original quando a modulação multiportadora é usada.

Quando \tilde{N} é grande, os componentes $u_{i,k}$ podem ser considerados independentes e Gaussiano. A sincronização de um símbolo é definida pela amostra-clock de sincronização, entre o transmissor e o receptor. Como os subcanais são independentes, eles podem ser individualmente demodulados e decodificados utilizando decodificador sem memória para cada um deles.

CAPÍTULO 4

4 A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E OS SISTEMAS PLC

A compatibilidade eletromagnética (CEM)

No mundo de hoje, por causa da expansão e da existência de vários tipos de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos e a onipresença da poluição eletromagnética, a Compatibilidade Eletromagnética (CEM) se torna um tópico obrigatório e muito importante para garantir o funcionamento correto de um equipamento, aparelho ou dispositivo. A CEM, em português, e EMC, do inglês *electromagnetic compatibility*, é um assunto ainda praticamente desconhecido no Brasil embora objeto de grande atenção em outros países como, por exemplo, nos Estados Unidos e na Europa. Além das normas IEC pertinentes, a Compatibilidade Eletromagnética ganhou estatura jurídica e legal pelo mercado europeu, que adotou a Diretiva CEM 89/336/EEC e a marca ou selo CE (Comunidade Européia). Os Estados Unidos exigem conformidade dos produtos importados com as normas da FCC (*Federal Communication Commission*). No Brasil, não existem normas nacionais próprias. Porém, diversas comissões foram criadas pela ABRICEM (Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética) a fim de estabelecer os requisitos técnicos e normas para Eletromagnetic Interference (IEM)/CEM. As normas brasileiras publicadas inicialmente foram, na verdade, versões traduzidas e adaptadas das normas européias do Comitê Internacional Especial para as Perturbações Radioelétricas (CISPR). A Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) publicou a Resolução 237, de Novembro de 2000 relativa à certificação de equipamentos de telecomunicação considerando-se os aspectos de Emissão, Imunidade e Resistibilidade.

4.1 Definições da CEM

Algumas definições importantes da CEM serão descritas a seguir (GROUPE SCHNEIDER, 1998):

- **Compatibilidade eletromagnética** (decreto francês): aptidão de um dispositivo, de um aparelho ou de um sistema de funcionar em seu ambiente eletromagnético de modo satisfatório e sem produzir ele próprio perturbações eletromagnéticas que possam criar problemas graves no funcionamento dos aparelhos ou dos sistemas situados em seu ambiente.

- **Aparelho** (decreto francês): todos os aparelhos elétricos e eletrônicos, bem como os equipamentos e sistemas que contenham componentes elétricos e/ou eletrônicos.

- **Perturbações eletromagnéticas** (decreto francês): todo fenômeno eletromagnético, notadamente um ruído eletromagnético, um sinal não desejado ou uma modificação do próprio meio de propagação suscetível de criar problemas de funcionamento num dispositivo, nos aparelhos ou nos sistemas.

- **Interferência eletromagnética** (IEM): é o processo onde a energia eletromagnética perturbadora é transmitida de um dispositivo, equipamento ou sistema para um outro, via caminhos irradiados e/ou Conduzidos. No uso comum, as interferências eletromagnéticas se referem aos sinais de rádio frequências (RFI).

- Os termos **Perturbações Eletromagnéticas** e **Interferências Eletromagnéticas** designam respectivamente CAUSA e EFEITO, portanto não devem ser usados indiscriminadamente.

- **Imunidade**: é a característica de um dispositivo, equipamento ou sistema para operar sem degradação na presença de um distúrbio eletromagnético.

- **Suscetibilidade**: é a falta de proteção de um dispositivo, equipamento ou sistema para operar sem degradação na presença de um distúrbio eletromagnético. É o oposto de Imunidade.

- **Ambiente eletromagnético**: é o resultado do funcionamento de aparelhos, equipamentos ou sistemas, adicionado ao ruído ambiente no qual estes aparelhos, equipamentos ou sistemas se encontram (ruído atmosférico; triboelétrico; espacial: sol, estrelas...).

- **Transmissão das perturbações por acoplamento eletromagnético**:

- Uma perturbação emitida num local **A** pode propagar-se aos aparelhos e instalações em **B**, ligados ao ponto **A** ou situados em seu ambiente.

– Perturbação conduzida: uma perturbação é conduzida quando ela é transmitida diretamente, por cabo de ligação ou por um circuito comum (por exemplo, alimentação comum ou ligação a terra, redes elétricas PLC e outros sistemas).

– Perturbação irradiada: uma perturbação é irradiada quando é transmitida entre aparelhos ou circuitos que não têm interligação direta ou indireta.

4.2 Regulamentos e Padrões

Nos dias de hoje está consagrada a necessidade de regulamentação da CEM para poder oferecer a possibilidade de operação destes equipamentos ao mesmo tempo sem um chegar a prejudicar o outro. Em outras palavras, pode-se afirmar que onde há campos elétricos e magnéticos haverá problemas de compatibilidade eletromagnética e cada aparelho deve operar de uma maneira que não interfira na operação dos outros equipamentos a sua volta. A regulamentação da compatibilidade Eletromagnética (CEM) tem sido instituída para assegurar operações simultâneas de diferentes aparelhos eletrônicos sem afetar um ao outro.

- Além disso, dois aparelhos que têm as mesmas funções mas são fabricados por dois fabricantes diferentes, têm de ter a capacidade de trabalhar um no lugar do outro. Por exemplo, dois modems de marcas diferentes têm de atender as normas da CEM e funcionarem de modo satisfatório e sem produzirem perturbações eletromagnéticas que possam criar problemas graves no funcionamento dos aparelhos ou dos sistemas situados em seu ambiente.

A normalização da CEM deve considerar os dois aspectos seguintes:

- elemento que gera a perturbação (a fonte);
- elemento submetido a perturbação (a vítima).

4.2.1 Regulamentos da CEM Existentes

Regulamentos da CEM são classificados em dois conjuntos: regulamentos do campo condutor elétrico e regulamentos do campo de radiação elétrica.

Desde que modems de linhas elétricas usem o circuito elétrico como um meio de comunicação, que é diretamente conectado com a maioria dos aparelhos elétricos e eletrônicos, é obvio que sinais de comunicação podem vazar em todos os outros aparelhos conectados

via linhas elétricas. Entretanto, desde que comumente a amplitude dos sinais de comunicação seja relativamente pequeno comparado com o sinal de potência de 110/220 volts, normalmente os sinais comunicação não prejudica a operação da maioria dos aparelhos elétricos, como, aquecedores elétricos e lâmpadas.

Por outro lado, o sinal de comunicação é normalmente um sinal de alta frequência e pode prejudicar a operação de sistemas de comunicação, como rádio, televisão, dispositivos digitais e outros. Felizmente esses tipos de sistemas, que são normalmente sensíveis a um sinal de comunicação de alta frequência via rede elétrica, são equipados com filtros CEM na sua conexão de circuito elétrico para atenuar qualquer componente de um sinal de alta frequência vindo de um sinal elétrico de 110/220 V. Esses filtros oferecem uma perda ao redor de 100 dB no intervalo de variação de frequência de poucos kHz até poucos GHz. Portanto, se o nível do sinal de comunicação transmitido não for muito alto (de poucos volts), o campo elétrico conduzido não será um problema sério.

Em relação ao campo elétrico radiado, este pode gerar problemas sérios para os sistemas de comunicação na mesma banda de frequência. Esses sistemas são concebidos para detectar pequenos níveis de sinais recebidos. Eles são muito sensíveis para o campo elétrico radiado, que é gerado pela transmissão dos sinais de comunicação de alta frequência via redes elétricas. Por causa da relativa longa distância das linhas elétricas comparadas com o comprimento da onda transmitida por sinais de comunicação, redes elétricas se tornam boas antenas. A banda da frequência de um sistema de comunicação de uma rede elétrica é permitida operar entre 10 KHz a 30 MHz (*UNITED STATES OF AMERICA FEDERAL COMMUNICATIONS*). Neste intervalo de frequência, existem várias faixas ou bandas de frequências designadas a rádios AM, rádios amadores, rádios de ondas curtas, sistemas de emergência/ segurança publica e outros, como é mostrado na figura 35.

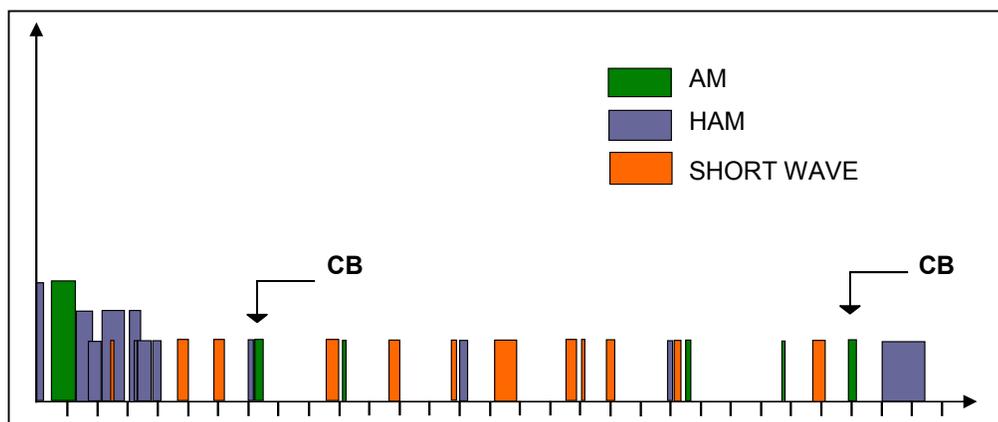


Figura 35 - Bandas de frequências AM, HAM e ondas curtas.

Na Europa, o Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC), através do padrão EM 50065-1, regulamentou a CEM para um intervalo de baixa frequência, ou seja, as bandas das frequências e os níveis dos sinais são especificados em um intervalo de frequência de 3 a 148.5 kHz (EN 50065-1). Nos Estados Unidos, a norma FCC Parte 15 especifica o nível do sinal no intervalo da frequência de 10 a 450 kHz (*UNITED STATES OF AMERICA FEDERAL COMMUNICATIONS*).

O intervalo de alta frequência (1-30 MHz) não parece ser um padrão aceito mundialmente para o campo elétrico radiado de sistemas de comunicação de redes elétricas. Entretanto, existem três importantes padrões que serão discutidos a seguir.

FCC Part 15

FCC Part 15 é um padrão aceito nos Estados Unidos, que é definido pela Comissão Federal de Comunicação (FCC), o corpo regulatório, e limita o campo elétrico radiado gerado pelos sistemas de comunicação de redes elétricas. A emissão radiada limita entre 1 até 30 MHz e deve ser medida entre 9 kHz de largura de banda em uma distância de 30 metros. Este padrão está ilustrado numericamente na tabela 2.

Tabela 2 - FCC Part 15 limite de emissão radiada

Banda de frequência (MHz)	Emissão limite radiada ($\mu\text{V/m}$)	Medida em metros (m)
1-1.705	15 (pico)	47715/Frequência (kHz)
1705-10	100 (pico)	30
10-13.553	30 (pico)	30
13.553-13.567	10.000 (pico)	30
13.567-26.96	30 (pico)	30
26.96-27.28	10.000 (média)	30
27.28-30	30 (pico)	30

MPT 1570

Este é o proposto para limitar a emissão radiada por sistemas PLC, pela a Agência de Rádio-Comunicação do Reino Unido, introduzida em 2000 (FENTON, BROWN, 2001). Neste padrão, o campo elétrico radiado deve ser medido em uma largura de banda de 9 kHz e uma distância de 3 metros da rede elétrica.

NB30

Este é o proposto limite de emissão radiada pelo órgão regulador alemão das comunicações, o RegTP da Alemanha em 1999 (FENTON, BROWN, 2001) . Este padrão do campo elétrico radiado deve ser medido em uma largura de banda de 9 kHz até 3 metros de distância de uma rede elétrica. O limite de emissão radiada para este padrão é ilustrado na tabela 3.

Tabela 3 - NB30 e MPT 1570 emissões de limites radiados

Padrão	Banda da frequência (MHz)	Emissão limite radiada (µV/m)
MPT1570	1-1.6	40-7.7 log (frequência em MHz) (pico)
MPT1570	1.6-30	20-7.7 log (frequência em MHz) (pico)
NB30	1-30	40-8.8 log (frequência em MHz) (pico)

Para o propósito de comparações: os três padrões foram colocados no gráfico da figura 36.

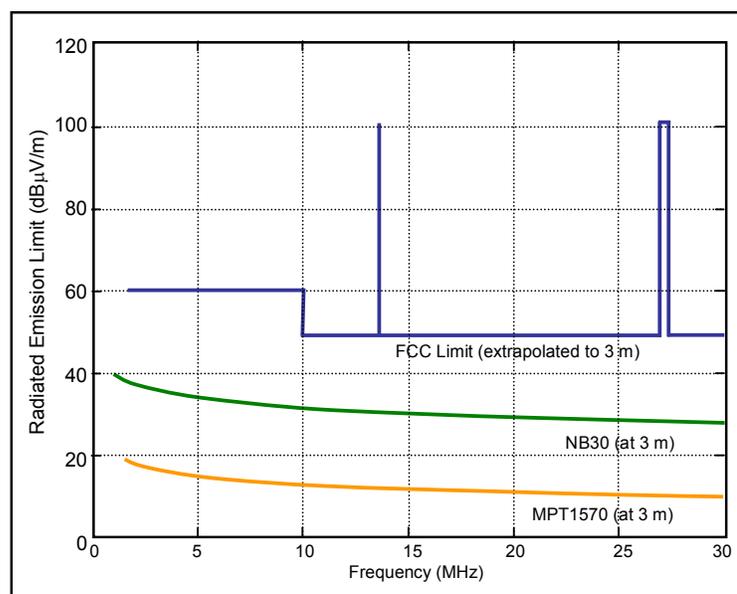


Figura 36 - Três emissões padrões radiadas e existentes.

O limite de radiação da Tabela 2 é medido até a distância de 30 metros e na Tabela 3 são medidos os outros dois padrões a uma distância de 3 metros. Os números do FCC apresentados na figura 37 foram extrapolados de 30 metros a uma distância de 3 metros usando o fator de 20 *dB* por década .

Como pode ser visto o FCC Part 15 é mais relaxado comparado aos padrões Europeus.

O Anexo 3 mostra o relatório técnico de análise de Compatibilidade Eletromagnética – CEM em redes PLC que representa os resultados medidas de campo magnético radiado realizadas com referência aos equipamentos do fabricante EBA-PLC que integravam o sistema PLC (*Powerline Communications*) da empresa COPEL (Companhia Paranaense de Eletricidade) no ano de 2003.

CAPÍTULO 5

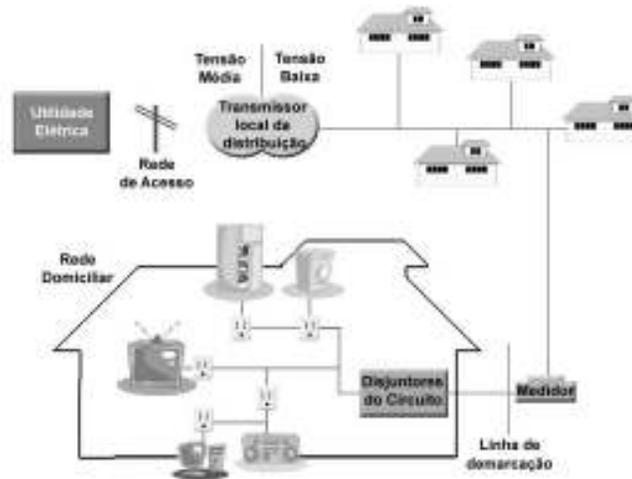
5 ARQUITETURA E MODELO DE NEGÓCIOS DOS SISTEMAS PLC

Em capítulos anteriores analisou-se a tecnologia PLC sob o aspecto técnico. Neste capítulo, são apresentadas, analisadas e validadas as **propostas** ou **soluções técnicas** que são as **arquiteturas de sistemas PLC** e seus correspondentes **modelos de negócios** que aquelas soluções determinam. O objetivo é mostrar o potencial da tecnologia PLC como solução para o acesso num sistema de telecomunicações e também como uma oportunidade de negócios. Para isto, mostra-se que a partir de **uma arquitetura de um sistema de telecomunicações (sistema telecom PLC)** em que o subsistema de acesso é um sistema PLC, é possível definir modelos de negócios da ideia PLC. As soluções técnicas totalizam seis arquiteturas que definem seis correspondentes modelos de negócio. Um desses modelos de negócio será testado, o modelo 4, por ser definido pela arquitetura 4 que é escolhida entre as soluções propostas e representa a **melhor solução de engenharia elétrica** para o sistema de telecomunicações com a tecnologia PLC. Essa solução tem como paradigmas a viabilidade da tecnologia como rede de acesso, a qualidade e a confiabilidade do sistema proposto e a decisão de melhor **custo-benefício** tanto para o sistema telecom PLC a ser implementado quanto para o consumidor final, componente do mercado de telecomunicações a ser explorado no modelo 4. O sucesso ou não desse modelo é mostrado no documento **business plan** ou **plano de negócios** na secção 5.10.

5.1 Configurações Típicas PLC

Até os dias atuais não existe um órgão que padronize, em nível mundial, a tecnologia ou sistemas PLC.

Uma rede ou sistema de acesso PLC consiste basicamente de dois sistemas simultâneos de operação: a rede interna ou sistema *Indoor* ou *last meter* e a rede de acesso externa ou sistema *Outdoor* ou *last mile*. O sistema *Indoor* (redes domiciliares PLC) é caracterizado pela rede elétrica de distribuição dos domicílios até o ponto de entrega de energia da concessionária ou distribuidora local de energia elétrica como é mostrado na figura 37.

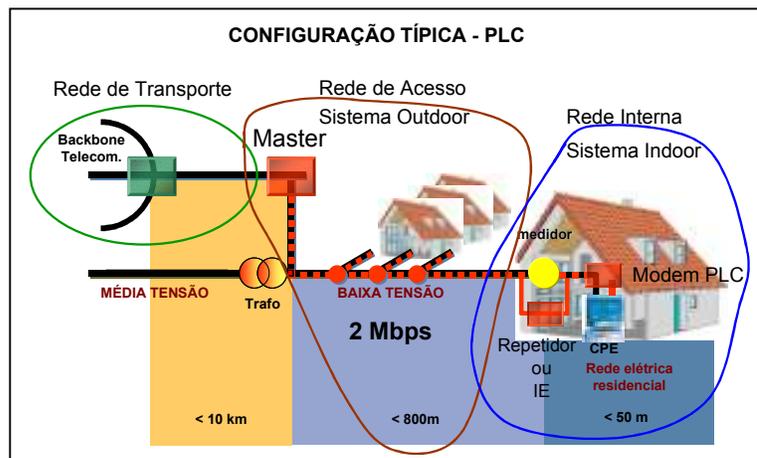


Fonte: UFF/COPPE.

Figura 37 - Topologia da rede domiciliar usando a fiação elétrica.

O sistema *Outdoor* PLC (ultima milha) é o sistema que utiliza a rede elétrica de distribuição (linhas e alguns equipamentos) das companhias distribuidoras de energia elétrica

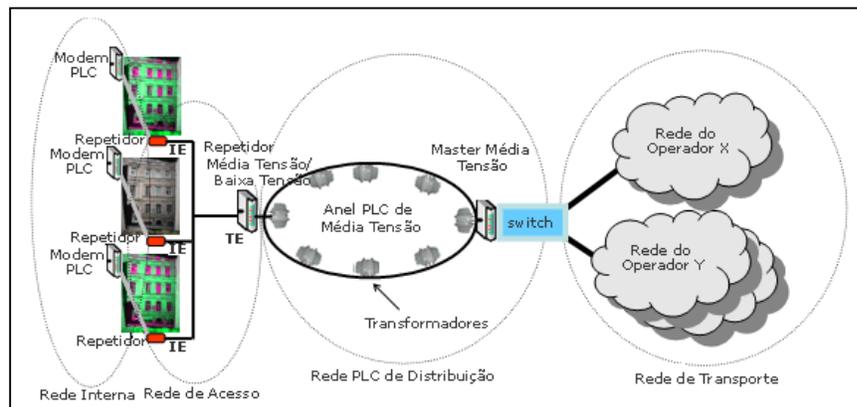
- na topologia mais usada, ou seja, em baixa tensão como se pode ver na figura 38;



Fonte: CEMIG

Figura 38 - Topologia típica de rede PLC de baixa tensão.

- na topologia que utiliza as redes elétricas de baixa e média tensão das EDEE como se pode ver na figura 39.



Fonte: ENDESA

Figura 39 - Topologia típica de rede PLC baixa mais média tensão.

Se depender da aplicação PLC, pode-se utilizar um sistema *Indoor* ou uma configuração composta de um sistema *Indoor* mais um sistema *Outdoor* em baixa tensão *como acesso* e as redes de média tensão das EDEE *como backbone*. No decorrer deste capítulo, configurações diferentes ou arquiteturas acopladas a modelos de negócios serão propostas e analisadas.

5.2 Soluções Técnicas ou Arquiteturas Propostas de Sistemas PLC

A seguir, propõem-se seis soluções técnicas ou propostas de seis arquiteturas que definirão seis modelos de negócios.

Um sistema de telecomunicações é constituído de três subsistemas: o subsistema de acesso, o subsistema nó ou processamento e o subsistema *Backbone* (COLCHER, LEMOS, SOARES, 2000; TANENBAUM, 2003).

5.2.1 Definições e Análise das Arquiteturas Propostas

Subsistema de Acesso

O subsistema de acesso é a composição do acesso interno ou rede domiciliar e do acesso externo ou a rede de telecomunicações que interliga o domicílio à central.

Rede Domiciliar

Uma rede domiciliar é um sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências, normalmente restritos a uma distância de 300 metros, e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer. Nestas redes as aplicações de controle, monitoramento e automação domiciliar requerem baixas taxas de transmissão e bandas. Porém, as aplicações relativas ao entretenimento (multimídia), vídeo e áudio requerem altas taxas de transmissão, baixo atraso e baixa taxas de variação do atraso. As redes domiciliares apresentam baixo custo, fácil de instalar e usar. Contudo são limitadas a poucos ambientes nos domicílios já construídos. Com o advento das aplicações de áudio, vídeo, multimídia e outras a necessidade de conectividade deverá, em pouco tempo, se estender para todos os cômodos ou ambientes do domicílio.

Soluções de Redes Internas

As tecnologias citadas a seguir estão atualmente disponíveis no mercado de redes domiciliares e foram consideradas como soluções de redes internas para as arquiteturas apresentadas

- *Ethernet* com fio
- *Wi-Fi* (802.11b e 802.11g)
- *Wi-Fi* (802.11a)
- *Phone Line Home* - PNA
- *Powerline Home Plug*
- *Bluetooth*
- *ZigBee*

Acesso Externo ou Última Milha

No atual sistema de telecomunicações do nosso país e de todo o mundo é a rede de acesso ou última milha o subsistema deficiente. A não facilidade do uso, o preço alto dos serviços de telecomunicações para o usuário, o custo alto para a implementação de novas redes de acesso, baixa capilaridade são características, entre outras, do atual subsistema de acesso brasileiro (MARTINS, 2005).

Soluções de Redes Externas

Atualmente no mercado de telecomunicações existem as tecnologias, citadas a seguir, como soluções de redes externas e foram consideradas na análise das arquiteturas apresentadas

- Acesso via par metálico (xDSL e RDSI)
- Acesso via fibra óptica (FTTX)
- Acesso via cabo coaxial mais fibra óptica (HFC)
- Acesso via sistema *wireless* (rádio e/ou satélite)
- Acesso via rede elétrica (PLC)

Subsistema Nó ou Processamento

Subsistema nó ou Central de Comutação viabiliza o processamento ou as conexões entre os usuários do sistema de telecomunicações. O nó é constituído das centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito. Nas centrais locais estão conectados os usuários de uma mesma área urbana ou numeração. As centrais tandem servem de alternativa para o tráfego entre as centrais locais, e as de trânsito encaminham o tráfego interurbano e internacional.

Soluções de Subsistema Nó ou Processamento

São centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito das empresas operadoras de telefonia fixa e comunicação de longa distância.

Subsistema *Backbone*

Subsistema *backbone* é o subsistema que faz a interligação entre dois ou mais nós; ele é o responsável pela transmissão em longa distância.

Soluções de Subsistema *Backbone*

- Rádio
- Fibra Óptica (cabos ópticos)
- Par metálico
- Satélite

5.2.2 Arquiteturas Propostas de Sistemas PLC

Arquitetura do Modelo 1

O sistema de telecomunicações deste modelo é constituído pelos subsistemas

- **Acesso:**

- **Acesso interno:** *Power Line Home Plug* (PLC)
- **Acesso externo:** rede elétrica (PLC)

- **Nó ou processamento:** Centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito das empresas operadoras de telefonia fixa e comunicação de longa distância e definidas por aquelas empresas.

- **Backbone:** Sistema das empresas de telecomunicações que pode ser uma solução via fibra óptica, ou *wireless* (rádio ou satélite) ou em alguns casos a rede elétrica de distribuição em média tensão das EDEE.

A figura 40 caracteriza a arquitetura deste modelo. O *backbone* injeta o sinal de telecomunicação através de um acoplador indutivo ou capacitivo (a depender do nível de tensão) no enrolamento secundário do transformador de distribuição de energia ou célula PLC que pode atender até 300 domicílios, dependendo das condições da rede elétrica ou linha de distribuição.

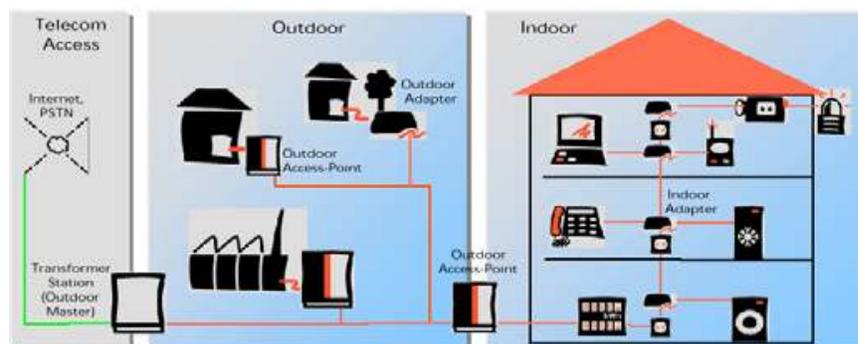


Figura 40 - Arquitetura do modelo 1.

Arquitetura do Modelo 2

O sistema de telecomunicações deste modelo é constituído pelos subsistemas

- **Acesso:**

- **Acesso interno:** *Phone Line Home* – PNA
- **Acesso externo:** rede elétrica (PLC)

- **Nó ou processamento:** centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito das empresas operadoras de telefonia fixa e comunicação de longa distância e definidas por aquelas empresas.

- **Backbone:** Soluções locais via *wireless* ou fibra ótica (das empresas regionais operadoras de telecomunicações) e para longa distância as soluções *wireless* ou satélite (das empresas de comunicação de longa distância).

Arquitetura do Modelo 3

O sistema de telecomunicações deste modelo é constituído pelos subsistemas

- **Acesso:**

- **Acesso interno:** *Phone Line Home* – PNA
- **Acesso externo:** rede elétrica (PLC)

- **Nó ou processamento:** centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito das empresas operadoras de telefonia fixa e comunicação de longa distância e definidas por aquelas empresas.

- **Backbone:** Sistema das empresas de telecomunicações que pode ser uma solução a seguir:

- Cabos ópticos comuns, enterrados diretamente ou em dutos.
- *Wireless* (enlaces até 70 metros e repetidoras, nas diversas opções *wireless*).

Arquitetura do Modelo 4

O sistema de telecomunicações deste modelo é constituído pelos sub-sistemas

- **Acesso:**

- **Acesso interno:** *Power Line Home Plug*
- **Acesso externo:** rede elétrica (PLC)

- **Nó ou processamento:** centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito das empresas operadoras de telefonia fixa e comunicação de longa distância e definidas por aquelas empresas.

- **Backbone:** Sistema das empresas de telecomunicações que pode ser uma solução a seguir:

- *Wireless* (enlaces até 50 metros e repetidoras, nas diversas opções *wireless*).
- Cabos ópticos comuns, enterrados diretamente ou em dutos.
- Cabos ópticos OPGW (*Optical Ground Wire*), em torres de energia elétrica.

Arquitetura do Modelo 5

O sistema de telecomunicações deste modelo é constituído pelos sub-sistemas

- **Acesso:**

- **Acesso interno:** *Power Line Home Plug*
- **Acesso externo:** rede elétrica (PLC)

- **Nó ou processamento:** Centrais espaciais/temporais locais, tandem e trânsito das empresas operadoras de telefonia fixa e comunicação de longa distância e definidas por aquelas empresas.

- **Backbone:** Sistema das empresas de telecomunicações que pode ser uma solução a seguir:

- Cabos ópticos comuns, enterrados diretamente ou em dutos.
- *Wireless* (enlaces até 70 metros e repetidoras, nas diversas opções *wireless*).

Arquitetura do Modelo 6

Definir as redes domiciliares a partir da seguinte solução:

- redes PLC *indoor*

5.3 Modelo de Negócios dos Sistemas PLC

Idéia PLC

De início, acreditando-se que o negócio PLC pode se transformar num negócio de sucesso, serão analisadas as seguintes questões (DORNELAS, 2005):

- 1) Qual o mercado que o PLC atende?
- 2) Qual o retorno econômico que o PLC proporcionará?
- 3) Quais as vantagens competitivas que ele trará aos negócios?
- 4) Qual é a equipe que transformará essa oportunidade em negócio?
- 5) Até que ponto o empreendedor está comprometido com o negócio?

Vale ressaltar que todas as respostas passam por um plano de negócios (*business plan*), que é um documento elaborado e usado para descrever um empreendimento e o modelo de negócios que sustenta a empresa. Posteriormente, um plano de negócios de uma empresa fictícia denominada PLC Brasil será elaborado. Nesse documento, as referências ou paradigmas a serem utilizados serão o ambiente de negócios de uma região do país,

onde serão realizadas analogias e simulações com o mercado, empresas e apresentação de dados reais daquela localização para o negócio PLC.

5.4 Mercado

Analisando-se a primeira pergunta pode-se afirmar que atualmente o mercado de telecomunicações é caracterizado pela procura cada vez mais freqüente por serviços que requeiram uma alta capacidade de banda que são os serviços banda larga.

Em ambientes empresariais, governamentais, educativos e domésticos, os usuários passaram a exigir serviços com qualidade e com preços atrativos que necessitam de uma grande capacidade de transmissão de dados e comunicação em alta velocidade, tais como:

- comunicação de dados;
- Internet banda larga e telefonia (VoIP);
- vídeo conferência;
- *home banking*;
- *home shopping*;
- telemetria;
- telemedicina;
- TV via Internet (IPTV);
- multimídia e outras aplicações.

Esses usuários representam os segmentos B2B (empresa – consumidor) e B2C (empresa – empresa) do negócio telecomunicações, altamente promissor e que apresenta alto crescimento. O conjunto da indústria de equipamentos e serviços de *software*, *hardware* e telecomunicações chega a aproximadamente US\$ 70 bilhões – cerca de 10% do PIB (TELECO, 2005).

Os dados mostrados nas tabelas 4, 5 e 6, a seguir, que definem o mercado de telecomunicações no Brasil ou mercado do negócio PLC.

I) Dados Globalizados

Na tabela 4 encontram-se os dados macroeconômicos do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2005).

Tabela 4 - Indicadores macroeconômicos

Brasil	2002	2003	2004	2005
População (Estimativa do IBGE)	176.391.015	178.985.306	181.586.030	185.441.189
Área total	8.514.215,3 km ²			
PIB (R\$ milhões)	1.346.028	1.556.182	1.766.621	1.769.202 (julho)
PIB (crescimento anual real)	1,93%	0,54%	4,9%	5,2% (junho)
Renda <i>per capita</i>	R\$ 7.631	R\$ 8.694	R\$ 9.014	
PIB <i>per capita</i> (crescimento anual real)	0,44%	- 0,91%	3,7%	

Fonte: IBGE

Na tabela 5 estão representados os números de usuários de telecomunicações em nosso país no período de 2002 a 2005.

Tabela 5 - Número de usuários ou terminais de telecomunicações

Brasil	2002	2003	2004	2005
Telefones fixos em operação (milhões)	38,80	39,20	40**	37,7
Celulares em operação (milhões)	34,88	46,37	65,61	85,6
TV por assinatura (milhões assinantes)	3,52	3,55	3,77	4,18
Usuários de Internet Residenciais (<i>Netratings</i>) (milhões)	14,30	20,50	17,90	18,9
Conexões de banda larga (milhões)	0,70	1,20	2,26	

Fonte: TELECO

II) Investimentos em Telecomunicações (em bilhões de reais)

No período de 2000 a 2005, podemos observar que a tabela 6 ilustra o volume de investimento no setor das telecomunicações do país.

Tabela 6 - Investimentos em telecomunicações

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Total	19,0	19,0	18,7	18,5	18,5	18,5
Serviços Fixos (1)	11,8	9,9	8,8	7,7	7,2	6,8
Serviços Móveis (2)	4,2	5,5	6,4	7,0	7,4	7,8
Serviços de comunicação de massa (3)	3,0	3,6	3,5	3,8	3,9	3,9

Fonte: ANATEL

III) Posição do Brasil no Mundo em 2004

A participação do Brasil no mercado mundial apresenta características que reafirmam o grande mercado de telecomunicações a ser explorado em nosso país. Este fato é ilustrado na tabela 7.

Tabela 7 - Posição do Brasil no Mundo em 2004

	Mundo	Américas	América Latina	América do Sul
População	2,9%	20,7%	35,4%	49,4%
Total Telefones	3,7%	16,2%	41,2%	56,1%
Telefones Fixos	3,5%	14,3%	44,8%	58,7%
Celulares	3,8%	17,7%	39,2%	54,5%
Hosts Internet	1,3%	1,7%	52,1%	68,3%
Usuários Internet	2,5%	8,2%	36,9%	51,8%
Total de PCs	2,5%	6,7%	40,9%	56,8%

Fonte: TELECO

5.4.1 Entendendo o Mercado

Telefones Fixos

O número de linhas fixas em uso vem decrescendo: em 2003, havia 39,2 milhões de linhas fixas instaladas. Em julho de 2005, este número reduziu para 37,7 milhões de acessos instalados pelas seguintes razões:

- falta de meio de acesso (última milha), principalmente na área rural;
- aumento do preço da assinatura (os consumidores mais pobres que não conseguem manter a linha fixa habilitada aderem ao sistema móvel pré-pago, pagando muito mais pelas ligações realizadas e deixando de ter acesso ao serviço essencial);
- ausência de um programa de telefonia fixa por parte das operadoras de telefonia fixa e de governo para atender as classes D e E.

Em relação à densidade de telefones por 100 habitantes, o Brasil ocupava, em 2004, o 64^o em telefones fixos.

Telefones Móveis (celulares)

O mercado da telefonia teve um crescimento de aproximadamente 30,5% em 2005, alcançando um total de 85,6 milhões de celulares e a posição de 5^o lugar a nível mundial.

Em relação à densidade de telefones por 100 habitantes, o Brasil ocupava em 2004 o 73^o lugar em celulares.

TV por Assinatura

Mercado em crescimento no país teve aumento de aproximadamente 11% em 2005, atingindo um total de 4,18 milhões de usuários no Brasil. É um campo ainda a ser explorado nas classes C, D e E.

Banda Larga

A banda larga é caracterizada pela Internet e outras aplicações como vídeo conferência, vigilância, telemedicina, multimídia, *home shopping* e outras. Contudo, a Internet é representada por um mercado de aplicações residenciais e de empresas, tais como comunicações de dados e voz, destacando-se as aplicações multimídia, voz via Internet (**VoIP**) e TV via Internet (**IPTV**).

A penetração de Internet em banda larga no mercado brasileiro de telecomunicações apresenta o perfil a seguir:

1) Mercado Domiciliar de Internet no Brasil

- O mercado domiciliar atingiu 18,9 milhões de usuários com um crescimento de 5% nos lares brasileiros ao final de 2005.

- O IBGE – Pnad de 2004 – mostra que o uso de Internet nos domicílios, mesmo tendo aumentado, continua restrito a uma minoria de 12,4% de residências. Nas 87,6% sem acesso à Internet, vivem 152 milhões de pessoas, ou seja, 84% da população brasileira que representa um mercado a ser explorado.

- Um estudo da consultoria Arthur D. Little estima que a Internet em banda larga chegue a 22 milhões de domicílios brasileiros em 2010, um crescimento bastante razoável, pois segundo o PNAD 2004 (IBGE) o Brasil possuía um total de 6,3 milhões de domicílios ou 21,6 milhões de pessoas. Mas, para que isso aconteça, é necessários a oferta de novos serviços, com conteúdo educacional e outros conteúdos mais atraentes como IPTV e VoIP, além de políticas públicas que incentivem a demanda pelas inovações como, por exemplo, a inclusão digital.

Em número de usuários, todas as categorias da Internet apresentaram crescimento em 2005, com exceção do segmento Ocasões Especiais, que ficou estável.

Tomando como paradigma o ano de 2004, as categorias que mais cresceram em acessos na Internet residencial foram Viagens e Turismo (93%), Casa e Beleza (67%), Família e Estilo de Vida (48%), Governo e Empresas Sem Fins Lucrativos (44%), Educação e Carreira (39%), Automóveis (39%), Informações Corporativas (38%) e Notícias e Informações (33%). O aumento no acesso a estas categorias reflete a crescente adoção da Internet em banda larga, que já é a conexão usada por 62% dos internautas ativos residenciais, segundo o Ibope. Porém, o número de pessoas que nunca utilizaram um computador chega à marca de 55% da população nacional ou 102 milhões de pessoas, uma demanda considerável a ser conquistada.

Os computadores já chegaram a 16,6% das casas brasileiras e 13,8% de toda a população usa um computador diariamente. No Brasil, enquanto 88,7% da classe A possuem PC, apenas 2% da população das classes D e E conta com computador. Na classe B, 55,5% possuem o equipamento em casa e, na classe C, somente 16,1%. "Uma pessoa da classe A tem 46 vezes mais chances de comprar um micro", afirma o diretor da *Ipsos-Opinion Clifford Young*.

A falta de computador é apontada por 46% da população como barreira ao uso da Internet. O alto custo da máquina foi apontado por 26% dos brasileiros, e o preço elevado do acesso por 16%.

Uma das soluções se daria através de programas de inclusão digital, onde os governos federal, estadual e municipal facilitariam o acesso à Internet em centros públicos e por meio de programas para a aquisição de equipamentos com preços reduzidos, como o "Computador para Todos" do governo federal.

Recente pesquisa, a *Ipsos-Opinion* mostra que 47,4% da classe C, alvo do PC popular, pagaria até R\$ 1.500,00 por um computador e que 35% da população não responderá a políticas de preços e subsídios por falta de renda disponível. "As classes D e E não são sensíveis a programas de redução de preços de computadores", afirma o diretor da *Ipsos-Opinion*, defendendo a expansão do acesso à Internet em escolas e centros públicos para atingir principalmente os jovens dessas camadas sociais.

Segundo pesquisa do IBOPE, nos últimos três meses, cerca de 13,5 milhões de pessoas acessaram a Internet de seus domicílios. Menos de 1% da população teve acesso a Internet de pontos públicos, como os telecentros e 32,1 milhões acessaram a Internet de qualquer local. Segundo o estudo, 10% navegaram na *web* de casa, 6% no trabalho e 5% na escola. A Internet foi utilizada no período para fins educacionais por 41%, para fins pessoais por 32% e para fins de trabalho por 26%.

No ano de 2005, ou seja, no período de 12 meses, se compararmos 40% (o número de acessos para algum tipo de serviço de e-gov pela Internet) com 6,3% (o número de acesso para a compra de algum produto ou serviço pela Internet) verifica-se que o comércio eletrônico é uma atividade ou negócio que esta iniciando.

O brasileiro paga em média cerca de R\$ 130,00 por mês (cerca de US\$ 56 dólares) pelo serviço de Internet, enquanto os norte-americanos gastam US\$ 35.

2) Mercado das Empresas de Internet no Brasil

O Brasil tem um significativo setor industrial de telecomunicações e informática. Empresas multinacionais como a IBM, Dell e HP-Compaq, junto com empresas nacionais como a Itautec, Positivo e outras, mantêm modernas linhas de produção de computadores no país, com tecnologia *just-in-time*.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de telefones celulares e grande produtor de equipamentos de telecomunicações, incluindo a produção de cabos de fibra óptica, centrais digitais, transceptores, semicondutores (incluindo memórias) e outros equipamentos e materiais.

Um estudo recente realizado pelo Ipsos-Opinion com 2.030 empresas com mais de 10 funcionários foi mostrado que 98,76% das companhias brasileiras utilizaram computador e 96,29% tiveram acesso à Internet nos últimos 12 meses.

Grande parte das companhias, 78,96%, usou a Internet para serviços bancários e financeiros e 64,78% para interagir com órgãos públicos.

Das empresas que acessam a Internet, 57,95% usam conexão DSL, 45%, modem tradicional e 23,95% banda larga móvel.

O número médio de empregados que usam computador é de 17,60% e 16,54% das companhias têm funcionários acessando a rede à distância.

Segundo o Comitê Gestor da Internet no Brasil, em dezembro de 2005 o número de domínios.br (*sites*) chegaram a 858.596 e apresentaram um crescimento de 1% sobre os 850.228 domínios de novembro.

No Anexo 4 encontra-se estudo sobre o mercado de internet realizado pela *Ipsos-Opinion* de forma detalhada.

Em agosto e setembro de 2005 o Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) se uniu ao IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, ao Instituto *Ipsos-Opinion* e ao Ibope//NetRatings na apuração de indicadores sobre penetração e uso da Internet no país. O resultado foi o seguinte:

- 68% da população nunca utilizaram a Internet
- 24% da população utilizaram nos últimos três meses
- 9,6% da população usam a Internet diariamente
- 41% da população utilizam Internet para atividades educacionais
- 32% da população utilizam Internet para fins pessoais
- 26% da população utilizam Internet para trabalho

O Brasil ocupa a décima posição em usuários de Internet, nona posição em número de PCs e sétima posição em servidores de Internet (*Hosts*) e primeira posição em tempo navegado em casa, ou seja, 18 horas em dezembro de 2005.

O PIB do primeiro semestre de 2005 foi de R\$ 918,6 bilhões e a participação das atividades de comunicações no PIB nos anos de 2002 e 2003 é mostrada na tabela 8:

Tabela 8 - Participação das atividades de comunicações no PIB

	2002	2003
Valor adicionado ao PIB a preços Básicos	2,72%	3,16%
Pessoal ocupado	266.800	269.900

Fonte: IBGE, contas nacionais 2002.

A tabela 8 e os dados já apresentados mostra que o mercado de telecomunicações brasileiro é caracterizado por um grande potencial e alto crescimento, principalmente na Banda Larga. O PLC como uma rede de acesso ou última milha poderá atender a todos os usuários deste mercado e os que não utilizam os serviços de telecomunicações por falta de um acesso (última milha).

5.4.2 Principais Competidores ou Sócios

Em 1998, após o processo da privatização das telecomunicações em nosso país, o sistema Telebrás foi desmembrado em 12 empresas, inicialmente, e, atualmente, em 28 empresas. A composição atual ficou assim: seis empresas de telefonia fixa, 20 empresas de telefonia celular (oito na banda A, 10 na banda B e duas nas bandas D e E) e duas empresas de

comunicação de longa distância. Assim, as operadoras de celular foram separadas das empresas de telefonia fixa. Constam ainda: 28 empresas conhecidas como comunicações e redes e 1.275 empresas denominadas Provedores de Serviços de Internet, todas para a banda larga.

No Brasil, as Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica são proprietárias da infraestrutura PLC, ou seja, linhas de distribuição de energia elétrica de media e baixa tensão. Desta forma, essas empresas poderão explorar o PLC como meio de acesso ou última milha sozinhas ou associadas às empresas referidas através da comercialização da infra-estrutura ou rede PLC como a manutenção, uso mútuo da rede elétrica de distribuição das EDEE ou outros serviços a depender do modelo de negócio acordado entre as empresas.

5.5 Análise Econômica

Nesta seção procura-se fazer uma análise das possibilidades de retorno econômico do empreendimento, ou seja, o retorno financeiro sobre o investimento, mesmo tomando referências comparativas, tais como

- investimento inicial;
- lucro final do empreendimento;
- ponto de equilíbrio;
- fluxo de caixa positivo;
- prazo de retorno de investimento;
- investimento no mercado financeiro.

Como exemplo, usamos como base o negócio PLC, que será apresentado no Plano de Negócio neste Capítulo. Pode-se observar que a taxa de retorno de investimento é alta devido aos baixos níveis de investimento requeridos pelas redes PLC. Não sendo preciso fazer grandes investimentos nas redes elétricas de distribuição, o investimento necessário para os sistemas PLC é o custo de equipamentos, mão-de-obra e transporte. Desta forma, o empreendimento tem características de viabilidade econômica e alta capilaridade.

5.6 Vantagens Competitivas

Quais as vantagens competitivas que o PLC trará aos negócios?

Sabe-se que as vantagens competitivas estão necessariamente ligadas a diferenciais que proporcionam um ganho para o consumidor. O diferencial pode ser conseguido através

de estruturas enxutas, menor custo de implementação de um sistema, serviço de menor custo e menor preço final. Por sua vez, o PLC apresenta os seguintes itens que são diferenciais para o consumidor se comparados aos diversos meios de acesso ou tecnologias de acesso existentes atualmente:

- Capilaridade da rede elétrica: a rede elétrica está presente em 96% dos lares com tendências de ampliação deste percentual por conta de programas em fase de implantação como “Luz no Campo” e outros. Pode-se dizer que o satélite seria o único concorrente com o PLC neste item, porém o custo de uso desta tecnologia para conectividade é muito alto e favorece ao PLC.

- Custos de implantação reduzidos: a rede elétrica existente é a variável de maior peso no custo global da implementação de um sistema PLC. Portanto, o investimento em PLC torna-se reduzido por conta da existência da rede elétrica. Em localidades onde exista facilidade para a instalação do xDSL, ou seja, tenham linhas telefônicas, o investimento para o acesso PLC nesse caso é equivalente ao investimento do acesso xDSL.

- Permite o uso de aplicações em banda larga e banda estreita, atualmente taxas de transmissão (pico) de 250 Mbps por Célula PLC de no máximo 300 consumidores (50 consumidores na COPEL). Assim, aplicações banda larga (Internet, VoIP, IPTV) e aplicações banda estreita (gestão de fraude e consumo, automação dos sistemas ou redes elétricas) e outras aplicações nas EDEE, agregarão valor ao produto final (a energia elétrica), reduzindo os custos operacionais e administrativos das EDEE, além de ampliar a qualidade e a confiabilidade do produto e dos sistemas envolvidos dessas empresas.

- O negócio ou idéia PLC se explorado comercialmente pelas EDEE, poderão ser aproveitados os recursos humanos existentes, prédios para administração e atendimento ao público, assim como a infra-estrutura de faturamento, entrega de contas dos consumidores, informática e outras. Desta forma o preço final para o consumidor torna-se menor.

- Conectividade permanente (Internet com disponibilidade 24 horas do dia).
- Transformação da rede elétrica de distribuição predial ou residencial em uma rede local de dados.

- Cada tomada é um ponto de acesso de uso simples e descomplicado.
- Solução do acesso de melhor custo/benefício – última milha, inclusive para as operadoras de telefonia. Desta forma, permite programas de investimentos para inclusão digital no país por parte dos governos federal, estadual e municipal e também a competição naquele seguimento de prestação de serviço.

- Tecnologia comprovada, superior e disponível para uso.
- Nos Estados Unidos, Europa e também no Brasil já foi implantada uma indústria desenvolvida para o mercado de PLC.

5.7 Equipe Gerencial

No ambiente de negócios qualquer capitalista de risco (investidor) com certeza apontará a equipe gerencial como a principal característica em um negócio. Uma idéia pode ser boa, o mercado espetacular para o produto criado daquela idéia e o empreendedor ter desenvolvido um bom plano de negócios, mas se a equipe não estiver à altura do negócio criado, fatalmente o resultado desse empreendimento é o fracasso. A competência no negócio, ou seja, o conhecimento prévio ou a experiência no ramo é muito importante, pois pode evitar prejuízos por conta de muitos erros e gastos desnecessários além de agregar um conhecimento singular ao negócio.

O foco não se restringe apenas à equipe gerencial. É de fundamental importância no negócio também a formação da equipe. Em (DORNELAS, 2003), a equipe tem que ter formação eclética, multidisciplinar, pois será um grande diferencial por conta da equipe ser composta por perfis com habilidades complementares. Além dessas características, todas as pessoas que participam do empreendimento têm de ter orgulho, desprendimento e paixão no desempenho diário das atividades do negócio.

5.8 Comprometimento do Empreendedor com o Negócio PLC

As definições de Empreendedorismo são várias, mas sua essência se resume em fazer algo novo, diferente, mudar a situação atual e buscar, de forma incessante, novas oportunidades de negócio (inovar), tendo como foco a inovação e a criação de valor, além de empregar os recursos disponíveis de forma criativa assumindo os riscos calculados. As pessoas com estas características em negócios são chamadas de empreendedoras. O empreendedor é aquele que detecta uma oportunidade e cria um negócio para capitalizar sobre ela, assumindo riscos calculados. Em qualquer definição de empreendedorismo encontram-se, pelos menos, os seguintes aspectos referentes ao empreendedor:

- 1) iniciativa para criar um novo negócio e paixão pelo que faz;
- 2) utiliza os recursos disponíveis;
- 3) aceita assumir os riscos calculados e a possibilidade de fracassar.

Em primeiro lugar o empreendedorismo envolve todas as funções, atividades e ações com a criação de novas empresas. Em segundo lugar requer a devoção, o comprometimento de tempo e o esforço necessário para fazer a empresa crescer. Em terceiro lugar o empreendedorismo requer que riscos calculados sejam assumidos e decisões críticas tomadas; é preciso ousadia e ânimo apesar das falhas e erros.

Quando se fala em inovação, a semente do processo empreendedor, remete-se naturalmente ao termo inovação tecnológica. Para que se interprete o processo empreendedor ligado às empresas de base tecnológica é preciso entender que as inovações tecnológicas têm sido o diferencial do desenvolvimento econômico mundial. E o desenvolvimento econômico é dependente de quatro fatores críticos:

- 1) investimento de capital de risco;
- 2) infra-estrutura de alta tecnologia;
- 3) idéias criativas;
- 4) cultura empreendedora focada na paixão pelo negócio

ou

- 1) talento – pessoas;
- 2) tecnologia – idéias;
- 3) capital – recursos;
- 4) *know-how* – conhecimento.

O resultado dos fatores acima são negócios de sucesso.

No caso do PLC, uma inovação tecnológica, o empreendedor comprometido com este negócio precisa ter sempre em mente as seguintes fases do processo:

- 1) identificar e avaliar a oportunidade ou idéia PLC;
- 2) desenvolver o plano de negócios do PLC;
- 3) determinar e captar os recursos necessários para o negócio PLC;

4) gerenciar a empresa criada, lembrando que plano de negócios é uma ferramenta dinâmica de gestão para o planejamento e desenvolvimento de uma empresa de forma contínua e a formação da equipe e do próprio empreendedor também tem que ser contínua.

5.9 O Negócio PLC

5.9.1 Modelos de Negócios

O negócio PLC a ser proposto passa pela exploração dos seguintes modelos de negócios definidos a partir de uma solução técnica ou uma arquitetura de sistema PLC:

Modelo 1: Empresas distribuidoras de energia elétrica como operador único

Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica (EDEE) como operador único do PLC. Nesse modelo a empresa de energia elétrica possui o monopólio do acesso PLC e passa a ser um Provedor de Serviços da Internet, como IPTV e VoIP, além de comercializar o acesso a serviços como telefonia, vigilância, telemetria, videoconferência, governança e inclusão digital.

Modelo 2: Empresas operadoras dos serviços de telecomunicações com o PLC

Empresas operadoras dos serviços de telecomunicações (Telecom) comercializando o uso da infra-estrutura PLC e a manutenção das redes PLC com as EDEE. Nesse modelo, as empresas Telecom ampliam o número de clientes e, entre esses, os Provedores de Serviços da Internet e comunicações e redes em banda larga.

Modelo 3: Empresas Provedoras de Serviços de Internet (ISP) com o PLC

Empresas Provedoras de Serviços de Internet (ISP) ampliando a área de abrangência ou atuação, resultando na ampliação dos clientes e da rede através da comercialização do uso da infra-estrutura PLC e a manutenção das redes PLC com as empresas distribuidoras de energia elétrica. Os serviços contratados às distribuidoras poderiam ser ampliados, tais como atendimento aos clientes, faturamento, entrega das contas e outros.

Modelo 4: Empresas de satélites com o PLC

Empresas proprietárias de satélites (comunicações e redes em banda larga) que cobrem o país via satélite sem o uso da linha telefônica poderiam utilizar as redes PLC das EDEE e melhorar o desempenho da ocupação da canalização existente via satélite.

Modelo 5: Empresas de governo e privadas com o PLC

Empresas de governo e privadas alugando canais PLC as EDEE para melhorar desempenho dos seus serviços. Na área de governo a governança nas áreas da educação, habitação (CDHU – São Paulo), financeira, previdenciária, planejamento, saúde, segurança e outras. As empresas privadas aperfeiçoarão os serviços de cobrança eletrônica, ou seja, cartão magnético em estabelecimentos comerciais, por exemplo, supermercados e *Shopping* no período do Natal, controle de estoque (almojarifado), o comércio eletrônico e o acesso à Internet.

Modelo 6: Ambientes domiciliares com o PLC

As EDEE ampliam a sua margem de lucro através de serviços de manutenção, planejamento, projetos e construção das redes domiciliares.

A seguir, serão citados alguns itens que representam conforto ao usuário no seu ambiente domiciliar, onde a automação permite controlar a residência remotamente e poupar tempo com determinadas tarefas, tais como

- Telefonia: sistema telefônico, intercomunicadores, porteiros eletrônicos.
- Informática: rede doméstica, acesso compartilhado, serviço via Internet.
- Rede elétrica: controle de cargas, sistemas de distribuição, monitoramento de falhas, sistemas de geração de emergência, tarifas setorizadas.

- Segurança: circuito fechado de TV, alarmes, monitoramento, controle de acesso de pedestres e veículos, prevenção de acidentes, iluminação de segurança, detecção de gases, fumaça e calor, alarme de incêndio, sistemas de apoio ao combate de incêndios, simulador de presença, controle de rondas.
- Iluminação: iluminação ambiente, iluminação decorativa, iluminação externa, cenas de iluminação.
- Controle predial: elevadores com aspiração central.
- Hidráulica e gás: aquecimento e pressurização de água, poços, saunas, estações de tratamento de água e esgoto, bombas, irrigação, piscina, águas ornamentais, sistema de controle e distribuição de gás.
- Entretenimento: *home-theater*, TV por assinatura, distribuição de vídeo, som ambiente, jogos eletrônicos, multimídia.
- Climatização: ar-condicionado, ventilação, controle de janelas, cortinas e persianas.

5.9.2 Alguns Exemplos do Negócio PLC

Inclusão Digital – Barreirinhas (ilha digital)

É um caso típico de inclusão digital do Modelo de Negócios 5. A localidade de Barreirinhas, município do estado do Maranhão, está situada na região dos lençóis maranhenses, ou seja, a 272 km da capital São Luis. É caracterizada pelos dados a seguir (FITEC INOVACOES TECNOLOGICAS, 2005)

- população: 39.699 habitantes;
- atividade econômica: comércio e turismo;
- índice de desenvolvimento humano: 0,552

A tabela 9 reflete as condições sociais da comunidade de Barreirinhas. Esta comunidade necessita de educação, de renda, de assistência social e de inclusão digital.

Tabela 9 - IDH da comunidade de Barreirinhas

IDH-E (Educação)	IDH-L (Longevidade)	IDH-R (Renda)	IDH-M (Médio)
0,608	0,590	0,458	0,552

- posição no *ranking* brasileiro: 5287
- referência: IDH-M Brasil : 0,757 (73^º no ranking mundial)
 - até 0,499 (baixo);
 - 0,500 – 0,799 (médio);
 - ≥ 0,800 (alto).

Neste projeto, a figura do empreendedor é representada pelo FORUM APTEL PLC Brasil, e a do investidor, pelas empresas: Prefeitura Municipal de Barreirinhas (apoio institucional e logístico); SEBRAE (suporte à implantação e durante o período de operação); FITec (coordenação do projeto); ELETROPAULO (Fornecimento de equipamentos e assessoria técnica); CEMAR (infra-estrutura de rede de energia e instalação de equipamentos); CELG (assessoria técnica); eba-PLC (fornecimento e instalação de equipamentos); SAMURAI (fornecimento e configuração de computadores); POSITIVO (projeto pedagógico/*software* educacional); *Star One* (*Backbone* de Dados – Satélite); iHOUSE (Fornecimento das câmaras); FourComm (Fornecimento do Totem).

Para o acesso, uso e integração da população com os sistemas de comunicação digital banda larga foram disponibilizados alguns domicílios onde são realizadas as aplicações de inclusão:

Escola Anacleto de Carvalho:

- acesso ao portal Aprende Brasil da Empresa Positivo
- construção de *Home-pages*
- edição de jornal *on-line* da escola
- pesquisas orientadas através da Internet
- correio eletrônico (e-mail)
- acesso geral a Internet.

Centro de Artesanato do Sebrae:

- acesso *on-line* ao Centro de Resultados do Sebrae:
 - cursos via Internet
 - exposição e comercialização de produtos de artesanato
 - divulgação e agendamento de cursos de aperfeiçoamento
 - divulgação de novos materiais
- correio eletrônico (e-mail)
- acesso geral a Internet.

Secretaria da Saúde:

- acesso às aplicações do Ministério da Saúde
- campanhas e mobilizações de saúde
- consulta ao banco de dados do Sistema Único de Saúde
- convênios
- acesso geral à Internet
- correio eletrônico (*e-mail*)
- banco de preços: medicamentos, materiais, insumos e serviços

O projeto foi subdividido em duas etapas. A fase I foi concluída em novembro de 2005 e apresentou os resultados:

- duração: 4 meses
- 13 entidades envolvidas
- mais de 1.000 pessoas beneficiadas diretamente

A fase II entrou em operação em fevereiro de 2006. Nesse caso o projeto é tratado como cidade digital e não mais ilha digital. A diferença básica entre esses dois conceitos é a área de abrangência ou inclusão digital das localidades desprovidas de sistemas de comunicações.

Projeto CDHU

Nessa aplicação, empreendedores e acionistas (Governo do Estado de São Paulo e as empresas Eletropaulo e Samurai) estão envolvidos no projeto CDHU para levar os serviços de comunicações banda larga através de sistemas PLC e promover a medição individualizada a distância do consumo de água, gás e eletricidade em conjunto Habitacional de interesse social, ou seja, de pessoas transferidas das favelas de São Paulo. Neste exemplo estamos descrevendo o caso do Conjunto habitacional MOOCA, localizado na rua Dr. Fomm - nº 173/237 - Mooca - São Paulo. Como resultados espera-se promover a inclusão digital e viabilizar o empreendimento, diminuindo os custos de água, gás e energia com a medição individual do consumo conforme é mostrado na figura 42.



Figura 42 - Medição do consumo.

Rede de Consórcio Privado

O Modelo de Rede de Consórcio Privado é explorado nos Estados Unidos utilizando as redes Wi-Fi como acesso. Este modelo envolve um ou mais fornecedores do setor privado oferecendo o serviço de banda larga para os usuários finais. A rede de consórcio privado é custeada por investimentos privados e o provedor privado dos serviços oferta o acesso tanto para a cidade como para os assinantes através de uma taxa mensal. O provedor privado dos serviços é responsável pela operação e manutenção da rede como também pelo suporte técnico, atendimento ao cliente e serviço de faturamento (*Billing*). Os modelos 2 e 3 têm semelhanças com o modelo de rede de consórcio privado, lembrando que a proposta de acesso dos modelos 2 e 3 é o PLC.

Serviços Volantes

A solução volante é a iniciativa de alguns governos estaduais de realizar o atendimento social através de serviços móveis ou volante. Uma solução volante de sucesso no Brasil é o poupa tempo volante ou móvel do Estado de São Paulo, utilizando como solução de conectividade a cara tecnologia de transmissão por satélite. A tecnologia PLC seria uma solução para baratear este sistema, gerando negócios conforme o modelo 5. Vale ressaltar alguns serviços proporcionados pelo poupa tempo móvel do Estado de São Paulo circulando na cidade:

- bibliotecas volantes,
- recolhimento volante de impostos da prefeitura,
- atendimento médico e dentário da população carente.

O SAC Móvel é uma iniciativa do governo da Bahia em parceria com empresas privadas e de governo. Ao todo são dois caminhões (figura 43). Eles são equipados com ar condicionado, sistemas de som, televisão, sanitários, área de espera coberta e uma rede de computadores interligada atualmente a uma central através de linha telefônica que poderá

ser substituída por acesso PLC *outdoor*. Percorrem uma rota específica que totaliza 417 municípios da Bahia. O SAC Móvel oferece, durante três ou quatro dias, os serviços de emissão de certidão de nascimento, carteira de identidade, recadastramento de pensionistas do estado e antecedentes criminais.



Figura 43 - Caminhão do SAC Móvel.

Domicílio Inteligente

A transmissão de dados em banda larga via rede elétrica em sistemas PLC *indoor* mais baratos e confiáveis, fez com que o objetivo de algumas empresas se voltasse para dentro dos domicílios (prédios e residências). Nos EUA, os domicílios inteligentes é o negócio que remonta ao início do ano 2000 e, no Brasil é um negócio na fase inicial. Empresas como a americana X10 Ltda já lançou no mercado seus primeiros produtos na área residencial e outras empresas como a Echelon Corp. e consórcios internacionais já desenvolveram padrões e arquiteturas específicas para automação predial e residencial.

O maior mercado das redes domiciliares de dados atualmente é o que envolve controle: aquecimento, ventilação, sistemas de ar-condicionado, iluminação, motobombas, regadores de jardim, segurança, atendimento, faturamento e outras. Estas aplicações estão associadas ao conceito de “domicílio inteligente” que disponibiliza também o acesso *last meters* para Internet e a telefonia (VoIP). Alguns fabricantes de eletrodomésticos de alto valor já utilizam o recurso para que estes avisem o fabricante e emitam relatórios em caso de falha. No ano de 2000 o total de investimentos na área atingiu U\$ 2.75 bi, de acordo com *Navin Sabharwal*, um analista da *Allied Business Intelligence* em Nova Iorque. Este é um mercado a ser explorado pelas EDEE segundo o modelo de negócios 6. A figura 44 mostra uma agência de atendimento ao público, no centro de São Paulo, da empresa Eletropaulo,

onde os dados do monitoramento por câmaras e a Internet banda larga são transmitidos por sistemas PLC *indoor*.



Figura 44 - Agência de atendimento ao público da Eletropaulo.

5.10 Validação da Arquitetura 4 e Modelo de Negócio 4 dos Sistemas PLC

Analisando-se os quadros comparativos ou tabelas 10 e 11 pode-se justificar o subsistema de acesso da arquitetura 4.

Tabela 10 - Quadro comparativo das tecnologias de acesso interno

Tecnologia	Velocidade	Alcance	Desvantagens	Vantagens	Custo
Wi-Fi (802.11b e 802.11g)	< 11 Mbps < 54 Mbps	< 100 mts	Segurança; custo alto; diminuição da taxa de dados devido a transmissões simultâneas; alcance em caso de obstáculo	Redes sem fio; alta taxa de transmissão	Sistema mais barato que o 802.11a e o PNA
Wi-Fi 5 (802.11a)	< 54 Mbps	< 50 mts	Incompatível com 802.11b; custo alto; diminuição da taxa de dados devido a transmissões simultâneas, alcance em caso de obstáculo	Redes sem fio; alta taxa de transmissão	Sistema mais caro entre as tecnologias de rede domiciliar
<i>Bluetooth</i>	< 1 Mbps	< 10 mts	Velocidade e alcance baixos; diminuição da taxa de dados devido a transmissões simultâneas, alcance em caso de obstáculo	Interoperabilidade; substituição de cabos	Sistema mais caro que o <i>Phone Line Home PNA</i>
<i>ZigBee</i>	< 0,3 Mbps	< 100 mts	Velocidade baixa; diminuição da taxa de dados devido a transmissões simultâneas, alcance em caso de obstáculo	Baixo custo de implementação; topologia de rede variável; latência	Sistema mais caro que o <i>Bluetooth</i>
<i>Phone Line Home PNA – Home PNA</i>	< 128 Mbps	< 340 mts	Poucas extensões ou pontos de acesso; cresce o número de colisões com o aumento do número de PCs e piora o desempenho	Privacidade ou segurança; menor atenuação e maior banda passante que o <i>Powerline Home Plug</i>	Sistema mais caro que o <i>Ethernet</i> com fio no caso de instalação de cabeamento
<i>Powerline Home Plug</i>	< 30 Mbps	< 300 mts	Diminuição da taxa de transmissão com o aumento de usuários por célula PLC	Vazão (taxa) e conectividade da rede com o aumento das distâncias; ubiquidade	Sistema mais barato que o 802.11b
<i>Ethernet</i> com fio	< 1.000 Mbps	< 100 mts	Impossibilidade em alguns casos <i>retrofitings</i>	Taxa de transmissão	Sistema mais caro que o <i>Powerline Home Plug</i> devido ao custo de instalação de cabeamento

Na tabela 10 encontram-se alguns dados ou características das diversas tecnologias de redes domiciliares. A rede domiciliar *Powerline Home Plug* ou PLC *indoor* foi escolhida como rede de acesso interno para a arquitetura 4 tomando-se como paradigma dados como latência (atraso), ubiquidade, taxa de transmissão, facilidade de implementação, ponto de acesso fácil e descomplicado, segurança, alcance, desempenho, qualidade das redes e baixo custo para o usuário. Vale ressaltar que alguns estudos apontam que o uso de PLC seria mais eficaz que o cabo, o *wireless* ou mesmo o *Home PNA*² para prover o acesso no interior das residências (MAJUMDER, CAFFREY, 2004).

Tabela 11 - Quadro comparativo das tecnologias de acesso externo

Tecnologia	Velocidade	Alcance	Desvantagens	Vantagens	Custo
xDSL (ADSL)	<i>Download</i> - 1,5 Mbps <i>Upload</i> - 512 kbps	6 km	Velocidade decresce em função da distância; baixa capilaridade; alcance limitado	Segurança, rede dedicada por usuário	Custo dos serviços para o consumidor mais alto que o praticado no PLC
RDSI/ISDn	64 kbps (Canal simétrico)	6 km	Menor taxa de transmissão entre as redes de acesso; baixa capilaridade; alcance limitado; não tem conectividade permanente	Taxas maiores que as praticadas pelos modems analógicos; segurança; rede dedicada por usuário	Custo dos serviços para o consumidor semelhante mais alto que o praticado no ADSL
Fibra Óptica (FTTX)	155 Mbps (Canal simétrico)	10 km sem repetidor	Muito baixa capilaridade; custo elevado do material (cabo óptico) e da instalação; difícil implementação	Segurança; alcance, alta velocidade de transferência; imunidade a ruído e à interferência eletromagnética; largura de banda de alta capacidade de transmissão	Custo muito alto do material (cabo óptico) e da instalação (custo maior)
Cabo Coaxial (HFC)	10 Mbps (Canal simétrico)	500 mts	Muito baixa capilaridade; custo elevado do material (cabo) e da instalação; difícil implementação	Largura de banda (alta capacidade de transmissão); imune a interferência eletromagnética	Custo alto do material (cabo), da instalação e dos serviços para o usuário
Rádio	9,6 kbps até 144 kbps (Canal simétrico)	Até 70 km (sem repetidora) > 70 km (com repetidora)	Propagação sem obstáculos; custo elevado de implantação; baixa capilaridade	Flexibilidade, mobilidade, segurança, escalabilidade	Custo dos serviços para o usuário abaixo do cabo e ADSL
Satélite	<i>Download</i> - 600 kbps <i>Upload</i> - 200 kbps	Até 15.000 km entre estações terrestres rastreadoras	Baixa taxa de transmissão; atraso alto na órbita alta ou Geo (264ms); custo alto dos serviços para o usuário	Alta capilaridade; fácil implementação; alcance	Sistema mais caro
PLC	200 Mbps, ou seja, máximo de 25 Mbps (<i>download</i>) e 20 Mbps (<i>Upload</i>)	300 mts entre a célula PLC e o usuário	Atenuação (distância, frequência, reflexão); ambiente propício à interferência conduzida e irradiada; variações de impedâncias, das respostas impulsivas dos canais PLC, diferentes topologias	Taxa de transmissão, alta capilaridade, fácil implementação; solução para a última milha	Sistema mais barato

Na tabela 11 encontram-se alguns dados ou características das diversas tecnologias de redes de acesso externo ou última milha. A rede *outdoor* PLC foi escolhida como rede de acesso interno para a arquitetura 4, tomando-se como paradigma dados como latência (atraso), capilaridade, taxa de transmissão, facilidade de implementação, ponto de acesso fácil e descomplicado, segurança, alcance, desempenho, qualidade das redes e o baixo custo para o usuário.

Nó ou processamento

O subsistema nó ou processamento será as centrais espaciais/temporais das empresas de telefonia fixa e comunicação de longa distância.

Backbone

O subsistema *Backbone* será os cabos ópticos, ou rádio ponto-a-ponto com e sem repetidora, ou redes *outdoor* PLC em média tensão das EDEE para aplicações de voz e Internet das empresas de telefonia fixa e comunicação de longa distância. O uso do satélite passa pela seguinte restrição

- Os satélites GEO (*Geostationary Earth Orbit*), que estão a 35.786 km na órbita alta da terra, poderão ser utilizados para aplicações de Internet. Nesse caso, a aplicação de voz é desaconselhável por conta do atraso de 264 ms que é característica desse sistema. Vale ressaltar que o atraso confortável para o ser humano fica na ordem de 100 ms e que 1 s inviabiliza muitos serviços (BOLZANI, 2004). Os padrões de telefonia estipulam 40 ms para distâncias continentais e 80 ms para distâncias intercontinentais como o limite para o retardo máximo de transferência (COLCHER, 2005).

- Os satélites MEO (*Medium Earth Orbit*), que estão na órbita média entre 10.000 km e 13.000 km do nosso planeta poderão ser utilizados para aplicações de Internet por conta do atraso de até 90 ms e também são sistemas concebidos para o negócio das aplicações IP de alta velocidade.

- Os satélites LEO (*Low Earth Orbit*), que estão na órbita baixa da terra entre 1.400 km e 13.000 km do nosso planeta, poderão ser utilizados para aplicações de Internet e voz. Nesse caso a aplicação de voz é aconselhável por conta do atraso de até 13 ms que é característica desse sistema. A grande vantagem neste sistema é a maior cobertura por unidade, ou seja, uma unidade com antena não direcionada pode cobrir até 30% da superfície terrestre, bastando três satélites distanciados a 120 graus para uma ampla cobertura.

Conclusões:

- I) A arquitetura 4 foi determinada com base na melhor solução custo/benefício e tendo como paradigmas o desempenho e a confiabilidades do sistema, a qualidade dos serviços (QoS) e o menor custo dos serviços para os usuários.
- II) A solução tecnológica *Powerline Home Plug* é uma solução validada e comprovada de redes domiciliares e com grande sucesso comercial nos Estados Unidos. O padrão *Home Plug* começou a ser comercializado em novembro de 2001 e em 2003 já ocupava 10% do mercado americano.
- III) A solução tecnológica PLC *Outdoor* é uma solução validada e comprovada de rede de acesso ou última milha para aplicação de voz e Internet pelas empresas de pesquisa como o CPQD e as empresas de energia elétrica do Brasil como COPEL, CEMIG, ELETROPAULO e outras com grande sucesso comercial nos Estados Unidos. O padrão PLC *outdoor* é explorado comercialmente em países como os Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra, França, Portugal e Espanha.
- IV) Os subsistemas nó ou processamento e *backbone* serão definidas pelas empresas parceiras das EDEE (telefonia fixa e longa distância) através de uma das soluções já comentadas e atendendo a solução de melhor custo/benefício diante dos paradigmas já definidos. Os subsistemas de nó e *backbone* instaladas no Brasil são soluções tecnológicas validadas e comprovadas e operam o atual sistema de telecomunicações do nosso país.
- V) O modelo de negócio 4 é formado de uma parceria entre as empresas de telefonia fixa e de longa distância e a EDEE. Esta estratégia facilita a obtenção de menor custo para o usuário. Pois, os subsistemas nó e backbone pertencem às empresas de telefonia fixa e de longa distância e as EDEE são as proprietárias dos subsistemas de acesso do sistema PLC a ser comercializado.
- VI) A validação do modelo de negócio 4 é mostrada através do documento Plano de Negócios a ser apresentada na seção 5.11 - Plano de Negócios.

5.11 Plano de Negócios

O plano de negócios é um documento usado para descrever um empreendimento e o modelo de negócios que sustenta a empresa. Sua elaboração envolve um processo de aprendizagem e autoconhecimento e, ainda, permite ao empreendedor situar-se no seu ambiente de negócios (DORNELAS, 2005).

Nesta seção será apresentado um plano de negócios de uma empresa fictícia PLC Brasil, ou seja, o negócio PLC explorado numa localidade ou estado fictício chamado Brasil. Os dados do mercado de telecomunicações no Brasil foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), CGI-BR, Arthur D. Little, TELECO, empresas do mercado das telecomunicações, órgãos de governo e utilizou-se dentre outras literaturas (HELFERT, 2000; DROMS, 2002; BRASIL, 2004; DORNELAS, 2005; MALHOTRA, 2006; PUCCINI, 2006).

PLANO DE NEGÓCIOS FICTÍCIO

EMPRESA PLCBrasil

PLC Brasil@PLC.com.br

Avenida Independência, 00
00000 000 Independência Br.

Fone: xxx- 55-0000-0000

Antônio Carlos – CEO

Marcos Antônio – Diretor Administrativo e Financeiro

Carlos Antônio – Diretor de *Marketing* e Vendas

Antônio Marcos – Diretor de Operações e Tecnologia

João Vicente – Diretor Comercial

Sumário

1 SUMÁRIO EXECUTIVO	124
2 O CONCEITO DO NEGÓCIO	124
2.1 O Negócio PLCBrasil	127
2.2 O Produto	128
3 EQUIPE DE GESTÃO E COMPOSIÇÃO ACIONÁRIA	130
4 MERCADO E COMPETIDORES	133
4.1 Análise Setorial	133
4.2 Mercado-Alvo	135
4.2.1 Assinantes.....	135
4.2.2 Fornecedores.....	137
4.3 Projeção de Vendas e <i>Market Share</i>	141
4.4 Necessidade do Cliente	143
4.4.1 Assinantes.....	143
4.4.2 Fornecedores.....	144
4.5 Benefícios do PLCBrasil	144
4.5.1 Usuário (<i>Assinantes</i>) e <i>Fornecedores</i>	144
4.6 Competidores	145
4.6.1 Assinantes.....	145
4.6.2 Fornecedores.....	146
4.7 Vantagem Competitiva	148
5 MARKETING E VENDAS	148
5.1 Serviços	148
5.1.1 <i>Central de Atendimento ao Cliente</i>	148
5.1.2 <i>Publicidade nas Faturas/Mês do Cliente</i>	149
5.1.3 <i>Atendimentos Eletrônico</i>	149
5.1.4 <i>Novos Serviços</i>	150
5.2 Preço	150
5.3 Praça	151
5.4 Promoção: Foco nos Clientes (<i>Assinantes + Fornecedores</i>)	151
5.4.1 Assinantes.....	151
5.4.2 Fornecedores.....	152
5.4.3 <i>Manutenção Mensal</i>	153
5.5 Estratégia de Vendas	154
5.5.1 <i>Telemarketing</i>	154

5.5.2 E-mail Direto	155
5.5.3 Cadastramento Através do Site	156
5.5.4 Comparativos de Vendas por Canal	156
5.6 Parceiras Estratégicas	157
6 ESTRUTURA E OPERAÇÃO	158
6.1 Organograma Funcional	158
6.2 Processos de Negócio	159
6.3 Política de Recursos Humanos	160
6.4 Fornecedores	160
6.5 Infra-Estrutura e Localização	160
6.6 Tecnologia	160
7 ESTRATÉGIA DE CRESCIMENTO	162
7.1 Análise Swot	162
7.2 Cronograma	165
8 PREVISÕES DOS RESULTADOS ECONÔMICOS E FINANCEIROS	166
8.1 Evolução dos Resultados Econômicos	167
8.2 Composição dos Principais Gastos (em Milhões de Reais)	168
8.3 Evolução dos Resultados Financeiros (em Milhões de Reais)	169
8.3.1 Quadro Geral (em milhões de reais)	170
8.3.2 Evolução da Exposição de Caixa	170
8.4 Investimentos (em R\$ Mil)	171
8.5 Indicadores de Rentabilidade	171
8.6 Necessidade de Aporte e Contrapartida	172
8.7 Cenários Alternativos	172
8.7.1 Premissas do Cenário Otimista	172
8.7.1.1 Evolução dos Resultados Financeiros (em milhões de reais)	172
8.7.1.2 Quadro Geral (em milhões de reais)	173
8.7.1.3 Evolução da Exposição de Caixa	173
8.7.2 Premissas do Cenário Pessimista	174
8.7.2.1 Evolução dos Resultados Financeiros (em milhões de reais)	174
8.7.2.2 Quadro Geral (em milhões de reais)	174
8.7.2.3 Evolução da Exposição de Caixa	175
8.7.3 Indicadores de Rentabilidade dos Cenários Otimistas e Pessimistas Respectivamente	176

1 SUMÁRIO EXECUTIVO

2 O CONCEITO DO NEGÓCIO

O negócio PLCBrasil surgiu da oportunidade identificada em se utilizar a tecnologia PLC como meio de acesso ou última milha dos sistemas de telecomunicações existentes no Brasil e também como uma rede interna de dados ou sistema *Indoor* nos domicílios do estado (Brasil). A empresa PLCBrasil vai permitir a 96% da população brasileira, às empresas prestadoras de serviços de telecomunicações, às empresas de utilidade pública (água, energia elétrica e gás), às empresas de governo federal, estadual e municipal e a outras utilizarem os serviços de transmissão de dados e voz em banda larga além das aplicações em banda estreita, desta forma, agregando valor na população brasileira, característica importante da ferramenta telecomunicações na sociedade. A solução da elevada demanda pela inclusão digital nesse estado passa pelos meios de acesso ou última milha de baixo custo e grandes benefícios a esta sociedade, tais como acesso à Internet, ao VoIP, a IPTV e outras aplicações de banda larga e banda estreita. Devido à grande demanda existente, o modelo de negócios é caracterizado (dirigido) pela demanda e não pela oferta. Os clientes da PLCBrasil são classificados em

- fornecedores – empresas prestadoras de serviços de telecomunicações que têm contrato com a BrasilPLC para usar e comercializar as redes PLC daquela empresa;
- assinantes ou consumidores – usuários que utilizarão as redes de acesso PLC em localidades do estado que tenha ou não a presença dos fornecedores, mediante o pagamento de uma taxa mensal.

Equipe de Gestão

A equipe de gestão da PLCBrasil é um dos pontos fortes do negócio, sendo composta por cinco profissionais que possuem sólida experiência em negócios e tecnologia. Oriundos do extinto grupo TELEBRAS atuaram em empresas dos EUA e da EUROPA com o produto PLC e também em empresas brasileiras prestadoras de serviços de telecomunicações nas áreas de *marketing* e de vendas, além de experiência comprovada na área técnica de empresas distribuidoras de energia elétrica e telecomunicações brasileiras, como, por exemplo, a operação de sistemas de potência e de telecomunicações. Possuem ótima formação acadêmica e, sobretudo, motivação para enfrentar e superar os desafios de administrar, gerar resultados positivos e conquistar uma participação de mercado expressiva para o empreendimento.

Mercado

Os segmentos de B2B (empresa – empresa) e B2C (empresa – consumidor) do Brasil são altamente promissores e apresentam um alto crescimento, com potencial para alcançar US\$ 70 bilhões em 2005, estando aberto a negócios inovadores que promovam o encontro entre consumidores e fornecedores de produtos e/ou serviços, experimentando um crescimento anual médio de 95%. O conjunto da indústria de equipamentos e serviços de *software*, *hardware* de telecomunicações chega a aproximadamente US\$ 70 bilhões – cerca de 10% do PIB. O crescimento médio anual do mercado de serviços de telecomunicações foi de 24,34% no período de 2002 a 2005, lembrando que não mencionamos o mercado de fabricação e de vendas de material.

O mercado brasileiro é o maior da América do Sul e um dos maiores do planeta. Cerca de 20% da população brasileira é responsável por 65% dos gastos totais. Mas confrontando com o número de telefones celulares em operação, 46,16% da população brasileira significa um potencial considerável de consumo. Visto que a penetração dos serviços Internet – 10,2%, telefones fixos – 20,4%, telefones móveis celular – 46,16%, conexões banda larga – 1,8% e TV por assinatura – 2,3% caracteriza um patamar de consumo significativo e com uma margem enorme potencial de mercado a ser explorado. Em São Paulo, atualmente, existe mais de um milhão de pequenas e médias empresas, das quais somente 15% tem presença na *web*. A falta de meios de acesso (última milha), ou seja, a facilidade para a instalação de novos terminais está inibindo a participação das empresas e a população brasileira do mercado brasileiro das telecomunicações. A proposta da PLCBrasil procura justamente ocupar esse espaço e oferecer uma alternativa para a inserção desse público-alvo no ambiente das telecomunicações.

Estratégia de Marketing

A estratégia de *marketing* da PLCBrasil visa ganhar mercado rapidamente, focando primeiramente a região de São Paulo e gradativamente as demais regiões do Brasil. Os principais fundamentos de *marketing* foram considerados em um plano que visa atingir tanto consumidores quanto fornecedores que se associarão à empresa. Os serviços de banda larga terão uma maior atenção, principalmente à Internet, onde o crescimento médio é de 11,7% ao ano, passando dos 19 mil no primeiro ano, para mais de 30 mil no quinto ano de operação.

Estrutura e Operação

A empresa possui uma estrutura funcional enxuta, com estilo de gestão moderno e ágil com previsão de participação de funcionários nos resultados, *stock option* e outros incentivos que visam atrair os melhores profissionais do mercado. A empresa encontra-se atualmente instalada nas incubadoras de empresas de São Paulo e de Porto Alegre-RS, recebendo todo suporte necessário para o funcionamento da PLCBrasil.

Estratégia de Crescimento

O lançamento da PLCBrasil será feito nas Regiões do Rio Grande Sul e de São Paulo e gradativamente se expandirá para as demais localidades do Brasil. Parcerias com empresas de telecomunicações serão priorizadas. Novas funcionalidades de serviços de telecomunicações também estão previstas para os próximos meses, inclusive a adequação às tecnologias VoIP e IPTV, permitindo aos clientes a Voz e a TV pela Internet.

Resultados Econômicos e Financeiros – Necessidade de Investimento

A implantação do negócio PLC, dentro dos planos e condições preestabelecidos, resultará num empreendimento de alta rentabilidade conforme se pode ver na figura 45.

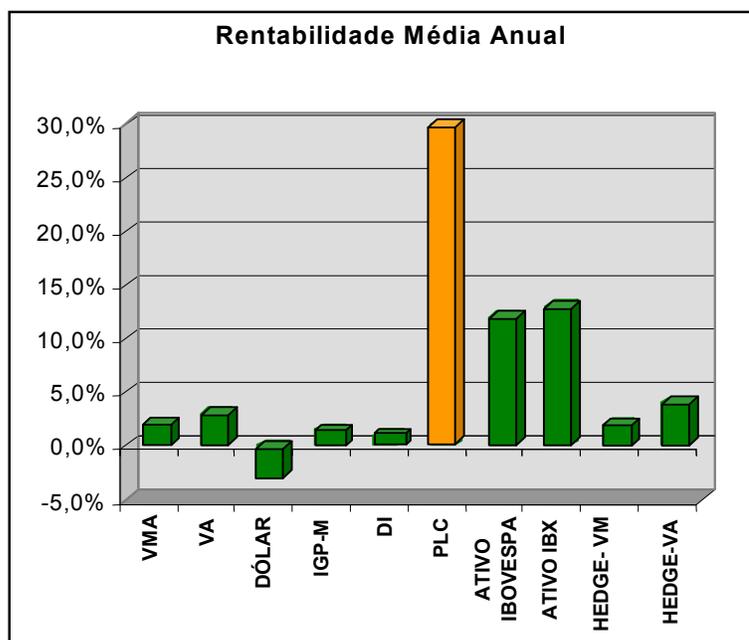


Figura 45 – Rentabilidade média anual.

A taxa de retorno anual é de 28,6% e o *payback* (retorno do capital investido) dar-se-á no final do terceiro ano do empreendimento, ou seja, a empresa estará apta a iniciar um período de distribuição de dividendos para os acionistas com a finalidade de retorno do capital investido. A ampliação para o restante do Brasil fará com que o valor atual do empreendimento alcance a cifra dos R\$ 5.539,5 bilhões. O investimento previsto para implantação desse plano de negócios no mercado brasileiro é de R\$ 2.755,4 bilhões de reais. Para tal investimento a empresa disponibilizará de 23,4% de suas ações.

2.1 O Negócio PLCBrasil

A necessidade da sociedade por serviços de telecomunicações, principalmente por serviços de transmissão de dados em banda larga, por exemplo, a explosão crescente da Internet no Brasil, foi o fator motivador para que grandes esforços venham sendo realizados no campo de pesquisa para viabilizar um meio de acesso ou última milha de grande capilaridade, confiável e de baixo custo. A tecnologia PLC comprovadamente é este meio de acesso. Tem por base a tecnologia PLC a utilização da rede elétrica para a transmissão de voz e dados que permite fazer chegar até sua casa o telefone e a Internet via corrente elétrica. Ou seja, a mesma tomada que serve para ligar o secador, o aspirador e a torradeira, também serve para ligar o telefone e a Internet. Os sistemas PLC proporcionarão um maior crescimento no mercado de prestação de serviços de telecomunicações, viabilizando novos negócios e oportunidades nos segmentos B2B (*business to business*) e B2C (*business to consumer*). A PLCBrasil é mais uma forma de comércio B2B e B2C na prestação dos serviços de telecomunicações no Brasil.

A missão do PLCBrasil é fazer com que fornecedores e assinantes tenham acesso aos sistemas de telecomunicações existentes no Brasil, proporcionando as condições necessárias para usufruir as vantagens do uso desses sistemas pela sociedade. O modelo de negócios é dirigido pela demanda e não pela oferta.

Os clientes da PLCBrasil podem ser classificados em

Fornecedores – são empresas prestadoras de serviços de telecomunicações e, nesse caso, através de contrato de prestação de serviços com a PLCBrasil terão direito ao uso e a manutenção das redes PLC daquelas empresas. Os fornecedores efetuam pagamento de parcela fixa mensal e poderão disponibilizar essas redes PLC para contratos de prestação de serviços de telecomunicações à comunidade local.

Assinantes – são os habitantes ou empresas de uma região que tenha ou não os fornecedores. Os assinantes são classificados em usuários para a população ou usuários de maior porte para as empresas. Os assinantes pagam uma parcela mensal em que o custo será uma composição de uma parcela fixa e de uma parcela variável de todos os serviços de telecomunicações que dependam do período da chamada e o tipo de dispositivo chamado (telefone fixo, telefone celular, PC e outros). Assim, as receitas geradas são provenientes de mensalidades cobradas dos fornecedores e consumidores cadastrados, bem como da comercialização de publicidade contida nas faturas mensais que são enviadas aos usuários.

O diferencial da PLCBrasil é o seu modelo de negócio, o qual se baseia na necessidade do usuário de telecomunicações de um meio de acesso ou última milha para ter acesso aos serviços de telecomunicações, comprovado na sociedade moderna como uma ferramenta indispensável. Para os períodos de 2002 a 2005 as estatísticas revelam que o uso dos meios de acesso está em crescimento e teve o seguinte comportamento:

Os telefones fixos em operação – crescimento médio anual de 1,5% de 2002 a 2004 e uma queda de 5% no último período, ou seja 2004 a 2005.

Os telefones móveis celulares em operação – crescimento médio anual de 35%.

Os assinantes de TV por assinatura – crescimento médio anual de 6%.

Os usuários de Internet – crescimento médio anual de 11,7%.

As conexões em banda larga – crescimento médio anual de 70%.

A comunicação entre consumidores e fornecedores através das redes *Outdoor* da PLCBrasil pode ser considerada uma vantagem competitiva em relação aos demais negócios de B2C.

Um fator de grande importância para o negócio PLCBrasil é a Internet, que teve um crescimento anual médio de 70% no período de 2002 a 2005. Com o advento dos serviços VoIP e IPTV aliados ao mercado da Internet a ser explorado fica evidente a grande necessidade do Brasil pelos meios de acesso na última milha. Assim, o modelo de negócios do PLCBrasil adequa-se perfeitamente ao cenário

2.2 O Produto

O PLC BT e o PLC MT são os mais recentes produtos da PLCBrasil. O PLC BT utiliza somente a rede de Baixa Tensão como rede de acesso *Outdoor* e o PLC MT usa as redes de baixa e média tensão como meio de acesso PLC *Outdoor* e também *backbone*. Esses produtos estabelecem-se nos princípios que fazem a PLCBrasil ser a melhor: a

inovação e a tecnologia. Têm por base a tecnologia PLC fazer chegar até o domicílio dos clientes o telefone e a Internet via corrente elétrica, ou seja, a mesma tomada que serve para ligar o secador, o aspirador e a torradeira, também serve para ligar o telefone e a Internet.

Durante 15 dias os clientes terão a oportunidade de navegar gratuitamente na Internet (limite 5 GB) e fazer chamadas no Brasil grátis para telefone fixo. Assim, poderá constatar que os Produtos PLC BT/MT são o que esperava e muito mais: cômodo, rápido e adaptável às suas exigências. Os fornecedores também ganham um bônus, ou seja, o primeiro mês de contrato é grátis.

Para aderir, o assinante apenas terá que preencher o pré-registro via Internet ou em um dos postos comerciais da PLCBrasil ou da EDEE e receberá a visita de um dos funcionários da área comercial, que entregará o *pack* de adesão gratuitamente ao assinante. O assinante também poderá solicitar a visita do funcionário da área comercial por telefone. No momento da adesão, o cliente tem 15 dias de experimentação do serviço totalmente grátis. Durante este período poderá solicitar a desistência do serviço, sem quaisquer encargos.

No caso dos fornecedores, a adesão se concretiza ao final do envolvimento de funcionários das áreas jurídica e comercial para análise do contrato de prestação de serviços em local a ser escolhido pelo fornecedor.

No momento da adesão, o fornecedor tem 30 dias de experimentação do serviço totalmente grátis para os ajustes necessários. Durante este período poderá solicitar a desistência do serviço, com multas contratuais.

Tecnologia

A tecnologia *Powerline Communications* (PLC) permite a utilização das redes elétricas para a transmissão de voz, vídeo e dados. Esta utilização é sobreposta ao fornecimento de energia.

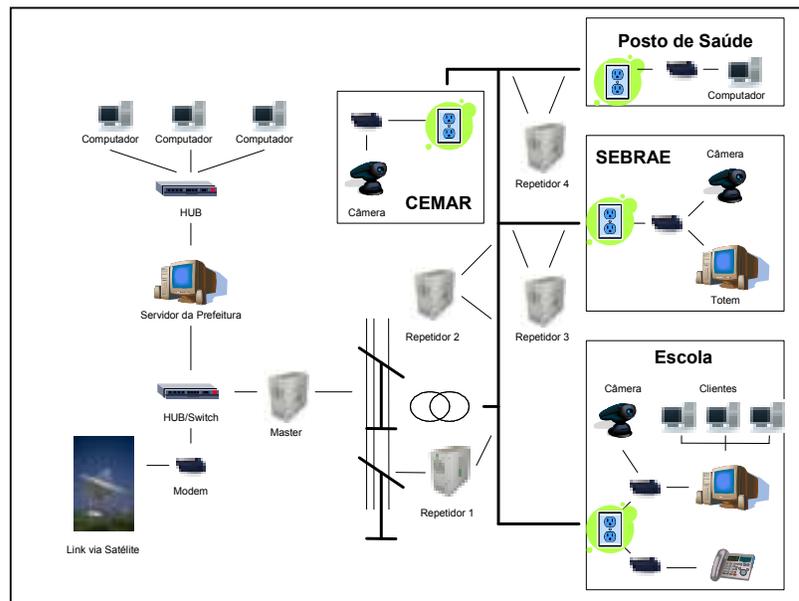
Na EDEE, a utilização da rede de energia para transmissão de sinais de controle é uma realidade há vários anos. Recentemente, tem havido um grande desenvolvimento da tecnologia PLC, utilizando sinais digitais (e não apenas de controle) a serviços de telecomunicações, permitindo:

- a utilização das redes elétricas de baixa e média tensão;
- a aplicação em diferentes topologias de redes elétricas;
- acesso direto a clientes residenciais, sem a utilização de infra-estruturas adicionais;
- a prestação de serviços de telecomunicações – voz sobre IP (VoIP) e acesso à

Internet de banda larga – com excelente performance;

- a utilização em serviços relacionados com a gestão de energia (telecontrole e telemedição) e a domótica.

Na figura 46 temos a solução técnica que definiu o modelo de negocio 4.



Fonte: FITEC

Figura 46 – Arquitetura do modelo 4.

3 EQUIPE DE GESTÃO E COMPOSIÇÃO ACIONÁRIA

A equipe de gestão do PLCBrasil é eclética, com experiência e formação de alto nível, bem como possuidora de grande conhecimento do ramo de negócios de prestação de serviços de Telecomunicações. Possui ainda larga experiência em vendas de produtos Internet, telefones fixos, TV a cabo e telefones celulares e energia elétrica para os usuários brasileiros de telecomunicações, empresas e assinantes, sendo composta pelos cinco funcionários contratados oriundos de grandes empresas do ambiente mundial das telecomunicações.

Antônio Carlos – CEO

Marcos Antônio – Diretor Administrativo e Financeiro

Carlos Antônio – Diretor de Marketing e Vendas

Antônio Marcos – Diretor de Operações e Tecnologia

João Vicente – Diretor Comercial

Antônio Carlos, 53 anos – CEO

- Experiência:
 - Ocupa cargos de direção há mais de 15 anos nas áreas financeira, administrativa, tecnológica e socioeconômica, em empresas de porte multinacionais e nacionais como a extinta TELEBRAS e a EDEE de São Paulo. Quando no grupo X1 foi um dos executivos que idealizou e implantou a operação de provimento de acesso e conteúdo na Internet para a América do Sul.
- Educação:
 - Mestre em Economia – UFRGS
 - Pós-Graduado em Negócios Internacionais – University of Chicago
 - Graduado em Economia – UFRGS
- Objetivo:
 - Desenvolver e operacionalizar empresa de prestação de serviços de telecomunicações em banda larga e estrita com tecnologia PLC.

Marcos Antônio, 35 anos – Diretor Administrativo-Financeiro

- Experiência:
 - Experiência na elaboração de planos de negócios, sendo ainda responsável pela criação e administração da empresa X5 Software & Hardware, tendo em seu portfólio de clientes grandes empresas da área de telecomunicações.
- Educação:
 - Doutorado em Empreendedorismo – Babson College
 - Especialização em *Marketing* – Babson College
 - Mestrado em Administração – UFRGS
 - Engenharia Elétrica – UFRGS
- Objetivo:
 - Criar uma empresa de prestação de serviços com a tecnologia PLC que seja referência de sucesso.

Carlos Antônio, 39 anos – Diretor de MKT e Vendas

- Experiência:
 - Criação e implementação de produtos e estratégia de Internet na empresa X10, que faturou aproximadamente R\$ 20 milhões na Internet em 3,5 anos; estruturação de grandes empresas de prestação de serviços de telecomunicações e distribuidoras de energia elétrica no Brasil.

- Educação:
 - Pós-graduação em tecnologia da Internet – UFRGS
 - Executive MBA – WHARTON BUSINESS SCHOOL – UNIVERSITY PENNSYLVANIA
 - Engenharia Elétrica – UFRGS
- Objetivo:
 - Criar uma empresa sólida atingindo as receitas estimadas e desenvolver novo negócio na Tecnologia PLC.

Antônio Marcos, 53 anos – Diretor de Operações e Tecnologia

- Experiência
 - Participou ativamente do planejamento, projeto e implantação dos grandes sistemas de Telecomunicações do Brasil representando a empresa NEC. Diretor de Técnico: Engenharia e Operações de grandes EDEE no Brasil. Idealizador técnico de todos CD-ROM de Listas Telefônicas de algumas regiões na América do Sul; especialistas em gerenciamento de projetos de *software*; Diretor de tecnologia da empresa *X5 Software & Hardware*.
- Educação:
 - Direito – PUC-RS
 - Engenharia Elétrica – UFRGS
- Objetivo:
 - Criar uma empresa de prestação de serviços com a tecnologia PLC, planejar, operar e manter as redes PLC e estar à frente das inovações tecnológicas nessa área.

A empresa PLCBrasil é de capital aberto e a composição acionária desta empresa está subdividida em duas fases como segue:

FASE I

- a EDEE possui 100% até a PLCBrasil estar apta a atender aos pré-requisitos (exigências) da bolsa de valores.

FASE II

- a EDEE possui 75% e;
- os 25% restantes das ações serão negociadas na bolsa de valores para outros acionistas.

Porte de mercado

- **Território:** 8.514.215,3 km² (5º no mundo);
- **População:** 182 milhões (5º no mundo);
- **Produto Interno Bruto (PIB):** US\$ 605 bilhões (2004, US\$ 1.00 = R\$ 2,92);
- **Renda *per capita*:** US\$ 3,324 (2004);
- **50% do território da América do Sul (Mercosul = 70%);**
- **50% da população da América do Sul (Mercosul = 60%);**
- **50% do PIB da América do Sul (Mercosul = 65%).**

O Brasil, ao lado de Estados Unidos, China e Índia são os únicos países que reúnem alguns fatores importantes para o crescimento sustentado, como

- território maior que 5 milhões de km²;
- PIB superior a US\$ 600 bilhões;
- população acima de 150 milhões de habitantes;
- 180 milhões de consumidores;
- população economicamente ativa de 90 milhões;

O Brasil possui, ainda, o sétimo maior mercado do mundo em número de consumidores.

4 MERCADO E COMPETIDORES

4.1 Análise Setorial

A indústria das comunicações gira hoje em torno de uma nova geração de produtos e de serviços ligados à Internet. Gigantescos conglomerados engajam-se numa corrida para assumir o controle das telecomunicações e os respectivos sistemas de prestação de serviços. A indústria da Internet está determinando a performance do mercado de ações, dos investimentos em novos empreendimentos e a forma com que as empresas fazem negócios no Brasil. Mas, atualmente, os usuários de Internet estão sendo penalizados pela falta de redes de acesso e as altas tarifas ou taxas cobradas pelo uso dos meios de acesso existente. Este cenário necessita de redes de telecomunicações de banda larga, confiável, grande capilaridade e altas taxas de transmissão de dados e baixo custo para o usuário. Parte indispensável nessas redes são as sub-redes ou meios de acesso também denominados última milha. É nesse vácuo que está o negócio da PLCBrasil, que oferece ao

mercado o meio de acesso PLC *Outdoor*, que é um diferencial devido à melhor relação custo/benefício que a tecnologia PLC proporciona.

Além de uma economia relativamente estável, o sistema PLC tem muito a contribuir com o crescimento da indústria das telecomunicações e, em particular, a Internet, suprimindo a falta de facilidade para a instalação de novos terminais, não importa onde, e com um diferencial: a relação custo/benefício deste produto.

A tabela 12 apresenta os indicadores macroeconômicos do Brasil.

Tabela 12 - Indicadores macroeconômicos

Indicadores macroeconômicos						
Brasil	População (Estimativa do IBGE)	Área total	PIB (R\$ milhões)	PIB (cresc. Anual real)	Renda per capita	PIB per capita cresc. Anual real
2002	176.391.015	8.514.215,3 km ²	1.346.028	1,93%	R\$ 7.631	0,44%
2003	178.985.306		1.556.182	0,54%	R\$ 8.694	-0,91%
2004	181.586.030		1.766.621 ¹	4,9%	R\$ 9.014	3,7%
2005	185.441.189		1.769.202 (jul/2005)	1,1% (set/2005)		2,3%

Fonte: IBGE

Na tabela 13 tem-se a evolução do Crescimento de usuários ou terminais de telecomunicações e conseqüentemente as redes de acesso no Brasil.

Tabela 13 - Crescimento de usuários ou terminais de telecomunicações e conseqüentemente as redes de acesso

Número de Usuários ou Terminais de Telecomunicações					
Brasil	Telefones fixos em operação (milhões)	Celulares em operação (milhões)	TV por assinatura (milhões assinantes)	Usuários de internet residenciais (<i>netratings</i>) (milhões)	Conexões de banda larga (milhões)
2002	38,80	34,88	3,52	14,3	0,7
2003	39,2	46,37	3,55	20,5	1,2
2004	40	65,61	3,77	17,9	2,26
2005	37,7	85,6	4,18	18,9	3,35

Fonte: TELECO

É importante destacar que o setor de telecomunicações passa por um momento favorável, apresentando nos últimos três anos um crescimento médio anual de 35% para telefones celulares, 6% para TV por assinatura, 70% para conexões em banda larga, 11,7% para usuários de Internet e 1,5% para telefones fixos no período 2002 a 2004 e a economia encontra-se num patamar estável. O IBGE – PNAD de 2004 – mostra que o uso de Internet nos domicílios, mesmo tendo aumentado, continua restrito a uma minoria de 12,4% de residências. Nas 87,6% de residências sem acesso à Internet, vivem 152 milhões de pessoas, ou seja, 84% da população brasileira que representa um mercado a ser explorado. Um estudo da consultoria Arthur D. Little estima que a Internet em banda larga chegará a 22 milhões de domicílios brasileiros em 2010, um crescimento bastante razoável, pois segundo o PNAD 2004 (IBGE) o Brasil possuía um total de 6,3 milhões de domicílios ou 21,6 milhões de pessoas. Entretanto, para que isso aconteça é necessário a oferta de novos serviços, com conteúdo educacional e outros conteúdos mais atraentes como IPTV e VoIP, além de meios de acessos e políticas públicas que incentivem a demanda pelas inovações como, por exemplo, a inclusão digital. Estudo recente realizado pelo Ipsos-Opinion com 2.030 empresas com mais de 10 funcionários mostra que 98,76% das companhias brasileiras utilizaram computador e 96,29% tiveram acesso à Internet nos últimos 12 meses.

Os fatos descritos reforçam ainda mais o potencial de B2B e B2C no Brasil, onde os serviços de telecomunicações serão vitais nos próximos anos.

4.2 Mercado-Alvo

4.2.1 Assinantes

O público-alvo da PLCBrasil é o usuário de serviços banda larga, mais precisamente o usuário de Internet, principalmente com o advento do VoIP e a IPTV. O VoIP ocupará grande parte do mercado de telefonia fixa e móvel, e a IPTV é um forte concorrente dos canais abertos e principalmente os fechados como os canais de TV por assinatura. No tocante à população brasileira, 84% dessa população ou 152 milhões de pessoas não têm acesso à Internet e representam um mercado considerável que não pode ser desprezado.

Na tabela 14 tem-se o perfil do usuário de Internet no Brasil.

Tabela 14 - Perfil do usuário de Internet

Perfil do usuário de Internet	
Classes A e B	84%
Classe C	13%
Empresários ou executivos	30%
Ocupam posições de destaque em suas atividades	32%
Homens	78%
Mulheres	12%
65 anos ou mais	1,64%
Entre 55 a 64 anos	2,99%
Entre 45 a 54 anos	12,69%
Entre 35 a 44 anos	13,88%
Entre 25 e 34 anos	17,64%
Internautas brasileiros terão entre 18 e 24 anos de idade	32,54%
Entre 12 a 17 anos	13,88%
Crianças com idade entre 2 a 11 anos	4,74%
Pagariam por serviços na rede	58%
Utilizam a Internet gratuita	30%

Fonte: TELECO

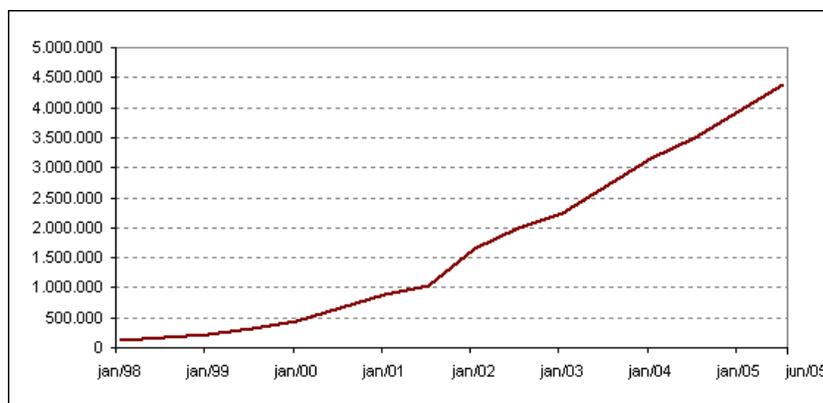
Em agosto e setembro de 2005, o Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) se uniu ao IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, ao Instituto *Ipsos-Opinion* e ao Ibope//NetRatings na apuração de indicadores sobre **penetração e uso da Internet no Brasil**. O resultado foi o seguinte:

- 68% da população nunca utilizaram a Internet;
- 24% da população utilizam nos últimos três meses;
- 9,6% da população usam a Internet diariamente;
- 41% da população utilizam Internet para atividades educacionais;
- 32% da população utilizam Internet para fins pessoais;
- 26% da população utilizam Internet para trabalho.

De acordo com a *Network Wizards*, o crescimento da Internet é caracterizado pela evolução de número de *Hosts* do Brasil que passou de 500.000 em 2000 para aproximadamente 4.500.000 em junho de 2005. Ao adotarmos a estratégia das empresas de pesquisa para o cálculo aproximado do número de usuários de Internet no Brasil, ou seja, para cada *Host* existem 10 usuários, o Brasil conta atualmente com 45 milhões de usuários de Internet. Desses, cerca de 53% são considerados *heavy user*.

Outra informação levantada pela pesquisa realizada pelos órgãos CGI.br, Instituto *Ipsos-Opinion* e *Ibope//NetRatings* revela que o Brasil ocupa a 10ª posição em usuários de Internet, 9º em número de PCs e 7º em servidores de Internet (*Hosts*) e 1º em tempo navegado em casa, ou seja, 18 horas em dezembro de 2005.

A figura 47 mostra a evolução do número de *Hosts* do Brasil e o crescimento do mercado de Internet em nosso País.



Fonte: Network Wizards

Figura 47 - Crescimento da Internet no Brasil.

4.2.2 Fornecedores

A PLCBrasil está inserida num mercado em que atuam as empresas privadas comerciais e de serviços, de pequeno, médio e grande porte e todas as empresas de governo e órgãos dos poderes constituídos. O foco da PLCBrasil são as empresas prestadoras de serviços de telecomunicações, num total de 1.331 empresas, tais como: empresas de telefonia, comunicação de longa distância, comunicações e redes e provedores de serviços de Internet. Nos locais com a ausência de fornecedores, a PLC Brasil irá atender diretamente a população, as indústrias e outras empresas, e elas serão chamadas de assinantes de pequeno, médio e grande portes.

A pesquisa realizada pelo CGI.br e o Instituto *Ipsos-Opinion* IPSOS mostra a penetração na Internet, o interesse e o tipo de atividade buscada pelas empresas na rede. Os dados desse trabalho revelam que o número de domínios.br (*sites*) chegou a 858.596 e apresentou um crescimento de 1% sobre os 850.228 domínios de novembro.

A tabela 15 mostra a proporção de empresas que usam computadores e que são constituídas de mais de 9 funcionários.

Tabela 15 - Proporção de empresas que usam computadores*
Percentual sobre o total de empresas da amostra, nos últimos 12 meses

Variáveis de cruzamento		%
Total		98,76
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	98,00
	20 a 49	99,54
	50 a 99	100,00
	100 a 249	100,00
	250 a 499	100,00
	500 a 999	100,00
	1.000 ou mais	100,00
Região	Norte	95,44
	Nordeste	98,34
	Sudeste	98,70
	Sul	100,00
	Centro-Oeste	98,36
Mercados de Atuação - CNAE	Ind. de Transform./	99,23
Constr./		99,24
Com./ Rep. de Autos		99,27
Hotel/ Aliment.		92,06
Transp./ Armaz./ Comunic.		99,36
Ativ. Imobil., alug. e serv.		99,65
Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV		100,00

Fonte: IPSOS

* Base: 2030 empresas com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92,1 e 92.2.

O número de funcionários que usam computadores nas empresas brasileiras com mais de 9 empregados é mostrado na tabela 16.

Tabela 16 - Número de empregados que usam computadores*
Número médio de empregados com acesso a computadores, pelo menos uma vez por semana, nos últimos 12 meses

Variáveis de cruzamento		Médias
Total		17,60
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	9,00
	20 a 49	14,22
	50 a 99	26,16
	100 a 249	47,07
	250 a 499	91,95
	500 a 999	196,09
	1.000 ou mais	428,83
Região	Norte	14,15
	Nordeste	14,95
	Sudeste	19,24
	Sul	16,95
	Centro-Oeste	13,65
Mercados de Atuação - CNAE	Ind. de Transform./	16,56
	Constr./	12,81
	Com./ Rep. de Autos	16,54
	Hotel/ Aliment.	9,99
	Transp./ Armaz./ Comunic.	26,69
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	24,41
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	26,20

Fonte: IPSOS

* Base: 2005 empresas que utilizam computador, 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2, 92.1 e 92.2.

A proporção de empresas com mais de 9 funcionários e com acesso a Internet por tipo de atividade é representada na tabela 17.

Tabela 17 - Proporção de empresas usando a internet segundo o tipo de atividade*
Percentual sobre a base de empresas entrevistadas, nos últimos 12 meses*
[representatividade da amostra]

Percentual (%)		Serviços bancários e financeiros	Treinamento e educação	Monitoramento de mercado (ex. preços)	Recepção de bens ou serviços digitais	Obtenção de serviços pós-venda
Total		78,96	26,80	56,20	43,66	38,92
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	74,21	26,68	56,33	41,61	37,13
	20 a 49	82,76	24,44	53,27	42,09	37,39
	50 a 99	86,56	27,16	57,82	51,30	45,09
	100 a 249	88,27	35,73	62,29	54,93	47,94
	250 a 499	89,44	34,13	72,30	56,81	50,96
	500 a 999	93,21	42,16	63,79	51,94	63,63
	1.000 ou mais	89,27	47,60	67,17	61,44	55,94
Região	Norte	72,54	26,11	57,39	40,69	35,54
	Nordeste	74,38	28,51	58,51	43,19	42,74
	Sudeste	79,98	27,15	55,39	42,91	39,22
	Sul	78,92	24,75	58,09	44,48	35,11
	Centro-Oeste	82,08	27,45	52,58	49,36	42,82
Mercados de atuação - CNAE	Ind. de Transform./	84,98	17,20	53,14	42,11	35,94
	Constr./	75,64	32,45	60,79	48,02	34,79
	Com./ Rep. de Autos	75,64	30,87	54,54	41,94	38,41
	Hotel/ Aliment.	77,64	25,90	63,34	44,27	43,63
	Transp./ Armaz./ Comunic.	71,07	21,51	55,93	37,45	37,11
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	82,52	34,69	60,45	52,75	47,76
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	79,05	36,31	80,82	41,07	28,99

Fonte: IPSOS

* Base: 1943 empresas com acesso à internet, com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92.1 e 92.2.

Tomando como paradigma a quantidade de empresas e o número de funcionários, a PLCBrasil considera como *target* as pequenas e médias empresas com mais de nove funcionários nas praças de São Paulo e do Rio Grande do Sul.

Através do índice % de empresas *target*, observando as estatísticas disponíveis da economia brasileira, estimou-se o tamanho total e regional do mercado-alvo de fornecedores da PLCBrasil. Assim, São Paulo é o principal mercado, onde se encontram 30% do total das empresas formais no Brasil e 25% das informais, e um mercado aproximadamente três vezes maior que a praça do Rio Grande do Sul (Fonte: IBGE).

4.3 Projeção de Vendas e *Market Share*

Dado que o *start-up* da PLCBrasil é a região de São Paulo, estima-se que 60% das empresas fornecedoras virão desta região, 20% do Rio Grande do Sul e as demais de outros estados do país. As projeções indicam um declínio na participação ao longo dos anos da região Paulista, dando espaço para o ingresso de empresas de outros estados. Em 2008, estima-se que 45% das empresas fornecedoras pertencerão à região de São Paulo.

O crescimento do número de empresas com acesso à Internet e demais serviços de telecomunicações e a entrada de novos concorrentes reduz ao longo dos anos o *market share* do mercado-alvo. A tabela 18 mostra a projeção de clientes e *market share* da PLCBrasil no período de cinco anos.

Tabela 18 - Projeção de clientes e *market share*

Meta por região					
Regiões	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
São Paulo	60%	55%	50%	45%	45%
Rio Grande do Sul	20%	15%	13%	10%	10%
Restante	20%	30%	37%	45%	45%

A tabela 19 representa a previsão de *market share* da PLCBrasil no mercado das empresas que usam os serviços de Internet e voz no Brasil no período de cinco anos.

Tabela 19 - Market share relativo ao número total de empresas

Market Share Relativo ao Número Total de Empresas					
Regiões	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Geral	2%	3%	4%	6%	7%
São Paulo	5,2%	7,1%	8,6%	11,6%	13,6%
Rio Grande do Sul	3,8%	4,3%	5,02%	5,8%	6,8%
Restante	0,6%	1,35%	2,23%	4,1%	4,7%

Porém a tabela 20 mostra previsão de *market share* da PLCBrasil no mercado das Telecomunicações, no Brasil, no período de cinco anos.

Tabela 20 - Market share relativo ao número total de usuários

Market Share Relativo ao Número Total de Usuários					
Regiões	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Brasil (geral)	2%	3%	4%	6%	7%
São Paulo	5,6%	7,7%	9,3%	12,5%	14,6%
Rio Grande do Sul	7,3%	8,3%	9,6%	11%	12,9%
Restante	0,55%	1,20%	2,03%	3,7%	4,3%

Com relação a previsão de *market share* dos clientes *target* para a PLCBrasil nos próximos cinco anos pode-se observar um crescimento de clientes na tabela 21.

Tabela 21 - Market share relativo ao % de clientes target

Market Share Relativo ao % de clientes target (PME + população A, B, C e D)					
Regiões	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Geral	2%	3%	4%	6%	7%
São Paulo	3,1%	7,1%	8,6%	11,6%	13,6%
Rio Grande do Sul	3,9%	4,3%	5%	5,8%	6,8%
Restante	0,6%	1,4%	2,2%	4,1%	4,8%

O mercado a ser ocupado pela PLCBrasil em São Paulo, Rio Grande do Sul e o restante do Brasil é mostrado na tabela 22.

Tabela 22 - Projeções de vendas

Projeções de vendas					
Regiões	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Total de clientes PLCBrasil (acumulado)	1.020.000	1.530.000	2.040.000	3.060.000	3.570.000
São Paulo	612.000	841.500	1020.000	1.377.000	1.606.500
Rio Grande do Sul	204.000	229.500	265.200	306.000	357.000
Restante	204.000	459.000	754.800	1.377.000	1.606.500

4.4 Necessidade do Cliente

4.4.1 Assinantes

O consumidor brasileiro em geral é muito exigente, não costuma comprar no primeiro lugar que encontra o produto e/ou serviço que lhe interessa e quando realmente decide comprar, negocia por um preço melhor. Nos serviços de telecomunicações, o consumidor passa a ser ainda mais exigente e com maior facilidade para encontrar e fazer comparações de preço e produto. A indisponibilidade de meios de acesso e a baixa velocidade daqueles

meios disponíveis inviabilizam freqüentemente o cliente de ser um usuário dos serviços de telecomunicações. Em resumo, o usuário necessita do meio de acesso de alta capilaridade, confiabilidade, altas taxas de transmissão, custo baixo, conectividade 24 horas e a comodidade de acessar a rede de dados via qualquer tomada elétrica de ambiente domiciliar otimizando o tempo do cliente.

4.4.2 Fornecedores

As pequenas e médias empresas no Brasil ainda estão em fase de absorção das vantagens dos serviços de telecomunicações banda larga. Com a presença da Internet, o advento do VoIP e das empresas formadoras da cultura do mundo empresarial, como o SEBRAE, essas barreiras vão sendo eliminadas. Nesse momento os fornecedores precisarão de redes, não importando onde, para atender a uma grande demanda das empresas. Os serviços IPTV e VoIP também irão incrementar de maneira significativa a demanda pelas redes de acesso por parte da população. O produto PLC proporcionará aos fornecedores a competição em qualquer momento pelo mercado, incrementando as vendas e conquistando novos clientes.

4.5 Benefícios da PLCBrasil

Com base nas necessidades identificadas do público-alvo, tanto de consumidores quanto de fornecedores, podem-se destacar os benefícios que o **PLCBrasil** trará a seus clientes.

4.5.1 Usuário (Assinante) e Fornecedores

No momento da adesão

- Oferta de telefone sem fios e de modem
- Serviço Internet disponível imediatamente após a adesão
- Serviço de voz disponível em apenas 12h após a adesão
- 15 dias Internet grátis (limite 5GB)
- 15 dias chamadas no Brasil grátis para telefone fixo

Após os 15 dias grátis:

- chamadas no Brasil grátis para telefone fixo (das 21h às 9h de segunda a sexta e 24h ao fim-de-semana);
- tráfego Internet ilimitado das 21h às 9h de segunda a sexta-feira e 24h aos fins-de-semana.

Rápido

- Com o PLC, o usuário terá Internet disponível no momento da adesão e serviço de voz num prazo máximo de 12h.

Fácil

- Instalação fácil, basta aderir e ligar à corrente elétrica. Não precisa instalar cabos, fios ou tomadas especiais na sua casa. Serviço de Internet disponível no momento em que efetua a adesão e serviço de voz num prazo máximo de 12h.

Cômodo

- Telefone sem fios mais Internet num produto só.
- Telefone sempre disponível.
- Chamadas no Brasil grátis para telefone fixo (das 21h - 9h de segunda a sexta e 24h aos fins-de-semana).
- Tráfego Internet ilimitado das 21h às 9h de segunda a sexta e 24h aos fins-de-semana.

Mobilidade

- Pode ligar-se a qualquer tomada elétrica em qualquer divisão do domicílio.

Liberdade

- Com a utilização da rede elétrica já não necessita utilizar a linha telefônica tradicional.

4.6 Competidores**4.6.1 Assinantes**

Do ponto de vista do assinante, a PLCBrasil sofre uma concorrência direta das empresas Telecom que dispõem e comercializam redes de acesso, tais como: empresas operadoras de telefonia fixa, comunicações e redes, comunicação de longa distância e

também as empresas TVA (TV por assinatura). Os concorrentes indiretos da PLCBrasil são outras EDEE que, associadas às empresas Telecom, disputarão o mercado existente no Brasil

4.6.2 *Fornecedor*

A análise da concorrência, para efeito de capitação de fornecedores, considerou os fatores abaixo como os que mais afetam na decisão destas empresas.

1. redes de alta capilaridade;
2. redes de altas velocidades e capacidade para transmitir banda larga, capilaridade, Impacto cultural do produto (complexidade do negócio necessita de estrutura adicional, investimento em *marketing*, e outros);
3. custo dos serviços;
4. retorno sobre o investimento (ROI).

A tabela 23 a seguir compara essas características entre a PLCBrasil e os potenciais concorrentes.

Tabela 23 - Comparação da PLCBrasil com potenciais concorrentes

	Instalação R\$	Manutenção R\$	Capilaridade da rede	Complexidade do produto	Possibilidade de Retorno de Investimento	Necessidade de Marketing
PLCBrasil	0	60	Alta	Baixa	Sim	Sim no 1º ano
Operadoras.Telecom	65 - 120	Acima de 79	Baixa	Alta	Sim	Sim
Comunicação e Redes	65 - 120	Acima de 79	Baixa	Alta	Sim	Sim
Comunicação longa distância	799 - 1000	Acima de 513	Alta	Alta	Sim	Sim
TVA	120 - 180	Acima de 79	Muito Baixa	Alta	Sim	Sim

4.7 Vantagem Competitiva

A PLCBrasil apresenta algumas vantagens competitivas atuais, que se tornarão grandes diferenciais das redes de acesso:

- capilaridade;
- custos de implantação reduzidos;
- solução de excelente custo/benefício entre as redes de acesso;
- cada tomada é um ponto de acesso de uso simples e descomplicado.

5 MARKETING E VENDAS

O Plano de *Marketing* da PLCBrasil explica a estratégia a ser adotada em seus diversos aspectos.

5.1 Serviços

A prestação dos serviços e o atendimento aos clientes serão isonômicos para todos os fornecedores e assinantes cadastrados na PLCBrasil. O mesmo ocorre no atendimento comercial às pessoas ou às empresas que procurarem a PLCBrasil. Os interessados em adquirir algum serviço, garantirão assim a boa imagem da empresa, continuidade, confiabilidade e qualidade dos serviços prestados, transformando essas ações numa estratégia inicial de expansão rápida e ganho de *market share* (MALHOTRA, 2006).

5.1.1 Central de Atendimento ao Cliente (CAC)

Algumas considerações que garantem um diferencial de *marketing* aos serviços PLC:

- A PLCBrasil possuirá um cadastro completo de todos os seus clientes.
- Todos os clientes serão inicialmente atendidos por uma central de atendimento ao cliente, disponível em horário integral, através das áreas financeira, comercial e técnica.

- Em caso de Atendimento Comercial:

1) **No momento da adesão**

- Oferta de telefone sem fios e de modem
- Serviço Internet disponível imediatamente após a adesão

- Serviço de voz disponível em apenas 12h após a adesão
- 15 dias Internet grátis (limite 5GB)
- 15 dias chamadas no Brasil grátis para telefone fixo

2) Outros assuntos

- Os participantes da CAC resolverão com os clientes os temas pendentes.

Em caso de assunto pendente a empresa deve retornar ao cliente e nesse momento a pendência será eliminada.

– Em caso de Atendimento Financeiro:

- Todas as dúvidas financeiras do cliente serão eliminadas no momento do atendimento. Caso contrário será marcada uma reunião entre cliente e empresa para concluírem o assunto.

– Em caso de Atendimento Técnico:

- Para as reclamações de interrupção de serviços a PLCBrasil terá até 24h para normalização desses serviços para o cliente, perseguindo a meta de até 12h.

- As visitas do técnico ao cliente serão gratuitas para clientes fiéis que assinaram o termo fidelidade na adesão.

5.1.2 Publicidade nas Faturas/Mês do Cliente

Os fornecedores terão a cada ano um mês grátis de publicidade nas faturas mensais dos clientes, tanto da PLCBrasil como da EDEE, a qual pertence a PLCBrasil.

5.1.3 Atendimento Eletrônico

A PLCBrasil disponibilizará à população gratuitamente bancos de dados, tais como:

- lista telefônica;
- energia;
- telecomunicações;
- indicadores financeiros;
- previsão do tempo;
- música.

5.1.4 Novos Serviços

Estão programadas uma série de melhorias na PLCBrasil com a inserção de novos serviços, visando agregar maior valor aos serviços junto ao público-alvo. As melhorias planejadas são:

- criação do Manual de Relacionamento *on-line* para direcionar os clientes na melhor relação com a empresa e também ajudá-los a usar a totalidade dos serviços disponíveis;
- sistema de pagamento de boleto on-line para os clientes;
- serviço IPTV;
- serviço vídeo sob pedido;
- serviços de automação domiciliar;
- despertador;
- hora certa;
- viagens e turismo;
- casa e beleza;
- educação e carreira.

5.2 Preço

A estratégia de ganho de mercado da PLCBrasil implica uma política de preços acessíveis ao público-alvo, que são as pequenas e médias empresas e o público usuário dos serviços de telecomunicações das classes A, B, C e D. Com base na experiência da equipe da PLCBrasil e na percepção do mercado de telecomunicações, principalmente a Internet, definiu-se a estratégia de preços mostrada na tabela 24.

Tabela 24 - Estratégia de preços

Preço dos Serviços (R\$)	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Instalação	0	0	0	0	0
Manutenção (por evento)	30	30	35	35	40
Fatura/Mês - Cliente	60	60	60	60	60

A manutenção será cobrada a cada visita do técnico ao domicílio do cliente. A taxa da Fatura/Mês – Cliente é o pagamento do cliente relativo aos serviços PLC banda larga, ou seja, restritos à Internet + Voz a velocidade de 5 Mbps/2 Mbps. A solicitação de outros serviços, considerados adicionais, incrementarão o valor da Fatura/Mês – Cliente.

5.3 Praça

Com base na análise do mercado e em consonância com a estratégia de *marketing* estipulada, o mercado-alvo da PLC Brasil serão, inicialmente, as regiões de São Paulo e do Rio Grande do Sul, com a ampliação gradativa para outras regiões do Brasil.

5.4 Promoção: Foco nos Clientes (Assinantes + Fornecedores)

Serão utilizados vários canais de publicidade para promover a PLCBrasil, visando tanto os assinantes, quanto os fornecedores de serviços, com políticas de publicidade e promoções específicas para cada caso (MALHOTRA, 2006).

5.4.1 Assinantes

- Publicidade inicial: período 90 dias.
- Público-alvo: homens e mulheres, classe social A, B, C e D com faixa etária acima de 12 anos.
- Ações:
 - Internet
 - Anúncio 1 página – revista familiar informativa
 - *Busdoor*
 - *Outdoor*
 - TV – horário nobre
 - Fatura/Mês do cliente da EDEE

Na tabela 25 tem-se o mercado-alvo a ser ocupado pela PLCBrasil através das políticas de publicidade e promoções específicas para cada caso.

Tabela 25 - Mercado-alvo dos assinantes

Mercado-Alvo	
Regiões	Cientes (milhões)
Brasil	40,4
São Paulo	8,7
Rio Grande do Sul	2,2
Restante	29,5

Impactos pretendidos = 40.400 mil

- Internet = 2.600 mil
- Revista = 1.400 mil
- *Busdoor* = 10.200 mil
- *Outdoor* = 6.000 mil
- TV – horário nobre = 20.200 mil

5.4.2 Empresas (Inclusos os Fornecedores)

Publicidade inicial: Período 90 dias.

Ações:

- Internet
- Filme TV 30"
- Anúncio 01 página – revista
- Envio de *e-mail's*
- Operação de *Telemarketing*

A tabela 26 apresenta o mercado-alvo de empresas (incluso os fornecedores) pretendido pela PLCBrasil através das iniciativas de *marketing*.

Tabela 26 - Apresenta o mercado-alvo de empresas (incluso os fornecedores)

Mercado-Alvo	
Regiões	Cientes (milhões)
Brasil	5,6
São Paulo	1,3
Rio Grande do Sul	0,58
Restante	3,72

Impactos pretendidos = 5.600 mil

- Internet = 1.000 mil
- Comercial TV = 2.700 mil
- Revista = 200 mil
- Jornal = 90 mil
- *E-mail* = 10.000 mil
- *Telemarketing* = 1.600 mil

5.4.3 Manutenção Mensal

Ações

- Internet
- Panfletagem
- *Busdoor*
- *Banner* nos principais *sites*
- *Telemarketing*
- *E-mail's*

Através da manutenção mensal das políticas de publicidade e promoções específicas para cada caso espera-se que a PLC brasil conquista o mercado de Internet e voz no Brasil mostrado na tabela 27.

Tabela 27 - Mercado de Internet e voz a ser conquistado

Mercado a ser Conquistado	
Regiões	Cientes (milhões)
Brasil	51
São Paulo	11
Rio Grande do Sul	3,1
Restante	36,9

Impactos pretendidos = 51.000 mil

- Internet = 3.000 mil
- *Busdoor* = 10.000 mil
- *Telemarketing* = 50.000 mil
- *Outdoor* = 2.990 mil
- *E-mails* = 10 mil
- Comercial TV = 25.000 mil

5.5 Estratégia de Vendas

O objetivo principal das vendas é adesão no cadastro de clientes da PLCBrasil, tendo como estratégia a utilização dos seguintes canais:

5.5.1 Telemarketing

O *telemarketing* será o principal canal de vendas. A estrutura de *telemarketing* será terceirizada, mas terá um funcionário da PLCBrasil, coordenador de *telemarketing*, fixo no local para controlar todo o processo.

No primeiro ano de vendas, existe uma carência de 15 dias logo após o ato da adesão e, a partir daquela data, se o assinante confirmar que irá continuar com os serviços, receberá, ao final de cada mês, uma fatura/mês-cliente. A figura 48 apresenta a evolução do custo de captação de clientes (assinantes + fornecedores). Foram consideradas algumas premissas no processo de adesão de clientes:

- 30% das ligações terminam com contato adequado;
- 80% dos contatos estabelecidos possuem Internet;
- 80% dos contatos que possuem Internet se interessarão em ficar gratuitamente, durante 15 dias, utilizando o produto.

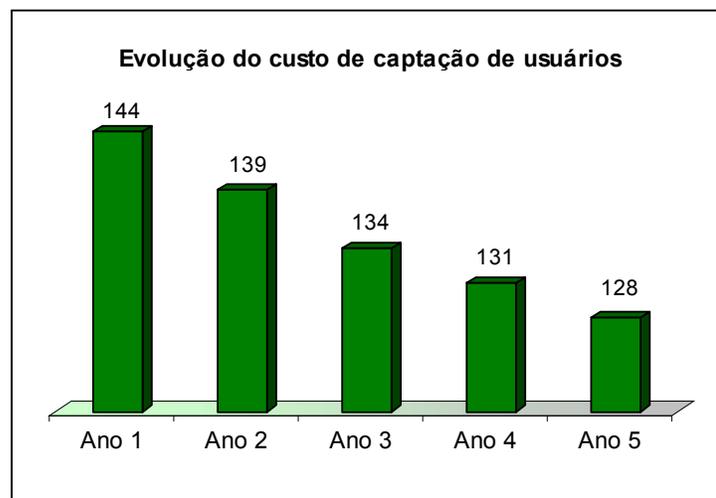


Figura 48 - Evolução do custo de captação de usuários em reais.

Com estas premissas, assumiu-se taxa de adesão de 20%, ou seja, para cada 100 ligações o *telemarketing* efetuará 20 negócios. Para estes 80% de clientes que estarão aderindo ao projeto, assumiram-se as taxas de retenção mostradas na figura 49.

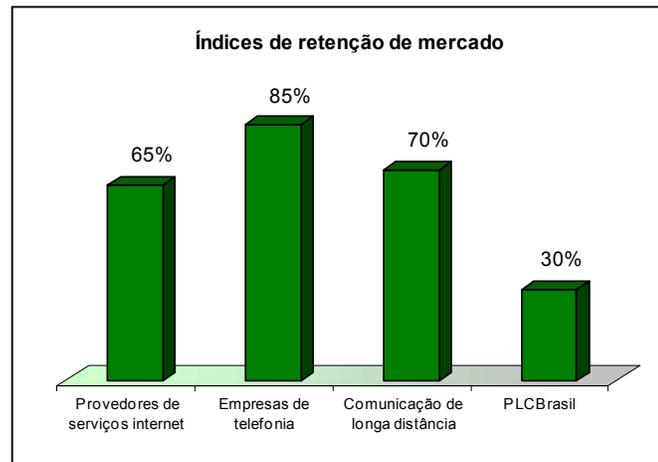


Figura 49 - Índices de retenção de mercado.

A evolução das taxas de retenção de clientes da PLCBrasil nos próximos cinco anos é mostrada na figura 50.

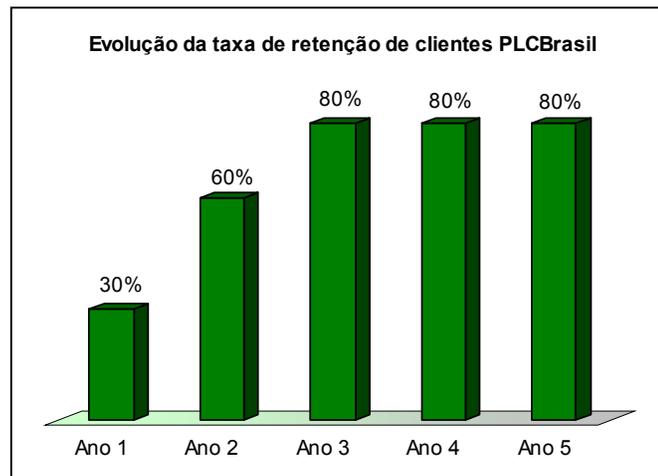


Figura 50 - Evolução das taxas de retenção de clientes PLCBrasil.

5.5.2 E-mail Direto

Envio de 10.000 e-mail's por mês para empresas, considerando taxa de conversão de 0,5%.

5.5.3 Cadastramento Através do Site

Considerou-se uma taxa de retorno de 0,05% de adesão sobre *user session*.

5.5.4 Comparativo de Vendas por Canal

A figura 51 mostra a projeção das vendas na PLCBrasil por iniciativas de *marketing*.

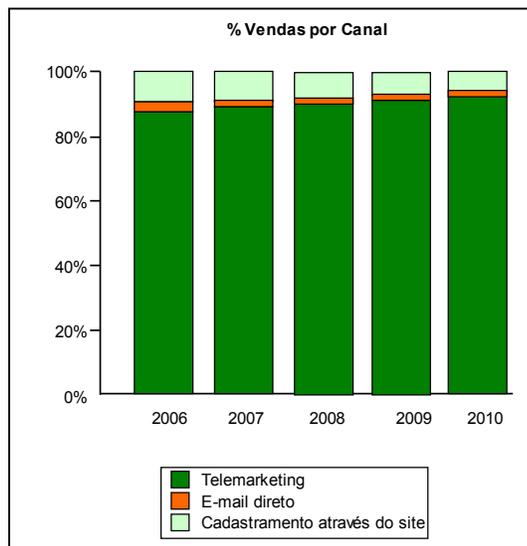


Figura 51 - Percentual de vendas por canal.

A evolução de fornecedores cadastrados como fornecedores na PLCBrasil é mostrada na figura 52.

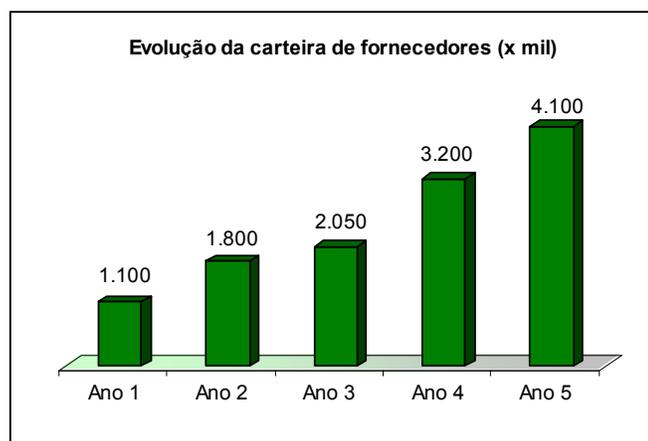


Figura 52 - Evolução da carteira de fornecedores.

5.6 Parcerias Estratégicas

Com o advento de novos serviços através da Internet e ainda os novos produtos a serem ofertados pelas empresas do ramo das telecomunicações, aumenta ainda mais a necessidade de formação de parcerias para consolidação de um posicionamento de líder e também para diminuir a demanda reprimida pela não facilidade de meios de acesso. Existem basicamente quatro razões para se procurar parceiros estratégicos:

1. facilidade de redes de acesso na instalação;
2. diminuição de custo de *marketing*;
3. captação de novos fornecedores;
4. capitalização da empresa.

Estão qualificados como potenciais parceiros estratégicos: investidores, empresas de comunicação de longa distância, comunicação e redes, provedores de serviços de Internet, empresas de telefonia e distribuidoras de energia elétrica.

6 ESTRUTURA E OPERAÇÃO

6.1 Organograma Funcional

A estrutura funcional foi definida com base nas quatro áreas-chave da empresa, ocupadas por profissionais altamente qualificados e contratados. Foram consideradas também a previsão de crescimento da empresa e a correspondente demanda por aumento do quadro funcional. A figura 53 apresenta a estrutura básica.

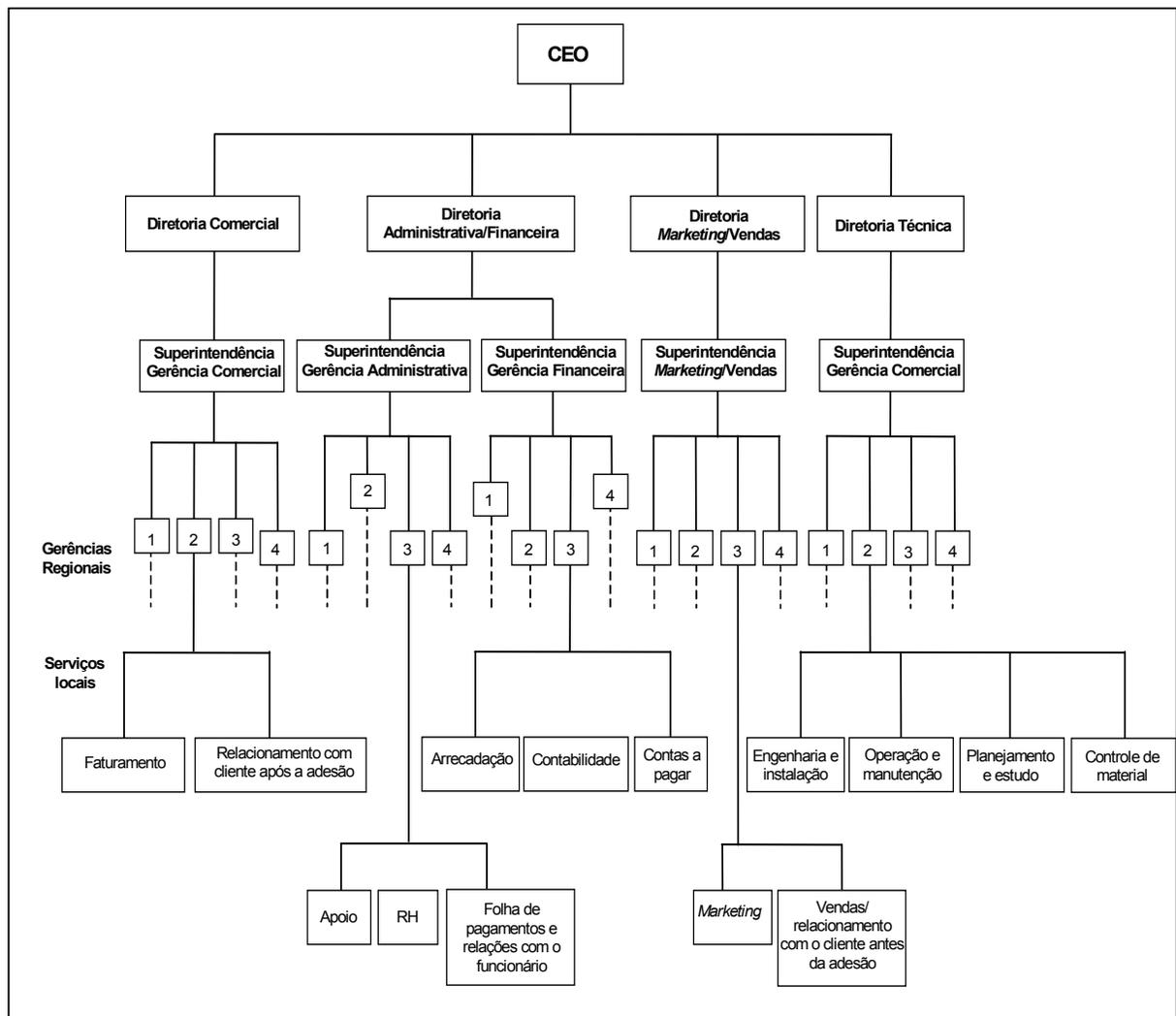


Figura 53 - Estrutura funcional.

6.2 Processo de Negócio

O processo de negócio da PLC BRASIL é mostrado na figura 54.

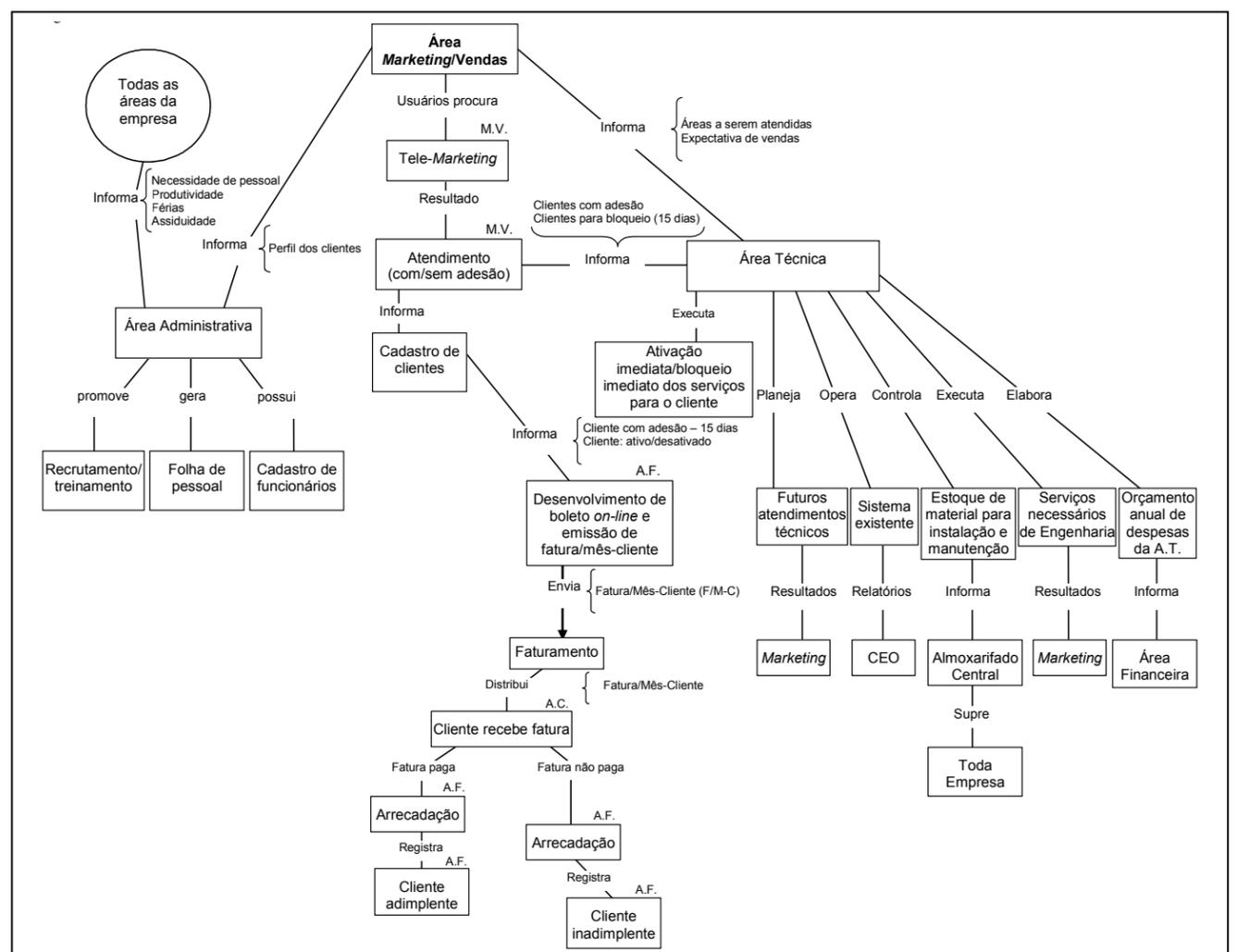


Figura 54 - Processo do negócio PLC.

6.3 Política de Recursos Humanos

A política de recursos humanos visa uma gestão participativa, tanto no que se refere à delegação de tarefas e descentralização, quanto na participação dos resultados. O objetivo é constituir uma equipe competente e comprometida com o negócio. Para isso, pretende-se implantar sistemas de recompensas, premiação por produtividade e sistema de *stock option* em todos os níveis de organização. Treinamentos contínuos também fazem parte da estratégia de recursos humanos.

6.4 Fornecedores

A prestação de serviços da PLCBrasil aos fornecedores resume-se a disponibilizar e manter as redes de acesso contratadas por eles.

6.5 Infra-Estrutura e Localização

Como a empresa encontra-se em fase *start-up*, a infra-estrutura necessária para acomodar e dar suporte às ações de todas as áreas correspondentes ainda não se encontra disponível. Porém, a empresa, inicialmente ocupará os prédios e utilizará a infra-estrutura necessária da EDEE1 do Brasil. Na sede em São Paulo encontram-se a CEO e demais diretorias. Nas regiões Sul (Rio Grande do Sul), Sudeste (São Paulo), Norte (Pará) e Nordeste (Bahia) estão sediadas as Superintendências de cada Diretoria. Em todas as outras localidades do Brasil, tais como: Santa Catarina, Paraná, Pernambuco, Alagoas, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Maranhão, Amazonas, Brasília, Goiás e outras, estão sediadas as gerências regionais de cada superintendência correlata.

6.6 Tecnologia

O plano de tecnologia da PLCBrasil foi cuidadosamente elaborado tendo em vista as projeções de acesso crescente dos serviços de banda larga e a necessidade de uma estrutura tecnológica que dê sustentação aos requisitos de velocidade de acesso, confiabilidade, qualidade, facilidade de instalação e menor preço. Atualmente, a tecnologia se apresenta nas arquiteturas mostradas nas figuras 37, 38, e 39 e apresenta as seguintes características:

Descrição

Rede de acesso à informação, de altíssima capilaridade, que utiliza linhas da rede de distribuição de energia de baixa e de média tensão das empresas de energia elétrica, assim como a rede de distribuição de baixa tensão de energia elétrica dos domicílios dos usuários.

- Taxa de Transmissão:
 - 200 Mbps
- Alcance:
 - 300 m entre a célula PLC (Transformador) e os usuários. Esse comprimento é em função da qualidade da rede elétrica entre os usuários e a célula PLC.
- Aplicação:
 - alternativa para a transmissão dos serviços de banda larga, tais como
 - internet + VoIP + IPTV;
 - domotica;
 - multimídia.
- Vantagens:
 - aproveitamento de uma rede de acesso de grande capilaridade (rede elétrica da distribuição de energia de média e baixa tensão) já existente;
 - a velocidade máxima de 200 Mbps é bem maior que a de uma conexão atual ISDN ou ADSL;
 - conectividade permanente (Internet e outros serviços com disponibilidade 24 horas por dia);
 - transformação da rede elétrica de distribuição predial ou residencial em uma rede local de dados;
 - cada tomada é um ponto de acesso de uso simples e descomplicado;
 - solução do acesso – última milha para as operadoras de telefonia. Desta forma, promove a competição naquele seguimento de prestação de serviço e a inclusão digital;
 - facilidade na implementação do sistema PLC;
 - globalização dos meios de comunicação e a inclusão digital no país.

7 ESTRATÉGIA DE CRESCIMENTO

Quando se estabeleceram os objetivos de crescimento da empresa, houve rigoroso processo de análise das oportunidades e riscos inerentes ao negócio e a identificação dos fatores críticos de sucesso, para, então, desenvolver um cronograma de ações nos diversos níveis da organização e o estabelecimento de marcos que servirão de referência para avaliar as metas estabelecidas e dar suporte às decisões futuras que serão tomadas.

7.1 Análise SWOT

Ao se analisar os ambientes interno e externo do negócio, obteve-se a tabela 28 SWOT.

Tabela 28 - SWOT

Análise Externa	
Oportunidades	Riscos
<ul style="list-style-type: none"> • Ser o <i>first mover</i> neste modelo de negócio no Brasil 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de regulamentação e Padronização do PLC
<ul style="list-style-type: none"> • Crescimento vertiginoso do número de usuários 	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilidade da economia brasileira
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do interesse das empresas e a população no uso da Internet 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de políticas públicas competentes para o setor
<ul style="list-style-type: none"> • Novos serviços: VoIP e a IPTV 	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidade das redes elétricas de DEE
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do número de pequenas e médias empresas 	<ul style="list-style-type: none"> • Competidores atuais e futuros
<ul style="list-style-type: none"> • Consórcio com fornecedores 	<ul style="list-style-type: none"> • Novas tecnologias
Análise Interna	
Pontos Fortes	Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> • Ser uma empresa do grupo EDEE1 líder do mercado de energia elétrica no Brasil 	<ul style="list-style-type: none"> • A falta de conhecimento por parte dos usuários de telecomunicações da tecnologia PLC e dos serviços PLC
<ul style="list-style-type: none"> • Líder do segmento redes de acesso na prestação de serviços de telecomunicações 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldades provocadas por ser a última tecnologia de acesso, atualmente, a ser disponibilizada no mercado
<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia Superior (maior taxa de transmissão disponível no mercado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Redes de acesso PLC: meio de transmissão ruidoso e atenuador seletivo
<ul style="list-style-type: none"> • Alta capilaridade 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho da conexão pode variar de acordo com o número de pessoas que estiverem navegando (<i>Upload</i>) ou baixando (<i>Download</i>) arquivos, simultaneamente
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade de Implementação e uso das redes PLC 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores, junções de cabos, transformadores, medidores de energia, o liga/desliga inerente às fontes chaveadas dos eletrodomésticos fazem com que a carga varie muito. Por isto, inúmeros pontos de reflexão do sinal na rede são originados, fazendo com que existam sinais refletidos ou “eco”, degradando os dados transmitidos
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade da Instalação (disponibilidade em 98% dos casos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Novas tecnologias de acesso
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa capitalizada 	
<ul style="list-style-type: none"> • Menor preço no mercado para o cliente 	

Tendo como base a análise *SWOT* que procura identificar as oportunidades e ameaças (riscos) além dos pontos fortes e fracos, pôde-se determinar os fatores críticos para o sucesso do negócio PLCBrasil:

1. pioneirismo;
2. conhecimento do negócio e do mercado;
3. equipe;
4. capitalização da empresa;
5. alta capilaridade;
6. facilidade: da instalação, implementação e uso das redes PLC;
7. menor preço no mercado para o cliente;
8. aplicações domiciliares com PLC (Domótica).

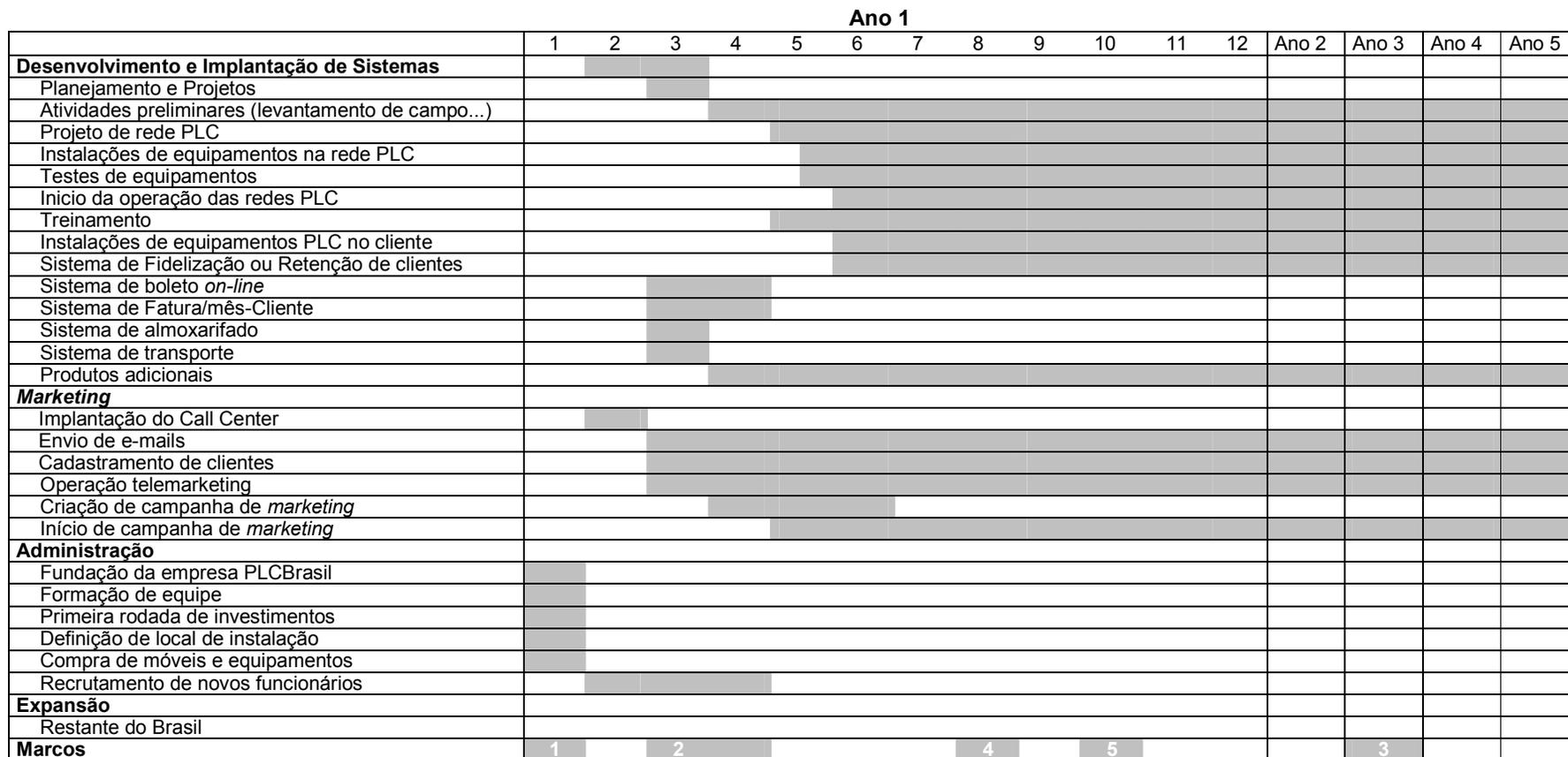
A PLCBrasil tem como vantagens competitivas: o fato de ser o *First Mover* deste modelo de negócio, alta capilaridade, facilidade da instalação, implementação e uso das redes PLC, menor preço no mercado para o cliente e a expertise dos empreendedores.

Devido à competitividade no mercado de prestação de serviços de telecomunicações e à simplicidade do produto, é muito importante definir estratégias de manutenção da vantagem competitiva. O negócio não permite um crescimento lento e tem como principal objetivo o ganho de *Market Share*. Para o atendimento deste objetivo definiram-se alguns possíveis caminhos:

- manter o interesse no negócio do investidor estratégico;
- manter o nível dos investimentos necessários;
- acelerar o processo de parcerias estratégicas com outras empresas do ramo de prestação de serviços de telecomunicações;
- criar os esforços necessários para captação de novos clientes e o ganho de *market share*;
- realizar a diminuição dos investimentos em *marketing*.

7.2 Cronograma

Com base nessas premissas, definiu-se o cronograma de ações a serem desenvolvidas e os respectivos marcos para se medir e controlar tais ações, mostrado na figura 55.



- 1 - Início da operação
- 2 - 100 fornecedores
- 3 - Exposição de caixa positiva
- 4 - VOIP
- 5 - IPTV

Figura 55 - Cronograma de atividades.

8 PREVISÕES DOS RESULTADOS ECONÔMICOS E FINANCEIROS

Na elaboração deste plano de negócio levou-se em consideração as seguintes premissas:

- **Política comercial**
 - Mensalidade: R\$ 60,00 nos ANOS 1, 2, 3, 4 e 5
 - Primeiro semestre da operação: carência de 15 dias
 - Depois do sexto mês de operação: carência de 10 dias
 - Taxas de retenção: 1º ano 30%; 2º ano 60%; e 3/5º anos 80%

- **Custos de cadastramento via *telemarketing***
 - Aquisição de cadastro de fornecedores R\$ 100,00/milheiro
 - Custo por ligação R\$ 1,50 e degrau tarifário local até 5 minutos

- **Gastos de administrativos e de pessoal**
 - Estimados em 9,7% no 1º ano, 3,2% no 2º ano, 3,4% no 3º ano, 1,6% no 4º ano e 1,4% no 5º ano.

- **Provisão para devedores duvidosos**
 - 4% do faturamento

- **Custos de cobrança bancária**
 - R\$ 1,80 por boleto

- **Aplicações financeiras**
 - 80% do CDI, estimado em 20% ao ano bruto e 20% fundos de ações, estimado em 70% ao ano bruto

8.1 Evolução dos Resultados Econômicos

A figura 56 apresenta a evolução da receita, custos e lucro da PLCBrasil em período definido.

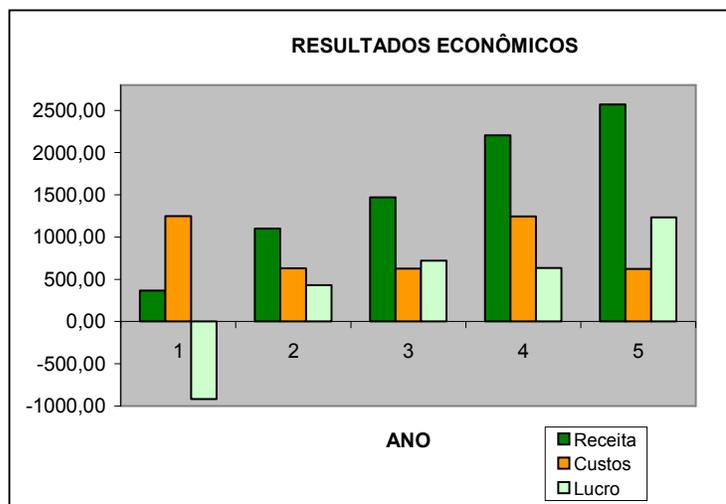


Figura 56 - Resultados econômicos.

Na tabela 29 tem-se o demonstrativo financeiro para cinco anos da empresa PLCBrasil.

Tabela 29 - Demonstrativo financeiro

Discriminação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Receita Líquida	367,20	1.101,60	1.468,80	2.203,20	2.570,40
Custos	1.250,25	628,01	627,31	1.244,55	623,06
Margem de Contribuição	-883,05	473,59	841,49	958,65	1.947,34
Despesas Administrativas	37,01	40,57	44,50	48,80	53,45
Margem Operacional	-920,06	433,02	796,99	909,85	1.893,89
Imposto de Renda+CSLL	0,00	0,00	74,32	274,89	663,42
Margem Líquida	-920,06	433,02	722,67	634,96	1.230,47
% Rentabilidade	-250,56%	39,31%	49,20%	28,82%	47,87%

8.2 Composição dos Principais Gastos (em milhões de reais)

Os custos com as despesas de *telemarketing*, móveis de escritório, viaturas, computadores, propaganda e administrativa são mostradas na figura 57.

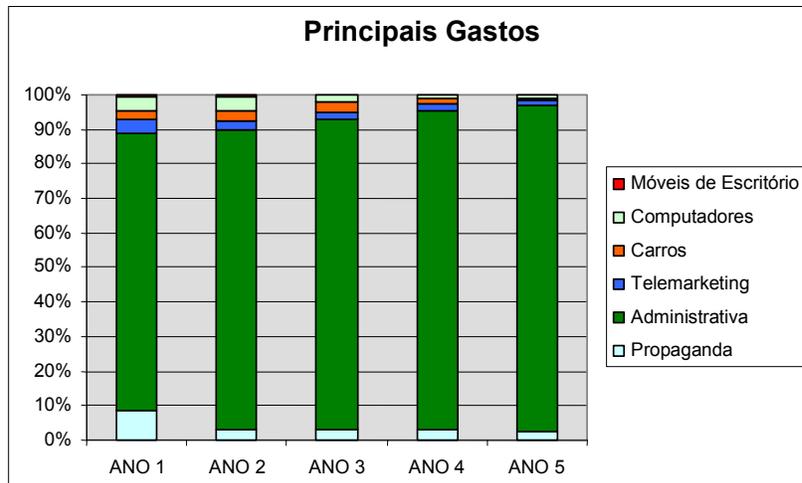


Figura 57 - Principais gastos.

Os custos com as despesas de implantação das redes PLC necessária para a consolidação da arquitetura do modelo 4 são mostrados na figura 58.

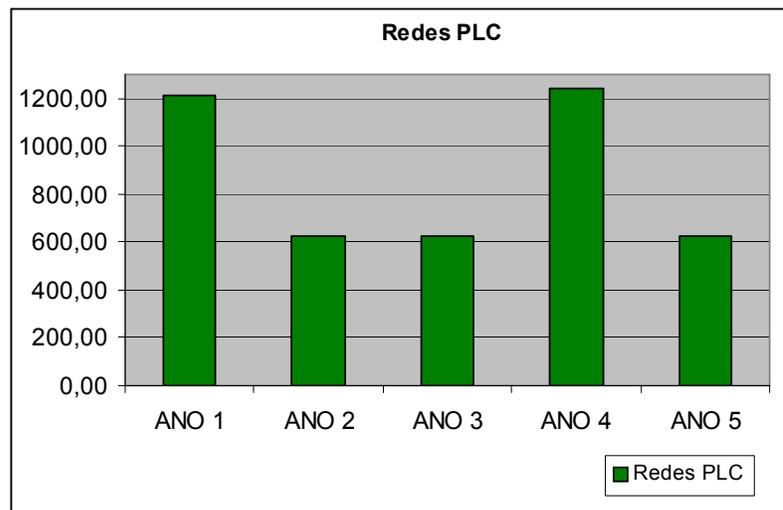


Figura 58 - Custos das redes PLC.

Na tabela 30 encontra-se o demonstrativo financeiro dos principais gastos da empresa PLCBrasil.

Tabela 30 - Demonstrativo financeiro dos principais gastos (em milhões de reais)

Discriminação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Propaganda	4,00	1,50	1,50	1,50	1,50
Administrativa	37,01	40,58	44,50	48,80	53,55
Telemarketing	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Carros	1,00	1,50	1,50	0,80	0,20
Computadores	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50
Móveis de Escritório	0,20	0,15	0,05	0,10	0,10
Redes PLC	1.214,05	621,51	622,31	1.240,65	621,11

8.3 Evolução dos Resultados Financeiros (em milhões de reais)

A evolução dos resultados financeiros da PLCBrasil é ilustrada na figura 59. Nesta figura podemos observar que a partir do 32º mês a empresa será superavitária.

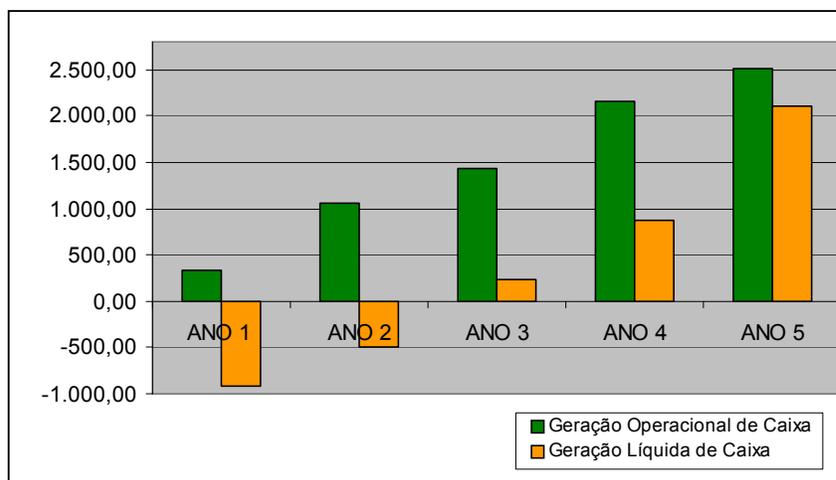


Figura 59 - Evolução dos resultados financeiros.

8.3.1 Quadro Geral (em milhões de reais)

A tabela 31 demonstra o fluxo financeiro da empresa em cinco anos.

Tabela 31 - Fluxo financeiro

Discriminação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Caixa Inicial	0,00	-920,07	-487,05	235,13	870,48
Entradas Operacionais	367,20	1.101,60	1.468,30	2.203,20	2.570,40
Saídas Operacionais	37,02	40,57	44,49	48,80	53,54
Geração Operacional de Caixa	330,18	1.061,03	1.423,81	2.154,40	2.516,86
Juros de Empréstimos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros de Aplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investimentos	1.250,25	628,01	627,31	1.244,55	623,06
Imposto de Renda/CSLL	0,00	0,00	74,32	274,89	663,42
Geração Líquida de Caixa	-920,07	-487,05	235,13	870,09	2.100,86

8.3.2 Evolução da Exposição de Caixa

O caixa do empreendimento torna-se positivo no 32º mês conforme se pode observar na figura 60.

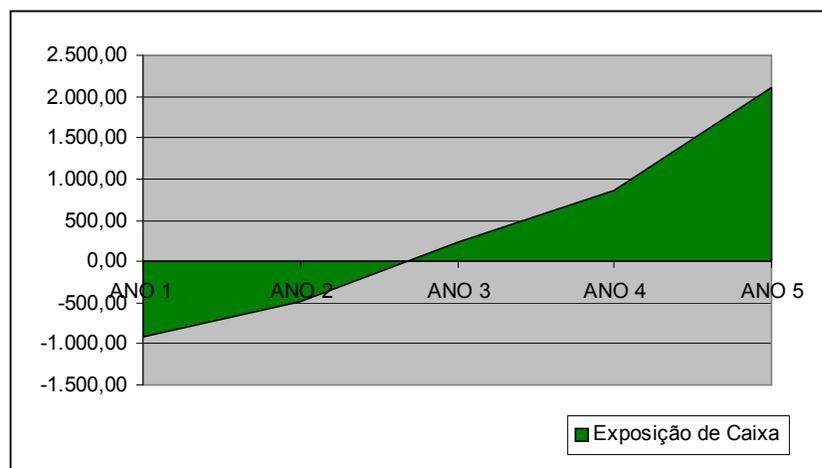


Figura 60 - Exposição de caixa.

8.4 Investimentos (em R\$ mil)

Os investimentos necessários para a consolidação do empreendimento esta ilustrado na figura 61.

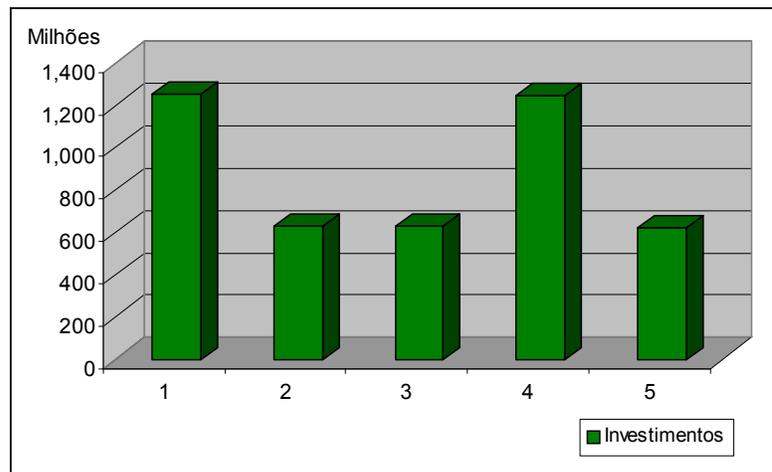


Figura 61 - Investimentos.

- **Itens de Investimentos:**

- Rede PLC
- Carros
- Combustível
- Serviços PLC
- Móveis de Escritório

8.5 Indicadores de Rentabilidade

A tabela 32 apresenta resultados que creditam sucesso ao empreendimento.

Tabela 32 - Indicadores de rentabilidade

Métodos	Valores
• Valor presente líquido (R\$ bilhões) Taxa de desconto (8%) A.A	1,07
• Payback (meses)	32 meses
• Taxa de retorno	29,3% A.A.

8.6 Necessidade de Aporte e Contrapartida

As projeções efetuadas indicam uma necessidade de aporte de R\$ 920.069.330,00 milhões no primeiro ano. A contrapartida oferecida corresponde a uma participação de 23,4% do capital acionário da empresa.

8.7 Cenários Alternativos

8.7.1 Premissas do Cenário Otimista

- Condições de captação
 - aumento da taxa de retenção de 30% para 50% no primeiro ano;
 - manutenção das demais.
- Preços do cenário *Status Quo*
- Estrutura e gastos administrativos iguais aos do *Status Quo*
- Grandes projetos de inclusão digital no Brasil através dos governos municipal e estadual
- Disponibilizar aos clientes da PLCBrasil o IPTV no início da operação
- Aproveitamento do PLC nas aplicações de governança através dos governos municipal e estadual

8.7.1.1 Evolução dos Resultados Financeiros (em milhões de reais)

Para o cenário otimista a figura 62 ilustra a evolução de geração operacional e líquida de caixa da empresa.

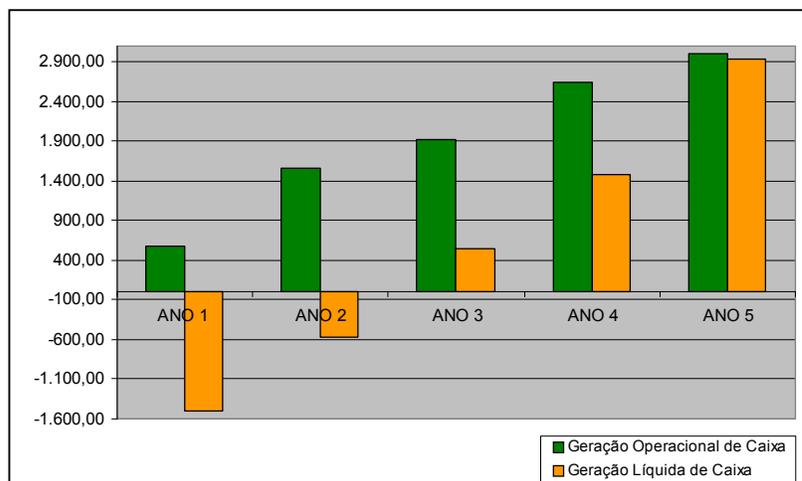


Figura 62 - Evolução dos resultados financeiros.

8.7.1.2 Quadro Geral (em milhões de reais)

A tabela 33 apresenta o fluxo financeiro no cenário otimista.

Tabela 33 - Fluxo financeiro no cenário otimista

Discriminação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Caixa Inicial	0,00	-1.502,66	-575,06	540,76	1.474,55
Entradas Operacionais	612,00	1.596,20	1.958,40	2.692,80	3.060,00
Saídas Operacionais	37,01	40,58	44,50	48,80	53,55
Geração Operacional de Caixa	574,99	1.555,62	1.913,90	2.644,00	3.006,45
Juros de Empréstimos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros de Aplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investimentos	2.077,64	628,01	627,31	1.244,55	623,06
Imposto de Renda/CSLL	0,00	0,00	170,77	465,65	925,90
Geração Líquida de Caixa	-1.502,65	-575,05	540,77	1.474,56	2.932,04

8.7.1.3 Evolução da Exposição de Caixa

Para o cenário otimista, podemos observar na figura 63 que no segundo ano de atividades a empresa apresenta caixa positivo.

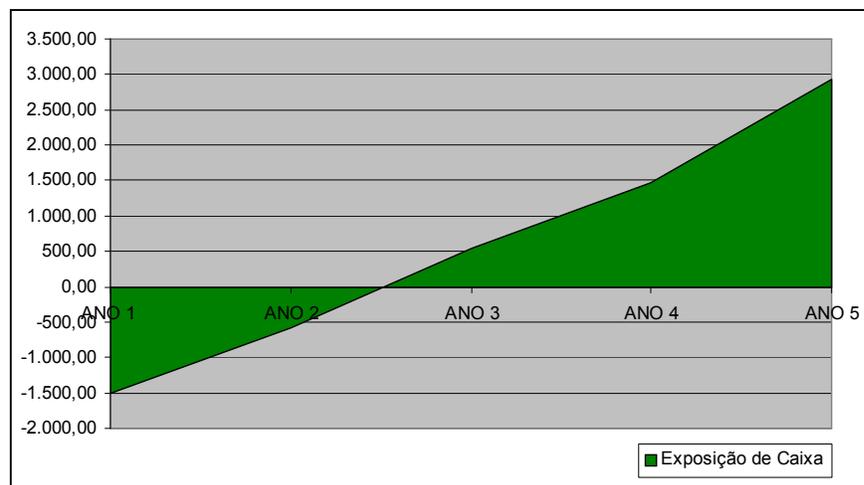


Figura 63 - Exposição de caixa no cenário otimista.

8.7.2 Premissas do Cenário Pessimista

- Condições de captação
 - redução da taxa de retenção de 30% para 25% no primeiro ano
 - manutenção das demais
- Preços do cenário *Status Quo*
- Estrutura e gastos administrativos iguais aos do *Status Quo*
- Não disponibilizar aos clientes da PLCBrasil o IPTV no primeiro ano da operação
- Ausência de grandes projetos de inclusão digital no Brasil
- Não aproveitamento do PLC nas aplicações de governança através dos governos municipal e estadual

8.7.2.1 Evolução dos Resultados Financeiros (em milhões de reais)

Para o cenário pessimista a figura 64 ilustra a evolução de geração operacional e líquida de caixa da empresa.

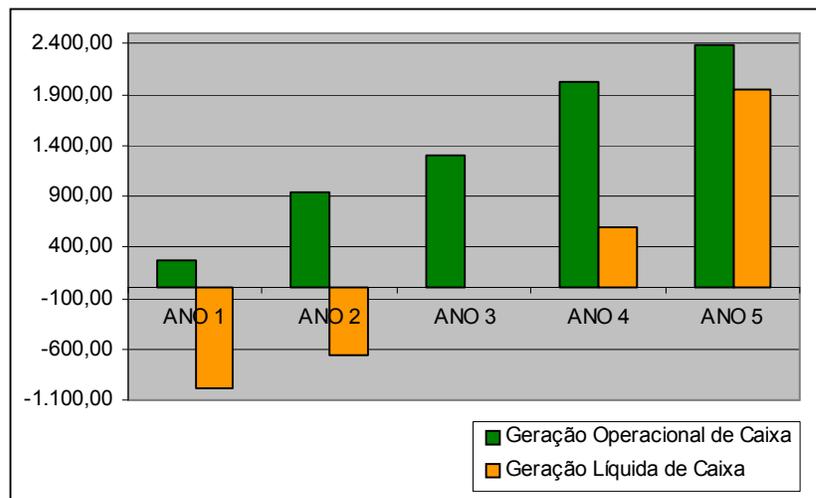


Figura 64 - Evolução dos resultados financeiros no cenário pessimista.

8.7.2.2 Quadro Geral (em milhões de reais)

A tabela 34 apresenta o fluxo financeiro no cenário pessimista.

Tabela 34 - Fluxo financeiro no cenário pessimista

Discriminação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Caixa Inicial	0,00	-981,27	-670,66	2,98	600,73
Entradas Operacionais	306,00	979,20	1.346,40	2.080,80	2.448,00
Saídas Operacionais	37,02	40,58	44,49	48,80	53,55
Geração Operacional de Caixa	268,98	938,62	1.301,91	2.032,00	2.394,45
Juros de Empréstimos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros de Aplicações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investimentos	1.250,25	628,01	627,33	1.244,55	623,06
Imposto de Renda/CSLL	0,00	0,00	0,94	189,70	425,13
Geração Líquida de Caixa	-981,27	-670,66	2,98	600,73	1.946,99

8.7.2.3 Evolução da Exposição de Caixa

Para o cenário pessimista, podemos observar na figura 65 que no quinto ano de atividades a empresa apresenta caixa positivo.

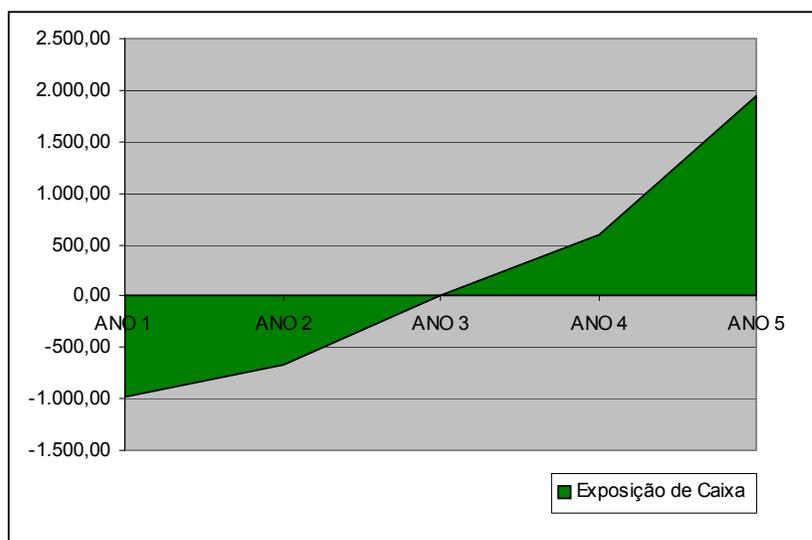


Figura 65 - Evolução dos resultados de fluxo de caixa no cenário pessimista.

8.7.3 Indicadores de Rentabilidade dos Cenários Otimistas e Pessimistas Respectivamente

A tabela 35 apresenta resultados que reafirmam o sucesso do empreendimento por conta das premissas do cenário otimista.

Tabela 35 - Rentabilidade do empreendimento versão otimista

Métodos	Valores
• Valor presente líquido (R\$ bilhões) Taxa de desconto (8%) A.A	3,4
• <i>Payback</i> (meses)	30 meses
• Taxa de retorno	31,5% A.A.

A tabela 36 apresenta resultados que validam o empreendimento mesmo que o cenário se apresente de forma pessimista.

Tabela 36 - Rentabilidade do empreendimento versão pessimista

Métodos	Valores
• Valor presente líquido (R\$ bilhões) Taxa de desconto (8%) A.A	0,31
• <i>Payback</i> (meses)	36 meses
• Taxa de retorno	5,2% A.A.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A presente dissertação discutiu a tecnologia PLC como uma opção viável para redes de acesso ou última milha e na idéia de negócio ou negócio PLC.

Nos Capítulos 1, 2, e 3 abordaram-se temas, tais como: as redes elétricas de distribuição tanto *Indoor*, como *Outdoor*, as degradações impostas aos sinais ou dados transmitidos naquelas redes, os ruídos aditivos presentes no canal PLC e as técnicas de processamento de sinais necessárias para reduzir as distorções aos sinais transmitidos e para viabilizar os sistemas PLC.

No Capítulo 4 fica um alerta para a importância da CEM, a atenção e o conhecimento desse tema que deve-se ter no Brasil.

No Capítulo 5, mais precisamente no plano de negócios, os métodos utilizados para avaliar os investimentos são técnicas clássicas para a seleção de investimentos e foram usadas supondo-se que o ambiente em análise não envolve riscos. Contudo, sabe-se que o cenário empresarial é caracterizado por mudanças rápidas, incertezas e competição intensa que influenciam diretamente na construção e na efetiva realização de projetos. O fato da inserção de incertezas na contextualização ou ambiente, ou seja, as distribuições de probabilidades referentes a cada projeto e a respectiva técnica ou método, possibilita obter o elemento de retorno esperado, como também, o elemento chave na medida de risco de um projeto que é representado por um desvio padrão. O resultado que apresentar o menor desvio padrão associado com o retorno esperado será o escolhido.

Três contribuições foram apresentadas na área tecnológica e na área de negócios ou modelos de negócios, a saber:

1. Arquiteturas de seis possíveis sistemas PLC que definirão seis modelos de negócios.
2. Modelo de negócios em sistemas PLC (seis possíveis modelos de negócios PLC), as respectivas arquiteturas e alguns exemplos.
3. O Plano de Negócio PLCBrasil, baseado em uma empresa fictícia que pertence a uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica (EDEE) e que através do Modelo 4 irá atuar no ramo de prestações de serviços de telecomunicações.

Assim, as possíveis questões futuras de pesquisa são

- Estudo de modelagem do canal e de ruídos com base nas características da rede brasileira, ou seja, usando a rede elétrica de distribuição das EDEE como ambiente de testes e coleta de dados.
- A identificação e a classificação dos distúrbios em sistemas de potência no Brasil.
- Desenvolvimento de técnicas de processamento de sinais voltados à condição das redes elétricas de distribuidoras brasileiras.
- Borderô entre empresas de telecomunicações de ligações PLC interurbanas e internacionais.
- Plano de negócios PLC para os modelos de negócio 1, 2, 3, 4, 5 e 6 usando ferramentas como a Teoria de Opções e simulações para lidar com a incerteza através das árvores de decisão.

A tecnologia PLC é comprovadamente um sério competidor da rede atualmente disponível no mercado das telecomunicações, hoje, fechada ao usuário, ao *unbundling* (desregramento) e conseqüentemente a inclusão digital da sociedade.

7 REFERÊNCIAS

ALENCAR, M.S. **Telefonia Celular Digital**. São Paulo: Editora Erica, 2004. p. 191-238
ISBN: ISBN: 85 – 365 – 0017 – 4.

BARNES, J. A Physical Multi-Path Model for Power Distribution Network Propagation. In: **International Symposium on Power-Line Communications and its applications, 2., Tokyo**. Proceedings: Tokyo, mai 1998, v. 41, n. 5, p. 76-89, p. 92-98.

BIGLIERI, E.; TORINO, P. Coding and Modulation for a Horrible Channel. **IEEE Communications Magazine**, v. 44, n. 3, p. 927-946, mai 1998.

BINGHAM, J.A.C. Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come. **IEEE Communications Magazine**, v. 28, n. 5, p. 5-14, mai 1990.

BOLZANI, C.A.M. **Residências Inteligentes: um Curso de Domótica**. São Paulo: Livraria da Física, 2004. p. 264-273. ISBN: 85-88325-25-X.

BRASIL, H.G. **Avaliação Moderna de Investimento**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004. 222 p. ISBN: 85 – 7303 – 347 - 9.

CAIRE, G.; TARICCO, G.; BIGLIERI, E. Bit-Interleaved Coded Modulation. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 44, n. 3, p. 927-946, mai 1998.

CANETE, F.J.; DIEZ, L.; CORTES, J.A.; ENTRANBASAGUAS, J.A. Broadband Modeling of Indoor Power-Line Channels. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 48, n. 1, p. 175-183, fev 2002.

CEMIG. Projeto Piloto PLC. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/PLC>. Acessado em: nov. 2004.

CHAN, M.H.L. Amplitude, Width, and Interarrival Distributions for Noise Impulses on Intra-building Powerline Communications Networks. **IEEE Transactions Electromagnetic Compability**, v. 31, n. 3, p. 320-323, ago 1989.

CHO, K.; YOON, D.; JEONG, W.; KAVEHRAD, M. BER Analysis of Arbitrary Rectangular QAM. In: IEEE CONFERENCE ON SIGNALS, SYSTEMS AND COMPUTERS, 2001, PACIFIC GROVE. **Proceedings**: Pacific Grove, nov 2001, v. 2, p. 1056-1059.

CHU, H.S., NA, C.K. Bit and Subcarrier Allocation for OFDM Transmission Using Adaptive Modulation In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM KOREA-RUSSIA, 7., 2003, Korus. **Proceedings**: Korus, 2003, p. 82-85.

COLCHER, S. et al. **VoIP: Voz sobre IP**. Porto Alegre: CAMPUS, 2005. p. 112-117. ISBN: 85-352-1787-8.

COLCHER, S.; LEMOS, G.; SOARES, G.F.L. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: CAMPUS, 2000. 705 p. ISBN: 85 - 7001- 998 – X.

DINIZ, R.S.P.; SILVA, B.A.E.; NETTO, L.S. **Processamento Digital de Sinais: Projeto e Análise de Sistemas**. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 539-572. ISBN: 85 – 363 – 0418 – 9.

DORNELAS, A.C.J. **Empreendedorismo Corporativo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 183 p. ISBN: 85 – 352 – 1262 – 0.

DOSTERT, K. Power lines as high speed data transmission channels modeling the physical limits. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS, 2., 1998. **Proceedings**: abr 1998, v. 2, p. 585-589.

DOSTERT, K.I. **Powerline Communications**. Freiburg: Prentice-Hall, 2000. 338 p. ISBN: 3 – 7723 – 4423 – 2.

DROMS, G.W.; PROCIABOY, L.J. **Finanças para Executivos Não-Financeiros**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 276 p. ISBN: 85 – 7307 – 742 – 5.

EBA POWERLINE COMUNICAÇÕES. **Relatório Técnico de Análise de Compatibilidade Eletromagnética – EMC**. Florianópolis: 2002. 11 p.

EN 50065-1. **Signaling on Low-level Voltage Electrical Installations in the Frequency Range 3 kHz to 148.5 kHz, Part I**. disponível em: www.cenelec.org. Acessado em: jan. 2005

ESMAILIAN, T.; GULAK, P.G.; KSCHISCHANG, F.R. A Discrete Multitone Power Line Communication System. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING – ICASSP, 2000. **Proceedings**: 2000, p. 2953-2956.

ESMAILIAN, T.; KSCHISCHANG, F.R.; GULAK, P.G. Characteristics of in-building power lines at high frequencies and their channel capacity. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER-LINE COMMUNICATIONS TECHNIQUES AND ITS APPLICATIONS, 4., 2000. **Proceedings**: 2000, p. 52-59.

FENTON, D.; BROWN, P. Some Aspects of Benchmarking High Frequency Radiated Emissions From Wireline Communication Systems in the Near and Far Fields. In: SYMPOSIUM ON POWER-LINE COMMUNICATIONS AND ITS APPLICATIONS, 2001. **Proceedings**: S.I, abr. 2001, p. 161-167.

FERREIRA, H.C.; GROVE, H.M.; HOOIJEN, O.; VINCK, A.J.H. Power Line Communications: an Overview. In: **IEEE Africon, 4., 1999, Stellenbosch**. Proceedings: Stellenbosch, set 1999, v. 2, p. 558-563.

FITEC INOVACOES TECNOLOGICAS. Projeto OPERA. In: **Seminário PLC: Powerline Communications, 2005, São Paulo**. Proceedings: São Paulo, nov. 2005, p. 1-48.

FOROUZAN, B.A., **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. Porto Alegre: Bookman, 2006. p. 103-123. ISBN: 85 – 363 – 0614 – 9.

GALLO, M.A.; HANCOCK, W.M. **Comunicação entre Computadores e Tecnologias de Rede**. São Paulo: Pioneira Thomsom Learning, 2003. p. 152-158 ISBN: ISBN: 85 – 221 – 0293 – 7.

GOFF, S.Y. Signal Constellations for Bit-Interleave Coded Modulation. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 49, n. 1, p. 307-313, jan. 2003.

GOFF, S.Y. Signaling Constellations for Power-Efficient Bit-Interleaved Coded Modulation Schemes. **IEEE Communication Magazine**, v. 150, n. 3, p. 141-148, jun 2003.

GRUPE SCHNEIDER. **A Compatibilidade Eletromagnética**. São Paulo: mm editora, 1998. 184 p.

HAYKIN, S. **Sinais e Sistemas**. Porto Alegre: Bookman, 2001. p. 196-240. ISBN: 85 – 7307 – 741 – 7.

HAYKIN, S. **Sistemas de Comunicação: analógicos e digitais**. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 38-40. ISBN: 85 – 7307 – 936 – 3.

HAYT, W.H. Jr., BUCK, J.A. **Eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A, 2003. p. 226-245 ISBN: 85-216-1365-2.

HELFERT, A.E. **Técnicas de Análise Financeira: um guia prático para medir o desempenho dos negócios**. Porto Alegre: Bookman, 2000. 411 p. ISBN: 85 – 7307 – 513 – 9.

HENSEN, C. Data transmission applications via low voltage power lines using OFDM technique In: **IEEE 5th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications**, 5., 1998, Tokyo. Proceedings: Tokyo, mar. 1998, v. 2, p. 210-214.

HIROSAKI, B. An Orthogonally Multiplexed QAM System Using the Discrete Fourier Transform. **IEEE Transactions on Communications**, v. 29, n. 7, p. 982-989, jul 1981.

INTELLON. **Intellon. (2004)**. Disponível em: <http://www.intellon.com/>. Acesso em: jan. 2005.

TU-RSG. A Guide to Digital Terrestrial Television Broadcasting in the VHF/UHF Bands.

Disponível em: http://Klaus.ert.rwth.-aachen.de/Projektke/Theo/OFDM/www_ofdm.html.

Acessado em: nov. 2004.

JEE, G.; EDISON, C.; RAO, R.D.; CERN, Y. Demonstration of the Technical Viability of PLC Systems on Medium and Low Voltages Lines in the United States. **IEEE Communications Magazine**, v.41, n. 5, p. 108-112, mai 2002.

JESZENSKY, E.J.P. **Sistemas Telefônicos**. São Paulo: Editora Manole, 2004. p. 524-528 ISBN: 85 – 204 – 1622 – 5.

KUHN, M.; BENYOUCEF, D.; WITTNEBEN, A. Linear Block codes for frequency selective PLC channels with colored noise and multiple narrowband interference. In: **IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring, 2002**. Proceedings: mai 2003, v. 41, n. 5, p. 92-98.

LANGFELD, P.J. The Capacity of Typical Power Line Reference Channels and Strategies for System Design. In: **International Symposium on Powerline Communication and its Applications**. 5., 2001. Proceedings: S.I., 2001, p. 271-278.

LIN, Y.J.; LATCHMAN, H.; NEWMAN, R.E.; Katar, S.A. Comparative Performance Study of Wireless and Power Line networks. **IEEE Communications Magazine**, v.41, n.4, p. 54-63, abr. 2003.

LIN, Y.J.; LATCHMAN, H.; NEWMAN, R.E.; KATAR, S. A Power Line Communication Network Infrastructure for the Smart Home. **IEEE wireless Communications**, v.9,n.6, p. 104-111, dez. 2002.

LIN, Y.P.; PHOONG, S.M. Analog Representation and Digital Implementation of OFDM Systems. **IEEE Transactions on Signal Processing**, v. 51, n. 9, p. 2450-2453, set 2003.

LITWIN, L. OFDM: An Introduction to Multicarrier Modulation – **IEEE Potentials Magazine**, v. 19, n. 2, p. 36-38, abr./mai 2000.

MAJUMDER, A., CAFFREY, J. Power Line Communications: An Overview. **IEEE Potentials**, v. 23, p. 4-13, out. 2004.

MALHOTRA, K. N. **Pesquisa de Marketing**: uma orientação aplicada. Porto Alegre: Bookman, 2006. 720 p. ISBN: 85 – 363 – 0650 – 5.

MARTINS, D.F. **Redes de Acesso**: Tecnologias, Arquiteturas e Aplicações em Empresas de Distribuição de Energia Elétrica, com Ênfase na Utilização do Acesso PLC, Porto Alegre, 2005.

MERCHAN, S.; ARMADA, A.G.; GARCIA, J.L. OFDM Performance in Amplifier Nonlinearity. **IEEE Transactions on Broadcasting**, v. 44, n. 1, p. 106-114, mar. 1998.

MPE LIMITED. High Performance Power Line Filters.

Disponível em: <http://www.mpe.co.uk/downloads/powerlin.pdf>. Acessado em: 2005

MUQUET, B.; WANG, Z.; GIANNAKIS, G.B.; COURVILLE, M.; DUHAMEL, P. Cyclic Prefixing or Zero Padding for Wireless Multicarrier Transmissions? **IEEE Transactions on Communication**, v. 50, p. 2136-2148, dez 2002.

O'Neal JR, J.B. Substation NOISE at Distribution-Line Communication Frequencies. **IEEE Transactions on Electromagnetic Compability**, v. 30, n. 1, p. 71-77, fev 1988.

PAVLIDOU, N.; VINCK, A. J. H.; YAZDANI, J.; HONARY, B. Power line communications: State of Art and Future Trends. **IEEE Communications Magazine**, v. 41, n. 4, p. 34-40, abr 2003.

PELED, A.; RUIZ, A. Frequency Domain Data Transmission Using Reduced Computational Complexity Algorithms. In: **IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing - ICASSP, 1980, Denver**. Proceedings: Denver, 1980, p. 946-967.

PINTO, L. E.; ALBUQUERQUE, P. C. A Técnica de Transmissão OFDM. **Revista Científica Periódica – Telecomunicações**, v. 1, n. 1, p. 1, 9, jun 2002.

PUCCINI, L.A. **Matemática Financeira**. São Paulo: Saraiva, 2006. 410 p. ISBN: 85 – 02 – 04253 – X.

RAMSEIER, S.; ARZBERGER, M.; HAUSER, A. MV and LV Powerline Communications: New Proposed IEC Standadrds. In: **IEEE Transmission and Distribution Conference, 1999, New Orleans**. Proceedings: New Orleans, abr 1999, v. 1, p. 235-239.

RIBEIRO, M.V. Técnicas de processamento de sinais aplicados à transmissão de dados via rede elétrica e ao monitoramento da qualidade de energia. Campinas (SP). Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, p. 69-120. 2005.

ROHLING, H.; MAY, T.; BRUNINGHAUS, K.; GRUNHEID, R.; Broad-Band OFDM Radio Transmission for Multimedia Applications. **IEEE Communications Magazine**, v. 87, n. 10, p. 1778-1789, out 2002.

- SADIKU, M. N. O. **Elementos de Eletromagnetismo**. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 426 – 435 ISBN: 85 – 363 – 0275 – 5.
- SANDERSON, W. Broadband Communications over a Rural Power Distribution Circuit. In: **IEEE International Symposium, 2000, Southeastcon**, Proceedings: Southeastcon, 2000, p. 497-504.
- SPETH, M. **OFDM Receivers for Broadband-Transmission**. Disponível em: out. 2004
- TANAKA, M. High Frequency Noise Power Spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line in Japan on intrabuilding Power Line Communications. **IEEE Transactions on Consumer Eletronics**, v. 34, n. 2, p. 321-326, mai 1988.
- TANENBAUM, A.S. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Editora CAMPUS, 2003. 923 p. ISBN: 85 – 352 – 0157 – 2.
- UNITED STATES OF AMERICA FEDERAL COMMUNICATIONS. **Part15-Radio Frequency Devices**. Disponível em: [http://ftp.fcc.gov/oet/info/rules/part15/part15 dec18 01.pdf](http://ftp.fcc.gov/oet/info/rules/part15/part15%20dec18%2001.pdf). Acessado em: fev. 2004.
- VANKA, J.; KOSUNEN, M.; SANCHIS, I.; HALONEN, K.A.I. A Multicarrier QAM Modulator. **IEEE Transactions on Circuits and Systems – II: Analog and Digital Signal and Processing**, v. 47, n. 1, p. 1-10, jan. 2000.
- WANG, Z.; GIANNAKIS, G.B. OFDM: Wireless Multicarrier Communications – Where Fourier Meets Shannon. **IEEE Signal Processing Magazine**, v. 17, n. 3, p. 29-48, mai de 2000.
- WEINSTEIN, S.B.; EBERT P.M. Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform. **IEEE Transactions on Communications, COM-19**, p. 628-634, out. 1971.
- ZIMMERMANN, M.; DOSTERT, K. A Multipath Model for the Power Line Channel. **IEEE Transactions on Communications**, v. 50, n. 4, p. 553-559, abr. 2002a.
- ZIMMERMANN, M.; DOSTERT, K. An Analysis of the Broad Band Noise Scenario in Powerline Networks. In: **IEEE International Symposium on Powerline Communications and its applications, 4., 2002**. Proceedings: Limerick, abr 2002c, p. 131-138.
- ZIRMMERMANN, M.; Dostert, K. A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range. In: **IEEE International Symposium on Powerline Communications, 3., 1999, Lancaster**. Proceedings: Lancaster, mar 1999, p. 585-589.
- ZIRMMERMANN, M.; DOSTERT, K. Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications. **IEEE Transactions on Electromagnetic Compability**, v.44, n.1, p. 249-258, fev 2002b.

Anexo 1

As técnicas de codificação de dados (códigos de transmissão e detecção de erros)

Seqüências estruturadas

As seqüências estruturadas são uma classe de codificação que modificam diretamente a seqüência ou a corrente de *bits*, introduzindo de maneira controlada redundâncias na informação a ser transmitida para que a presença de possíveis erros possa ser detectada e corrigida durante a decodificação. Dois tipos básicos de codificação são largamente utilizados até hoje e são bases para codificações mais complexas: a codificação de blocos e a codificação convolucional. Elas são duas subcategorias da classe de codificação seqüências estruturadas que analisaremos a seguir.

Codificação de linha

A codificação de linha é o processo de converter dados binários, ou seja, uma seqüência de *bits* ou a informação, em sinais digitais. Por exemplo, dados, textos, números, imagens gráficas, áudio e vídeo que estão armazenados no computador são todas seqüências de *bits*. A Codificação de linha converte uma seqüência de *bits* em sinais digitais (FOROUZAN, BEHROUZ, 2006).

Codificação de blocos

A codificação de blocos foi desenvolvida para melhorar a performance da codificação de linha. O fato básico a respeito da codificação de linha é: necessitamos de algum tipo de redundância que assegure a sincronização. Além do que, precisa-se incluir *bits* adicionais para detectar-se erros de transmissão. A codificação de blocos pode satisfazer, e até mesmo estender, estes dois objetivos. A figura 1 ilustra o processo de codificação de blocos. Esse processo passa por três etapas: divisão, transformação e codificação de linha. Inicialmente, a fonte de dados ou a seqüência de *bits* é dividida em grupos ou blocos de *m-bits*. O codificador transforma cada *m* bloco de *m-bits* por blocos de *n-bits*, ou seja, acrescenta, por meio de combinações lineares entre esses *m bits*, (*n-m*) *bits* de redundância ou *bits* de paridade, criando a palavra código de *n-bits*. A seqüência de *n-bits*, chamada bloco codificado ou palavra-código de *n-bits*, será sempre maior que a seqüência de *m-bits*, denominada bloco de informação. Por exemplo, na codificação 4B/5B, códigos de 5-*bits* substituem blocos de 4B. Existem 2^m ou 16 blocos diferentes na configuração 4B, assim como podemos formar 2^n ou 32 elementos codificáveis através de um código de 5-*bits*. Neste cenário podemos concluir que alguns elementos do código de 5-*bits* podem ser mapeados dentro do bloco de 4-*bits* e outros não terão nenhuma correspondência. Contudo, aplica-se uma estratégia para a escolha dos elementos do código de 5-*bits* que assegurem os mecanismos que facilitem a sincronização e a detecção de erros no receptor. Para obter sincronização pode-se usar o código de 5-*bits* de modo que não tenhamos, por exemplo mais que 0's ou 1's consecutivos na seqüência.

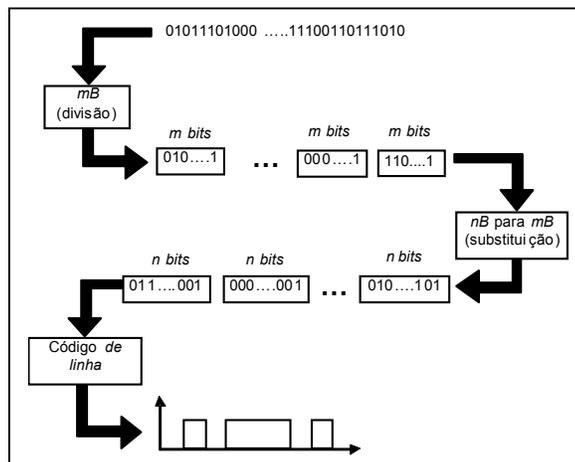


Figura 1 - Codificação de blocos.

Os códigos de checagem de paridade são uma outra maneira de codificação de blocos simples. Neste caso, os *bits* de redundância, quando inseridos no bloco de informação, assumem os valores 0 ou 1 de acordo com a paridade dos *bits* no bloco de informação. O processo de decodificação no receptor é verificar se a soma do bloco codificado tem 0 como resultado. Senão, o resultado sendo 1, confirma a existência de erros no bloco codificado.

A taxa de codificação ou código é a relação entre o número de *bits* no bloco de informação e o número de *bits* do bloco codificado (palavra código), é dada por $R = \frac{m}{n}$, e ainda a relação entre o número de *bits* redundantes e o número de *bits* no bloco de informação, denominada de redundância de código, é dada por $\frac{(n-m)}{m}$.

Codificação linear de blocos

A Codificação Linear de Blocos é uma subclasse da codificação de blocos. Os códigos de bloco podem ser lineares e não lineares (ALENCAR, 2004). Porém, consideraremos no nosso texto os códigos lineares por conta da importância prática desses códigos. No caso de um código, pode-se afirmar que o mesmo é linear se duas palavras-código quaisquer do código puderem ser somadas em aritmética binária módulo 2 e resultar uma terceira palavras-código. Nos códigos de blocos lineares, as funções de codificação e decodificação utilizam as operações aritméticas binárias de adição e de multiplicação módulo 2 realizadas nas palavras-código do código. Até então representamos um código linear por (n, m) . Vamos acrescentar a variável d nesta representação, de modo que passaremos a representar aquele código por (n, m, d) que é definido por um conjunto de n -uplas binárias, chamadas palavras-código, seqüência de n -bits ou blocos codificados, que diferem entre si em pelo menos d posições, e formam um subespaço vetorial de todas as n -uplas. Um exemplo de código de bloco é mostrado nas matrizes abaixo: Mensagens e Palavras Código. Neste caso, trata-se do código de bloco $(7, 3, 4)$, com $m = 3$, $n = 7$ e $d = 4$. Os dígitos de verificação de paridade ou redundantes são calculados a partir das equações 1, 2, 3 e 4, a seguir:

$$c_1 = m_1 \oplus m_2, \quad (\text{Equação 1})$$

$$c_2 = m_2 \oplus m_3, \quad (\text{Equação 2})$$

$$c_3 = m_1 \oplus m_3, \quad (\text{Equação 3})$$

$$c_4 = m_1 \oplus m_2 \oplus m_3, \quad (\text{Equação 4})$$

Cada bloco de informação com $m = 3$ bits, é codificado em uma palavra-código com $n = 7$ bits, formando o seguinte conjunto de 7-uplas ou palavras código.

Mensagens		Palavras-Código
$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{bmatrix}$	\Rightarrow	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ m_1 & m_2 & m_3 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix}$

As palavras-código de um código podem ser representadas por vetores com n componentes. Os componentes dos vetores são elementos de um campo binário e representado por 0 e 1. Sendo o código de bloco (n, m, d) linear, é possível encontrar m palavras-código linearmente independentes $(g_0, g_1, \dots, g_{m-1})$ de forma que cada palavra-código seja uma combinação linear das m palavras que são os vetores da base do subespaço constituído pelo código linear. Portanto, podemos determinar uma palavra código qualquer usando a equação 5:

$$v = u_0 g_0 + u_1 g_1 + \dots + u_{k-1} g_{k-1} \Rightarrow e \quad (\text{Equação 5})$$

$$u_i = 0 \text{ ou } 1.$$

Dessa forma, os vetores da base podem ser escritos como linhas de uma matriz G . Essa matriz é denominada de matriz geradora de um código de bloco linear com m linhas e n colunas, $m \times n$. Por meio daquela matriz organiza-se as m palavras códigos e pode-se expressar G pela equação 1 [49]

- $G = [I_m | g]$; (Equação 6)
- I_m é a matriz unitária $m \times m$;
- g é uma matriz $m \times (n - m)$.

Conhecida a matriz geradora G de um código de bloco linear (m, n) , pode-se formar uma outra matriz H . A matriz H é conhecida como matriz de verificação de paridade, ou simplesmente, de paridade. Esta matriz é ortogonal ao espaço das linhas da matriz G , ou seja, se v_i é um vetor no espaço das linhas de G , tem-se

$$v_i \cdot H^T = 0 \quad (\text{Equação 7})$$

e a matriz H pode ser denotada pela equação 8

- $H = [h : I_{n-m}]$; (Equação 8)
- h é uma matriz $(n - m) \times m$ ou transposta da matriz g ;
- I_{n-m} é uma matriz unitária $(n - m) \times (n - m)$.

A seguir serão mostradas as matrizes G , g , h e H , das matrizes Mensagens e Palavras-Código:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ k_1 & k_2 & k_3 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix},$$

$$g = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad h = g^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} e,$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ k_1 & k_2 & k_3 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix}$$

Algumas características da matriz H :

- as linhas da matriz H são linearmente independentes;
- essa matriz gera um código linear $(n, n - m, d)$, que é chamado o código dual do código (n, m, d) gerado por G .

Ao utilizar-se da representação matricial, conclui-se que um codificador tem por função realizar o produto uG , de uma matriz linha u , com m elementos, que representam os dígitos de informação pela matriz G . O resultado de tal operação é uma combinação linear das linhas de G e, portanto, uma palavra-código.

Richard Wesley Hamming (1915-1998), conhecido por seus trabalhos em códigos para correção de erros, introduziu componentes essenciais na teoria dos códigos. Entre seus resultados de pesquisas estão os códigos para correção de erros e conceitos de distância de Hamming, distância mínima e Peso de Hamming (GALLO, HANCOCK, 2003). A capacidade de detecção simples, ou detecção e correção de erros está ligada aos componentes introduzidos por Hamming e, principalmente, à distância mínima entre os códigos.

A seguir, serão conhecidas as definições de **Peso de Hamming** de um vetor ou palavra-código, a **distância de Hamming** entre dois vetores e a **distância mínima** entre dois vetores

• **Peso de Hamming** de um vetor ou bloco binário U , representado por $w(U)$, é definido como o número de 1's presentes no vetor ou bloco binário U .

Exemplo: Os vetores ou palavras-códigos $v_1 = 101000100$, tem **Peso de Hamming 3** e $v_2 = 111000100$, $w(U) = 4$.

• **Distância de Hamming** entre dois vetores ou códigos, representada por d , é definida como o número de posições de *bits* correspondentes em que os dois vetores ou códigos diferem.

Exemplo: Os vetores ou palavras-códigos $v_1 = 101010100$ e $v_2 = 111000010$ tem **Distância de Hamming 4**, ou seja, $d = 4$, pois há quatro *bits* correspondentes que diferem entre si nas posições **2,5,7 e 8** (da esquerda para a direita).

• **Distância mínima ou distância de Hamming do código**, representada por d_{\min} , é a menor distância de Hamming encontrada entre suas palavras, levando em consideração todos os pares de blocos codificados em um subespaço vetorial S .

Exemplo: Os vetores ou palavras-códigos $v_1 = 101010100$, $v_2 = 111000010$, $v_3 = 000111111$ e $v_4 = 111000000$ que pertencem a um subespaço vetorial S tem **Distância mínima 1**, ou seja, $d_{\min} = 1$ que é a menor **Distância de Hamming** encontrada entre os vetores ou palavras-código, v_2 e v_4 , do subespaço vetorial S .

Algumas observações importantes a respeito da distância mínima:

• S representa o conjunto de todas as possibilidades de blocos codificados.
 • Para uma codificação linear de blocos, a capacidade de detecção simples, ou detecção e correção de erros está relacionada com a distância de Hamming do código ou distância mínima entre blocos codificados.

• Sendo d_{\min} a distância mínima entre pares de palavras-código distintas, Hamming provou que se pode corrigir t erros, em que t é o maior inteiro menor ou igual a $\frac{(d_{\min} - 1)}{2}$.

• O termo $(d_{\min} - 1)$ é definido como a capacidade de detecção de erros, e , ou seja, $e = d_{\min} - 1$.

Portanto, um código linear de palavras-código ou blocos codificados, com uma distância mínima d_{\min} entre os pares de palavras-código distintas, garante que todas as seqüências de erros menores ou iguais a $e = d_{\min} - 1$ podem ser detectadas (**detecção de erros**). Assim, para a capacidade de correção de erros, pode-se corrigir no máximo t erros, em que t é o maior inteiro

menor ou igual a $\frac{(d_{\min} - 1)}{2}$, ou seja, $t \leq \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor \leq \frac{e}{2}$ (**correção de erros**).

Para o código de bloco (7, 3, 4), visto anteriormente, repetiremos, abaixo, os blocos de mensagens e os blocos codificados ou palavras-código (subespaço vetorial S).

$$\begin{array}{c}
 \text{Mensagens} \\
 \begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 \\
 0 & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 0 \\
 1 & 1 & 1 \\
 m_1 & m_2 & m_3
 \end{bmatrix}
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{c}
 \text{Palavras-Código (subespaço vetorial S)} \\
 \begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 m_1 & m_2 & m_3 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

O Codificador do código de bloco linear (7, 3, 4), conforme mostrado nas representações matriciais **Mensagens** e **Palavras-Código** (subespaço vetorial S) apresentam os seguintes parâmetros:

- **Distância mínima ou distância de Hamming do código**, $d_{\min} = 4$.
- **Detecção de erros**, o codificador pode detectar até e erros. Sendo $e = d_{\min} - 1 = 3$, pode detectar até 3 ou menos erros seqüenciais.

• **Correção de erros** o codificador pode corrigir os blocos codificados ou palavras-código que apresentarem t erros, em que t é o maior inteiro menor ou igual a $\frac{(d_{\min} - 1)}{2}$, ou seja,

$t \leq \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor = \frac{e}{2}$. Como $t \leq \frac{3}{2} \leq 1,5$, o maior inteiro menor ou igual a 1,5 é 1, portanto pode corrigir 1 erro.

Códigos cíclicos

Códigos Cíclicos é uma subclasse da codificação linear de blocos e, os mais importantes, nessa subclasse, do ponto de vista de aplicações da engenharia. Utilizam-se os códigos cíclicos em gravação magnética, protocolos de comunicação, CDs de música e outras aplicações. Esses códigos possuem uma estrutura baseada em matemática discreta, que permite uma grande simplificação na implementação de codificadores e decodificadores.

Diz-se que um código binário é um código cíclico se ele apresentar duas propriedades fundamentais:

1. **Propriedade da linearidade**: a soma de duas palavras-código quaisquer também é uma palavra-código.
2. **Propriedade cíclica**: qualquer deslocamento cíclico de uma palavra-código é uma palavra-código.

A propriedade 1 reafirma a condição de que um código cíclico é um código de bloco linear. Contudo, para a propriedade 2, admitamos que a n -tupla $(c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$ indique uma palavra código de um código de bloco linear (n, m) , então o código é um código cíclico se as n -tuplas

$$\begin{array}{c}
 (c_{n-1}, c_0, \dots, c_{n-2}) \\
 (c_{n-2}, c_{n-1}, c_0, \dots, c_{n-3}) \\
 \vdots \\
 (c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_0)
 \end{array}$$

forem todas palavras-código do código.

Sendo o código de bloco linear (n, m) um código cíclico, então todas as palavras-código deste código são múltiplas de um polinômio $g(x)$ de grau $n - m$, denominado polinômio gerador. Ou, todo polinômio de grau igual ou menor que $n - 1$ é uma palavra código se for divisível pelo polinômio $g(x)$.

Codificador com $n-m$ estágios de registradores de deslocamento para códigos cíclicos

Registradores de deslocamento com realimentação são utilizados pelos códigos cíclicos para gerar palavras-código ou blocos codificados. A base deste método de codificação está na característica

de que todas as palavras-código de um código cíclico são múltiplas de um polinômio $g(x)$ de grau $n - m$ que é um fator de $x^n - 1$. Um polinômio $I_{(x)}$, de grau menor ou igual a $m - 1$, representa os m dígitos de informação. O termo x^{n-m} multiplicado por $I_{(x)}$ terá como resultado um polinômio $I_{(x)} \cdot x^{n-m}$ de grau menor ou igual a $n - 1$ (não possui termos de grau menor que $n - m$). Com a divisão entre os polinômios $I_{(x)} \cdot x^{n-m}$ e $g(x)$, teremos $\frac{I_{(x)} \cdot x^{n-m}}{g(x)} = I_{(x)} \cdot x^{n-m} = Q_{(x)} \cdot g_{(x)} + R_{(x)}$ e as seguintes conclusões:

conclusões:

- $Q_{(x)}$ é um polinômio e o quociente.
- $R_{(x)}$ é um polinômio, o resto e representa os dígitos de redundâncias ou verificação de paridade.
- $R_{(x)}$ tem grau menor ou igual a $n - m - 1$ e, portanto, tem grau menor que $g(x)$.
- O resultado da subtração de $R_{(x)}$ por $I_{(x)} \cdot x^{n-m}$ é uma palavra-código, logo um múltiplo de $g(x)$.

Na figura 2 tem-se um codificador para um código cíclico (n, m) composto de registradores de deslocamento $n - m$ do vetor gerador $g = [g_1, g_2, \dots, g_{n-m-1}]$ e do vetor dos bits de verificação de paridade ou redundância $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-m-1}]$ incluído no bloco de informação. As chaves $g_1, g_2, \dots, g_{n-m-1}$ dependem do coeficiente que representa cada chave em $g(x)$. Se o coeficiente for 0 a chave correspondente estará aberta, senão fechada. Existe uma pré-multiplicação do polinômio de informação, $I_{(x)}$, por x^{n-m} . Em princípio, o conteúdo do registrador é zero, a chave 1 está fechada e a chave 2 na fica posição 1. O bloco de informação é transmitido simultaneamente ao circuito de divisão e à saída. Ao final da emissão do m -ésimo bit, a chave 1 é aberta, a chave 2 se desloca para a posição 2 e os $n - m$ bits de verificação de paridade ou redundância (resto) que estão no registrador são transmitidos, durante os próximos $n - m$ intervalos de tempo, para serem anexados no bloco codificado.

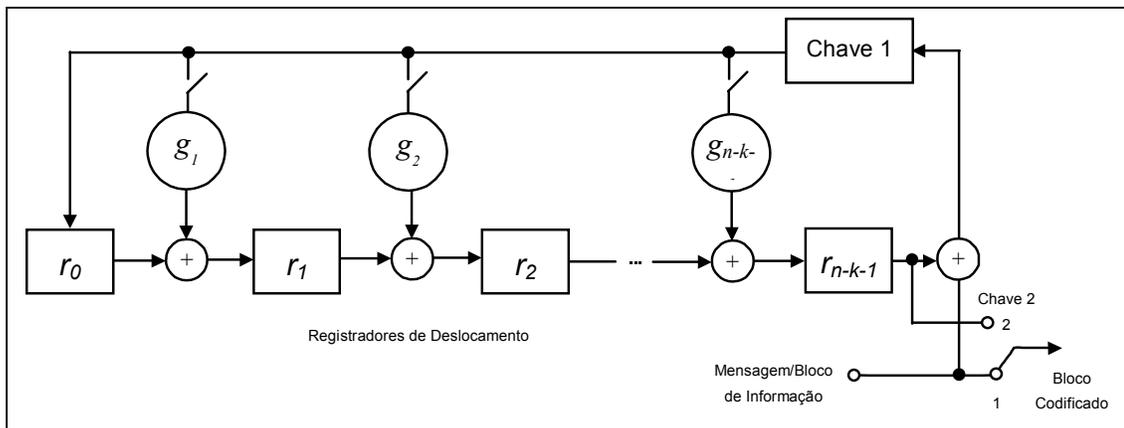


Figura 2 - Codificador cíclico com $n - k$ registradores de deslocamento.

Na figura 3 temos um exemplo de um código cíclico $(7, 4)$, com gerador $g = [1101]$ e bloco de informação $msg = [1011]$.

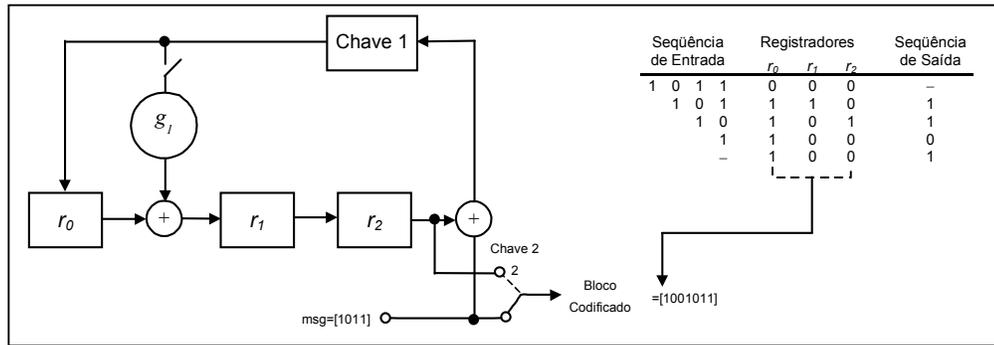


Figura 3 - Aplicação de codificação cíclica.

No processo de codificação cíclica da figura 3 temos a mensagem (*msg*) ou bloco de informação composto de 4 *bits* ($m = 4$) que é transmitido no codificador para juntar-se a 3 *bits* redundantes e produzindo na saída um bloco codificado com 7 *bits* ($n = 7$).

No receptor, o processo de detecção e correção de erros para que se tenha uma versão reconhecível do sinal de mensagem ou bloco de informação original passa por uma confirmação de paridade chamada síndrome.

Síndrome

No transmissor, a matriz geradora *G* é utilizada para a codificação do bloco de informação *e*; para a decodificação daquele sinal no receptor é usada a matriz *H*. Nesse processo o vetor *r* sinaliza o vetor recebido $1 \times n$ que é resultado do vetor código original *c* transmitido num canal com ruído. Introduzindo o vetor *e*, denominado vetor erro ou padrão de erro, podemos expressar o vetor *r* como a soma dos vetores *c* e *e*, ou seja,

$$r = c + e$$

O *i*-ésimo elemento de *e* é igual a zero se o elemento correspondente de *r* for o mesmo que o de *c*. Portanto, o *i*-ésimo elemento de *e* é igual a um se o elemento correspondente de *r* for diferente do de *c*. Nesse caso pode-se afirmar que ocorreu um erro na *i*-ésima localização. Em resumo, para $i = 1, 2, \dots, n$, temos:

- $e_i = 0$, quando não houver erro na *i*-ésima localização;
- $e_i = 1$, quando houver erro na *i*-ésima localização.

O vetor código *c* é decodificado do vetor recebido *r* pelo receptor, por meio de algoritmos que realizam a operação de decodificação iniciando com a computação de um vetor $1 \times n - k$ chamado de vetor síndrome de erro ou simplesmente síndrome. A síndrome depende somente do padrão de erro. Se o bloco recebido não tem erros, a síndrome possui $n - m$ *bits* de valores iguais a zero. Porém, se alguns *bits* tem valor um, cada possível combinação de 0's e 1's na síndrome reflete num padrão preestabelecido de erro.

O próximo exemplo ilustra uma operação de decodificação que é mostrado na figura 4. Esta configuração representa a recepção do circuito apresentado na figura 3 e nela o bloco codificado foi recebido com um erro.

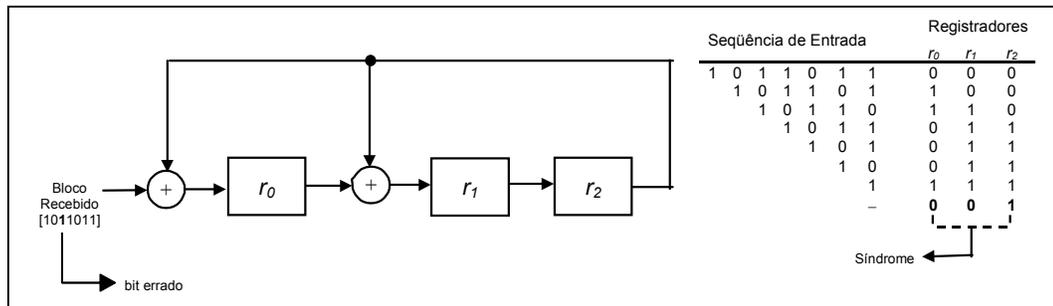


Figura 4 - Cálculo da síndrome.

O conteúdo dos registradores, após receber o último *bit* do vetor \underline{r} ou bloco recebido, é a síndrome. Portanto, consultando a tabela 1, obtém-se o padrão de erro $[001000]$ correspondente a síndrome 001. Para recuperar o sinal original é iniciado o processo de correção que é executado pela soma do padrão de erro com o vetor \underline{r} ou bloco recebido.

Tabela 1 - Síndrome x padrão de erro

Padrão de erro	Síndrome
000000	000
000001	101
000010	011
000100	110
001000	001
010000	010
100000	100
010001	111

Códigos Reed-Solomon

Os códigos cíclicos *Reed-Solomon*, abreviados como RS, são códigos não binários, ou seja, operam com valores ou números inteiros (s_k , para o transmissor) ao contrario de *bits*. Especificamente, um código RS (n, m) é usado para codificar símbolos de p *bits* em blocos de $n = 2^p - 1$ símbolos, ou seja, $p(2^p - 1)$ *bits* e $p \geq 1$. Concluindo, os códigos cíclicos *Reed-Solomon* são usados para codificar blocos de informação de m valores inteiros em blocos de informação de n valores inteiros, adicionando-se $n-m$ símbolos redundantes.

Um código RS de correção de t erros tem os seguintes parâmetros:

- Tamanho do bloco de saída: $n = 2^p - 1$
- Tamanho do bloco de entrada: m
- Distância mínima: $d_{\min} = 2t + 1$
- Tamanho da verificação de paridade: $t = \frac{n - m}{2}$

Para um código RS (7,4), o processo de correção é possível, se este código tem um valor inteiro errado.

Na utilização de um código RS pode-se corrigir até $nd \times t$ *bits* sucessivamente errados, onde nd é o número de *bits* mapeados no valor inteiro.

Códigos convolucionais

Na análise feita para a codificação em bloco, foi visto que o codificador em bloco segmenta uma seqüência de *bits* em blocos de informação de comprimento fixo de m *bits*. Para os códigos convolucionais o processo de codificação tem um enfoque diferente, pois o codificador convolucional transforma uma seqüência inteira de *bits*, de tamanho variável, em um bloco codificado.

Estudados inicialmente por Elias em 1955, os codificadores convolucionais são máquinas de estados finitos compostas por registradores de deslocamento e funções lógicas. Por serem circuitos seqüenciais apresentam uma configuração com memória de ordem s e n saídas. Os codificadores convolucionais adicionam *bits* de redundância a informação, ou seja, codificando m *bits* de informação em n *bits* e gerando uma taxa m/n . Um codificador convolucional linear típico com taxa $1/2$, $s = 3$ e $n = 2$ pode ser visto na figura 5. A taxa é determinada por conta da existência de dois *bits* de saída para cada *bit* de entrada.

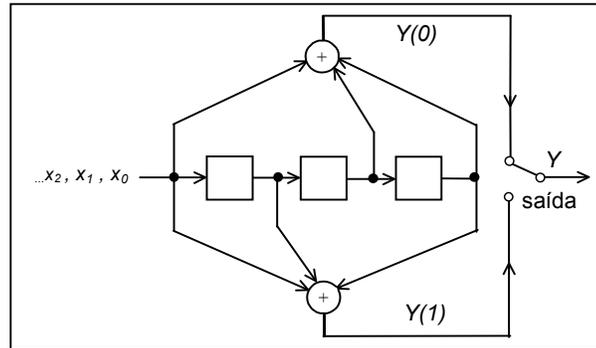


Figura 5 - Codificador convolucional linear típico com taxa 1/2.

A configuração apresentada na figura 5 tem 3 registradores ($s = 3$) e duas saídas ($n = 2$). A seqüência binária de informação $x = (x_0, x_1, x_2, \dots)$ entra no codificador, ou melhor, é aplicada na entrada de um registrador de deslocamento *bit a bit*. Com os *bits* de entrada e os valores armazenados no registrador é gerado um par de seqüências de dados codificados $y^{(0)} = (y_0^{(0)}, y_1^{(0)}, y_2^{(0)}, \dots)$ e $y^{(1)} = (y_0^{(1)}, y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots)$. Tais seqüências de saída ao serem multiplexadas geram uma palavra código convolucional, ou seja, uma única seqüência de saída $y = (y_0^{(0)}y_0^{(1)}, y_1^{(0)}y_1^{(1)}, y_2^{(0)}y_2^{(1)}, \dots)$. Através do exemplo da figura 5 pode-se concluir:

- A partir da única seqüência de entrada ou vetor x calcula-se a seqüência de saída.
- Cada elemento da seqüência saída é uma combinação linear dos elementos de entrada ou vetores $x^{(0)}, x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m-1)}$.
- Admite-se que, no início do processo de codificação, o conteúdo do registrador de deslocamento seja nulo.
- Calcula-se os elementos da seqüência de saída ou vetor y por combinações lineares dos elementos da seqüência entrada ou vetor x :

$$\begin{aligned} y_0^{(1)} &= x_0^{(0)} + 0 + 0 \\ y_1^{(1)} &= x_1^{(0)} + x_0^{(0)} + 0 \\ y_2^{(1)} &= x_2^{(0)} + x_1^{(0)} + 0 \\ y_3^{(1)} &= x_3^{(0)} + x_2^{(0)} + x_0^{(0)} \\ y_4^{(1)} &= x_4^{(0)} + x_3^{(0)} + x_1^{(0)} \\ &\vdots \\ y_i^{(1)} &= x_i^{(0)} + x_{i-1}^{(0)} + x_{i-3}^{(0)} \end{aligned}$$

- Para um exemplo numérico, e, considerando que o mesmo codificador é utilizado para codificar a seqüência de informação $x = (10110)$, tem-se:

- seqüências codificadas de saída $\rightarrow y^{(0)} = (10001010)$ e $y^{(1)} = (11111110)$

- a palavra-código convolucional correspondente a entrada $x = (10110) \rightarrow y$, onde $y = (11,01,01,01,11,01,11,00)$.

- Em y , usam-se as vírgulas para indicar que os blocos de *bits* são criados no mesmo intervalo de tempo.

• Voltando à figura 5, cada percurso (0 ou 1) que liga a saída a entrada de um codificador convolucional possui uma **resposta ao impulso** (símbolo 1) aplicada a sua entrada, onde o conteúdo de cada registrador de deslocamento, nesse momento, é nulo. Em termos matemáticos, a caracterização de cada percurso é expressa através de um polinômio gerador, definido como a transformada de retardo unitário da resposta ao impulso. Esse polinômio, no caso, definido para o i -

ésimo percurso é expresso por

$$g^{(i)}(D) = g_0^{(i)} + g_1^{(i)}D + g_2^{(i)}D^2 + \dots + g_M^{(i)}D^M \quad \text{(Equação 9)}$$

onde D é a variável de retardo unitário e os coeficientes $g_0^{(i)}, g_1^{(i)}, g_2^{(i)}, \dots, g_M^{(i)}$ são iguais a 1 ou 0 e, representam uma seqüência geradora ($g_0^{(i)}, g_1^{(i)}, g_2^{(i)}, \dots, g_M^{(i)}$) que indica a resposta ao impulso do i -ésimo percurso. As respostas ao impulso para o codificador ilustrado na figura 5 são:

- percurso 0 $\rightarrow g^{(0)} = (1011) \rightarrow$ polinômio gerador $g^{(0)} = 1 + D^2 + D^3$;
- percurso 1 $\rightarrow g^{(1)} = (1101) \rightarrow$ polinômio gerador $g^{(1)} = 1 + D + D^3$.

Representação dos códigos convolucionais

Das várias formas possíveis de representação de um código convolucional abordaremos aquela por meio de diagramas de estado e treliça com ênfase para este último.

Visto como uma máquina de estados finitos, o codificador convolucional determina por meio do conteúdo de seus elementos de memória o mapeamento entre o próximo conjunto de *bits* de entrada e saída. O estado de um codificador convolucional da figura 30 é o conteúdo dos estágios de memória (registradores de deslocamentos) menos um mais à direita.

O conhecimento dos estados juntamente com a informação da próxima entrada é suficiente para a determinação da próxima saída (JESZENSKY, 2004). Na tabela 2, temos os estado do codificador convolucional da figura 30 para uma entrada $m = (10110)$.

Tabela 2 - Estados do codificador convolucional linear com taxa 1/2 para uma entrada $m = (10110)$

Tempo-t	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
Entrada-in	0	1	1	0	1	0	0	0
Estados-R D	000	100	110	011	101	010	001	000
Saída-out	00	11	01	01	00	10	11	00

Todos os estados possíveis e transições do codificador convolucional da figura 5 são mostrados na tabela 2 e, nesse caso, o conteúdo das duas primeiras posições do registrador de deslocamentos (R, D) representa o estado. Como exemplo da obtenção dos estados foi usado o modelo da figura 6 para o tempo $t_i (i = 1, 2, \dots, n)$.

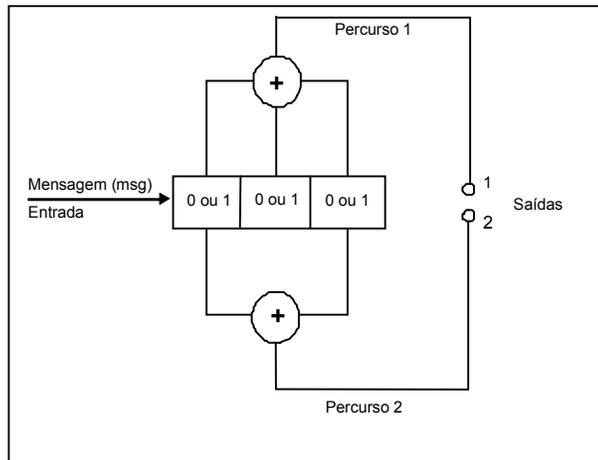


Figura 6 - Modelo usado na determinação dos estados e saídas do codificador convolucional linear com taxa 1/2.

Uma extensão do diagrama de estados é o diagrama de treliça. Esse diagrama representa cada instante de tempo com um diagrama de estados separados. Ou seja, na passagem do tempo, a codificação convolucional reúne os estados e as entradas do codificador, enumerando as possíveis saídas. Trata-se de uma representação matricial, em que os possíveis estados são as linhas da matriz; os instantes de tempo são as colunas da matriz e as saídas são as palavras-código em cima das linhas. O exemplo da figura 7 ilustra a representação do diagrama de treliça do codificador das figuras 5 e 6, sendo que a informação nesse caso é $m = (101)$. Na treliça pode-se observar os seguintes eventos:

- no instante t_1 : para uma entrada 0 e o estado 00 a saída será 00;
- no instante t_2 : para uma entrada 1 e o estado 10 a saída será 01;
- no instante t_4 : para uma entrada 1 e o estado 11 a saída será 10;
- a partir da terceira entrada, a treliça torna-se repetitiva.

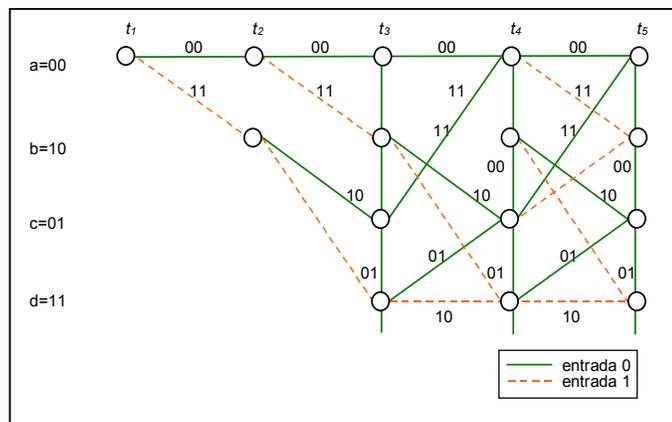


Figura 7 - Diagrama da treliça.

Após abordagem da operação de um código convolucional o passo seguinte será a análise da decodificação do código convolucional. Para isto, usam-se os algoritmos que são divididos em duas classes: os algoritmos seqüências e o algoritmo de Viterbi. A decodificação adequada baseia-se em procurar a máxima semelhança ou máxima verossimilhança entre os dados recebidos e os possíveis dados transmitidos como mostra a equação 10

$$P(Z|G^m) = \max P(Z|G^m) \quad (\text{Equação 10})$$

- $P(Z|G^m)$ são as probabilidades condicionais e $P(Z|G^m)$ a máxima probabilidade condicional;
- G^m uma das possíveis seqüência transmitida;
- Z é a seqüência recebida.

O foco é o decodificador convolucional que tem como paradigma a mínima probabilidade de erro. Admitindo que as seqüências de entrada sejam igualmente prováveis, aquele decodificador compara as $P(Z|G^m)$ (probabilidades condicionais) e escolhe a máxima.

O algoritmo de Viterbi é um algoritmo de máxima verossimilhança e os algoritmos seqüências não o são. Motivado por este fato, o decodificador de Viterbi é um dos principais algoritmos utilizados na decodificação dos códigos convolucionais. Na verdade este algoritmo é um processo que diminui a carga computacional usando as vantagens da Treliça, ou seja, a decodificação passa a não ser uma função do número de símbolos da seqüência e tem como referência a máxima verossimilhança na operação da decodificação. No instante t_i , o processo realizado pelo algoritmo de Viterbi utiliza o cálculo da distância de Hamming. Esse parâmetro é calculado em t_i entre o sinal recebido e todos os caminhos da Treliça que entram em cada estado neste instante. Aqueles caminhos com probabilidade condicional distante da máxima probabilidade serão excluídos. Se dois caminhos entram no mesmo

estado, o que tem menor verossimilhança à referida parte da mensagem é excluído. O caminho escolhido, aquele de maior verossimilhança, é denominado de sobrevivente. Este processo de seleção de caminhos é realizado para todos os estados. A operação continua pelo decodificador que, avançando na Treliça, vai incluindo ou excluindo caminhos de maior ou menor verossimilhança.

A característica dos erros na mensagem define a eficácia do processo de decodificação convolucional. Esse processo é muito eficiente em erros aleatórios (com um certo grau de dispersão), mas não seqüenciais. Porém, se os erros são seqüenciais, esse processo não é recomendável e, às vezes, é prejudicial ao sistema. Para eliminar erros seqüenciais com tamanho definido usa-se o código Reed-Solomon, uma vez que o mesmo é adequado para a correção de rajadas de erros.

Anexo 2

Os tipos de ruídos presentes nas linhas MT e BT de distribuição de energia elétrica

Os tipos de ruídos presentes nas linhas MT

- Ruído de frequência única – aparece devido a defeitos em isoladores.
- Ruído impulsivo aleatório – gerado por transitórios dos chaveamentos, principalmente em capacitores.
- Ruído harmônico – perturbação eletromagnética conduzida que se apresenta em múltiplos de 60 Hz.
- Ruído de fundo – apresenta espectro contínuo e decrescente com o aumento da frequência. Porém, o espectro do ruído de fundo é relativamente suave comparado com o espectro do ruído harmônico.

Os tipos de ruídos presentes nas linhas BT

Os equipamentos elétricos e eletrônicos instalados em ambientes do consumidor transmitem ruídos expressivos para as linhas de baixa tensão que estão acopladas fisicamente. Para diferentes regimes de carga (demanda) e localidades têm-se diferentes valores de ruídos. Essas perturbações eletromagnéticas resultam de sinais harmônicos, interarmônicas, perturbações transitórias e outros fenômenos. Normalmente o nível de ruído no ambiente do consumidor é maior que o encontrado na rede de distribuição em baixa tensão.

Cinco diferentes classes de ruído caracterizam interferências presentes nas linhas de BT (CHAN, 1989; FERREIRA, GROVE, HOOIJEN, VINCK, 1999; CANETE, DIEZ, CORTES, ENTRANBASAGUAS, 2002; ZIMMERMANN, DOSTERT, 2002b, 2002c; O'NEAL JR, 2002; KUHN, 2003)

Ruído colorido de fundo

É o resultado da sobreposição ou do somatório de diferentes componentes de ruído de baixa potência provenientes de diversas fontes. O ruído colorido de fundo apresenta um comportamento estocástico e densidade espectral de potência (PSD) que decresce com o aumento da frequência relativamente plana, ou seja, varia muito lentamente quando comparada a taxas de alguns kbps, permanecendo muito próximos de um valor médio por intervalos de vários segundos e até mesmo alguns minutos durante o dia, o que pode permanecer neste estado estacionário por até algumas horas durante a noite.

Ruído de faixa estreita

É caracterizado por sinais senoidais modulados em amplitude e causado, principalmente, pela indução dos sinais de rádio nos fios de rede elétrica na banda de frequência de interesse, ou seja, até 30 MHz. Como efeito, pode-se exemplificar as perturbações eletromagnéticas irradiadas por sinais de radiodifusão (sinais de radio Amador e outros) e harmônicas de maior ordem da frequência de deflexão horizontal dos aparelhos de TV (15,625 kHz PAL-Europa e 15,75 kHz NTSC-EUA). Estes sinais apresentam uma alta PSD e são bastante observados no período da manhã, quando as condições de propagação para sinais na faixa de ondas curtas são as melhores. Contudo, durante a noite, a sua potência é muito baixa. Geralmente senoides com amplitudes moduladas, tendo, porém, suas maiores contribuições na faixa inferior aos 500 kHz.

Ruído impulsivo periódico e assíncrono a frequência da rede (fundamental)

Este ruído é gerado principalmente nas fontes chaveadas presentes em dispositivos como reatores de lâmpadas fluorescentes e computadores. A taxa de repetição desses impulsos varia entre 50 e 200 kHz. Apresenta espectro com linhas discretas, cujo espaçamento espectral é dado pela taxa de repetição dos mesmos.

Ruído impulsivo periódico e sincronizado com a frequência da rede (fundamental)

Este tipo de componente de ruído impulsivo apresenta

- uma taxa de repetição de 60 Hz e de 120 Hz;

- PSD decrescente com a frequência;
- sincronização (são sincronizados) com a frequência da componente fundamental da rede elétrica e de curta duração (alguns microssegundos).

Dispositivos semicondutores não lineares como SCR, triac, diodos retificadores, fontes de alimentação; equipamentos como fotocopiadoras e outros geram este tipo de ruído na rede a cada metade do ciclo de corrente (a 60 Hz), ou seja, na comutação de diodos retificadores, operando de forma síncrona com a rede.

Ruído impulsivo assíncrono

Causado principalmente pelos transitórios gerados por chaveamentos nas redes elétricas, apresenta durações de alguns microssegundos até alguns milissegundos e ocorre de forma aleatória. Ele é altamente variante no tempo e pode alcançar picos de até 2 kV. Por conta destes altos valores, a PSD deste tipo de ruído pode atingir níveis consideráveis (50 dB) acima da PSD do ruído de fundo. Juntos, o ruído impulsivo periódico e sincronizado com a frequência da rede (fundamental) e o ruído impulsivo assíncrono podem causar erros em alguns *bits* ou rajadas de *bits* transmitidos. Na figura 1, pode-se ver o resultado de medições realizadas em canais em que o ruído impulsivo assíncrono é presente. Pode-se observar que, em algumas frequências, o ruído de natureza impulsiva supera o ruído de fundo em até 40 dB.

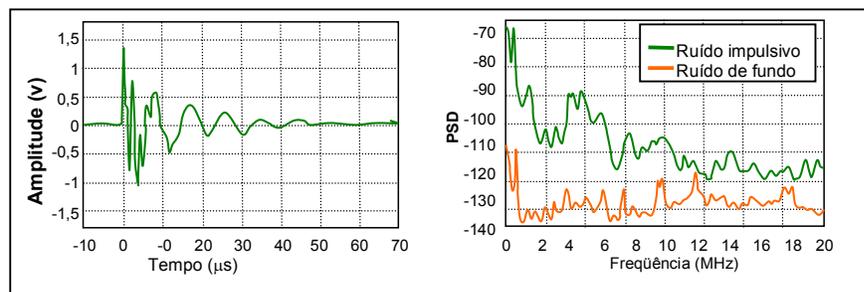


Figura 1 - Forma de onda de sinal com característica impulsiva e a PSD desse sinal e do ruído de fundo.

Anexo 3

Relatório técnico de análise de compatibilidade eletromagnética – CEM em redes PLC

Apresentação

Este relatório técnico apresenta os resultados das medidas de campo magnético radiado realizadas com referência aos equipamentos do fabricante EBA-PLC que compõem o sistema PLC (*Powerline Communications*) da empresa COPEL (Companhia Paranaense de Eletricidade). As atividades descritas neste documento foram realizadas no dia 27 de novembro de 2002 (EBA POWERLINE COMUNICAÇÕES, 2002).

Pessoal envolvido

Participaram das referidas atividades engenheiros e técnicos das seguintes empresas ou entidades:

- EBA *Powerline* Comunicações - São José, SC - Brasil
- DS2 - *Design of Systems on Silicon* - Valencia - Espanha
- Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, SC - Brasil

De forma a garantir o maior grau possível de confiabilidade, as atividades de medição e posterior documentação foram conduzidas por pessoal independente, não vinculado a nenhuma das empresas envolvidas.

Esta equipe, coordenada pelo Prof. Dr. Adroaldo Raizer, responsável pelo Laboratório de Eletromagnetismo para Engenharia do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Normas utilizadas e protocolo de testes

As medições foram realizadas em concordância com as normas FCC, CISPR 16 e CISPR/A/375/FDIS, tendo sido apresentado, revisado e aceito previamente por todos os interessados um "Protocolo de Medições", documento descritivo das atividades realizadas. Este referido protocolo encontra-se no Anexo A deste relatório.

Equipamentos utilizados

As medições dos níveis de campo magnético emitido pelo equipamento PLC foram realizadas com os seguintes equipamentos:

- Antena Loop Rohde & Schwarz modelo HFH2-Z2



- Receiver de campo Rohde & Schwarz modelo ESPC



- Computador de aquisição de dados e softwares de análise

É importante salientar que todos os equipamentos foram calibrados e configurados para operar segundo os padrões da Rohde & Schwarz, que utiliza como base em normas européias.

O Anexo B, deste relatório, apresenta as características técnicas destes equipamentos.

Cenário de testes

Para realizar as medições de campo magnético radiado, foi instalada uma rede PLC composta pelos seguintes elementos:

- HE – *Head End*

Descrição: equipamento **Master PLC** mostrado na figura 1. Este elemento recebe o sinal de dados a partir de um *backbone* genérico de comunicações e injeta o sinal PLC na rede elétrica de baixa tensão. Os equipamentos HE são os elementos centrais de uma rede PLC, provendo, através do Modem CPE, acesso de banda-larga a serviços de comunicação aos usuários finais. Atingia taxas de transmissão de até 45 Mbps quando os testes foram realizados.



Figura 1 - Equipamento HE – *Head End*.

- CPE – *Customer Premises Equipment*

Descrição: Modem PLC para o usuário final (figura 2). O equipamento CPE é um modem digital de alta velocidade, montado em um estojo plástico, leve e compacto. Este Modem é responsável por extrair o sinal PLC da rede elétrica e tornar o mesmo disponível em todas suas interfaces de comunicação (2 x Ethernet, 1 x USB).



Figura 2 - Equipamento CPE – *Customer Premises Equipment*.

- *Capacitive Coupling Unit*

Descrição: Unidades com acoplamento capacitivo para baixa tensão conforme pode-se ver na figura 3.



Figura 3 - *Capacitive Coupling Unit*.

Estas unidades de acoplamento são utilizadas para conexão com as redes elétricas de baixa tensão, de forma a injetar nas mesmas o sinal PLC a partir do equipamento HE. Os equipamentos foram dispostos segundo o esquemático da figura 4, sendo o equipamento HE instalado em uma caixa metálica afixada ao poste da rede elétrica e injetando o sinal PLC na rede de baixa tensão através de um acoplador capacitivo. Por meio de um ramal de ligação multiplexado, o equipamento CPE recebia o sinal PLC injetado na rede em questão.

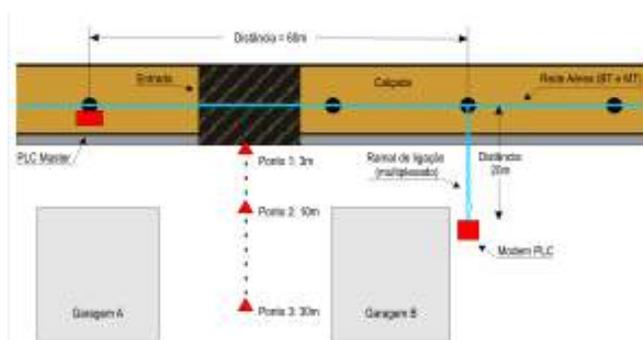


Figura 4 - Cenário dos testes.

O equipamento HE, embora tenha a capacidade de alterar de forma dinâmica e sob demanda a potência do sinal injetado na rede elétrica, foi configurado para operar com nível máximo de sinal, conforme consta na tabela 1.

Tabela 1 - Níveis de potência

Densidade espectral de potência do sinal	- 50 dBm/Hz
Nível de potência do sinal	15 dBm
Perda típica do acoplamento capacitivo	[2-6] dB

Medições de campo magnético

As medições principais – conforme descrito no “Protocolo de Testes”, no Anexo A deste relatório – foram realizadas desde 150 kHz até 30 MHz, conforme indicado nas normas citadas. Os equipamentos empregados nestas atividades utilizavam as seguintes faixas de frequências (Tabela 2):

Tabela 2 - Faixas utilizadas nos equipamentos PLC

Link	Sentido	Inicial (MHz)	Final (MHz)	Faixa Total (MHz)
1	Upstream	2,460	4,960	2,500
1	Downstream	7,925	11,725	3,800
2	Upstream	13,800	16,300	2,500
2	Downstream	19,000	22,800	3,800

Primeiramente, de modo a caracterizar o ambiente de provas, foi realizada uma série de medidas do ruído ambiente, ou seja, etapa na qual os equipamentos PLC estavam desligados.

Após a caracterização do meio – medição do ruído de fundo – uma série de medidas foi levantada, desta vez com o equipamento PLC operando no nível máximo de potência, com seus valores apresentados na tabela 2.

Segundo indicado nas normas, para analisar o comportamento de emissão de um determinado equipamento que opera em uma extensa faixa de frequências, devem ser efetuadas medições separadas com a antena de laço disposta nos dois eixos – paralelo e perpendicular – à fonte de radiação, neste caso a rede elétrica em análise, à distância normalizada de 3 metros. A figura 5 ilustra o esquema de orientação da antena de laço.

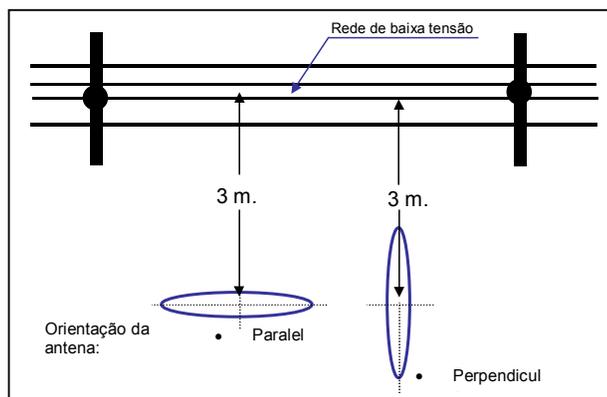


Figura 5 - Detalhes de orientação da antena de laço.

Efetuada as medições de acordo com as orientações da antena, o resultado final de *Campo Magnético Efetivo* (H_{eff}) será composto segundo a equação 1, a seguir:

$$H_{eff} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \quad (\text{Equação 1})$$

onde os valores de H_{eff} , H_x , H_y são dados em unidades lineares de A/m.

Segundo orientação de todas as normas citadas, compõem-se os valores de campo elétrico radiado a partir dos valores medidos de campo magnético, de acordo com a equação 2, apresentada abaixo:

$$E(\text{dB}\mu\text{V}) = H(\text{dB}\mu\text{A}/\text{m}) + 51,5 = 20 \cdot \log_{10}(H_{eff}) + 51,5 \quad (\text{Equação 2})$$

O fator de extrapolação utilizado (51,5 dB) representa a relação entre a intensidade dos campos magnético e elétrico, dada a impedância-padrão admitida para o espaço livre (377 Ω), expressada em unidades logarítmicas:

$$51,5 = 20 \cdot \log_{10}(377)$$

Dada a composição apresentada nas linhas anteriores, os valores obtidos são comparados, neste relatório, com os limites estabelecidos pela norma **FCC Part 15**.

A FCC, na normalização Part 15, estabelece um limite máximo de 30 $\mu\text{V}/\text{m}$ para medidas realizadas a 30 metros do foco emissor, devendo ser aplicado um fator de correção de 40 dB por década quando a medida for realizada a outras distâncias.

Desta forma, o limite para os valores obtidos com medições efetuadas a 3 metros é de **69,54 dB $\mu\text{V}/\text{m}$** .

A seguir, encontra-se o resultado das medições, conforme descrito acima, a partir dos dados repassados pela equipe ou corpo técnico responsável pela realização dos testes em campo.

Conclusão

Conforme apresentado na figura 6, na faixa de frequências analisada neste estudo – 1 a 30 MHz – os resultados das medições do campo magnético radiado pelos equipamentos PLC e, posteriormente, a correspondente conversão – conforme recomendado nas normas citadas – destes dados para obtenção do perfil de campo elétrico radiado mostra que os equipamentos cumprem, sem restrições, as normas vigentes.

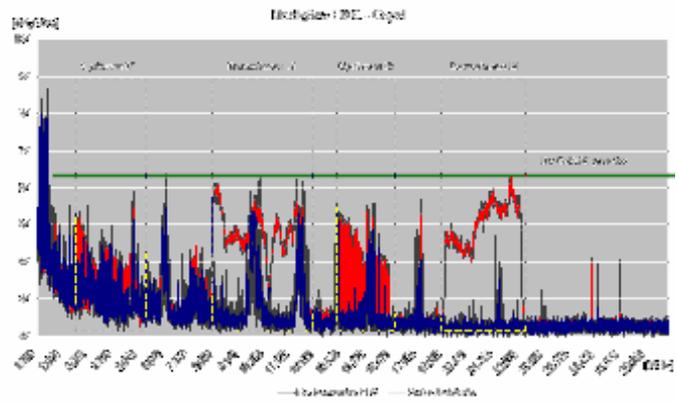


Figura 6 - Resultados das medições realizadas.

Anexo 4

Dados representativos de estudo realizado pela Ipsos-Opinion da situação do mercado de Internet no Brasil

Proporção de empresas que usam computadores*

Percentual sobre o total de empresas da amostra, nos últimos 12 meses

Variáveis de cruzamento		%
Total		98,76
Porte da empresa (n ^o de funcionários)	10 a 19	98,00
	20 a 49	99,54
	50 a 99	100,00
	100 a 249	100,00
	250 a 499	100,00
	500 a 999	100,00
	1.000 ou mais	100,00
Região	Norte	95,44
	Nordeste	98,34
	Sudeste	98,70
	Sul	100,00
	Centro-Oeste	98,36
Mercados de Atuação - CNAE	Ind. de Transform./	99,23
	Constr./	99,24
	Com./ Rep. de Autos	99,27
	Hotel/ Aliment.	92,06
	Transp./ Armaz./ Comunic.	99,36
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	99,65
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	100,00

Fonte: IPSOS

* Base: 2030 empresas com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92,1 e 92.2.

Número de empregados que usam computadores*
*Número médio de empregados com acesso a computadores, pelo menos
 1 vez por semana, nos últimos 12 meses*

Variáveis de cruzamento		Médias
Total		17,60
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	9,00
	20 a 49	14,22
	50 a 99	26,16
	100 a 249	47,07
	250 a 499	91,95
	500 a 999	196,09
	1.000 ou mais	428,83
Região	Norte	14,15
	Nordeste	14,95
	Sudeste	19,24
	Sul	16,95
	Centro-Oeste	13,65
Mercados de Atuação - CNAE	Ind. de Transform./	16,56
	Constr./	12,81
	Com./ Rep. de Autos	16,54
	Hotel/ Aliment.	9,99
	Transp./ Armaz./ Comunic.	26,69
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	24,41
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	26,20

Fonte: IPSOS

* Base: 2005 empresas que utilizam computador, 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92,1 e 92.2.

Proporção de empresas com rede (LAN, Intranet e Extranet)*
Percentual sobre a base de empresas entrevistadas, nos últimos 12 meses*
[representatividade da amostra]

Variáveis de cruzamento		Redes			
		LAN sem fio	LAN com fio	Intranet	Extranet
Total		14,21	80,46	39,00	22,16
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	11,20	74,30	33,44	19,63
	20 a 49	14,85	84,72	40,07	22,17
	50 a 99	18,92	92,50	49,49	26,53
	100 a 249	26,20	93,62	61,15	31,54
	250 a 499	28,38	97,37	65,29	33,87
	500 a 999	48,52	100,00	75,90	61,46
	1.000 ou mais	26,75	99,08	75,84	59,04
Região	Norte	18,80	87,93	46,46	21,69
	Nordeste	13,14	79,25	36,77	25,09
	Sudeste	14,62	80,77	40,07	21,06
	Sul	10,95	78,29	34,66	22,52
	Centro-Oeste	19,90	82,61	43,38	24,34
Mercados de Atuação - CNAE	Ind. de Transform./	16,72	78,23	35,98	22,29
	Constr./	9,65	86,40	41,30	18,35
	Com./ Rep. de Autos	9,39	78,02	34,89	17,65
	Hotel/ Aliment.	19,38	70,21	41,13	23,89
	Transp./ Armaz./ Comunic.	17,53	87,13	42,69	32,26
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	21,26	91,13	53,77	30,60
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	12,83	94,70	35,95	29,59

Fonte: IPSOS

* Base: 2005 empresas que utilizam computador, com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92,1 e 92.2.

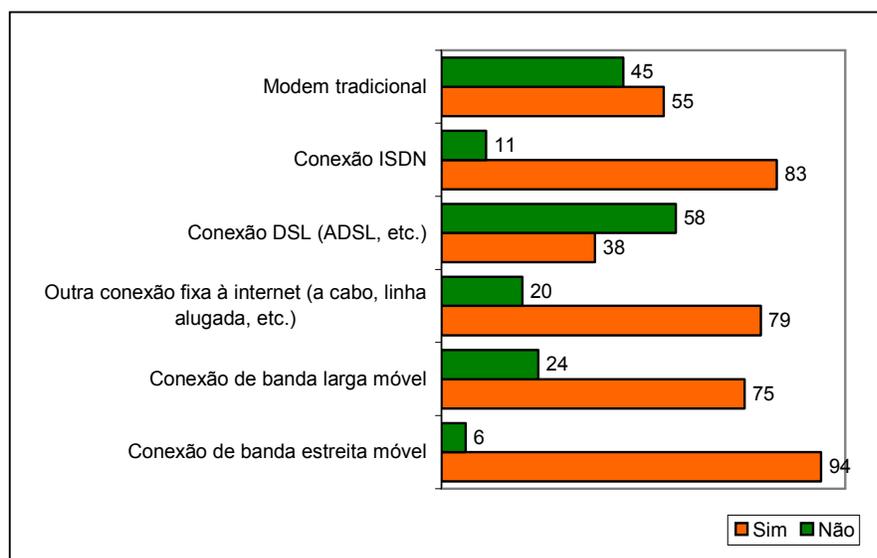
Proporção de empresas com website*
Percentual sobre a base de empresas entrevistadas, nos últimos 12 meses*
[representatividade da amostra]

Variáveis de cruzamento		(%)
Total		59,06
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	49,40
	20 a 49	66,59
	50 a 99	74,31
	100 a 249	77,94
	250 a 499	85,21
	500 a 999	89,14
	1.000 ou mais	78,59
Região	Norte	44,87
	Nordeste	41,31
	Sudeste	63,91
	Sul	57,68
	Centro-Oeste	62,43
Mercados de atuação - CNAE	Ind. de Transform./	62,43
	Constr./	43,68
	Com./ Rep. de Autos	49,33
	Hotel/ Aliment.	84,82
	Transp./ Armaz./ Comunic.	57,86
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	75,88
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	61,04

Fonte: IPSOS

* Base: 1943 empresas com acesso à internet, com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92,1 e 92.2.

Proporção de empresas com acesso à internet por tipo de acesso*



Fonte: IPSOS

* Base: 1943 empresas com acesso à internet, com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92,1 e 92.2.

Empresas com acesso à internet, com 10 funcionários ou mais
Percentual sobre a base de empresas entrevistadas nos últimos 12 meses*
[representatividade da amostra]

Porcentagem (%)		Modem Tradicional	Conexão ISDN	Conexão DSL (ADSL, etc.)	Outra conexão fixa à internet (à cabo, linha alugada, etc.)	Conexão de banda larga móvel	Conexão de banda estreita móvel
Total		45,07	10,95	57,95	20,46	23,95	5,72
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	51,18	7,52	50,37	18,12	26,15	4,59
	20 a 49	40,72	14,56	65,24	20,21	20,98	5,24
	50 a 99	35,32	14,26	70,74	21,40	20,42	8,41
	100 a 249	28,69	16,37	67,47	34,42	22,80	10,05
	250 a 499	26,44	13,81	70,86	34,85	18,72	14,86
	500 a 999	36,10	34,22	68,53	63,96	42,11	24,26
	1.000 ou mais	55,63	17,27	70,97	32,72	30,95	13,26
Região	Norte	58,60	15,15	42,25	24,24	18,02	9,49
	Nordeste	53,56	16,64	50,95	27,67	30,77	17,17
	Sudeste	49,41	12,10	50,39	22,36	28,33	3,89
	Sul	28,22	4,01	75,87	11,87	12,92	3,65
	Centro-Oeste	38,93	10,35	84,24	16,48	13,36	4,70
Mercados de atuação - CNAE	Ind. de Transform./	47,81	10,97	57,84	20,20	24,93	4,77
	Constr./	48,88	9,74	59,68	23,83	22,97	8,44
	Com./ Rep. de Autos	45,37	9,39	54,29	17,10	22,82	4,12
	Hotel/ Aliment.	48,33	13,06	53,70	30,00	20,59	6,49
	Transp./ Armaz./ Comunic.	46,89	12,25	58,32	27,42	25,40	9,36
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	35,60	14,43	69,23	20,18	26,96	8,83
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	15,51	9,57	70,08	32,78	15,90	3,85

Fonte: IPSOS

* Base: 1.943 empresas com acesso à internet, com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92.1 e 92.2.

Proporção de empresas usando a internet segundo o tipo de atividade*
Percentual sobre a base de empresas entrevistadas, nos últimos 12 meses*
[representatividade da amostra]

Percentual (%)		Serviços bancários e financeiros	Treinamento e educação	Monitoramento de mercado (ex. preços)	Recepção de bens ou serviços digitais	Obtenção de serviços pós-venda
Total		78,96	26,80	56,20	43,66	38,92
Porte da empresa (nº de funcionários)	10 a 19	74,21	26,68	56,33	41,61	37,13
	20 a 49	82,76	24,44	53,27	42,09	37,39
	50 a 99	86,56	27,16	57,82	51,30	45,09
	100 a 249	88,27	35,73	62,29	54,93	47,94
	250 a 499	89,44	34,13	72,30	56,81	50,96
	500 a 999	93,21	42,16	63,79	51,94	63,63
	1.000 ou mais	89,27	47,60	67,17	61,44	55,94
Região	Norte	72,54	26,11	57,39	40,69	35,54
	Nordeste	74,38	28,51	58,51	43,19	42,74
	Sudeste	79,98	27,15	55,39	42,91	39,22
	Sul	78,92	24,75	58,09	44,48	35,11
	Centro-Oeste	82,08	27,45	52,58	49,36	42,82
Mercados de atuação - CNAE	Ind. de Transform./	84,98	17,20	53,14	42,11	35,94
	Constr./	75,64	32,45	60,79	48,02	34,79
	Com./ Rep. de Autos	75,64	30,87	54,54	41,94	38,41
	Hotel/ Aliment.	77,64	25,90	63,34	44,27	43,63
	Transp./ Armaz./ Comunic.	71,07	21,51	55,93	37,45	37,11
	Ativ. Imobil., alug. e serv.	82,52	34,69	60,45	52,75	47,76
	Ativ. Cinema/ Vídeo/ Rádio/ TV	79,05	36,31	80,82	41,07	28,99

Fonte: IPSOS

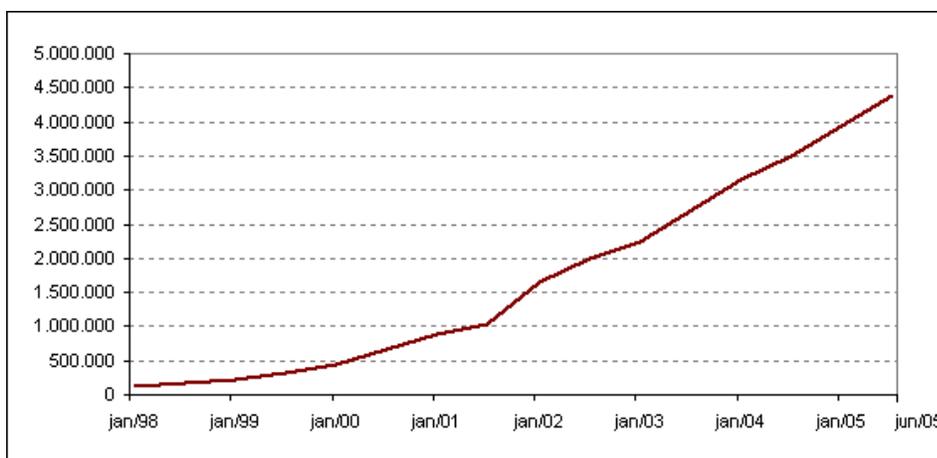
* Base: 1.943 empresas com acesso à internet, com 10 funcionários ou mais, que constituem os seguintes segmentos da CNAE: seção D, F, G, I, K e grupos 55.1, 55.2 92.1 e 92.2.

Evolução do número de *hosts* do Brasil

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Janeiro	117.200	215.086	446.444	876.596	1.644.575	2.237.527	3.163.349	3.934.577
Julho	163.890	310.138	662.910	1.025.067	1.988.321	–	3.485.773	4.392.693

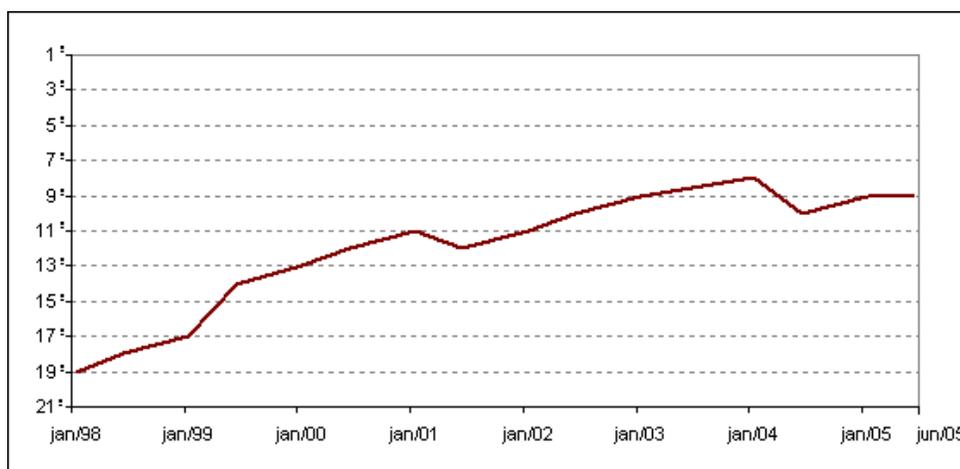
Fonte: Network Wizards

Evolução do número de *hosts* do Brasil



Fonte: Network Wizards

Evolução da posição do número de *hosts* do Brasil em relação ao mundo



Fonte: Network Wizards