

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DA VAZÃO DE UMA REDE LOCAL DE COMPUTADORES HOMEPLUG 1.0

Antonio Luiz Pereira de Siqueira Campos

Doutor em Engenharia Elétrica. Professor do CEFET-RN. Pesquisador do CNPq-Nível 2.

antonioluiz@cefetrn.br

Lincoln Machado de Araújo

Graduando em Engenharia de Computação da Universidade Potiguar.

preslincoln@gmail.com

Ricardo César de Oliveira Moreira

Graduando em Engenharia de Computação da Universidade Potiguar.

rilco.eng@gmail.com

RESUMO

Este estudo teórico e experimental teve por objetivo analisar o desempenho de uma rede de computadores, que utiliza o padrão Homeplug 1.0, no que diz respeito à taxa de transmissão de dados. Nesse trabalho, são estudadas as camadas: física e de enlace; do padrão Homeplug 1.0. Além disso, é analisado o parâmetro de desempenho de redes, a taxa de transmissão de dados, através de inúmeras transmissões. Para isso, foi utilizado o programa computacional de gerenciamento de redes, o SNMP 7.0 da Castle Rock. Foram consideradas diversas situações de transmissão, bem como diferentes horários.

PALAVRAS-CHAVE: Homeplug 1.0, Taxa de transmissão, Rede de Computadores, SNMP.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE THROUGHPUT OF A HOMEPLUG 1.0 LOCAL COMPUTER NETWORK

ABSTRACT

This theoretical and experimental study had for objective to analyze the performance of a computer network that uses the standard Homeplug 1.0, with focus on the data transmission. In this work, the physical and logical layers of the standard Homeplug 1.0 are studied. Moreover, the parameter of network performance, the transmission rate is analyzed, through several transmissions. For this, network management software, the SNMP 7.0 of the Castle Rock, was used. Several situations of transmission had been considered, as well as different times.

KEY-WORDS: Homeplug 1.0, Throughput, Computer network, SNMP.

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE UMA REDE DE COMPUTADORES HOMEPLUG 1.0

INTRODUÇÃO

A conexão à Internet em banda larga para usuários residenciais, atualmente, está disponível por meio de modem de TV a cabo e dispositivos DSL. Entretanto, há uma necessidade crescente de compartilhar esse link em redes domésticas, que suportam uma grande faixa de serviços de comunicação de dados e multimídia. Enquanto, geralmente, se usa um hub e uma pequena rede 10/100 Base-T para se ligar diversos computadores em uma única sala ou em um pequeno escritório, é mais complicado fornecer conexões de rede em diversos cômodos de uma casa típica. Uma opção óbvia é cabear a casa com cabos de rede do tipo par trançado UTP CAT-5E. Isso é uma solução cara, principalmente em casas já construídas sem tubulação para esse tipo de cabeamento.

O emprego de uma rede LAN sem fio (*wireless*) com modem's *wireless* em cada dispositivo conectando-se a um ou mais *hubs wireless* (redes infraestruturadas) ou conectando-se uns aos outros (redes ad hoc) se configura como uma outra alternativa. A opção *wireless* é viável, especialmente para um pequeno número de dispositivos, seja em uma residência ou em um escritório; e há diversas marcas de equipamentos *wireless*, principalmente os baseados no padrão IEEE 802.11b ou 802.11g. Infelizmente, para se cobrir uma residência inteira com uma rede *wireless* infraestruturada, é necessário o uso de certa quantidade de dispositivos.

Uma terceira solução é utilizar a rede elétrica existente como canal de comunicação, presente em todos os cômodos de uma casa. Uma coalizão de fabricantes formou a *HomePlug Powerline Alliance*, e estabeleceram um novo protocolo, o HomePlug 1.0 que permite a implementação de uma rede Ethernet sobre a rede elétrica existente. Desse modo, a tomada, que é normalmente usada para fornecer energia elétrica, seria utilizada para fornecer um ponto de conexão a altas taxas de transmissão para comunicação de dados (FERREIRA, 1996).

A tecnologia Homeplug 1.0 não trata de propagação de sinais *outdoor* (fora dos prédios). Para isso, existe a tecnologia BPL, que vem sendo usada em larga escala nos Estados Unidos, com mais de 250.000 clientes. Essa tecnologia usa pontes para ultrapassar os transformadores, que agem como filtros passa-baixa; e como repetidores, para regenerar o sinal (HRASNICA, 2004). Um outro padrão criado pela Homeplug Power Alliance é o Homeplug AV, que trata da transmissão de áudio e vídeo pela rede elétrica (AFKHAMIE, 2005).

Estudos sobre as características do meio elétrico para a transmissão de dados, ruídos e técnicas empregadas na comunicação pela rede elétrica foram desenvolvidos por (BIGLIERI, 2003) e (PAVLIDOU, 2003). A maioria dos trabalhos que aborda o HomePlug limita-se a fazer testes de desempenho do protocolo. Dentre esses trabalhos, alguns fazem testes comparativos entre a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) do Homeplug com a do IEEE 802.11 (LIN, 2003) e (LEE, 2002).

Este trabalho tem por objetivo analisar o desempenho de uma rede *powerline* em um ambiente com altos níveis de ruídos elétricos, visando sua aplicação em ambientes

industriais, complementando as avaliações encontradas na literatura, objetivando o estudo do padrão HomePlug 1.0 no que diz respeito ao seu desempenho e não à sua descrição.

Para isso, foi montada uma rede HomePlug 1.0, com quatro máquinas e diversas transmissões foram efetuadas. Para levantamento da taxa de transmissão foi utilizado o programa computacional de gerenciamento de redes SNMP 7.0, da *Castle Rock*.

ESTADO DA ARTE

Diversas experiências já foram realizadas no Brasil, no sentido de se avaliar as potencialidades da tecnologia PLC (*Powerline Communication*) para transmissão de voz e dados pela rede elétrica. As concessionárias: Eletropaulo (São Paulo, SP), CELG (Goiânia, GO), CEMIG (Belo Horizonte, MG), COPEL (Curitiba, PR) e Light (Rio de Janeiro, RJ), fizeram experiências piloto, todas com sucesso (VIDAL, 2006).

Em 2004 a FITec Inovações Tecnológicas, em conjunto com a CELG, Eletropaulo e APTEL (Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações), também desenvolveu várias experiências com sucesso, incluindo serviços de acesso à Internet e transmissão de dados e vídeo (FITEC, 2006).

A experiência mais recente, ainda em operação, denominada Projeto Barreirinhas, consistiu na implantação de uma “Ilha Digital”, na pequena localidade de Barreirinhas (MA), interligando escolas, prefeitura, postos de saúde e centro de artesanato à Internet, utilizando a rede elétrica como *backbone*, através da tecnologia PLC (FORUMPLC, 2006).

A FITec, juntamente com a APTEL, tem trabalhado intensamente, objetivando criar esta oportunidade para o país. Recentemente coordenou proposta de parceria com a Comunidade Européia, colocando o Brasil como o único país fora da Comunidade Européia para integrar o projeto OPERA (*Open PLC European Research Alliance*), projeto no âmbito do programa *Broadband for all*, das Tecnologias para a Sociedade de Informação (IST) das atividades de pesquisa da Comunidade Européia (FITEC, 2006).

Os fatos acima, o grande número de atividades e experiências em andamento em todo o mundo, inclusive no Brasil, com a tecnologia PLC, os resultados já obtidos com esta tecnologia, as potencialidades da rede PLC para novos serviços permitem a inclusão da tecnologia PLC dentre aquelas com mais amplas possibilidades de revolucionar as comunicações e a inclusão digital brasileira, em futuro muito próximo, a conferir.

ESPECIFICAÇÕES DA CAMADA FÍSICA

A camada física usa uma técnica adaptativa de multiplexação por divisão de frequências ortogonais (OFDM) com prefixo cíclico (*Cyclic Prefix* – CP). O HomePlug usa OFDM em uma banda de 4,49MHz a 20,7MHz. A banda de 0 a 25MHz é dividida em 128 portadoras igualmente espaçadas, das quais 84 são usadas (subportadoras 23 a 106). Dessas 84, oito portadoras são descartadas para evitar interferência em serviços de comunicações de radioamador (CAMPISTA, 2004). Essa técnica avançada permite o uso de diferentes tipos de esquemas de codificação e modulação para cada subportadora. Os códigos *Reed-Solomon* e

de erros convolucionais são usados para correção de erro (Wicker, 1995). Três variações da técnica de modulação por chaveamento de fase (*Phase Shift Keying* - PSK) são usadas: a PSK binária coerente (BPSK), a BPSK diferencial (DBPSK) e a PSK de quadratura diferencial (DQPSK) (LEE, 2002). Em cada caso a técnica adapta a largura de banda e a taxa de dados de acordo com as condições do canal. A taxa de transmissão pode variar de 1Mbps a 14Mbps. Os nós ativos estimam as condições do canal, no mínimo, a cada 5s. Isso permite a maximização da adaptação da taxa de transmissão (PAVLIDOU, 2003).

A Figura 1 ilustra um quadro longo da camada física. São transmitidos, basicamente, quatro campos distintos: o preâmbulo, o controle de quadro (*Frame Control* - FC), a carga útil e os sinais de resolução de prioridade.

O preâmbulo e o controle de quadro são usados para sincronização e controle. Eles iniciam e finalizam quadros longos e apenas os dados são adaptados para as condições do canal. Há três tipos de delimitadores: os de início e fim de quadro e os de resposta. Eles incluem o tipo de delimitador e informações de controle de contenção. No delimitador de início de quadro (*Start of Frame* - SoF), o campo de controle de quadro inclui o tamanho do quadro e o índice de mapa de tons (*Tone Map Index* - TMI), para que o receptor possa decodificar o restante do quadro. O delimitador de fim de quadro (*End of Frame* - EoF) contém informações de prioridade usadas para contenção. Delimitadores de resposta contêm informação para que um transmissor verifique se a resposta foi enviada em função de um quadro já transmitido. Um espaço de fim de quadro (*End of Frame Gap* - EFG) de 1,5µs é inserido entre a seqüência de checagem de quadro (*Frame Check Sequence* - FCS) e o delimitador de fim de quadro para permitir processamento (LEE, 2002).

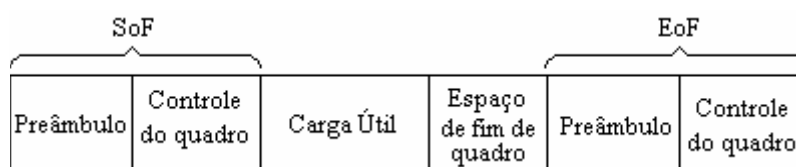


Figura 1 - Formato do quadro físico.

ESPECIFICAÇÕES DA CAMADA MAC

O protocolo de controle de acesso ao meio (*Medium Access Control* - MAC) do Homeplug 1.0 é um protocolo CSMA/CA (*Carrier Sensitive Multiple Access / Collision Avoidance*) modificado, com sinalização de prioridade. Um dispositivo Homeplug 1.0 opera em modo *ad hoc*, já que todos os dispositivos se comunicam uns com os outros livremente, sem qualquer coordenação centralizada (LEE, 2002).

A camada MAC usa essa técnica CSMA/CA para transportar dados, de 46 a 1500 bytes, encapsulados nos quadros Ethernet IEEE 802.3, como unidades de dados de serviço MAC (*MAC Service Data Units* - MSDUs).

Um esquema de prioridade de quatro níveis garante acesso estritamente priorizado. Segmentação de limites de atraso, para tráfego de alta prioridade e modos de acesso livre de

contenção suportam baixas exigências de variações de taxa de atraso (*jitter*). A contenção para o canal é limitada àqueles nós que sobrevivem ao período de resolução de prioridade.

Estações que detectam uma colisão devem invocar o procedimento de *backoff*, pelo qual essas estações aumentam a quantidade de atraso randômico, que elas devem aguardar no período de contenção, até um valor máximo. Esse valor máximo depende do nível de prioridade dos dados transmitidos.

Diferente de outros métodos CSMA/CA, o Homeplug 1.0 usa o número de vezes que uma estação submeteu-se a outras estações, no mesmo nível de prioridade. Isso é feito para se inferir a quantidade de tráfego presente naquele nível e ajustar a faixa de *backoff*, de acordo com esse tráfego (LEE, 2002).

Funções MAC de gerenciamento suportam estimação do canal, adaptação de taxas e gerenciamento de chaves para criptografia. Essa criptografia é necessária para isolar redes lógicas. Todas as estações da mesma rede lógica compartilham a mesma chave DES (*Data Encryption Standard*), conhecida como chave de encriptação de rede (*Network Encryption Key - NEK*). Isso é necessário uma vez que diferentes casas ou apartamentos compartilham a mesma fase, o que permitiria que uma casa escutasse quadros de uma casa próxima (PAVLIDOU, 2004).

METODOLOGIA

Esta Seção descreve detalhadamente a metodologia utilizada na obtenção das taxas de vazão analisadas para alguns tipos de cargas consideradas críticas. Serão descritas as configurações das máquinas utilizadas, a rede SOHO (*Small Office - Home Office*) montada e as cargas analisadas. Além disso, serão apresentados os resultados obtidos para vazão da rede Homeplug em questão.

Para realizar a análise de desempenho do padrão HomePlug 1.0, foram efetuados testes de campo, durante trinta dias, aproximadamente, na rede montada. A escolha das cargas utilizadas nos testes se deu através de análise da literatura, em artigos de periódicos que as citavam como cargas críticas, tais como: carregadores de celular e lâmpadas com reatores eletrônicos.

Foi implementada uma rede de computadores com quatro máquinas, sendo que três eram clientes e uma foi usada como *gateway*. A estrutura física da rede está ilustrada na Figura 2.

Como ilustrado na Figura 2, a maior distância considerada nas análises foi de 10m. O *gateway* está indicado pela letra G, as demais máquinas são os clientes, que compartilhavam o acesso à Internet com o *gateway*. Os computadores foram conectados à rede elétrica através de pontes Homeplug / USB.

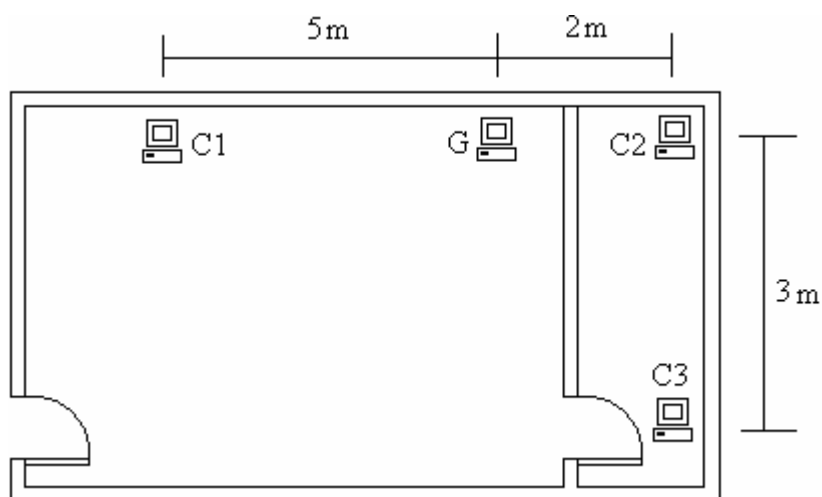


Figura 2 – Rede Homeplug implementada para testes.

O ambiente de testes possui fator de potência em torno de 0,86. Esse ambiente é bastante poluído de ruídos, pois possui inúmeras fontes chaveadas (computadores, lâmpadas com reatores eletrônicos, etc.). Além disso, o laboratório possui 42 lâmpadas com reatores eletrônicos e um exaustor, que é uma fonte de ruído com o espectro suave.

Após a implementação da rede Homeplug foi medida a vazão da rede. Para isso, foi transferido um arquivo padrão de uma máquina a outra. O arquivo considerado possuía um tamanho de 146MB.

Para se calcular o número total de bytes recebidos e enviados por uma interface utilizou-se os objetos *ifInOctets* e *ifOutOctets*. Para isso, primeiro calcula-se o total de bytes recebidos e enviados em um intervalo de tempo entre 1 e 2, conforme ilustrado na Equação (1). Durante o intervalo de transmissão foi medido o tempo decorrido (Δt).

$$\text{total de bytes} = (\text{ifInOctets}_2 - \text{ifInOctets}_1) + (\text{ifOutOctets}_2 - \text{ifOutOctets}_1) \quad (1)$$

Depois se calcula o total de bits por segundo, de acordo com a Equação (2):

$$\text{total de bps} = 8 \left(\frac{\text{total de bytes}}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

Para obtenção dos objetos *ifInOctets* e *ifOutOctets*, foi utilizado o programa computacional de gerenciamento de redes *SNMPC7*, da *Castle Rock*, que usa o protocolo de gerenciamento SNMP, para solicitar objetos remotamente e para configurar dispositivos, estações de trabalho e servidores em redes IP [Castle Rock, 2004]. Esse programa ficou em execução na máquina C2 e nas demais máquinas foi habilitado o cliente SNMP do Windows.

Com base nessas equações, pôde-se medir a vazão da rede para diferentes situações de testes. Os testes foram realizados da seguinte forma: durante vários dias, foram realizadas

transmissões na seguinte seqüência: da máquina C2 para G; da máquina C2 para C1; e da máquina C1 para C3.

RESULTADOS OBTIDOS

Foram efetuados diversos testes para se analisar o efeito de cada carga na vazão da rede. Os parâmetros estatísticos analisados foram: a média da vazão e o desvio padrão, ou seja, quanto a taxa de vazão oscilou. Os dados são apresentados na forma de tabelas, para facilitar a visualização dos mesmos.

A Figura 3 ilustra a variação da taxa de transmissão, para a Situação 1 (C2 para G), durante os dias de testes, bem como, a vazão média. Pode-se observar que essa taxa oscilou bastante, o que mostra a intensa variação de parâmetros da rede elétrica. Entretanto, a taxa ficou em um nível médio bem satisfatório, para usuários residenciais.

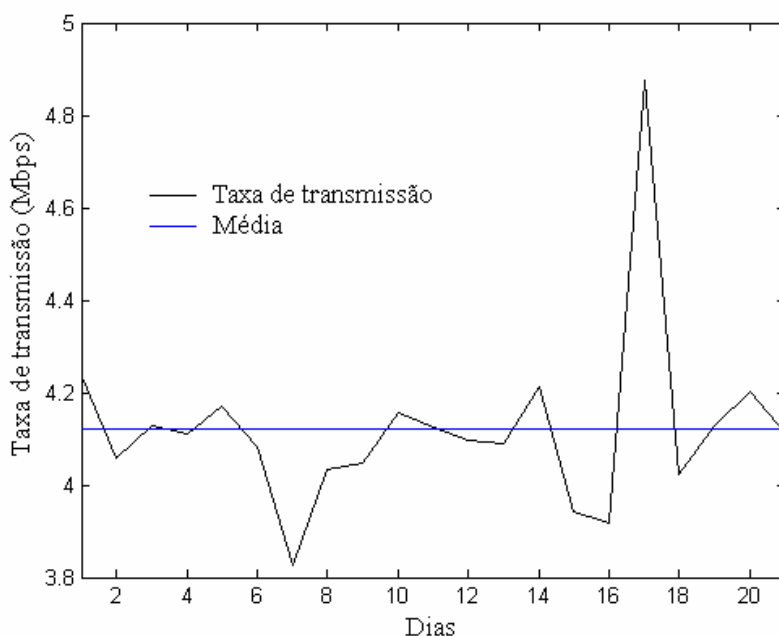


Figura 3 – Taxa de transmissão em Mbps para a Situação 1.

A Figura 4 ilustra a variação da taxa de transmissão, para a Situação 2 (C2 para C1), durante os dias de testes, bem como, a vazão média. Pode-se observar que para essa situação, a taxa de transmissão oscilou mais que na Situação 1 e a sua taxa de transmissão média também foi menor. Isso já era esperado devido a maior distância, quando comparada com a da Situação 1. Ainda assim, a taxa ficou em um nível médio bem satisfatório, para usuários residenciais.

A Figura 5 ilustra a variação da taxa de transmissão, para a Situação 3 (C1 para C3). Para essa transmissão, era esperado que os resultados fossem piores que os da Situação 2, visto que a distância era maior. Entretanto, pode-se observar na Figura 5, que para essa situação, a taxa de transmissão foi maior que a da Situação 2.

Esse resultado inesperado se deveu ao hardware de cada máquina. O que ajudou na melhoria da taxa de transmissão, pois nós fizemos transmissão de um arquivo extenso e tanto o hardware quanto o sistema operacional influencia nessa transferência. O ideal era utilizar um software específico, que transmitisse arquivos curtos em rajadas. Além disso, poderiam ser usadas máquinas mais equivalentes em termos de hardware. Isso amenizaria esse problema.

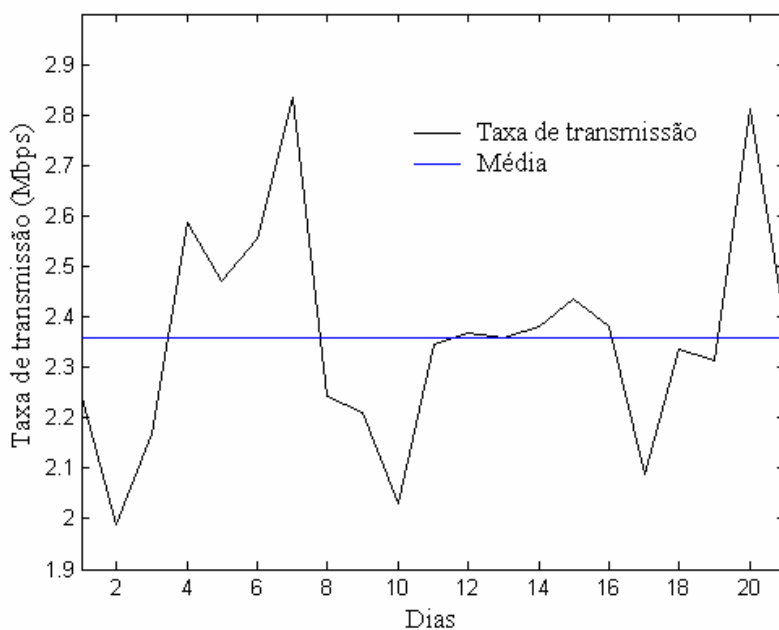


Figura 4 - Taxa de transmissão em Mbps para a Situação 2.

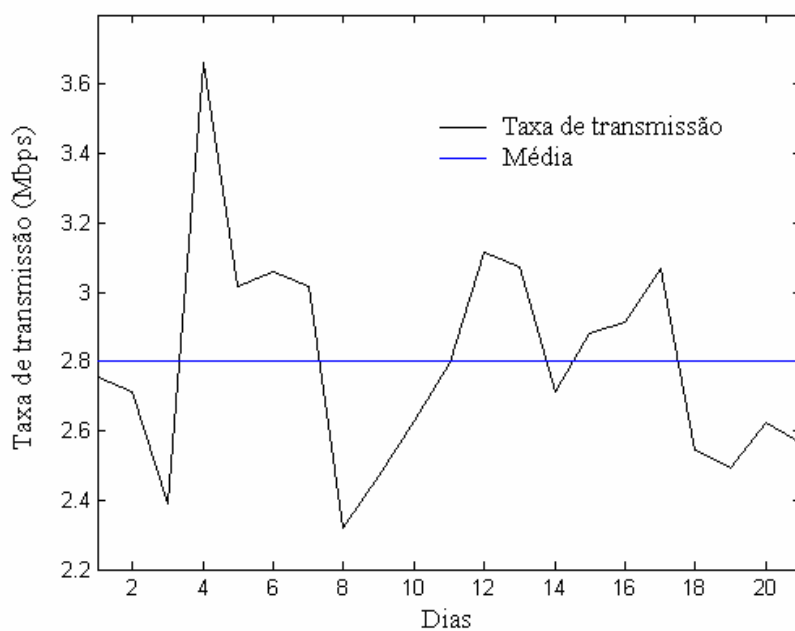


Figura 5 - Taxa de transmissão em Mbps para a Situação 3.

A Tabela 1 mostra a vazão média para As três situações de transmissão. Pode-se ver que em termos de vazão média a carga que mais influenciou foi a lâmpada com reator eletrônico, como era de se esperar. Pode-se notar ainda que todas as cargas provocaram flutuações na vazão.

Tabela 1 – Vazão média para as três situações de transmissão.

SITUAÇÃO DE TRANSMISSÃO	VAZÃO MÉDIA (Mbps)
C2 para G	4,1219
C2 para C1	2,3585
C1 para C3	2,8001

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o estado da arte em pesquisa da tecnologia PLC no Brasil. O padrão HomePlug 1.0 foi descrito, detalhando-se as camadas MAC e física, onde foram explicados os aspectos mais relevantes. Foi montada uma rede HomePlug 1.0, com quatro máquinas, na qual havia um *gateway*, através do qual três clientes compartilhavam o acesso à Internet.

Foi medido o desempenho da rede implementada considerando-se a taxa de transmissão da mesma. Para medição da taxa de transmissão foi utilizado o gerente SNMP7 da *Castle Rock*. Objetos de interface física foram obtidos com esse *software* e equações apropriadas foram utilizadas, para medição da taxa de transmissão.

Em termos de custos, a tecnologia Homeplug, atualmente, se compara à tecnologia WI-FI. Um adaptador Homeplug de 14Mbps, que conecta o computador à rede elétrica, custa em torno de R\$ 100,00. Entretanto, o ideal é o uso combinado das duas tecnologias para melhorar a cobertura da rede em residências.

Os testes mostraram que apesar dos efeitos comprovados pela variação de parâmetros da rede elétrica, pôde-se observar que as taxas de transmissão são excelentes para usuários residenciais. Isso mostra que a tecnologia Homeplug 1.0 serve perfeitamente ao seu propósito. Essa tecnologia aparece como mais uma alternativa para redes SOHO e junto com a tecnologia 802.11 oferece uma maior flexibilidade para os usuários.

BIBLIOGRAFIA

1. AFKHAMIE, K.H., et al., *An overview of the upcoming HomePlug AV standard, International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, 2005 vol. 6, no. 8, pp. 400 - 404, 2005.

2. 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.
3. BIGLIERI, E. "Coding and Modulation for a Horrible Channel", *IEEE Communications Magazine*, 2003, pg. 92-98.
4. FERREIRA, H. C.; et al., "Power line communications: an overview", 4th IEEE Africon Conference, África, vol. 2, no. 4, pp. 558 - 563, 1996
5. FITEC, “Projeto opera, de padronização da tecnologia PLC, reúne 38 entidades européias”. Disponível em: <http://www.fitec.org.br>. Acesso em 11 de abril de 2006.
6. FORUM PLC, “Cidades Digitais - Projeto Barreirinhas”. Disponível em: <http://www.forumplc.com.br>. Acesso em 02 de abril de 2006.
7. HRASNICA, H., HAIDINE, A., and LEHNERT, R., *Broadband Powerline Communications*. John Wiley Professional, 2004.
8. LEE, M. K. et. al., “HomePlug 1.0 Powerline Communication LANs –Protocol Description and Performance Results version 5.4”. *International Journal of Communication Systems*, 2002, pp. 1 - 25.
9. LIN, Y., LATCHMAN, H. A., and NEWMAN, R. E., “A Comparative Performance Study of Wireless and Power Line Networks”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 4, 2003, pp. 54-63.
10. PAVLIDOU, N. et. al., "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends", *IEEE Communications Magazine*, 2003, pp. 34-40
11. VIDAL, A. M. “Power Line Communications: Comunicação em banda larga via rede elétrica”. Disponível em: <<http://www.eel.ufsc.br/gpqcom/vidal/PLC/relat.html.2002>> Acesso em 04 de abril de 2006.
12. WICKER, S. B., *Error Control Systems for Digital Communication and Storage*. Prentice-Hall, 1995.