

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ALESSANDRA ANTUNES VARGAS

**Estudo sobre Comunicação de Dados via Rede Elétrica para  
Aplicações de Automação Residencial/Predial**

Projeto de Diplomação apresentado como  
requisito parcial para obtenção do grau de  
Engenheiro de Computação

Prof. Carlos Eduardo Pereira  
Orientador

Porto Alegre, janeiro de 2004

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a meus pais, Maria do Carmo Antunes Vargas e Pedro Vitorino Cordeiro Vargas, por todo apoio que me têm dado durante toda a minha vida e todo esforço que têm feito para que eu pudesse me tornar uma Engenheira de Computação.

Também gostaria de agradecer meus irmãos, Clarice Antunes Vargas e Diogo Antunes Vargas, pela paciência que tiveram durante a realização desse trabalho dentro de casa.

Ao meu orientador, Carlos Eduardo Pereira, o qual conheci apenas por ocasião desse projeto, e por quem adquiri muita admiração e respeito.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de estudar em uma das melhores universidades do Brasil, pública e de qualidade. Aos professores e funcionários por manterem esta instituição funcionando.

Finalmente, ao meu namorado e colega, Augusto Peixoto Bueno, pela companhia, paciência, amor e carinho durante todos esses anos, dentro e fora da faculdade.

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS .....	5
LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE TABELAS .....	8
RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Objetivos do trabalho.....	12
1.2 Organização do trabalho .....	12
2 A COMUNICAÇÃO PELA REDE ELÉTRICA.....	13
2.1 Conceitos Básicos.....	13
2.1.1 Modulação.....	13
2.1.2 Multiplexação do sinal.....	16
2.2 Características da tecnologia PLC.....	18
2.2.1 Regulamentação.....	18
2.3 Tecnologias atuais .....	19
2.3.1 X-10 PLC .....	19
2.3.2 Intellon CEBus .....	19
2.3.3 Echelon LonWorks .....	20
2.3.4 Adaptive Networks .....	20
2.3.5 PLUG-IN.....	20
2.4 PLC no mundo hoje.....	21
2.4.1 Projetos com PLC no Brasil .....	21
2.4.2 Projetos com PLC no exterior .....	24
3 CONTEXTOS PLC.....	26
3.1 Modems PLC .....	27
3.1.1 High Tech Horizon .....	27
3.1.2 Itran Communications Ltd. ....	27
3.1.3 nSine .....	28
3.1.4 Echelon.....	29
3.2 Resultado da pesquisa.....	30
4 ANÁLISE EXPERIMENTAL DO MODEM PLC .....	31
4.1 Planejamento dos experimentos.....	31

4.1.1 Considerações sobre os experimentos .....	31
4.1.2 Locais de testes.....	33
4.1.3 Configuração dos modems PLC.....	34
4.1.4 Programas de testes.....	34
4.2 Resultados dos experimentos.....	35
4.2.1 Envio de mensagens.....	36
4.2.2 Envio de arquivos .....	47
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	50
5.1 Influência do ruído .....	50
5.1.2 Avaliação de variáveis de rede.....	55
5.2 Influência da distância .....	56
6 CONCLUSÕES .....	58
BIBLIOGRAFIA .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACSK	Adaptive Code Shift Keying
CAL	Common Application Language
CDM	Code-Division Multiplexing
CEBus	Consumer Electronic Bus
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CSMA/CDCR	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution
DSB-SC	Double Sideband-Suppressed Carrier
DSMA	Datagram Sensing Multiple Access
DS-SS	Direct Sequence Spread Spectrum
EIA	Electronic Industries Alliance
FDM	Frequency-Division Multiplexing
FH-SS	Frequency Hoping Spread Spectrum
FM	Frequency Modulation
ISI	Inter Symbol Interference
LON	Local Operating Network
MAC	Media Access Control
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PLC	PowerLine Communication
PLC	Power Line Carrier
PM	Phase Modulation
REMPLE	Real-time Energy Management via Powerlines and Internet
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SNMP	Simple Network Management Protocol
SSB	Single Sideband
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDM	Time-Division Multiplexing
USB	Universal Serial Bus
VSB	Vestigial Sideband

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Modulação de onda contínua em amplitude.(a) Onda portadora. (b) Sinal a ser transmitido. (c) Sinal modulado em amplitude .....	14
Figura 2.2: Modulação de onda contínua em frequência.(a) Onda portadora. (b) Sinal a ser transmitido. (c) Sinal modulado em frequência.....	14
Figura 2.3: Modulação por pulso em amplitude.....	15
Figura 2.4: Exemplos de modulação por pulsos digital .....	16
Figura 2.5: Densidade espectral de um sinal em banda base e um sinal “espalhado” ....	17
Figura 2.6: Divisão de canais segundo FDM e OFDM.....	18
Figura 2.7: Interconexões no projeto PLC da Iguazu Energia .....	22
Figura 2.8: Conexões de equipamentos do projeto PLC nas residências.....	22
Figura 2.9: Configuração típica do projeto da CEMIG.....	23
Figura 2.10: Ligação de um <i>cable modem</i> a um Master PLC .....	24
Figura 2.11: Infraestrutura de comunicação do projeto REMPLI .....	25
Figura 3.1 Áreas de aplicação de comunicação PLC.....	26
Figura 3.2: Diagrama de blocos do PLNET52 da Itran .....	28
Figura 3.3: Interligação de nós PLC da Nsine.....	29
Figura 3.4: Esquemático de um sistema para comunicação PLC utilizando um Smart Transceiver.....	30
Figura 4.1: Apartamento utilizado nos testes .....	33
Figura 4.2: Laboratório de automação .....	33
Figura 4.3: Salas de aula no Depto. de Engenharia Elétrica .....	33
Figura 4.4: Modelo de referência da comunicação.....	34
Figura 4.5: Gráfico com as taxas de transmissão de mensagens de 128 bytes.....	35
Figura 4.6: Gráfico com histogramas gerados a partir das taxas de transmissão de mensagens de 128 bytes.....	35
Figura 4.7 Experimentos M16.A.T1.T1.s/n.t e M32.A.T1.T1.s/n.t.....	37
Figura 4.8: Experimentos M64.A.T1.T1.s/n.t e M128.A.T1.T1.s/n.t.....	37
Figura 4.9: Experimentos M256.A.T1.T1.s/n.t e M512.A.T1.T1.s/n.t.....	37
Figura 4.10: Experimentos M16.A.T1.T5.s/n.t e M32.A.T1.T5.s/n.t.....	38
Figura 4.11: Experimentos M64.A.T1.T5.s/n.t e M128.A.T1.T5.s/n.t.....	38
Figura 4.12: Experimentos M256.A.T1.T5.s/n.t e M512.A.T1.T5.s/n.t.....	39
Figura 4.13: Experimentos M16.A.T4.T5.s/n.e e M32.A.T4.T5.s/n.e.....	39
Figura 4.14: Experimentos M64.A.T4.T5.s/n.e e M128.A.T4.T5.s/n.e.....	39
Figura 4.15: Experimentos M256.A.T4.T5.s/n.e e M512.A.T4.T5.s/n.e.....	40
Figura 4.16: Experimentos M16.L.T0.T1, M16.L.T0.T2 e M16.L.T0.T3.....	40
Figura 4.17: Experimentos M32.L.T0.T1, M32.L.T0.T2 e M32.L.T0.T3.....	41
Figura 4.18: Experimentos M64.L.T0.T1, M64.L.T0.T2 e M64.L.T0.T3.....	41
Figura 4.19: Experimentos M128.L.T0.T1, M128.L.T0.T2 e M128.L.T0.T3.....	41
Figura 4.20: Experimentos M256.L.T0.T1, M256.L.T0.T2 e M256.L.T0.T3.....	42

Figura 4.21: Experimentos M512.L.T0.T1, M512.L.T0.T2 e M512.L.T0.T3 .....	42
Figura 4.22: Experimentos M16.L.T3.T5, M16.L.T3.T2 e M16.L.T3.T4.....	42
Figura 4.23: Experimentos M32.L.T3.T5, M32.L.T3.T2 e M32.L.T3.T4.....	43
Figura 4.24: Experimentos M64.L.T3.T5, M64.L.T3.T2 e M64.L.T3.T4.....	43
Figura 4.25: Experimentos M128.L.T3.T5, M128.L.T3.T2 e M128.L.T3.T4.....	43
Figura 4.26: Experimentos M256.L.T3.T5, M256.L.T3.T2 e M256.L.T3.T4.....	44
Figura 4.27: Experimentos M512.L.T3.T5, M512.L.T3.T2 e M512.L.T3.T4.....	44
Figura 4.28: Experimentos M16.S.T6.T4, M16.S.T6.T3 e M16.S.T6.T1 .....	45
Figura 4.29: Experimentos M32.S.T6.T4, M32.S.T6.T3 e M32.S.T6.T1 .....	45
Figura 4.30: Experimentos M64.S.T6.T4, M64.S.T6.T3 e M64.S.T6.T1 .....	45
Figura 4.31: Experimentos M128.S.T6.T4, M128.S.T6.T3 e M128.S.T6.T1.....	46
Figura 4.32: Experimentos M256.S.T6.T4, M256.S.T6.T3 e M256.S.T6.T1.....	46
Figura 4.33: Experimentos M512.S.T6.T4, M512.S.T6.T3 e M512.S.T6.T1.....	46
Figura 4.34: Experimentos AP.A.T1.T1.s/n.t, AM.A.T1.T1.s/n.t e AG.A.T1.T1.s/n.t..	47
Figura 4.35: Experimentos AP.A.T4.T5.s/n.e, AM.A.T4.T5.s/n.e e AG.A.T4.T5.s/n.e	48
Figura 4.36: Experimentos AP.L.T0.T1, AP.L.T0.T2 e AP.L.T0.T3.....	48
Figura 4.37: Experimentos AP.S.T6.T4, AP.S.T6.T3 e AP.S.T6.T1 .....	49
Figura 5.1: Histogramas dos experimentos M16.A.T1.T1.n.t e M16.A.T1.T1.s.t .....	52
Figura 5.2: Histogramas dos experimentos M32.A.T4.T5.n.e e M32.A.T4.T5.s.e .....	52
Figura 5.3: Histogramas dos experimentos AP.A.T1.T1.n.t e AP.A.T1.T1.s.t.....	53
Figura 5.4: Histogramas dos experimentos AM.A.T1.T1.n.t e AM.A.T1.T1.s.t .....	53
Figura 5.5: Histogramas dos experimentos AG.A.T1.T1.n.t e AG.A.T1.T1.s.t.....	53
Figura 5.6: Histogramas dos experimentos M32.L.T0.T1, M32.L.T0.T2 e M32.L.T0.T3 .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Tabela comparativa dos modems analisados.....	30
Tabela 5.1: Medidas das transmissões de mensagens com modems ligados na mesma tomada (Mx.A.T1.T1.s/n.t).....	50
Tabela 5.2: Medidas das transmissões de mensagens com modems ligados em tomadas distintas com estabilizador (Mx.A.T4.T5.n/s.e).....	51
Tabela 5.3: Valores estatísticos para experimentos Mx.A.T1.T1.s/n.t, desprezando-se cinco por cento iniciais dos testes .....	51
Tabela 5.4: Valores estatísticos para experimentos Mx.A.T4.T5.n/s.e, desprezando-se cinco por cento iniciais dos testes .....	52
Tabela 5.5: Medidas dos experimentos AP.A.T1.T1.s/n.t, AM.A.T1.T1.s/n.t e AG.A.T1.T1.s/n.t.....	54
Tabela 5.6: Medidas dos experimentos AP.A.T4.T5.s/n.e, AM.A.T4.T5.s/n.e e AG.A.T4.T5.s/n.e .....	54
Tabela 5.7: Variáveis SNMP de interface de rede das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, sem ventilador .....	55
Tabela 5.8: Variáveis SNMP TCP das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, sem ventilador .....	55
Tabela 5.9: Variáveis SNMP de interface de rede das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, com ventilador .....	56
Tabela 5.10: Variáveis SNMP TCP das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, com ventilador.....	56
Tabela 5.11: Medidas dos experimentos Mx.S.T6.T4, Mx.S.T6.T3 e Mx.S.T6.T1 .....	57

## RESUMO

Este trabalho trata da comunicação pela rede elétrica visando a sua utilização na área de automação residencial e predial. O trabalho inclui uma breve descrição dos principais conceitos e tecnologias usadas para comunicação de dados pela rede elétrica e apresenta aplicações desenvolvidas no Brasil e no exterior. Foi realizada uma comparação entre modems para comunicação via rede elétrica e posteriormente foram feitos experimentos usando-se um modem comercial. A análise experimental buscava testar o comportamento de um modem em redes elétricas brasileiras e avaliar a influência do ruído e da distância na comunicação. Foram utilizados três ambientes de teste: um apartamento, o laboratório de automação da UFRGS e salas de aula da Escola de Engenharia da UFRGS. Os resultados mostraram que a tecnologia é viável, mas por apresentar muita variabilidade nas taxas de transmissão, torna-se extremamente difícil a sua utilização em aplicações que demandem tempos de resposta determinísticos (aplicações “tempo real”).

**Palavras-chave:** Comunicação pela Rede Elétrica, automação residencial, modem PLC.

## **A Study about Powerline Communication for Building and Home Automation**

### **ABSTRACT**

This project deals with powerline communication (PLC) and its use for home and building automation. This text includes a brief discussion on basic concepts and technologies used for exchanging information via power lines. Then, existing PLC modems are compared regarding to characteristics such as data rates and costs. Experimental evaluation with one of the commercially available PLC modems that present a very attractive cost/benefit was performed, in order to evaluate the influence of aspects such as noise and distance in the communication performance. The obtained results show that the technology works, but it still presents a high variation in transmission rates, making it inappropriate to applications demanding deterministic response time (real time applications).

**Keywords:** Powerline Communication, home automation, PLC modem.

# 1 INTRODUÇÃO

A idéia de se transmitir sinais por linhas de potência remonta aos anos trinta [INT03a], [INT03g]. Entretanto, nunca foi considerado um meio de comunicação viável devido à baixa velocidade, baixa funcionalidade e alto custo de desenvolvimento.

Há aproximadamente trinta anos, foi inventado um dispositivo capaz de modular e injetar na rede elétrica os sons captados por um microfone, sendo este sinal recuperado em outro local e convertido novamente em som. Este sistema ficou conhecido por “Babá Eletrônica”, pois ligando um dispositivo no quarto de uma criança e o outro no quarto de seus pais permitia a monitoração da criança em questão.

Assim como a “Babá Eletrônica”, muitos equipamentos são capazes de injetar sinais na rede elétrica. Esses sinais nem controlados nem uniformes acabam interferindo em outros equipamentos próximos à fonte geradora. O controle da transmissão dos sinais, desde suas frequências até os níveis de propagação, só foi possível com o avanço das técnicas de modulação e multiplexação, permitindo transmitir sinais diferentes sobre um mesmo meio físico. Pôde-se pensar, então, em transmitir dados e informações utilizando os cabos da rede elétrica: *Powerline Communication (também conhecido por tecnologia PLC)*.

Nesse trabalho, quando se falar em comunicação pela rede elétrica (*Powerline Communication*) deve-se ter em mente a transmissão controlada e inteligente de informação pela rede de energia.

Do ponto de vista econômico, a tecnologia PLC apresenta uma grande vantagem com relação a outras tecnologias para transmissão de dados: a existência e utilização de infraestrutura básica para a comunicação. Já do ponto de vista social, a tecnologia pode representar a democratização dos meios de transmissão de informação.

Apesar do crescimento no seu uso, a tecnologia PLC ainda não apresenta uma regulamentação universal. Alguns países já possuem algum tipo de regulamentação sobre utilização de banda de frequência e radiação eletromagnética proveniente da comunicação PLC, enquanto outros, não chegaram a um acordo sobre seus benefícios e malefícios. O Brasil se enquadra neste último perfil. Poucos são os trabalhos e estudos realizados por aqui. Algumas empresas de geração e distribuição de energia elétrica iniciaram pesquisas sobre a viabilidade da utilização dessa nova tecnologia para serviços de telemetria e até mesmo Internet com acesso banda larga (os quais serão apresentadas posteriormente neste trabalho).

A principal motivação deste trabalho é avaliar o estado da arte de sistemas de comunicação via a rede elétrica, incluindo uma análise experimental usando-se modems comerciais, a fim de melhor compreender-se os principais pontos fortes e fracos desta tecnologia.

## **1.1 Objetivos do trabalho**

O objetivo deste trabalho é investigar até que ponto as soluções atualmente propostas e os produtos existentes no mercado mundial se adequam à realidade das redes brasileiras e quais os problemas inerentes à estrutura da rede elétrica podem ocorrer.

Para atingir este objetivo será feita inicialmente uma análise do estado da arte que incluirá um estudo sobre produtos que oferecem comunicação pela rede elétrica (PLC Modem), para posterior aquisição e teste na rede elétrica local. Serão realizados experimentos que possibilitem uma análise de desempenho da comunicação PLC e também uma avaliação da influência da distância da comunicação e do ruído presente na rede elétrica utilizada.

## **1.2 Organização do trabalho**

Este trabalho está organizado em outros cinco capítulos. No capítulo 2 são apresentados conceitos básicos de modulação e multiplexação de sinais, bem como características da comunicação PLC e um estudo sobre as tecnologias existentes. É feita também uma apresentação de projetos brasileiros e internacionais que utilizam transmissão de dados pela rede elétrica. No capítulo seguinte, faz-se uma avaliação dos produtos disponíveis no mercado e apresenta-se o modem PLC escolhido para realização dos testes experimentais do trabalho. O capítulo 4 apresenta os ambientes de testes e os resultados encontrados. No capítulo 5 é feita a análise dos resultados. Finalmente, no sexto capítulo conclui-se o trabalho.

## 2 A COMUNICAÇÃO PELA REDE ELÉTRICA

Neste capítulo serão expostos conceitos básicos de modulação e multiplexação de sinais, fundamentos para a transmissão de dados pela rede elétrica. Também será feita uma avaliação do estado da arte das tecnologias PLC e por último serão apresentados projetos implementados com esta tecnologia.

### 2.1 Conceitos Básicos

Nessa seção serão abordados aspectos relativos a fundamentos de comunicação de dados que formam a base da tecnologia PLC. Serão discutidos conceitos de modulação e multiplexação.

#### 2.1.1 Modulação

Conforme mencionado anteriormente, o desenvolvimento da tecnologia PLC só foi possível com o avanço das técnicas de modulação, isto porque a modulação consiste no processo de transformar um sinal em uma forma adequada para transmissão através de um determinado meio físico (canal) [HAY01].

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

A modulação pode ser classificada em: modulação de onda contínua e modulação por pulsos.

##### 2.1.1.1 Modulação de onda contínua

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

##### 2.1.1.1.1 Modulação de onda contínua por amplitude

Nesse tipo de modulação a amplitude da onda portadora é variada de acordo com o sinal a ser transmitido. A Figura 2.1 mostra um sinal a ser transmitido e o seu equivalente após a modulação em amplitude.

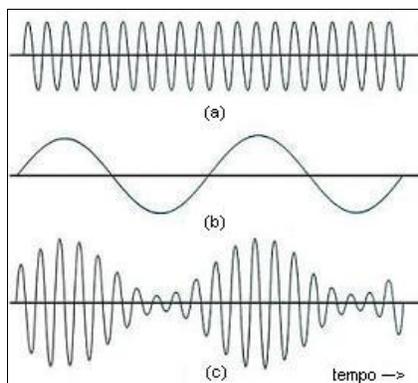


Figura 2.1: Modulação de onda contínua em amplitude. (a) Onda portadora. (b) Sinal a ser transmitido. (c) Sinal modulado em amplitude

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

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

Essas desvantagens podem ser superadas utilizando formas lineares de modulação em amplitude (*Double Sideband-Suppressed Carrier-DSB-SC*, *Single Sideband-SSB*, *Vestigial Sideband-VSB*), mas que acarretam uma complexidade maior ao sistema. Essas modulações não serão vistas nesse trabalho, pois fogem do escopo do mesmo. Detalhes podem ser encontrados em [HAY01].

#### 2.1.1.1.2 Modulação de onda contínua por ângulo

Nesse tipo de modulação o ângulo da onda portadora é variado de acordo com o sinal a ser transmitido. Os dois métodos mais comuns desse tipo de modulação são: modulação em fase (*Phase Modulation-PM*) e modulação em frequência (*Frequency Modulation-FM*).

A modulação em fase consiste em variar linearmente o ângulo do sinal modulado, enquanto a modulação em frequência varia, conforme o nome diz, a frequência do sinal modulado. Um sinal FM pode ser obtido de um sinal PM e vice-versa. Portanto, todas as propriedades de um sinal FM podem ser deduzidas das propriedades de um sinal PM. A Figura 2.2 mostra o resultado de uma modulação em frequência.

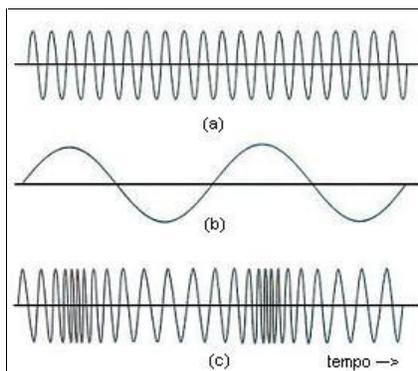


Figura 2.2: Modulação de onda contínua em frequência. (a) Onda portadora. (b) Sinal a ser transmitido. (c) Sinal modulado em frequência

Uma consequência de se fazer o ângulo dependente da mensagem a ser transmitida é que o cruzamento em zero do sinal PM ou FM perde a sua regularidade no espaçamento. O cruzamento em zero é o instante de tempo em que a onda muda do positivo para o negativo e vice-versa. Esta característica distingue as modulações por amplitude das modulações por ângulo. Outra diferença é que o envelope (forma de onda) do sinal PM ou FM é constante e igual à amplitude da onda portadora, enquanto o envelope do sinal AM é dependente da mensagem a ser transmitida.

### 2.1.1.2 Modulação por pulsos

A modulação por pulsos é forma digital de modulação. Aqui, ao contrário de uma onda senoidal, um trem de pulsos é usado para transmitir informação. A base desta modulação é o processo de amostragem.

O processo de amostragem consiste em amostrar-se um sinal analógico em determinados instantes de tempo gerando uma seqüência de amostras, normalmente uniformemente espaçadas no tempo. É necessário que se escolha adequadamente a taxa de amostragem de forma que a seqüência de pulsos gerada defina unicamente o sinal analógico original. O Teorema de Nyquist estabelece que essa taxa deve ser maior do que o dobro da freqüência do sinal a ser amostrado para que se possa recuperar o sinal original a partir de suas amostras.

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

Pode-se distinguir duas famílias de modulação por pulsos: analógica e digital.

#### 2.1.1.2.1 Modulação por pulsos analógica

Esse tipo de modulação utiliza um trem de pulsos periódico como onda portadora e varia-se alguma propriedade de cada pulso de acordo com o valor amostrado correspondente do sinal da mensagem. As variações nos pulsos podem ocorrer na amplitude (Figura 2.3), na duração e na posição. A informação é transmitida de forma analógica, mas em instantes de tempo discretos.

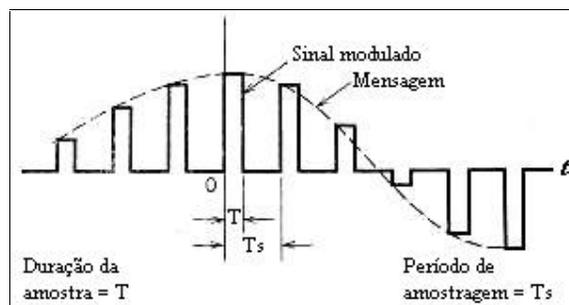


Figura 2.3: Modulação por pulso em amplitude

#### 2.1.1.2.2 Modulação por pulsos digital

Nesse tipo de modulação, a mensagem é representada de tal forma que é discreta tanto na amplitude quanto no tempo, permitindo, então, a sua transmissão de forma digital como uma seqüência de pulsos de código. Código é uma representação discreta de um conjunto de valores discretos. Cada valor dentro de um código é chamado

símbolo. Em um código binário, por exemplo, cada símbolo pode ter um de dois valores: ausência ou presença de pulso.

Existem diversos tipos de modulação por pulsos digital: unipolar sem retorno a zero (NRZ), polar sem retorno a zero (NRZ), unipolar com retorno a zero (RZ), bipolar com retorno a zero (BRZ) e Código Manchester. A Figura 2.4 mostra alguns exemplos desses tipos de modulação. Maiores detalhes podem ser encontrados em [HAY01].

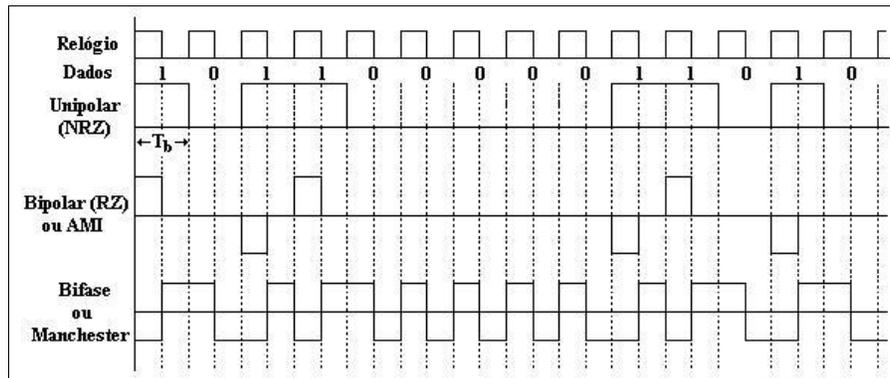


Figura 2.4: Exemplos de modulação por pulsos digital

### 2.1.2 Multiplexação do sinal

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

- *Frequency-Division Multiplexing* (FDM): usa modulação por onda contínua para colocar cada sinal em uma frequência específica da banda. No receptor são usados vários filtros para separar os diferentes sinais e prepará-los para demodulação.
- *Time-Division Multiplexing* (TDM): usa modulação por pulsos para posicionar os sinais em diferentes fatias de tempo.
- *Code-Division Multiplexing* (CDM): no qual cada sinal é identificado por uma seqüência (código) diferente.

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

#### 2.1.1.1 Spread Spectrum

Esta técnica de modulação é caracterizada pela habilidade de rejeitar interferências na transmissão de informação. Segundo [HAY01], uma modulação *spread spectrum* satisfaz duas definições:

- é uma forma de transmissão na qual a informação ocupa uma banda maior que a banda mínima para transmiti-la
- o espalhamento do espectro é realizado antes da transmissão através do uso de um código independente da informação. O mesmo código é usado pelo receptor para recuperar a informação original.

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

comunicação. A Figura 2.5 mostra como fica o espectro de potência para um sinal espalhado e um sinal de banda base.

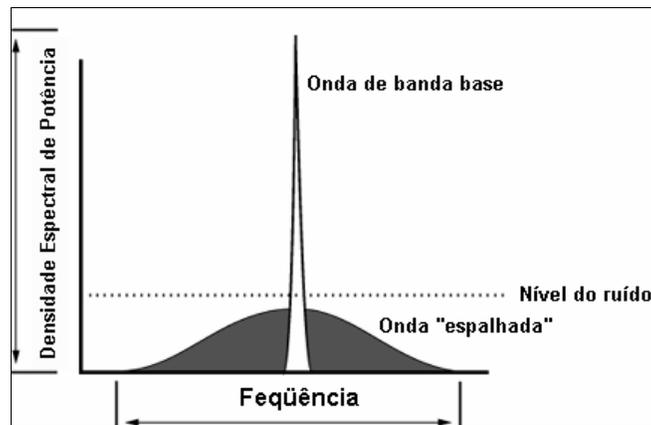


Figura 2.5: Densidade espectral de um sinal em banda base e um sinal “espalhado”

As vantagens desse tipo de modulação são:

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

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

- FH-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). A banda total do canal de transmissão é dividida em diversos sub-canais de banda estreita e o sistema comuta rapidamente entre eles segundo uma seqüência aleatória, conhecida, tanto pelo transmissor como pelo receptor.
- DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Utiliza um canal de banda larga (>1Mhz) onde todos transmitem a uma alta taxa de chips (símbolos binários) segundo uma seqüência que segue um código aleatório predefinido (pseudo ruído). Este pseudo ruído é um sinal binário produzido a uma freqüência muito maior que o dado a ser transmitido, espalhando o sinal no domínio freqüência. Na recepção o sinal é filtrado segundo a mesma seqüência.
- Sistema híbrido DS/FH. A banda é dividida em sub-canais e em cada um deles um pseudo ruído é multiplicado com o sinal de dados. Um endereço é a combinação da seqüência das freqüências e o código do pseudo ruído.

### 2.1.1.2 OFDM

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

A tecnologia é complexa e exige processamento digital de sinais múltiplos. Consiste na divisão do canal em vários canais de banda estreita de diferentes freqüências (Figura 2.6). A diferença entre a técnica convencional FDM está na forma como os sinais são modulados e demodulados, garantindo a ortogonalidade dos sinais na OFDM.

Os benefícios dessa técnica de modulação são: maior número de canais para uma mesma faixa espectral quando comparado com a técnica FDM (vide Figura 2.6), resistência à interferência RF e pouca distorção causada por caminhos múltiplos. Isso é importante porque em um típico cenário de broadcast os sinais transmitidos chegam ao receptor através de vários caminhos de diferentes comprimentos (*multipath-channels*). Como versões múltiplas de um sinal interferem umas com as outras (*inter symbol interference (ISI)*) torna-se extremamente difícil extrair a informação original.

OFDM foi a técnica escolhida para a televisão digital da Europa, Japão e Austrália, assim como para serviços de áudio em broadcast na Europa. Também vem sendo amplamente utilizada em transmissões sem fio (*wireless*).

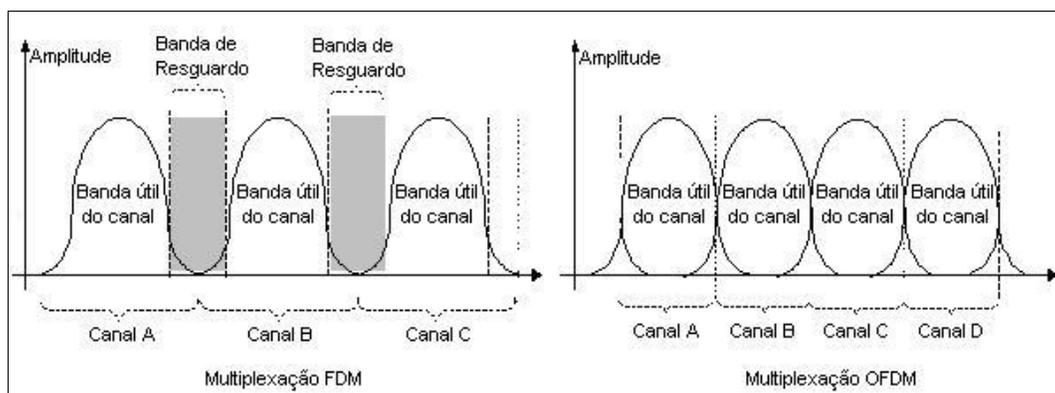


Figura 2.6: Divisão de canais segundo FDM e OFDM

## 2.2 Características da tecnologia PLC

A principal vantagem do PLC sobre as outras tecnologias é a utilização de uma infra-estrutura física já existente. Todos edifícios, apartamentos e casas já possuem uma rede elétrica instalada. Isto permite conectar um computador ou qualquer outro dispositivo na tomada e receber um sinal. Nenhum cabeamento adicional é necessário.

Por outro lado, as linhas de potência são um dos meios mais inóspitos à comunicação de dados, apresentando as seguintes desvantagens:

- Atenuação de acordo com a frequência: divisores de tensão, acoplamento entre fases.
- Atraso
- Ruído impulsivo: interruptores, aparelhos domésticos, motores, *dimmers*.
- Falta de segurança

Além disto, as primeiras empresas interessadas em desenvolver a tecnologia lidaram com outros tipos de problemas: alto custo de desenvolvimento, falta de regulamentação, limitação de banda.

### 2.2.1 Regulamentação

Países da União Européia, Japão e Estados Unidos já possuem uma certa regulamentação sobre a tecnologia PLC. Questões como ruídos e radiações eletromagnéticas vêm sendo discutidas em congressos e seminários sobre PLC. Um exemplo de problema foi o caso de um sistema desenvolvido pela Nor.Web no Reino Unido ainda no início da tecnologia. Esse sistema emitia um ruído nas ondas de radio na banda de 1-30MHz, que resultou em interferências nos sinais da agência de radio do governo britânico. Conseqüentemente o Departamento de Indústria e Comércio do

Reino Unido proibiu o uso de PLC, o que contribuiu para a que a Nor.Web se retirasse do mercado.

A segunda geração de PLC vem usando a tecnologia OFDM, pois reduz a interferência nas ondas de rádio graças à diminuição da densidade espectral da potência transmitida. A modulação OFDM espalha o sinal em uma largura de banda grande, reduzindo a quantidade de potência injetada sobre uma única frequência.

## 2.3 Tecnologias atuais

As primeiras tecnologias PLC começaram a surgir há mais de vinte anos e algumas existem até hoje. Inicialmente foram soluções simples, destinadas ao controle de dispositivos domésticos e apresentavam bastantes restrições de taxas de transferências, custos, etc. A seguir serão apresentadas algumas dessas tecnologias.

### 2.3.1 X-10 PLC

A tecnologia X-10 PLC (*Power Line Carrier*) existe há mais de vinte anos e foi criada inicialmente para integrar baixo custo e controle de equipamentos [INT98].

Originalmente unidirecional, hoje em dia é possível encontrar equipamentos bidirecionais. Os módulos transmissores do X-10 são adaptadores que conectados à tomada de luz enviam sinais aos módulos receptores para controlar equipamentos simples: interruptores, controles remoto, sensores de presença, entre outros.

A modulação utilizada é por amplitude (AM – *Amplitude Modulation*). Para diferenciar os símbolos, a portadora utiliza a passagem por zero volt da onda senoidal (60Hz ou 50 Hz) da linha elétrica de corrente alternada (CA), tanto no ciclo positivo quanto no negativo. A transmissão na passagem por zero justifica-se por ser este o instante de menor ruído e interferência de outros equipamentos ligados à rede.

O ‘um’ binário é representado por um pulso de 3 a 5V, com duração de aproximadamente 1ms, no primeiro ponto do cruzamento pelo zero e pela ausência desse pulso no segundo zero [ARA02]. O ‘zero’ binário é um inverso: ausência de pulso no primeiro pulso e presença no segundo. Dessa forma, cada bit precisa de um ciclo completo de 60Hz para ser transmitido, limitando a taxa em 60 bits por segundo.

Um comando completo do X-10 consiste de dois pacotes com um intervalo de 3 ciclos entre eles, e cada pacote leva 11 ciclos para ser transmitido. No total são necessários 47 ciclos para se transmitir um comando, o equivalente a 0,8s. Essa limitação de velocidade acabou restringindo a tecnologia ao controle de aplicações simples como iluminação e segurança.

### 2.3.2 Intellon CEBus

Intellon é uma empresa privada que produz equipamentos de acordo com o padrão CEBus (*Consumer Electronic Bus*). O CEBus é um padrão aberto [INT03],[INT03b], desenvolvido pela Associação das Indústrias de Eletrônica (EIA) desde 1984. A primeira especificação saiu em 1992 e apresenta as características da camada física para a comunicação por linhas de potência, par trançado, cabo coaxial, infravermelho, RF e fibra ótica.

O CEBus também inclui uma linguagem para as aplicações (CAL – *Common Application Language*), que permite aos dispositivos enviar comandos e solicitações de status usando uma sintaxe um vocabulário comuns a todos (padrão EIA-600).

Utiliza o modelo de comunicação ponto-a-ponto e adota a técnica CSMA/CDCR (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution*) para evitar colisão dos dados.

A tecnologia da Intellon tem como objetivo prover capacidade de controle a redes residenciais e consiste de dois componentes: um *transceiver* implementando *spread spectrum* e um microcontrolador para executar o protocolo. Os pacotes são transmitidos a uma taxa de 10 Kbps. As desvantagens da Intellon são o custo, que a afasta de consumidores residenciais, e a pouca oferta de produtos CEBus.

### 2.3.3 Echelon LonWorks

LonWorks é uma tecnologia da empresa Echelon [ECH03] que tem como objetivo oferecer uma infra-estrutura para a operação de rede local denominada LON (*Local Operating Network*). Está baseada no protocolo de comunicação proprietário LonTalk (ANSI 709.1), e está embarcado no chip Neuron, também proprietário.

Este sistema pode ser usado através de par trançado, cabo coaxial, RF, infravermelho, fibra ótica e rede elétrica. O sistema PLC apresenta comunicação *peer-to-peer*, adotando o protocolo CSMA como estratégia de acesso ao meio, funcionando a uma taxa de 10 Kbps. A tecnologia *spread spectrum* é utilizada para modulação das mensagens.

O alto custo da tecnologia é influenciada pelo chip Neuron, que possui três processadores de 8 bits, com até 10 Kbytes de RAM e até 10 Kbytes de ROM. Por essa razão e pela existência de soluções mais baratas para a automação residencial, a implementação massiva da tecnologia se deu em ambientes comerciais e indústrias, afastando-se de usuários domésticos.

### 2.3.4 Adaptive Networks

A Adaptive Networks também utiliza a tecnologia *spread spectrum*, mas oferece chip sets com taxas de 19,2Kbps e 100Kbps. O acesso ao meio é feito através de um “*hybrid token passing*”, que minimiza *tokens* desnecessários em ambientes com cargas leves e preserva integridade do *token* em situações de muita carga.

Apesar de possibilitar taxas de transmissão maiores que as anteriormente mencionadas, a tecnologia da Adaptive não é adequada para aplicações banda larga como compartilhamento de arquivos, voz digital e transmissão de vídeo.

Assim com a Echelon e a Intellon, seus *chip sets* ainda são muito caros para serem incorporados a produtos destinados a consumidores residenciais ou de pequenos escritórios.

### 2.3.5 PLUG-IN

A tecnologia PLUG-IN foi desenvolvida pela Intelogis, Inc. [INT98] e está baseada na implementação de vários protocolos: PLUG-IN *Intelogis Common Application Language* (iCAL), o PLUG-IN *Power Line Exchange* (PLX) e o PLUG-IN *Digital Power Line* (DPL).

Ao contrário da maioria das linguagens para as aplicações do CEBus que utilizam o tipo de comunicação *peer-to-peer*, o iCAL utiliza cliente-servidor. Esta configuração permite armazenar a inteligência de cada nó da rede em um nó central (Servidor de Aplicações) como, por exemplo, um computador. As tarefas que exigem grande processamento, inteligência e armazenamento são realizadas por este nó central, deixando os nós clientes com a mínima inteligência e circuito necessário para executarem suas funções. Conseqüentemente, o custo do sistema cai enormemente.

O PLX tem como principal função definir o protocolo de controle de acesso ao meio (MAC). Este protocolo utiliza dois mecanismos independentes: DSMA (*Datagram Sensing Multiple Access*) e CTP (*Centralized Token Passing*). O servidor atual da rede é

um nó que foi inserido com a utilização do DSMA e é responsável pelo gerenciamento do *token*.

O PLUG-IN DPL é um conjunto de regras que definem como a informação é transmitida pelos componentes (*transceivers*) da rede. A modulação utilizada é FSK (*Frequency Shift Keying*), cujo valor de custo é bastante inferior ao custo de produção dos circuitos para modulação por *spread spectrum*. As taxas de transmissão chegam a 350 Kbps. Estas características fazem com que esta tecnologia seja muito bem aceita em aplicações comerciais e residenciais.

## 2.4 PLC no mundo hoje

No que diz respeito ao mercado, já estão disponíveis desde circuitos integrados a produtos completos e kits de desenvolvimento prontos para serem ligados na tomada e transmitirem dados. Apesar de algumas empresas já estarem desenvolvendo produtos para banda larga, não há uma padronização para a tecnologia PLC. Umas usam modulação com uma portadora (GMSK, CDMA), com velocidades de 2Mbps e outras utilizam modulação com múltiplas portadoras (OFDM), com taxas mais elevadas (45Mbps).

### 2.4.1 Projetos com PLC no Brasil

Nos últimos três anos algumas empresas brasileiras começaram a investir em pesquisas de tecnologias PLC. A maioria são empresas de geração e distribuição de energia elétrica interessadas em fornecer novos serviços, principalmente de telemetria, aos consumidores finais. A seguir serão explicados dois projetos que utilizam sistemas PLC.

#### 2.4.1.1 Iguazu Energia

A Iguazu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda., localizada no estado de Santa Catarina, iniciou em 2002 um projeto para testar a capacidade e o comportamento da tecnologia PLC para transmissão de dados, voz e imagem na sua rede de distribuição de energia elétrica [INT03a].

O projeto teve como objetivo inicial integrar serviços de acesso à internet e telefonia ao sistema de distribuição de energia elétrica. Sua arquitetura propõe o uso do chamado Centro de Gerência, que além de administrar os clientes PLC e o Backbone (rede de acesso e Interligação), visa oferecer diversos outros serviços como vídeo e música sob demanda (*stream* de vídeo e áudio), TV por assinatura, sistemas de segurança, de telemetria e etc. A Figura 2.7 mostra as interconexões planejadas no projeto.

Os consumidores finais (residências e estabelecimentos comerciais) são agrupados em unidades transformadoras, denominadas Células PLC, onde é instalado um equipamento do tipo Master chamado *Head End Router* ou Roteador Injetor de Sinais. Este roteador é responsável por controlar as prioridades e acessos dos usuários daquela célula, sendo também o “gerador” e “injetor” dos sinais PLC na célula, capaz de modular sinais de imagem e voz recebidos do Backbone.



Figura 2.7: Interconexões no projeto PLC da Iguazu Energia

Está prevista a necessidade de um repetidor de sinal, denominado *Home Gateway*, para locais distantes do *Head End Router* e também para aumento do número de usuários de uma Célula PLC. A Figura 2.8 ilustra as conexões dos equipamentos nas residências.

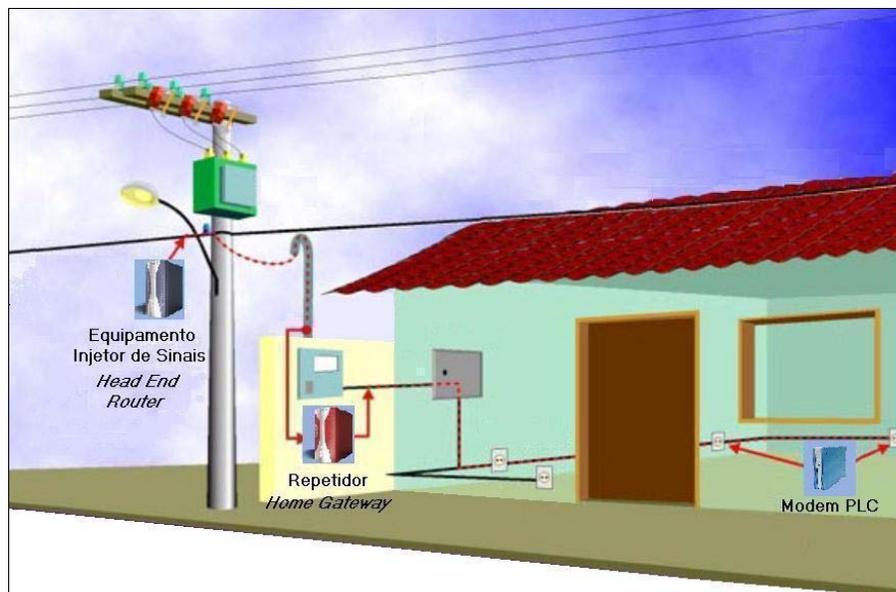


Figura 2.8: Conexões de equipamentos do projeto PLC nas residências

O equipamento Modem PLC mostrado na Figura 2.8 é conectado a uma tomada comum de energia elétrica que além da função de alimentá-lo, também capta os sinais modulados pelo *Head End Router*, ou pelo *Home Gateway*, injetados na rede elétrica e os converte em sinais de rede de dados (padrão Ethernet - Protocolo TCP-IP).

Até o momento da conclusão deste documento não foram encontradas informações sobre a fase atual de implementação do projeto ou sobre resultados.

#### 2.4.1.2 Projeto PLC CEMIG

O projeto PLC CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) foi um projeto piloto, implementado desde novembro de 2001 e tendo seus resultados publicados em janeiro de 2003 [INT03e]. O projeto previa o acesso à Internet em banda larga através da rede secundária de distribuição elétrica sem a necessidade de utilizar a rede de telefonia, da seguinte forma:

- 1- Uma empresa operadora de telecomunicações, fornecedora de acesso à Internet em banda larga, disponibilizava um ponto de terminação na rua onde era conectado um equipamento denominado Master PLC (Figura 2.10).
- 2- O Master PLC injetava o sinal nas fases e no neutro do circuito secundário, ficando este sinal disponível a todos os consumidores (em média 50) que estivessem ligados no circuito elétrico deste transformador. Em alguns casos foi necessário instalar um repetidor no medidor de energia para reforçar o sinal.
- 3- Finalmente, o sinal era captado em uma tomada elétrica por um modem PLC e disponibilizado em uma porta padrão Ethernet ou USB (Universal Serial Bus) para ligar na placa de rede do computador na casa do usuário.

A configuração típica do projeto pode ser visualizada na Figura 2.9.

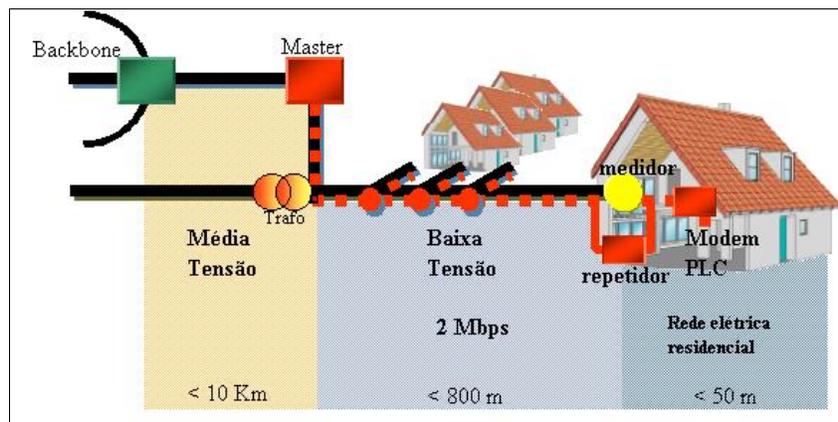


Figura 2.9: Configuração típica do projeto da CEMIG

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

O acesso à Internet em banda larga foi implementado com o uso da tecnologia *cable modem* (Figura 2.10), sendo a velocidade máxima compartilhada por todos os consumidores ligados no mesmo transformador. Qualquer outra estrutura de telecomunicações poderia ter sido usada: fibra óptica, rádio e etc, desde que possuíssem em suas terminações as interfaces padronizadas compatíveis com o hardware PLC.

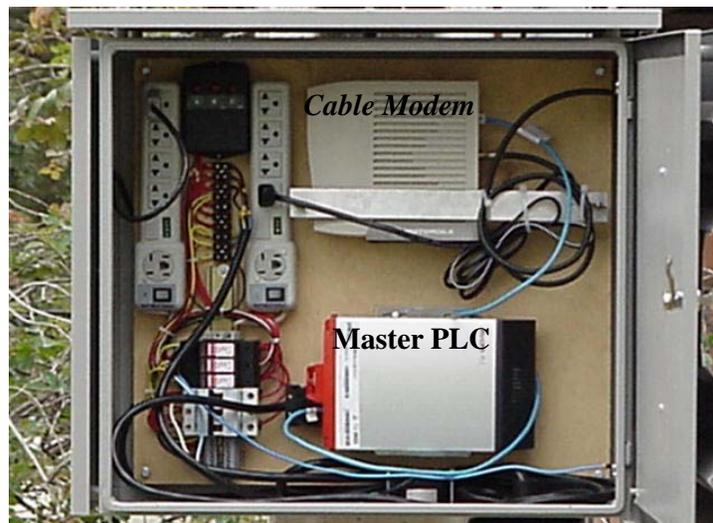


Figura 2.10: Ligação de um *cable modem* a um Master PLC

As características deste projeto foram:

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

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

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

## 2.4.2 Projetos com PLC no exterior

### 2.4.2.1 REMPLI

REMP LI (*Real-time Energy Management via Powerlines and Internet*) [REM03], [INT03f] é um projeto de pesquisa financiado pela Comunidade Européia e que congrega empresas e universidades de países como França, Áustria, Portugal e Alemanha. O projeto tem duração de 3 anos, tendo iniciado suas atividades em março de 2003. O objetivo principal desse projeto é desenvolver um infraestrutura para aquisição de dados distribuídos e controle remoto de operações, usando a rede elétrica como meio físico, e visando a economia de energia em redes de distribuição em larga escala: residências dentro de uma cidade, ambientes de produção, etc.

A primeira aplicação do projeto seria a telemetria, com uma alta resolução de tempo (tempo real), onde os objetos de medida seriam as diferentes fontes de energia: energia elétrica, gás, água, entre outros. Os usuários do sistema (companhias distribuidoras de energia) teriam como benefício uma informação mais detalhada sobre como a energia é consumida pelos usuários finais, proporcionando um controle maior na distribuição e até a detecção de falta de energia. A base do sistema é a comunicação pela rede elétrica, como pode ser visto na Figura 2.11.

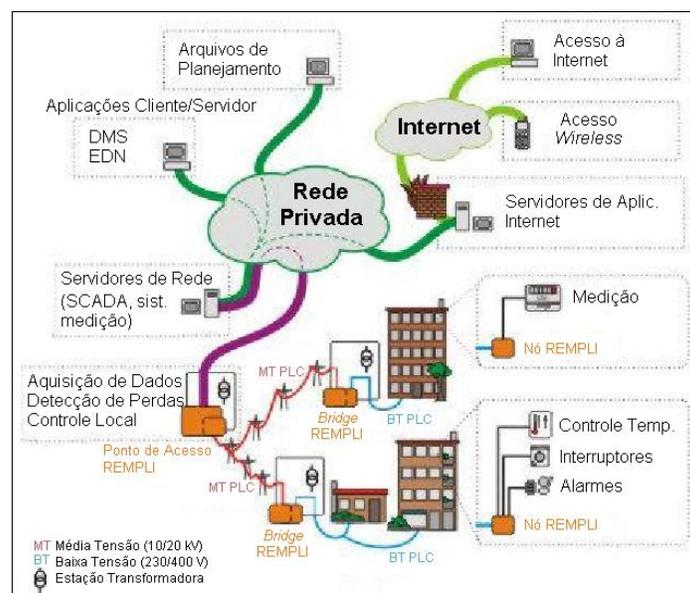


Figura 2.11: Infraestrutura de comunicação do projeto REMPLI

A arquitetura proposta usa o sistema de comunicação pela rede elétrica de forma cascateada. Na maioria dos casos, a comunicação entre média tensão e baixa tensão é do tipo mestre/escravo. A *bridge* BT-MT que faz a conexão entre o escravo de alta tensão e o mestre de baixa tensão é instalada na segunda estação transformadora.

A transição entre PLC e TCP/IP é realizada pelo Ponto de Acesso REMPLI, instalado na primeira estação transformadora. Além disso, o Ponto de Acesso também é responsável por outras aplicações específicas, como concentração de informação, histórico, detecção de falhas e procedimentos de manutenção.

O servidor SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) obtém as informações do Ponto de Acesso REMPLI através de linhas de comunicação TCP/IP privadas (Rede Privada da Figura 2.11). Este servidor também aceita requisições de controle de funções dos clientes SCADA, que são os terminais com os quais trabalham os operadores das companhias distribuidoras.

A outra parte da infraestrutura de comunicação do projeto é composta basicamente de Nós REMPLI, cada um conectado a um escravo de baixa tensão. O Nó REMPLI é instalado na casa do consumidor e pode ser equipado com relés que permitem ligar e desligar o abastecimento de gás, água, energia elétrica, de acordo com os comandos da companhia de distribuição respectiva.

A infraestrutura baseada em PLC e a arquitetura dos pontos de acesso garantem ao projeto REMPLI ser uma plataforma de comunicação aberta, possibilitando a integração de vários serviços: telemetria, gerenciamento de energia, aplicações na área de domótica e até alarmes de segurança.

### 3 CONTEXTOS PLC

Uma análise dos sistemas PLC apresentados na seção anterior permite a identificação de quatro grupos distintos onde a informação pode trafegar: redes de alta tensão, redes de média tensão (transmissão), redes de baixa tensão (distribuição) e ambientes residenciais. A Figura 3.1 retirada de [ROG03] mostra esta divisão.

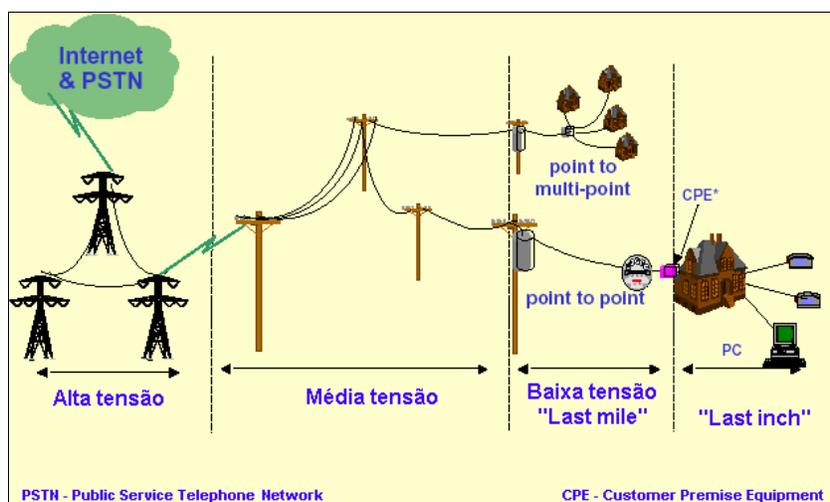


Figura 3.1 Áreas de aplicação de comunicação PLC

O grupo das redes de alta tensão e de transmissão é onde se concentra a maioria dos projetos que visam implantar serviço de Internet sobre as linhas de potência. Já o grupo das redes de distribuição é principal foco das aplicações de telemetria e de controle de informações. No ambiente residencial a tecnologia PLC encontra uma grande variedade de aplicações voltadas principalmente à automação residencial, onde se pode destacar controle de calefação e ar condicionado, alarmes, iluminação, segurança, e até mesmo para permitir a criação de redes locais de computadores via a rede elétrica.

Um exemplo de projeto de pesquisa, recentemente aprovado, que investiga soluções para tele-medição é o projeto de parceria entre pesquisadores do DELET/UFRGS e as empresas CEEE e Elo. A integração entre estas diferentes áreas seria uma solução que apresenta vários benefícios. Por exemplo, os medidores residenciais tradicionais de energia elétrica dariam lugar a medidores eletrônicos, os quais se comunicariam com uma central de distribuição responsável por controlar e gerenciar o consumo de energia elétrica (controle ativo de demanda). A companhia também passaria a oferecer serviço de Internet em banda larga e toda a comunicação seria feita através da rede elétrica.

Todo projeto ou sistema que utiliza tecnologia PLC só é viável pela presença de um componente "vital" capaz de fazer a "tradução" dos sinais que trafegam pela rede elétrica em informação útil: o Modem PLC. Por não haver ainda muitos estudos e

publicações brasileiras sobre o desempenho de modems PLC, neste trabalho buscou-se avaliar o estado da arte dos modems PLC disponíveis e também realizar avaliações de comportamento e funcionalidade do mesmo nas redes elétricas brasileiras.

Nas seções a seguir serão apresentados e comparados alguns modelos de modem PLC. Baseado nos resultados desta análise, um modem PLC foi selecionado e adquirido para ser usado como estudo de caso nesse trabalho.

### 3.1 Modems PLC

#### 3.1.1 High Tech Horizon

O produto desta empresa chama-se Power Line Modem PLM-24, cujas características são:

- Taxas de 110-2400 bps para recepção e transmissão
- Comunicação *half-duplex*
- Comunicando a 2400 bps o PLM-24 é 40 vezes mais rápido que X-10
- 230 VAC/50 ou 60 Hz ou 110 VAC/50 ou 60 Hz.
- Usa FSK (mais imune ao ruído que o ASK)
- Pode coexistir com um equipamento X-10
- Dimensões: PCB 54 x 38 mm
- Interface com um MCU ou PC através de no mínimo 3 linhas: RxD (*receive data*), TxD (*transmit data*) and Rx/Tx *control*. As linhas de I/O são compatíveis com TTL/CMOS
- Função de watch dog.
- Detecção de portadora
- Compatível com as especificações CENELEC EN 50065-1 (EU) e FCC (US)

Esta empresa oferece também o kit de desenvolvimento PLM-24 (PLM-24 *DevBoard Kit*), 110VAC/60Hz ou 230VAC/50Hz. O kit inclui: placa de circuito impresso, manual com instruções de montagem, esquemáticos e exemplos de como conectar o PLM-24 a uma porta serial de um PC e a um microcontrolador tal como BASIC Stamp, PIC e 8051. O preço do modem é de U\$35,00 (trinta e cinco dólares).

#### 3.1.2 Itran Communications Ltd.

O modem PLC da Itran chama-se PLNET52 e suas características são:

- Taxas de até 2.5Mbps no nível físico e de até 2.0 Mbps no nível UDP
- Comunicação *full e half duplex*
- 90-240V AC (50/60Hz)
- Detecção da qualidade do canal e controle da taxa de dados automáticos
- Algoritmo de correção de erros
- Interfaces USB1.1 e Ethernet 802.3
- Suporte a TCP e UDP/IP

Este modem é composto por circuitos integrados que implementam as interfaces para a camada física (ITM1) e para o nível MAC (ITMAC). A Figura 3.2 mostra como fica essa configuração.

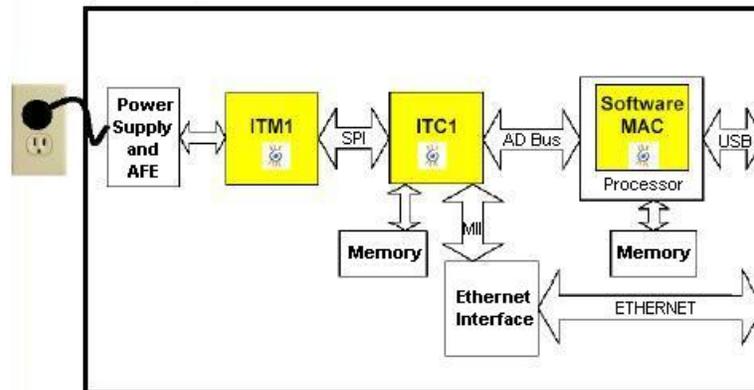


Figura 3.2: Diagrama de blocos do PLNET52 da Itran

### 3.1.2.1 ITM1

A interface ITM1 implementa um modem PLC de 2,5 Mbps através de modulação ACSK (*Adaptive Code Shift Keying*), utiliza três canais de frequência, cabeçalho de CRC-8 e *payload* CRC-16. Apresenta também uma interface SPI/SCI e tempo de *back-off* programável. Além disso, tem alta imunidade à queda do sinal, ruído, impedância e distorção de fase, com controle da taxa de dados e qualidade do canal automáticos.

### 3.1.2.2 ITMAC

Essa interface para o nível MAC está dividida em uma implementação em hardware (chip ITC1) e uma implementação em software que roda em microprocessadores.

#### 3.1.2.2.1 ITC1 – Power Line Communications MAC (Media Access Controller)

- Interface para ITM1 power line modem PHY, MII e P8
- RAM
- Interfaces USB1.1 e Ethernet
- CSMA/CD
- RTS/CTS e transmissão de pacotes pequenos sem RTS/CTS
- Baixo overhead
- Transporte de pacotes com ARQ
- Transmissão Unicast e broadcast

#### 3.1.2.2.2 SWM – Software MAC

- Análise de pacotes
- Passagem de pacotes
- QoS – prioridades de acesso aos canais, controle de admissão, reserva de largura de banda e monitoramento de canal

O valor de venda de dois kits de desenvolvimento da Itran é de US\$2.500,00 (dois mil e quinhentos dólares). Entretanto, para o uso em pesquisa, os kits foram negociados ao valor de US\$324,00 (trezentos e vinte e quatro dólares).

### 3.1.3 nSine

A empresa nSine desenvolveu um produto chamado DSK300 – Powerline Networking. Esse kit de desenvolvimento contém três nós que aceitam placas do Powerline Modem (incluídas no kit), formando uma Interface de Rede Powerline (PNI).

Cada nó também contém uma interface serial RS232 para se conectar com outros equipamentos ou microcontroladores.

O kit também contém uma placa de rede 10/100 Mbps, um acoplador de teste para conectar 50 ohm na linha de alimentação, cabos RJ45 e RJ11, além de CD ROMs do Windows e do Linux com drivers e softwares de desenvolvimento. A taxa de dados é de 2.5 Mbps e *payload* de 1.5 Mbps. Utiliza a modulação OOK/GFSK *Wideband Adaptive Multitone*. A Figura 3.3 mostra como os nós podem ser interligados.

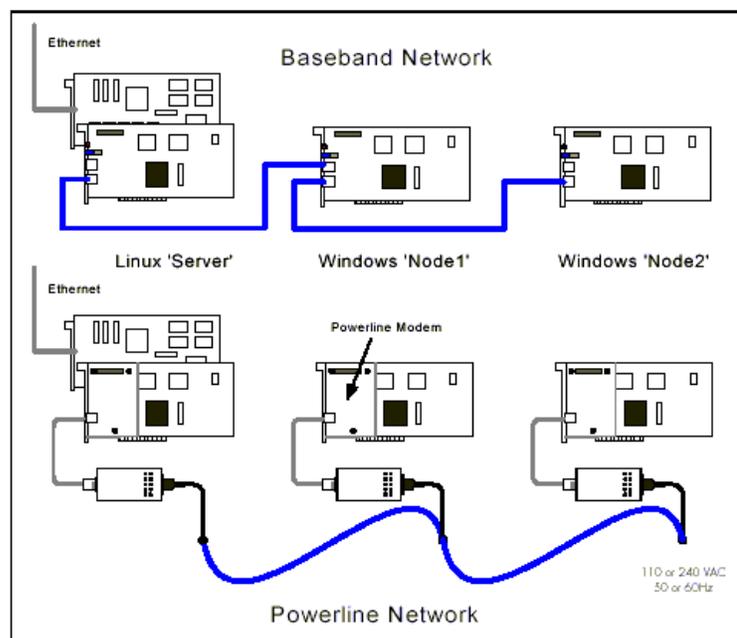


Figura 3.3: Interligação de nós PLC da Nsine

O valor do kit com três nós é de U\$5000,00 (cinco mil dólares). Os módulos powerline avulsos estariam disponíveis no fim do ano de 2003.

### 3.1.4 Echelon

Os produtos da Echelon para comunicação PLC são os chamados Smart Transceivers PL 3120 e PL 3150. Esses *transceivers* integram um processador Neuron 8-bit, usam duas frequências para comunicação, implementam algoritmos de correção de erros (FEC) e CRC. Além disso, os *transceivers* alcançam taxas de até 5,4kbps utilizando a modulação BPSK.

Para conseguir amostras destes dois chips é preciso comprar um dos kits da empresa que custam entre U\$5000,00 e U\$12000,00 (cinco mil e doze mil dólares, respectivamente). A Figura 3.4 mostra um esquemático para montar um equipamento que se comunique através da rede elétrica utilizando um Smart Transceiver.

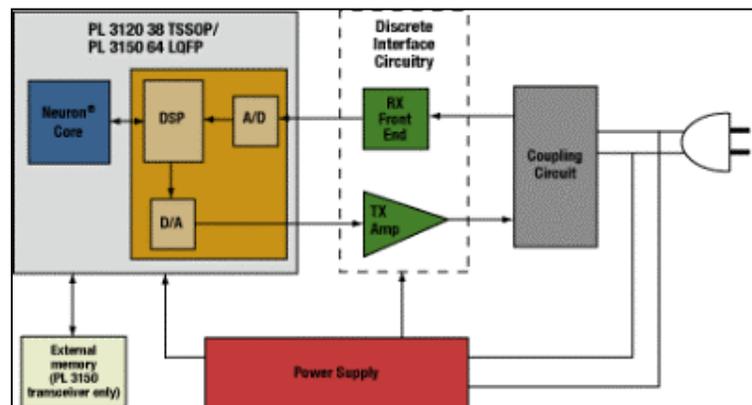


Figura 3.4: Esquema de um sistema para comunicação PLC utilizando um Smart Transceiver

### 3.2 Resultado da pesquisa

As principais características que foram levadas em consideração na comparação dos protocolos e na escolha do produto a ser comprado foram: facilidade de instalação, robustez, taxas de transmissão e preço acessível. A Tabela 3.1 resume algumas das características comparadas.

Tabela 3.1: Tabela comparativa dos modems analisados

Fabricante	Taxas de transmissão	Modulação	Instalação	Preço (U\$)
High Tech Horizon	110-2400 bps	FSK	fácil	35,00 (un.)
Itran Communications Ltd.	até 2,5 Mbps	ACSK	fácil	324,00 (kit c/ 2 modems)
nSine	2,5 Mbps	GFSK	média	5000,00 (kit c/ 3 modems)
Echelon	5,4 kbps	BPSK	complexa	5000,00 (kit)

Dentre os produtos analisados, o Power Line Modem PLM-24 apresentou um preço muito bom, mas a taxa de transmissão era muito inferior aos demais. Já os produtos da nSine e da Echelon que apresentam qualidade em robustez e taxas de transmissão mas eram muito caros.

Optou-se então pela aquisição do modem da empresa Itran, que apresentou um preço razoável e uma taxa de transmissão boa, o que se encaixa no perfil do modem desejado para a realização de testes em ambientes residenciais.

## 4 ANÁLISE EXPERIMENTAL DO MODEM PLC

Neste capítulo serão descritos os testes realizados com o modem PLC PLNET52, produzido pela empresa Itran Communications Ltd. Conforme comentado no capítulo anterior, este modem representa uma das alternativas com melhor relação custo/benefício existentes no mercado.

O objetivo dos testes será verificar a eficiência de um modem que aparentemente apresenta bom desempenho em redes elétricas internacionais, onde a regulamentação e padronização são maiores que no Brasil.

Uma desvantagem do modem escolhido é que não se tem acesso a informações detalhadas dos blocos funcionais que compõem o mesmo. Algumas características como a modulação, por exemplo, são proprietárias da empresa e outras ainda não foram patenteadas. Com isso, o modem acaba funcionando como uma “caixa preta”, onde só se conhece o que entra e sai do mesmo.

### 4.1 Planejamento dos experimentos

A avaliação experimental visa a análise do comportamento de um modem PLC em operação real para observar-se a influência dos seguintes parâmetros:

- Tamanho das mensagens transmitidas
- Ruído eletromagnético gerado por outros dispositivos conectados à rede
- Distância máxima
- Conectividade em redes distintas

Assim, algumas considerações foram feitas de forma que os testes realizados pudessem levar a resultados que retratassem claramente as qualidades e problemas encontrados com as condições citadas acima.

As seções seguintes explicam as decisões tomadas com relação aos experimentos, os locais de teste e também como foram desenvolvidos os algoritmos para testes e análise do modem.

#### 4.1.1 Considerações sobre os experimentos

##### 4.1.1.1 *Tamanho das mensagens*

Uma vez que o objetivo principal deste trabalho foi a avaliação da tecnologia de comunicação PLC para aplicações em automação predial e residencial, cuja comunicação de dados se dá através de troca de mensagens curtas, os testes realizados foram focados na transmissão e recepção de mensagens de até 512 bytes (foram realizados experimentos com 16, 32, 64, 128, 256 e 512 bytes).

Particularmente, esses testes permitiriam ver a influência de características dos protocolos de comunicação utilizados pelas camadas de enlace de dados (por exemplo, tamanho mínimo de mensagens em estratégias de acesso CSMA/CD), rede e transporte (algoritmo de Nagle).

Adicionalmente, também foram planejados experimentos que permitissem análise do comportamento do modem em uma possível rede local de computadores usando tecnologia PLC, através do envio de arquivos de diferentes tamanhos.

#### *4.1.1.2 Ruído presente na rede elétrica*

Conforme já foi abordado várias vezes ao longo desse trabalho, a maior preocupação da transmissão de dados pela rede elétrica vem sendo a imunidade a ruídos eletromagnéticos gerados por outros dispositivos conectados à rede. Nesse sentido, os experimentos foram realizados em diferentes ambientes, com diferentes níveis de ruído.

Um dos ambientes utilizados para testes foi um apartamento onde se pretendia ter um controle maior do que estava ligado à rede e prováveis interferências, sendo este um ambiente pouco ruidoso. A idéia foi utilizar um ventilador como gerador de ruído eletro-magnético e verificar a influência deste ruído nas taxas de comunicação obtidas. Mesmo sabendo da impossibilidade de manter-se apenas o ventilador como fonte de ruído, entendia-se que o ruído gerado por um ventilador próximo aos modems PLCs representaria uma fonte de ruído significativa com relação ao ruído normal.

Além de um gerador de ruídos, também foram planejados experimentos nos quais um estabilizador de tensão foi colocado no mesmo circuito em que os modems se comunicariam. Neste caso, os filtros de linha adicionados pelo estabilizador tenderiam a atenuar os sinais gerados pelos modems PLC, uma vez que estes estariam em faixas de frequência que deveriam ser filtradas pelo estabilizador.

Entretanto, pode-se adiantar que o isolamento do ruído para a realização de testes só seria possível com a utilização de uma rede elétrica com características bem conhecidas.

#### *4.1.1.3 Distância máxima*

Um fator importante na avaliação de um sistema de comunicação de dados é a distância máxima em que se garante a qualidade da comunicação do sistema. No caso deste trabalho, o mais importante era verificar em primeiro lugar se os modems conseguiriam se comunicar em ambientes cujas tomadas elétricas fossem distantes umas das outras. Caso funcionasse, os testes seriam realizados a distâncias cada vez maiores até o ponto em que a comunicação não fosse mais possível.

O problema encontrado foi a falta de certeza quanto à correspondência das distâncias entre as tomadas elétricas vistas nas paredes dos locais de testes e as distâncias reais dos circuitos elétricos internos. Isso se deve ao fato de as plantas com projetos elétricos não serem muito acessíveis aos próprios proprietários, e também ao fato de tais circuitos já terem sido alterados sem atualização da documentação.

#### *4.1.1.4 Conectividade em redes distintas*

Por se tratar de comunicação pela rede elétrica, não se poderia deixar de lado as diferenças entre as redes (monofásica, bifásica ou trifásica). Apesar deste assunto não ser mencionado pelo fabricante do modem, foram planejados experimentos para testar a operabilidade dos modems PLC em redes diferentes.

#### 4.1.2 Locais de testes

Os primeiros testes foram realizados dentro de um apartamento. Os modems foram ligados em várias tomadas diferentes para se verificar a influência da distância na transmissão dos dados.

A segunda bateria de testes foi realizada no Laboratório de Automação e nas salas de aula do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esses lugares foram escolhidos por apresentarem um maior nível de ruído na rede elétrica devido ao grande número de equipamentos e computadores ligados na mesma e pela distância que poderia ser alcançada nos testes.

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram a configuração das tomadas elétricas do apartamento, do laboratório e das salas de aula utilizadas nos testes do modem.

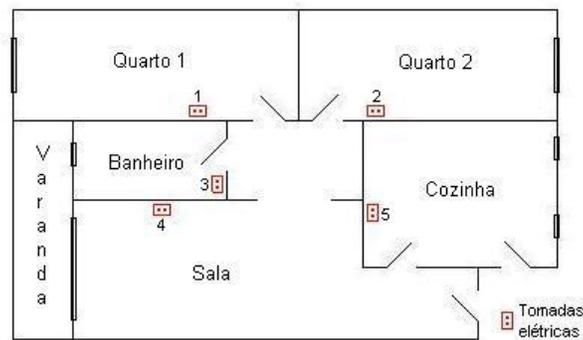


Figura 4.1: Apartamento utilizado nos testes

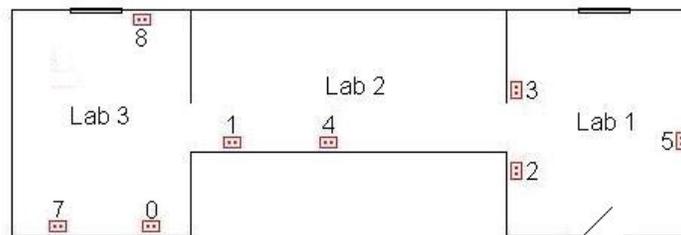


Figura 4.2: Laboratório de automação

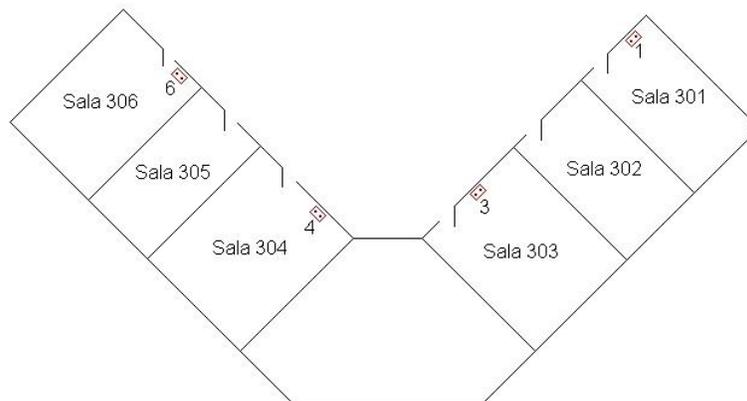


Figura 4.3: Salas de aula no Depto. de Engenharia Elétrica

### 4.1.3 Configuração dos modems PLC

Os modems PLC utilizados nos experimentos possuem interfaces USB e Ethernet. Para configurar o modem utilizando a interface USB, deve ser instalado o driver oferecido pelo fabricante, o qual adiciona um novo dispositivo de rede ao computador. A partir daí, é possível configurar um endereço IP para esse dispositivo. Já a conexão via Ethernet é feita através de um cabo RJ45 ligado a uma placa de rede instalada no computador. O endereço IP é configurado na placa de rede.

Em ambos os casos o endereço IP se refere ao computador e não aos modems, que funcionam como *bridges*. A Figura 4.4 apresenta o modelo de referência da comunicação.

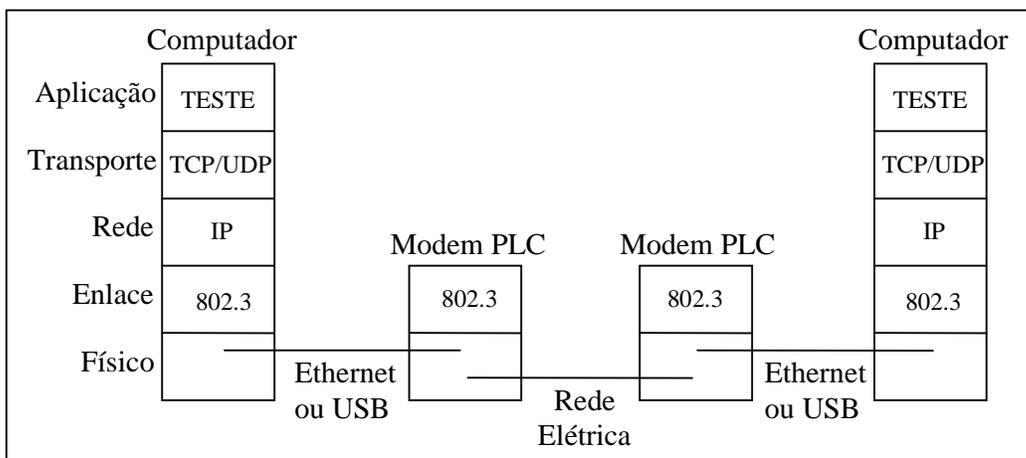


Figura 4.4: Modelo de referência da comunicação

### 4.1.4 Programas de testes

A maneira escolhida para a realização dos testes foi o uso de programas escritos na linguagem C que implementavam sockets TCP do tipo cliente/servidor. A utilização de TCP possibilitou a variação em alguns parâmetros de comunicação. Uma variação feita foi a desabilitação do algoritmo de Nagle, pois o cálculo de tempo de transmissão seria baseado nos ACK's recebidos de cada pacote enviado pelo *send*. Outra modificação foi colocar os *buffers* de envio com tamanho igual a um byte para evitar a "bufferização" de pacotes antes de enviá-los.

Como forma de medição de tempo de envio das mensagens foi necessário o uso de funções de alta resolução do Windows: uma função fornecia a frequência do sistema em "counts" por segundo e a outra função fornecia o valor de "count" antes e depois de um *send* bloqueante do socket. Com esses dois últimos valores pôde-se fazer o cálculo de quanto tempo levou a transmissão em unidades de segundo.

Apesar de as funções de tempo serem de alta resolução, o envio das mensagens ainda era muito rápido, sendo a visualização do tempo praticamente impossível. Foi necessário realizar um ciclo de 1000 repetições onde o tempo individual de cada envio era acumulado para depois ser feito o cálculo da taxa de transmissão em bit/s.

Além disso, visando obter uma boa quantidade de amostras, cada ciclo de 1000 envios era repetido 100 vezes. As taxas obtidas e o número de bytes foram gravados em arquivos de histórico. Os resultados das transmissões foram usados para geração de gráficos com o programa MATLAB (histogramas e curvas plotando a taxa de transmissão em cada uma das 100 repetições).

Nos testes de arquivos, cada arquivo era lido de 1024 em 1024 bytes e enviado pelo socket até que o arquivo chegasse ao fim. Assim como nas mensagens, foram usadas 100 repetições de envios do arquivo completo de forma a se obter um bom número de amostras para realização de cálculos estatísticos no MATLAB.

Os gráficos gerados no programa MATLAB mostram a variação da taxas de transmissão ao longo do tempo (representado pelos índices de 1 a 100 dos experimentos). Também foram gerados os histogramas de cada teste realizado e calculou-se a média, mediana e desvio padrão dos mesmos para uma melhor visualização e posterior comparação dos resultados. As Figuras 4.5 e 4.6 são exemplos dos gráficos gerados no programa MATLAB.

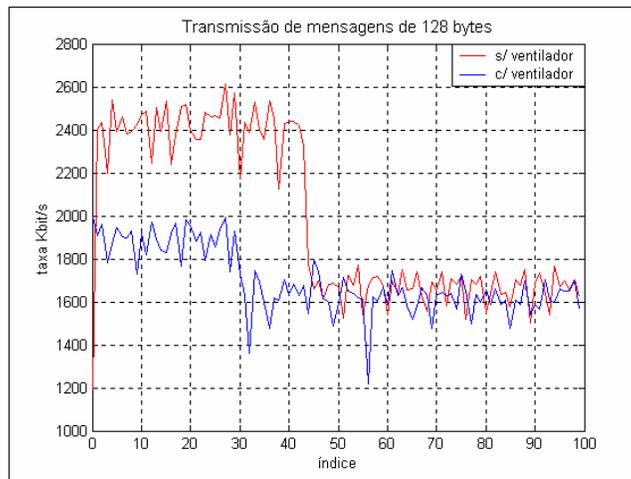


Figura 4.5: Gráfico com as taxas de transmissão de mensagens de 128 bytes

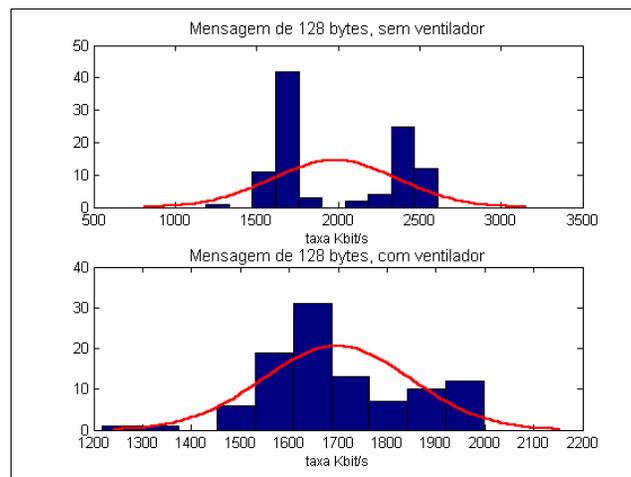


Figura 4.6: Gráfico com histogramas gerados a partir das taxas de transmissão de mensagens de 128 bytes

## 4.2 Resultados dos experimentos

Nessa seção serão apresentados os resultados das transmissões feitas utilizando os modems PLC. Os testes estão classificados inicialmente em dois grupos: envio de mensagens e envio de arquivos. Dentro dessa divisão, os testes são divididos pelo local onde foram realizados (apartamento, laboratório ou salas de aula). Finalmente, serão

indicadas as tomadas em que foram ligados os modems para a transmissão de dados, levando-se em consideração as Figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Dessa forma, os experimentos serão relatados seguindo a indexação Mx/Ay.A/L/S.Tz.Ty, onde:

- Mx => teste com mensagens, x = tamanho da mensagem (16, 32, 64, 128, 256 ou 512)
- Ay => teste com arquivos, y = tamanho do arquivo (**P**equeno, **M**édio ou **G**rande)
- A => teste no apartamento
- L => teste no laboratório de automação
- S => teste nas salas de aula
- Tz => tomada onde foi ligado o primeiro modem
- Ty => tomada onde foi ligado o segundo modem

No caso de testes realizados no apartamento, ainda tem-se duas subdivisões:

- s ou n => uso ou não, respectivamente, de um ventilador durante o teste.
- t ou e => ‘t’ indica que ambos os modems estavam ligados diretamente em tomadas elétricas, enquanto ‘e’ indica que um dos modems estava ligado a um estabilizador de tensão.

Dois exemplos ajudam a esclarecer:

- 1- M16.L.T3.T5: identifica teste com mensagens de 16 bytes, realizado no laboratório, com os modems ligados na tomada 3 e 5.
- 2- AP.A.T1.T5.s.e: identifica experimento com arquivo de tamanho pequeno, realizado no apartamento sem o uso de ventilador, ligando um modem na tomada 1 e o outro na tomada 5, estando um deles conectado através de um estabilizador

#### 4.2.1 Envio de mensagens

Serão apresentados os gráficos de transmissão de mensagens de tamanho variável nos três ambientes testados.

##### 4.2.1.1 Transmissões no apartamento

No apartamento, os testes realizados tiveram várias configurações:

- modems ligados na mesma tomada do quarto 1, com e sem o uso do ventilador: Mx.A.T1.T1.s/n.t
- modems ligados em tomadas diferentes (redes em disjuntores diferentes)
  - um modem foi ligado na cozinha e o outro modem foi ligado a um estabilizador na sala, com e sem o uso do ventilador: Mx.A.T5.T4.s/n.e
  - um modem ligado na tomada do quarto 1 e o outro ligado na tomada da cozinha, com e sem ventilador: Mx.A.T1.T5.s/n.t

##### 4.2.1.1.1 Modems PLC ligados na mesma tomada

Os resultados apresentados nas Figuras 4.7, 4.8, 4.9 são de envios de mensagens de 16, 32, 64, 128, 256 e 512 bytes, estando os dois modems PLC ligados na tomada do quarto 1 da Figura 4.1.

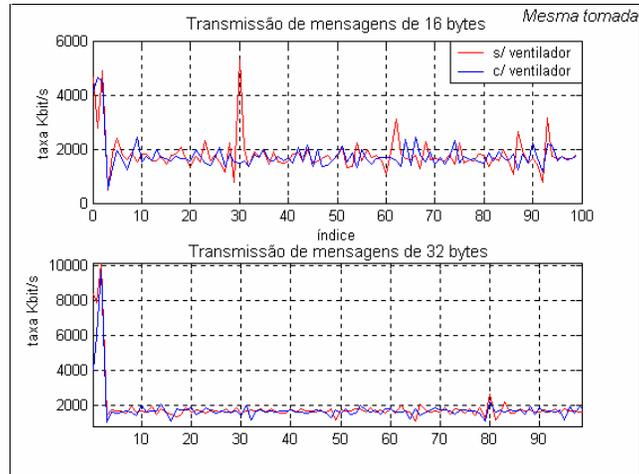


Figura 4.7 Experimentos M16.A.T1.T1.s/n.t e M32.A.T1.T1.s/n.t

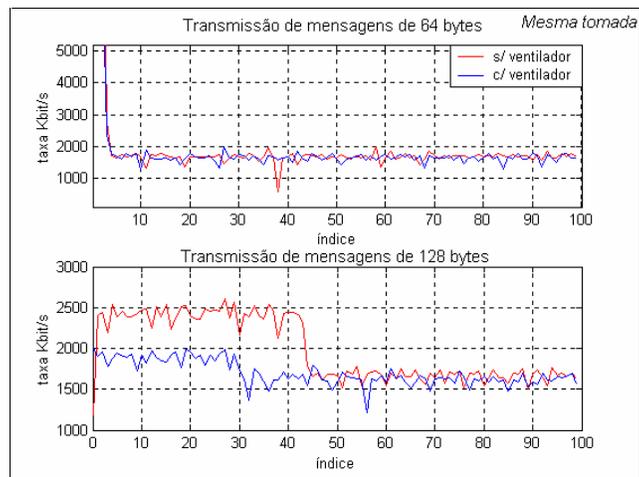


Figura 4.8: Experimentos M64.A.T1.T1.s/n.t e M128.A.T1.T1.s/n.t

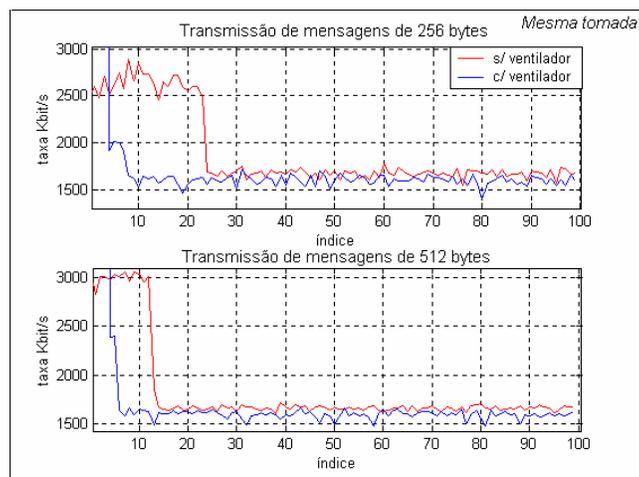


Figura 4.9: Experimentos M256.A.T1.T1.s/n.t e M512.A.T1.T1.s/n.t

#### 4.2.1.1.2 Modems PLC ligados em tomadas diferentes

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 mostram os resultados dos experimentos feitos com um modem ligado na cozinha e o outro modem ligado no quarto 1. Já as Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 são dos testes feitos com um modem ligado na cozinha e o outro a um estabilizador na sala.

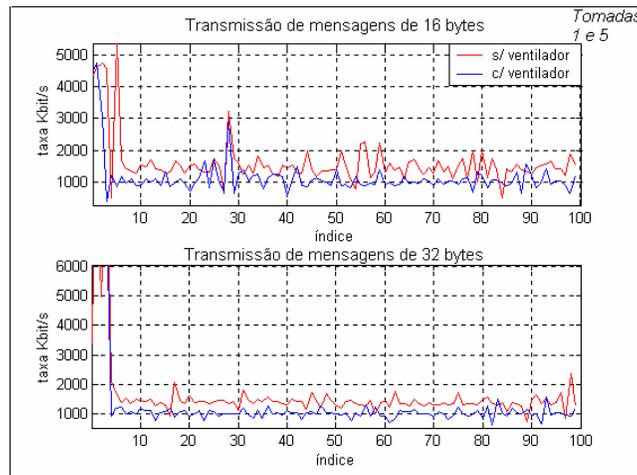


Figura 4.10: Experimentos M16.A.T1.T5.s/n.t e M32.A.T1.T5.s/n.t

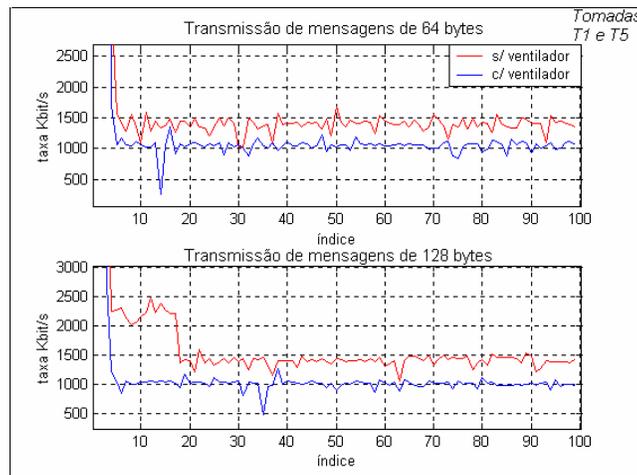


Figura 4.11: Experimentos M64.A.T1.T5.s/n.t e M128.A.T1.T5.s/n.t

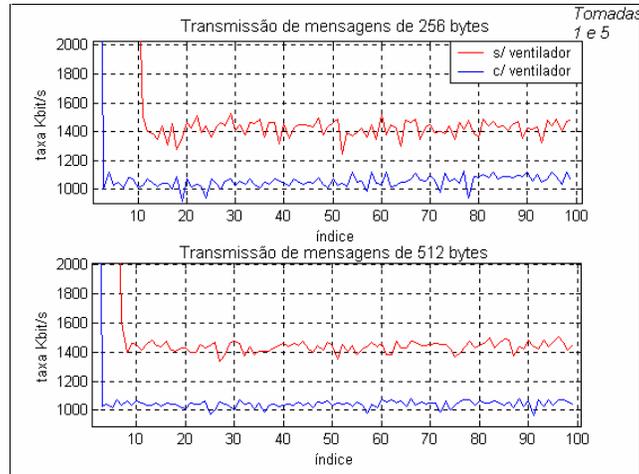


Figura 4.12: Experimentos M256.A.T1.T5.s/n.t e M512.A.T1.T5.s/n.t

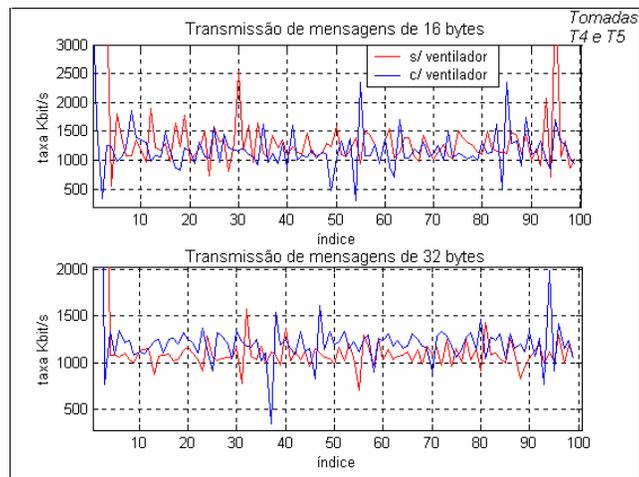


Figura 4.13: Experimentos M16.A.T4.T5.s/n.e e M32.A.T4.T5.s/n.e

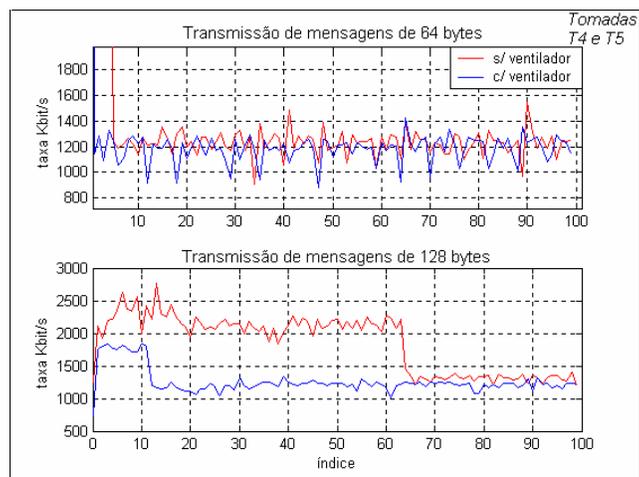


Figura 4.14: Experimentos M64.A.T4.T5.s/n.e e M128.A.T4.T5.s/n.e

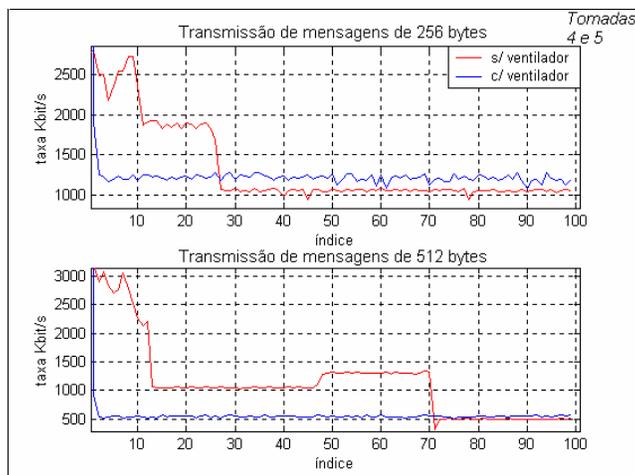


Figura 4.15: Experimentos M256.A.T4.T5.s/n.e e M512.A.T4.T5.s/n.e

#### 4.2.1.2 Transmissões no laboratório de automação

Os primeiros testes realizados no laboratório de automação foram feitos com um modem ligado na tomada 0 e o outro modem deslocado pelas tomadas 1, 2 e 3. A idéia inicial era de que essas tomadas pertencessem à mesma rede e que estivessem em ordem crescente de distância.

Já a segunda parte dos testes foram feitos com um modem fixo na tomada 3 e o outro modem ligado nas tomadas 5, 2 e 4. Esses testes visavam comprovar as análises feitas com os primeiros testes.

##### 4.2.1.2.1 Modem fixo na tomada 0

As Figuras 4.16 a 4.21, mostram os resultados encontrados nos testes do laboratório de automação, mantendo um modem fixo na tomada 0.

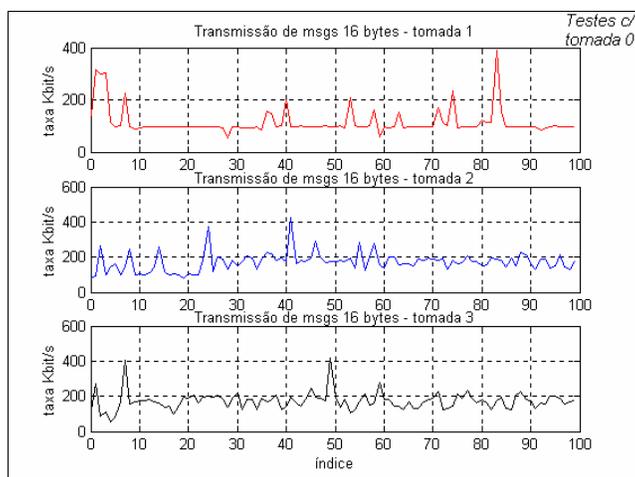


Figura 4.16: Experimentos M16.L.T0.T1, M16.L.T0.T2 e M16.L.T0.T3

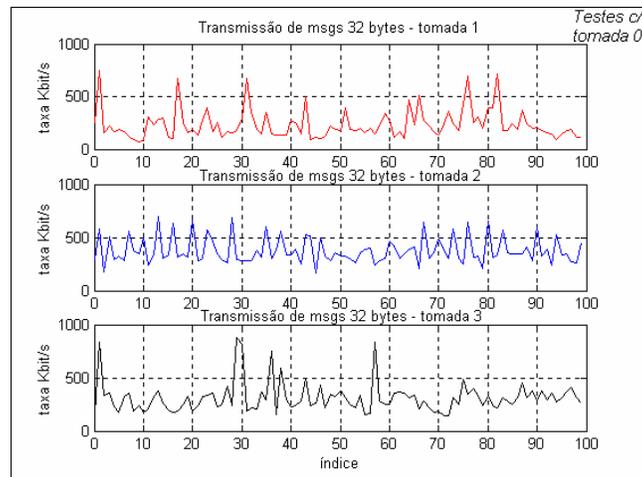


Figura 4.17: Experimentos M32.L.T0.T1, M32.L.T0.T2 e M32.L.T0.T3

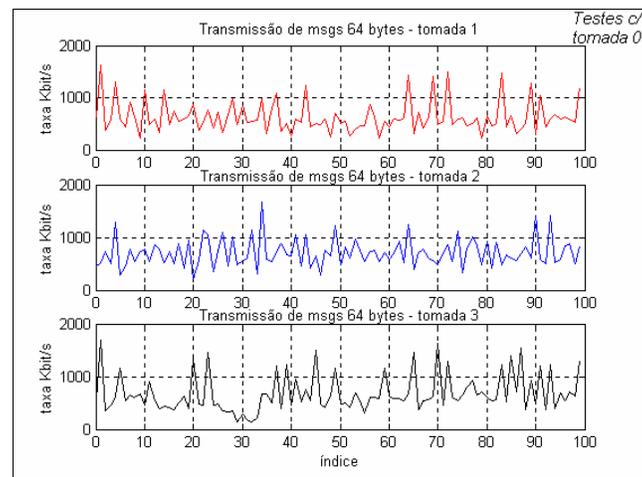


Figura 4.18: Experimentos M64.L.T0.T1, M64.L.T0.T2 e M64.L.T0.T3

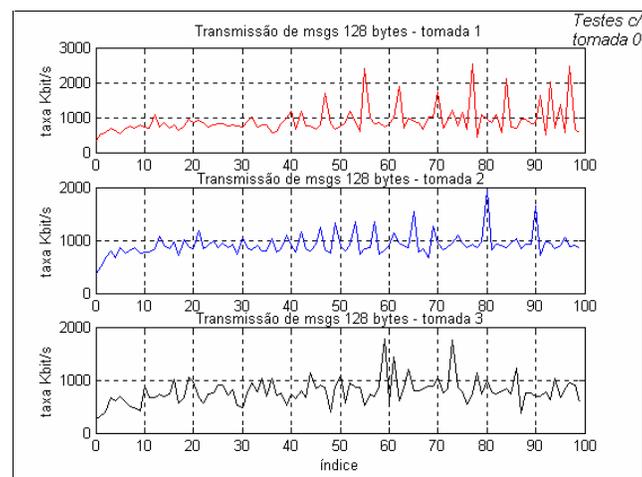


Figura 4.19: Experimentos M128.L.T0.T1, M128.L.T0.T2 e M128.L.T0.T3

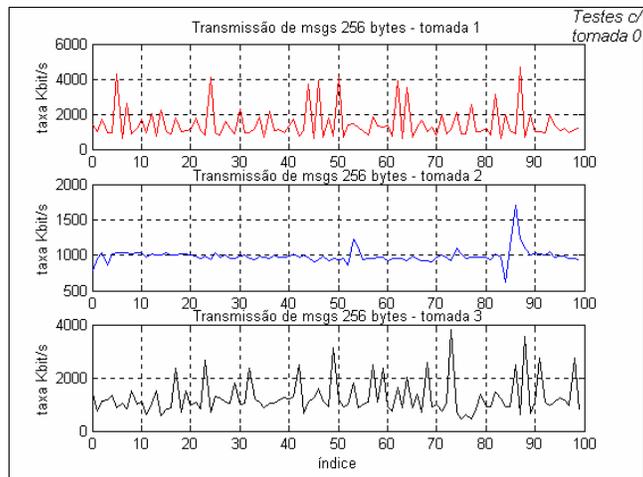


Figura 4.20: Experimentos M256.L.T0.T1, M256.L.T0.T2 e M256.L.T0.T3

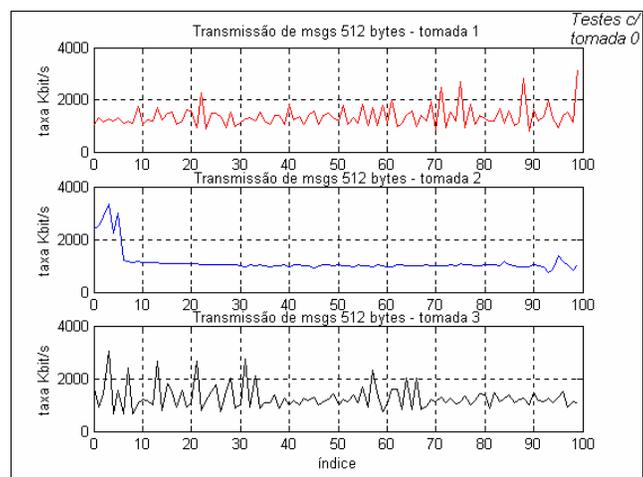


Figura 4.21: Experimentos M512.L.T0.T1, M512.L.T0.T2 e M512.L.T0.T3

#### 4.2.1.2.2 Modem fixo na tomada 3

As Figuras 4.22 a 4.27 mostram os resultados encontrados nos testes do laboratório de automação, mantendo um modem fixo na tomada 3 e o outro ligado nas tomadas 5, 2 e 4.

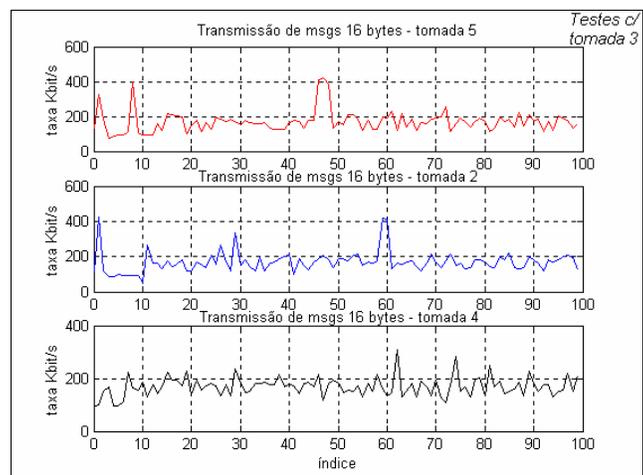


Figura 4.22: Experimentos M16.L.T3.T5, M16.L.T3.T2 e M16.L.T3.T4

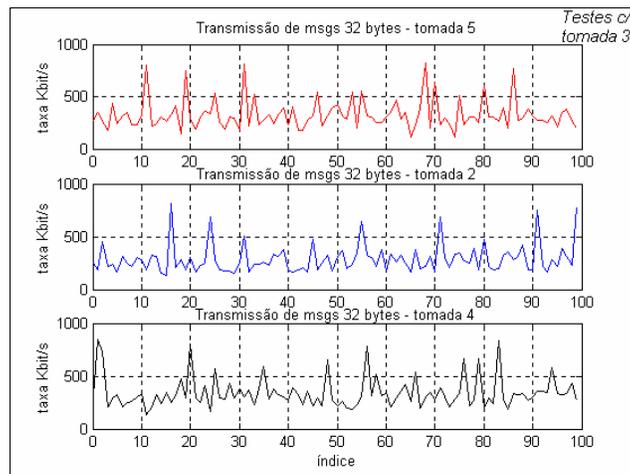


Figura 4.23: Experimentos M32.L.T3.T5, M32.L.T3.T2 e M32.L.T3.T4

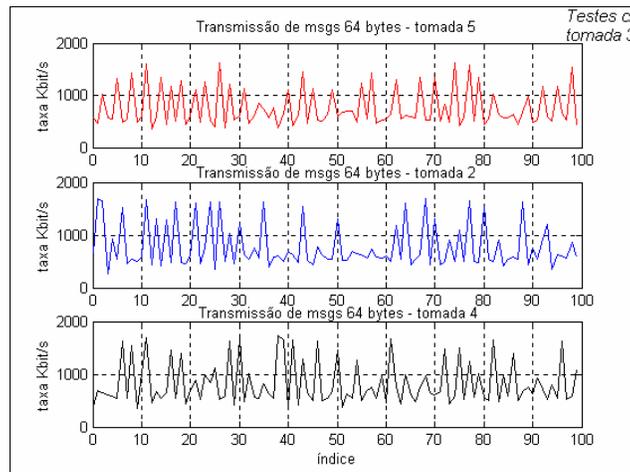


Figura 4.24: Experimentos M64.L.T3.T5, M64.L.T3.T2 e M64.L.T3.T4

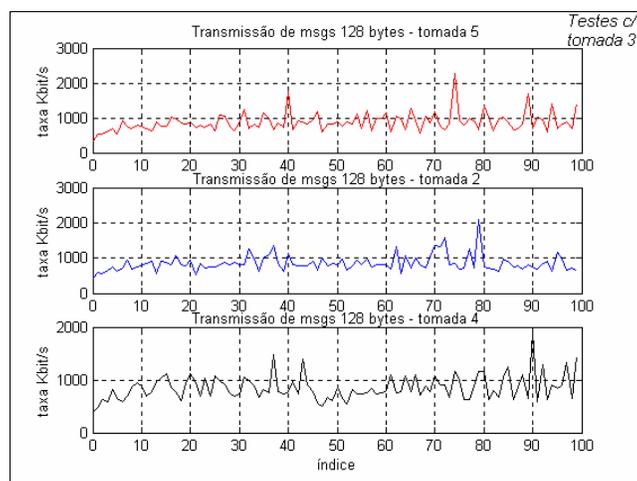


Figura 4.25: Experimentos M128.L.T3.T5, M128.L.T3.T2 e M128.L.T3.T4

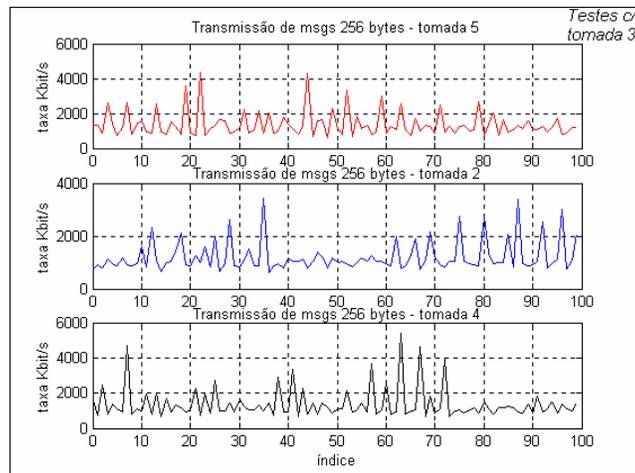


Figura 4.26: Experimentos M256.L.T3.T5, M256.L.T3.T2 e M256.L.T3.T4

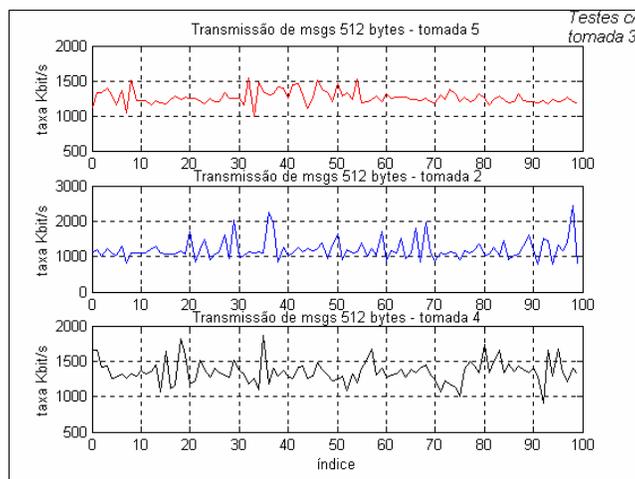


Figura 4.27: Experimentos M512.L.T3.T5, M512.L.T3.T2 e M512.L.T3.T4

#### 4.2.1.3 Transmissões nas salas de aula

Os experimentos nas salas de aula visavam identificar a mudança de comportamento com o aumento das distâncias. Os testes foram feitos com um modem PLC ligado na tomada 6 da Figura 4.3 e o outro modem sendo ligado nas tomadas 4, 3 e 1. As figuras 4.28 a 4.33 mostram os resultados desses experimentos.

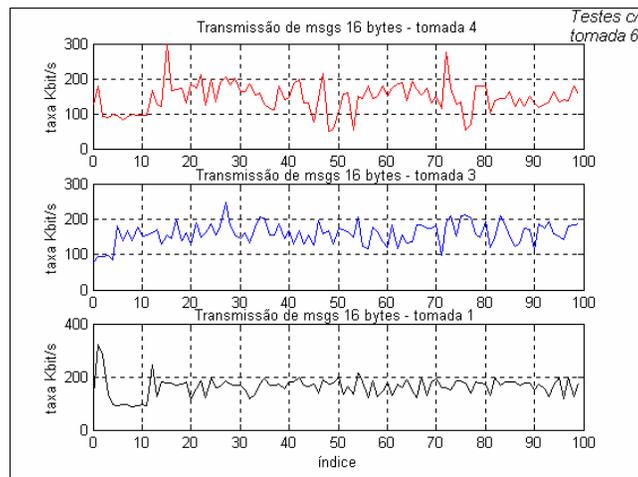


Figura 4.28: Experimentos M16.S.T6.T4, M16.S.T6.T3 e M16.S.T6.T1

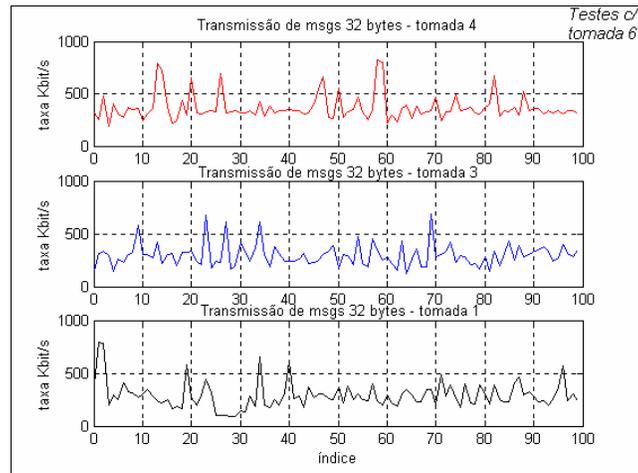


Figura 4.29: Experimentos M32.S.T6.T4, M32.S.T6.T3 e M32.S.T6.T1

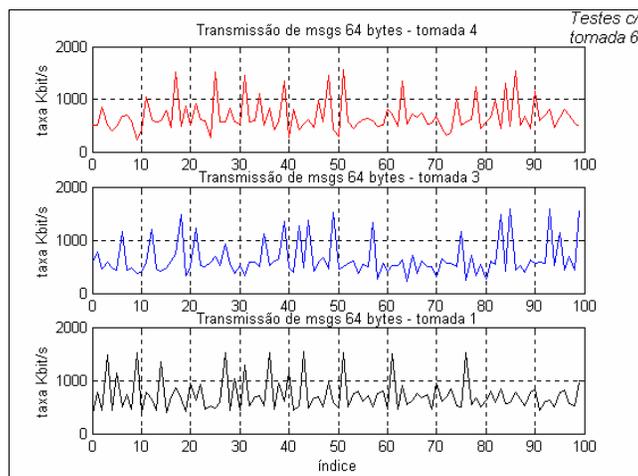


Figura 4.30: Experimentos M64.S.T6.T4, M64.S.T6.T3 e M64.S.T6.T1

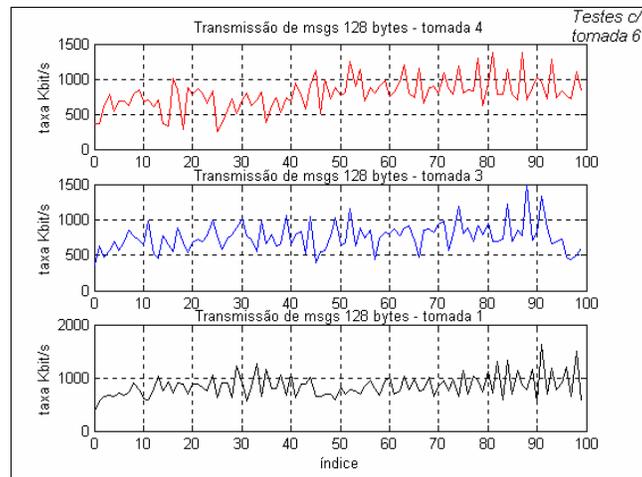


Figura 4.31: Experimentos M128.S.T6.T4, M128.S.T6.T3 e M128.S.T6.T1

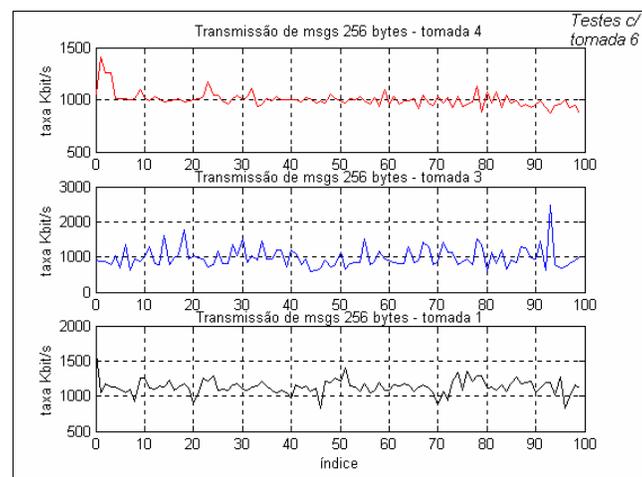


Figura 4.32: Experimentos M256.S.T6.T4, M256.S.T6.T3 e M256.S.T6.T1

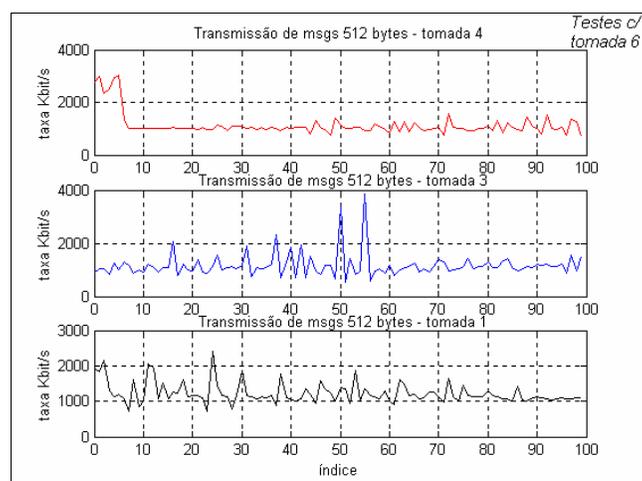


Figura 4.33: Experimentos M512.S.T6.T4, M512.S.T6.T3 e M512.S.T6.T1

## 4.2.2 Envio de arquivos

Serão apresentados os gráficos de transmissão de arquivos nos três ambientes testados. Os arquivos pequeno, médio e grande têm respectivamente 37.608 bytes, 150.412 bytes e 1.504.046 bytes.

### 4.2.2.1 Transmissões no apartamento

Os resultados apresentados nessa seção correspondem aos experimentos feitos com envios de arquivos com modems conectados à mesma tomada e também aos experimentos com modems em tomadas distintas, estando um deles ligado na cozinha do apartamento e o outro ligado a um estabilizado na sala.

#### 4.2.2.1.1 Transmissão de arquivos com modems na mesma tomada

Na Figura 4.34 são apresentados os gráficos das taxas de transmissão de arquivos no apartamento, estando os dois modems ligados na tomada do quarto 1.

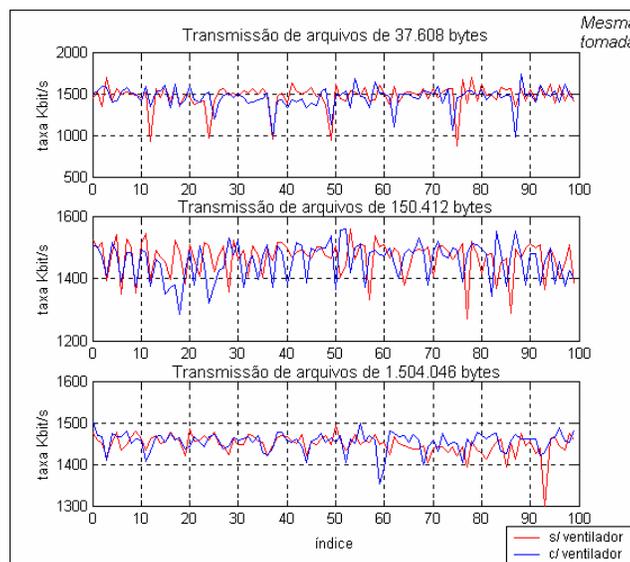


Figura 4.34: Experimentos AP.A.T1.T1.s/n.t, AM.A.T1.T1.s/n.t e AG.A.T1.T1.s/n.t

#### 4.2.2.1.2 Transmissão de arquivos com modems em tomadas diferentes

A Figura 4.35 mostra os resultados das transmissões de arquivos no apartamento com um modem ligado na cozinha e o outro modem ligado a um estabilizador na sala.

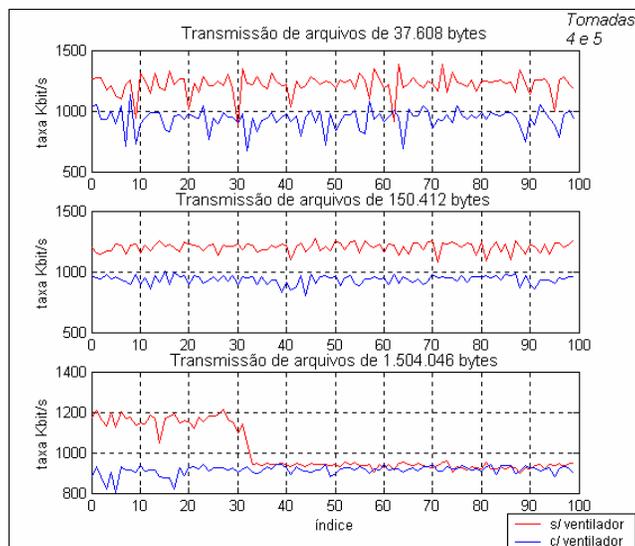


Figura 4.35: Experimentos AP.A.T4.T5.s/n.e, AM.A.T4.T5.s/n.e e AG.A.T4.T5.s/n.e

#### 4.2.2.2 Transmissões no laboratório de automação

A Figura 4.36 mostra os resultados dos testes com envios de um arquivo pequeno (38.496 bytes) no laboratório de automação, mantendo um modem fixo na tomada 0 e o outro conectado nas tomadas 1, 2 e 3.

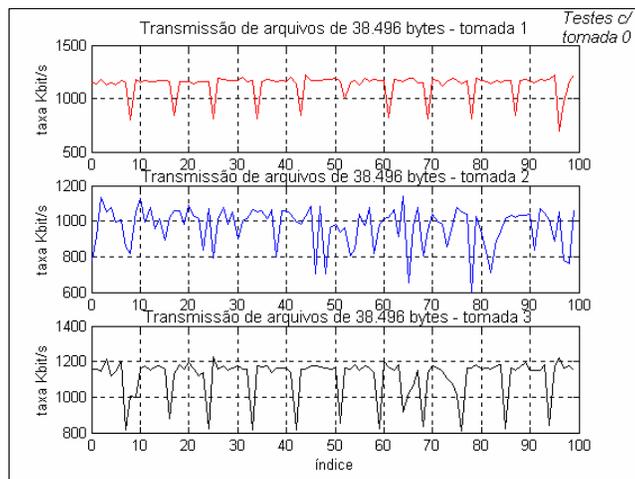


Figura 4.36: Experimentos AP.L.T0.T1, AP.L.T0.T2 e AP.L.T0.T3

#### 4.2.2.3 Transmissões nas salas de aula

Nas salas de aula, foi usado o mesmo arquivo que foi usado no laboratório para medir as taxas de transmissão de um arquivo pequeno (39.496 bytes). A Figura 4.37 mostra os resultados deste teste.

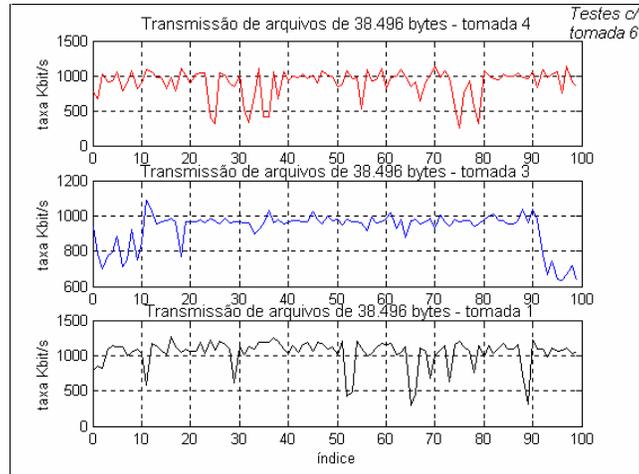


Figura 4.37: Experimentos AP.S.T6.T4, AP.S.T6.T3 e AP.S.T6.T1

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será feita a análise dos resultados dos experimentos apresentados no Capítulo 4. As seções a seguir são divididas em análise da influência do ruído e análise da influência da distância nas redes PLC.

### 5.1 Influência do ruído

Esta análise não é trivial em função da impossibilidade de se controlar todas as fontes de ruído e observar-se a influência de apenas uma fonte (no caso um ventilador). Conforme pode ser observado em todas as medidas, a variabilidade das medições da taxa de transmissão já indicam que a tecnologia PLC é influenciada de forma significativa pelo ruído.

Neste contexto, considerou-se que o apartamento era o local com menor índice de ruído (dentre os disponíveis para teste) e desta forma o mais indicado para a realização desta análise.

Os testes com modems ligados na mesma tomada tinham como objetivo isolar a influência da distância nas taxas de transmissão e avaliar apenas a influência do ruído. Os testes que contavam com um estabilizador são interessantes devido à presença de filtros na comunicação, já que se por um lado são importantes do ponto de vista de modulação de sinais, por outro representam um obstáculo a ser superado na transmissão de dados. As Tabelas 5.1 e 5.2 resumem o que pode ser visto nas figuras da seção 4.2.1.1.1 e 4.2.1.1.2, respectivamente.

Tabela 5.1: Medidas das transmissões de mensagens com modems ligados na mesma tomada (Mx.A.T1.T1.s/n.t)

Tamanho (bytes)	Média (Kbit/s)		Mediana (Kbit/s)		Desvio Padrão (Kbit/s)	
	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador
16	1809,240	1755,230	1680,500	1654,500	682,005	551,501
32	1864,000	1759,730	1650,500	1628,500	1262,635	953,007
64	2052,590	2106,530	1694,000	1658,000	2241,138	2726,945
128	1982,440	1698,400	1739,500	1653,500	390,252	151,719
256	1903,490	3644,220	1689,500	1615,000	417,953	10304,662
512	1837,430	4685,730	1669,000	1605,000	453,106	17276,353

Tabela 5.2: Medidas das transmissões de mensagens com modems ligados em tomadas distintas com estabilizador (Mx.A.T4.T5.n/s.e)

Tamanho (bytes)	Média (Kbit/s)		Mediana (Kbit/s)		Desvio Padrão (Kbit/s)	
	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador
16	1385,780	1197,890	1210,000	1114,500	681,125	433,887
32	1272,300	1425,450	1081,500	1214,000	965,254	1402,025
64	1840,060	1305,530	1238,000	1207,000	3041,412	1229,382
128	1852,210	1259,770	2066,500	1218,500	436,885	197,6112
256	1344,710	1574,850	1061,000	1212,500	520,416	3579,915
512	1174,940	974,630	1054,000	544,500	713,914	4268,197

Analisando as tabelas anteriores verifica-se que as taxas de transmissão nos testes realizados com utilização de ventilador e estabilizador no apartamento são em geral menores que aquelas realizadas sem a utilização dos mesmos. Nos casos em que as médias das taxas de transmissão com presença de ruído foram superiores às médias das transmissões sem ruído nota-se que estas foram ocasionadas pelos grandes picos ocorridos no início das transmissões, aparecendo nas tabelas como elevados desvios padrão. Para melhor avaliar-se a influência destes picos iniciais, foram desprezados os cinco primeiros testes de mensagens (cinco por cento) e calculou-se as novas estatísticas para os resultados restantes. A Tabela 5.3 mostra os novos resultados para o mesmo experimento da Tabela 5.1.

Tabela 5.3: Valores estatísticos para experimentos Mx.A.T1.T1.s/n.t, desprezando-se cinco por cento iniciais dos testes

Tamanho (bytes)	Média (Kbit/s)		Mediana (Kbit/s)		Desvio Padrão (Kbit/s)	
	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador
16	1750,865	1684,896	1663,000	1653,000	515,759	266,093
32	1650,427	1623,479	1648,500	1626,000	195,529	188,697
64	1673,385	1646,968	1689,500	1655,500	153,187	122,064
128	1979,385	1689,510	1735,000	1651,500	384,188	147,332
256	1875,646	1613,698	1687,500	1613,000	402,599	88,176
512	1790,094	1612,844	1668,000	1602,000	396,302	122,0703

Nota-se que as taxas de transmissões que apresentavam resultados superiores nos testes com o ventilador (64, 256 e 512 bytes) agora ficaram inferiores aos testes sem ventilador, comprovando que a influência dos picos no início das transmissões.

Fica bastante claro que a comunicação é muito inconstante, mesmo considerando que cada um dos 100 valores apresentados representa uma média dos tempos de 1000 envios. As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam alguns histogramas onde podem ser verificadas essas variações. É importante notar na Figura 5.2 que apesar de o gráfico inferior (teste com ventilador) ter sofrido um deslocamento para a esquerda em relação ao gráfico superior (teste sem ventilador), a média geral da taxa de transmissão ficou maior que o experimento sem uso de ventilador. Nesse caso, nem mesmo desconsiderando-se os cinco por cento iniciais dos testes essa relação mudou. Todos os outros tamanhos de mensagens obedeceram a relação da taxa de transmissão sem uso de ventilador ser maior que a taxa de transmissão com uso de ventilador. A Tabela 5.4 mostra os resultados estatísticos do conjunto de experimentos de onde foi gerada a Figura 5.2, sem os primeiros cinco por cento dos testes.

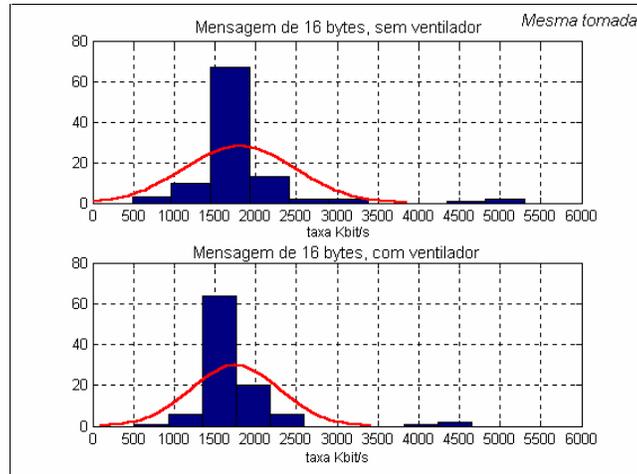


Figura 5.1: Histogramas dos experimentos M16.A.T1.T1.n.t e M16.A.T1.T1.s.t

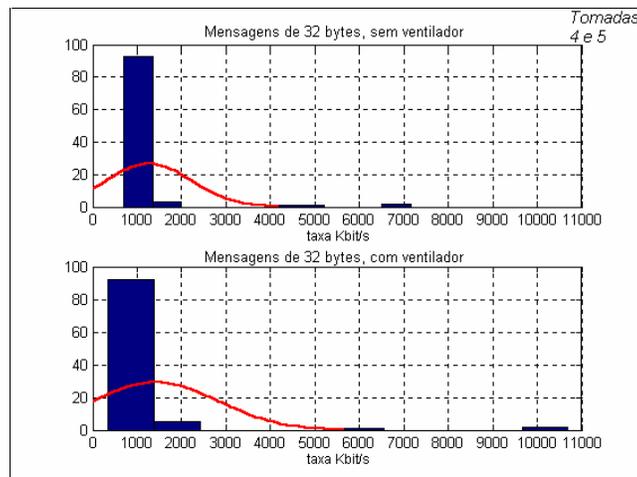


Figura 5.2: Histogramas dos experimentos M32.A.T4.T5.n.e e M32.A.T4.T5.s.e

Tabela 5.4: Valores estatísticos para experimentos Mx.A.T4.T5.n/s.e, desprezando-se cinco por cento iniciais dos testes

Tamanho (bytes)	Média (Kbit/s)		Mediana (Kbit/s)		Desvio Padrão (Kbit/s)	
	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador
16	1282.604	1170.885	1200.000	1111.500	452.870	305.768
32	1084.646	1195.760	1076.000	1211.000	122.562	178.711
64	1250.813	1183.323	1236.500	1207.000	226.678	102.433
128	1851.552	1248.635	2066.500	1217.500	439.394	169.362
256	1290.854	1209.500	1061.000	1208.500	456.112	41.384
512	1089.333	544.531	1053.000	544.500	584.430	15.457

Os testes realizados com envios de arquivos com modems ligados na mesma tomada apresentaram resultados mais consistentes, tanto em relação às médias de transmissão quanto com relação à distribuição das taxas nos histogramas. Nos testes com modems ligados em tomadas distintas e com uso de estabilizador, fica evidente a influência negativa do ruído na rede. Os gráficos de histogramas Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 a seguir referem-se aos experimentos realizados com modems ligados na mesma tomada.

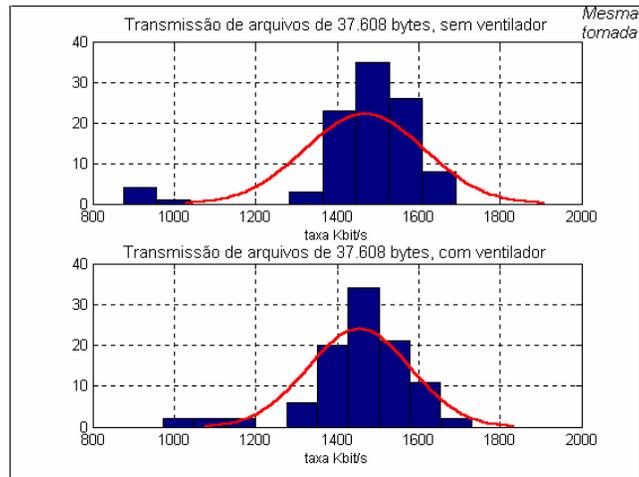


Figura 5.3: Histogramas dos experimentos AP.A.T1.T1.n.t e AP.A.T1.T1.s.t

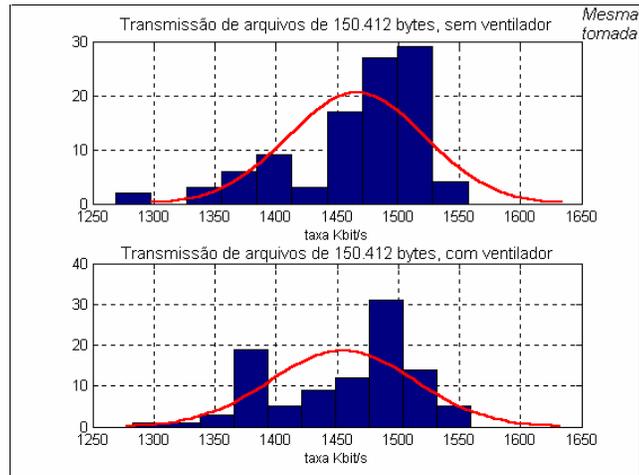


Figura 5.4: Histogramas dos experimentos AM.A.T1.T1.n.t e AM.A.T1.T1.s.t

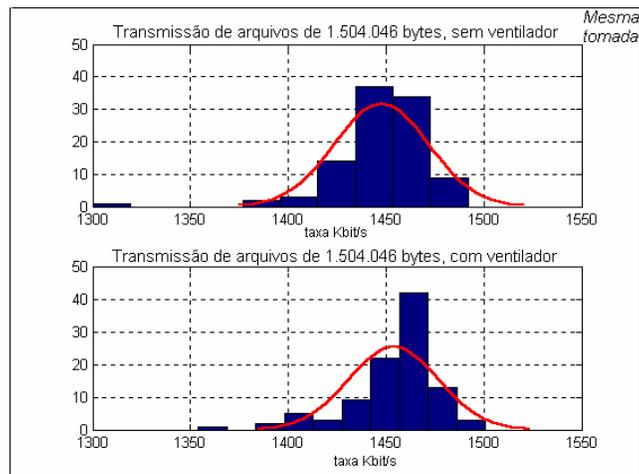


Figura 5.5: Histogramas dos experimentos AG.A.T1.T1.n.t e AG.A.T1.T1.s.t

As Tabelas 5.5 e 5.6 resumem os valores estatísticos para o caso de testes de envios de arquivos realizados no apartamento, com modems ligados na mesma tomada e com os modems ligados em tomadas distintas com uso de um estabilizador. Nota-se claramente a influência do ruído e da distância nas taxas de transmissão de uma tabela para outra.

Tabela 5.5: Medidas dos experimentos AP.A.T1.T1.s/n.t, AM.A.T1.T1.s/n.t e AG.A.T1.T1.s/n.t

Arquivo	Média (Kbit/s)		Mediana (Kbit/s)		Desvio Padrão (Kbit/s)	
	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador
Pequeno	1468,770	1455,370	1496,500	1477,500	146,205	125,583
Médio	1466,300	1454,970	1486,000	1476,500	55,943	58,910
Grande	1447,880	1454,090	1451,000	1459,000	24,146	23,108

Tabela 5.6: Medidas dos experimentos AP.A.T4.T5.s/n.e, AM.A.T4.T5.s/n.e e AG.A.T4.T5.s/n.e

Arquivo	Média (Kbit/s)		Mediana (Kbit/s)		Desvio Padrão (Kbit/s)	
	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador	s/ Ventilador	c/ Ventilador
Pequeno	1217,300	933,730	1230,500	949,500	85,721	83,986
Médio	1202,300	934,340	1214,500	946,500	40,834	37,1892
Grande	1008,400	913,510	944,000	917,500	107,740	23,7201

Um fato bastante interessante ocorreu durante um dia de testes quando um transformador da concessionária de energia elétrica, o qual alimentava os circuitos do apartamento onde os testes estavam sendo realizados, apresentou problemas de funcionamento, ocasionando uma interrupção no fornecimento de energia elétrica no início da noite. Com a volta da luz foi verificado o funcionamento dos modems e novos experimentos foram realizados. Os resultados foram bastante diferentes dos testes realizados pela manhã e no início da tarde, que estavam de certa forma seguindo um padrão nas taxas de transmissão.

A primeira idéia foi de que os modems tivessem sofrido algum tipo de dano com a queda da luz. Entretanto, uma análise mais criteriosa dos resultados dos testes permitiu a constatação de que as taxas de transmissão vinham apresentando quedas desde o fim da tarde. A razão desses resultados era que o transformador da rua já estava sem uma fase durante a tarde e terminou de queimar à noite. Os testes realizados logo após a volta da luz foram influenciados pela regularização do transformador.

Este exemplo mostra que por mais que os testes sejam feitos em ambiente cujo ruído pode ser de alguma maneira controlado, a influência do ruído não está limitado às paredes do ambiente, ela pode vir pela rede desde muito longe.

Por outro lado, estes testes também indicaram que uma possível vantagem dos sistemas de comunicação via rede elétrica é que eventuais quedas bruscas nas taxas de comunicação podem estar relacionadas a um mau funcionamento em equipamentos como transformadores e sub-estações. A monitoração das taxas de comunicação poderia permitir a detecção e o isolamento de determinados circuitos, evitando-se assim um possível dano a eletrodomésticos.

### 5.1.2 Avaliação de variáveis de rede

Alguns testes realizados no apartamento também foram observados através do programa MIB Browser que possibilita a monitoração de qualquer dispositivo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) na rede. Com este programa foi possível obter as seguintes variáveis:

- ifInOctets: total de bytes recebidos em uma interface de rede, incluindo os caracteres de *framing*.
- ifInUcastPkts: número de pacotes *unicast* da subrede passados a um protocolo de uma camada mais alta.
- ifInErrors: número de pacotes *inbound* que contêm erros, impedindo-os de serem entregues a um protocolo de camada mais alta.
- ifOutOctets: número de bytes transmitidos pela interface de rede, incluindo os caracteres de *framing*.
- ifOutUcastPkts: número de pacotes que um protocolo de um nível mais alto requisitou para serem transmitidos a um endereço *unicast* da subrede, incluindo pacotes que foram descartados ou não enviados.
- ifOutErrors: número de pacotes *outbound* que não puderam ser transmitidos devido a erros.
- tcpInSegs: total de segmentos recebidos, incluindo os que contêm erros.
- tcpOutSegs: total de segmentos enviados, excluindo os que contêm bytes de retransmissão.
- tcpInErrs: total de segmentos recebidos com erros como, por exemplo, *checksum*.

As Tabelas 5.7 e 5.8 mostram os resultados encontrados na monitoração do computador cliente (quem envia a informação) durante os experimentos de envios de arquivos, com ambos os modems ligados na mesma tomada, sem o uso de um ventilador. Nas Tabelas 5.9 e 5.10 são apresentados os valores para o mesmo tipo de experimento, mas agora com o uso de um ventilador.

Tabela 5.7: Variáveis SNMP de interface de rede das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, sem ventilador

Arquivo	ifInOctets	ifOutOctets	ifInUcast Pkts	ifOutUcast Pkts	ifIn Errors	ifOut Errors
Pequeno	117753	3900660	2140	3925	0	0
Médio	397478	15517966	7672	14824	0	0
Grande	3738050	154901231	73635	145017	0	0

Tabela 5.8: Variáveis SNMP TCP das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, sem ventilador

Arquivo	tcpInSegs	tcpOutSegs	tcpInErrs	tcpRetransSegs
Pequeno	1821	3601	0	5
Médio	7264	14400	0	17
Grande	72261	143491	0	160

Tabela 5.9: Variáveis SNMP de interface de rede das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, com ventilador

Arquivo	ifInOctets	ifOutOctets	ifInUcast Pkts	ifOutUcast Pkts	ifIn Errors	ifOut Errors
Pequeno	163849	3951527	2669	4450	0	0
Médio	414296	15530105	7839	15014	0	0
Grande	3828923	154989858	74663	146041	0	0

Tabela 5.10: Variáveis SNMP TCP das transmissões de arquivos com modems ligados na mesma tomada, com ventilador

Arquivo	tcpInSegs	tcpOutSegs	tcpInErrs	tcpRetransSegs
Pequeno	1825	3601	0	6
Médio	7235	14401	0	9
Grande	72253	143487	0	145

As retransmissões feitas pelo protocolo TCP são ocasionadas por erros no recebimento de pacotes no computador servidor. É interessante notar que o número de retransmissões entre os dois tipos de experimentos não variou muito. No segundo caso, onde havia a influência do ventilador, o envio de arquivo grande teve menos retransmissões que o teste sem a influência do ventilador. Isso apenas ressalta o que foi dito anteriormente sobre a inconstância da comunicação PLC.

## 5.2 Influência da distância

O objetivo inicial dos testes realizados na UFRGS era analisar a influência da distância na comunicação PLC uma vez que no apartamento a maior distância entre tomadas não passava de alguns metros, ou seja, não deveria degradar os sinais elétricos de forma a não permitir a comunicação. A idéia era manter um modem fixo em uma tomada elétrica e ir deslocando o outro, colocando-o cada vez mais longe.

A primeira bateria de testes realizada com um modem fixo na tomada 0 e o outro nas tomadas 1, 2 e 3 pretendia demonstrar que as taxas de transmissão cairiam gradativamente desde a tomada 1 até a tomada 3 (acreditando ser esta a ordem crescente de distância entre as tomadas). Entretanto, os resultados vistos nas Figuras da seção demonstraram o contrário do que se esperava. Em alguns testes da tomada 3 foram encontradas melhores taxas de transmissão, apesar de estar aparentemente mais distante que as outras duas tomadas (vide caso da Figura 5.3). Uma possível razão para este resultado era que as tomadas, apesar de vizinhas visualmente, estavam em circuitos elétricos diferentes, com caminhos elétricos mais longos.

A partir daí, iniciou-se outra bateria de testes utilizando uma nova configuração no laboratório, mantendo um modem fixo na tomada 3 e deslocando o outro pelas tomadas 5, 2 e 4. Mas os resultados não foram diferentes dos anteriores. Em alguns casos os resultados das transmissões feitas na tomadas supostas mais distantes foram melhores que os das que se imaginava mais próximas.

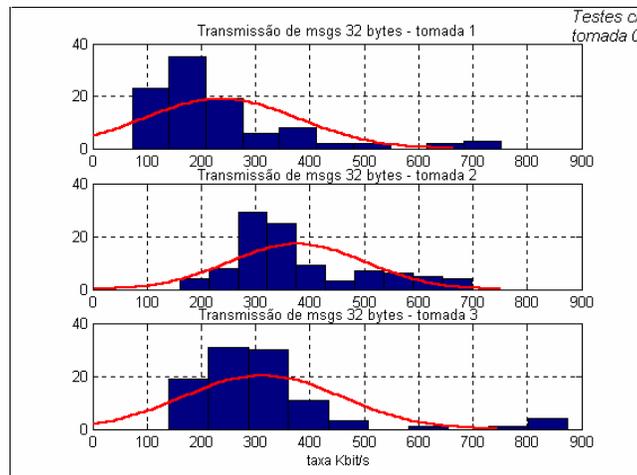


Figura 5.6: Histogramas dos experimentos M32.L.T0.T1, M32.L.T0.T2 e M32.L.T0.T3

As maiores distâncias alcançadas nos testes foram nas salas de aula (algumas dezenas de metros). Aqui também se esperava que as tomadas mais distantes apresentassem resultados piores e novamente não foi o que aconteceu. A Tabela 5.11 apresenta as medidas destes testes.

Tabela 5.11: Medidas dos experimentos Mx.S.T6.T4, Mx.S.T6.T3 e Mx.S.T6.T1

Tamanho	Tomada	Média (Kbit/s)	Mediana (Kbit/s)	Desvio Padrão (Kbit/s)
16 bytes	4	145,730	143,500	42,471
16 bytes	3	159,080	159,000	31,060
16 bytes	1	162,330	169,500	36,821
32 bytes	4	368,270	335,000	125,002
32 bytes	3	298,700	290,500	108,206
32 bytes	1	290,820	268,000	126,882
64 bytes	4	680,380	578,500	305,952
64 bytes	3	645,580	533,500	333,990
64 bytes	1	725,830	638,000	304,897
128 bytes	4	792,890	785,000	229,8171
128 bytes	3	756,660	739,000	197,304
128 bytes	1	840,880	787,000	216,721
256 bytes	4	1004,430	998,000	74,6881
256 bytes	3	992,420	915,000	293,097
256 bytes	1	1134,630	1126,000	111,087
512 bytes	4	1143,600	1031,000	442,103
512 bytes	3	1168,080	1093,500	455,332
512 bytes	1	1227,200	1141,500	300,566

Chega-se à conclusão de que, com certeza, a distância entre os modems influencia no desempenho da comunicação PLC. Entretanto, a menos que se tenha o conhecimento preciso sobre a rede elétrica que está sendo usada, fica extremamente difícil verificar essa característica, principalmente porque a variabilidade “inerente” da comunicação PLC é com certeza muito maior do que a redução na taxa de comunicação obtida com as distâncias entre as tomadas nos experimentos realizados.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo sobre tecnologias de comunicação pela rede elétrica realizando experimentos com um modem PLC. Por ser uma tecnologia relativamente nova, ainda não existem muitos estudos sobre a utilização da mesma nas redes elétricas brasileiras.

Um dos principais problemas da transmissão de informação pela rede elétrica é a variação nas transmissões de dados. Os experimentos mostraram que mesmo utilizando modems ligados juntos em uma mesma tomada, as taxas de transmissão apresentaram uma grande variabilidade. Isso é uma característica que pode atrapalhar o uso da tecnologia em aplicações em tempo real.

Outro problema encontrado foi a falta de informação e acesso às plantas dos circuitos elétricos dos ambientes de testes. Considera-se que este não é um problema localizado e que a maioria das residências brasileiras está nesta situação (as plantas elétricas em residências com mais de 5 anos de uso, ou não se encontram disponíveis, ou não mais correspondem à instalação elétrica existente). Sendo assim, a grande vantagem da tecnologia PLC - utilização de uma infra-estrutura elétrica já existente - acaba se tornando limitada.

Um resultado positivo encontrado foi que na grande maioria dos testes conseguiu-se transmitir dados, mesmo em ambientes nos quais se acreditava que isso não seria possível. Além disso, a comunicação entre salas de aulas distantes também foi um ponto positivo dos experimentos.

Pôde-se constatar a grande influência negativa que o ruído da rede e a distância entre os pontos de comunicação têm sobre as taxas de transmissão pela rede elétrica. Um interessante trabalho a ser realizado é uma avaliação mais ampla dos parâmetros de comunicação de dados. Relações como número de pacotes (bytes) enviados, perdidos e retransmitidos versus distância podem gerar uma melhor caracterização da comunicação PLC. Além disso, a realização de testes em redes elétricas especiais onde seja possível controlar o nível de ruído presente na comunicação seria fundamental para este tipo de análise.

Uma metodologia de teste que poderia ser utilizada em um trabalho futuro é executar o envio de pacotes por um determinado tempo e contar o número de pacotes transmitidos. Outra questão seria usar o protocolo UDP ao invés do TCP para avaliar o efeito do uso de um protocolo não orientado a conexão e sem garantia de entrega dos pacotes nas taxas de transmissão.

## BIBLIOGRAFIA

- [HAY01] HAYKIN, S. **Communication Systems**. 4<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001
- [ROC03] ROCHOL, J. **Notas de aula – Comunicação de Dados - Sistemas Wireless**. Instituto de Infomática. UFRGS, 2003.
- [ARA02] ARAUJO, J. J. **Protocolos de Comunicação para Sistemas de Automação Predial**. 2002. 55 f. Trabalho Individual ( Mestrado em Ciência da Computação ) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [INT98] INTELOGIS, INC. **Intelogis PLUG-IN Technology - Power Line Communications White Paper**, [S.l.:S.n.], 1998.
- [ECH03] ECHELON CORPORATION. **The LonWorks Network Platform–A Technology Overview**. Disponível em: <<http://www.echelon.com/products/lonworks/default.htm>>. Acesso em: 21 dez. 2003.
- [XIL01] XILINX, INC. **Home Networking - International Seminar Series, No new Wires – Powerlines/Phonelines**, [S.l.:S.n.], 2001.
- [APT01] BMP TELECOMMUNICATIONS CONSULTANTS. **Experiência Mundial – State of the Arte of the PLC market and technology**. In: APTEL Conference., **Proceedings...**, Florianópolis, [S.n.], 2002.
- [REM03] REMPLI. **Application Requirements Report – Deliverable 1.1**, [S.l.:S.n.], 2003.
- [ROG03] ROGAI, S. **PLC Fórum. Power Line Communication – Story, Perspectives, Open Issues**. Milão, 2003.
- [BRA91] BRADNER, S. **Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices: RFC 1242**. [S.l.]: Network Working Group, 1991.
- [BRA99] BRADNER, S.; MCQUAID, J. **Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices: RFC 2544**. [S.l.]: Network Working Group, 1999.

- [INT03] CEBus INDUSTRY COUNCIL, Inc. **Bringing Interoperability to Home Networks**. Disponível em: <<http://www.cebuse.org/index.html>> Acesso em: 28 dez. 2003.
- [INT03a] IGUAÇU ENERGIA. **Projeto PLC**. Disponível em: <<http://www.ienergia.com.br>>. Acesso em: 28 dez. 2003.
- [INT03b] Casadomo - El portal de la domótica. **CEBus - Protocolos y Estándares**. Disponível em: <[http://www.casadomo.com/revista\\_domotica\\_protocolos.asp?TextType=1060](http://www.casadomo.com/revista_domotica_protocolos.asp?TextType=1060)>. Acesso em: 21 dez. 2003.
- [INT03c] Casadomo - El portal de la domótica. **X-10 - Protocolos y Estándares**. Disponível em: <[http://www.casadomo.com/revista\\_domotica\\_protocolos.asp?TextType=1050](http://www.casadomo.com/revista_domotica_protocolos.asp?TextType=1050)>. Acesso em: 21 dez. 2003.
- [INT03d] Casadomo - El portal de la domótica. **LonWorks/LonTalk - Protocolos y Estándares**. Disponível em: <[http://www.casadomo.com/revista\\_domotica\\_protocolos.asp?TextType=1070](http://www.casadomo.com/revista_domotica_protocolos.asp?TextType=1070)>. Acesso em: 21 dez. 2003.
- [INT03e] CEMIG. **Projeto Piloto PLC**. Disponível em: <<http://www.cemig.com.Br/plc>>. Acesso em: 28 dez. 2003.
- [INT03f] REMPLI. **Real-time Energy Management via Powerlines and Internet**. Disponível em: <<http://www.rempli.org>>. Acesso em: 07 dez. 2003.
- [INT03g] LANERGY. **Technical Overview – Powerline Technology**. Disponível em: <<http://www.lanergy.com/index.php?menu=3#>>. Acesso em: 03 dez. 2003.

## ANEXO I

### Trechos dos códigos fonte de envio de mensagens (cliente)

```

void PrintError(char *errorMessage); /* Error handling function */
long filesize(FILE *stream);

void main(int argc, char *argv[])
{
    int sock; /* Socket descriptor */
    struct sockaddr_in echoServAddr; /* Echo server address */
    unsigned short echoServPort; /* Echo server port */
    char *servIP; /* Server IP address (dotted quad)*/
    WSADATA wsaData; /* Structure for WinSock setup communication */
    char sockopt[4] = {0,0,0,1};
    int optlen = 4;
    char optval[1];

    LARGE_INTEGER lpFrequency, counts;
    LARGE_INTEGER lpPerformanceCountFim, lpPerformanceCountInicio;
    double tempo, taxa1, taxa2;

    char filename[80];
    int msgSize;
    char *buf_size;
    char msgBuffer[SNDBUFSIZE];
    FILE *logFile;
    int i, j;

    optval[0] = 1;
    if ((argc < 3) || (argc > 4)) /* Test for correct number of arguments */
    {
        fprintf(stderr, "Usage: %s <Server IP> <Msg Size> [<Echo Port>]\n",
            argv[0]);
        exit(1);
    }

    servIP = argv[1]; /* First arg: server IP address (dotted quad) */
    msgSize = atoi(argv[2]); /* Second arg: string size*/

    if (argc == 4)
        echoServPort = atoi(argv[3]); /* Use given port, if any */
    else echoServPort = 7;
    for(i=0; i<msgSize; i++)
        msgBuffer[i] = 'i';

    /* Load Winsock 2.0 DLL */
    if (WSAStartup(MAKEWORD(2, 0), &wsaData) != 0)
    {
        fprintf(stderr, "WSAStartup() failed");
        exit(1);
    }

    if (QueryPerformanceFrequency(&lpFrequency))
    {
        printf("\nCounts por segundo: %Ld\n",lpFrequency.QuadPart);
    }

    sprintf(filename, "lognod%d_met1.txt\0",msgSize);

```

```

logfile = fopen(filename,"at+");

/* Create a reliable, stream socket using TCP */

if ((sock = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP)) < 0)
    PrintError("socket() failed");

/* Construct the server address structure */

memset(&echoServAddr, 0, sizeof(echoServAddr));
echoServAddr.sin_family = AF_INET;          /* Internet address family */
echoServAddr.sin_addr.s_addr = inet_addr(servIP); /* Server IP address */
echoServAddr.sin_port      = htons(echoServPort); /* Server port */

if (setsockopt(sock,SOL_SOCKET,SO_SNDBUF,&sockopt[0],optlen) < 0)
    PrintError("\nsetsockopt() failed");
else
{
    getsockopt(sock, SOL_SOCKET,SO_SNDBUF, buf_size, &optlen);
    printf("\nTamanho do sndBuffer == %d",buf_size[optlen-1]);
}

if (setsockopt(sock,IPPROTO_TCP,TCP_NODELAY,&optval[0],sizeof(int)) < 0)
    PrintError("\nsetsockopt() nodelay failed");
else
    printf("\nnodelay set");

/* Establish the connection to the echo server */

if (connect(sock,(struct sockaddr *)&echoServAddr, sizeof(echoServAddr))
    < 0)
    PrintError("\nconnect() failed");

counts.QuadPart = 0;
j = 0;
while(j<100)
{
    counts.QuadPart = 0;
    i = 0;
    while (i<1000)
    {
        if
            (!QueryPerformanceCounter((LARGE_INTEGER*)&lpPerformanceCountInicio))
            printf("Not ok with initial time\n");

        /* Send the string, including the null terminator, to the server */
        if (send(sock, &msgBuffer[0], msgSize, 0) != msgSize)
            PrintError("send() sent a different number of bytes than
                expected");

        if (QueryPerformanceCounter((LARGE_INTEGER*)&lpPerformanceCountFim))
            counts.QuadPart+= lpPerformanceCountFim.QuadPart -
                lpPerformanceCountInicio.QuadPart;
        else
        {
            printf("Not ok with final time\n");
        }
        i++;
    }
}

tempo = (double)counts.QuadPart / (double)lpFrequency.QuadPart;

```

```

    taxal = (double)(msgSize * 8 * i) / tempo; //bits/s

    fprintf(logFile, "\n%d ", j);
    fprintf(logFile, "%.01f %d", taxal/1000, msgSize*i);
    fprintf(logFile, " %lf %lf %lf", lpPerformanceCountFim.QuadPart,
            lpPerformanceCountInicio.QuadPart, tempo);
    printf("\nj = %d", j);
    j++;
}
closesocket(sock);
WSACleanup(); /* Cleanup Winsock */
fclose(logFile);
}

/***** End of main*****/

long filesize(FILE *stream)
{
    long curpos, length;

    curpos = ftell(stream);
    fseek(stream, 0L, SEEK_END);
    length = ftell(stream);
    fseek(stream, curpos, SEEK_SET);
    return length;
}

void PrintError(char *errorMessage)
{
    fprintf(stderr, "%s: %d\n", errorMessage, WSAGetLastError());
    exit(1);
}

```

## ANEXO II

### Trecho dos códigos fonte do envio de mensagens (servidor)

```

#define MAXPENDING 5      /* Maximum outstanding connection requests */

void PrintError(char *errorMessage); /* Error handling function */
void HandleTCPClient(int clntSocket); /* TCP client handling function */

void main(int argc, char *argv[])
{
    int servSock;          /* Socket descriptor for server */
    int clntSock;         /* Socket descriptor for client */
    struct sockaddr_in echoServAddr; /* Local address */
    struct sockaddr_in echoClntAddr; /* Client address */
    unsigned short echoServPort;    /* Server port */
    unsigned int clntLen;           /* Length of client address data structure */
    WSADATA wsaData;               /* Structure for WinSock setup communication */
    char optval[1];

    optval[0] = 1;
    if (argc != 2) /* Test for correct number of arguments */
    {
        fprintf(stderr, "Usage: %s <Server Port>\n", argv[0]);
        exit(1);
    }

    echoServPort = atoi(argv[1]); /* first arg: Local port */

    if (WSAStartup(MAKEWORD(2, 0), &wsaData) != 0)
    {
        fprintf(stderr, "WSAStartup() failed");
        exit(1);
    }

    /* Create socket for incoming connections */
    if ((servSock = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP)) < 0)
        PrintError("socket() failed");

    /* Construct local address structure */
    memset(&echoServAddr, 0, sizeof(echoServAddr));
    echoServAddr.sin_family = AF_INET; /* Internet address family */
    echoServAddr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); /* Any incoming
                                                    interface */
    echoServAddr.sin_port = htons(echoServPort); /* Local port */

    /* Bind to the local address */
    if (bind(servSock, (struct sockaddr *) &echoServAddr,
             sizeof(echoServAddr)) < 0)
        PrintError("bind() failed");

    if (setsockopt(servSock, IPPROTO_TCP, TCP_NODELAY, &optval[0], sizeof(int))
        < 0)
        PrintError("\nsetsockopt() nodelay failed");
    else
        printf("\nnodelay set");

    if (listen(servSock, MAXPENDING) < 0)
        PrintError("listen() failed");
}

```

```

for (;;) /* Run forever */
{
    /* Set the size of the in-out parameter */
    clntLen = sizeof(echoClntAddr);

    /* Wait for a client to connect */
    if ((clntSock = accept(servSock, (struct sockaddr *) &echoClntAddr,
        &clntLen)) < 0)
        PrintError("accept() failed");

    printf("Handling client %s\n", inet_ntoa(echoClntAddr.sin_addr));

    HandleTCPClient(clntSock);
}
/* NOT REACHED */
}

/***** End of main*****/

#define RCVBUFSIZE 1024 /* Size of receive buffer */

void HandleTCPClient(int clntSocket)
{
    char echoBuffer[RCVBUFSIZE]; /* Buffer for echo string */
    int recvMsgSize, bytesWrite; /* Size of received message */
    int totalBytesRecv = 0, totalBytesWrite = 0 ;
    FILE *temp;

    /* Receive message from client */
    if ((recvMsgSize = recv(clntSocket, echoBuffer, RCVBUFSIZE, 0)) < 0)
        PrintError("recv() failed");

    temp = fopen("temp.txt","at+");
    while (recvMsgSize > 0)
    {
        bytesWrite = fwrite(echoBuffer, sizeof(char), recvMsgSize, temp);
        printf("\n Bytes escritos no arquivo de log: %d",bytesWrite);
        totalBytesWrite+=bytesWrite;
        totalBytesRecv+= recvMsgSize;
        if ((recvMsgSize = recv(clntSocket, echoBuffer, RCVBUFSIZE,0)) < 0)
            PrintError("recv() failed");
    }
    fclose(temp);
    printf("\nBytes recibidos: %d\n\n",totalBytesRecv);
    printf("\nBytes escritos no arquivo: %d\n\n",totalBytesWrite);
    closesocket(clntSocket); /* Close client socket */
}

```