

**Bruno Martins Marques Migowski Carvalho**

**PLC (PowerLine Communication): Uma Comparação de Desempenho de  
Transmissão de Dados em ambiente indoor com as tecnologias de redes:  
Wi-Fi e Cabeadas**

Monografia de graduação apresentada  
ao Departamento de Ciência da  
Computação da Universidade Federal de  
Lavras como parte das exigências do  
Curso de Ciência da Computação para  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciência da Computação.

Orientador

**Prof. Dr. Rêmulo Maia Alves**

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009



**Bruno Martins Marques Migowski Carvalho**

**PLC (PowerLine Communication): Uma Comparação de Desempenho de  
Transmissão de Dados em ambiente indoor com as tecnologias de redes:  
Wi-Fi e Cabeadas**

Monografia de graduação apresentada  
ao Departamento de Ciência da  
Computação da Universidade Federal de  
Lavras como parte das exigências do  
Curso de Ciência da Computação para  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciência da Computação.

APROVADA em \_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

UFLA

Prof. Dr. Rêmulo Maia Alves

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

Carvalho, Bruno Martins Marques Migowski

PLC (PowerLine Communication): Uma Comparação de Desempenho de Transmissão de Dados em ambiente indoor com as tecnologias de redes: Wi-Fi e Cabeadas/Bruno Martins Marques Migowski Carvalho. Lavras – Minas Gerais, 2009. xxp: il.

Monografia de Graduação - Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência da Computação.

1. Tecnologia *Powerline Communication* (PLC) 2. *Homeplug* 1.0 3. largura de banda 4. modem PLC I CARVALHO, B. M. M. II Universidade Federal de Lavras. III. Título.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível.

À minha mãe e irmã, Ângela e Paula, pelo incondicional apoio nesta e em outras caminhadas.

Aos meus avós que sempre me protegeram com suas orações e sábios conselhos.

Aos meus amigos, pelas intermináveis horas de estudo, alternadas a intermináveis festas, churrascos, futebol e etc.

Aos meus professores pela fiel transmissão do conhecimentos.

Em especial, ao meu Pai e irmão, Josemar e Flávio, ao primeiro que é meu maior exemplo de dignidade, dedicação, competência e é o inspirador e incentivador dessa área que escolhi; e ao segundo, por ser o meu grande companheiro de todos os momentos e meu mais fiel amigo.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rêmulo Maia Alves pelos momentos de dedicação, generosamente cedidos.

À Redes&Cia, que na pessoa do Daniel, disponibilizou os laboratórios e equipamentos, tornado possível esse trabalho.

À todos os professores que de alguma forma ajudaram a essa realização.

## RESUMO

### **PLC (PowerLine Communication): Uma Comparação de Desempenho de Transmissão de Dados em ambiente indoor com as tecnologias de redes: Wi-Fi e Cabeadas**

Este trabalho trata da tecnologia PLC utilizada para transmissão de informação via rede elétrica. A tecnologia PLC vem como uma solução de acesso rápido e para redes locais aproveitando a estrutura já existente de cabeamento elétrico. O trabalho apresenta a descrição dos principais conceitos e tecnologias usadas para comunicação de dados pela rede elétrica. Foram realizados testes para verificar a viabilidade de implantação e o desempenho da tecnologia PLC. E, posteriormente foram realizados testes de transmissão de dados em ambiente indoor de efeito comparativo entre as tecnologias de redes: PLC, Wi-Fi e Cabeadas, e foi constatado a superioridade referente as taxas de transmissão alcançadas pela rede Cabeada em relação as demais tecnologias.

**Palavras-chave:** Tecnologia Powerline Communication (PLC), transmissão de dados em redes elétricas, HomePlug 1.0, testes comparativos.

## ABSTRACT

### **PLC (PowerLine Communication): A Data Rate Transmission Performance Comparison in indoor environment with Wi-Fi and Wired network technologies**

*This paper deals with PLC technology used for information transmission through electric cables. PLC Technology comes as a solution for fast access and LAN using the existing structure of electric cables. This text includes a brief discussion on basic concepts and technologies used for exchanging information via power lines. Experimental evaluation will be done to ascertain the viability and performance of PLC technology. Finally data communications tests were done in a indoor ambient with comparative effect between the following network technologies: PLC, Wi-Fi and Wired, and it was noticed the rate transmission superiority achieved by the Wired between the other technologies.*

**Key-Words:** Powerline Communication Technology (PLC), data transmission through electric cables, HomePlug 1.0, comparative tests.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização e motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Motivação.....	3
1.4 Organização do Trabalho.....	3
<b>2. REDES DE COMPUTADORES.....</b>	<b>5</b>
2.1 Arquitetura de Redes .....	7
2.2 Modelo de Referência OSI/ISO.....	8
2.3 Arquitetura TCP/IP.....	10
2.3.1 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).....	12
2.4 Largura de Banda.....	13
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
3.1 Histórico.....	14
3.2 Definição.....	15
3.3 Comunicação pela Rede Elétrica.....	16
3.3.1 Faixas de Freqüência.....	16
3.3.2 Modulação .....	17
3.3.2.1 Modulação de onda contínua .....	17
3.3.2.1.1 Modulação de onda contínua por amplitude .....	18
3.3.2.1.2 Modulação de onda contínua por ângulo.....	18
3.3.2.2 Modulação por pulsos.....	19
3.3.2.2.1 Modulação por pulsos analógica.....	19

3.3.2.2.2	Modulação por pulsos digital.....	20
3.3.3	Multiplexação do Sinal.....	21
3.4	Aplicações Internas (indoor).....	23
3.4.1	Padrão HomePlug 1.0.....	24
3.5	Redes de Energia Elétrica como Meio para Comunicação de Dados.....	25
3.5.1	Impedância do Canal .....	26
3.5.2	Atenuação do sinal PLC.....	27
3.5.3	Interferências e Ruídos .....	27
3.6	Análise da Segurança.....	27
3.7	Regulamentação.....	28
3.7.1	No Mundo.....	28
3.7.2	No Brasil.....	29
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
4.1	Metodologias e Métodos.....	31
4.2	Materiais.....	33
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS .....</b>	<b>35</b>
5.1	Residência.....	35
5.2	Laboratório.....	47
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

# LISTA DE ABREVIATURAS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CDM	Code Division Multiplexing
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DPL	Digital Power Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FDM	Frequency Division Multiplexing
FM	Frequency Modulation
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
IEEE	Institute Of Electrical And Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
NBNS	NetBIOS Name Server
NIS	Network Information Service
NTP	Network Time Protocol
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPERA	Open PLC European Research Alliance For News Generation PLC Integrated Network
OSI/ISO	Open Systems Interconnection/International Organization For Standardization
PLTF	Power Line Telecommunication Forum
PLC	Power Powerline Communication
PM	Phase Modulation
RPC	Ripple-Control

TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
VDSL	Very High Bit-rate DSL
WI-FI	Wireless Fidelity
WINS	Windows Internet Name Services

# LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Topologia em Barramento. ....	6
Figura 2.2	Topologia em Anel. ....	6
Figura 2.3	Topologia em Estrela. ....	6
Figura 2.4	Topologia de rede Ad Hoc. ....	7
Figura 2.5	Modelo de Referência OSI baseado em níveis. ....	8
Figura 3.1	Faixas de frequências por segmento da rede PLC (Indoor e Outdoor). ....	16
Figura 3.2	Ondas moduladas em amplitudee em ângulo correspondentes á modulação senoidal. (a) Onda portadora. (b) Onda moduladora senoidal. (c) Onda modulada em amplitude. (d) Onda modulada em ângulo. ....	19
Figura 3.3	Modulação por pulso em amplitude. ....	20
Figura 3.4	Exemplos de modulação por pulsos digital. ....	21
Figura 4.1	HL300E HomePlug Ethernet Adapter. ....	34
Figura 4.2	Modem D-Link DI-524. ....	34
Figura 5.1	Mensagens de 128 bytes – Manhã/Residência. ....	36
Figura 5.2	Mensagens de 256 bytes – Manhã/Residência. ....	36
Figura 5.3	Mensagens de 512 bytes – Manhã/Residência. ...	37
Figura 5.4	Mensagens de 1024 bytes – Manhã/Residência. ...	37
Figura 5.5	Mensagens de 128 bytes – Tarde/Residência. ....	38
Figura 5.6	Mensagens de 256 bytes – Tarde/Residência. ....	38
Figura 5.7	Mensagens de 512 bytes – Tarde/Residência. ....	39
Figura 5.8	Mensagens de 1024 bytes – Tarde/Residência. ....	39
Figura 5.9	Mensagens de 128 bytes – Noite/Residência. ....	40
Figura 5.10	Mensagens de 256 bytes – Noite/Residência. ....	40
Figura 5.11	Mensagens de 512 bytes – Noite/Residência. ....	41

Figura 5.12	Mensagens de 1024 bytes – Noite/Residência. ....	41
Figura 5.13	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência.....	44
Figura 5.14	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência. ....	44
Figura 5.15	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 512 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência. ....	45
Figura 5.16	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 1024 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência. ....	45
Figura 5.17	Mensagens de 128 bytes – Manhã/Laboratório. ....	48
Figura 5.18	Mensagens de 256 bytes – Manhã/Laboratório. ....	48
Figura 5.19	Mensagens de 512 bytes – Manhã/Laboratório. ....	49
Figura 5.20	Mensagens de 1024 bytes – Manhã/Laboratório. ....	49
Figura 5.21	Mensagens de 128 bytes – Tarde/Laboratório. ....	50
Figura 5.22	Mensagens de 256 bytes – Tarde/Laboratório. ....	50
Figura 5.23	Mensagens de 512 bytes – Tarde/Laboratório. ....	51
Figura 5.24	Mensagens de 1024 bytes – Tarde/Laboratório. ....	51
Figura 5.25	Mensagens de 128 bytes – Noite/Laboratório. ....	52
Figura 5.26	Mensagens de 256 bytes – Noite/Laboratório. ....	52
Figura 5.27	Mensagens de 512 bytes – Noite/Laboratório. ....	53
Figura 5.28	Mensagens de 1024 bytes – Noite/Laboratório. ....	53
Figura 5.29	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 128 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório. ....	56

Figura 5.30	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 256 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório. ....	56
Figura 5.31	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 512 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório. ....	57
Figura 5.32	Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 1024 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório. ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes realizados pelo modem PLC na residência. ....	42
Tabela 5.2	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes realizados pelo modem PLC na residência. ....	42
Tabela 5.3	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes realizados pelo modem PLC na residência. ....	42
Tabela 5.4	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 1024 bytes realizados pelo modem PLC na residência. ....	43
Tabela 5.5	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na residência. ....	46
Tabela 5.6	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na residência. ....	46
Tabela 5.7	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na residência. ....	46
Tabela 5.8	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 1024 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na residência. ....	47
Tabela 5.9	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório. ....	54
Tabela 5.10	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório. ....	54

Tabela 5.11	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório. ....	54
Tabela 5.12	Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório. ....	55
Tabela 5.13	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório. ....	58
Tabela 5.14	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório. ....	58
Tabela 5.15	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PL realizados no Laboratório. ....	58
Tabela 5.16	Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 1024 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PL realizados no Laboratório. ....	59

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização e motivação

A busca por mecanismos eficientes e viáveis de acesso aos recursos disponíveis na Internet tornou-se uma das principais linhas de pesquisas em países desenvolvidos e em desenvolvimento, porque representa uma garantia de inclusão social capaz de revolucionar o seu desenvolvimento técnico-científico e econômico.

Um dos principais problemas encontrados, que por muitas vezes torna os projetos inviáveis e de alcance limitado, reside no fato das grandes distâncias existentes no país e a exigência de uma infra-estrutura de comunicação de alto custo de implantação e de manutenção.

Constata-se atualmente uma redução significativa dos custos do acesso à Internet "Banda Larga" no país. Esta redução está associada à abertura do mercado de telecomunicações e a livre concorrência no setor, porém, ainda assim estes custos apresentam-se proibitivos para uma grande parte da população. Esta situação além de tornar ainda mais "cruel" a segregação social, representa um forte entrave ao desenvolvimento do país.

Uma demanda crescente é notada no mercado por conectividade para compartilhar esse *link* em ambientes domésticos, que são capazes de suportar diversos serviços de comunicação.

Segundo Lin *et al* ( 2003) as tecnologias de redes que são usadas em aplicações domiciliares são classificadas em com fio, sem fio e sem novos fios.

As redes com fio (a *ethernet*, por exemplo), geralmente, utilizam um comutador e uma pequena rede 10/100 Base-T para fazer a conexão dos computadores localmente. Às vezes, quando a distância é considerável entre esses computadores que serão conectados, faz-se necessário um extenso cabeamento. Uma opção para realizar esse cabeamento é utilizar cabos de rede do tipo par trançado UTP CAT-5E. Essa é uma solução de elevado custo, ainda

mais para ambientes no qual não possuem uma infra-estrutura prévia para a adoção dessa tecnologia.

O emprego de uma rede local sem fio (*Wi-Fi*) conectando cada computador ao ponto de acesso (*access point*) ou conectando-se uns aos outros (redes *ad hoc*) surgiu como uma opção considerável. Essa alternativa de utilização de redes sem fio torna-se viável especialmente quando o número de computadores a serem interligados não é elevado, seja em um ambiente domiciliar ou em um ambiente empresarial. No mercado, atualmente, existem diversas marcas de equipamentos que utilizam essa tecnologia, principalmente os baseados no padrão IEEE 802.11a, IEEE 802.11b ou 802.11g.

Diante deste quadro, uma das alternativas que se apresenta com grandes possibilidades é a utilização da infra-estrutura de transmissão de energia elétrica como meio para transmissão de dados e, conseqüentemente, acesso à Internet. Este tipo de tecnologia denomina-se *Power Line Communication – PLC*, e é base do desenvolvimento deste estudo.

Segundo Ferreira (2006) a tomada que é, usualmente, utilizada para fornecer energia elétrica, seria utilizada de uma forma diferente: para ser um ponto de conexão para uma rede de comunicação de dados local.

A aplicação desta tecnologia em “prédios inteligentes” leva grande vantagem sobre outros meios de comunicação. Os “prédios inteligentes” se caracterizam pelo uso da tecnologia para criar uma estrutura sustentável tendo em vista fatores como conforto, segurança, comunicação, economia de recursos e respeito ao ambiente.

Utilizando-se da rede elétrica disponível é possível implementar facilmente sistemas de telemetria de água, luz e gás, telecomando. Além de um sistema de câmeras para monitorar o prédio [SAMAC, 2009].

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo desse trabalho é abordar os conceitos da tecnologia *PLC - Power Line Communication*, uma tecnologia para rede de computadores que possibilita tráfego de dados sobre a rede elétrica. Serão realizados experimentos que possibilitem realizar uma análise de desempenho da comunicação PLC e também uma avaliação da influência do ruído presente na rede elétrica utilizada. E posteriormente, uma comparação de desempenho referente às taxas de transmissão de mensagens entre as tecnologias: PLC, redes sem fio (*Wi-Fi*) e redes cabeadas (*ethernet*).

## 1.3 Motivação

Este trabalho motiva-se devido ao estudo do estado da arte de sistemas de comunicação via a rede elétrica, a fim de melhor compreender-se os principais pontos fortes e fracos desta tecnologia. Além disso, realizar um estudo nas taxas de transmissão obtidas pela tecnologia PLC em ambiente indoor.

## 1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em outros sete capítulos. No capítulo 2 são apresentados os conceitos básicos para a compreensão de redes de computadores.

No capítulo 3 são apresentados conceitos básicos para a compreensão do funcionamento da tecnologia abordada nesse estudo bem como características da comunicação PLC. Além disso, aborda o padrão *HomePlug 1.0*. E finalmente, é apresentada a regulamentação da tecnologia.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia do trabalho, que tem por objetivo o enquadramento adequado do trabalho e demonstra como será feita a pesquisa em torno do projeto.

No capítulo 5 são mostrados os resultados obtidos da análise experimental. Juntamente com os resultados é feita a análise através dos dados estáticos, o desempenho do modem PLC, e posteriormente, é feita a análise comparativa entre as tecnologias com fio, sem fio e sem novos fios.

No capítulo 6 é apresentada a conclusão, e por último tem-se o referencial bibliográfico.

## 2. REDES DE COMPUTADORES

Tanenbaum (1997) define o que é rede de computadores:

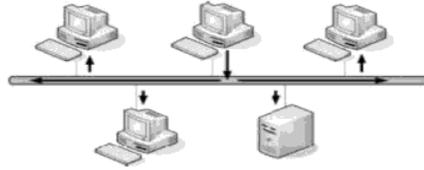
*“É um conjunto de computadores autônomos interconectados. Dois computadores são interconectados se eles são capazes de trocar informações.”*

Segundo Kurose e Ross (2003) uma rede de computadores pode ser definida como um conjunto de dispositivos conectados por *links* de comunicação (denominados, freqüentemente, de nós). Este nó pode ser um computador, uma impressora ou qualquer outro dispositivo capaz de enviar e/ou receber dados gerados noutros nós da rede.

Conforme Kurose e Ross (2003) existem diversos tipos de Redes de Computadores, mas o foco deste estudo são as LANs (*Local Area Network*), que são redes locais privadas presentes em Empresas, escolas, universidades. São usadas para interligar computadores pessoais, estações de trabalho permitindo o compartilhamento de diversos recursos, elas normalmente se restringem à alguns quilômetros de extensão.

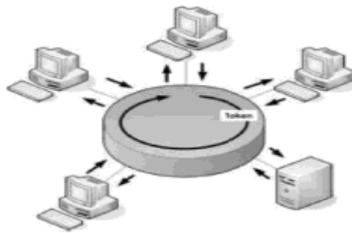
Estes tipos de redes aceitam alguns tipos de topologia (formas de ligação entre as máquinas), como:

- Barramento: uma topologia em barramento prevê conexões multiponto. Um cabo longo funciona como um *backbone* (espinha dorsal) interconectando todos os dispositivos numa rede. A cada momento certa máquina da rede desempenha o papel de mestre e pode realizar a transmissão de pacotes [COMER, 2001], neste instante as outras máquinas da rede não podem enviar nenhum tipo de pacote. A figura 2.1 ilustra essa topologia.



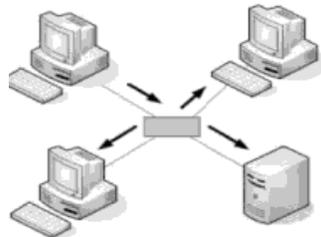
**Figura 2.1: Topologia em Barramento [ROSS, 2008]**

- Anel: numa topologia em anel cada dispositivo possui uma conexão ponto a ponto (dedicada) somente com os dois dispositivos mais próximos dele. Cada máquina possuidora de um passe (*token*) possui um tempo para enviar um quadro de pacote, mesmo que o cabo esteja livre ela não poderá enviar. Nesta topologia não ocorrem colisões de pacotes [COMER, 2001].



**Figura 2.2: Topologia em Anel [ROSS, 2008]**

- Estrela: numa topologia em estrela, cada dispositivo comunica-se dedicadamente a um comutador (*hub* ou *switch*) no centro da estrutura [TORRES, 2001].



**Figura 2.3: Topologia em Estrela [ROSS, 2008]**

- *Ad Hoc*: tipo de rede que não possui um nó ou terminal especial para o qual todas as comunicações convergem. No modo *ad hoc* o usuário se comunica diretamente com outro(s).

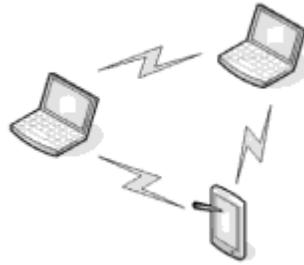


Figura 2.4: Topologia de rede Ad Hoc [ROSS, 2008]

- Mista: na qual existem mais de uma topologia, por exemplo, barramento e anel;

## 2.1 Arquitetura de Redes

Segundo Tanenbaum (1997) a arquitetura de rede é dividida em camadas ou níveis, que são colocados um sobre o outro, com o objetivo de que cada camada oferece determinados serviços para as camadas superiores, ocultando detalhes da implementação dos recursos oferecidos. A quantidade de camadas difere de uma arquitetura para outra. Uma camada se comunica com uma outra camada de outra máquina através de uma interface, regras previamente estabelecidas para que haja uma comunicação entre as partes envolvidas. Em cada par de camadas adjacente há uma interface, que define as operações e os protocolos oferecem serviços que a camada inferior pode oferecer para a camada superior.

Kurose e Ross (2003) destaca que um conjunto de camadas e protocolos é chamado de Arquitetura de Rede, as duas mais importantes são: o modelo de referência OSI (Open System Interconnection) e a Arquitetura de rede TCP/IP.

## 2.2 Modelo de Referência OSI/ISO

O modelo OSI é dividido em sete níveis, sendo que cada um deles possui uma função distinta no processo de comunicação entre dois sistemas abertos. A figura 2.5 mostra os sete níveis do modelo OSI. Cada nível possui um ou mais protocolos que realizam as funções específicas daquele nível, e esses protocolos são compatíveis entre as máquinas que estão se comunicando (*host A* e *host B*) [KUROSE e ROSS, 2003].

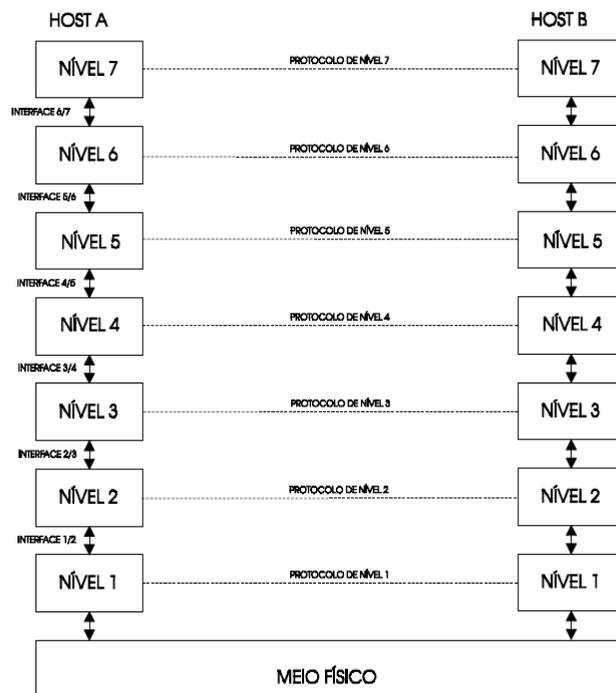


Figura 2.5: Modelo de Referência OSI baseado em níveis [TANENBAUM, 1997]

De acordo com Kurose e Ross (2003) entre cada nível existe uma interface. Essa interface permite que dois níveis quaisquer troquem informações. A interface também define quais primitivas, operações e serviços que o nível inferior oferece ao imediatamente superior. Cada nível é independente entre si e executa somente suas funções, sem se preocupar com as funções dos outros níveis [KUROSE e ROSS, 2003]

- **Nível 1: físico**

O nível físico tem a função de transmitir uma seqüência de bits através de um canal de comunicação. As funções típicas dos protocolos deste nível são para fazer com que um bit "1" transmitido por uma estação seja entendido pelo receptor como bit "1" e não como bit "0". Assim, este nível trabalha basicamente com as características mecânicas e elétricas do meio físico.

- **Nível 2: enlace**

O principal objetivo do nível de enlace é receber/transmitir uma seqüência de bits do/para o nível físico e transformá-los em uma linha que esteja livre de erros de transmissão, a fim de que essa informação seja utilizada pelo nível de rede.

- **Nível 3: rede**

O nível de rede tem a função de controlar a operação da rede de um modo geral. O principal aspecto é executar o roteamento dos pacotes entre fonte e destino, principalmente quando existem caminhos diferentes para conectar entre si dois nós da rede.

- **Nível 4: transporte**

O nível de transporte inclui funções relacionadas com conexões entre a máquina fonte e máquina destino, segmentando os dados em unidades de tamanho apropriado para utilização pelo nível de rede. Fornece uma interface independente da rede para ser usada pelas camadas orientadas à aplicação.

- **Nível 5: sessão**

A função do nível 5 do modelo OSI é administrar e sincronizar diálogos entre dois processos de aplicação. Este nível oferece dois tipos principais de diálogo: *half-duplex* e *full-duplex*.

- **Nível 6: apresentação**

A função do nível 6 é assegurar que a informação seja transmitida de tal forma que possa ser entendida e usada pelo receptor. Dessa forma, este nível pode modificar a sintaxe da mensagem, mas preservando sua semântica.

- **Nível 7: aplicação**

O sétimo nível, o de aplicação, fornece ao usuário uma interface que permite acesso a diversos serviços de aplicação, convertendo as diferenças entre diferentes fabricantes para um denominador comum. .

## 2.3 Arquitetura TCP/IP

Segundo Kurose e Ross (2003) a arquitetura TCP/IP é na verdade um conjunto de protocolos, os mais conhecidos são TCP (*Transmission Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*). Esta arquitetura se caracteriza por ser aberta e roteável. Ela possui controle de fluxo, transferência de dados confiável, controle de congestionamento dentre outras características.

O modelo TCP/IP foi dividido em 4 camadas:

- **Camada Interligação**

Esta camada é responsável pela transferência confiável dos pacotes através do meio físico. Dentre as ações realizadas por um protocolo desta camada estão inclusos a detecção de erros, a retransmissão, o controle de fluxo e o controle de acesso ao meio.

- Camada de rede

As funções da camada de rede se incumbem da parte de endereçamento e do roteamento entre as máquinas. Endereçamento: em uma rede existe o endereçamento que idêntica um determinado dispositivo, como único.

Endereçamento IP: Nas Redes roteadas os endereços são compostos por duas partes, o endereço da rede e do nó (*host*), ou seja, se dois dispositivos possuírem um mesmo número de rede, significa que estão numa mesma rede, caso contrário, estão em redes distintas possivelmente roteadas.

Um endereço IP é uma espécie de telefone para chegarmos a um computador. O endereço IP é composto por quatro octetos, ou seja, quatro conjuntos de números que variam de 0 a 255 (máximo  $2^8$ ).

Todo endereço IP pertence a uma rede e toda rede possui uma máscara de rede, que define a quantidade de *host* ou computadores que poderá ter determinada rede.

- Camada de transporte

A camada cuida, dentre outras coisas, de assegurar que toda a mensagem chegue intacta e livre de erros [COMER, 2001].

- Camada de aplicação

A camada de aplicação permite ao usuário final o acesso à rede ( seja ele humano ou *software*). Ela provê interfaces e suporta serviços tais como correio eletrônico, acesso a transferência de arquivos, terminal remoto (*telnet*), acesso à *World Wide Web* dentre outros serviços. É formada pelos protocolos utilizados pelas diversas aplicações do modelo TCP/IP. Esta camada não possui um padrão comum [COMER, 2001].

### **2.3.1 DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)**

DHCP significa Protocolo de Configuração Dinâmica de máquinas, usado para controlar e passar parâmetros de rede para máquinas clientes a partir de um servidor.

Um servidor de DHCP passa parâmetros como: endereço IP (endereço de cada máquina), máscara de subrede (define um subgrupo de máquinas), roteador padrão ou *gateway* (máquina cujos pacotes deverão ser enviados quando estes estiverem destinados a uma outra rede), quais são os servidores de DNS (servidor de resolução de nomes), NTP (*network time protocol*, servidor de sincronização de hora), NIS (*network information service*, serve para compartilhar bancos de dados, com tabela de usuários/senha, grupos de usuários ou qualquer outra informação desejada, usado em sistemas Unix), WINS ou NBNS (*Netbios Name Server*, também utilizado para resolver os nomes), dentre outras informações [KUROSE e ROSS, 2003].

Cada servidor DHCP é responsável por um conjunto de IPs de uma ou mais redes, devidamente configurados, o cliente recebe estas informações ao estabelecer uma comunicação com o servidor [SOUZA, 1999].

Quando uma máquina é iniciada são enviados diversos pacotes ou mensagens solicitando o empréstimo ou a continuidade na utilização de um endereço IP, o chamado pacote *broadcast*, um servidor DHCP recebe e interpreta essas mensagens e as responde. A partir daí a máquina cliente começa a trocar mensagens com o servidor até que o processo de atribuição de IP termine. Ao final desse processo, a máquina cliente recebe as informações da rede e o tempo de empréstimo do IP, ou seja, este empréstimo é por tempo limitado determinado pelo servidor.

## 2.4 Largura de Banda

Segundo Mendes (2008) largura de banda é a velocidade com a qual os dados conseguem fluir pelo barramento.

A largura de banda (*bandwidth*) é a medida da capacidade de transmissão de uma rede que determina a velocidade em que os dados trafegam nela. A largura de banda é medida em bits e não em bytes. Usualmente as medidas de largura de banda são feitas em bits por segundo, exemplo: Kbits/s ou Mbits/s.

A largura de banda é um recurso crítico em vários tipos de rede. O conhecimento da largura de banda disponível pode fazer com que melhore significativamente aplicações de tráfego de dados como transferência de arquivos. Muitas operações de gerenciamento da qualidade de serviço tomam suas decisões de acordo com a largura de banda alcançada. Por esse motivo, este é um conceito indispensável para um melhor desempenho dos recursos da rede [PRASAD *et al*, 2003].

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Histórico

Segundo Schawartz (2009) a idéia de se transmitir sinais por linhas de potência como meio de transmissão de dados remonta ao início do século XX. Porém, nunca foi considerado um meio de comunicação viável devido à baixa velocidade, baixa funcionalidade e alto custo de desenvolvimento.

No início da década de 50 foi desenvolvida a primeira técnica que possibilitou a utilização da rede de distribuição de energia elétrica para transmissão de alguns sinais de controle. O método denominado de RPC (*Ripple Control*), possibilitava a comunicação em frequências baixas (100-900Hz), mas demandava altas potências de transmissão. A comunicação era feita de forma unidirecional, enviando sinais de controle para tarefas simples como acionamento da iluminação pública e o controle de carga. Na década de 80, foram desenvolvidos novos sistemas, mas ainda com taxas modestas [SCHWARTZ, 2009].

De acordo com Sutterlin e Downey (1999) pesquisas pioneiras foram realizadas por algumas empresas de energia na Europa e nos Estados Unidos no sentido de analisar as características da rede elétrica e as suas reais capacidades como canal para comunicações.

No início da década de 90, iniciaram na Inglaterra testes que utilizavam a rede de energia elétrica para transmissão de dados em alta velocidade. Entre 1995 e 1997, ficou demonstrado que era possível resolver os problemas de ruído e interferências e que a transmissão de dados de alta velocidade poderia ser viável. Também se verificou a viabilidade do fornecimento de comunicação de forma bidirecional com frequências mais elevadas e menores níveis de potência de transmissão [PAVLIDOU *et al*, 2003].

Em 1998 a Nortel e a Norweb criaram uma nova empresa intitulada de NOR.WEB DPL com o propósito de desenvolver e comercializar *Digital Power*

*Line* (DPL). Segundo Majumber e Caffery (2004) na época, como o setor de telecomunicações estava passando por um crescimento explosivo no mundo (celular e *internet*) as empresas elétricas mundiais pensavam em se tornar provedores de serviços de telecomunicações utilizando seus ativos de distribuição.

Recentemente, o uso de linhas de potência para comunicação foi largamente disseminado pelo avanço de instalação de fibras ópticas e barateamento de sistemas de telecomunicações. Ainda assim, algumas poucas aplicações de banda estreita em residências e sistemas de segurança e automação predial utilizam ainda sistemas de *Powerline Carrier* de banda estreita, com baixa velocidade e com modulação analógica [PAVLIDOU *et al*, 2003].

## 3.2 Definição

Schwartz (2009) define a tecnologia PLC como:

*“Um sistema de telecomunicações operando com rádio frequências que utiliza a rede elétrica de distribuição como meio de transporte para o fornecimento de sinais de telecomunicações.”*

Segundo Majumber e Caffery (2004) *Power Line Communication* é a tecnologia na qual utiliza-se a rede elétrica de distribuição como meio físico para o transporte de sinais de dados, vídeo e voz aproveitando a estrutura já previamente instalada.

Segundo Pavlidou *et al* (2003) *Power Line Communication* (PLC) é uma tecnologia que usa a rede de energia elétrica para transportar sinais de comunicação. Como faz uso de uma infra-estrutura já disponível, não necessita de obras para ser implementada já que, os futuros clientes dessa tecnologia

utilizarão apenas a tomada da rede de energia elétrica para se comunicar ao telefone, obter acesso à internet, assistir vídeos, transmitir e receber fax.

## 3.3 Comunicação pela Rede Elétrica

### 3.3.1 Faixas de Frequência

A faixa de frequência de operação dos modems PLC está compreendida entre 1,6 e 30MHz [PINHO, 2003].

Os modems PLC utilizam duas faixas de frequência. A primeira faixa é utilizada para a transmissão *outdoor* e está compreendida entre 1MHz e 12MHz [PINHO, 2003].

A outra faixa de frequência compreendida entre 18MHz e 26MHz é utilizada para transmissão *indoor*, que é o foco deste trabalho. Na Figura 3.1, o diagrama apresenta o espectro de frequência utilizado pelo sistema [PINHO, 2003].

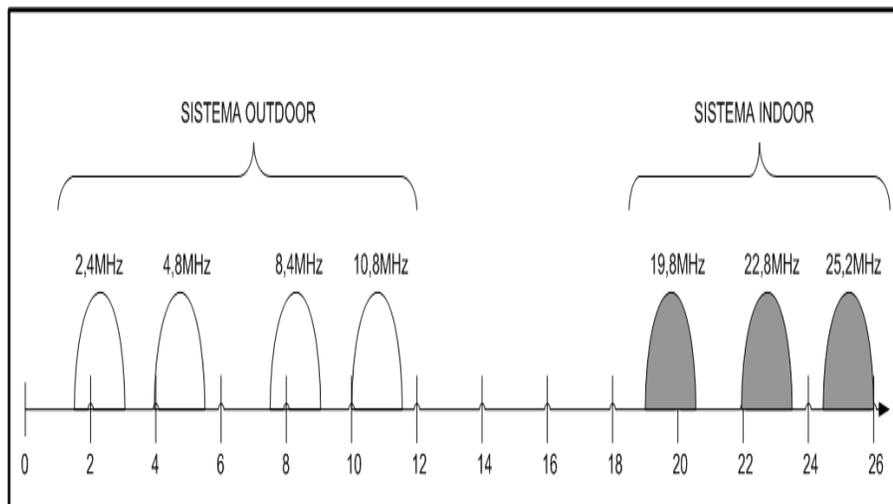


Figura 3.1: Faixas de frequências por segmento da rede PLC (Indoor e Outdoor) [PINHO, 2003].

### **3.3.2 Modulação**

O desenvolvimento da tecnologia que usa a rede de energia elétrica para transportar sinais de comunicação só foi possível devido ao avanço das técnicas de modulação [HAYKIN e VEEN, 2006].

Haykin e Venn (2006) definem modulação como:

*“ O processo de converter o sinal da mensagem para uma forma que seja compatível com as características de transmissão do canal.”*

O sinal da mensagem é denominado onda moduladora e o resultado do processo de modulação chamado onda modulada [SOUZA, 1999].

O processo de modulação constitui o meio para deslocar ou transladar a faixa de frequência contida no sinal de mensagem para outra faixa de frequência adequada para a transmissão no através do canal, e um deslocamento de volta para a faixa de frequência original após a recepção [HAYKIN e VEEN, 2006].

A modulação constitui um mecanismo para colocar o conteúdo de informação de um sinal de mensagem numa forma que possa ser menos vulnerável a ruído ou interferência [HAYKIN e VEEN, 2006].

A escolha do tipo de modulação a ser usada é imprescindível para determinar o sucesso de um sistema de comunicação [HAYKIN e VEEN, 2006].

Existem diversas e diferentes técnicas de modulação. Independente do tipo de modulação usado, o processo de modulação deve ser reversível para que a mensagem, ao chegar no receptor, seja recuperada pelo processo de reversão da modulação, a demodulação [SOUZA, 1999].

#### **3.3.2.1 Modulação de onda contínua**

É a mais simples forma de modulação. Nesse tipo de modulação um sinal senoidal é utilizado como portadora e o parâmetro modulado varia em proporção direta ao sinal modulante. O processo de modulação é então

caracterizado por uma translação em frequência em que o espectro de frequências da mensagem é deslocado para uma nova e maior banda de frequências [RODER, 1931].

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

Na qual a amplitude da portadora é variada com o sinal da mensagem [RODER , 1931]. A Figura 3.2 mostra um sinal a ser transmitido e o seu equivalente após a modulação em amplitude.

#### **3.3.2.1.2 Modulação de onda contínua por ângulo**

Na qual o ângulo da portadora é variado com o sinal da mensagem. Os dois métodos mais comuns desse tipo de modulação são: modulação em fase (*Phase Modulation - PM*) e modulação em frequência (*Frequency Modulation - FM*) [RODER , 1931].

A modulação em fase é um tipo de modulação analógica que se baseia na alteração da fase da portadora de acordo com o sinal modulador (mensagem). Já a modulação em frequência varia, conforme a frequência do sinal modulado [HAYKIN e VEEN, 2001]. A Figura 3.2 mostra um sinal a ser transmitido e o seu equivalente após a modulação em ângulo.

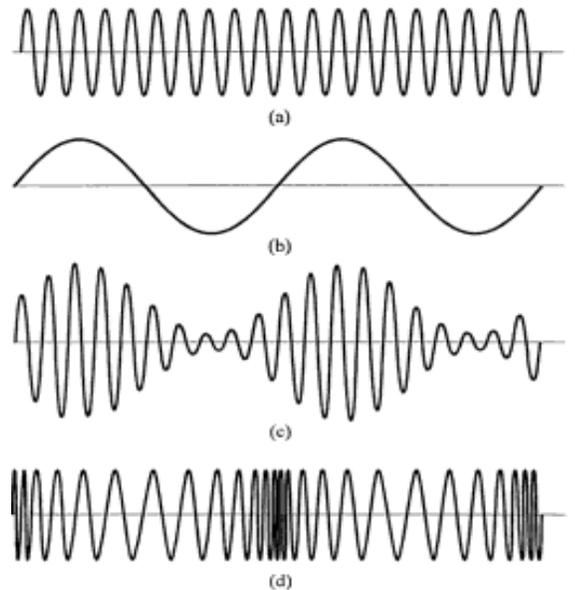


Figura 3.2: Ondas moduladas em amplitude e em ângulo correspondentes à modulação senoidal. (a) Onda portadora. (b) Onda moduladora senoidal. (c) Onda modulada em amplitude. (d) Onda modulada em ângulo. [HAYKIN e VEEN, 2001]

### 3.3.2.2 Modulação por pulsos

A modulação por pulsos é forma digital de modulação. Nesse tipo de modulação algum parâmetro do trem de pulsos varia de acordo com o sinal da mensagem.

Existem duas famílias de modulação de pulso: modulação de pulso analógica e modulação de pulso digital [HAYKIN e VEEN, 2006].

#### 3.3.2.2.1 Modulação por pulsos analógica

Nesse tipo de modulação um parâmetro característico, como por exemplo a amplitude, duração ou posição de um pulso, é variada continuamente com o sinal da mensagem. Por esse motivo, existem diferentes realizações de modulação de pulso analógica. Dentre elas a modulação de amplitude de pulso,

a modulação de duração de pulso e a modulação de posição de pulso [HAYKIN e VEEN, 2006].

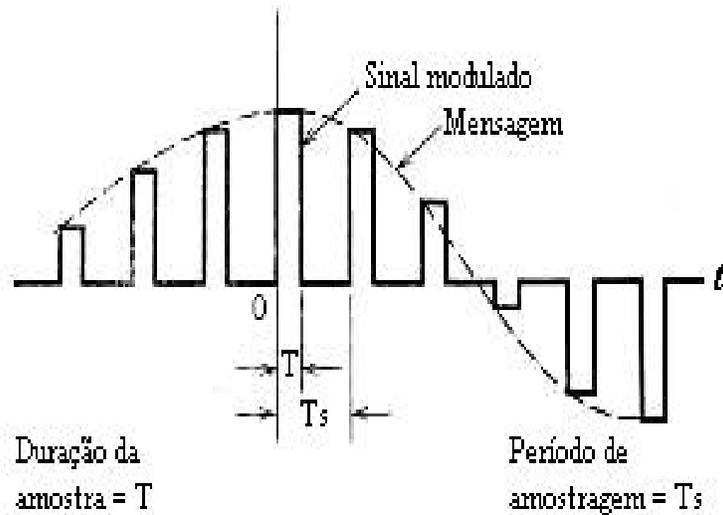


Figura 3.3: Modulação por pulso em amplitude [HAYKIN e VEEN, 2001].

### 3.3.2.2 Modulação por pulsos digital

Nesse tipo de modulação, o sinal modulado é representado na forma codificada. Na qual uma representação de tempo discreto e amplitude discreta são utilizados para o sinal-mensagem, 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 e cada valor dentro de um código é chamado símbolo [HAYKIN e VEEN, 2006].

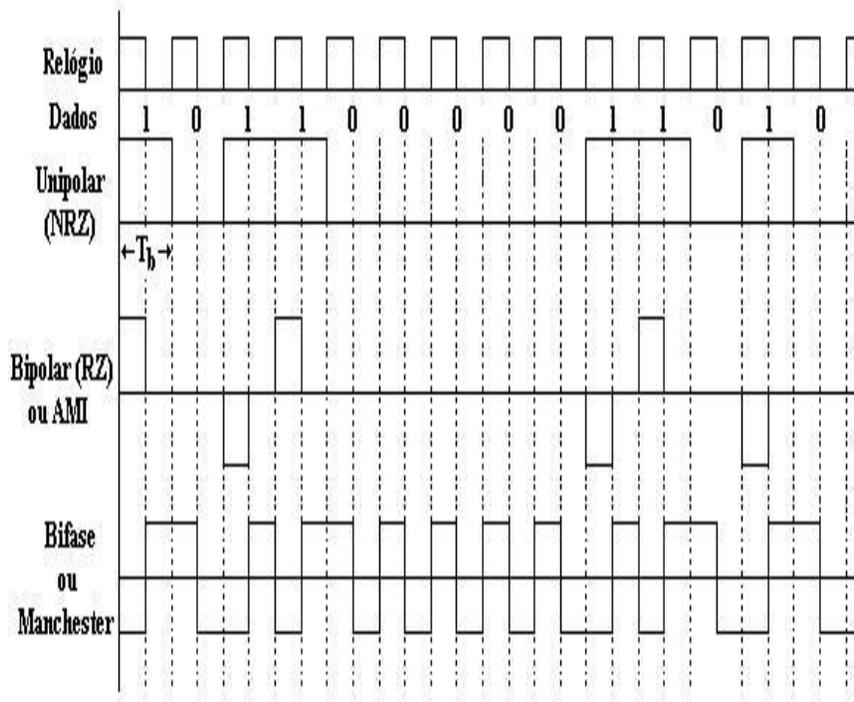


Figura 3.4: Exemplos de modulação por pulsos digital [HAYKIN e VEEN, 2001]

### 3.3.3 Multiplexação do Sinal

A multiplexação que resulta da modulação é esse processo de combinação de diversos sinais de mensagem para que sejam transmitidos simultaneamente pelo mesmo local [SOUZA, 1999].

Basicamente, existem três tipos de multiplexação, são elas:

- Multiplexação por divisão de frequência (**FDM**, *Frequency Division Multiplexing*);
- Multiplexação por divisão de tempo (**TDM**, *Time Division Multiplexing*);
- Multiplexação por divisão de código (**CDM**, *Code Division Multiplexing*).

Essas técnicas servem de base para outras mais robustas utilizadas na comunicação pela rede elétrica:

- A seqüência direta de espalhamento do espectro, DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

A técnica da modulação do espectro de propagação é usada extensamente em aplicações militares. Nos sistemas de sequenciamento direto (DSSS), a fase da portadora do sinal transmitido é variada de acordo com a seqüência de pseudoruídos (é uma seqüência binária periódica com uma forma de onda semelhante a um ruído). Essa técnica garante que a densidade espectral de potência seja bastante baixa. Porém, a largura de banda necessária para transmissão de taxas na ordem de megabits é bastante elevada [ENDO e GONÇALVES, 2006].

- Multiplexação por divisão de freqüência ortogonal, OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

A técnica de modulação *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) é uma variação da multiplexação por divisão de freqüência (FDM) usada nos sistemas de telefonia e nas tecnologias de redes de acesso como o ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) e VDSL (*Very High Bit-rate DSL*), e mais recentemente nas redes sem fio. consiste em modular um grande número de portadoras de banda estreita distribuídas lado a lado. Este tipo de modulação oferece grande adaptabilidade ao sistema, pois é possível suprimir portadoras interferentes ou interferidas ou variar o carregamento (número de bits) de cada portadora de acordo com a Relação Sinal Ruído ou Atenuação do Enlace [MAJUMDER e CAFFERY, 2004].

- Modulações de faixas estreitas, GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)

A Modulação GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) é o mesmo método de modulação utilizado na modulação GSM (*Global System for Mobile Communications*). O GMSK é a técnica na qual seqüência de bits de entrada do modulador é filtrada por um filtro passa-baixas com resposta a um pulso

retangular gaussiana [SOUZA, 1999]. A saída desse filtro é então responsável por modular em MSK as portadoras utilizadas. O efeito do filtro é o de conformar os pulsos de entrada do modulador MSK tornando as transições de frequência mais suaves e, com isso, reduzindo a largura de faixa do lóbulo principal do sinal modulado. Nessa técnica o espectro disponível é dividido em duas banda. O sistema multiportadoras GMSK pode ser considerado como um sistema OFDM banda larga

### **3.4 Aplicações Internas (*indoor*)**

É a base do conforme estudo. São aplicações na qual a transmissão é conduzida usando a rede elétrica interna de um apartamento, de um escritório ou de um prédio. [HOMEPLUG, 2009]

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

### 3.4.1 Padrão *HomePlug* 1.0

Com a finalidade de criar uma tecnologia inovadora para as redes PLC domésticas foi formado, em março de 2000, uma aliança entre diversas empresas. Essa aliança tinha como objetivo padronizar essa tecnologia em ambiente *indoor*, pois não havia interoperabilidade, ou seja, dispositivos de diferentes fabricantes não comunicam entre si [JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, 2005] [HOMEPLUG].

Este padrão foi denominado *HomePlug* 1.0. A norma *HomePlug* especifica a subcamada de acesso ao meio e a camada física para redes de baixa tensão. A especificação *HomePlug* 1.0 foi disponibilizada para as empresas participantes em Junho de 2001, mas somente em Janeiro de 2002 surgiram no mercado os primeiros produtos em conformidade com esse novo padrão.

O *HomePlug* 1.0 utiliza o método de acesso múltiplo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) para disponibilizar uma taxa de transferência de até 14Mbps, entretanto, a taxa média alcançada não passa de 8Mbps [CAMPISTA, 2004].

O tipo de modulação OFDM foi o escolhido como técnica básica de transmissão por possuir uma alta eficiência espectral ao dividir a banda disponível em muitas subportadoras estreitas, de menor taxa [HOMEPLUG, 2009]

O padrão *HomePlug* 1.0 possui uma camada física robusta, que combina várias técnicas de modulação, processamento de sinais e correção de dados. Todas essas técnicas devem ser utilizadas em conjunto, para alcançar o desempenho desejado [CAMPOS, 2004].

O alcance que uma rede *HomePlug* pode atingir varia entre os valores de 200 e 300m. Essa variação ocorre pela variação do nível de ruído presente na rede de energia elétrica [JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, 2005].

O padrão *HomePlug* 1.0 utiliza a criptografia DES (*Data Encryption Standard*) de 56 bits [HomePlug, 2009]. A criptografia na rede PLC acontece na camada de enlace, garantindo confidencialidade ao enlace estabelecido pelo usuário, dessa forma os dados estão sempre em rede local fazendo com que essa tecnologia não ultrapasse a caixa elétrica da residência. A tecnologia PLC possui, de fato, muito mais segurança do que a tecnologia *Wi-Fi*, que apesar de necessitar de uma identificação por usuário e senha, dependendo do alcance, pode ser visível pelos vizinhos.

Um dispositivo *Homeplug* 1.0 opera em modo *ad hoc* (tipo de rede na qual todos os terminais funcionam como roteadores, encaminhando de forma comunitária as comunicações advindas de seus terminais vizinhos), já que todos os dispositivos se comunicam uns com os outros livremente, sem qualquer coordenação centralizada [CAMPOS, 2006].

Um outro padrão foi criado pela *Homeplug Power Alliance*, que trata da transmissão de áudio e vídeo pela rede elétrica [CAMPOS, 2006]. Pode atingir taxas de transmissão superiores a 150Mbps e maior número de bandas disponíveis, logo maior número de dispositivos disponíveis.

### **3.5 Redes de Energia Elétrica como Meio para Comunicação de Dados**

As redes de distribuição de energia elétrica apresentam uma estrutura eletromagneticamente aberta, ou seja, não possui proteção contra o recebimento e envio de sinais interferentes em altas frequências [PAVLIDOU *et al*, 2003].

Por isso, a transmissão de um sinal PLC pode ser prejudicial a sistemas que se encontram mais próximos. A interferência pode se dar pela radiação, em sistemas de comunicação sem fio que estão próximos a rede PLC, ou através de uma rede elétrica que possui vários sistemas e equipamentos ligados simultaneamente. Além do que essa interferência possa ser do próprio sistema PLC [GÖTZ, 2004] e [HENRY, 2005].

Nos primórdios as estações de fornecimento de energia elétrica não foram projetadas para servirem como meio de propagação de sinais em altas frequências. Por isso, a comunicação de dados pela rede elétrica se depara com dificuldades como: ruídos de diversas naturezas, seletividade de frequências e múltiplas reflexões [MAJUMDER e CAFFERY, 2004].

Com a evolução das técnicas de modulação e multiplexação e o avanço da microeletrônica, vários dispositivos e modems quem utilizam a tecnologia PLC já estão disponíveis no mercado [JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, 2005].

### **3.5.1 Impedância do Canal**

A impedância do canal, ou seja, a oposição que a corrente elétrica sofre ao atravessar um transistor é uma variável extremamente flutuante, pelo fato de uma rede de energia elétrica possuir várias ramificações, com cargas sendo constantemente conectadas e desconectadas sem um prévio controle [GÖTZ, 2004].

O fenômeno da reflexão do sinal causada pelos diversos tipos de conexão existentes na rede elétrica, também, influencia a comunicação nesse meio [GÖTZ, 2004].

### **3.5.2 Atenuação do sinal PLC**

A atenuação refere-se à perda que um sinal elétrico pode sofrer ao ser transmitido em um dado meio físico [HAYKIN e VENN, 2006].

A atenuação varia não apenas com a frequência do sinal como também com o tempo, devido às cargas que são conectadas e desconectadas. Ou seja, as características elétricas da rede são variantes no tempo em razão dos dispositivos que são conectados e desconectados aleatoriamente [PAVLIDOU *et al*, 2003].

A temperatura do meio e as condições climáticas também são fatores que influenciam na transmissão [HAYKIN e VENN, 2006].

### **3.5.3 Interferências e Ruídos**

Nas redes de Alta Tensão esses distúrbios são causados devido à ocorrência de descargas atmosféricas, interrupções de cunho operacional [HENRY, 2005].

Nas redes de Média Tensão essas perturbações na rede ocorrem principalmente por manobras operativas como o chaveamento em bancos de capacitores [HENRY, 2005].

Já nas redes de Baixa Tensão os componentes industriais, comerciais ou residenciais conectados à rede elétrica são a causa dos ruídos e interferências [HENRY, 2005].

## **3.6 Análise da Segurança**

Como a tecnologia PLC utiliza o sistema elétrico para a transmissão de dados faz-se necessário um estudo da segurança da rede implementada nesse meio devido ao risco do sigilo dos dados trafegados na rede. Esse risco, também, está associado a possíveis acessos não autorizados na rede.

Para garantir a integridade da rede PLC em ambiente *indoor* alguns parâmetros poderiam ser analisados e verificados. Destaca-se a vulnerabilidade, o controle de acesso, a proteção contra *softwares* maliciosos, o controle de acesso à rede.

Apesar da criptografia utilizada pela tecnologia PLC outros sistemas que visam a segurança da rede poderão ser implementados. Um sistema de detecção de controle de acesso à rede pode ser desenvolvido para evitar acessos não autorizados no sistema.

## **3.7 Regulamentação**

### **3.7.1 No Mundo**

Algumas entidades na Europa, EUA, Japão e outras partes do mundo realizam pesquisas tecnológicas, padronizações e regulamentações para a tecnologia para o PLC.

Os *Framework Programmes* são o principal instrumento de financiamento utilizado pela União Européia para apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Na Europa os *Framework Programmes* são o principal instrumento de financiamento utilizado para apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento. O projeto OPERA (*Open PLC European Research Alliance for New Generation PLC Integrated Network*) ou Aliança Européia para uma Rede PLC Banda Larga Integrada, de Nova Geração, é uma atividade do *Framework Programmes* (FITEC INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, 2005).

Com o tempo, foram surgindo comunidades para a discussão da comunicação *PowerLine*, como o PLC Fórum, criado em 1997 na Europa e o *Power Line Telecommunications Fórum* (PLTF), criado em 1998 nos EUA. Ambos com o objetivo de compartilhar as informações entre fabricantes,

empresas que desenvolvem aplicações, usuários potenciais e órgãos de regulamentação; desenvolver normas para serviços e produtos de telecomunicações em linhas de energia, com a intenção de submetê-las aos órgãos nacionais e internacionais de regulamentação.

### **3.7.2 No Brasil**

As agências reguladoras de telecomunicações (Anatel) e de energia elétrica (Aneel) estão preparando normas que irão lançar no setor comercial no Brasil a tecnologia *Power Line Communication* (PLC), que utiliza os fios de eletricidade para banda larga.

Foi publicado em 13 de março de 2009 pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) a medida que aprova o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica (BPL) no país. A Resolução 527, que libera a adoção da nova tecnologia de internet, cuja prestação de serviço é feita pela rede de energia elétrica, determina critérios técnicos para o oferecimento da prestação de serviço através de comunicação de dados utilizando radiofrequência na faixa entre 1.705 kHz e 50MHz [ANATEL, 2009].

As redes das distribuidoras de energia elétrica, tecnicamente, estão prontas para prestar esse serviço – seria suficiente realizar algumas adaptações acessíveis financeiramente. Seria necessário instalar roteadores nos postes para direcionar a transmissão de dados e um modem na residência ou no escritório do cliente, parecido com os aparelhos que as empresas de telefonia ou de TV a cabo usam para fornecer acesso à Internet [ANATEL, 2009].

Os equipamentos que irão ser utilizados no sistema PLC de banda larga deverão ter certificação de uso específica reconhecida pela Anatel. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) irá dispor sobre a prestação do serviço

elétrico. Empresas interessadas já podem solicitar autorização para atuar no mercado e terão tempo suficiente para se adaptar às regras impostas pelo regulamento [ANATEL, 2009].

## 4. METODOLOGIA

A pesquisa feita neste trabalho está dividida da seguinte forma:

- Quanto à sua natureza, o estudo se classifica como pesquisa básica cujo objetivo é entender ou descobrir novos fenômenos, com foco em conhecimentos básicos e fundamentais. No caso do presente estudo é apresentado um robusto embasamento teórico da tecnologia que utiliza rede elétrica para transferência de dados;
- Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva ou explicativa que tem por finalidade a observação, registro e análise [JUNG, 2004] das características da tecnologia PLC;
- Quanto aos procedimentos, a pesquisa é explicativa. Nas áreas tecnológicas há a necessidade de métodos experimentais e simulação para que o objeto de estudo em questão seja posteriormente explicado [JUNG, 2004]. O presente estudo faz a realização de testes de viabilidade e desempenho da tecnologia PLC na transmissão de dados em aplicações *indoor*. E posteriormente, faz a comparação nas taxas de transmissão com as tecnologias de rede sem fio (*Wi-Fi*) e rede cabeada (*Ethernet*).

### 4.1 Metodologias e Métodos

A primeira fase da Metodologia apresenta o estudo dos conceitos básicos da tecnologia PLC para a compreensão de seu funcionamento

A segunda fase da Metodologia está compreendida em duas partes. Na primeira parte são realizados testes de largura de banda realizados pelo modem PLC. Na segunda parte foram, também, realizados testes de largura de banda, mas, dessa vez, entre as tecnologias PLC, *Wi-Fi* e *Ethernet*. Para uma melhor visualização dos dados coletados e pelo fato do experimento consistir em aplicações *indoor*, no qual a comunicação é feita através de mensagens curtas,

foi analisado o envio de mensagens de 128, 256, 512 e 1024 bytes. Isto tanto na primeira fase como para a segunda fase do experimento.

### **Largura de banda do modem PLC**

Essa fase do experimento verifica a qualidade, a largura de banda obtida e a disponibilidade dos recursos de transmissão de dados utilizando a infraestrutura de rede elétrica através de um modem PLC.

Um fator de fundamental importância, quando se analisa a possibilidade de utilizar a infra-estrutura de rede elétrica para transmissão de dados, é a questão dos ruídos eletromagnéticos presentes. Esses ruídos são causados pelos diversos dispositivos conectados à rede elétrica e poderão causar impactos negativos nas taxas de transmissão de dados – largura de banda, na qualidade dos circuitos de comunicação – índices de perdas de pacotes e retransmissões - e na sua disponibilidade, tornando sua implementação inviável.

Por esse motivo foram escolhidos dois ambientes para a medição das taxas de transmissão alcançadas pelo modem PLC. Esses ambientes foram:

- ***Laboratório***

O motivo dessa escolha foi o de realizar o teste de largura de banda do modem PLC em um ambiente comercial. Local no qual o nível de ruídos presentes na rede elétrica deve ser elevado devido ao grande número de equipamentos e dispositivos conectados na rede elétrica.

- ***Residência***

O motivo dessa escolha é de realizar o teste de vazão de dados do modem PLC em um ambiente domiciliar. No qual o nível de ruídos, também, deve ser elevado devido a utilização de aparelhos domésticos (televisões, liquidificadores, etc.) conectados à rede elétrica.

Ainda pelo motivo da interferência e a presença de ruídos na rede elétrica os testes foram realizados em três períodos: manhã, tarde e noite. Contemplando, dessa forma, uma grande diversidade de outros dispositivos

interligados a essas redes elétricas (aparelhos eletrodomésticos, lâmpadas, ventiladores e etc.).

### **Comparação da largura de banda do modem PLC em relação as tecnologias *Ethernet* e *Wi-Fi*.**

Essa fase do experimento consistiu na comparação de desempenho no envio de mensagens entre a tecnologia abordada nesse estudo e as tecnologias de redes cabeadas (*Ethernet*) e redes sem fio (*Wi-Fi*).

Para essa análise foram escolhidos os dados coletados pelo modem PLC no período da tarde para realizar a comparação entre essas outras duas tecnologias.

## **4.2 Materiais**

Utilizou-se a ferramenta de software denominada *Bandwidht Test*, da Mikrotik, para a coleta dos dados obtidos durante as fases de realização dos experimentos práticos e, esses mesmos dados, foram utilizados nas análises e comparações entre as taxas de transmissões de dados obtidas através das três tecnologias de rede envolvidas neste estudo.

Para a realização dos testes da tecnologia PLC foi escolhido o modem HL300E padrão *HomePlug* [HOMEPLUG, 2009] (ver Anexo B) mostrado na figura 4.1. A conexão é feita através de um cabo RJ45 ligado do modem à uma placa de rede instalada no computador. O endereço IP é configurado na placa de rede ou através de configuração manual ou utilizando o protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).



**Figura 4.1 – HL300E HomePlug Ethernet Adapter**

Para a realização dos testes com a tecnologia *Wi-Fi* foi escolhido o modem D-Link DI-524 mostrado na figura 4.2. Este é um *Internet Server* Sem fio maximizado, pertencente à linha AirPlus G da D-Link, e que atende o padrão 802.11g, e opera em uma largura de banda de até 54Mbps e frequência de 2,4 Ghz. Uma foto do modem pode ser vista na figura 5.2.



**Figura 4.2 – Modem D-Link DI-524 [D-Link, 2009]**

Já para a análise das taxas de transmissão da tecnologia de rede cabeada foi utilizado o padrão *fast ethernet* IEEE 802.3u. Esse padrão atingi 100Mbit/s na transmissão de mensagens.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e suas análises das transmissões feitas utilizando o modem PLC. Os testes foram divididos pelos locais no qual foram realizados (residência e laboratório). Dentro dessa divisão, os testes foram divididos em dois: teste de largura de banda do modem PLC e sua comparação com as tecnologias sem fio (Wi-Fi) e a tecnologia de redes cabeadas (*Ethernet*). A divisão final consistiu nos tamanhos das mensagens enviadas (128, 256, 512 e 1024 bytes).

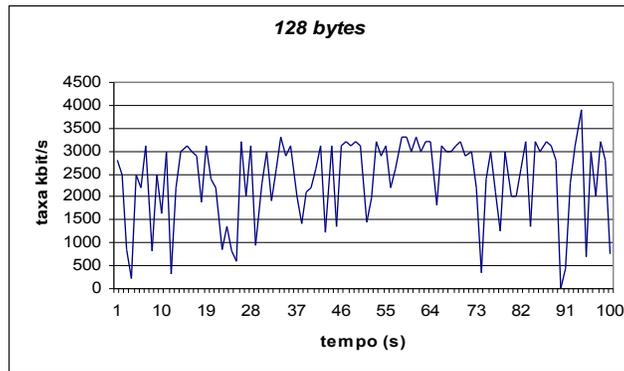
### 5.1 Residência

- **Análise da largura de banda do modem PLC**

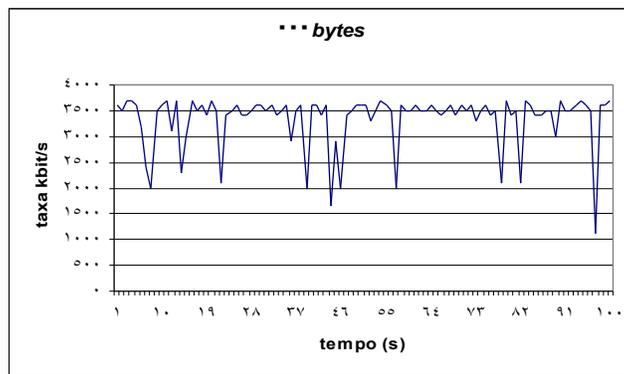
Para essa análise, os testes foram realizados em três períodos: manhã, tarde e noite. Pois cada período possui seu nível de ruído na rede elétrica característico (aparelhos eletrodomésticos, lâmpadas, ventiladores e etc.).

- **Manhã**

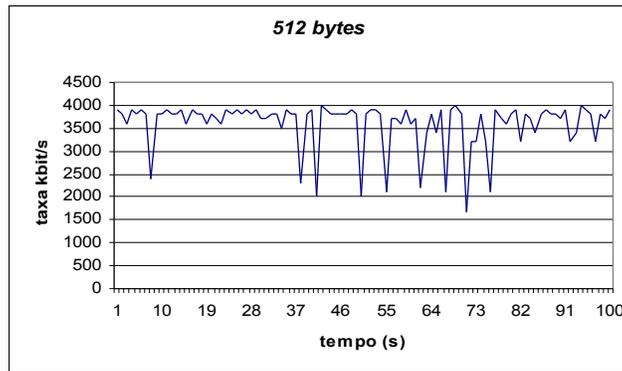
Os testes de transmissão de mensagens de tamanhos: 128, 256, 512 e 1024 bytes, realizados no período da manhã.



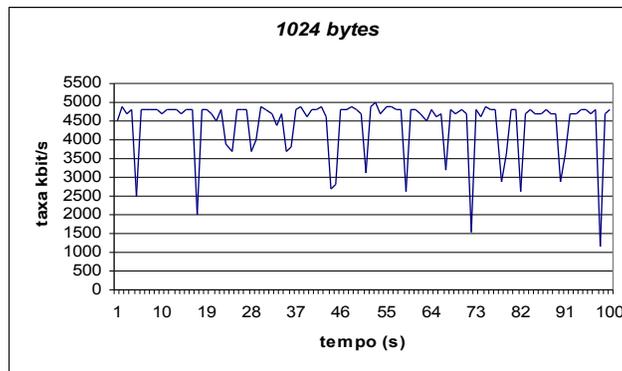
**Figura 5.1: Mensagens de 128 bytes - Manhã/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.2: Mensagens de 256 bytes - Manhã/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



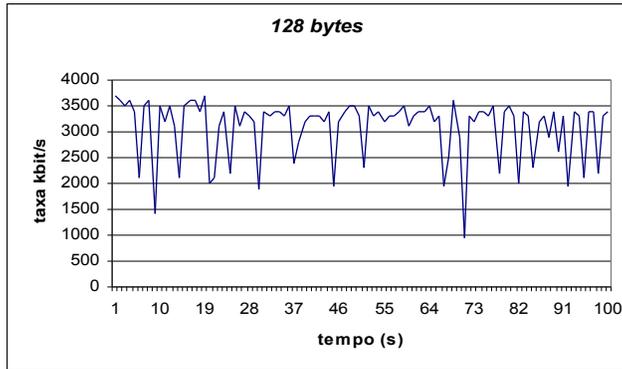
**Figura 5.3: Mensagens de 512 bytes - Manhã/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



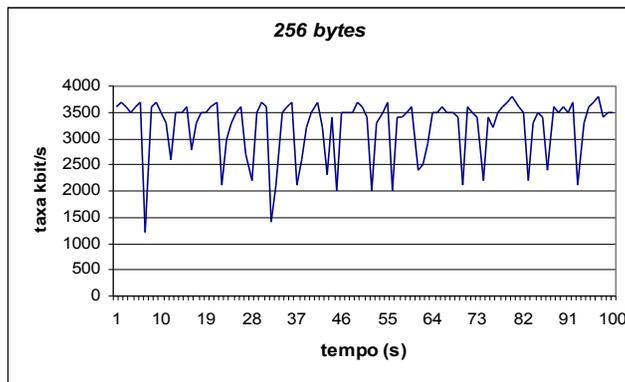
**Figura 5.4: Mensagens de 1024 bytes - Manhã/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].

➤ **Tarde**

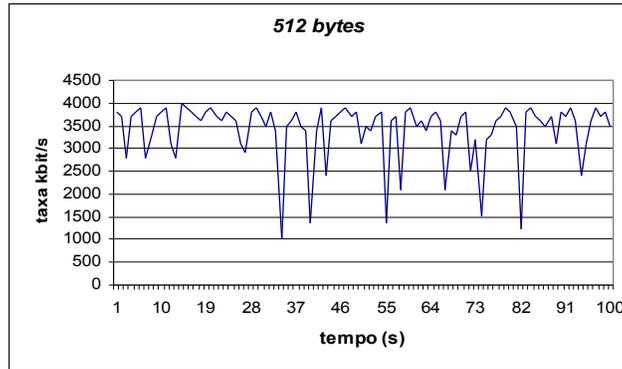
Os testes de transmissão de mensagens de tamanhos: 128, 256, 512 e 1024 bytes, realizados no período da tarde.



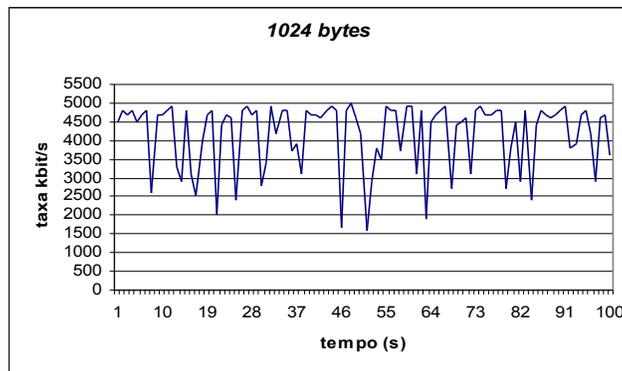
**Figura 5.5: Mensagens de 128 bytes - Tarde/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.6: Mensagens de 256 bytes - Tarde/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



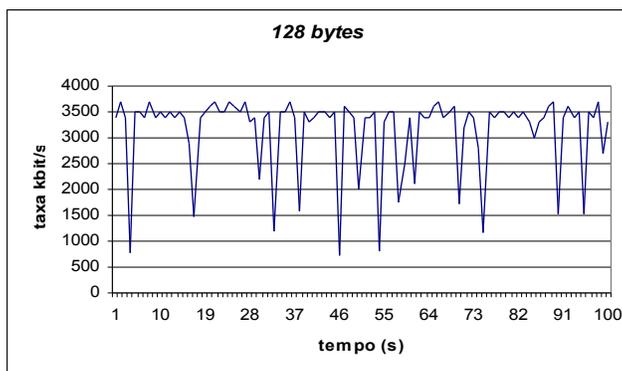
**Figura 5.7: Mensagens de 512 bytes - Tarde/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



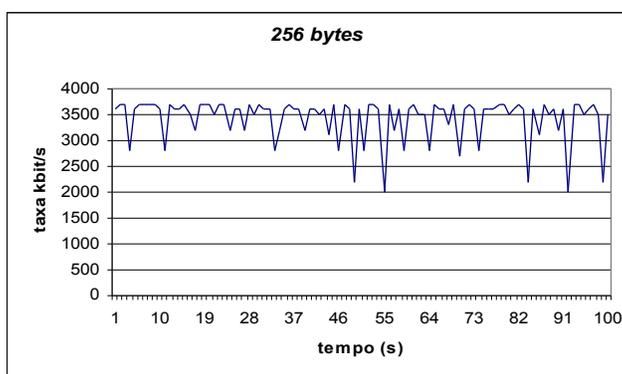
**Figura 5.8: Mensagens de 1024 bytes - Tarde/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].

➤ **Noite**

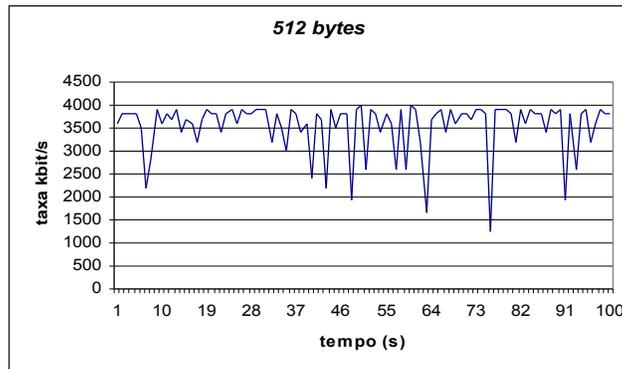
Os testes de transmissão de mensagens de tamanhos: 128, 256, 512 e 1024 bytes, realizados no período da noite.



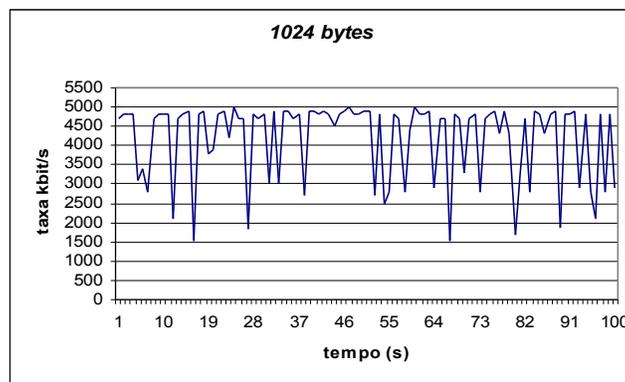
**Figura 5.9: Mensagens de 128 bytes - Noite/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.10: Mensagens de 256 bytes - Noite/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.11: Mensagens de 512 bytes - Noite/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.12: Mensagens de 1024 bytes - Noite/Residência**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].

Para realizar a análise dos experimentos foi escolhida a técnica das medianas, que consiste em se obter o valor central dos dados para representar toda a classe dos mesmos, provocando uma maior concordância dos resultados e a técnica das médias aritméticas que é a medida central mais utilizada.

Serão analisados os diagramas de desempenho do modem PLC em três períodos do dia (manhã, tarde e noite).

**Tabela 5.1: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes realizados pelo modem PLC na Residência [Fonte do Autor].**

<b>128 bytes</b>		
<b><i>Período</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
Manhã	2800	2412,162
Tarde	3300	3097,738
Noite	3400	3161,738

**Tabela 5.2: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes realizados pelo modem PLC na Residência [Fonte do Autor].**

<b>256 bytes</b>		
<b><i>Período</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
Manhã	3500	3339,553
Tarde	3500	3232,3
Noite	3600	3433

**Tabela 5.3: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes realizados pelo modem PLC na Residência [Fonte do Autor].**

<b>512 bytes</b>		
<b><i>Período</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
Manhã	3800	3598,547
Tarde	3700	3423,231
Noite	3800	3547,403

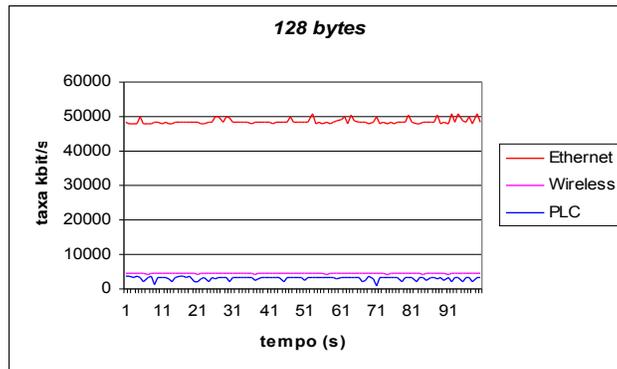
**Tabela 5.4: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 1024 bytes realizados pelo modem PLC na Residência [Fonte do Autor].**

<b>1024 bytes</b>		
<b><i>Período</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
Manhã	4800	4408,622
Tarde	4700	4187,622
Noite	4800	4194,207

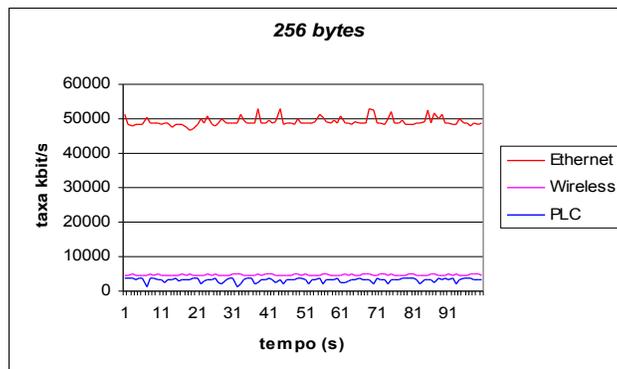
Analisando as tabelas anteriores em relação aos três períodos (manhã, tarde e noite) verifica-se que há uma variação mais significativa somente nas mensagens de 128 bytes, enquanto nas outras mensagens as taxas alcançadas são correspondentes.

- **Comparação da largura de banda do modem PLC em relação as tecnologias ,Cabeada e Wi-Fi.**

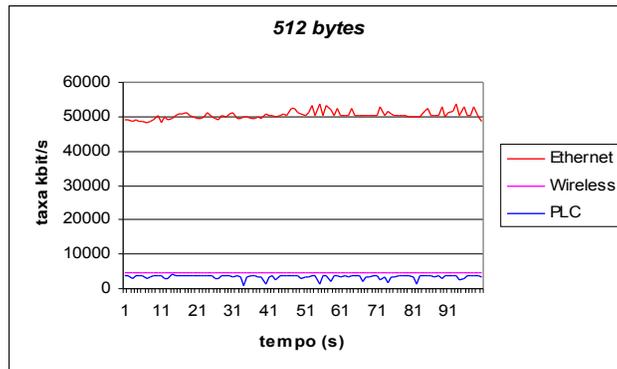
Para essa análise, o período da tarde foi escolhido de forma aleatória e a experimentação comparativa entre o modem PLC e as demais tecnologias de redes foi realizada.



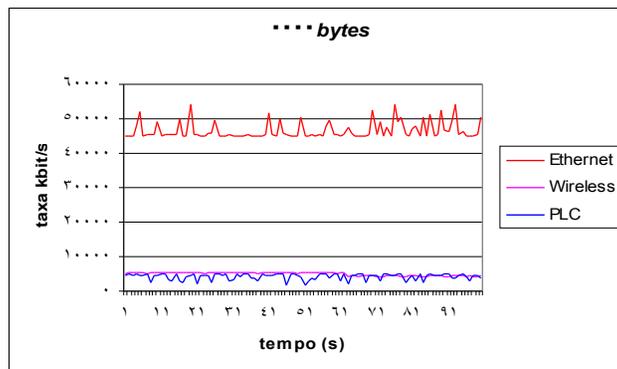
**Figura 5.13: Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência [Fonte desenvolvido pelo Autor].**



**Figura 5.14: Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência [Fonte desenvolvido pelo Autor].**



**Figura 5.15: Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 512 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência [Fonte desenvolvido pelo Autor].**



**Figura 5.16: Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 1024 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados na Residência [Fonte desenvolvido pelo Autor].**

Serão analisados os diagramas de cunho comparativo da largura de banda da tecnologia abordada nesse estudo com redes cabeadas e redes sem fio (*Wi-Fi*) em ambiente *indoor*.

Tabela 5.5: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados na Residência [Fonte do Autor].

<b>128 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	3300	3097,738
Wireless	4500	3375,5
Ethernet	48300	48591

Tabela 5.6: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados na Residência [Fonte do Autor].

<b>256 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	3500	3232,3
Wireless	4700	4704
Ethernet	48700	49144

Tabela 5.7: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados na Residência [Fonte do Autor].

<b>512 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	3700	3423,231
Wireless	4700	4748
Ethernet	50350	50477

**Tabela 5.8: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 1024 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados na Residência [Fonte do Autor].**

<b>1024 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	4700	4187,622
Wireless	5300	4994
Ethernet	45300	46575

Analisando as tabelas acima constata-se a vasta superioridade da tecnologia de rede cabeada (*Ethernet*) no que diz respeito a largura de banda. Verifica-se ainda, que as taxas de transmissão obtidas da tecnologia PLC são um pouco inferiores em relação as obtidas da tecnologia de rede sem fio (Wi-Fi).

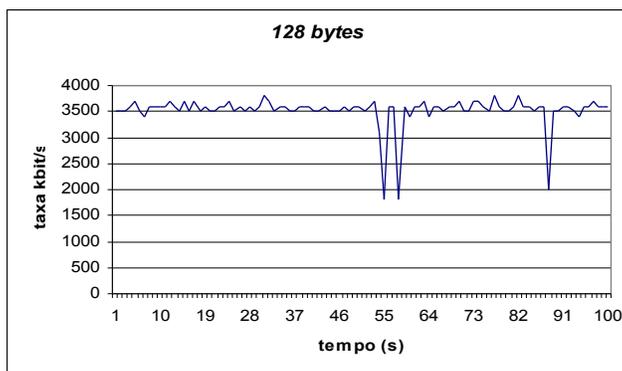
## **5.2 Laboratório**

- **Análise da largura de banda do modem PLC**

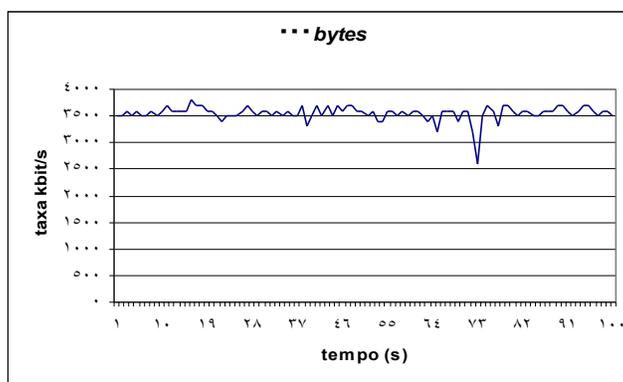
Para essa análise, os testes foram realizados, também, nos mesmos três períodos (manhã, tarde e noite). Pelo mesmo motivo, cada período possui seu nível de ruído na rede elétrica característico.

- **Manhã**

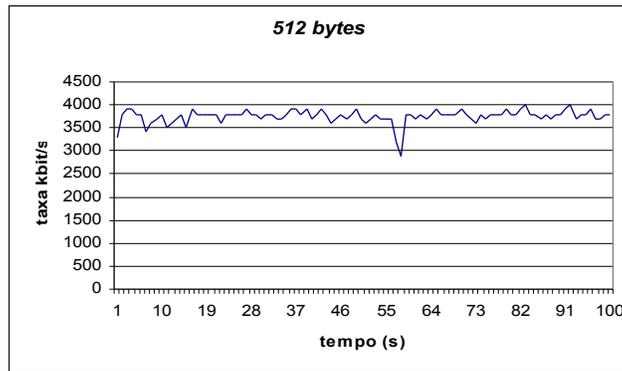
Os testes de transmissão de mensagens de tamanhos: 128, 256, 512 e 1024 bytes, realizados no período da manhã.



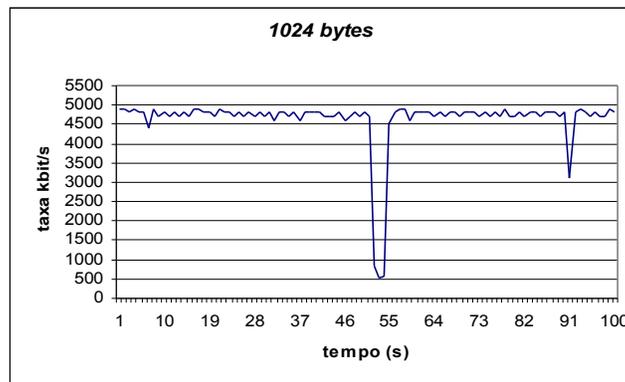
**Figura 5.17: Mensagens de 128 bytes - Manhã/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.18: Mensagens de 256 bytes - Manhã/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



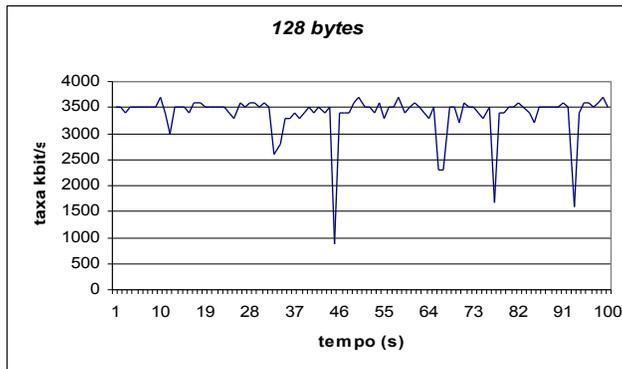
**Figura 5.19: Mensagens de 512 bytes - Manhã/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



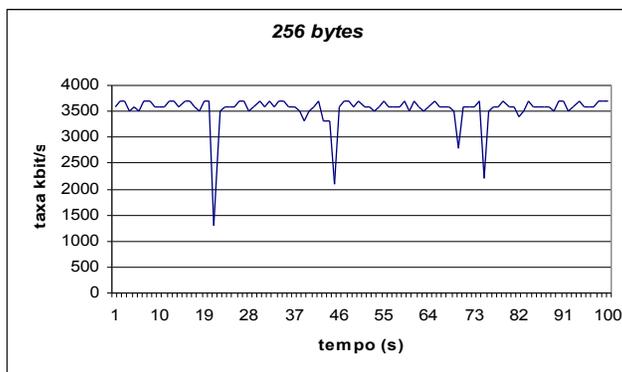
**Figura 5.20: Mensagens de 1024 bytes - Manhã/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].

➤ **Tarde**

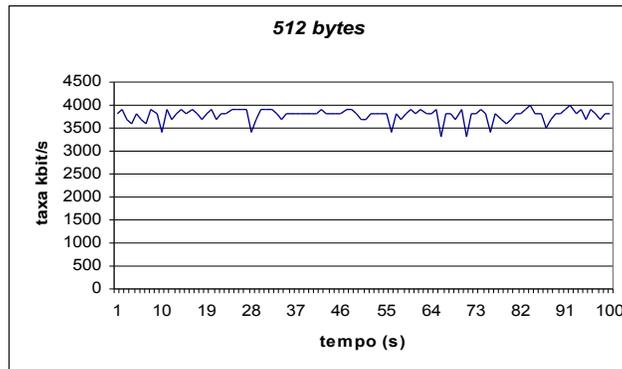
Os testes de transmissão de mensagens de tamanhos: 128, 256, 512 e 1024 bytes, realizados no período da tarde.



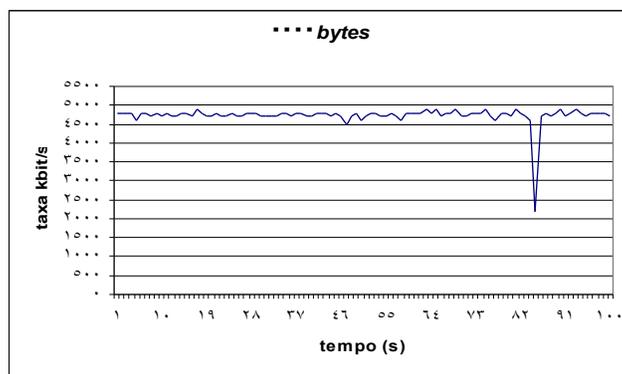
**Figura 5.21: Mensagens de 128 bytes - Tarde/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.22: Mensagens de 256 bytes - Tarde/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



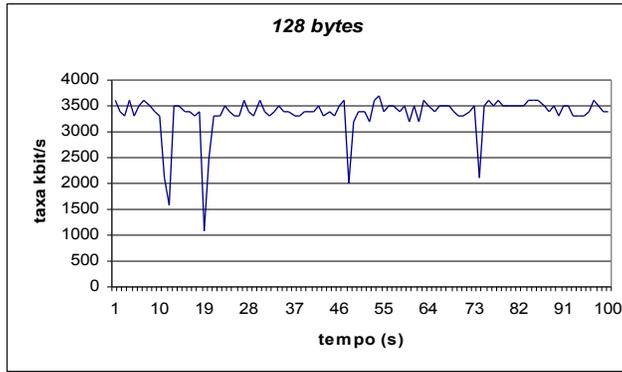
**Figura 5.23: Mensagens de 512 bytes - Tarde/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



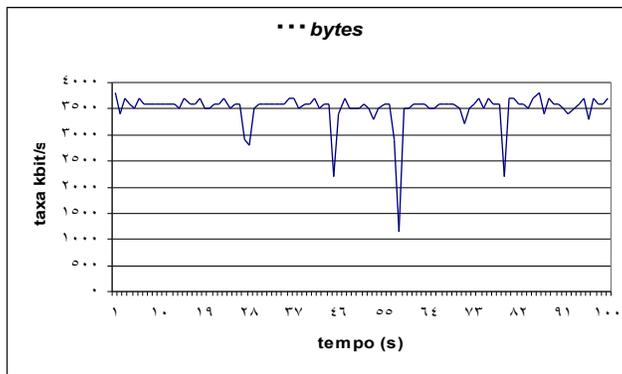
**Figura 5.24: Mensagens de 1024 bytes - Tarde/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].

➤ **Noite**

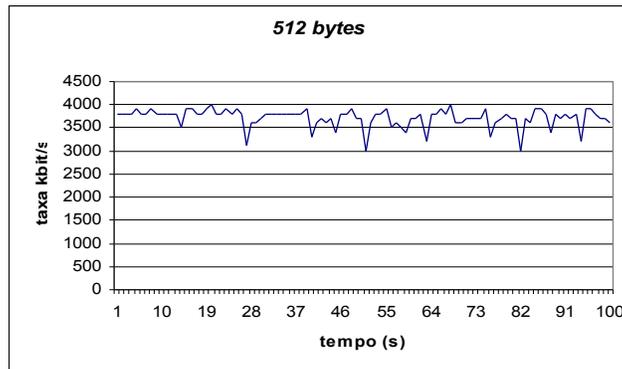
Os testes de transmissão de mensagens de tamanhos: 128, 256, 512 e 1024 bytes, realizados no período da noite.



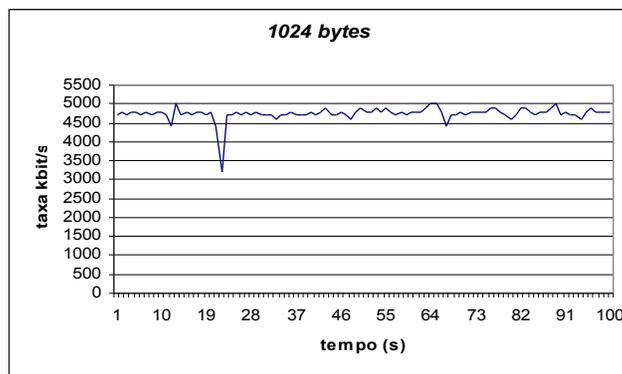
**Figura 5.25: Mensagens de 128 bytes - Noite/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.26: Mensagens de 256 bytes - Noite/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.27: Mensagens de 512 bytes - Noite/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.28: Mensagens de 1024 bytes - Noite/Laboratório**  
 [Fonte: desenvolvido pelo Autor].

Serão analisados os dados estatísticos do desempenho do modem PLC.  
 Para isso, é feita a análise das tabelas a seguir.

**Tabela 5.9: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório [Fonte do Autor].**

<b>128 bytes</b>		
<b>Período</b>	<b>Mediana (kbit/s)</b>	<b>Média (kbit/s)</b>
Manhã	3600	3521,146
Tarde	3500	3375,202
Noite	3400	3341,759

**Tabela 5.10: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 256 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório [Fonte do Autor].**

<b>256 bytes</b>		
<b>Período</b>	<b>Mediana (kbit/s)</b>	<b>Média (kbit/s)</b>
Manhã	3600	3555
Tarde	3600	3546,867
Noite	3600	3506,35

**Tabela 5.11: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório [Fonte do Autor].**

<b>512 bytes</b>		
<b>Período</b>	<b>Mediana (kbit/s)</b>	<b>Média (kbit/s)</b>
Manhã	3800	3755
Tarde	3800	3778
Noite	3800	3713

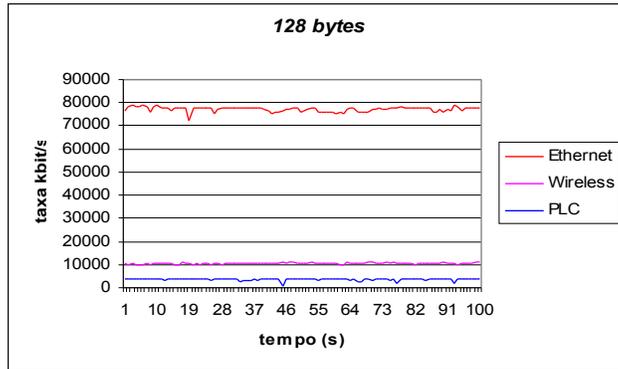
**Tabela 5.12: Valores estatísticos das medidas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes realizados pelo modem PLC no Laboratório [Fonte do Autor].**

<b>1024 bytes</b>		
<b><i>Período</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
Manhã	4800	4625,46
Tarde	4800	4733
Noite	4800	4748

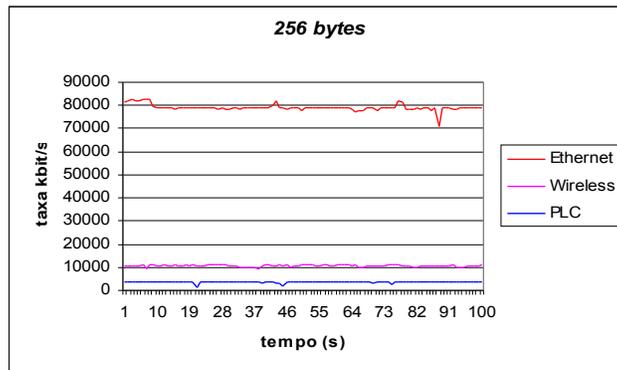
Analisando as tabelas anteriores em relação aos três períodos (manhã, tarde e noite) nos quais foram realizados os testes, verifica-se que houve uma variação relativamente baixa nas taxas de transmissão apesar de cada período possuir seu nível de ruído característico. Ou seja, no caso do Laboratório, o período do dia não é fator determinante da largura de banda do modem PLC.

- **Comparação da largura de banda do modem PLC em relação as tecnologias Cabeada e Wi-Fi.**

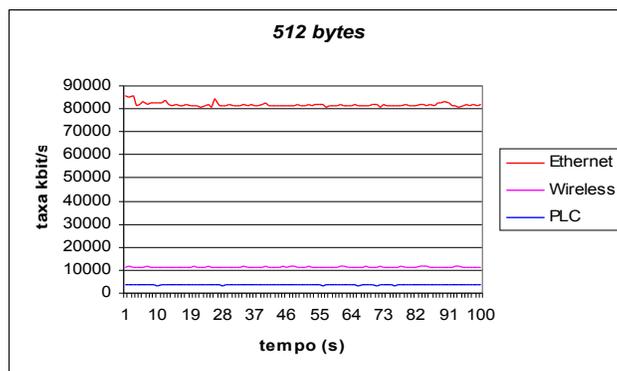
Da mesma forma que a experimentação realizada anteriormente, o período da tarde também foi escolhido para realização comparativa entre as tecnologias de redes. Os gráficos abaixo apresentam os resultados desse trabalho.



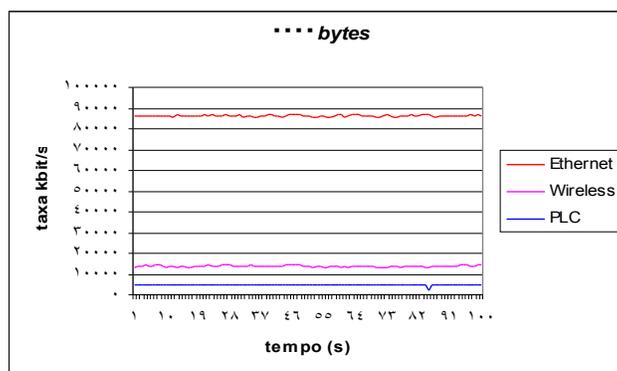
**Figura 5.29:** Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 128 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório [Fonte desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.30:** Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 256 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório [Fonte desenvolvido pelo Autor].



**Figura 5.31: Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 512 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório [Fonte desenvolvido pelo Autor].**



**Figura 5.32: Comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagem de 1024 bytes entre as tecnologias de rede Ethernet, Wireless e PLC realizados no Laboratório [Fonte desenvolvido pelo Autor].**

Serão analisados os dados estatísticos obtidos a partir da comparação da largura de banda da tecnologia abordada nesse estudo com redes cabeadas e redes sem fio (*Wi-Fi*) em ambiente *indoor*. Essa análise é realizada a partir das seguintes tabelas:

Tabela 5.13: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 128 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados no Laboratório [Fonte do Autor].

<b>128 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	3500	33750,202
Wireless	10500	10559
Ethernet	77450	77103

Tabela 5.14: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 256tes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados no Laboratório [Fonte do Autor].

<b>256 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	3600	3546,867
Wireless	10700	10569
Ethernet	78800	78968

Tabela 5.15: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 512 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados no Laboratório [Fonte do Autor].

<b>512 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	3800	3778
Wireless	11300	11317
Ethernet	81600	81798

**Tabela 5.16: Valores estatísticos das medidas de comparação nas taxas de transmissão no envio de mensagens de 1024 bytes entre as tecnologias de rede *Ethernet*, *Wireless* e PLC realizados no Laboratório [Fonte do Autor].**

<b>1024 bytes</b>		
<b><i>Tecnologia</i></b>	<b><i>Mediana (kbit/s)</i></b>	<b><i>Média (kbit/s)</i></b>
PLC	4800	4733
Wireless	13800	13814
Ethernet	86400	86314

Analisando as tabelas anteriores em relação as tecnologias nota-se, como anteriormente, a enorme diferença na largura de banda obtida com a rede cabeada em relação às demais. Verifica-se que no Laboratório, por possuir um cabeamento estruturado certificado, esse tipo de tecnologia alcança níveis superiores em relação aos obtidos na residência. Verifica-se também que no ambiente do Laboratório as taxas de transmissão obtidas pelo modem PLC são bem inferiores em relação a tecnologia sem fio (*Wi-Fi*). No Laboratório, assim como a rede cabeada, a rede sem fio alcança níveis superiores se comparado com o ambiente no qual foram realizados os teste.

Nota-se que as taxas de transmissões obtidas pelo modem PLC são maiores no Laboratório. Verifica-se, então, que no ambiente comercial o nível de ruído presente na rede elétrica foi menos significativo para a obtenção de uma maior largura de banda do modem.

Por fim, analisando todos os dados gráficos e numéricos obtidos a partir das medições do equipamento que utiliza a rede de energia elétrica para a transmissão de dados verificou-se a impossibilidade do controle do ruído presente na mesma. Isso pelo fato de existirem diversos dispositivos e equipamentos conectados à rede elétrica. Esse nível de ruído fica evidenciado em todas as medidas do modem PLC, no qual, sempre, apresentou uma

significativa alternância nas taxas de transmissões obtidas em ambos os locais de teste.

## 7. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi apresentado um estudo sobre o estado da arte da tecnologia que utiliza a rede de energia elétrica para a transmissão de dados. Foram abordados seus principais conceitos para um maior entendimento do funcionamento dessa tecnologia.

Foram realizados experimentos com um modem PLC para aplicações *indoor*, ou seja, redes locais. Ficou evidenciado nos experimentos com o modem PLC que independentemente do ambiente no qual foi realizado os testes a variação das taxas de transmissão de mensagens foi alta. Os experimentos mostraram que a variação, também, é alta independentemente do período (manhã, tarde e noite) dos testes. Essa variação é devido ao fato do elevado nível de ruído presente na rede elétrica e pelo fato dessa não ter sido projetada com o propósito de comunicação. Por isso, o uso dessa tecnologia para aplicações em tempo real possa vim a ser prejudicado.

Nos experimentos de cunho comparativo entre as tecnologias PLC, *Wi-Fi* e *Ethernet* foi evidenciado a superioridade ainda existente da última no que diz respeito a largura de banda obtida em rede local. As redes com fio (*Ethernet*) possuem a vantagem de serem estáveis e de possuírem uma segurança considerável, confrontando com a implantação de que uma nova infra-estrutura para essa tecnologia pode ter elevado custo.

Já as redes sem fio (*Wi-Fi*) representado nesse trabalho pelo padrão IEEE 802.11 alcançaram níveis satisfatórios de transmissão de dados, principalmente no Laboratório. Até mesmo na residência os níveis alcançados foram superiores dos alcançados pelo PLC. A rede sem fio tem sua grande vantagem na mobilidade, já que sistemas de redes locais sem fio podem prover aos usuários acesso à informação em tempo real em qualquer lugar. Entretanto, existem algumas desvantagens das redes sem fio, entre elas: interferência na rede, causado por dispositivos operantes na mesma banda de frequência ISM e o

aspecto da Segurança e privacidade, nesse tipo de tecnologia torna-se eminentes o numero de intrusos.

Dentre as tecnologias estudadas, a tecnologia PLC foi a que apresentou as menores taxas de transmissão de dados em aplicação local. Por outro lado, diferentemente das redes com fio, as redes PLC utilizam-se da infra-estrutura de rede elétrica existente como meio de transmissão de dados conforme a abordagem realizada ao longo de todo esse trabalho. Em relação a rede sem fio tem a vantagem de poder ser utilizada até distâncias mais longas, já que quanto mais distante do ponto de acesso (*access point*) menor é o sinal da rede. Desta forma, a tecnologia PLC apresenta-se como uma solução de rede local atrativa e como uma alternativa à utilização das redes disponíveis no mercado.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIN, Y. *et al*, **A comparative performance study of wireless and power line networks**. *IEEE Communications Magazine*. April, 2003.

FERREIRA, H. C.; *et al*, **Power line communications: an overview**, 4th IEEE Africon Conference, África, 1996.

SAMAC. Saudi Arabian Computer Management Consultants. URL: <<http://www.sacmac.net.sa/PLC-Applications-E.html>>. Último acesso em maio/2009.

TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores: tradução [ds 3. ed. original]*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KUROSE, J. e ROSS, K. *Redes de Computadores e a Internet*, Addison Wesley 2003.

COMER, D. E., *Redes de Computadores e Internet*, 2ª edição, Editora Bookman. Porto Alegre, Brasil, 2001.

ROSS, J. *Redes de Computadores*, Editora Antenna 2008.

TORRES, Gabriel. *Redes de Computadores – Curso Completo*. Rio de Janeiro: Axcel Books 2001.

SOUZA, L. B. *Redes de computadores: Dados, Voz e Imagem*. São Paulo: Érica, 1999.

MENDES, D. R. Redes de computadores Teoria e Prática. Editora Novatec, 2007.

PRASAD *et al* **Bandwidth estimation: metrics, measurement, techniques, and tools**. IEEE Network. 2003.

SCHWARTZ, M. **Carrier-Wave Telephony Over Power Lines: Early History**. IEEE Communications Magazine. January 2009.

SUTTERLIN, P. e DOWNEY, W., **A power line communication tutorial - challenges and technologies**, Relatório Técnico, Echelon Corporation, 1999.

PAVLIDOU, N. *et al*. **Power Line Communications: State of the Art and Future Trends**. IEEE Communications Magazine. April 2003.

MAJUMDER, A. e CAFFERY, J. Jr. Power line communications: an overview. IEE Communications Magazine. OCTOBER/NOVEMBER 2004.

PINHO, D., **PLC - PowerLine Communication**, UFRJ, 2003.

HAYKIN, S. e VEEN, B. V., Sinais e Sistemas, Bookman, 2006.

ENDO, P. T e GONÇALVES, A. D., **Tecnologias de Comunicação para Redes Domiciliares**, UFPE, Recife, 2006.

RODER, H., **Amplitude, Phase, And Frequency Modulation**. IEEE Communications Magazine. December 1931.

HOMEPLUG 1.0 Technology White Paper. URL: <<http://www.homeplug.org>>.

Último acesso em maio/2009.

JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, T., **MAC Throughput Analysis of HomePlug 1.0**. IEEE Communications Magazine. FEBRUARY 2005.

CAMPISTA, M. E. M., **Uma Análise da Capacidade de Transmissão na Rede de Energia Elétrica Domiciliar**, Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT 2004, Belém, PA, 2004.

CAMPOS, A. L. P. S., ARAÚJO, L. M. e MOREIRA, R. C. O., **Investigação Experimental da Vazão de uma Rede Local de Computadores Homeplug 1.0**. Revista Holos, Ano 22, Dezembro de 2006, pp. 37 – 46.

GÖTZ, M., RAPP, M. e DOSTERT, K., **Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design**. IEEE Communications Magazine. APRIL 2004.

HENRY, P. S., **Interference Characteristics of Broadband Power Line Communication Systems Using Aerial Medium Voltage Wires**. IEEE Communications Magazine. April 2005.

FITEC INOVACOES TECNOLOGICAS. Projeto OPERA. In: Seminário **PLC: Powerline Communications**, São Paulo, 2005

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações URL: <<http://www.anatel.gov.br>>. Último acesso em maio/2009.

JUNG, C. F., **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2004.312p.

## ANEXO A

### **Perguntas frequentes relacionadas ao modem HL300E padrão HomePlug.**

#### **--Geral**

*-A tecnologia HomePlug Powerline é compatível com outras tecnologias de redes (incluindo linha telefônica, Wi-Fi , Ethernet)?*

A tecnologia *HomePlug* não causa interferência a outras tecnologias. De fato, muito trabalho foi feito para garantir que produtos usando a tecnologia *HomePlug* coexistiria com outros métodos de redes domésticas. Pois tomadas são encontradas em todas as paredes de uma residência, elas são uma escolha lógica para se utilizar numa conexão de dados. A tecnologia *HomePlug* também elimina alguns problemas com a rede sem fio, possibilitando pontos de acessos (*access points*) se moverem para lugares mais convenientes na residência, reduzindo a necessidade de múltiplos pontos de acessos.

#### **--Aplicações**

*-O HL300E HomePlug Ethernet Adapter é compatível com Linux e Mac? É também aplicável a outros sistemas operacionais?*

O HL300E *HomePlug Ethernet Adapter* é aplicável com todos sistemas operacionais que possuem TCP/IP como porta *Ethernet*. *Drivers* não são necessários para este adaptador. Porém o software *Configuration Utility* para atribuir senha para a rede opera apenas com sistemas operacionais *Windows*. Não existe problema em usar o *Configuration Utility* para configurar o HL300E

*HomePlug Ethernet Adapter* num computador com *Windows* e depois, usá-lo num sistema operacional com TCP/IP com porta *Ethernet* como Mac ou Linux.

*-Quantas pessoas podem operar o HL300E HomePlug Ethernet Adapter numa residência?*

Teoricamente 253 conexões são possíveis. Mas na prática, não mais que dez dispositivos deveriam transferir dados ao mesmo tempo.

## **--Segurança**

*-Pode meu vizinho ter acesso aos meus dados se ele está conectado na mesma alimentação de energia?*

O ruído elétrico da sua residência representa uma barreira natural para o seu vizinho. Entretanto, se você tiver gato é possível que o seu vizinho se beneficie involuntariamente da fase de engate. É recomendável fortemente para que você utilize a criptografia interna do dispositivo! Utilizando o *Configuration Utility* para modificar a senha da rede, quando a senha for diferente da senha padrão que veio da fábrica a criptografia será ativada.

*-Quão seguro é meu dado? É possível tapá-los de alguma forma?*

Nós recomendamos fortemente para que você utilize a criptografia interna do dispositivo! Utilizando o *Configuration Utility* para modificar a senha da rede, quando a senha for diferente da senha padrão que veio da fábrica a criptografia será ativada.

## **--Técnico**

-Na minha residência existem três fases separadas. Pode o HL300E HomePlug Ethernet Adaptor conectar uma fase na outra?

Sim, ele pode. O residenciamento de fases opera sem a instalação de um acoplador de fases utilizando o HL300E *HomePlug Ethernet Adaptor*. Você pode também estabelecer suas conexões de rede via duas ou três fases.

*-Estou morando numa residência muito velha com antiga fiação. O HL300E HomePlug Ethernet Adaptor opera sem problemas?*

HL300E *HomePlug Ethernet Adaptor* operará corretamente neste caso.

*-Posso plugar o HL300E HomePlug Ethernet Adaptor numa extensão ou em um benjamin ou eu tenho que plugar ele diretamente na tomada da parede?*

Sim, você pode plugar o HL300E *HomePlug Ethernet Adaptor* numa extensão ou em um benjamin.

*-Tenho que me preocupar com um choque elétrico pela Ethernet?*

Não, você não tem. Os dois circuitos elétricos são separados um do outro.

*-Em quais frequências opera o HL300E HomePlug Ethernet Adaptor? Sua tecnologia interfere na recepção de rádio ou rádio amador?*

Tipicamente hoje a recepção de rádio (FM) fica entre 87.2 até 108MHz. As frequências usadas pelo HL300E HomePlug Ethernet Adaptor estão no intervalo de 4MHz até 21MHz portando eles não podem interferir na sua recepção de rádio. Uma pequena parte da interferência do rádio amador é transmitido para os fios elétricos, conseqüentemente não é uma interferência não aguardada.

*-São as taxas de transmissão tão elevadas quanto as taxas da conexão DSL convencional?*

A banda do HL300E HomePlug Ethernet Adaptor depende na interferência do seu cabeamento elétrico e a qualidade da instalação elétrica. Varia de 5 Mbit até 14 Mbit. Isto é suficiente para estender a conexão DSL para todos os quartos da residência.