

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica
Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica

Disciplina: Projeto de Conclusão de Curso

Título:

Avaliação da Transmissão do Canal de Interatividade da
TV Digital em Ambientes Residenciais utilizando PLC

Aluno: Leonardo Lopes de Azevedo Freire

Orientador: Marcelo Sampaio de Alencar, PhD

Campina Grande, 29 de dezembro de 2005



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

SUMÁRIO

	Pág
Resumo	
1. Televisão Digital e Interatividade	1
2. Power Line Communications (PLC)	3
2.1 Introdução	3
2.2 A rede de distribuição elétrica.....	4
2.3 Vantagens da utilização do PLC.....	5
2.4 Rede elétrica com canal de comunicação	6
2.4.1 Ruído.....	7
3. Procedimentos experimentais	8
3.1 Equipamentos utilizados.....	8
3.2 Testes realizados	8
3.3 Ambientes utilizados.....	9
3.3.1 Residência 1.....	9
3.3.2 Residência 2.....	10
3.3.3 Residência 3.....	10
3.3.4 Apartamento residencial.....	11
3.3.5 Prédio residencial.....	11
4. Resultados	13
4.1 Residência 1.....	13
4.2 Residência 2.....	17
4.3 Residência 3.....	21
4.4 Apartamento residencial.....	26
4.5 Prédio residencial.....	30
5. Conclusões	32
6. Referências bibliográficas	33

RESUMO

Muitos benefícios serão trazidos com a utilização da televisão digital no Brasil. Uma de suas possíveis aplicações seria a inserção de serviços interativos, ou seja, o usuário poderia controlar o conteúdo das informações que receberia. Um dos estudos realizados é justamente sobre a definição do canal de retorno (canal de interatividade).

O estudo tem como finalidade analisar o uso da tecnologia PLC (*Power Line Communications*) como canal de interatividade para ambientes residenciais.

O relatório contém informações básicas sobre o Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD), trazendo informações sobre interatividade. Explica-se resumidamente a tecnologia PLC, relatando um pouco da sua história, suas vantagens e desvantagens e ainda discutindo os desafios que são enfrentados para utilização da rede elétrica como canal de comunicação.

O conteúdo mais importante do trabalho vem da análise de cinco ambientes residenciais localizados na cidade de Campina Grande, que levou a conclusão que o uso da tecnologia PLC é viável como canal de retorno da televisão digital.

1. Televisão Digital e Interatividade

Nos últimos anos, tem ocorrido uma revolução tecnológica nos meios de comunicação. Um exemplo claro deste fenômeno são os celulares, cada vez mais sofisticados. Ultimamente, a televisão vem passando por esse processo. EUA, Japão e União Européia são os pioneiros nesta revolução digital, com a implantação das primeiras televisões digitais.

No ano de 2004, o governo brasileiro deu início ao projeto de desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), com a intenção de congregiar os esforços de diversas instituições acadêmicas e centros de pesquisa nacionais para de definir um padrão de TV Digital Brasileiro [1].

O padrão americano – ATSC (*Advanced Television System Comitee*) privilegia a televisão de alta definição, o HDTV que, por consequência, encarece o preço dos aparelhos. Segundo alguns críticos, esse padrão não permitiria aplicações móveis e portáteis.

Diferentemente do padrão americano, o padrão europeu denominado DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) privilegia outros serviços em vez da qualidade da imagem, tais como acesso a Internet e televisão por assinatura...

O nível de resolução para este padrão é o SDTV, que possui uma qualidade de imagem um pouco melhor que a analógica, mas que, por outro lado, diminuiria os custos se em relação ao HDTV.

Os japoneses desenvolveram o padrão ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial*) tentando aliar à alta definição com a recepção móvel. Esperam que esse modelo seja bastante flexível, pois complementaria o serviço da televisão digital com outras aplicações que o tornariam mais semelhante a um sistema de acesso de informações multimídia [2].

A Figura 1 mostra as diferenças dos três padrões citados.

Sistema	Tipo de Sistema	Codificação de áudio	Esquema de Modulação	Largura de banda do canal	Taxa de dados (Mbps)
DVB	DVB-S	MPEG - 2	QPSK	8 MHz	38
	DVB-T		QPSK/QAM/COFDM		24
			QAM		15 (móvel)
DVB-C			38		
ATSC	ATSC-S	AC - 3	QPSK	6 MHz	19
	ATSC-C		64 QAM		38.57
	ATSC-T		8 VSB		19.28
ISDB	ISDB-S	MPEG - 2 AAC	8-PSK / QPSK / BPSK	34.5 MHz	52
	ISDB-T		DQPSK/QAM	5.6 MHz	21.47
			M		4.06 (móvel)
ISDB-C		64 QAM	6 MHz	31.644	

Figura 1: Principais características dos sistemas DVB, ATSC e ISDB

A escolha de determinado padrão será determinada por vários fatores como custo, impacto na indústria nacional, prazos para disponibilidade comercial, qualidade de serviço e acessibilidade.

Uma coisa é indiscutível, a televisão digital pode trazer muitos benefícios os quais seriam inimagináveis dez anos atrás. Aumenta-se o número de programas que podem ser transmitidos simultaneamente gerando, assim, uma maior diversidade, com imagem de alta definição e som com qualidade de CD. Além dessas possibilidades, uma se destaca pela revolução que iria causar nos meios de comunicação: a interatividade.

A possibilidade de o usuário interagir com os programas transmitidos é importante. Um novo comércio já começa a ser discutido, o *t-commerce*, ou seja, seria possível o usuário comprar produtos por meio da televisão; ou mesmo votar a favor ou contra um determinado participante de um *Reality Show*, enfim, muitas aplicações seriam viabilizadas.

Para que os aparelhos de televisão digital ofereçam interatividade, os receptores devem fornecer comunicação reversa. Isto seria feito por um equipamento denominado *set-top box*. A ITU (*International Telecommunication Union*) propõe um modelo de referência como mostrado na Figura 2:



Figura 2: Modelo de referência do ITU.

O provedor de serviço de radiodifusão seriam as emissoras de televisão e o provedor de serviço interativo seria responsável pelos serviços de interatividade, podendo ser a própria emissora ou um provedor à parte [4].

Com relação ao canal de interatividade (ou canal de retorno), existem cinco propostas sendo estudadas pelo SBTVD [5]:

- Utilização de canais de comunicação de dados da telefonia celular (CDMA ou GSM);
- Uso de redes *ad hoc*;
- Utilização de radiofrequência;
- Utilização da telefonia fixa (modem telefônico, serviços xDSL ou *cable modem*);
- Uso de comunicações utilizando linhas de distribuição da rede elétrica (PLC).

No próximo capítulo será discutida a tecnologia PLC que foi objeto de estudo do trabalho em questão.

2. Power Line Communication (PLC)

2.1 - Introdução

No início da década de 50, começaram os estudos sobre a utilização da rede elétrica para transmissão de sinais. O método desenvolvido se chamava *Ripple Control* e era caracterizado pela utilização de baixas frequências (100-900 Hz). Esse método necessitava de alta potência na transmissão para alcançar taxas baixas. O sistema permitia comunicação unidirecional, sendo utilizado em tarefas simples como iluminação pública e o controle de carga. Novos sistemas com taxas ainda modestas foram desenvolvidos até a década de 1980.

A partir da década de 80, foram feitas as primeiras investigações para descobrir as reais capacidades da rede elétrica como canal de comunicações. A faixa utilizada era entre 5-500 Hz.

Apenas na década de 90 conseguiu-se fazer uma comunicação bidirecional usando a rede de distribuição, em faixas altas de frequência com menores níveis de potência.

O crescente interesse na utilização das redes de distribuição de energia elétrica como uma alternativa para o fornecimento de serviços de telecomunicações diversos, notadamente voz e dados com alta velocidade na chamada "última milha", tem motivado a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas capazes de superar as características hostis deste ambiente como canal de comunicação [6].

A expressão PLC pode ser encontrada como PLT (*Power line Telecommunications*), é utilizada para identificação de tecnologias, equipamentos, aplicações e serviços que proporcionem a comunicação entre diferentes usuários por meio das linhas de potência [1].

O mercado atual envolvendo PLC encontra-se dividido em dois segmentos: o *last mile access*, ou acesso até as residências, e o *last inch access*, ou acesso dentro das residências. Na Figura 3 e na Figura 4, são apresentados dois diagramas que exemplificam esses dois segmentos.

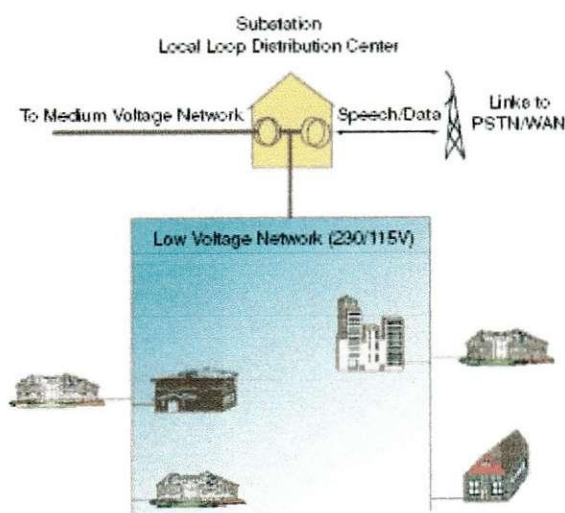


Figura 3 – Last mile access

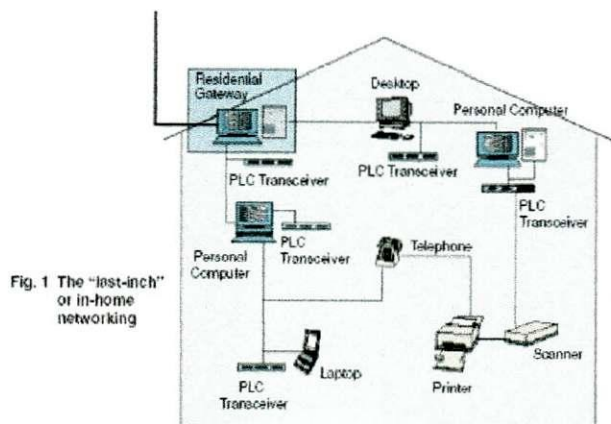


Figura 4 – Last inch access

2.2 – A rede de distribuição elétrica

As redes de distribuição foram inicialmente projetadas para transmitir energia elétrica de forma eficiente, logo estas não são adaptadas para fins de comunicação, fazendo com que seja necessário o emprego de técnicas avançadas. Devido às características especiais da rede de distribuição como canal de comunicação, investigações profundas e detalhadas deverão ser feitas para garantir a utilização da mesma de forma eficiente para fins de transmissão de dados.

As redes elétricas são usualmente classificadas em três níveis:

- Alta tensão (valores de tensão acima de 100kV)
- Média tensão (valores de tensão entre 1kV e 100kV)
- Baixa tensão (valores de tensão abaixo de 1kV)

Os níveis de tensão são interconectados por meio de transformadores, projetados de forma a proporcionar a menor perda possível operando nas frequências da rede (50 ou 60Hz). Isto faz com que, nas frequências tipicamente utilizadas para comunicação, estes equipamentos funcionem como filtros, isolando - sob o aspecto da transmissão de sinais - os diferentes níveis de tensão.

- **Alta Tensão**

Utilizado para interligar os centros de geração aos centros de consumo, geralmente percorrendo grandes distâncias, este nível de tensão é marcado principalmente pelas perdas por efeito Joule, pelas descargas oriundas do efeito corona (que também introduzem componentes de alta frequência na rede) e por capacitâncias e indutâncias parasitas.

- **Média Tensão**

Responsáveis pela interligação das subestações com os centros distribuídos de consumo, este nível de tensão pode também ser utilizado no fornecimento de energia elétrica a consumidores de maior porte como indústrias ou prédios.

• Baixa Tensão

Este é o nível de tensão que efetivamente chega a maioria das unidades consumidoras derivando do secundário do transformador de redução. A natureza dinâmica com que as cargas são inseridas e removidas da rede, as emissões conduzidas provenientes dos equipamentos e as interferências de diferentes naturezas fazem deste ambiente o mais hostil, para a transmissão de sinais, dentre os três níveis de tensão apresentados.

A Figura 5, a seguir, apresenta um exemplo de aplicação de uma rede PLC onde, a partir do transformador que interliga os níveis de média e baixa tensão, o equipamento aqui referenciado como *PLC Master* injeta o sinal, proveniente de um *backbone* genérico de telecomunicações, na rede elétrica de baixa tensão.

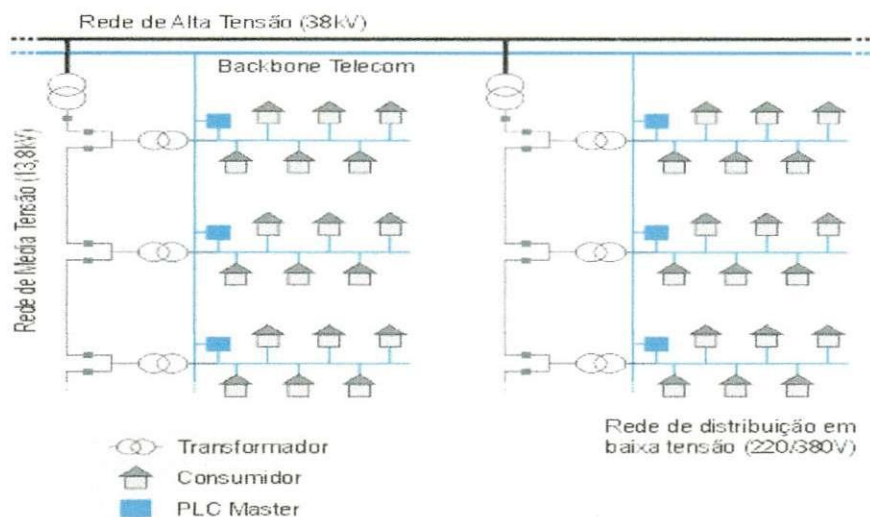


Figura 5 – Exemplo de aplicação da tecnologia PLC.

2.3 – Vantagens da utilização do PLC

Existem muitas razões que justificam o estudo dessa técnica. O sistema de distribuição de energia elétrica forma a maior rede já instalada do planeta, logo, a utilização da rede elétrica como canal de comunicação possibilitaria acesso a um número bem maior de pessoas. Note-se que em qualquer ambiente, residencial ou comercial, se encontra tomadas de energia elétrica.

São realmente muitas as vantagens do uso do PLC dentre as quais pode-se destacar [6]:

- A primeira e talvez principal vantagem oferecida pela rede elétrica é o fato dela já estar instalada, não havendo, assim, qualquer custo relativo a cabeamento. Vale citar que esse aspecto já torna a alternativa das redes elétricas algo realmente interessante, pois é comum que nos sistemas de comunicação com fio os custos de cabeamento respondam por boa parte do investimento total.
- A possibilidade de utilizar a rede de distribuição de energia elétrica como alternativa para a transmissão de dados faz com que se abra a possibilidade de fornecer a praticamente todo domicílio ou estabelecimento comercial, sem a necessidade de

cabeamento adicional. acesso a serviços de banda larga como Internet de alta velocidade ou mesmo serviços básicos como telefonia.

- Outro aspecto interessante é o apelo social relacionado com a possibilidade de fornecer serviços de telecomunicações por meio da rede elétrica. Mesmo após a recente abertura do mercado de telecomunicações, em países como o Brasil, um grande contingente da população encontra-se ainda sem acesso a nenhum tipo de serviço desta natureza. E vale destacar que não se fala aqui de serviços avançados como Internet de alta velocidade, mas sim ao acesso a um serviço básico como telefonia. Neste sentido, no caso do Brasil, onde cerca de 97% da população é atendida pela rede elétrica em suas residências, o acesso a serviços básicos de telecomunicações poderia ser fornecido de forma mais rápida em locais onde, por motivos diversos, a rede de telefonia ainda não foi instalada ou necessita de expansão.

Por todos esses motivos, a utilização da rede elétrica como canal de interatividade merece atenção; evitaria custos mais altos uma vez que toda a rede já está disponível e se encontra em praticamente todas as casas do Brasil, sendo assim, mais acessível à população. Apesar dessas vantagens, é importante relatar que, como qualquer outra tecnologia, a PLC enfrenta alguns obstáculos que limitam sua utilização como, por exemplo, o fato das técnicas avançadas que possibilitam a comunicação num canal hostil serem recentes.

2.4 – Rede Elétrica como canal de comunicações

A rede de distribuição elétrica é um meio hostil à comunicação. Uma simples conexão entre duas tomadas apresenta uma função de transferência complicada. Isto significa que a fase e amplitude variam, de uma forma bastante extensa, com a frequência. Dependendo da frequência, o sinal é transmitido sem problemas ou pode apresentar uma potência bem inferior àquela do ruído presente no canal.

A função de transferência do canal além de variar com a frequência também varia com o tempo. Isto acontece devido à natureza dinâmica das cargas presentes na instalação ou mesmo devido à presença de dispositivos com impedância variante no tempo, como fontes chaveadas ou motores.

Outro aspecto que precisa ser abordado são as interferências presentes na rede. Elas apresentam propriedades bastante diferentes daquelas do ruído AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), ao contrário, as interferências podem ser do tipo impulsivo ou apresentar uma natureza seletiva em frequência, possuindo em muitos casos, ambas. [6]

Pode-se encontrar vários dispositivos geradores de ruído na rede como: motores com escovas, fontes chaveadas, reatores para iluminação, *dimmers*, etc. Esses equipamentos produzem as “emissões conduzidas”, ou seja, introduzem componentes de alta frequência na rede.

O impacto dessas diferentes formas de interferência pode causar perdas de dados no momento da transmissão. Algumas vezes essas perdas de dados podem ser corrigidas e outras não, logo um dos objetivos é avaliar até que ponto essas interferências afetam a transmissão.

2.4.1 - Ruído

O ruído na rede elétrica é um grande problema quando se deseja transmitir dados pela rede. Fontes típicas de ruído são motores de escova, lâmpadas fluorescentes e halogênicas, fontes chaveadas, etc.

Vários estudos sobre as características do ruído já foram realizados. De acordo com esses estudos, o ruído encontrado na rede elétrica pode ser classificado em quatro categorias [1].

- **Ruído colorido:** possui pequena densidade espectral de potência e diminui com o aumento da frequência. É a soma de todas as fontes de ruído de baixa potência e pode ser variante no tempo;
- **Ruído de banda estreita:** ruído devido principalmente aos sinais senoidais. O nível de interferência varia durante intervalos diferentes ao longo do dia;
- **Ruído de impulsos periódicos:** impulsos produzidos por aparelhos que produzem harmônicos que são múltiplos de 50/60 Hz;
- **Ruído de impulsos assíncronos:** ruído resultante de operações de chaveamento. É o pior tipo de ruído, pois é capaz de destruir blocos de dados em determinadas frequências.

No próximo capítulo, serão discutidos os procedimentos experimentais adotados nas experiências.

3. Procedimentos Experimentais

3.1 – Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para realizar as medições foram os seguintes:

- 2 *Laptops* com processador Intel Celeron de 1.5 GHz, 256 Mbytes de memória RAM, HD com capacidade de armazenamento de 20 Gbytes e placa de rede;
- Equipamento PLC já disponível comercialmente, da marca AsokaTM USA Corporation, com as seguintes características: taxa de transmissão máxima de 14Mbps, protocolo TCP/IP, interface USB ou Ethernet, bivolt (110V ou 220V), faixa de frequência entre 4,5 e 21MHz, alcance máximo de 500m. O equipamento vem acompanhado do *software* AsokaTM PlugLinkTM Wall Mount, que fornece a taxa de transmissão em tempo real.
- Utilização do *software* Bandwith Monitor Pro, que permite visualizar a taxa média de transmissão via rede [7].

3.2 – Testes realizados

Para realização dos testes, foram usados dois *laptops*, um deles foi conectado a rede elétrica por meio do equipamento PLC, como transmissor, ou seja, ficaria em uma posição fixa da casa. O outro *laptop* foi conectado em diferentes pontos do ambiente residencial, simulando assim um receptor.

Para cada ponto onde o qual conectava o receptor, foi estabelecida uma conexão com o transmissor. Em seguida, começou-se a enviar pacotes do transmissor ao receptor via FTP. O tamanho dos pacotes enviados em kbytes era respectivamente: 61,3 kbytes, 113,46 kbytes, 246,57 kbytes, 358,3kbytes, 511,25 kbytes, 627,7 kbytes, 976,5 kbytes, 1475,93 kbytes, 2194,6 kbytes e 5627,8 kbytes.

Após o envio dos pacotes, testou-se a qualidade da recepção de som e imagem do receptor acessando um arquivo, via rede elétrica, de 70Mbytes do transmissor. O arquivo era um *show de rock* em formato AVI (*Audio Video Interleave*). A taxa de transmissão média do vídeo e imagem era medida utilizando o *software* Bandwith Monitor Pro.

Os testes foram realizados de duas formas distintas:

- Testes sem carga, no qual todos os elementos consumidores de energia do ambiente residencial eram desligados para simular uma situação ideal do utilizo da rede elétrica como canal de comunicação.

- Testes com carga, no qual todos os elementos consumidores de energia do ambiente eram ligados para avaliar o pior caso para utilização da rede elétrica.

Para cada ambiente residencial testado, são especificados os aparelhos que estavam ligados durante a realização dos testes.

As variações da localização do receptor e o aumento do tamanho dos pacotes enviados do transmissor para o receptor tinham como finalidade realizar os seguintes testes [7]:

- *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. Varia-se então a distância entre o transmissor e receptor para determinar a taxa de transmissão em função da distância.
- *Perda de desempenho*: avaliação da qualidade do serviço (QoS): Utilizando o *software* de transmissão de dados via FTP, determina-se a taxa de transmissão de cada pacote enviado em função da distância para avaliar o quanto decaía a taxa de transmissão.
- *Qualidade do vídeo e som*: Utilizando o *software* Bandwith Monitor Pro, avalia-se a qualidade do vídeo e som, transmitidos ao receptor, usando a seguinte classificação:
 - 4: Quando não havia nenhuma falha na reprodução do vídeo
 - 3: Quando a reprodução era quase perfeita, com rara ocorrência de falha de áudio ou vídeo
 - 2: Reprodução com ocorrência de falhas freqüentes, mas com pequenas durações.
 - 1: Falhas constantes na reprodução, impossibilitando a apreciação do vídeo.

É válido lembrar que, todas as situações foram testadas na presença constante de carga como também na ausência.

3.3 – Ambientes utilizados

Foram utilizados cinco ambientes para medição e testes: três residências, um apartamento e um prédio residencial de 6 andares. Todos estes cenários de medição se situam na cidade de Campina Grande, cuja tensão é de 220V.

3.3.1 - Residência 1

A primeira residência escolhida está localizada no bairro da Prata. Possui uma área média de 210m², a casa possui uma fase apenas para todos os circuitos e a instalação elétrica é considerada um pouco antiga.

Conectou-se o *laptop 1* (transmissor) na sala de estar enquanto que o *laptop 2* (receptor) foi conectado em diferentes tomadas da casa. Na Tabela 1 pode-se observar onde estão localizadas as tomadas utilizadas nas medições e as respectivas distâncias em relação ao transmissor.

Durante o Teste sem carga, apenas a geladeira e frigobar permaneceram ligados. Durante o Teste com carga os seguintes equipamentos permaneceram ligados: todas as lâmpadas, televisão 29", computador, microondas, liquidificador, equipamento de som, geladeira e frigobar.

Tomada Servidor: Canto da sala de estar	Distância ao Servidor (m)
Tomada 1: Sofá da sala de estar	10,80
Tomada 2: Televisão	16,72
Tomada 3: Quarto F.	20,10
Tomada 4: Cozinha	25,80
Tomada 5: Quarto de casal	28,00
Tomada 6: Quarto de estudos	34,00

Tabela 1: Localização das tomadas e distância destas ao servidor.

3.3.2 - Residência 2

A segunda residência está localizada no bairro do Catolé, próximo ao Clube Campestre. Possui uma área de 240m², uma das fases é utilizada para chuveiro elétrico e ar condicionado, enquanto as outras duas fases são utilizadas nos circuitos da casa.

O transmissor foi posicionado na sala de estar e o receptor foi conectado em diferentes tomadas da casa, obedecendo ao mesmo procedimento descrito para a residência 1. A Tabela 2 apresenta a localização das tomadas e suas distâncias em relação ao servidor.

Durante o Teste sem carga; geladeira, frigobar e *freezer* permaneceram ligados. Durante o Teste com carga os seguintes equipamentos permaneceram ligados: todas as lâmpadas, televisão 29", DVD, duas televisões 14", computador, microondas, liquidificador, equipamento de som, geladeira, frigobar e *freezer*.

Tomada Servidor: Canto da sala de estar	Distância ao Servidor (m)
Tomada 1: Sofá da sala de estar	12,00
Tomada 2: Televisão	20,00
Tomada 3: Cozinha	22,00
Tomada 4: Quarto 1	28,00
Tomada 5: Quarto de casal	33,00
Tomada 6: Quarto de estudos	36,00

Tabela 2: Localização das tomadas e distância destas ao servidor

3.3.3 - Residência 3

A quarta residência escolhida para se realizar os testes é uma residência típica que possui primeiro andar e se localiza nas imediações da UFCG [1].

O transmissor foi posicionado na sala de visita e o receptor foi conectado em diferentes tomadas da casa. Observa-se na Tabela 3 a localização das tomadas e suas respectivas distâncias em relação ao servidor.

O conjunto de medições realizadas teve como objetivo verificar a influência na transmissão de dados entre transmissor e receptor da conexão de um aparelho elétrico ou eletrônico na rede elétrica da casa. Os dispositivos que foram conectados foram: liquidificador, batedeira, aparelho de som estéreo portátil, TV de 14 polegadas, forno de microondas e máquina de lavar roupas. Como já foi

dito anteriormente, havia uma carga fixa em todas as medições que consistia de um refrigerador, dois *freezers* e, algumas vezes, a máquina de lavar [1].

	Distância ao Servidor (m)
Tomada Servidor: Sala de estar	
Tomada 1: Sala do computador	3,40
Tomada 2: Sala de jantar	17,80
Tomada 3: Cozinha	19,40
Tomada 4: Quarto	27,50
Tomada 5: Área de serviço	28,80
Tomada 6: Quarto de casal	29,10

Tabela 3: Localização das tomadas e distância destas ao servidor.

3.3.4 – Apartamento Residencial

O apartamento residencial escolhido pertence ao edifício Caio Leila, próximo à UFCG. É um apartamento simples para estudantes com uma área de 32m².

O transmissor ficou localizado na sala de televisão enquanto foi mudada a posição do receptor, variando assim as distâncias. A Tabela 4 corresponde às tomadas utilizadas e suas respectivas localizações.

Vale salientar que durante todas as medições a geladeira permaneceu ligada. Durante os testes com carga foram considerados os seguintes dispositivos: dois computadores, lâmpadas eletrônicas, ventilador, microondas, liquidificador, DVD, televisão 20", geladeira e um equipamento de som de 440W RMS.

	Distância ao Servidor (m)
Tomada Servidor: Sala de televisão	
Tomada 1: Cozinha	17,50
Tomada 2: Área de serviço	19,00
Tomada 3: Quarto 2	20,50
Tomada 4: Quarto 1	19,50
Tomada 5: Sala de televisão	8,00

Tabela 4: Localização das tomadas e distância destas ao servidor.

3.3.5 – Prédio Residencial

Além das medições realizadas no apartamento, descrito acima, foram feitas medições no mesmo prédio, o Caio Leila, com a finalidade de obter dados mais precisos de como seria o comportamento da rede elétrica como canal de comunicação em um prédio residencial. O prédio possui seis andares, mas nada se pode afirmar sobre sua instalação elétrica.

Para realização dos testes, o transmissor ficou localizado no apartamento residencial 202B, o receptor foi posicionado em outros pontos do prédio. A Tabela 5 mostra onde se localizam as tomadas utilizadas e suas respectivas distâncias em relação ao servidor.

Os testes sem carga foram realizados durante o período da tarde, entre 14h e 16h, devido ao consumo mínimo de energia. Os testes com carga foram realizados durante a noite, quando se verifica um consumo bem maior de energia.

	Distância ao Servidor (m)
Tomada Servidor: Ap Edson 202B	
Tomada 1: Ap Abel 202A	19,0m
Tomada 2: Corredor 2º Andar	22,5m
Tomada 3: Corredor 1º Andar	21,0m
Tomada 4: Corredor térreo	18,5m
Tomada 5: Garagem	16,0m

Tabela 5: Localização das tomadas e distância destas ao servidor.

4. Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para cada ambiente residencial mencionado na seção anterior. Os gráficos apresentados foram traçados a partir do Matlab®.

4.1. Residência 1

As Figuras 8 e 9 representam os gráficos da taxa de transmissão em função da dimensão dos pacotes enviados para os testes sem carga e com carga respectivamente. As taxas de transmissão foram obtidas utilizando um programa de transmissão via FTP, como já foi descrito. Quanto maior for a numeração da tomada, maior a distância desta em relação ao transmissor postado na sala de estar. É de se esperar que a taxa caia com a distância e com a influência das cargas. Entretanto, o intuito desses gráficos é provar que a taxa também é função da dimensão dos pacotes que foram enviados.

Para obtenção dos gráficos foi calculada a média das taxas de cada tomada em função da distância. Note-se que em ambos os gráficos há um aumento considerável da taxa de transmissão até sua estabilização, sendo a taxa bem maior quando não havia cargas presentes nas medições (Figura 8). Isto ocorre, pois os pacotes enviados inicialmente são muito pequenos, logo sua transmissão é encerrada antes que ela atinja o seu máximo.

Depois, pode-se observar que, em ambos os gráficos, chega-se a um patamar estável da transmissão, sendo maior no gráfico da Figura 8 em relação ao da Figura 9. Esse comportamento já era esperado devido a presença de cargas (Figura 9).

Observa-se na figura correspondente ao teste com carregamento a existência de um pico na taxa de transmissão aproximadamente em 1000 bytes, este ponto é onde se tem o máxima taxa de transferência. Após isso, devido à influência da distância e das cargas, a taxa cai consideravelmente.

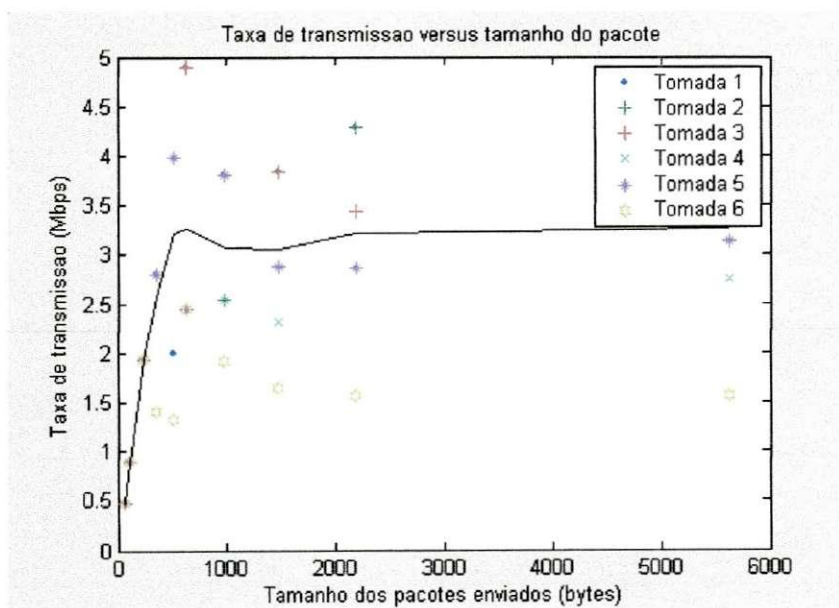


Figura 8: Teste sem carregamento.

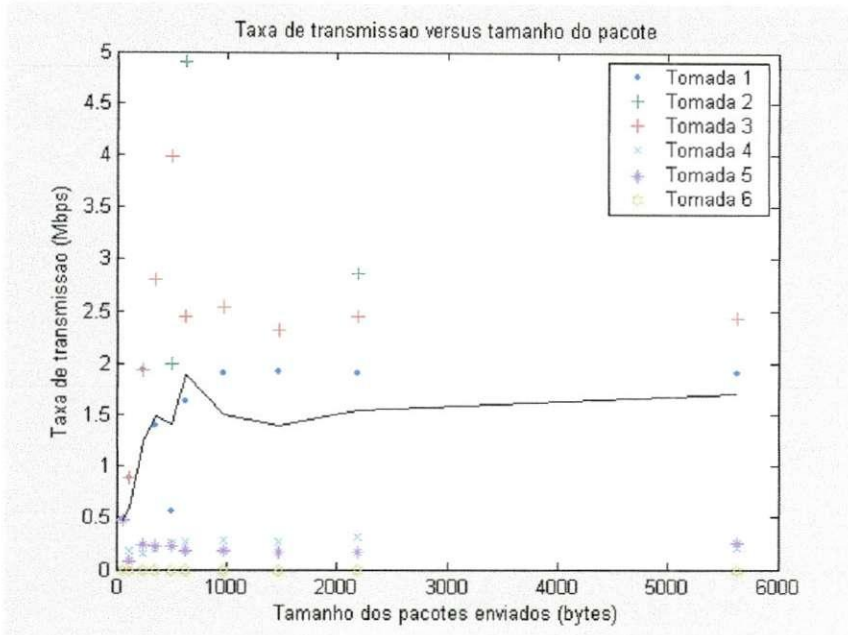


Figura 9: Teste com carregamento.

A Figura 10 representa o gráfico da taxa de transmissão em função da tomada testada (com e sem carga). O gráfico é um bom comparativo entre o teste sem carregamento e com carregamento. As taxas foram obtidas utilizando o *software* Asoka™ PlugLink™ Wall Mount.

Observa-se que quando a mesma tomada é submetida a um teste com cargas presentes durante a medição, a taxa de transmissão cai. As diferenças são mais notáveis quando a distância aumenta.

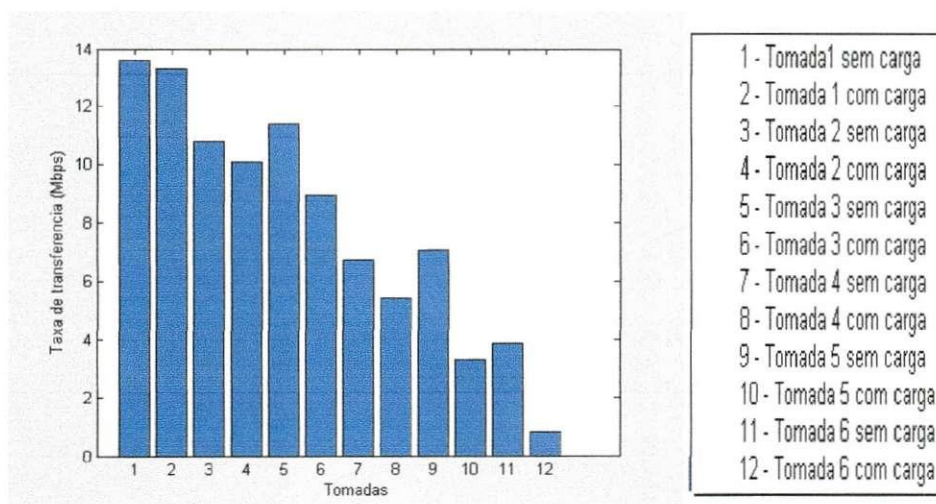


Figura 10: Taxa de transmissão em função das tomadas testadas (sem presença de carga e com presença de carga).

A Figura 11 representa o gráfico da taxa de transmissão em função da distância para um teste sem carregamento. Pela figura, pode-se notar que a taxa decai na medida em que se aumenta a distância. Um fato curioso é que entre aproximadamente 25m e 30m, observou-se um crescimento na taxa de transmissão, a explicação é que em aproximadamente 25m (ver Tabela 1) se situa a cozinha, conseqüentemente há a influência da geladeira que permaneceu ligada durante os testes sem carga. Em 28m, foram feitas as medições no quarto de casal que, apesar da distância ser maior, não havia nenhum equipamento ligado no momento das medições, daí o aumento da taxa.

A Figura 12 é o mesmo caso da Figura 11, mas para o teste com carregamento. Pela figura, observa-se que novamente a taxa de transmissão decresce com o aumento da distância. Entretanto, a taxa com que ele decai é maior que a do gráfico correspondente ao do teste sem carregamento. Isso é explicado pela presença das cargas. Em aproximadamente 35 m a taxa é nula na Figura 12, o que não ocorre a uma mesma distância no gráfico da Figura 11.

As taxas de transmissão foram calculadas utilizando novamente o AsokaTM PlugLinkTM Wall Mount.

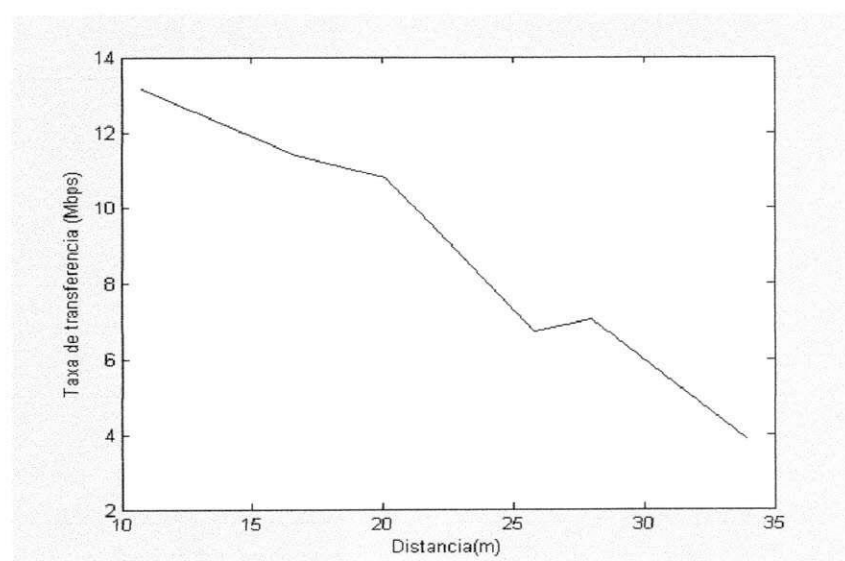


Figura 11: Taxa de transmissão em função da distância (para teste sem carregamento).

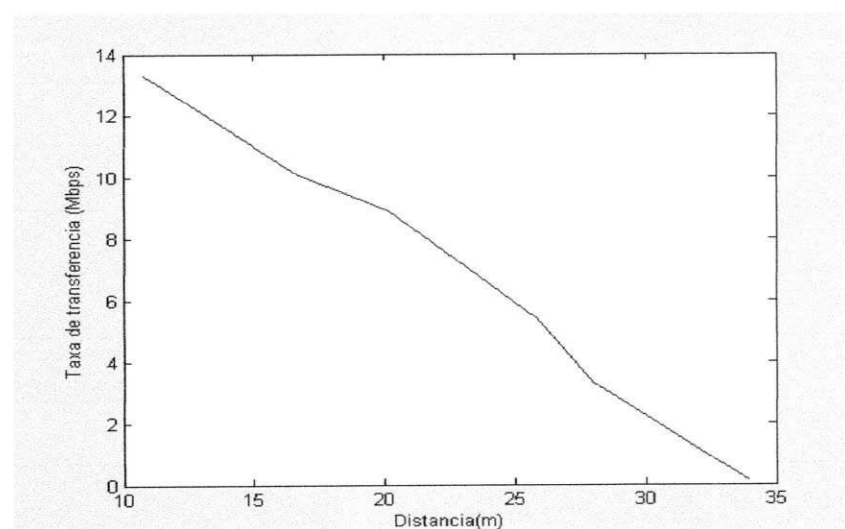


Figura 12: Taxa de transmissão em função da distância (para teste com carregamento).

Finalmente foram realizados os testes referentes à qualidade da transmissão de vídeo e imagem em função da distância. Os resultados para os testes sem carregamento e com carregamento são mostrados nas Figuras 14 e 15 respectivamente.

A Figura 14 mostra bem que durante os testes sem cargas, a taxa de transmissão foi constante para qualquer distância. Não houve falha da reprodução de áudio e vídeo em nenhum momento, logo, a qualidade da transmissão foi boa.

Durante os testes com carga, a transmissão permaneceu constante até aproximadamente 20m, após isso, as taxas caíram e com isso a qualidade também, tendo sido classificada em 1 em torno de 22.5m. Note que esta distância é muito próxima da tomada da cozinha, onde havia maior concentração de cargas, inclusive, do liquidificador. A Figura 15, portanto, deixa claro estes resultados.

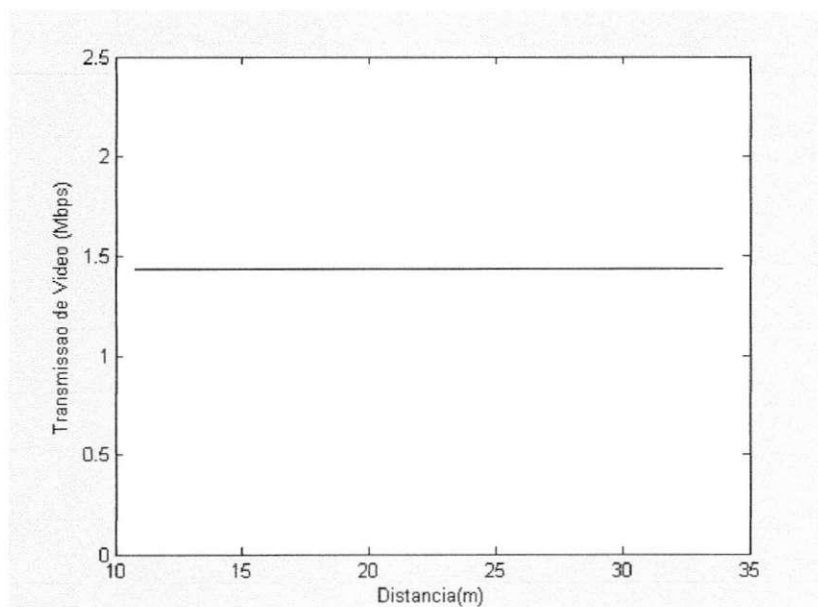


Figura 14: Taxa de transmissão do vídeo em função da distancia (para teste sem carregamento)

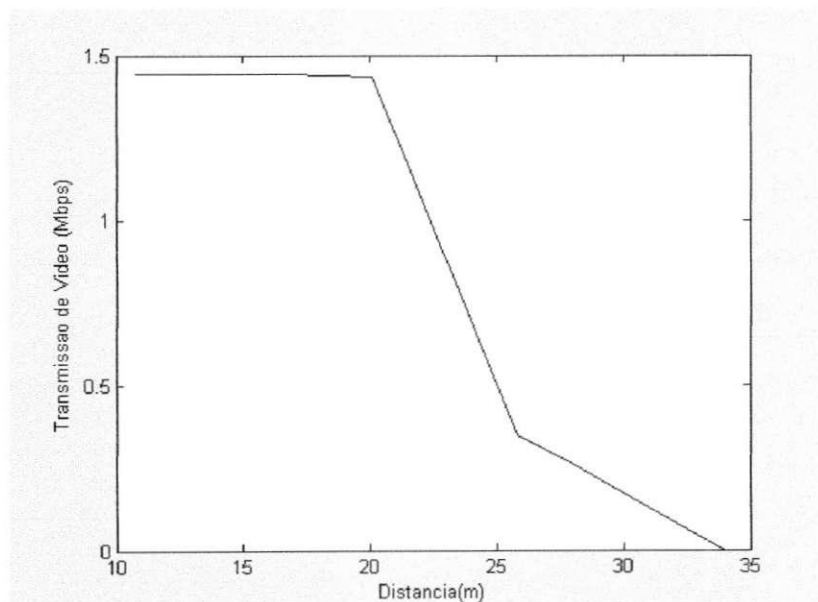


Figura 15: Taxa de transmissão do vídeo em função da distancia (para teste com carregamento).

4.2. Residência 2

As Figuras 16 e 17 representam os gráficos referentes à taxa de transmissão em função da dimensão dos pacotes enviados. Os procedimentos foram os mesmos descritos para obtenção das Figuras 9 e 10.

Observa-se na Figura 16 um comportamento bastante parecido com o descrito na Figura 9. Conclui-se, aqui também, que a taxa de transmissão cresce com o aumento do tamanho do pacote enviado, até atingir um patamar estável. Uma curiosidade, ao comparar com o gráfico da Figura 9 atinge-se uma média de transmissão durante a estabilização de 4.5Mbps na residência 2, enquanto que na residência 1 esta taxa ficou numa média de 3.2Mbps. Vários fatores devem ser levados em conta, sendo o mais relevante o fato da instalação da segunda residência ser bem mais nova se comparada à da primeira residência, explicando a diferença entre as taxas.

O gráfico da Figura 17 é muito semelhante ao da Figura 10, no qual se observa um ligeiro crescimento da taxa de transmissão inicialmente, devido aos pacotes serem muito pequenos e, assim, o *download* é completado antes de atingir a capacidade máxima que a rede poderia oferecer. A taxa de transmissão atinge o valor máximo em torno de 600 bytes e depois começa a cair devido à influência das cargas e da distância. Note-se que nesse caso, a taxa média de transmissão é ligeiramente menor que o da residência 1, quando em relação ao teste com carregamento, devido à presença de mais cargas na segunda residência.

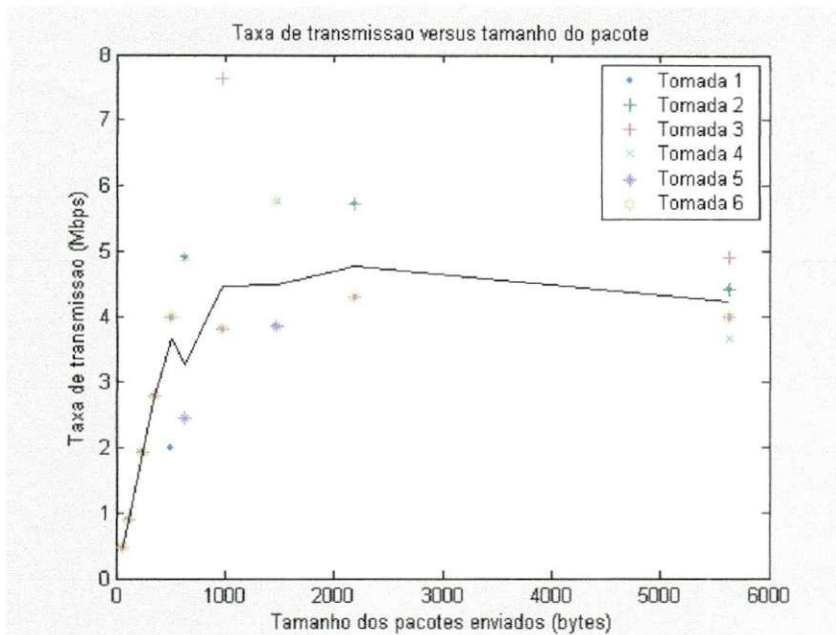


Figura 16: Taxa de transmissão em função da dimensão do pacote enviado (Teste sem carregamento).

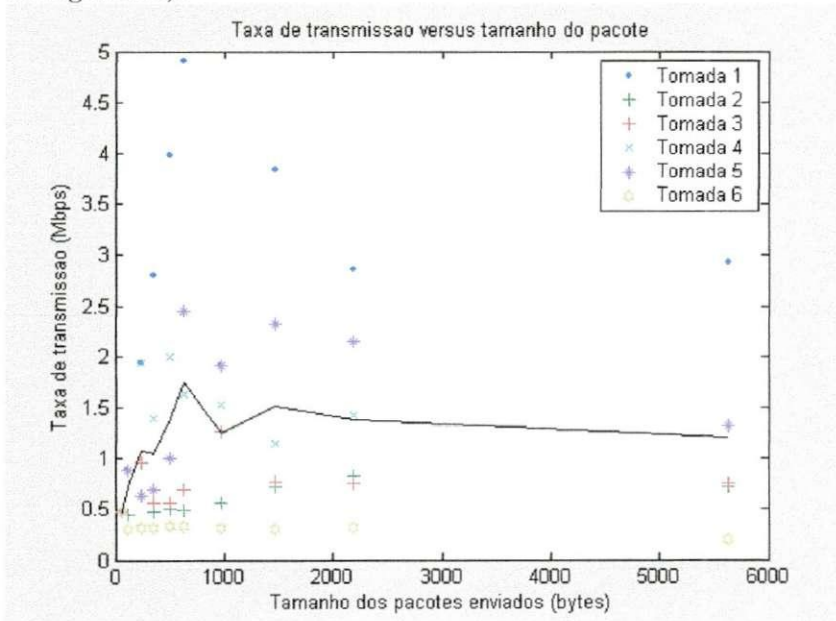


Figura 17: Taxa de transmissão em função do comprimento do pacote enviado (Teste com carregamento).

A Figura 18 faz um comparativo entre as taxas de transferências obtidas em cada tomada com presença e ausência de carga respectivamente. É interessante observar que a diferença é bastante acentuada nas tomadas 2 e 3, devido ao fato de estarem localizadas na sala de televisão e cozinha respectivamente. Nesses ambientes, encontra-se maior concentração de cargas e na cozinha, principalmente, devido à presença do liquidificador, que possui motor com escovas e, conseqüentemente, gera mais ruído na rede elétrica.

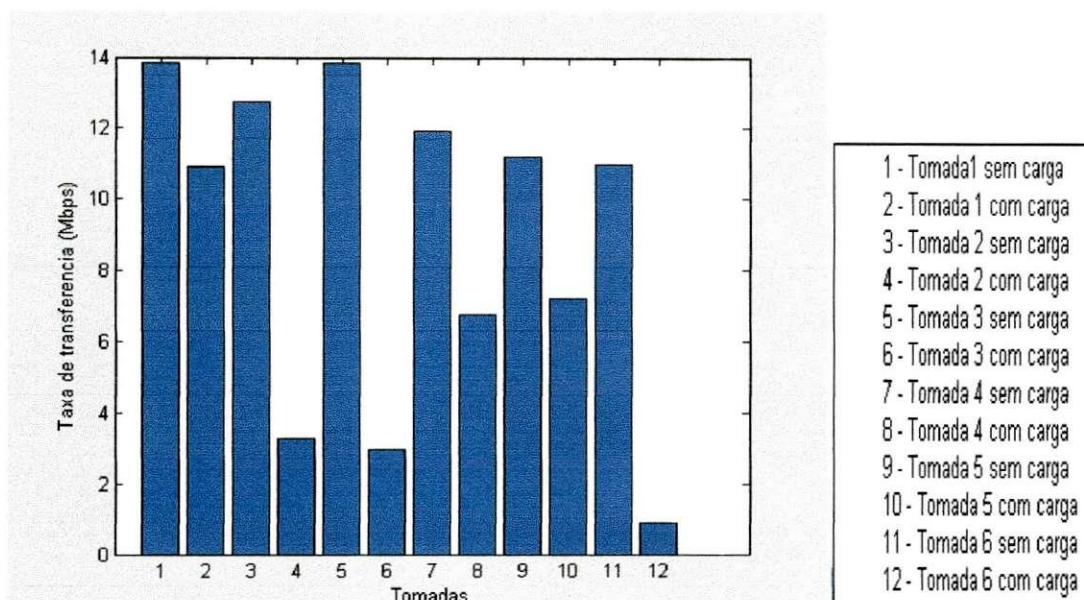


Figura 18: Taxa de transmissão em função das tomadas testadas (sem presença de carga e com presença de carga).

Agora pode-se reportar a análise da taxa de transferência em função da distância para os testes sem carregamento (Figura19) e com carregamento (Figura20). Observando o gráfico da Figura 19 comprova-se mais uma vez que mesmo sem a presença de cargas durante os testes, as taxa de transmissão cai com o aumento da distância. Comparando esse gráfico com o correspondente da residência 1, nota-se que na primeira residência houve uma queda na taxa de transmissão mais acentuada que da segunda residência, devido às instalações da residência 2 serem mais novas que aquelas da residência 1.

Outro fato interessante a se comentar é que em torno de 33m a taxa de transmissão cresce ligeiramente. Isto é explicado, pois durante as medições, o frigobar permaneceu ligado e, este se localiza no quarto de casal (ver Tabela 2 com as distâncias).

Analisando agora a Figura 20, nota-se que de maneira geral a taxa de transmissão caiu muito devido à influência da distância e carga. Observa-se que a taxa cai muito até os 23m e depois volta a crescer mesmo com o aumento da distância. Entre 20m e 23m, estão localizadas respectivamente a sala de televisão e cozinha, locais onde a concentração de cargas é bastante superior aos demais, principalmente devido à presença do liquidificador que, como já foi mencionado, gera bastante interferência no sinal da rede, sendo o fator determinante para a queda acentuada da taxa de transmissão via rede elétrica.

A taxa volta a crescer em relação à cozinha e sala de televisão e depois volta a decrescer devido à distância e à presença de outras cargas ligadas a rede.

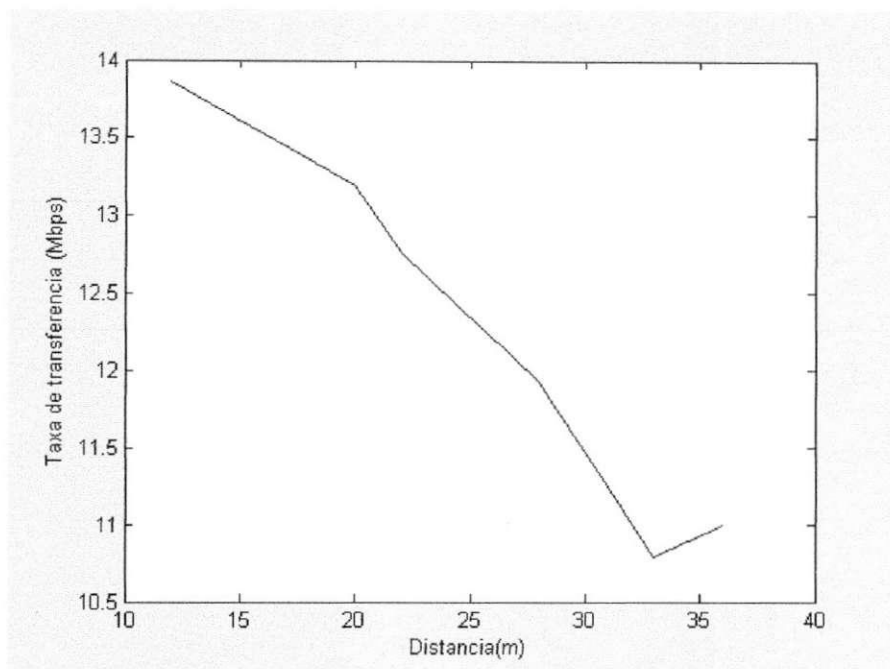


Figura 19: Taxa de transmissão em função da distância (para teste sem carregamento).

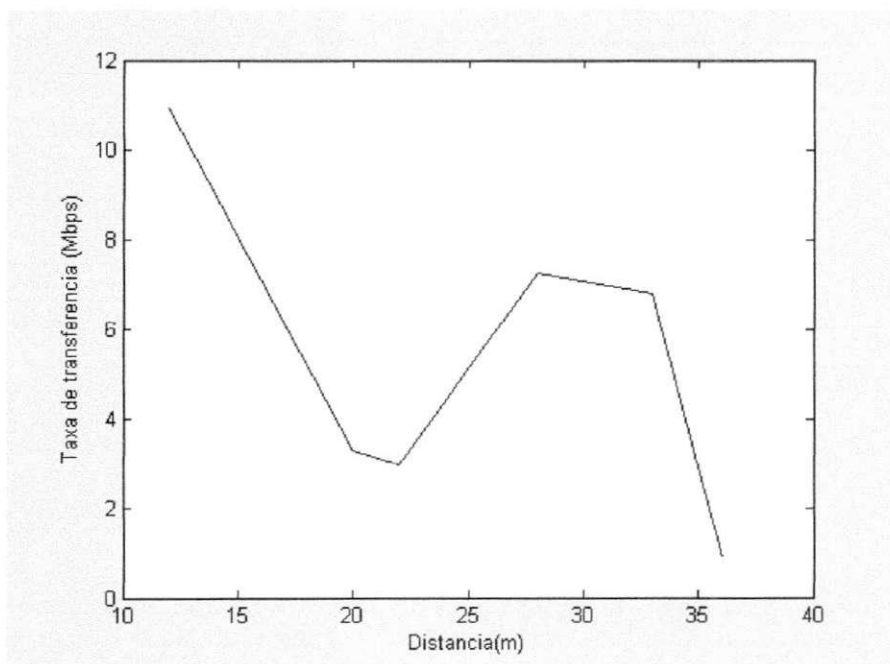


Figura 20: Taxa de transmissão em função da distância (para teste sem carregamento).

Com relação à taxa média de transmissão de áudio e imagem, pode-se concluir observando a Figura 21 que, sem a presença de cargas durante os testes, a qualidade foi boa (classificação 4) como na residência 1. Nota-se também que a taxa de transmissão permaneceu constante.

É interessante observar o gráfico da Figura 22, se assemelha ao gráfico da Figura 20. Foi verificado que em ambientes que contém motores de escovas (liquidificador), ou se a distância é relativamente grande, a qualidade de áudio e vídeo se tornam péssimas (1 segundo a classificação usada).

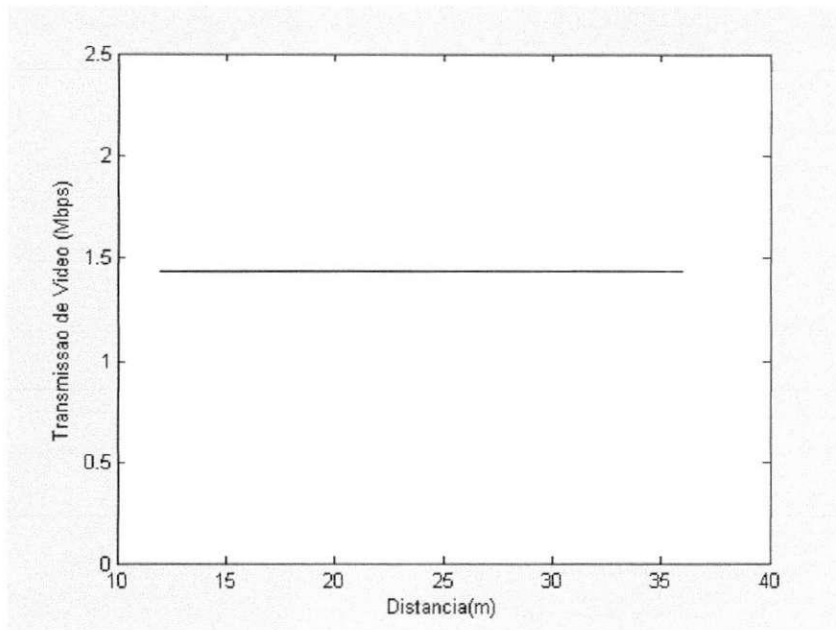


Figura 21: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste sem carregamento)

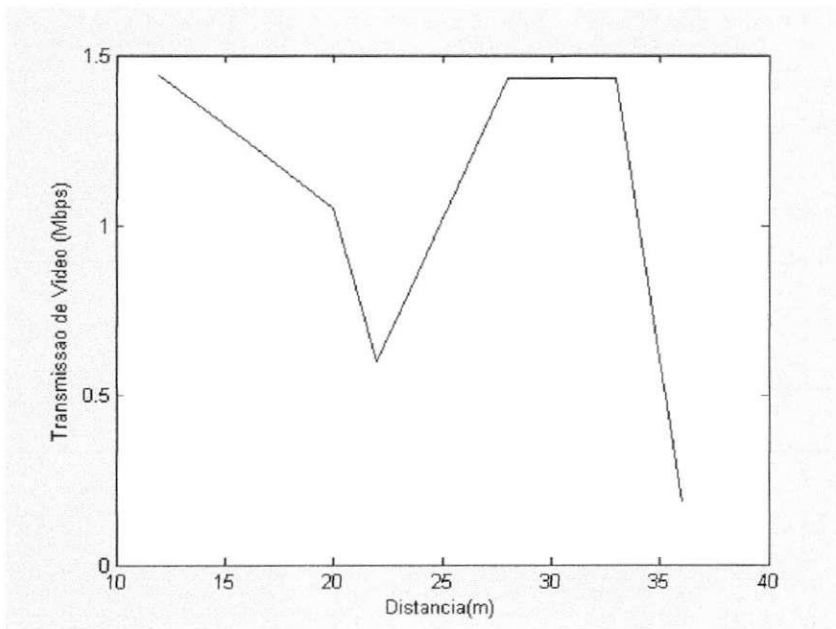


Figura 22: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste com carregamento)

4.3. Residência 3

Mais uma vez observando os gráficos da taxa de transmissão em função do comprimento percebemos que esta relação segue praticamente o mesmo comportamento dos gráficos apresentados para as outras residências. As pequenas diferenças são devido às características diferentes das instalações elétricas de cada residência e devido à natureza dinâmica das cargas. A Figura 23 apresenta os resultados para os testes sem

carregamento e a Figura 24 para os testes com carregamento. Os resultados, em ambos os casos, estão de acordo com o esperado.

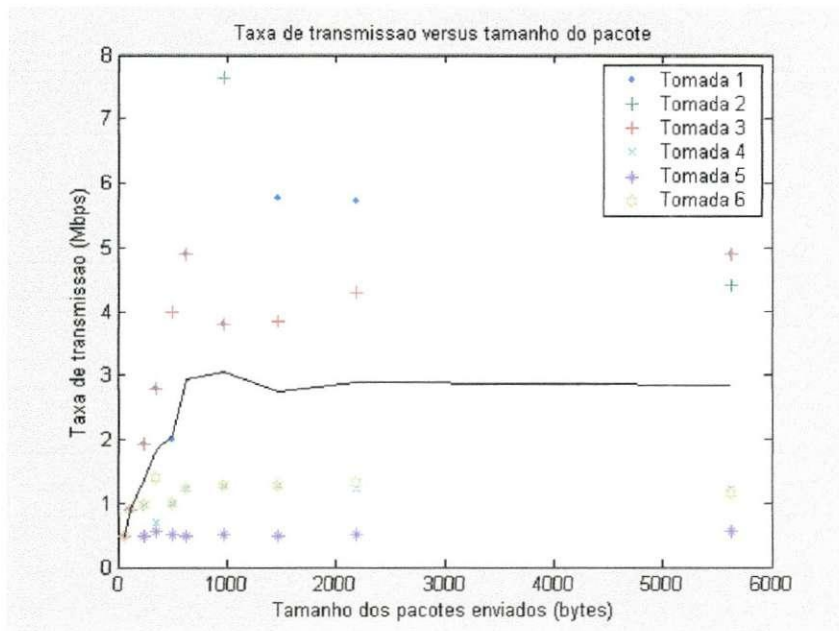


Figura 23: Taxa de transmissão em função do comprimento do pacote enviado (Teste sem carregamento).

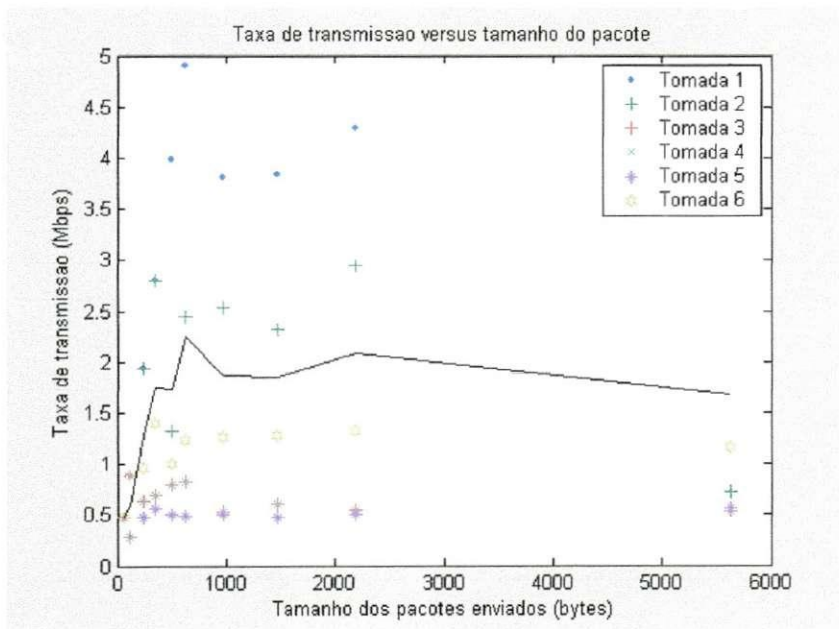


Figura 24: Taxa de transmissão em função do comprimento do pacote enviado (Teste com carregamento)

A seguir, os resultados da Figura 25 mostram que a taxa de transmissão medida em cada tomada é maior quando não existem cargas presentes na rede elétrica, condizendo os resultados obtidos nas residências 1 e 2. É interessante observar que as taxas de transmissão caem muito a partir da tomada 4, mesmo sem nenhuma carga presente. Salienta-se que, durante os testes, alguns dispositivos ficaram ligados, entre

eles a máquina de lavar, que localizava no mesmo circuito da tomada 5. Veja que este dispositivo foi responsável por praticamente toda a perda do sinal no teste sem carregamento, juntamente com a influência da distância e da presença de outras cargas.

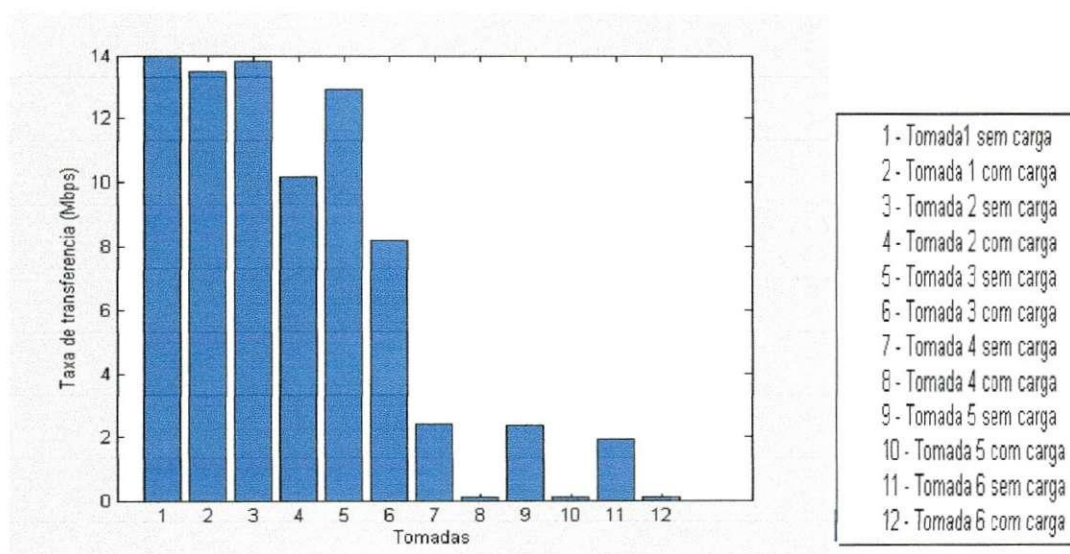


Figura 25: Taxa de transmissão em função das tomadas testadas (sem presença de carga e com presença de carga).

Também foi analisada a variação da taxa de transferência com o aumento da distância entre transmissor e receptor para os testes sem carga e com carga. Os resultados obtidos estão contidos nos gráficos da Figura 26 e da Figura 27 respectivamente.

Pode-se observar que a taxa de transferência diminui com o aumento da distância, conforme esperado. Infelizmente não foi possível realizar testes com distâncias superiores, mas pelo que pode ser observado pelo gráfico, para as condições nas quais os testes foram realizados, dificilmente se obteria um alcance superior a 50 metros.

Percebe-se também que quando é realizado o teste com carregamento (Figura 27), a taxa de transmissão diminui mais rapidamente que os dos testes sem carregamento (Figura 28). Um dos fatores determinantes para isso foi a presença do liquidificador e batedeira nas medições, pois ambos contém motor a escova.

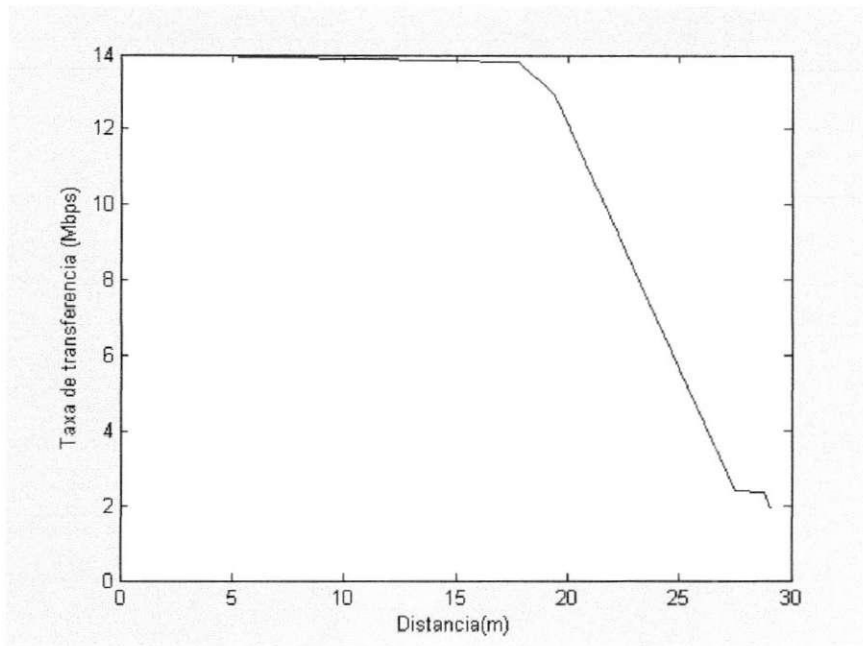


Figura 26: Taxa de transmissão em função da distância (para teste sem carregamento).

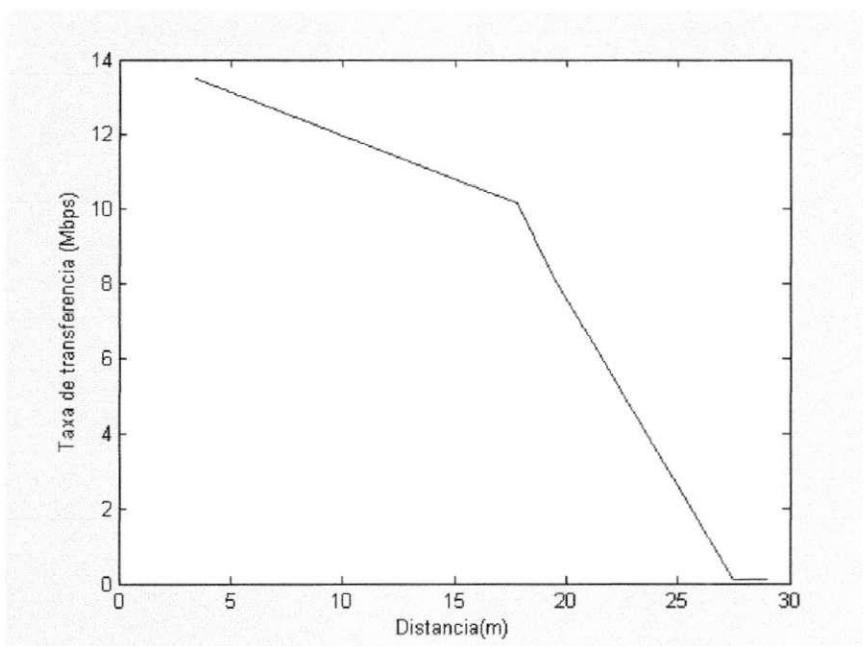


Figura 27: Taxa de transmissão em função da distância (para teste com carregamento).

Analisando a transmissão de vídeo e som, percebe-se que se não há cargas presentes durante as medições, a qualidade da reprodução é classificada como 4 (boa qualidade), permanecendo as taxas de transmissão praticamente constantes (Figura 28).

Quando há presença de muita carga conectada na rede elétrica (Figura 29), a qualidade da reprodução do vídeo e som é boa até um determinado momento. Devido à influência da distância e principalmente devido à batedeira e ao liquidificador estarem

sendo utilizados no momento das medições, a taxa de transmissão cai bruscamente, e assim a qualidade se torna ruim (1 segundo a classificação usada).

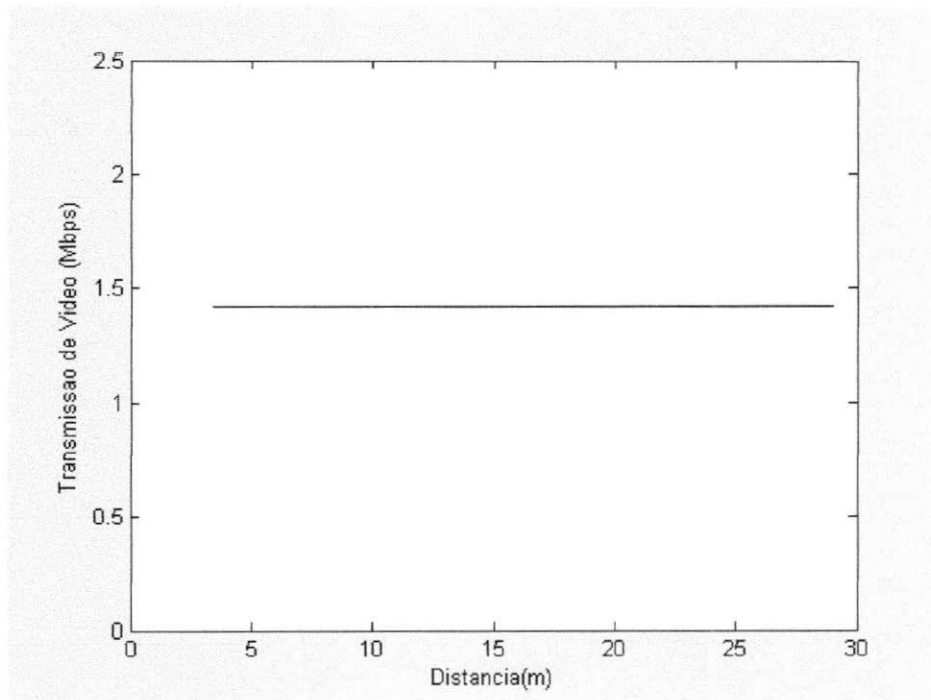


Figura 28: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste sem carregamento)

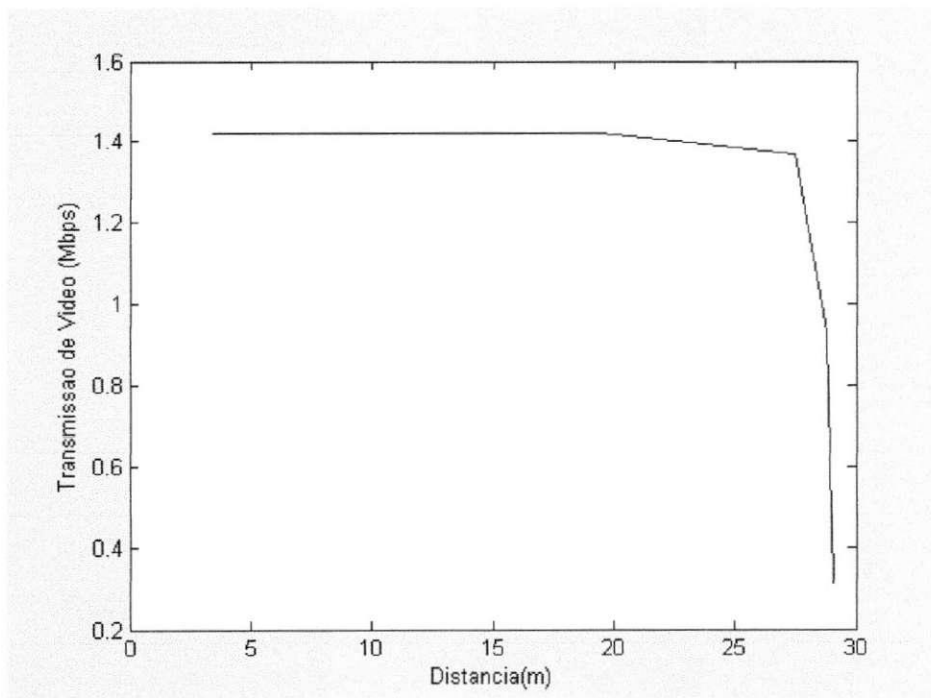


Figura 29: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste com carregamento).

4.4. Apartamento residencial

Com a finalidade de complementar os resultados obtidos nas residências, foram feitas medições em um apartamento residencial, já descrito anteriormente.

Primeiramente foram traçados os gráficos da taxa de transferência em função do comprimento dos pacotes enviados, seguindo o mesmo procedimento descrito para as residências 1,2 e 3.

A Figura 30 se refere ao teste sem carregamento, observe que se obtêm taxas bastante altas se comparadas aquelas das residências. Este fato já era esperado, pois as dimensões do apartamento são bem menores que das residências, logo, as taxas serão maiores.

A Figura 31 se refere ao teste com carregamento. Mesmo na presença de cargas, as taxas foram satisfatórias devido às pequenas dimensões do apartamento.

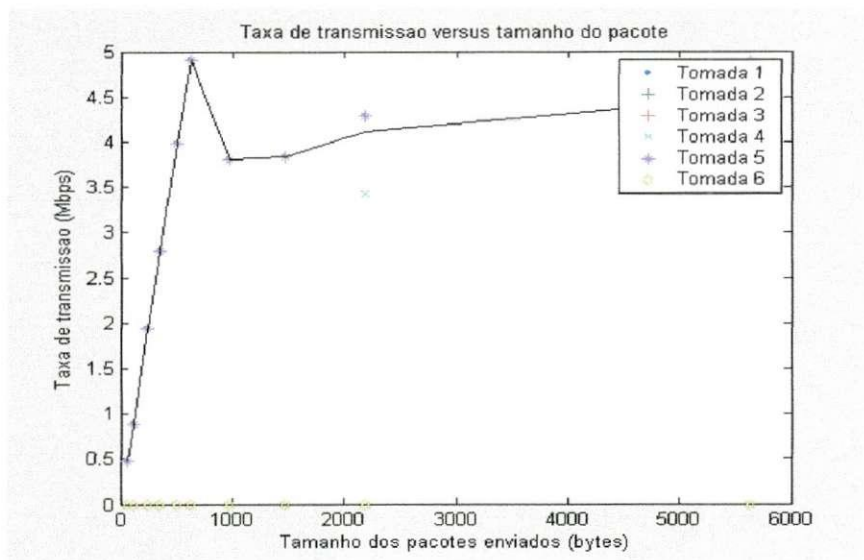


Figura 30: Taxa de transmissão em função do comprimento do pacote enviado (Teste sem carregamento)

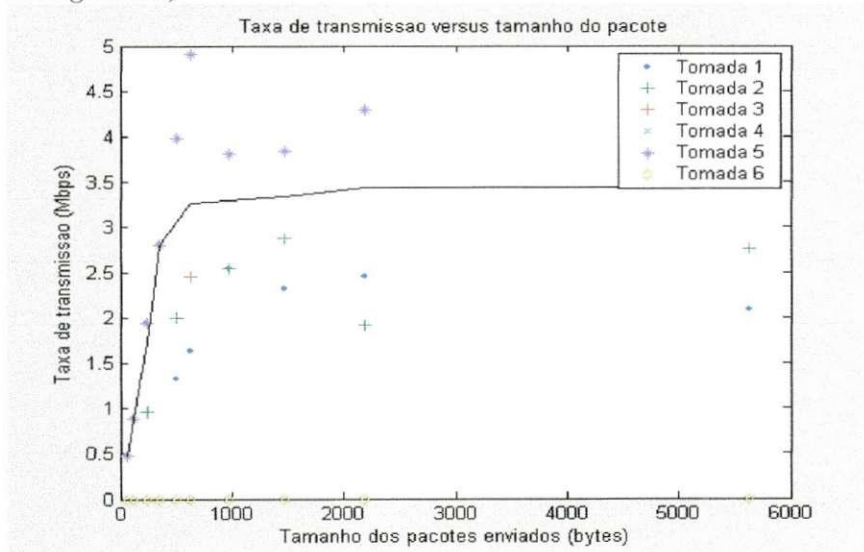


Figura 31: Taxa de transmissão em função do comprimento do pacote enviado (Teste com carregamento)

Os resultados obtidos a partir da Figura 32 são praticamente os mesmos dos obtidos dos ambientes residenciais. A maior diferença de taxa ocorreu na tomada 1, que corresponde à tomada da cozinha, portanto, durante o teste com carga o liquidificador contribuiu para a queda ser maior neste ponto.

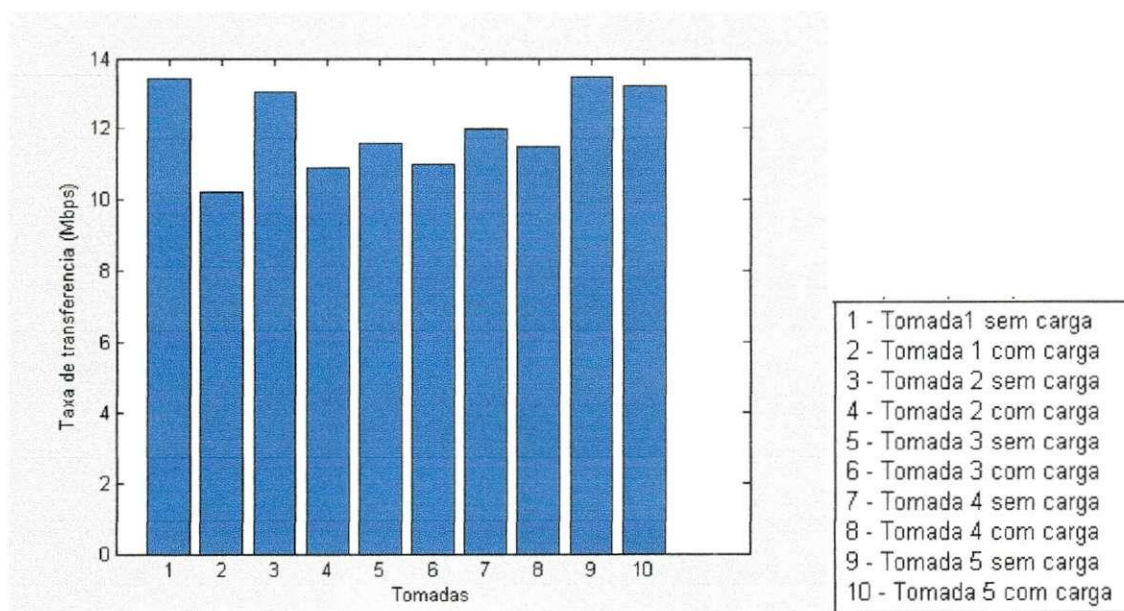


Figura 32: Taxa de transmissão em função das tomadas testadas (sem presença de carga e com presença de carga).

Observando o gráfico da Figura 33, observa-se novamente que a taxa de transmissão cai com o aumento da distância.

Com relação ao gráfico da taxa de transferência em função da distância para o teste com carregamento, verifica-se um comportamento curioso: a taxa cai muito inicialmente e depois cresce um pouco mesmo com o aumento da distância. O fato é explicado da mesma forma que ocorreu em outras residências, em aproximadamente 17,50m (ver Tabela 4), encontra-se a tomada 1, localizada na cozinha, logo a influência do motor a escovas do liquidificador, mais uma vez, contribuiu para essa queda acentuada da taxa de transmissão.

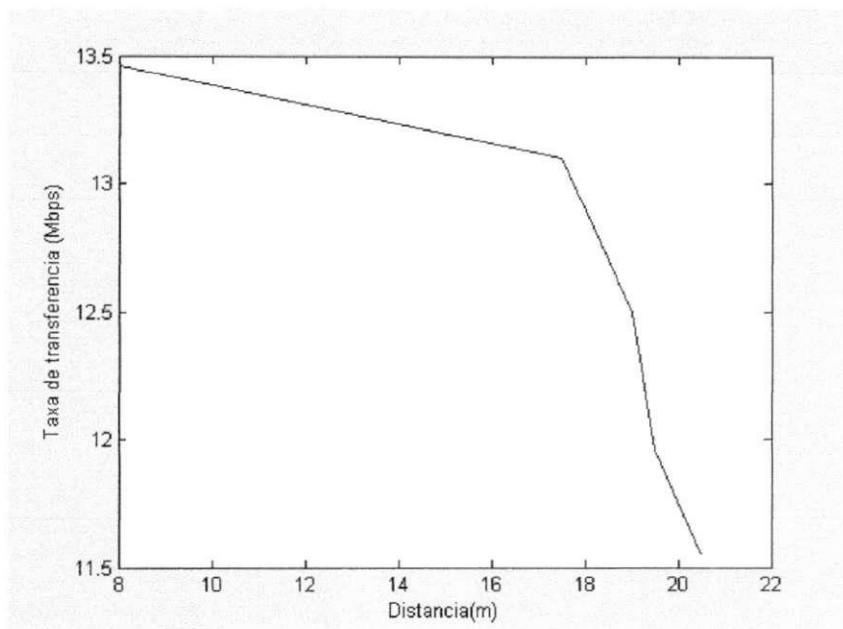


Figura 33: Taxa de transmissão em função da distância (para teste sem carregamento).

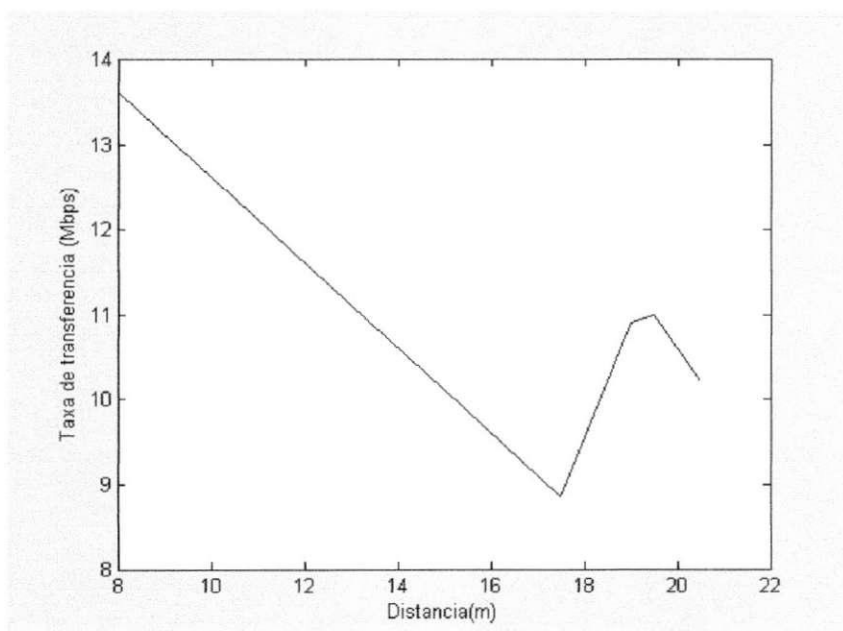


Figura 34: Taxa de transmissão em função da distância (para teste com carregamento).

Com relação aos resultados verificados da taxa de transmissão de vídeo para o teste sem carregamento (Figura 35), nota-se que a qualidade do vídeo e som foi boa para qualquer distância, obtendo o mesmo resultado das residências.

Observando a Figura 36, percebe-se que houve uma ligeira queda na taxa de transmissão do vídeo, entretanto, a qualidade continuou boa.

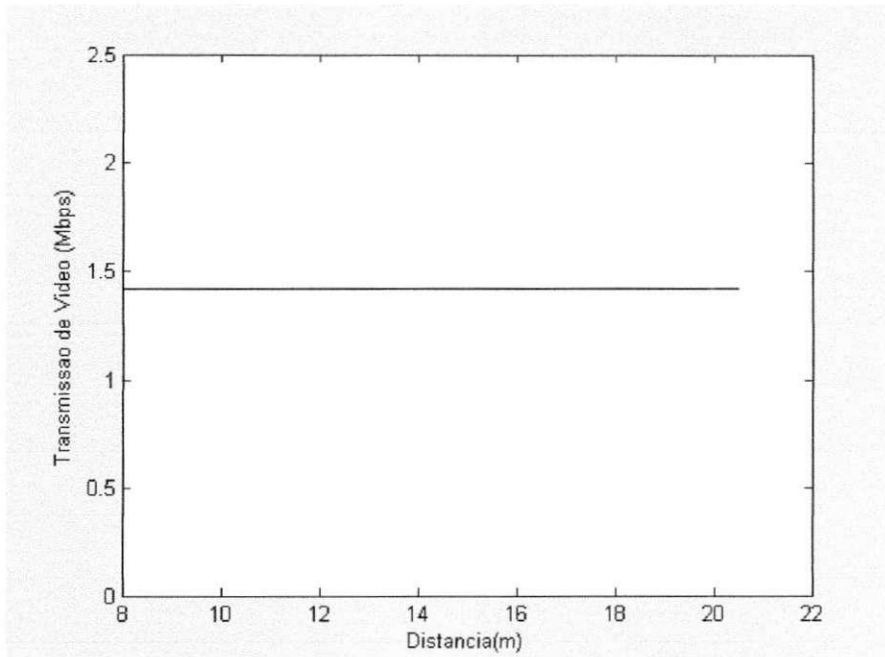


Figura 35: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste sem carregamento).

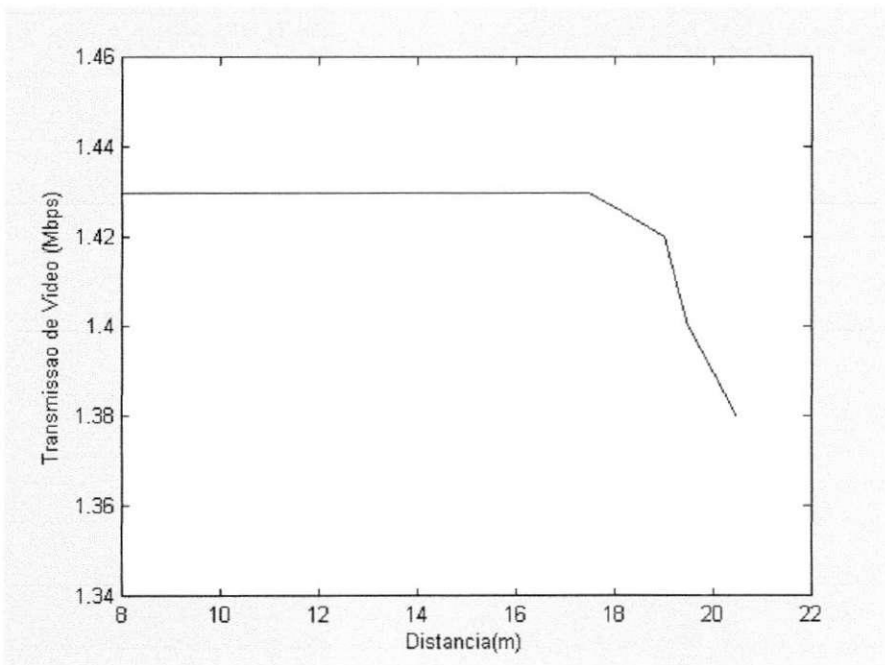


Figura 36: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste com carregamento)

4.5. Prédio Residencial

Com relação às medidas do teste com carregamento, não se obteve êxito na transmissão de dados via rede elétrica em nenhum caso. De fato, não se pode estimar o quanto de carga estaria ligado às 18h da noite no prédio em questão, mas é de se esperar que seja bastante grande considerando o número de apartamentos.

Foi feita a transmissão de um apartamento para diferentes tomadas localizadas em diferentes andares e para um apartamento pertencente ao mesmo andar. Os testes sem carregamento, como já dito, foram realizados entre as 14h e 16h.

Analisando o gráfico da Figura 37, nota-se que se assemelha muito com os obtidos para ambientes residenciais, quando o comprimento dos pacotes é pequeno, a taxa cresce. Para pacotes com tamanho acima de 1000bytes, percebe-se que a taxa de transmissão assume um valor estável mas, mesmo assim, muito baixo devido às distâncias entre os andares.

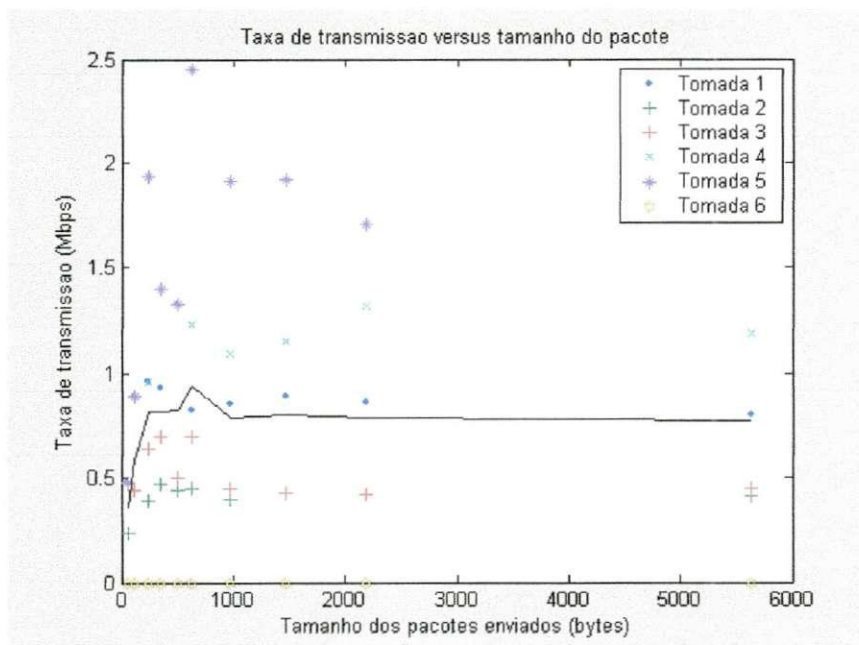


Figura 37: Taxa de transmissão em função do comprimento do pacote enviado (Teste sem carregamento).

É válido lembrar que as distâncias foram calculadas estimando o percurso do fio até a tomada onde estava conectado o equipamento PLC, pois não se conhece a instalação elétrica do prédio bem como os circuitos internos. Durante as medições, percebeu-se que quanto mais próximo do quadro de distribuição do prédio, melhor eram as medições, levando à conclusão que para realizar a transmissão de dados postando nosso transmissor no apartamento 202, necessariamente o sinal passaria pelo quadro de distribuição até chegar à tomada de determinado andar. De acordo com esse levantamento, a distância para transmitir do terceiro andar ao primeiro andar seria menor que do terceiro andar ao quarto andar, por exemplo.

Após essa análise, foi feito o gráfico da taxa de transferência em função da distância na Figura 38. Vê-se que os resultados estão de acordo com o esperado, pois quanto maior a distância menor será a taxa de transferência de dados.

A qualidade da reprodução do vídeo e som foi boa na garagem (tomada 5) e corredor térreo (tomada 4) devido à maior proximidade com o quadro de distribuição, e consequentemente, por apresentarem distâncias menores em relação ao transmissor. Após isso, a qualidade se torna ruim, sendo inviável a reprodução do vídeo,

Observando o gráfico da Figura 39, percebe-se algumas oscilações na taxa de transmissão de vídeo com o aumento da distância, isto ocorre, devido à natureza dinâmica das cargas presentes na rede elétrica no prédio, as quais não é possível estimar.

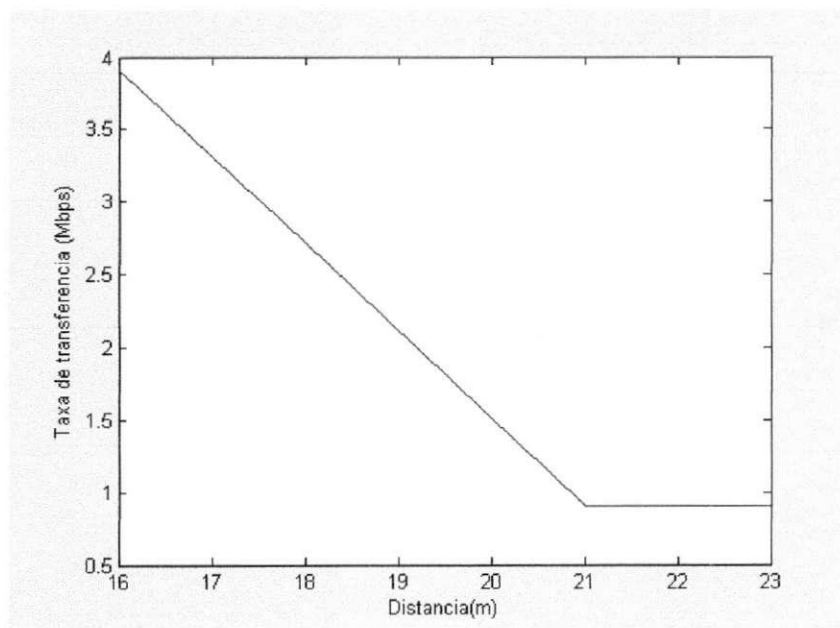


Figura 38: Taxa de transmissão em função da distância (para teste sem carregamento).

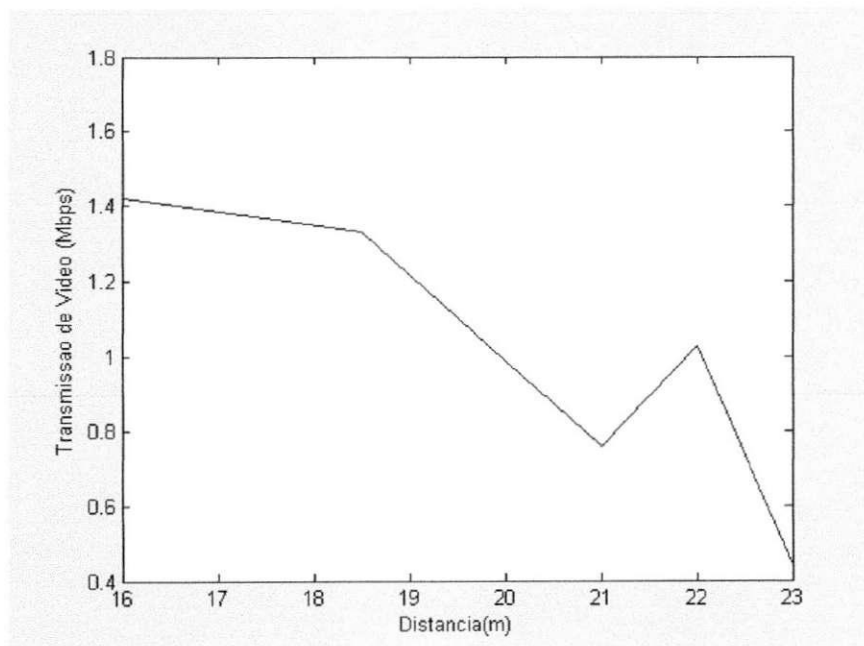


Figura 39: Taxa de transmissão do vídeo em função da distância (para teste sem carregamento).

5. Conclusões

Já é sabido que o equipamento PLC é especialmente projetado para aplicações residenciais, em conformidade com a tendência atual de focar as pesquisas sobre PLC na concepção de redes residenciais [5].

Analisando os resultados obtidos para os ambientes residenciais em questão, percebe-se que a transmissão de dados utilizando o equipamento PLC foi viável na maioria das vezes. Observa-se que a taxa de transmissão diminui com o aumento da distância, entretanto, o fator que proporciona maior atenuação são os motores com escovas.

Outra característica que deve ser levantada antes da utilização do PLC é a qualidade da instalação elétrica, que contribui para a qualidade da transmissão.

Estudos teóricos apontam uma taxa de transmissão entre 64kbps e 2Mbps para o canal de retorno da TV digital. De acordo com os resultados obtidos, as taxas de transmissão ficaram em média acima desse patamar mesmo em condições extremas e, isto ocorreu mesmo utilizando um equipamento PLC de pequena potência.

Por todos esses motivos, combinados com as vantagens que a tecnologia PLC oferece, conclui-se que o uso do PLC é uma alternativa para canal de retorno da televisão digital em ambientes residenciais.

Seria interessante, para estudos futuros, pesquisar uma maneira de diminuir a influência de dispositivos que geram ruído na rede elétrica, a fim de aperfeiçoar o uso da tecnologia PLC.

6. Referências Bibliográficas

- [1] CARVALHO, F.B.S., ALENCAR M.S., BRAZ, E. F., CASTRO, E. R. S. “Avaliação da Qualidade da Transmissão para Canal de Interatividade utilizando *Power Line Communications*”, XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT’05, Campinas-SP, 04-08 de setembro de 2005.
- [2] www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema4/pdf/108553.pdf (acessado em Dezembro de 2005).
- [3] http://www.enecos.org.br/docs/tvdigital_artigospolidoro.doc (acessado em Dezembro de 2005).
- [4] <http://www.teleco.com.br> (acessado em Dezembro de 2005).
- [5] 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 - TVDI2005, PUC Minas, Poços de Caldas-MG, 20 de maio de 2005.
- [6] <http://eel.ufsc.br/gpqcom/vidal/PLC/node1.html> (acessado em Dezembro de 2005).
- [7] <http://www.bandwidthmonitorpro.com/> (acessado em Dezembro de 2005).
- [8] <http://www.asokausa.com> (acessado em Dezembro de 2005).
- [9] K. Dostert, “*Power Line Communications*”, Prentice Hall PTR, 2001.