



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

Trabalho da Disciplina Projeto

Título:

**Avaliação da Transmissão do Canal de Interatividade da TV Digital
em Ambientes Não-residenciais utilizando PLC**

Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar

Aluno: Edson da Costa Pereira Filho

Campina Grande

Setembro 2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Edson da Costa Pereira Filho

Avaliação da Transmissão do Canal de Interatividade da TV Digital
em Ambientes Não-residenciais utilizando PLC

Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar

Campina Grande, 25 de setembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus. Aos meus pais, Edson e Gisélia e aos meu irmãos, pelo apoio para concluir este trabalho. À minha Esposa Melina, pela força, carinho e atenção durante toda essa jornada.

Ao professor Marcelo Sampaio de Alencar, pela orientação e oportunidade.

À Fabrício Braga Soares de Carvalho e aos Engenheiros Cléverson Fernandes, Eliezer Braz e Leonardo Lopes, pela colaboração na elaboração e realização dos testes práticos com o equipamento PLC.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	5
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 - MODELO OSI	6
2.2 – TECNOLOGIA PLC	12
3 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL	16
3.1 - INTRODUÇÃO	16
3.2 - MATERIAIS UTILIZADOS	16
3.3 - METODOLOGIA	17
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 - CONCLUSÃO	27
6 - BIBLIOGRAFIA.....	28

1 - INTRODUÇÃO

A comunidade acadêmica brasileira vem se dedicando, nos últimos anos, às pesquisas relativas à implantação da televisão digital no país. O objetivo é fornecer subsídios para a definição do sistema de TV Digital nacional, seja ele totalmente concebido de acordo com as características brasileiras ou baseado em um dos padrões em uso (americano, europeu ou japonês).

O novo padrão que o Brasil pretende desenvolver deve suportar interatividade. Com ela, a TV Digital passa pela convergência com outras tecnologias, como a Internet e o computador, sendo decisiva a alteração da forma e conteúdo da televisão atual. Programas interativos, comércio eletrônico, ensino à distância, seleção de programas exclusivos e navegação na Internet são alguns dos serviços que podem ser disponibilizados com a implantação da televisão digital.

Um dos temas mais instigantes que vem sendo estudado diz respeito ao canal de interatividade (ou canal de retorno), mais especificamente à transmissão da interatividade até os telespectadores e o seu caminho inverso (dos usuários para as emissoras). Nesse trabalho, apresentaremos e discutiremos resultados obtidos através de experimentos efetuados com relação a uma das tecnologias que podem ser aplicadas para implementação do canal de interatividade da Televisão Digital Brasileira, o uso de comunicações em linhas de distribuição (PLC - Power Line Communications).

Neste trabalho é desenvolvido um estudo do canal de retorno da televisão digital e é analisada uma proposta de transmissão do canal de interatividade, utilizando a tecnologia PLC. Foram realizados testes práticos, por meio de equipamentos PLC disponíveis comercialmente, em dois ambientes: escritórios, indústria. A intenção é traçar um panorama acerca da possibilidade de empregar tal técnica na transmissão do canal de retorno do padrão brasileiro de TV Digital, com a avaliação de diversos parâmetros da transmissão e sua adequação à realidade brasileira.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - MODELO OSI

OSI (Open Systems Interconnection), ou Interconexão de Sistemas Abertos, é um conjunto de padrões ISO relativo à comunicação de dados. Um sistema aberto é um sistema que não depende de uma arquitetura específica. Este padrão também é conhecido por "Camadas OSI".

2.1.1 - Propósito

Para facilitar o processo de padronização e obter interconectividade entre máquinas de diferentes sistemas operacionais, a Organização Internacional de Padronização (ISO - International Organization for Standardization) aprovou, no início dos anos 80, um modelo de referência para permitir a comunicação entre máquinas heterogêneas, denominado OSI (Open Systems Interconnection). Esse modelo serve de base para qualquer tipo de rede, seja de curta, média ou longa distância.

2.1.2 - Camadas

O modelo OSI é composto de 7 camadas, são elas: camada física, de enlace de dados, de rede, de transporte, de sessão, de apresentação e de aplicação. Na Figura 1 pode-se observar um paralelo entre as camadas do modelo OSI e uma simples comunicação por carta.

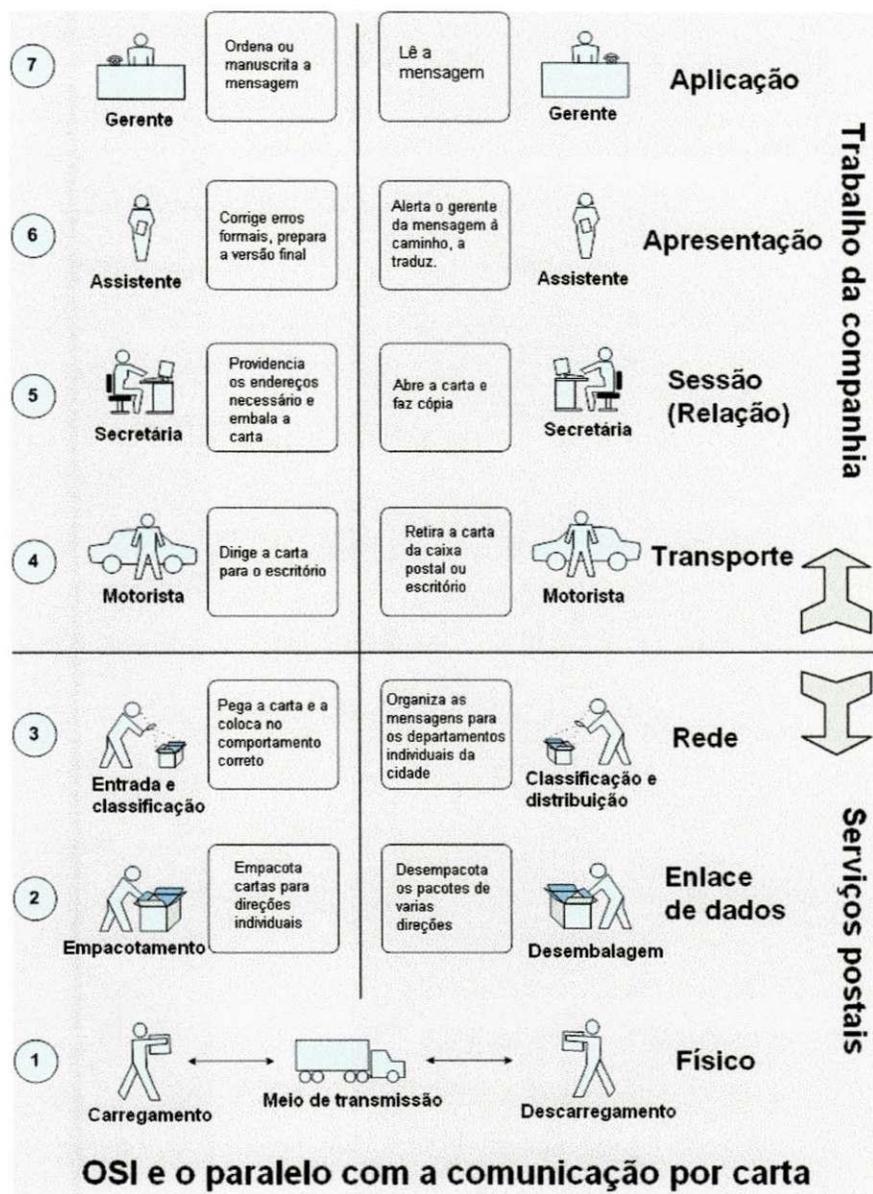


Figura 2.1 – Camadas do modelo OSI e paralelo com a comunicação por carta.

2.1.2.1 - Camada Física

Esta camada está diretamente ligada ao equipamento de cabeamento ou outro canal de comunicação, e é aquela que se comunica diretamente com o controlador da interface de rede. Preocupa-se, portanto, em permitir uma comunicação bastante simples e confiável, na maioria dos casos com controle de erros básico:

- Move bits (ou bytes, conforme a unidade de transmissão) através de um meio físico.
- Define as características elétricas e mecânicas do meio, taxa de transferência dos bits, voltagens, etc...
- Controle de acesso ao meio.(não pertence a camada física)
- Controle lógico de enlace. (não pertence a camada física).
- Confirmação e retransmissão de quadros.
- Controle da quantidade e velocidade de transmissão de informações na rede.

2.1.2.2 - Camada de ligação de dados

Esta camada também se designa por Camada de enlace de dados ou por Camada de link de dados.

- camada que detecta e, opcionalmente, corrige erros que possam acontecer no nível físico. Responsável pela transmissão e recepção (delimitação) de quadros e pelo controle de fluxo.
- Estabelece um protocolo de comunicação entre sistemas diretamente conectados. O endereçamento é físico, embutido na interface de rede.
- Exemplo de protocolos nesta camada: PPP, LAPB (do X.25), NetBios
- Também está inserida no modelo TCP/IP (apesar de TCP/IP não ser baseado nas especificações do modelo OSI)

2.1.2.3 - Camada de rede

A camada de Rede é responsável pelo endereçamento dos pacotes, convertendo endereços lógicos em endereços físicos, de forma que os pacotes consigam chegar corretamente ao destino. Essa camada também determina a rota que os pacotes irão seguir para atingir o destino, baseada em fatores como condições de tráfego da rede e prioridades.

Essa camada é usada quando a rede possui mais de um segmento e, com isso, há mais de um caminho para um pacote de dados trafegar da origem ao destino.

Encaminhamento, endereçamento, interconexão de redes, tratamento de erros, fragmentação de pacotes, controle de congestionamento e sequenciamento de pacotes são funções desta camada.

- Movimenta pacotes a partir de sua fonte original até seu destino através de um ou mais enlaces.
- Define como dispositivos de rede descobrem uns aos outros e como os pacotes são roteados até seu destino final.

2.1.2.4 - Camada de transporte

A camada de transporte é responsável por pegar os dados enviados pela camada de Sessão e dividi-los em pacotes que serão transmitidos pela rede, ou melhor dizendo, repassados para a camada de Rede. No receptor, a camada de Transporte é responsável por pegar os pacotes recebidos da camada de Rede e remontar o dado original para enviá-lo à camada de Sessão.

Isso inclui controle de fluxo (colocar os pacotes recebido em ordem, caso eles tenham chegado fora de ordem) e correção de erros, tipicamente enviando para o transmissor uma informação de recebimento (acknowledge), informando que o pacote foi recebido com sucesso.

A camada de Transporte separa as camadas de nível de aplicação (camadas 5 a 7) das camadas de nível físico (camadas de 1 a 3). As camadas de 1 a 3 estão preocupadas com a maneira com que os dados serão transmitidos pela rede. Já as camadas de 5 a 7 estão preocupadas com os dados contidos nos pacotes de dados, para serem enviados ou recebidos para a aplicação responsável pelos dados. A camada 4, Transporte, faz a ligação entre esses dois grupos. E determina a classe de serviço necessária como orientada a conexão e com controle de erro e serviço de confirmação, sem conexões e nem confiabilidade.

O objetivo final da camada de transporte é proporcionar serviço eficiente, confiável e de baixo custo aos seus usuários, normalmente entidades da camada de sessão. O hardware e/ou software dentro da camada de transporte e que faz o serviço é denominado entidade de transporte.

A entidade de transporte comunica-se com seus usuários através de primitivas de serviço trocadas em um ou mais TSAP, que são definidas de acordo com o tipo de serviço prestado: orientado ou não à conexão. Estas primitivas são transportadas pelas TPDU.

Na realidade, uma entidade de transporte poderia estar simultaneamente associada a vários TSA e NSAP. No caso de multiplexação, associada a vários TSAP e a um NSAP e no caso de splitting, associada a um TSAP e a vários NSAP.

A ISO define o protocolo de transporte para operar em dois modos:

- Orientado a conexão.
- Não-Orientado a conexão.

Como exemplo de protocolo orientado à conexão, temos o TCP, e de protocolo não orientado à conexão, temos o UDP. É óbvio que o protocolo de transporte não orientado à conexão é menos confiável. Ele não garante - entre outras coisas mais, a entrega das TPDU, nem tampouco a ordenação das mesmas. Entretanto, onde o serviço da camada de rede e das outras camadas inferiores é bastante confiável - como em redes locais, o protocolo de transporte não orientado à conexão pode ser utilizado, sem o overhead inerente a uma operação orientada à conexão. Fazendo-se um estudo sucinto, observa-se que o serviço de transporte baseado em conexões é semelhante ao serviço de rede baseado em conexões. O endereçamento e controle de fluxo também são semelhantes em ambas as camadas. Para completar, o serviço de transporte sem conexões também é muito semelhante ao serviço de rede sem conexões.

Constatado os fatos acima, surge a seguinte questão: "Por que termos duas camadas e não uma apenas?". A resposta é sutil, mas procede: A camada de rede é parte da sub-rede de comunicações e é executada pela concessionária que fornece o serviço (pelo menos para

as WAN). Quando a camada de rede não fornece um serviço confiável, a camada de transporte assume as responsabilidades; melhorando a qualidade do serviço.

2.1.2.5 - Camada de sessão

A camada de Sessão permite que duas aplicações em computadores diferentes estabeleçam uma sessão de comunicação. Nesta sessão, essas aplicações definem como será feita a transmissão de dados e coloca marcações nos dados que estão sendo transmitidos. Se porventura a rede falhar, os computadores reiniciam a transmissão dos dados a partir da última marcação recebida pelo computador receptor.

- Disponibiliza serviços como pontos de controle periódicos a partir dos quais a comunicação pode ser restabelecida em caso de pane na rede.

2.1.2.6 - Camada de apresentação

Esta camada provê independência nas representações de dados (por exemplo a criptografia) ao traduzir os dados do formato do aplicativo para o formato da rede e vice-versa. A camada de apresentação trabalha transformando os dados em um formato no qual a camada de aplicação possa aceitar. Esta camada formata e encripta os dados para serem transmitidos através da rede, evitando problemas de compatibilidade. Às vezes é chamada de camada de Tradução.

- Define como inteiros, mensagens de texto e outros dados são codificados e transmitidos na rede de computadores.
- Permite que computadores com arquitetura de hardware e Sistemas Operacionais diferentes troquem informação.

2.1.2.7 - Camada de aplicação

A camada de aplicação faz a interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que pediu ou receberá a informação através da rede. Por exemplo, ao solicitar a recepção de e-mails através do aplicativo de e-mail, este entrará em contato com a camada de Aplicação do protocolo de rede efetuando tal solicitação. Tudo nesta camada é

direcionada aos aplicativos. Telnet e FTP são exemplos de aplicativos de rede que existem inteiramente na camada de aplicação.

2.2 – TECNOLOGIA PLC

PLC (Power Line Communications) é a tecnologia que utiliza uma das redes mais utilizadas em todo o mundo: a rede de energia elétrica. A idéia desta tecnologia não é nova, entretanto apenas agora com novos equipamentos de conectividade a tecnologia está sendo avaliada por algumas empresas. Ela consiste em transmitir dados e voz em banda larga pela rede de energia elétrica. Utilizando uma infra-estrutura já disponível, não necessita de obras em uma edificação para ser implantada.

2.2.1 - Arquitetura

A tecnologia PLC trabalha na camada 2 do modelo ISO/OSI, ou seja na camada de Enlace. Sendo assim, pode ser agregada a uma rede TCP/IP (camada 3) já existente, além de poder trabalhar em conjunto com outras tecnologias de camada 2.

Existem várias técnicas de modulação/demodulação que podem ser utilizadas para esta finalidade.

2.2.2 - Tipos de PLC

Existem dois tipos diferentes de PLC. O primeiro é o tipo "*Exterior*", onde a transmissão é feita através da rede pública de energia elétrica e compreende as Médias (10 a 30 kV) e Altas Tensões (110 a 380 kV). O segundo é o tipo "*Interior*", onde a transmissão é feita através da rede elétrica interna de uma edificação e compreende as Baixas Tensões (110/220/380 V).

2.2.3 - Tipos de Transmissão

Podem-se considerar dois tipos de transmissão de dados:

- "*Banda estreita*", utilizada normalmente para transferir dados de controle e comando de equipamentos.
- "*Banda Larga*", utilizada para transferir e importar serviços de banda larga da Internet, como transferência de dados para reprodução de vídeos.

A Banda Larga PLC foi desenvolvida na década de 90 no evoluir da tecnologia da banda estreita, já utilizada anteriormente, porém o processo de desenvolvimento das soluções de interior acelerou a partir do ano de 2000 com a criação da "**HomePlugTM Powerline Alliance**" nos E.U.A.

2.2.4 - PLC tipo Interior

As soluções PLC de Interior, baseiam-se, principalmente, na especificação "HomePlug" e são inter-operativas. A grande vantagem desta tecnologia é a utilização da instalação elétrica existente, sendo portanto, adequada a sua aplicação em edificações como apartamentos e prédios. O acesso à rede elétrica é feito através das tomadas elétricas. Assim, o PLC torna possível a interface entre os diferentes equipamentos usando as tomadas domésticas, permitindo ao utilizador criar uma rede entre vários equipamentos e o acesso à Internet de banda larga, o que é, hoje em dia, o meio mais utilizado para troca de informação. O padrão "HomePlug" usa uma modulação designada OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) baseada na emissão simultânea em "n" bandas de frequência (situadas entre 2 e 30 MHz) com "N data" transportada em cada banda. O protocolo de acesso para esta transmissão é o CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) que permite um efetivo e robusto diálogo na rede.

Presentemente, a única especificação oficial "standard" no mercado é a HomePlug V1.0.1. O fluxo obtido usando a tecnologia "HomePlug" sobre a instalação elétrica existente é de, aproximadamente, 14Mbps. O fluxo real disponível anda à volta de 6 a 7Mbps que pode ser partilhado entre 15 diferentes potenciais utilizadores.

2.2.5 - Vantagens e Desvantagens

A comunicação por linhas de transmissão ou distribuição tem as seguintes vantagens e desvantagens:

2.2.5.1 - Vantagens

- Trata-se de uma rede de comunicações independente, em que a infra-estrutura de cabos elétricos existente pode ser utilizada para a transmissão de dados;
- As redes elétricas de alta e média tensão cobrem grandes distâncias;
- A cobertura geográfica da rede de baixa tensão em regiões habitadas é bem abrangente, facilitando o acesso quase universal à rede;
- Não necessita de fios adicionais e pode prover acesso com fidelidade para aplicações com praticamente 100% de cobertura em uma residência ou escritório, por exemplo;
- Cada tomada elétrica torna-se um ponto de acesso à rede PLC. Assim, não é necessário ter o computador junto a uma tomada telefônica para obter os serviços de banda larga;
- Os produtos PLC estão bem adaptados ao "Plug & Play", porquanto permitem uma utilização simples, rápida e robusta;
- A tecnologia PLC permite a difusão das três aplicações-chave na mesma rede: voz (telefone IP), dados (computador) e imagens (vídeo);
- O acesso à banda larga da Internet pode ser compartilhado por vários utilizadores ao mesmo tempo;
- Computador e Equipamento Multimídia podem estar ligados na mesma rede;
- É possível expandir uma existente rede de cabo Ethernet ligando-a a uma rede PLC.

- Todos os dados transmitidos através da rede estão protegidos por uma chave de cifragem DES de 56 bits.

2.2.5.1 – Desvantagens

- A tecnologia PLC é muito susceptível a interferências provenientes de ruídos gerados por equipamentos como motores de escova, “dimmers” de luz, fontes chaveadas e resistências elétricas;
- Não é possível a conexão do PLC a rede elétrica através de equipamentos bloqueadores de frequência (filtros de linha), equipamentos isoladores (estabilizadores) ou que sejam alimentados por fontes chaveadas (“no-breaks”);
- Características como impedância, atenuação e frequência podem variar drasticamente de um momento para o outro, à medida que luzes ou aparelhos conectados à rede são ligados ou desligados.
- Com relação a transmissões de longas distâncias, os transformadores de distribuição são verdadeiras barreiras para a transferência de dados. Apesar de permitirem a passagem de corrente alternada a 50 Hz ou 60 Hz com quase 100% de eficiência, os transformadores atenuam seriamente outros sinais de maior frequência.
- Repetidores devem ser instalados para compensar as perdas nos cabos, bem como, concentradores nos transformadores de distribuição, gerando custos adicionais;
- O PLC é uma mídia compartilhada e estruturada de modo paralelo. Assim, todas as casas conectadas numa mesma subestação local estarão compartilhando a largura de banda disponível.

3 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo enunciar os procedimentos experimentais utilizados na obtenção dos resultados. Os testes foram realizados em uma instalação de escritório e em uma indústria. No escritório existe nove computadores, um plotter, uma impressora laser, duas impressoras jato de tinta e dois aparelhos de ar condicionado, todos eles ligados através de uma rede elétrica monofásica. Na industrial existe dois computadores, um motor monofásico de 0,5CV e um motor trifásico de 3CV.

3.2 - MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados neste trabalho:

- Dois Computadores do tipo Notebooks, com interface de rede, Ethernet 10/100Mbps;
- Dois cabos de redes tipo par transado, com conectores RJ-45 na configuração Straight-Through;
- Dois PLC's disponíveis comercialmente (cerca de 80 dólares o par), da marca Asoka™ USA Corporation (ASOKA, 2006), com as seguintes características: taxa de transmissão máxima de 14 Mbps, protocolo TCP/IP, interface Ethernet, bivolt (110 V ou 220 V), faixa de frequência entre 4,5 e 21 MHz, alcance máximo de 500 m. O equipamento dispõe de técnicas de correção e detecção de erro de dados e de um algoritmo de criptografia DES de 56 bits¹. Vem acompanhado do software Asoka™ PlugLink™ Wall Mount, que fornece a taxa de transmissão em tempo real. A Figura 4.1 apresenta o equipamento utilizado nos testes.

¹ Data Encryption Standard (DES) é uma chave simétrica de criptografia, que emprega chaves de 56 bits (LEON-GARCIA; WIDJAJA, 2000).

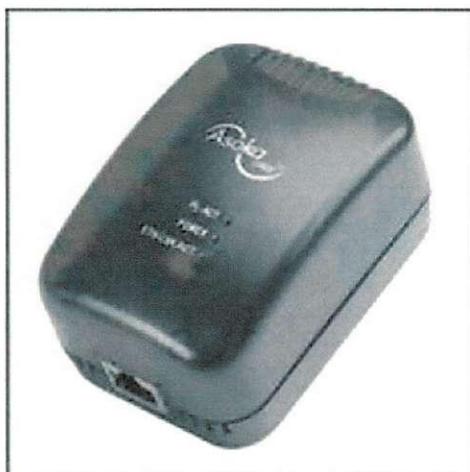


Figura 3.1: Terminal PLC utilizado nos testes (ASOKA, 2006).

3.3 - METODOLOGIA

A cada local analisado, inicialmente fez-se um levantamento das tomadas que poderiam ser utilizadas sem comprometer a conexão dos equipamentos na rede elétrica, visando a realização do teste com cargas sem transtornos. Em seguida, determinou-se a maior distância entre duas tomadas, de modo que em umas delas foi definida a conexão com o computador principal.

Foram utilizados dois computadores, um interligado a rede elétrica através de um terminal original, e outro através de um secundário, com o intuito de promover transferências de dados entre os mesmos, medindo e registrando taxas de transmissão. O terminal original ficou fixo durante todo ensaio, já o terminal secundário teve sua conexão com a rede elétrica feita em diversas tomadas. Ao mudarmos a posição do terminal secundário variamos parâmetros do canal (rede elétrica) como: distância da rede entre os dois dispositivos PLC, impedância do canal, nível de ruído, etc.

Os testes foram feitos de duas formas, sem carga alguma associada à rede elétrica, exceto equipamentos cujo desligamento seria inviável no ponto de vista funcional do local, e com carga, em que foram ligados o máximo de equipamentos possíveis através da rede elétrica local.

A intenção é obter uma análise da possível transmissão do canal de retorno da televisão digital no maior número possível de ambientes, para avaliar mais adequadamente a tecnologia PLC nesta aplicação. Em cada ambiente testado, foram escolhidas seis

tomadas. Todos esses cenários de medição se situam na cidade de Campina Grande, cuja tensão é 220 V.

Os seguintes testes foram realizados nos ambientes citados:

- Alcance: deseja-se medir a variação da transmissão com a distância; para tanto, conecta-se o cabo de rede em um dos terminais do PLC, e este é ligado a uma tomada. Então, conecta-se o outro terminal PLC em uma tomada que esteja situada a uma determinada distância do terminal original. E a distância entre eles é aumentada gradualmente, com o intuito de medir o alcance do equipamento. Deve-se salientar que, em virtude da dificuldade de se obter os diagramas elétricos de todos os ambientes testados, a distância considerada diz respeito à distância física entre o transmissor e o receptor, e não ao comprimento dos fios que interligam a rede elétrica dos locais de teste;
- Taxa de transmissão: almeja-se medir a taxa média de transmissão no canal; para isto, utiliza-se o software que acompanha o equipamento, e que fornece em tempo real a taxa de transmissão. Segue-se, então, o mesmo procedimento descrito anteriormente: variando a distância entre os terminais, mede-se a respectiva taxa de transmissão;
- Perda de desempenho: a partir dos valores obtidos nos dois itens anteriores, pode-se analisar a perda de desempenho, qual seja o decaimento da taxa de transmissão em função da distância;
- Testes de transmissão de dados: foram realizados testes de transmissão de pacotes, que consistiram na transmissão de pacotes de tamanho variável. O objetivo é medir o tempo médio de atraso na transmissão de dados, para fazer uma simulação da transmissão real do canal de retorno;
- Teste de carregamento do sistema: a partir dos procedimentos empregados para a medição da taxa de transmissão, conectam-se diversos equipamentos à rede elétrica, de forma a se avaliar o comportamento da taxa de transferência do sinal nestas circunstâncias;

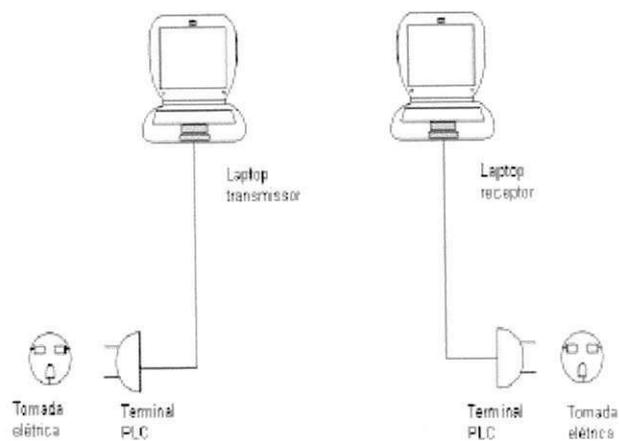


Figura 3.2 – Ilustração da conexão dos equipamentos utilizados nos testes.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem por objetivo enunciar os resultados obtidos nos testes realizados em uma instalação de escritório e em uma indústria. No escritório existe nove computadores, um plotter, uma impressora laser, duas impressoras jato de tinta e dois aparelhos de ar condicionado, todos eles ligados através de uma rede elétrica monofásica. Na industrial existe dois computadores, um motor monofásico de 0,5CV e um motor trifásico de 3CV.

Os resultados dos testes realizados no escritório e no galpão industrial são apresentados na seqüência. Decidiu-se analisá-los conjuntamente, pelo fato de serem ambientes não-residenciais e apresentarem características semelhantes. A Figura 4.1 ilustra o decaimento da taxa de transmissão do equipamento PLC com o aumento da distância nesses ambientes.

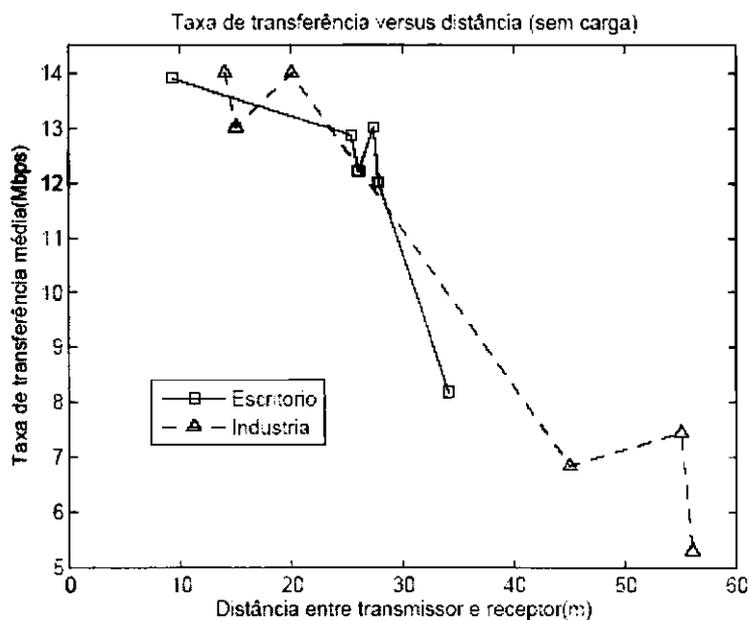


Figura 4.1-Taxa de transferência em função da distância em ambientes não-residenciais sem carga.

Analisando a Figura 4.1, verifica-se que a taxa na indústria apresentou maior queda, fato plenamente justificável pela maior dimensão da área do galpão. Nota-se que a queda na transmissão assemelha-se às curvas obtidas nos ambientes residenciais.

A Figura 4.2 apresenta o comportamento da taxa de transferência quando as cargas elétricas dos ambientes são conectadas.

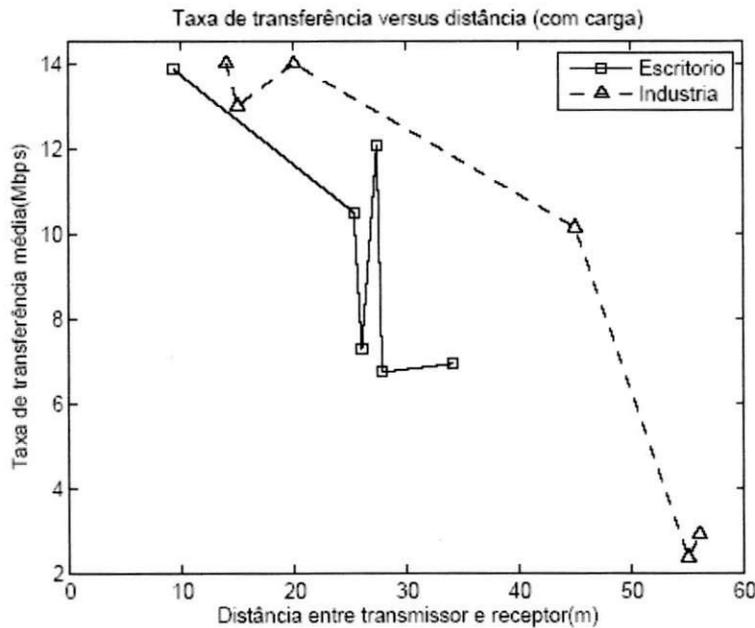


Figura 4.2- Taxa de transferência em função da distância em ambientes não-residenciais com carga.

Na Figura 4.2 observa-se um decaimento na taxa em função da distância, conforme esperado pela tecnologia PLC. Deve-se salientar, a necessidade de um fornecimento contínuo e estável de energia elétrica para uma produção adequada e contínua em ambientes industriais. Verifica-se que, quando todas as cargas estão conectadas e a distância é máxima, no galpão industrial, a taxa cai para cerca de 2 Mbps, patamar ainda razoável para aplicações com PLC.

A Figura 4.3 ilustra o envio de pacotes de dados por meio da rede elétrica e a variação na taxa de transferência, nos ambientes não-residenciais. Observa-se que quando o comprimento dos pacotes aumenta, a taxa de transferência em Mbps se estabiliza.

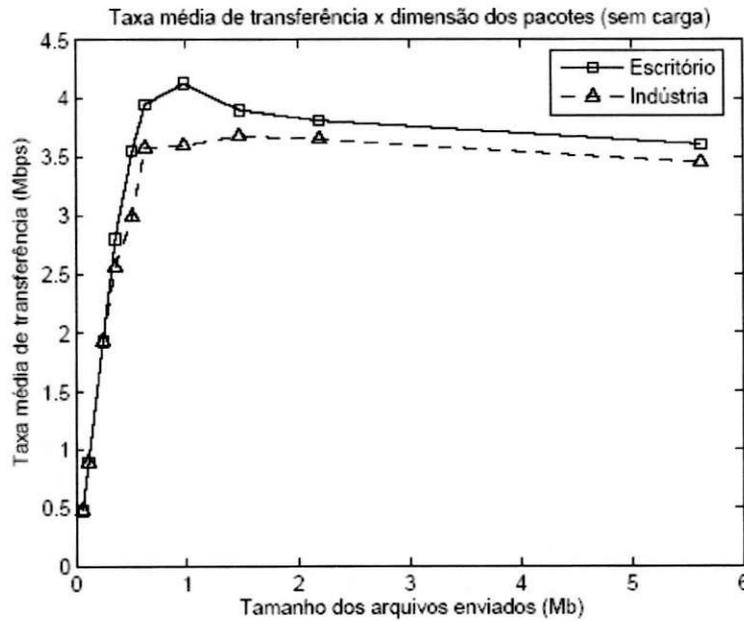


Figura 4.3- Taxa de transferência em função da dimensão dos pacotes em ambientes não-residenciais sem carga.

O comportamento das curvas, quando é analisada a taxa de transferência em função do tamanho dos arquivos enviados, ao conectar as cargas desses ambientes, é mostrado na Figura 4.4.

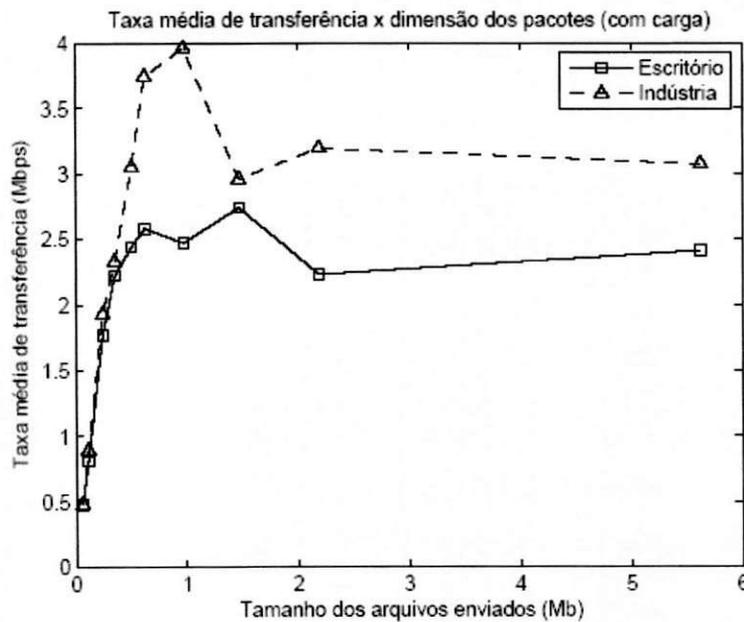


Figura 4.4- Taxa de transferência em função da dimensão dos pacotes em ambientes não-residenciais com carga.

Nota-se que as curvas se assemelham às da situação sem carga, com uma diminuição nos valores das taxas de transmissão.

No caso dos testes de carregamento nos ambientes não-residenciais, como se tratam de ambientes com características diferentes, optou-se pela apresentação dos resultados isoladamente para cada ambiente. A Figura 4.5 apresenta a comparação entre as duas situações (cargas desligadas e cargas ligadas) para as seis tomadas testadas no galpão industrial. Os equipamentos conectados à rede elétrica consistiram em motores monofásicos e trifásicos, computadores, aparelhos de ar condicionado e equipamentos industriais. Três tomadas não apresentaram variação na taxa de transmissão, enquanto que outra indicou uma taxa discrepante, com uma taxa mais elevada na situação de carregamento.

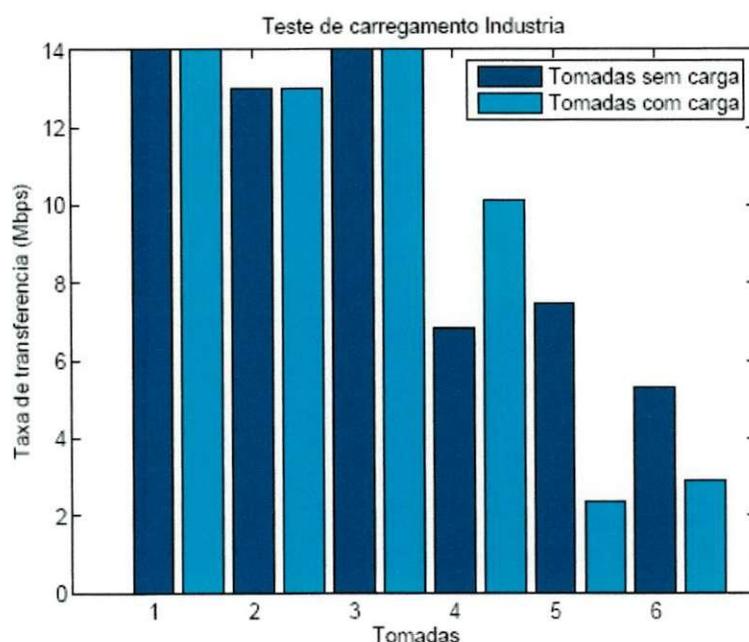


Figura 4.5- Teste de carregamento na indústria.

A Figura 4.6 mostra o resultado dos testes de carregamento nas diversas tomadas do ambiente de escritório. Todos os resultados condizem com o esperado: a taxa de transmissão na situação com cargas é sempre menor que na situação sem carregamento do sistema.

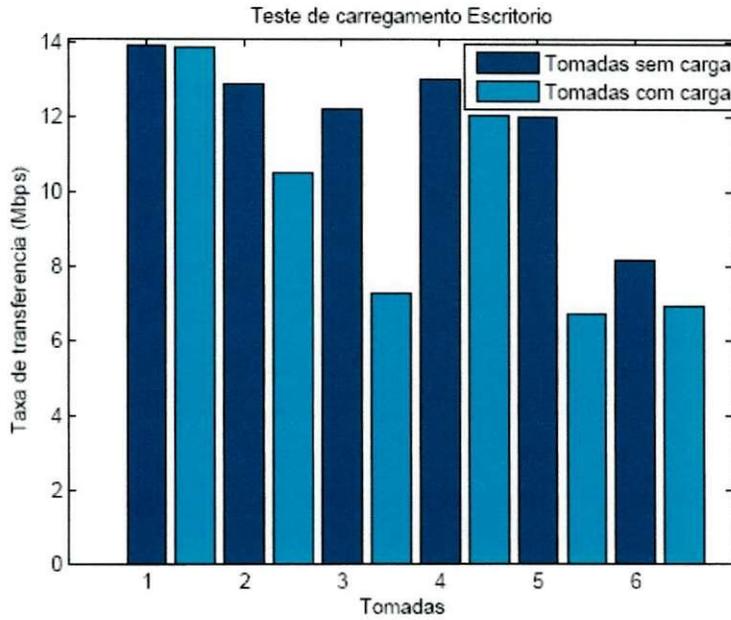


Figura 4.6: Teste de carregamento no escritório.

Os testes com vídeo foram executados nos dois ambientes. Observando a variação da taxa de transmissão do vídeo em função do aumento da distância entre o transmissor e o receptor, na situação sem cargas, o ambiente industrial apresentou um resultado constante, sem variações; no escritório, a variação foi um pouco maior, conforme se observa a partir da Figura 4.7.

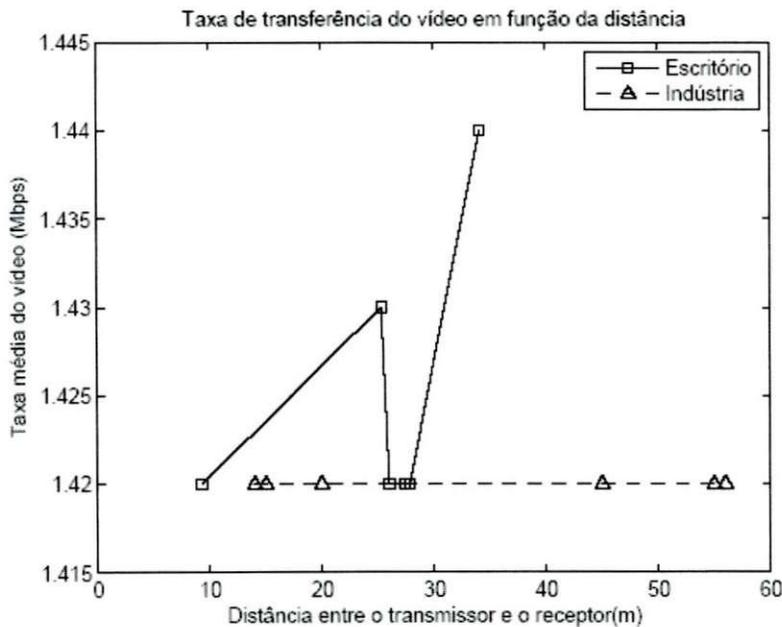


Figura 4.7: Testes com vídeo em ambientes não-residenciais sem carga.

Quando da realização dos testes com vídeo, ao se conectarem as cargas elétricas desses ambientes, o decaimento da taxa de transmissão em função da distância foi mais irregular no ambiente de escritório, apresentando uma pequena variação, de cerca de 100 kbps. O decaimento observado na indústria ficou mais próximo do esperado.

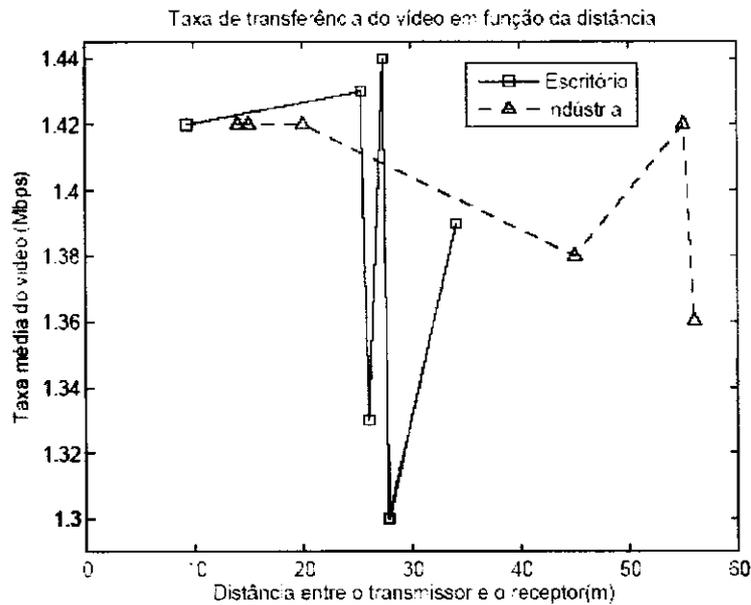


Figura 4.8: Testes com vídeo em ambientes não-residenciais com carga.

Os testes no escritório de engenharia e no galpão industrial apresentaram resultados semelhantes. Como a indústria possui grandes cargas elétricas trabalhando ininterruptamente, sua alimentação é trifásica, devido às exigências dos equipamentos empregados e pela necessidade de maior estabilidade no fornecimento de energia. O escritório estudado também possui equipamentos de médio porte (como plotters e scanners), porém sua alimentação não é trifásica. Em contrapartida, apresenta diversos disjuntores e circuitos específicos para as tomadas elétricas, para os aparelhos de ar condicionado e para os computadores.

Em seguida, apresenta-se o resultado da avaliação subjetiva a respeito da qualidade da transmissão do vídeo. A partir da análise subjetiva proposta na Tabela 4.1 observa-se o resultado apresentado na Tabela 4.2. Como os resultados foram os mesmos para os dois ambientes não-residenciais (apresentando boa qualidade em todas as tomadas, com e sem cargas elétricas conectadas à rede), a Tabela 4.2 condensa os resultados para o escritório e para a indústria.

Tabela 4.1: Qualidade dos testes com vídeo.

Qualidade do vídeo	Legenda	MOS
Boa	Sem falhas na reprodução do vídeo	3
Intermediária	Reprodução com ocorrência de algumas falhas, de curta duração	2
Ruim	Falhas constantes na reprodução, impossibilitando uma exibição adequada do vídeo	1
Sem sinal	Não há reprodução do vídeo	0

Tabela 4.2: Qualidade do vídeo - Escritório e indústria.

Tomada	MOS (sem cargas)	MOS (com cargas)
1	3	3
2	3	3
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	3	3

Por fim, foi realizado um teste na indústria, com o objetivo de verificar se as linhas trifásicas impedem a transmissão do sinal de dados PLC, ou seja, se a transmissão entre fases distintas bloqueia o envio de sinais de dados por meio da rede elétrica. A partir de outros experimentos, imaginava-se que o PLC não suportava o envio de dados por meio de fases diferentes em ambientes com alimentação trifásica, sendo adequado apenas para ambientes com tensão monofásica (CARVALHO et al., 2005). Porém, a partir da utilização das fases disponíveis para a alimentação de motores trifásicos, observou-se que não há empecilhos à transmissão PLC entre fases distintas.

5 - CONCLUSÃO

Os resultados dos testes de medição da taxa de transferência e de perda de desempenho em função da distância corroboram as especificações técnicas do fabricante do equipamento (ASOKA, 2006) e, de maneira geral, a fundamentação teórica de Power Line Communications, em que, à medida que aumenta a distância entre os terminais PLC, o valor da taxa de transmissão entre eles diminui. O equipamento utilizado promete fornecer uma taxa adequada dentro de um raio máximo de até 500 metros. Vale ressaltar que há equipamentos mais avançados do mesmo fabricante e de diversas outras companhias (INTELPRIMA,2006), (OPERA,2006), (HOMEPLUG,2006), (PLCFORUM, 2006); enquanto o aparelho empregado nos testes disponibiliza até 14 Mbps, outros mais modernos fornecem uma taxa de até 205 Mbps (ASCOM, 2006).

A partir do exposto, infere-se que o equipamento PLC testado está em conformidade com a sua proposta primordial de utilização: o fornecimento de altas taxas de dados dentro dos ambientes - ou, empregando a terminologia em inglês, o “last inch access” (acesso no interior dos ambientes) (FERREIRA et al., 1996),(MAJUMDER; CAFFREY, 2004). E, assim, é adequado à transmissão do canal de interatividade da TV Digital em pequenos e médios ambientes caseiros.

6 - BIBLIOGRAFIA

http://www.projetoderedes.com.br/tutoriais/tutorial_redes_plc_01.php

http://pt.wikipedia.org/wiki/Power_Line_Communication

ASCOM. Disponível em <http://www.ascom.com>, acessado em Fevereiro, 2006.

ASOKA. Disponível em <http://www.asokausa.com>, acessado em Fevereiro, 2006.

CARVALHO, F. B. S.; ALENCAR, M. S. Análise da transmissão do canal de retorno do Sistema Brasileiro de TV Digital via Power Line Communications. III Fórum de Oportunidades em Televisão Digital Interativa - TVDI 2005, PUC Minas, Poços de Caldas-MG, Maio, 2005.

CARVALHO, F. B. S.; ALENCAR, M. S. Proposta de utilização da Telefonia Celular de 3ª geração (UMTS) na Transmissão do Canal de Retorno da TV Digital. 4th International Information and Telecommunication Technologies Symposium - I2TS'2005, Florianópolis-SC, Dezembro, 2005.

CARVALHO, F. B. S.; CASTRO, E. R. S.; BRAZ, E. F.; ALENCAR, M. S. Avaliação da Qualidade da Transmissão para o Canal de Interatividade da TV Digital utilizando Power Line Communications. XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBrT'05, p. 1153_1158, Campinas-SP, Setembro, 2005.

FERREIRA, H. C.; GROVÉ, H. M.; HOOIJEN, O.; VINCK, A. J. H. Power Line Communications: An Overview. IEEE AFRICON 4th, v. 2, p. 558_563, September 1996.

HOMEPLUG. Disponível em <http://www.homeplug.org>, acessado em Fevereiro, 2006.

INTELPRIMA. PLC: Comunicação através da rede eléctrica. Disponível em <http://www.intelprima.com/produtos/plc/nplc.htm>, acessado em Fevereiro, 2006.

MAJUMDER, A.; CAFFREY, J. Power Line Communications: An Overview. IEEE Potentials, v. 23, p. 4_13, October/November 2004.

OPERA. Open PLC European Research Alliance. Disponível em <http://www.ist-opera.com>, acessado em Fevereiro, 2006.

PLCFORUM. Disponível em <http://www.plcforum.org>, acessado em Fevereiro, 2006.