



**Universidade Estadual de Campinas**  
**Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação**  
**Departamento de Comunicações - DECOM**

**Análise de Desempenho de Transmissão de Vídeo em Redes  
IEEE 802.11 visando a Estruturação de Canais de Retorno  
para TV Digital**

**Autor: Thatiane Cristina dos Santos**

**Orientador: Prof. Dr. Yuzo Iano**

Trabalho Apresentado à  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
Computação da UNICAMP como parte dos  
requisitos exigidos para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Elétrica.

**Comissão Examinadora**

Orientador: Prof. Dr. Yuzo Iano

Prof. Dr. Fernando Silvestre da Silva

Prof. Dr. Luiz Henrique Bonani do Nascimento

Campinas, 27 de novembro de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sa59a Santos, Thatiane Cristina dos  
Análise de desempenho de transmissão de vídeo em  
redes IEEE 802.11 visando a estruturação de canais de  
retorno para TV digital / Thatiane Cristina dos Santos. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Yuzo Iano.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
Computação.

1. Televisão - Transmissores e transmissão. 2.  
Televisão digital. 3. Transmissão de imagens. 4.  
Sistemas de comunicação em fio. 5. Inteconexão de  
redes (Telecomunicações). I. Iano Yuzo. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Performance analysis of video transmission in IEEE 802.11  
networks aimed at structuring the return channel digital TV

Palavras-chave em Inglês: Television - transmitters and transmission, Digital  
television, Image transmission, Wireless  
communications systems, Internetworking  
(telecommunication)

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Fernando Silvestre da Silva, Luiz Henrique Bonani do  
Nascimento

Data da defesa: 27/11/2008

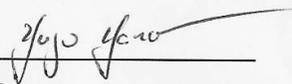
Programa de Pós Graduação: Engenharia Elétrica

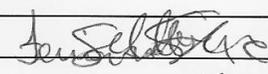
## COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

**Candidata:** Thatiane Cristina dos Santos

**Data da Defesa:** 27 de novembro de 2008

**Título da Tese:** "Análise de Desempenho da Transmissão de Vídeo em Redes IEEE 802.11  
Visando a Estruturação de Canais de Retorno para TV Digital"

Prof. Dr. Yuzo Iano (Presidente): \_\_\_\_\_ 

Prof. Dr. Fernando Silvestre da Silva: \_\_\_\_\_ 

Prof. Dr. Luiz Henrique Bonani do Nascimento: \_\_\_\_\_ 

# Agradecimentos

A Deus, por ter me dado toda sabedoria, capacidade, discernimento e amor durante o desenvolvimento do projeto. Louvado seja o Seu Nome por mais um projeto realizado. A Ele consagro esse trabalho, pois sem sua força não seria possível a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador, pela ajuda e dedicação durante a elaboração do projeto e pesquisa.

Aos demais colegas de pós-graduação, pelas críticas e sugestões.

À minha família pelo apoio durante esta jornada, pois sem o carinho e a compreensão não teria como completar essa etapa de minha vida. Muito Obrigada.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

*“A fé é o firme fundamento das coisas que se esperam  
e a prova das coisas que não se vêem.”*

***Hebreus 11:1***

*Aos meus pais e meus avós.*

# Resumo

A transmissão de vídeo em redes *Wireless* é abordada pela pesquisa, devido o grande aumento na utilização dessas redes na última década. O acesso à banda larga por essas redes é feito de forma eficiente, rápida e com baixo custo de implementação e manutenção da rede.

A motivação para o desenvolvimento é utilizar essas redes e a rede IPTV para promover a interatividade e uma forma do canal de retorno para Sistemas de Televisão Digital, que estão sendo implementadas atualmente no Brasil.

O canal de Retorno da TV Digital é importante para o sistema, pois um dos objetivos é prover a interatividade entre os usuários. Isso deve ser feito de forma simples com baixo custo e com tecnologia compatível a região do usuário.

A simulação trata de um sistema de transmissão *unicast* que seria semelhante a uma interatividade local e dedicada. O usuário transmite o conteúdo de uma só vez. Os dados que são transmitidos pela provedora de serviços, são armazenados no *set-top-box*, e só são modificados em caso de novo fluxo de dados, quando há atualização ou acesso a nova área de serviços.

Os testes feitos durante a pesquisa, transmitem conteúdo em tempo real e avaliam de forma quantitativa o desempenho das redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g.

**Palavras-chave:** transmissão de vídeo, redes IEEE 802.11, qualidade de serviço, desempenho de transmissão.

# Abstract

The streaming video transmission on Wireless networks is concerned in the research due to the large increase in the use of such networks in the last decade. Broadband access for these networks is made efficiently, quickly and with low implementation and maintenance costs of the network.

The motivation for developing this research is to use these networks and IPTV network to promote interactivity and a return channel for digital television system, currently being implemented in Brazil.

The return channel is important for the Digital TV system, because one of the goals is to provide interactivity for the users. This should be done in a simple, low cost way and with technology compatible in the region of the user.

The simulation deals with a unicast transmission system which is similar to a local and dedicated interactivity. The user transmits all the contents at once. The data transmitted by a service provider are stored on set-top box and are modified only in case of new data flow, when there are updates or access to new area of services.

The tests performed during the research, it was broadcasted contents in real time and evaluated quantitative the performance of IEEE 802.11b and IEEE 802.11g networks.

**Keywords:** transmission of video, IEEE 802.11 network, quality of service, performance of transmission.

# Sumário

Lista de Figuras .....	iii
Lista de Tabelas.....	v
Lista de Tabelas.....	v
Lista de Símbolos.....	vi
Lista de Símbolos.....	vi
Trabalhos Publicados pelo Autor .....	ix
Capítulo 1 Introdução.....	1
1.1 Motivação e Objetivos .....	1
1.2 Contribuições .....	2
Capítulo 2 Redes sem Fio.....	3
2.1 Comunicação Sem Fio .....	3
2.2 Padrão IEEE 802.11 .....	7
2.2.1 Variações do Padrão 802.11 .....	8
2.2.2 Arquitetura .....	9
2.2.3 Camada Física .....	9
2.2.4 Subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) .....	10
2.3 Redes do Padrão IEEE 802.11 e Internet .....	11
Capítulo 3 Parâmetros de Análise de Transmissão de Vídeo nas Redes Mistas.....	13
3.1 Problemática da Distribuição de Áudio e Vídeo.....	13
3.2 Qualidade de Serviços em Aplicações Multimídia distribuída .....	15
3.2.1 O Padrão MPEG (Moving Picture Expert Group) .....	15
3.2.2 Distribuição de Vídeo Digital .....	15
3.2.3 Formato DVD.....	16
3.2.4 Streaming de Vídeo.....	17
3.2.5 Parâmetros de Qualidade de Serviços em Aplicações Multimídia .....	18
3.2.5.1 Largura de Banda para Aplicações Multimídias.....	19
3.2.5.2 Qualidade de Serviço para Aplicações Multimídias .....	19
Capítulo 4 Medidas Práticas e Cenários Estudados .....	20
4.1 A Bancada de Emulação .....	20
4.2 Redes Simuladas .....	21
4.3 Problema Abordado.....	22
4.3.1 O Emulador de Canal .....	23
4.3.2 Componentes da Bancada .....	24
4.3.3 Calibração.....	25
4.3.4 Medidas com Antena Yagi-Uda de 5 elementos.....	26
4.4 Resultados das Medições Indoor.....	29
4.4.1 Canais Utilizados na Simulação .....	29
4.4.2 Emulador de Canal .....	30
4.4.3 Medidas da Antena Yagi-Uda de 5 Elementos .....	33
Capítulo 5 Análise de Resultados.....	35
5.1 Descrição dos Testes .....	35
5.2 O Protocolo RTP e os Resultados .....	40
5.3 Resultados Obtidos.....	43
5.3.1 Testes com a Rede IEEE 802.11 b .....	43

5.3.1.1	Resultados Obtidos com a Transmissão de Vídeo com a Rede IEEE 802.11 b.....	52
5.3.2	Redes IEEE 802.11 g .....	53
5.3.3	Resultados Obtidos com a Transmissão de Vídeo com a Rede IEEE 802.11 g.....	54
Capítulo 6 Conclusões.....		56
6.1	Trabalhos Futuros.....	58
Apêndice A.....		59
A1	– Definição dos <i>Softwares</i> .....	59
A2	– Gráficos de Calibração das Chaves RF .....	61
A3	– Gráficos dos Testes - Rede IEEE 802.11 g .....	64
Referências Bibliográficas .....		74

# Lista de Figuras

Fig. 2.1 – Tecnologias de comunicação sem fio [3].....	5
Fig. 2.2 – Rede <i>ad hoc</i> típica [4].....	6
Fig. 2.3 – WLAN infra-estruturada [4].....	7
Fig. 2.4 – Integralização entre IEEE 802.11 e 3G.....	12
Fig. 3.1 – Características do vídeo utilizado durante os testes.....	16
Fig. 3.2 – Dispositivos de um <i>streaming</i> .....	17
Fig. 3.3 – Distribuição de <i>streaming unicast</i> .....	18
Fig. 4.1 – Emulador de canal.....	20
Fig. 4.2 – Componentes da bancada de emulação.....	21
Fig. 4.3 – Base eletrônica com a antena <i>Yagi-Uda</i> de 5 elementos.....	22
Fig. 4.4 – Diagrama de blocos da bancada de emulação de canal.....	24
Fig. 4.5 – Circuito da chave RF [18].....	25
Fig. 4.6 – <i>Software flat fading</i> .....	26
Fig. 4.7 – Antena <i>Yagi-Uda</i> de 5 elementos.....	27
Fig. 4.8 – Planta da praça de alimentação da PUC Campinas.....	28
Fig. 4.9 – Curva de atenuação da bancada.....	31
Fig. 4.10 – Resposta especificada pelo fabricante.....	31
Fig. 4.11 – Curva do atenuador variável para o canal 1.....	32
Fig. 4.12 – Curva do atenuador variável para o canal 6.....	32
Fig. 4.13 – Curva do atenuador variável do canal 11.....	33
Fig. 4.14 – Potência de sinal em ponto com visada.....	34
Fig. 4.15 – Potência de sinal em ponto sem visada.....	34
Fig. 5.1 – Arquitetura da rede utilizada.....	35
Fig. 5.2 – <i>Software VLC</i> .....	36
Fig. 5.3 – Opções selecionadas no VLC.....	36
Fig. 5.4 – Opções de <i>codec</i> no VLC.....	37
Fig. 5.5 – <i>Software Kemo-Relais Timer</i> para o sinal máximo.....	38
Fig. 5.6 – <i>Software Kemo-Relais Timer</i> para o sinal mínimo.....	38
Fig. 5.7 – Geração de tráfego UDP (cliente).....	39
Fig. 5.8 – <i>Software flat flating</i> .....	40
Fig. 5.9 – Opções para gerar gráficos no <i>wireshark</i> .....	42
Fig. 5.10 – Gráfico ( <i>wireshark</i> ) – parâmetros – <i>difference e jitter</i> .....	43
Fig. 5.11 – <i>Difference</i> da transmissão em máxima potência.....	44
Fig. 5.12 – <i>Jitter</i> da transmissão em máxima potência.....	44
Fig. 5.13 – <i>Difference e jitter</i> transmissão em sinal máximo com tráfego UDP.....	45
Fig. 5.14 – <i>Difference</i> – transmissão em sinal máximo com tráfego UDP.....	46
Fig. 5.15 – <i>Jitter</i> – transmissão em sinal máximo com tráfego UDP.....	46
Fig. 5.16 – <i>Difference e jitter</i> utilizando sinal da praça de alimentação.....	47
Fig. 5.17 – <i>Difference</i> – sinal da praça de alimentação.....	48
Fig. 5.18 – <i>Jitter</i> – sinal da praça de alimentação.....	48
Fig. 5.19 – <i>Difference e jitter</i> transmissão com sinal da praça e tráfego UDP.....	49
Fig. 5.20 – <i>Difference</i> – transmissão com sinal da praça e tráfego UDP.....	50
Fig. 5.21 – <i>Jitter</i> transmissão com sinal da praça e tráfego UDP.....	50
Fig. 5.22 – <i>Difference e jitter</i> – transmissão com o sinal mínimo de potência.....	51

Fig. 5.23 – <i>Difference</i> – transmissão com o sinal mínimo de potência.....	51
Fig. 5.24 – <i>Jitter</i> – transmissão com o sinal mínimo de potência .....	52
Fig. A.1 – <i>Software Wireshark</i> .....	60
Fig. A.2 – Atenuação da chave 1 no canal 1 .....	61
Fig. A.3 – Atenuação da chave 1 no canal 6 .....	61
Fig. A.4 – Atenuação da chave 1 no canal 11 .....	62
Fig. A.5 – Atenuação da chave 2 no canal 1 .....	62
Fig. A.6 – Atenuação da chave 2 no canal 6. ....	63
Fig. A.7– Atenuação da chave 2 no canal 11. ....	63
Fig. A.8 – <i>Difference</i> e <i>jitter</i> na transmissão com o sinal máximo de potência.....	64
Fig. A.9 – <i>Difference</i> na transmissão com o sinal máximo de potência .....	64
Fig. A.10 – <i>Jitter</i> na transmissão com o sinal máximo de potência.....	65
Fig. A.11 – <i>Difference</i> e <i>jitter</i> na transmissão com sinal máximo e tráfego UDP .....	66
Fig. A.12 – <i>Difference</i> na transmissão com sinal máximo e com tráfego UDP.....	66
Fig. A.13 – <i>Jitter</i> na transmissão com sinal máximo e com tráfego concorrente UDP .....	67
Fig. A.14 – <i>Difference</i> e <i>jitter</i> na transmissão com o sinal da praça de alimentação.....	68
Fig. A.15 – <i>Difference</i> na transmissão com o sinal da praça de alimentação .....	68
Fig. A.16 – <i>Jitter</i> na transmissão com o sinal da praça de alimentação.....	69
Fig. A.17 – <i>Difference</i> e <i>jitter</i> – transmissão com sinal da praça e tráfego UDP .....	69
Fig. A.18 – <i>Difference</i> na transmissão com sinal da praça e tráfego UDP .....	70
Fig. A.19 – <i>Jitter</i> na transmissão com sinal da praça e tráfego UDP.....	70
Fig. A.20 – <i>Difference</i> e <i>jitter</i> na transmissão com sinal mínimo de potência .....	71
Fig. A.21 – <i>Difference</i> na transmissão com sinal mínimo de potência .....	71
Fig. A.22 – <i>Jitter</i> na transmissão com o sinal mínimo de potência .....	72
Fig. A.23 – <i>Difference</i> e <i>jitter</i> na transmissão com sinal mínimo e tráfego UDP.....	72
Fig. A.24 – <i>Difference</i> na transmissão com sinal mínimo de potência e tráfego UDP .....	73
Fig. A.25 – <i>Jitter</i> na transmissão com sinal mínimo de potência e tráfego UDP .....	73

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Relação das taxas de armazenamento para algumas médias [8] .....	14
Tabela 4.1 – Valores de frequência utilizada por canal de transmissão .....	30
Tabela 5.1 – Parâmetros de QoS e valores das simulações dos ambientes propostos .....	53
Tabela 5.2 – Parâmetros de QoS e valores das simulações dos ambientes propostos .....	54

# Lista de Símbolos

2G	Segunda Geração
3G	Terceira Geração
ACK	<i>Acknowledge</i>
AP	<i>Access Point</i> – Ponto de Acesso
AVI	<i>Audio Video Interchange</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i> – Conjunto de Serviços Básicos
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CCK	<i>Complementary Code Keying</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> – Acesso Múltiplo por Divisão de Código
CDMA/CD	<i>Code Division Multiple Access / Collision Detection</i>
CDPD	Dados Celulares do Pacote de Digital
D/A	Digital/Analógico
dB	Decibel
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DQPSK	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
DS	<i>Distribution System</i>
DSSS	<i>Direct Sequency Spread Spectrum</i>
ESS	<i>Extended Service Set</i> – Conjunto de Serviços Estendidos
fps	<i>Frames por segundo</i>
Gbps	<i>Giga bites por segundo</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
GHz	<i>Giga hertz</i>
GIF	<i>Graphics Interchange Format</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
iBSS	<i>Independent BSS</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i> – Protocolo Internet
IR	Infravermelho ( <i>Infrared</i> )

ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
JPEG	<i>Joint Photograph Expert Group</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MADU	<i>Mac Sublayer Data Unit</i>
Mbps	<i>Megabytes por Segundo</i>
MIDI	<i>Musical Instrument Digital Interface</i>
mW	<i>miliwatts</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PAL	<i>Phase Alternation by Line</i>
PC	<i>Personal Computer (Computador Pessoal)</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PHY	<i>Camada Física</i>
PNA	<i>Progressive Networks Audio</i>
PNM	<i>Progressive Networks Media</i>
PPM	<i>Pulse Position Modulation</i>
PUC	<i>Pontifícia Universidade Católica</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAN	<i>Radio Access Networks</i>
RF	<i>Rádio Frequência</i>
RSTP	<i>Real Time Streaming Protocol</i>
RTP	<i>Real Time Transport Protocol</i>
RTPC	<i>Real Time Control Protocol</i>
RVA-2500	<i>Atenuador Variável</i>
SECAM	<i>Sequentiel Couleur Avec Memoire</i>
STA	<i>Estações sem Fio</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UNII	<i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>
VLC	<i>Video LAN Client</i>
WAV	<i>Wave</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>

WLAN	<i>Wireless Local Area Networks</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

## Trabalhos Publicados pelo Autor

T. C. Santos, Y. Iano, O. Branquinho. “*Análise de Desempenho da Transmissão de Vídeo em Redes IEEE 802.11 visando a Estruturação de Canais de Retorno para TV Digital*” – submetido a Revista Ciência e Tecnologia, UNISAL – Centro Universitário Salesiano de São Paulo, ISBN1677.9649, em 2008.

# Capítulo 1 Introdução

O grande aumento de demanda de serviços de multimídia e *internet* de alta velocidade observado nos últimos anos, tanto por clientes residenciais quanto por comerciais, mostra que o mercado está ansioso por novas tecnologias. Essas devem oferecer acesso de banda larga para o usuário final, de uma forma eficiente, rápida e de custo baixo tanto para a implementação quanto para a manutenção.

Atualmente o acesso à banda larga é oferecido por meio de DSL (*Digital SubscriberLine*) por cabo ou por BWA (*Broadband Wireless Access*). Esta última tecnologia emergente que possui diversas vantagens, por exemplo, tem a capacidade de atender grandes regiões demográficas sem as limitações de distância do DSL ou do alto custo de instalação de infra-estrutura do cabo, com menor custo de manutenção, grande facilidade e rapidez de instalação da rede, além de atingir regiões nas quais não existe infra-estrutura de banda larga com fio, como em áreas rurais.

O padrão IEEE 802.11 para redes locais sem fio (*Wireless Local Area Networks - WLANs*), tem sido amplamente utilizado para o acesso móvel aos serviços oferecidos pelas redes fixas, como a *internet*.

As principais características das redes IEEE 802.11 são simplicidade e robustez. A grande vantagem dessa rede é o baixo custo de operação dado que utiliza um espectro não licenciado. Essa tecnologia tende a desempenhar um importante papel no acesso sem fio à *internet*. Além disso, pode interoperar com a gama de serviços disponibilizados por provedores de redes móveis (GPRS - *General Packet Radio Service* e GSM - *Global System for Mobile Communications*), oferecendo uma solução eficiente para a transmissão de dados fim-a-fim em banda larga em ambientes fechados. Por exemplo, em aeroportos, estações de trem, hotéis e prédios comerciais, e estações de canal de retorno para TV digital.

Todavia, esse padrão não tem mecanismos para prover qualidade de serviço. Por isso, a especificação IEEE 802.11e foi desenvolvida, como uma extensão da especificação original. Essa especificação fornece diferenciação de serviços, mas não define como essa funcionalidade deve ser utilizada em uma situação particular de carga da rede. A existência de classes de serviços não dá a certeza de que os fluxos presentes na rede serão servidos com um retardo aceitável para o tipo de aplicação a que pertencem.

## 1.1 Motivação e Objetivos

O trabalho tem como objetivo estudar cenários que podem ser aplicados a canais de retorno de TV digital, os resultados servem para criar parâmetros de qualidade para uma futura estruturação

de um canal de retorno.

A motivação surgiu a partir de um trabalho de iniciação científica (PIC) - *Gerência de Redes para coleta e armazenamento de informações de experimentos*, desenvolvido no campus I da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCamp), no qual se construiu uma bancada de emulação de canal. Durante o trabalho utilizaram-se a bancadas para fazer testes que simulam as redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, sendo aplicadas em algumas situações de transmissão de vídeo streaming.

## 1.2 Contribuições

As principais contribuições desta dissertação são:

- Estudo das especificações IEEE 802.11 (WiFi) ;
- Práticas com vídeo nas redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, usando processos de emulação de *flating fading*, com as redes operando em 2,4 GHz (1,6 e 11);
- Levantamentos dos parâmetros de qualidade de serviços para redes estudadas, por meio de *software* de análise de sinais;
- Adaptação dos parâmetros, viabilização das redes para transmissão de vídeo, análise de eficiência de rede;
- Estudo prático quantitativo da transmissão de vídeo em redes WiFi.

O restante da dissertação é organizado da seguinte forma:

No Capítulo 1, a Introdução descreve as principais causas da utilização das Redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g.

No Capítulo 2, a comunicação sem fio é revista, as principais características dessa tecnologia são descritas e a sua relação com a *internet*.

No Capítulo 3, a qualidade de serviço é abordada. As mídias distribuídas (áudio e vídeo) necessitam de ter certo nível de qualidade de serviço para que possam ser transmitidas. Nesse capítulo descrevem-se os parâmetros utilizados nos testes e a mídia usada.

No Capítulo 4, a bancada de teste e a forma como foi construída são descritas. São abordados aspectos das redes que a bancada emula, como o problema é tratado, a calibração dos mecanismos, todos os estágios dos testes, a emulação de canal e os canais utilizados.

No Capítulo 5, os gráficos gerados com todos os *softwares* usados durante as transmissões de vídeo são mostrados. Os tipos de dados usados para se fazer as análises dos testes são descritos.

No Capítulo 6, apresentam-se as conclusões sobre as transmissões de vídeo em redes IEEE 802.11 e a abordagem de como seria possível providenciar um canal de retorno para o sistema de televisão digital.

## Capítulo 2 Redes sem Fio

As redes sem fio oferecem aos usuários uma comunicação mais versátil e mais flexível do que a comunicação realizada com celulares ou *pager*. Dessa forma, ampliam-se a utilização de computadores portáteis e permitem acesso contínuo aos serviços e recursos das redes fixas.

Este capítulo explica alguns conceitos da comunicação sem fio, o padrão IEEE 802.11, a camada física e a camada de controle de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control*) da mesma.

### 2.1 Comunicação Sem Fio

A comunicação sem fio apresenta maiores dificuldades do que a comunicação por meio de cabos devido aos diferentes fenômenos físicos tais como, interferência e desvanecimento de sinal. Esses podem introduzir ruído ou, até mesmo, bloquear o sinal. O enlace sem fio pode sofrer constantes variações ao longo do tempo causadas por condições atmosféricas adversas, como chuva forte e raios, e por fontes de interferência eletromagnética. Assim, as conexões sem fio apresentam qualidade inferior às conexões cabeadas: taxas de transmissão mais baixas e altas taxas de erro. As redes locais sem fio IEEE 802.11 suportam taxas de 1 até 54Mbps, enquanto que as redes locais fixas IEEE 802.3 suportam taxas de 10Mbps até 1Gbps. A taxa de erro de bits é praticamente desprezível na fibra óptica, enquanto que no meio sem fio ela pode ser de 1 bit a cada 10<sup>5</sup> transmitidos [1].

A segurança e a privacidade também são questões a serem consideradas, uma vez que os sinais no meio sem fio podem ser captados por nós que não pertencem à estrutura lógico-administrativa da rede e que têm, portanto, uma possibilidade de acesso não autorizado. Os sistemas móveis devem fornecer privacidade de localização. Isso implica em proteger a identidade dos usuários; assegurando um *multicast* seguro. Em diversas aplicações, tais como videoconferência, utiliza-se esse tipo de comunicação exigindo autenticação confiável, já que a mobilidade implica em autenticações frequentes [2].

A assimetria no custo da comunicação entre a estação móvel e o ponto de acesso se deve ao fato de que a transmissão exige aproximadamente dez vezes mais potência do que a operação de recepção. Pode-se conservar energia substituindo-se operações de transmissão por operações de recepção. Um ponto de acesso pode enviar informações que seriam requisitadas frequentemente, sendo que os dispositivos móveis obtêm essas informações sem desperdiçar energia transmitindo requisições.

A mobilidade exige das redes sem fio, mecanismos para a transferência de conexões ativas quando a estação passa da área de cobertura de um ponto de acesso para a de outro. Quando um

dispositivo móvel se distancia do ponto de acesso, o nível do sinal sofre uma degradação e, então, há a necessidade de se transferir a responsabilidade pela comunicação para outro ponto de acesso. O mecanismo que realiza a transferência da conexão de uma estação móvel de um ponto de acesso para outro é chamado *handoff*. Esse mecanismo envolve a utilização de algoritmos complexos para a escolha do momento ótimo para a realização do *handoff*, além de uma seqüência de eventos, dentre eles o re-roteamento da conexão e o registro no novo ponto de acesso, os quais adicionam carga à rede. Procedimentos de *handoff* podem resultar em interrupções nos tráfegos de voz ou perda de pacotes nas transmissões de dados em andamento [3].

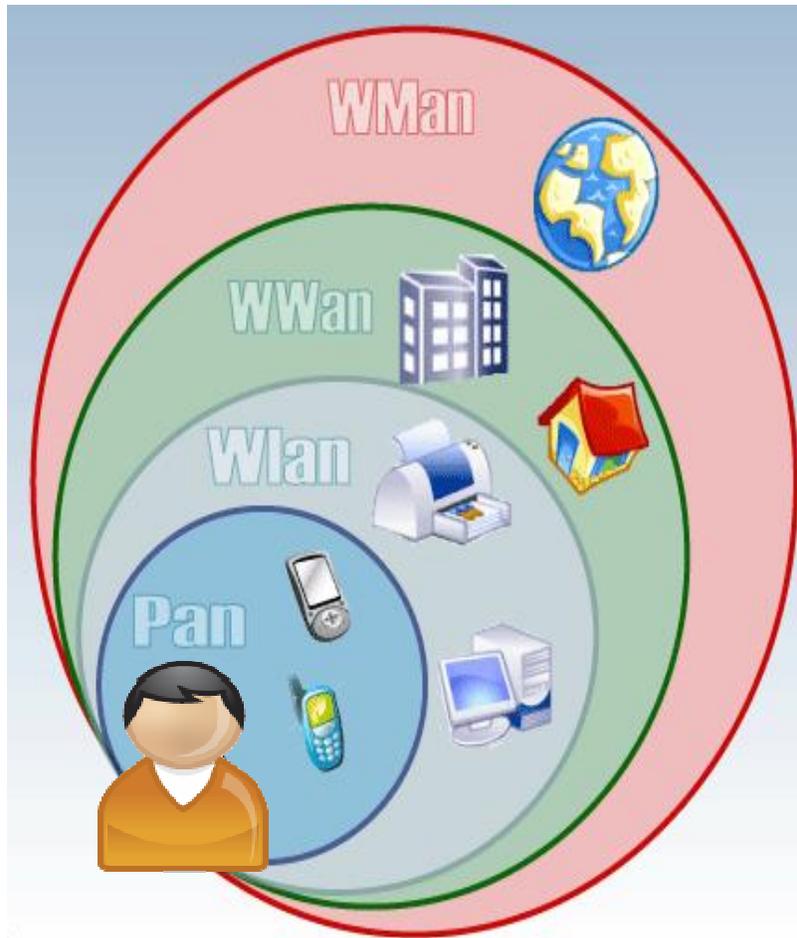
De acordo com a sua área de cobertura podemos classificar as tecnologias de comunicação sem fio em:

- WWAN (*Wireless Wide Area Network*) – trata-se tecnologia de maior alcance, que interliga diferentes partes de um país ou do mundo. Essas redes fornecem baixas taxas de transmissão de dados (na faixa de 144kbps à 2Mbps). As tecnologias WWAN atuais são conhecidas como sistemas de segunda geração (2G). Os principais sistemas 2G incluem o sistema global para comunicações móveis (GSM), os dados digitais de pacote de celular (CDPD - *Cellular Digital Packet Data*) e o acesso múltiplo de divisão de código (CDMA – *Code Division Multiplex Access*). Atualmente estão sendo empreendidos esforços para fazer a transição de redes 2G, algumas das quais apresentam recursos móveis limitados e são incompatíveis entre si, para as tecnologias de terceira geração (3G) que seguirão um padrão global e fornecerão recursos móveis mundiais. A ITU está promovendo ativamente o desenvolvimento de um padrão global para 3G.
- WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) – abrange uma área menor que a WWAN, uma cidade, por exemplo. Provê acesso de banda larga a prédios comerciais ou residenciais com antenas externas que se comunicam com estações rádio-base, alternativa ao acesso por fibra óptica ou DSL (*Digital Subscriber Line*).
- WLAN (*Wireless Local Area Network*) – ela fornece altas taxas de transmissão (1 a 54Mbps) para o acesso a redes já existentes, tais como as redes locais cabeadas e a *internet*. A mobilidade dentro de a WLAN é limitada, pois sua área de cobertura varia de 100 a 500m, mas é suficiente para fornecer acesso sem fio em ambientes como prédios, aeroportos, hotéis, *cyber-cafés*, etc. As WLANs podem ser usadas em escritórios temporários ou em outros espaços em que a instalação extensiva de cabos teria um custo muito elevado, ou para complementar uma LAN existente de modo que os usuários possam trabalhar em diferentes locais em um prédio, em diferentes horários. As WLANs podem funcionar de duas maneiras distintas. Em WLANs de infraestrutura, estações sem fio (dispositivos com placas de rede de rádio ou *modems* externos) se conectam a pontos de acesso sem fio que funcionam como pontes entre as estações e o *backbone* de rede existente. Em WLANs ponto a ponto (*ad hoc*), vários usuários em uma área limitada, como uma sala de conferências, podem formar uma rede temporária sem usar pontos de acesso,

se não precisarem de acesso a recursos de rede.

- WPAN (*Wireless Personal Area Network*) – essa tecnologia foi criada para projetar as redes de até dez metros de raio que visam a interligação de dispositivos portáteis e de computação móvel, como computadores pessoais, periféricos, telefones celulares e *paggers*. O *bluetooth*, é uma tecnologia adotada nessa área e oferece até 1Mbps.

A Fig. 2.1 apresenta a relação entre essas tecnologias.



**Fig. 2.1 – Tecnologias de comunicação sem fio [3]**

Uma rede local sem fio (WLAN) é um sistema de comunicação de dados flexível que pode substituir ou estender uma rede local cabeada para prover funcionalidades adicionais. A importância da tecnologia WLAN não está apenas na ausência de fios. O advento dessa tecnologia possibilita uma infra-estrutura de baixo custo que se adapta mais facilmente às mudanças no ambiente do usuário. Além disso, permite que os usuários se movimentem sem

perder a conexão.

As WLANs distribuídas, também chamadas redes *ad hoc*, são constituídas por estações sem fio que se comunicam sem a utilização de uma infra-estrutura. A Fig. 2.2 apresenta uma rede *ad hoc* típica. As estações sem fio possuem uma interface RF (rádio frequência) ou IR (infravermelho) e trocam informações de maneira distribuída. Uma rede *ad hoc* não possui um administrador central, o que garante a continuidade de funcionamento da rede mesmo quando um dos terminais é desligado ou se move para outro local. Em uma rede distribuída, toda uma transmissão-recepção de dados deve ser realizada em uma mesma banda de frequência. Também conhecidas como infra-estruturadas, as redes centralizadas possuem um ponto de acesso que age como interface entre a rede sem fio e a rede cabeada. Em redes infra-estruturadas, a transmissão é realizada por meio de comunicação *broadcast* e pode ser captada por todos os dispositivos da rede. O enlace é compartilhado entre todas as estações e é, portanto, um canal de múltiplo acesso. A existência de um nó central, como o ponto de acesso, oferece um grau mais elevado de flexibilidade para o projeto de protocolos MAC (*Medium Access Control*). O ponto de acesso pode controlar as transmissões *uplink* permitindo o acesso de acordo com requisitos de prioridade. A arquitetura de uma WLAN infra-estruturada é mostrada na Fig. 2.3.

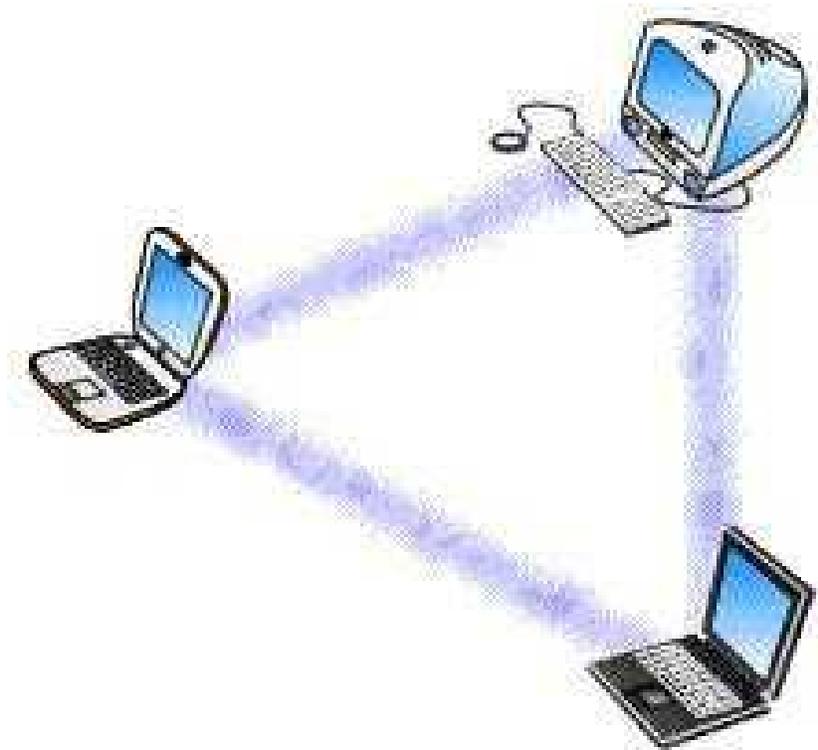


Fig. 2.2 – Rede *ad hoc* típica [4]

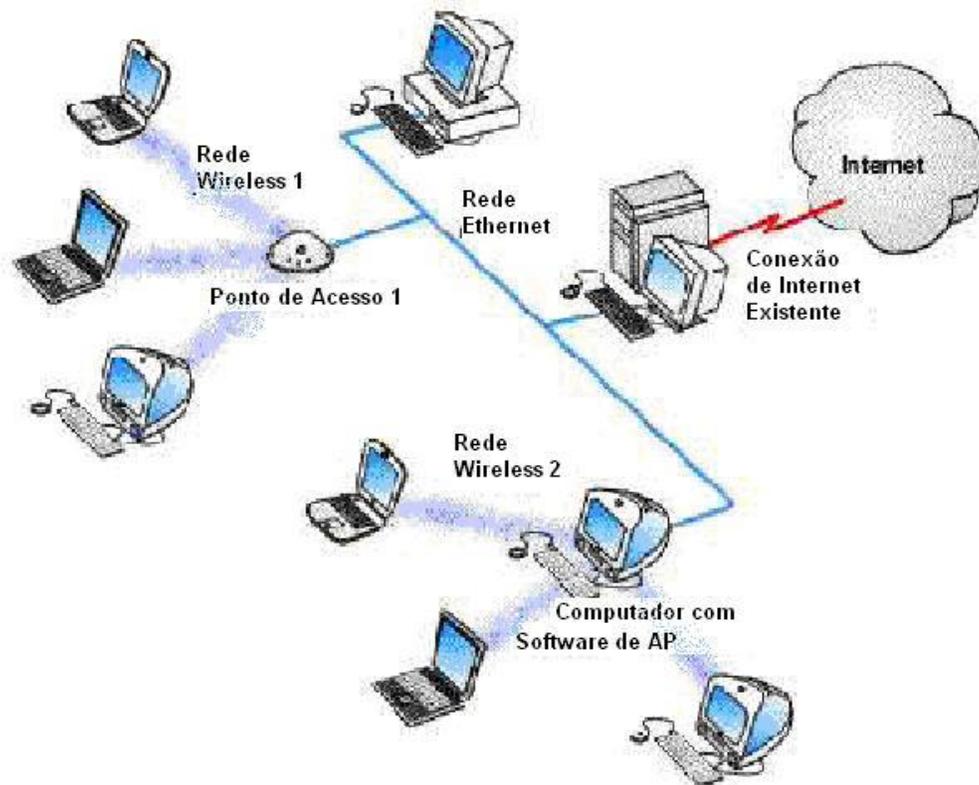


Fig. 2.3 – WLAN infra-estruturada [4]

## 2.2 Padrão IEEE 802.11

A arquitetura IEEE 802.11 consiste em vários componentes que interagem para prover uma rede local com suporte à mobilidade de estações de modo transparente para as camadas superiores.

O conjunto básico de serviços (*Basic Service Set* – BSS) é o bloco fundamental de construção da arquitetura do padrão 802.11. Um BSS é definido como um grupo de estações que estão sob o controle direto de uma única função de coordenação que determina quando uma estação pode transmitir e receber dados. No padrão IEEE 802.11 existem dois tipos de redes sem fio: *ad hoc* e infra-estruturada [4].

Uma rede *ad hoc* é composta somente por estações dentro de um mesmo BSS que se comunicam entre si sem a ajuda de uma infra-estrutura. Qualquer estação pode estabelecer uma comunicação direta com outra estação no BSS sem a necessidade que a informação passe por um ponto de acesso centralizado. O padrão 802.11 refere-se a uma rede *ad hoc* como um BSS independente. Um exemplo típico é o de duas ou mais pessoas juntas em uma sala não equipada

com LANS sem fio, fazendo seus computadores se comunicarem diretamente.

Já em uma rede infra-estruturada, é utilizado um ponto de acesso que é responsável por quase toda a funcionalidade de rede. A fim de se aumentar a cobertura de uma rede infra-estruturada, vários pontos de acesso podem ser interligados por meio de um *backbone* chamado sistema de distribuição (DS - *Distribution System*). O conjunto de pontos de acesso e dos sistemas de distribuição é definido como um conjunto estendido de serviços (*Extended Service Set – ESS*). Em particular, alguns desafios que deviam ser enfrentados eram:

- Descobrir uma banda de frequência adequada que estivesse disponível, de preferência em todo o mundo;
- Lidar com o fato de que os sinais de rádio têm um alcance finito;
- Assegurar que a privacidade dos usuários seria mantida;
- Levar em conta a duração limitada da bateria;
- Considerar a segurança humana;
- Construir um sistema com largura de banda suficiente para ser economicamente viável.

### **2.2.1 Variações do Padrão 802.11**

**Padrão 802.11a** – opera na faixa de 5GHz, conhecida como UNII (*Unlicensed National Information Infrastructure*). É um sub-padrão que opera com as frequências mais elevadas e encontra barreiras quanto a sua legalização em alguns países. Por ter frequências mais altas é mais imune a interferências vindas de outras fontes. Uma grande desvantagem é que por ter frequência mais elevada sofre mais atenuação. Sua entidade física trabalha com multiplexação por divisão ortogonal de frequências (OFDM -*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). O sistema OFDM provê comunicações em redes locais a taxas de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54Mbps. A transmissão e recepção de dados a taxas de 6, 12 e 24Mbps são obrigatórias. O sistema usa 52 sub-portadoras que são moduladas usando-se BPSK/QPSK (*binary phase shift keying/ Quadrature Phase Shift Keying*), 16QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) ou 64QAM. Um código de correção de erro é usado com taxa de código de 1/2, 2/3 ou 3/4.

**Padrão 802.11b** – opera na faixa de 2,4GHz, conhecida como ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Utiliza as técnicas DSSS (*Direct Sequency Spread Spectrum*). Por trabalhar numa banda mais baixa esse padrão está mais suscetível a interferências provocadas por outros tipos quaisquer de fontes, como por exemplo, celulares, fornos de microondas, telefones sem fio, etc, que trabalham na mesma faixa de 2,4GHz. Para atingir taxas de 5,5Mbps e 11Mbps é utilizado em conjunto, a técnica CCK (*Complementary Code Keying*). Utiliza modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) para taxas de 1Mbps e DQPSK (*Differential Quadrature*

*Phase Shift Keying*) para taxas de 2, 5,5 e 11Mbps.

**Padrão 802.11g** – é o sub-padrão mais recente e que está no mercado a pouco tempo. Tenta reunir as principais vantagens do 802.11a e b. Trabalha na mesma faixa do padrão 802.11b. Por ter menor atenuação, pode trabalhar na mesma faixa do padrão mais antigo, 802.11b, e assim pode interoperar com as bases já instaladas com maior facilidade apesar de diminuir suas taxas. O uso de OFDM permite que sejam atingidas taxas de até 54Mbps.

Quando em 1997, o IEEE padronizou o IEEE 802.11, especificou as camadas físicas e de controle de acesso ao meio (MAC) do modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*). Uma das metas fundamentais do projeto é fornecer serviços compatíveis com as redes 802.3 (*Ethernet*) [5].

## **2.2.2 Arquitetura**

A unidade organizacional fundamental de uma rede 802.11 é chamada BSS (*Basic Service Set*). Os membros de uma BSS são estações sem fio controladas por uma mesma função de coordenação que determina quando cada estação pode utilizar o canal. Quando o BSS não se conecta a outra rede é chamado BSS independente ou iBSS (*independent BSS*). Nesse caso, cada membro é capaz de se comunicar diretamente com todos os outros membros formando uma rede *ad hoc*. Quando o BSS conecta-se a outra rede por meio de um ponto de acesso (PA) ele é denominado infra-estrutura BSS. O ponto de acesso é um membro do BSS que realiza o acesso do restante dos membros a outras redes. Nesse caso, a rede 802.11 é chamada infra-estruturada.

Para permitir que uma rede 802.11 aumente sua área de cobertura, um grupo de BSS's pode ser interligado por meio de um sistema de distribuição (DS - *Distribution System*) formando um ESS (*Extended Service Set*). As funcionalidades oferecidas pelo ESS permitem a mobilidade das estações entre os vários BSSs.

Um dos maiores benefícios da WLAN é a mobilidade que ela provê. Em um BSS, a mobilidade está limitada à faixa de abrangência do BSS. O ESS expande os limites da mobilidade para vários BSSs por meio do sistema de distribuição, que pode ser uma rede cabeada ou uma rede sem fio. As estações em um ESS podem se mover de um BSS para outro de forma transparente para os protocolos das camadas superiores.

## **2.2.3 Camada Física**

O padrão proposto especifica três camadas físicas (PHY – *Physical Layers*) e apenas uma

subcamada MAC (*Medium Access Control*). Duas especificações de camadas físicas com opção para rádio são descritas a seguir, operando na faixa de 2.400 a 2.483,5 MHz (dependendo da regulamentação de cada país), e uma especificação com opção para infravermelho [6].

- ***Frequency Hopping Spread Spectrum Radio PHY*** - essa camada fornece operação em 1Mbps, com 2Mbps opcional. A versão de 1Mbps utiliza 2 níveis da modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), e a de 2Mbps utiliza 4 níveis da mesma modulação;
- ***Direct Sequence Spread Spectrum Radio PHY*** - Essa camada provê operação em ambas as velocidades (1 e 2Mbps). A versão de 1Mbps utiliza da modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*), enquanto que a de 2Mbps usa modulação DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*);
- ***Infrared PHY***- Esta camada fornece operação em 1Mbps, com 2Mbps opcional. A versão de 1Mbps usa modulação 16-PPM (*Pulse Position Modulation* com 16 posições), e a versão de 2Mbps utiliza modulação 4-PPM [7].

No lado da estação, a subcamada MAC fornece os seguintes serviços: autenticação, não-autenticação, privacidade e transmissão da MADU (*MAC sublayer data unit*), e, no lado do sistema de distribuição: associação, desassociação, distribuição, integração e reassociação.

## **2.2.4 Subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)**

A subcamada MAC é responsável pelas seguintes funcionalidades:

- Prover um serviço de entrega de dados confiável;
- Controlar o acesso ao canal sem fio;
- Proteger os dados contra intrusos, para tanto utiliza-se técnicas de criptografia.

A transmissão de dados sobre o meio sem fio está mais exposta a erros do que a transmissão em meios cabeados. Para reduzir a taxa de erros, as redes 802.11 adotam funcionalidades adicionais àquelas presentes em redes 802.3. Quando uma estação sem fio transmite um quadro, ela não considera que a transmissão foi realizada com sucesso. A estação aguarda por um pacote de reconhecimento (*ACK – Acknowledge packet*) do receptor, sem o qual assume a ocorrência de uma colisão e retransmite o quadro. A detecção de colisão no 802.3 é possível devido ao fato de que o sinal é fracamente atenuado utilizando cabos, o que permite que o transmissor compare o sinal transmitido com o sinal presente no cabo e, assim, detecte colisões. No meio sem fio, o transmissor não pode comparar seu sinal com o sinal observado no receptor, devido a grande diferença de potência. Portanto, ele não consegue decidir se o quadro foi recebido e deve esperar por um *ACK*. Uma alternativa para este problema é deixar a decisão sobre retransmissões para as camadas superiores. Entretanto, estas camadas normalmente demandam muito tempo para

detectar perdas de pacotes, o que torna a retransmissão de quadros na subcamada MAC uma opção mais eficiente.

O controle de acesso ao meio baseia-se em funções de coordenação, que determinam qual estação tem permissão para utilizar o meio sem fio. A especificação 802.11 define duas funções de coordenação: a função de coordenação distribuída (*Distributed Coordination Function: DCF*) e a função de coordenação em um ponto (*Point Coordination Function: PCF*). No primeiro modo, as estações sem fio (STA) devem competir pelo uso do canal a cada transmissão de um pacote. No segundo, a utilização do meio é controlada pelo ponto de acesso (PA) que consulta cada terminal eliminando a necessidade de contenção.

O modo PCF é um método centralizado, onde cada dispositivo móvel solicita a um ponto de coordenação único a permissão para acessar o meio. Esse ponto de coordenação pode controlar a admissão de novos dispositivos, reserva de largura de banda e controla o acesso ao meio por meio de *pooling*. Entretanto, a adoção desses mecanismos é limitada devido ao alto *overhead*, alto custo e complexidade. Além disso, deve-se levar em conta a questões de escalabilidade e flexibilidade.

Por outro lado, o DCF e outros protocolos distribuídos são mais simples de serem implementados e necessitam de um *overhead* menor. Originalmente, no entanto, o DCF não possui suporte à qualidade de serviço. Desse modo, visando obter QoS (*Quality of Service*) em protocolos distribuídos, novos métodos de acesso ao meio vêm sendo sugeridos para garantir a qualidade de serviço em redes sem fio.

As redes *ad hoc* não possuem uma entidade centralizadora das conexões, sendo então que o acesso ao meio é feito por meio do modo DCF no padrão 802.11. Dessa maneira, a introdução de abordagens para garantir a qualidade de serviço a esse modo de operação envolve abordagens que garantam a qualidade de serviço em redes *ad hoc*.

### **2.3 Redes do Padrão IEEE 802.11 e Internet**

A grande disseminação dos produtos 802.11 deve-se, principalmente, às redes residenciais e corporativas. Nessas redes, o tráfego predominante é o TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*), semelhante ao tráfego das redes locais cabeadas. Em escritórios, as WLANs normalmente são instaladas em sobreposição às LANs, para fornecer conectividade e acesso à *internet* em salas de reuniões e refeitórios. Em residências, a rede sem fio surge como uma forma conveniente de acesso à *internet*. Na maioria dos casos, residências que utilizam redes sem fio não possuem rede cabeada.

Enquanto as redes celulares oferecem uma cobertura muito mais ampla do que as WLANs e são próprias para fornecer acesso ubíquo, as WLANs fornecem taxas de transmissão superiores a um baixo custo. Por exemplo, as operadoras de rede celular têm pagado um elevado preço pelo

aluguel do espectro 3G, contudo a taxa de pico em uma célula 3G é de apenas 2Mbps. Por outro lado, redes 802.11b apresentam baixo custo de operação além de oferecer taxa de pico de 11Mbps. Assim sendo, nota-se que as redes 3G e 802.11 possuem características complementares.

As redes 802.11 possuem uma área de cobertura limitada, mas oferecem altas taxas de dados, próprias para aplicações *hot spot*. Arquiteturas que permitam a interoperabilidade entre as redes de 3ª. Geração e 802.11 (Fig. 2.4) têm sido amplamente estudadas no meio científico e consideradas pelos órgãos de padronização de ambas as tecnologias. O objetivo é fornecer aos usuários altas taxas de acesso aos serviços multimídia onde a cobertura WLAN é oferecida, além da possibilidade de acesso e continuidade da conexão fora da cobertura da WLAN.

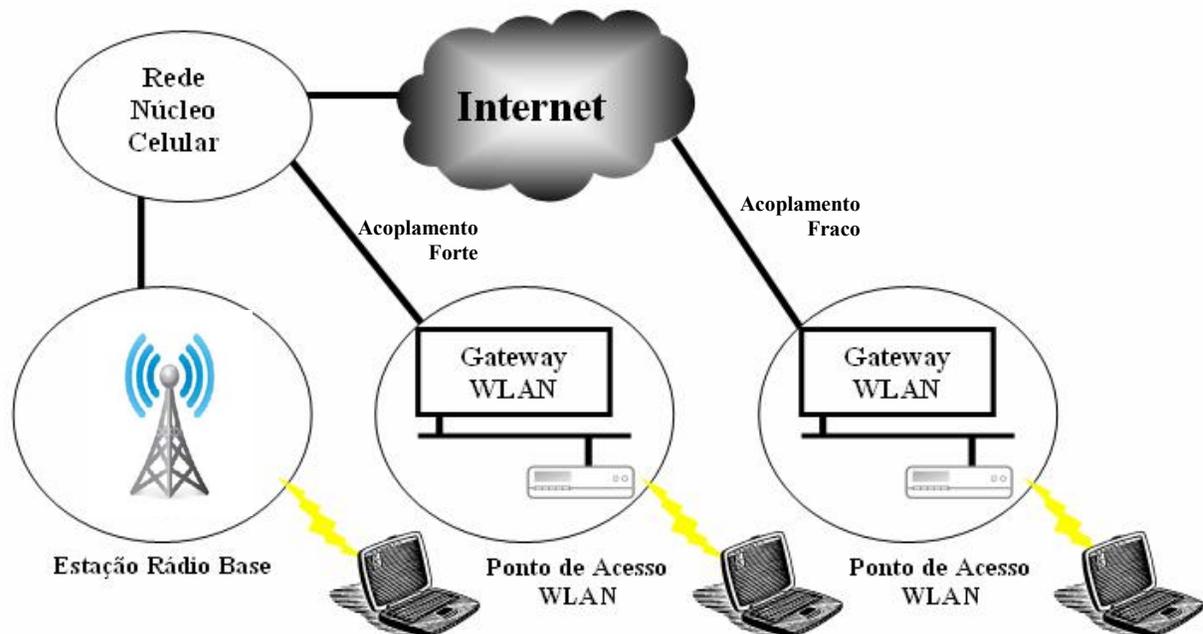


Fig. 2.4 – Integralização entre IEEE 802.11 e 3G

## Capítulo 3 Parâmetros de Análise de Transmissão de Vídeo nas Redes Mistas

Os atuais avanços tecnológicos na área de redes de computadores têm propiciado um crescente aumento das taxas de transmissão, tornando possível falar mais amplamente em qualidade de serviço (*QoS - Quality of Service*), pois tradicionalmente o que se tem em redes é o modelo do melhor esforço (*best effort*), no qual a grande preocupação reside em entregar os dados corretamente para a outra entidade participante da comunicação.

*QoS* é fundamental para diversos tipos de aplicações, sobretudo as de multimídias, pois é desejável que haja um sincronismo entre as diversas mídias. Por exemplo, numa videoconferência o som deve estar sincronizado com a imagem, ou seja, deve haver sincronia entre as palavras e os movimentos dos lábios das pessoas.

Outras aplicações podem negociar com a rede a probabilidade de queda da conexão, não se preocupando com a velocidade de transmissão nem o sincronismo, mas desejando-se que a conexão tenha certo grau de confiabilidade. Isto é interessante principalmente em redes móveis sem fio nas quais as quedas de conexões são freqüentes.

O estudo de *QoS* depende do contexto no qual se está inserido, ou seja, além de se analisar os requisitos de *QoS* em redes de computadores, deve ser levado em consideração se a rede é fixa, móvel sem fio, ou um misto dos dois tipos de redes, o que é mais provável quando se tem uma parte móvel envolvida.

A definição de *QoS* tem um aspecto subjetivo, podendo variar de aplicação para aplicação de acordo com as características desejadas para o serviço oferecido pela rede. Porém, de alguma forma, essa subjetividade inicial deve ser traduzida em parâmetros a serem negociados entre as aplicações e a rede.

### 3.1 Problemática da Distribuição de Áudio e Vídeo

A coleção de componentes de *hardware* e *software* relacionados entre si define um sistema multimídia. Esses componentes devem ser relacionados para que os mesmos trabalhem juntos. A escolha e compreensão dos princípios de mídia de distribuição são de grande importância no desenvolvimento de aplicações multimídias, pois as mídias existentes possuem diferentes velocidades de transferência. É de grande importância conhecer com precisão o espaço de armazenamento requisitado por arquivo de mídia principalmente em mídias temporais como o áudio e vídeo. A relação das taxas de armazenamento para áudio e vídeo digital é mostrada na Tabela 3.1. [8].

**Tabela 3.1 – Relação das taxas de armazenamento para algumas mídias [8]**

<b>Mídia</b>	<b>Taxa de Amostragem</b>	<b>Número de <i>Bits</i></b>	<b>Armazenamento</b>
<b>Áudio</b>	44,1 amostras/s	16 <i>bits</i>	88,2 Kbytes/s
<b>Vídeo</b>	8 Mamostras/s	24 <i>bits (true color)</i> 30 <i>frames/s</i>	1,6 Mbytes/s

Para que as aplicações multimídias possam ser implementadas com características cooperativas e alcançar os benefícios da computação distribuída, são necessários formatos comuns para o intercâmbio de objetos. A padronização apenas do formato de mídias individuais não é suficiente nas aplicações multimídias. Uma parte muito importante nessas aplicações trata das relações temporais, espaciais, estruturais e procedimentais entre os componentes de mídia e que precisam ser representadas [2].

No intercâmbio de imagens são usados algoritmos de compressão que reduzem o tamanho do arquivo em até 99%. Aspectos referentes a relacionamentos temporais entre objetos de multimídia e a distribuição dos mesmos numa apresentação são importantes, pois quando as mídias são integradas numa apresentação devem-se criar relacionamentos temporais para que estas sejam apresentadas em seqüência ou em paralelo.

O sincronismo, em ambientes distribuídos, é uma preocupação, pois em uma apresentação de objetos de multimídia que estão fisicamente em diferentes lugares, estes devem estar sincronizados para isso. Para tanto, tecnologias podem ser combinadas e integradas assegurando que os objetos sejam apresentados no instante de tempo previsto, garantindo assim uma apresentação contínua.

A qualidade de serviço (QoS) é outro ponto importante na distribuição multimídia. Sistemas multimídias são compostos tanto por mídias discretas (como textos e gráficos) quanto por mídias contínuas (ou dados baseados no tempo), tais como áudio e vídeo que são gerados em uma taxa e devem ser reproduzidos na mesma taxa. O *deadline* é um prazo para que o dado seja transmitido sem a perda da qualidade de serviço. Em uma aplicação de vídeo transmitido a uma taxa de 30fps (*frames* por segundo) se em algum momento da transmissão a taxa de transmissão cair podem aparecer tremores na imagem (*jitter*) prejudicando a exibição do vídeo. Como os clientes são heterogêneos, os servidores de dados multimídia devem suportar a transmissão para esses clientes mantendo a qualidade na qual o dado foi gerado.

## **3.2 Qualidade de Serviços em Aplicações Multimídia distribuída**

### **3.2.1 O Padrão MPEG (Moving Picture Expert Group)**

A fundamentação da compressão de imagens dinâmicas se fez com padrão JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) para imagens estáticas. A redução nas imagens estáticas chega a taxa de compressão entre 10:1 e 50:1 e para alcançar essa taxa de compressão em vídeo foi aplicado algoritmos de compressão JPEG em cada quadro do sinal [12].

Em 1998 foi criado o grupo de trabalho MPEG com o objetivo de fazer a especificação de compressão e descompressão de áudio e vídeo. O padrão esperado teria que permitir o armazenamento de um vídeo em um *cd-rom* a taxa de 1,5Mbps, com resolução de 360 *pixels* (horizontal) e 240 *pixels* para o padrão NTSC e 288 *pixels* para o padrão PAL/SECAM (*Phase Alternation by Line/Sequentiel Couleur Avec Memoire*).

O padrão MPEG2 foi especificado para ser capaz de suprir as recomendações (ITU-R BT.601, 1997), sendo que hoje é adotado nos padrões de distribuição de televisão digital [12].

### **3.2.2 Distribuição de Vídeo Digital**

Depois de convertido o vídeo digital se transforma em uma seqüência de *bits*. Dessa forma as mídias digitais podem ser usadas para a sua distribuição. Por exemplo, pode-se manipular, copiar, reproduzir e transportar os vídeos em qualquer dispositivo capaz de processar a informação e ainda ter uma cópia idêntica à original. Atualmente são diversas mídias digitais, como, *pen-drivers*, discos rígidos, dispositivos óticos (CD/DVD – Compact Disc/ Digital Video Disc), mas o meio de distribuição que tem mais se difundido é aquele que usa a rede de comunicação de dados e permite principalmente mobilidade e conectividade. Conforme foram citadas na revisão bibliográfica, as redes locais, regionais e metropolitanas, as redes sem fio Wi-Fi e as redes telefônicas têm tido um crescimento considerável nesse tipo de aplicação.

A interoperabilidade e mobilidade têm sido os principais motivos do crescimento da utilização dessas redes. Em um exemplo prático pode-se mostrar a complexidade da distribuição de conteúdo, supondo que um sinal MPEG2 deva chegar a um espectador em sua casa. O sinal é enviado pelo ar (como é feito com o sinal de televisão atual), passa pelo sistema de satélite DVB (*Digital Video Broadcasting*) e o mesmo sinal pode ser transportado em pacotes pelo TCP/IP e enviado por meio de um *modem* que utiliza o protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*). Outra opção seria enviar os pacotes pela rede IP, pois também usa o sistema DVD, que transporta dados binários.

### 3.2.3 Formato DVD

Nos experimentos foi utilizado arquivo de vídeo do tipo DVD como fonte de dados para o servidor de *streaming*. Essa mídia tem uma grande capacidade de armazenamento de até 10 Gigabytes. Para utilizar com maior proveito essa capacidade, o consórcio dessa tecnologia optou pela compressão MPEG2. A taxa utilizada de 15Mbps não é só para vídeo, mas para todos os conteúdos da mídia. Essa tecnologia permite o uso de taxas de dados variáveis de acordo com a complexidade da cena, mas mantém uma média da taxa de dados constante. A justificativa para a utilização desse tipo de mídia é que os três grandes consórcios de padronização da TV Digital: DVB, ATSC-DASE (*Advanced Television Systems Committee - DTV Application Software Environment*) e ISDB-BML (*Integrated Services Digital Broadcasting - Better Markup Language*) possuem como característica comum adotar o MPEG2 para padrão de compressão do vídeo, e o DVD utiliza esse tipo de compressão [17]. A Fig. 3.1 mostra a tela do *software Bit Rate View* que extrai informações de compressão e características da mídia utilizada.

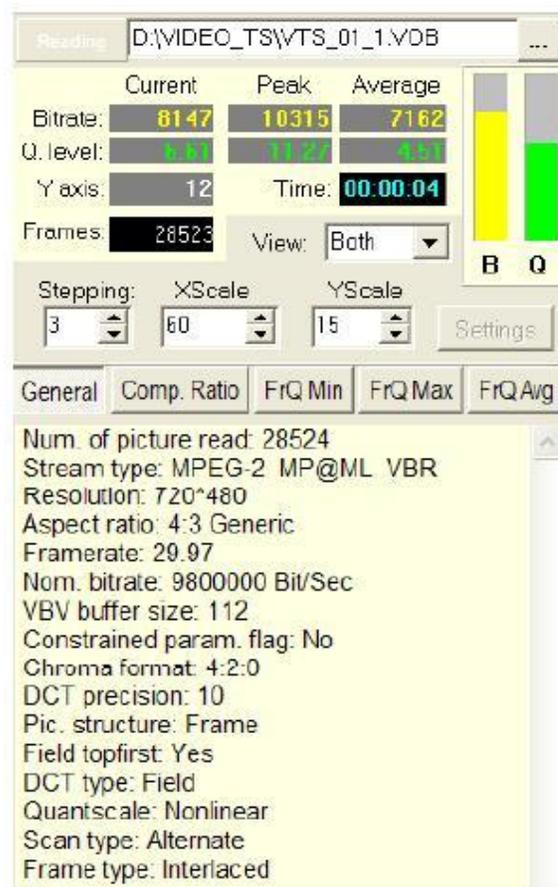


Fig. 3.1 – Características do vídeo utilizado durante os testes

### 3.2.4 Streaming de Vídeo

Novos modos de utilização da rede de dados estão sendo descobertos a cada dia e as novas mídias digitais contribuem para o dinamismo que não havia com o antigo sistema de *broadcast* de informações. As mídias digitais devem ter a capacidade de absorver o dinamismo da rede. Alguns meios que utilizam o meio de acesso TCP/IP podem transmitir a mídia pela *internet* usando meios físicos como cabos telefônicos e de redes de TV a cabo, ou pelo sinal de distribuição de TV digital ou ainda por redes ADSL para telefones celulares. Ainda essa transmissão pode ser beneficiada pela alta largura de banda das redes de fibra óptica. Neste caso, as informações podem ser distribuídas pela rede *ethernet*, por satélites, por redes WLAN ou ainda redes pessoais de pequeno alcance que utilizam *IR (Infrared)* ou *bluetooth*.

Dessa forma, fica claro a variedade de meios de distribuição. Por isso há a necessidade de preservar qualidade em uma transmissão de vídeo em tempo real. Assim, é preciso quebrar os dados multimídias em pequenos pacotes, para depois distribuí-los.

*Streaming* é a forma de transmissão de arquivos de mídia contínua (áudio/vídeo) por meio da divisão do arquivo em pacotes de dados que são transmitidos em seqüência e processados à medida que chegam ao dispositivo de destino, sem a necessidade de esperar que todo o conteúdo transmitido seja transferido completamente. Pode ser entendido como a quebra de grandes volumes de dados em pacotes pequenos capazes de trafegar pelas redes sendo que cada pequeno pacote é um *stream*. [13]. A Fig. 3.2 demonstra-se a relação entre os dispositivos de um *streaming* [16].

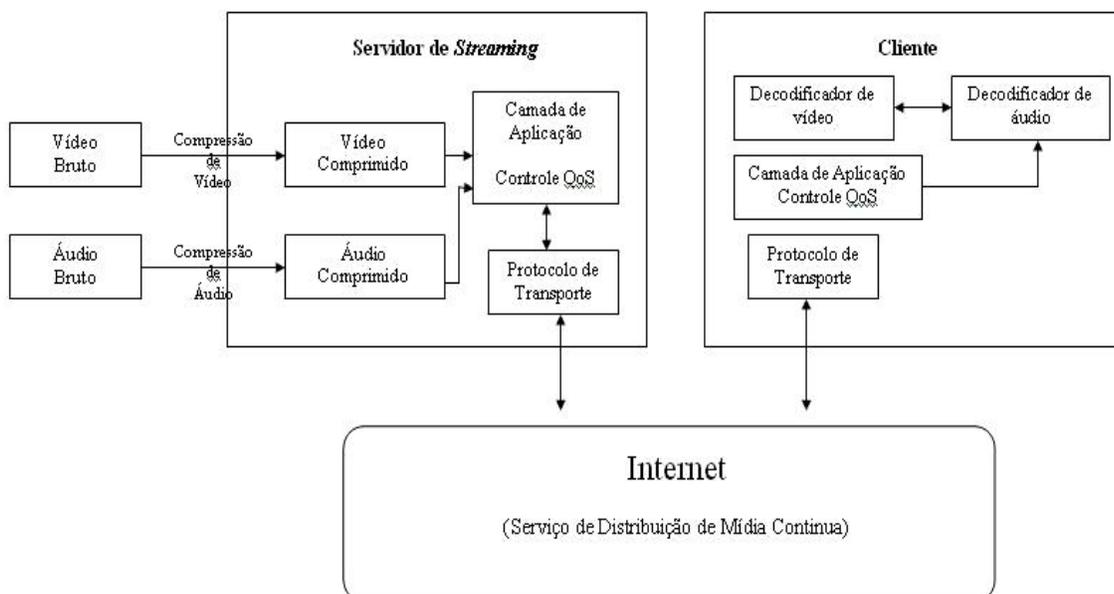


Fig. 3.2 – Dispositivos de um *streaming*

A técnica *streaming buffer* é o armazenamento temporário de alguns pacotes recebidos pelo cliente antes da reprodução do conteúdo multimídia. Essa técnica gera latência no dado recebido, mas evita problemas com o processamento multitarefa [12].

Nos testes foi usada a técnica de distribuição *streaming unicast* (Fig. 3.3). Essa operação envolve um receptor e um transmissor. Há três técnicas de distribuição: o *unicast*, o *multicast* onde um transmissor envia dados para um grupo pré-estabelecido de receptores e o *broadcast* onde um transmissor envia os dados para qualquer usuário que deseje receber o sinal.

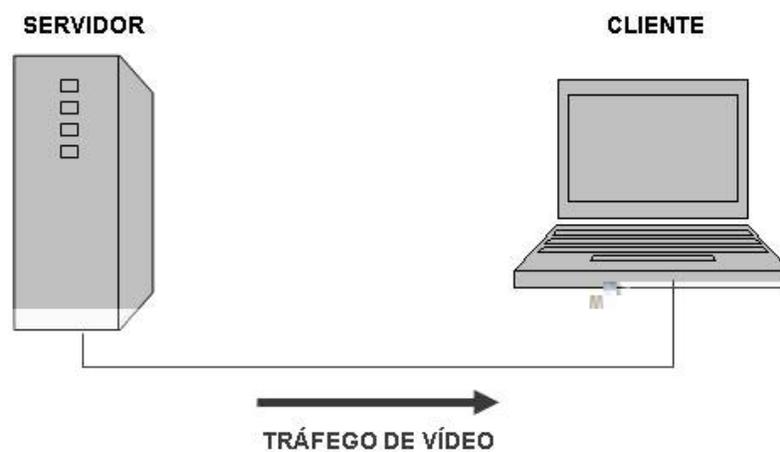


Fig. 3.3 – Distribuição de *streaming unicast*

### 3.2.5 Parâmetros de Qualidade de Serviços em Aplicações Multimídia

Quando se trata de aplicações multimídias tem que se levar em conta tanto as informações multimídias como a rede em que estas serão transmitidas. Essas aplicações utilizam a infraestrutura da rede existente para transmitir vídeo e áudio para os usuários finais. Como nos testes foi usada uma rede *WiFi* deve-se considerar dois componentes:

- Largura de banda;
- Qualidade do serviço.

### 3.2.5.1 Largura de Banda para Aplicações Multimídias

Os requisitos de largura de banda para aplicações multimídias podem variar entre 100 kbps até 70 ou 100Mbps. Se a largura de banda for limitada, a escolha de uma aplicação de vídeo com baixa qualidade seria coerente, ou deveria modificar a estrutura da rede para que se forneça mais largura de banda.

### 3.2.5.2 Qualidade de Serviço para Aplicações Multimídias

As aplicações de multimídia exigem maior atenção aos requisitos de qualidade de serviço, pois tratam de dados contínuos e dependem do tempo em que são transmitidos. Já nos serviços de “*best effort*” a latência passa despercebida muitas vezes, mas dados e voz quando transmitidos têm um determinado tempo para serem úteis. Latência e *jitter* influenciam muito durante as transmissões de áudio e vídeo.

**Latência** – é a diferença de tempo entre o início de um evento e o momento em que seus efeitos tornam-se perceptíveis. Latência é a medida do tempo decorrido entre o início de uma atividade e a sua conclusão. As aplicações interativas e em tempo real são frágeis em relação a atrasos acumulados. A latência máxima de 400ms (ida e volta) é o permitido para voz e videoconferência a fim de garantir qualidade.

**Jitter** – é definido como a variação do tempo de chegada de pacotes que foram enviados de uma forma uniforme. A presença de Jitter afeta principalmente o tráfego “ISOCRONOUS” que estabelece que os pacotes devam chegar ao destino com o mesmo espaçamento de tempo entre eles. As redes são projetadas para diminuir o jitter. Armazenam-se os dados em um buffer e o acesso a este diminui muito o jitter. Para a transmissão de vídeo que utiliza o protocolo UDP o atraso não pode passar de 4 a 5 segundos [14].

**Perda de pacotes** – não pode ser superior a 5%. Essa taxa é definida como a porcentagem de pacotes transmitidos que não chegam ao destino, devido principalmente a um atraso muito grande, problemas físicos nos equipamentos de transmissão e congestionamento [14].

**Difference** – Mede o tempo decorrido entre um pacote e outro, sendo que o ideal é que o *difference* seja constante, ou seja, não varie.

## Capítulo 4 Medidas Práticas e Cenários Estudados

As simulações facilitam a compreensão de como a rede se comporta de acordo com determinado fluxo de informações. A análise do desempenho mostra se é viável a transmissão desses fluxos. Nas medidas práticas realizadas utilizou-se o fluxo de vídeo e foram analisados os parâmetros de qualidade de serviço de forma quantitativa.

### 4.1 A Bancada de Emulação

Os experimentos práticos foram realizados em um dispositivo - IEEE 802.11, popularmente chamado de redes WiFi (*Wireless Fidelity*). As análises avaliam o desempenho da rede IEEE 802.11 com medidas *outdoor* (praça de alimentação do campus PUC Campinas), usando uma antena Yagi-Uda de 5 elementos. As medidas foram feitas com mecanismos de degradação do sinal. O objetivo é por meio dessas medidas obter um banco de dados e emular o ambiente de rede em uma bancada de emulação por meio de um *software* que controle os dispositivos da rede, como o atenuador, gerando assim um canal *flat fading*. Na bancada, vista na Fig. 4.1, é possível ajustar parâmetros como, por exemplo, o nível de sinal recebido por meio de duas chaves de radiofrequência.



Fig. 4.1 – Emulador de canal

Para emular o canal, onde opera uma rede WLAN, é utilizada uma bancada em radiofrequência operando a 2,4GHz. Na Fig. 4.2 mostra-se o emulador e os dispositivos, que emulam um ambiente *wireless*. O emulador utiliza um atenuador variável e duas chaves de RF que são ajustadas para reproduzir os fenômenos encontrados em um ambiente sem fio, como o da praça de alimentação da PUC-Campinas. Com a bancada é possível investigar o desempenho de serviços/aplicativos que utilizam redes sem fio WLAN. No entanto, trata-se de um ambiente sob controle que utiliza um cabo coaxial e demais dispositivos de radiofrequência.

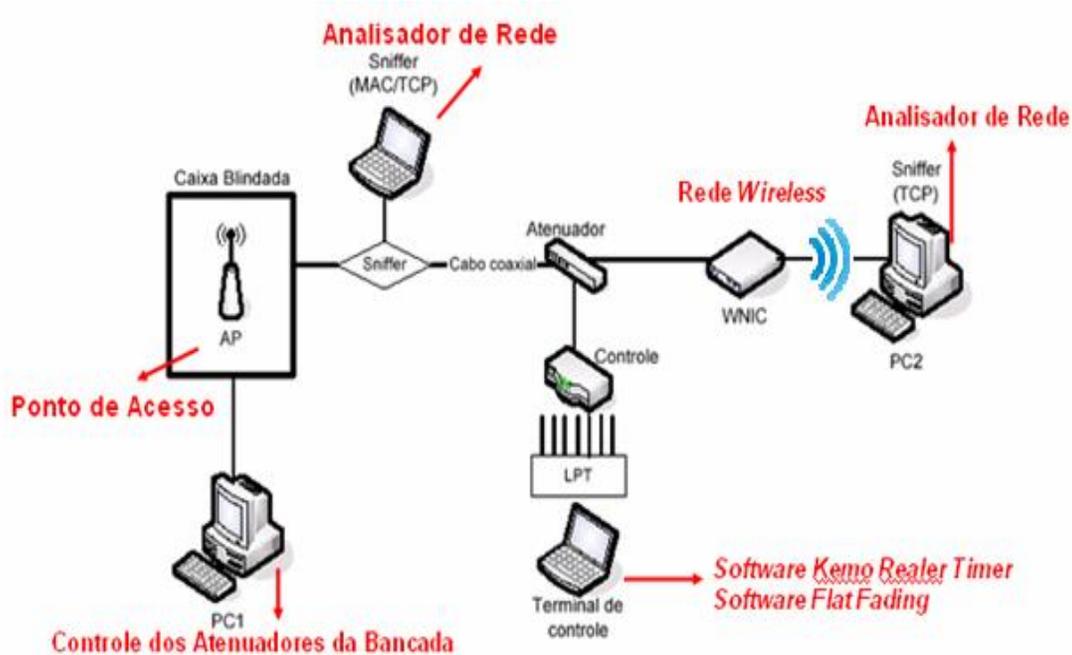


Fig. 4.2 – Componentes da bancada de emulação

## 4.2 Redes Simuladas

As redes WLAN (*Wireless Local Area Network*), são usadas para ambientes internos. São redes mais simples, trabalham em faixa de frequência que não precisa de licença para a operação. São também redes de baixo custo, e por isso são muito utilizadas. Vem sendo utilizadas em empresas, escolas e até mesmo para uso doméstico [10].

As redes simuladas são redes do padrão IEEE 802.11, que foram descritas no capítulo 2. Possuem especificações sendo “a”, “b”, “g” e “n”, mas nos testes trabalha-se apenas com as especificações “b” (11Mbps e frequência de 2,4GHz) e “g” (54Mbps e frequência de 2,4GHz).

As redes WLAN têm como objetivo atender ambientes internos com altas taxas de dados e baixa velocidade de locomoção, sendo adequadas para pessoas em movimento ao caminhar. A técnica de acesso é a CDMA/CD (*Code Division Multiplex Access – Collision Detection*), que permite a conexão sem fio entre dispositivos, sendo que por isso foi impulsionada pela indústria de computadores.

Para emular o canal, onde opera a rede WLAN, é usada uma bancada (mostrada na Fig. 4.2) em radiofrequência operando em 2,4GHz. O emulador e os dispositivos têm como objetivo emular um ambiente *wireless*. Com a bancada é possível investigar o desempenho de serviços/aplicativos que utilizam redes sem fio WLAN, mas em um ambiente controlado que utiliza um cabo coaxial e demais dispositivos de radiofrequência.

A antena, demonstrada na Fig. 4.3, possui uma base que permite a antena girar 360° para obtenção de valores de potência do sinal em vários locais e em várias direções. Tais medidas servem para caracterizar um ambiente para investigar a direção de máxima propagação nos diversos pontos. Esses dados obtidos são utilizados na bancada de emulação de canal.

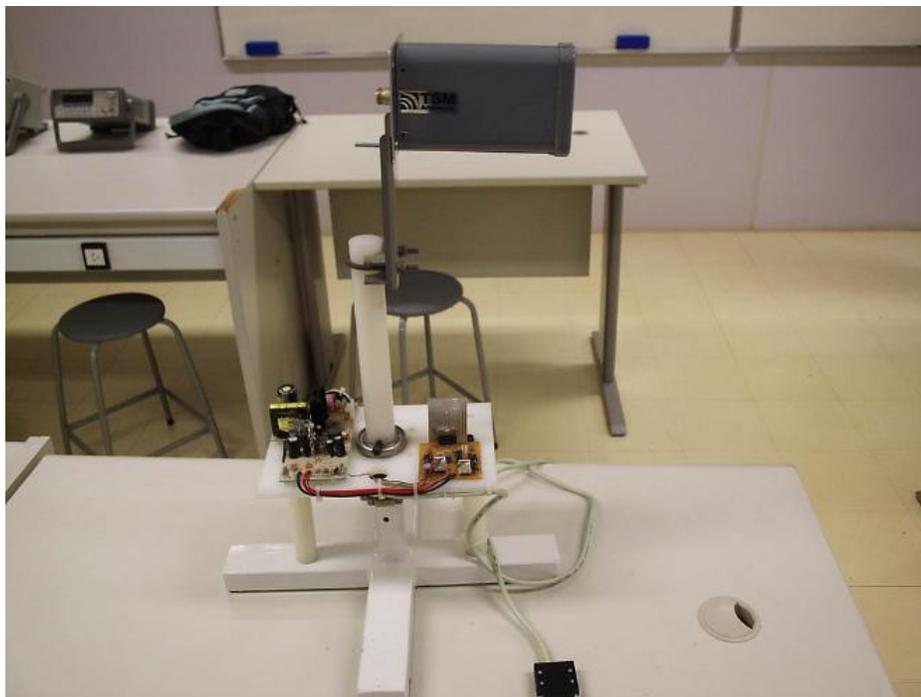


Fig. 4.3 – Base eletrônica com a antena Yagi-Uda de 5 elementos

### 4.3 Problema Abordado

Como as redes WLAN estão sendo utilizadas intensamente em empresas, escolas e até mesmo por usuários domésticos, há uma necessidade de saber o comportamento dessas redes para tráfego de serviços multimídia. Os dispositivos móveis como *notebooks*, *PDA*s e celulares, são usados para a transmissão dessas aplicações. As transferências de dados são sensíveis à perda de

pacotes, mas não aos atrasos. Já as aplicações multimídias como áudio e vídeo são aplicações que toleram algumas perdas, mas não toleram atrasos.

A análise de desempenho da rede foi o principal motivo do desenvolvimento de uma bancada de emulação de canal, pois existe a dificuldade em realizar os testes no ambiente de operação, em função da dificuldade da parametrização dos eventos que ocorrem. A bancada viabiliza os testes em laboratório utilizando medidas reais para o controle dos dispositivos de radiofrequência. Dessa forma, é possível o estudo do comportamento dos serviços multimídias para essas redes. Para verificar a credibilidade dos testes foram utilizados os dados de medição *indoor* feitos com uma antena Yagi-Uda, usando-se assim parâmetros reais de avaliação.

### 4.3.1 O Emulador de Canal

Para que as emulações de canal por meio da bancada tornem-se possíveis e confiáveis, teve-se que fazer análises dos seus equipamentos, ou seja, da chave de RF e dos atenuadores variáveis. Essa bancada possui equipamentos que estão organizados dentro de um *rack*, para evitar modificações na configuração, e assim alterar o mínimo possível nos resultados dos testes. Dentro de uma caixa blindada tem-se um *Access Point* (AP), na qual entram três cabos. Um está ligado em uma fonte de tensão de 110V, o outro é o cabo de rede que vai para o *hub* e o último está conectado ao circuito atenuador. O circuito atenuador é composto por duas chaves, controladas por duas fontes de tensão que variam de 0 a 5V, ligadas em série a um atenuador variável, controlado por um computador (PC1) por meio de um conversor digital analógico conectado na porta paralela do PC1.

Na saída do circuito atenuador encontra-se um divisor de sinal, o qual envia o sinal de rádio frequência (RF) para um computador de medida (PC2), o qual recebe o sinal por meio de uma placa *orinoco*, e um *sniffer*.

O *sniffer* é um analisador de rede também chamado de *Sniffer Wireless*. Em redes *wireless*, essa ferramenta é constituída de um *software* ou *hardware*, que intercepta e registra o tráfego da rede, captura cada pacote e, se preciso, analisa o conteúdo do mesmo dependendo do protocolo especificado. Nos testes o protocolo utilizado foi o RTP (*Real Time Protocol*).

A Fig. 4.4 apresenta o esquema de como os equipamentos do emulador foram acoplados.



### (b) Chave de RF

Na bancada há duas chaves RF, do mesmo modelo, mas com comportamento diferente. Caracteriza-se como uma chave ZMSW-1111 com frequência de operação de 10 a 3000MHz e impedância de  $50\Omega$ . Possui uma única fonte de alimentação variável de 0 a 5V. A Fig. 4.5 referencia a chave de RF por meio do *datasheet*. O comportamento de cada chave foi testado separadamente. O analisador de espectro é ligado no modo *transmission measurement* na chave, e varia-se o valor da frequência de 2,412 a 2,462GHz, como os canais 1, 6 e 11 e também uma fonte de tensão varia de 0 a 5V manualmente.

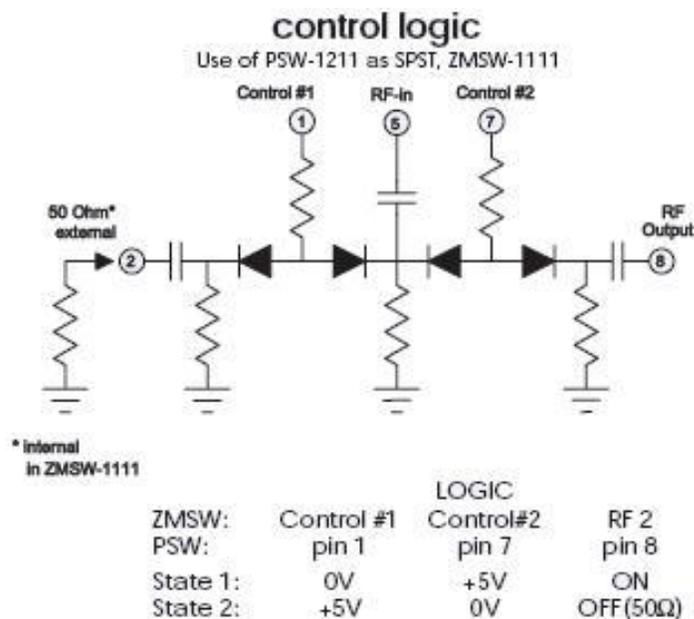


Fig. 4.5 – Circuito da chave RF [18]

### 4.3.3 Calibração

O processo de calibração consistiu em vários testes para se ter confiabilidade.

Primeiramente, determinou-se o *offset* na caixa preta em 3 modos (mínimo, médio e máximo). Configurou-se os valores decimais de 0 a 255 no PC1 por meio de um *software*, o qual emula *Flat Fading* em Java. Pode-se vê-lo na Fig. 4.6. O *software* lê a primeira coluna de um arquivo feito no *software Microsoft Excel* versão 2003 e salva um arquivo com extensão .csv. Esse arquivo foi gerado durante as medições feitas com a antena. O *software Microsoft Excel* foi utilizado para facilitar a leitura dos dados. Além de carregar o arquivo indicou-se o tempo entre

uma célula e outra que determina também o intervalo de tempo para mudar o valor do decimal, que enviará um sinal para um conversor D/A.

Pode-se ver no multímetro o valor da tensão correspondente. Esse sinal percorrerá todo o sistema (passando pelos atenuadores que controlaram o sinal) e irá chegar até o PC2 por meio do cabo rj 45 que está conectado a uma placa *orinico* no PC2 onde pode-se ver por meio do *software Netstumbler* o valor da potência do sinal, e a relação sinal ruído.

Assim descrevem-se as curvas de comportamento de sinal RF por meio do *NetStumbler*, para medir a intensidade do sinal gerado pela bancada de emulação. Dessa forma, têm-se mais dados do comportamento geral da bancada em relação ao atenuador variável, possibilitando uma melhor análise dos fenômenos obtidos.



Fig. 4.6 – Software flat fading

#### 4.3.4 Medidas com Antena Yagi-Uda de 5 elementos

As medidas em ambiente real foram realizadas na praça de alimentação da PUC – Campinas, por meio de uma antena *Yagi-Uda* de 5 elementos, na qual pode-se observá-la na Fig.4.7 - em pontos fixos com visada e sem os quais foram determinados por meio da planta da praça de alimentação. Pode ser visto na Fig. 4.8, a planta e o trajeto feito para as medições na

praça de alimentação da PUC – Campinas.

Essa antena possui um motor de base, constituído de um motor de passo e uma fonte de alimentação. A descrição detalhada do motor de base da antena encontra-se no Apêndice A.

Para realizar o controle do eixo da base do motor que está conectado à porta paralela do *notebook*, utilizou-se o *software Flat Fading*, como mostrado na Fig. 4.6 (o mesmo usado na calibração da bancada), o qual permite que a antena rotacione – ligando e desligando as bobinas do motor de passo. Logo, foi gerado um arquivo em extensão *.csv* para utilizar o *software* para esta determinada função. Enquanto isso o *driver* controla o sentido de rotação (horário ou anti-horário) e o grau desejado a rotacionar, o ponto de recepção é fixo com relação ao transmissor.

Utilizou-se também o *software Netstumbler* o qual captura os valores emitidos pela antena que está instalada na praça de alimentação, tipo *patch*, que recebe o sinal de uma antena, também tipo *patch*, que está instalada acima do Laboratório de RF.

Os valores captados pelo *software Netstumbler* foram exportados para o programa *Microsoft Excel* versão 2003, onde foi organizada uma planilha. Os intervalos totais foram divididos por 20, pois a cada minuto era dado um “passo” de 18°. Logo se converteu os valores de potência em dB para mW, e assim foi gerado um gráfico relacionado aos pontos de captação de dados em relação a um ponto fixo [3].



**Fig. 4.7 – Antena Yagi-Uda de 5 elementos**



Fig. 4.8 – Planta da praça de alimentação da PUC Campinas

## 4.4 Resultados das Medições Indoor

### 4.4.1 Canais Utilizados na Simulação

Um dos motivos mais relevantes de se usar os moduladores das redes IEEE 802.11/b e IEEE 802.11/g é que estas são usadas atualmente na maioria das instalações de redes sem fio. A interoperabilidade entre os padrões b e g também é um fator importante, pois as duas redes utilizam a faixa de frequência 2,4GHz. Pode-se dessa forma trocar os moduladores b por moduladoresg, mantendo os outros componentes antigos, como se faz quando se adiciona placas e *switches Giga Ethernet* as redes de 100 Mbps.

A velocidade de transmissão na placa IEEE 802.11g é de 54Mbps, como nas redes 802.11a. O padrão 802.11g é mais recente e por isso incorpora novas tecnologias de modulação de sinal. Na prática pode-se atingir 3,4Mbps, sendo que isso acontece, pois as redes *wireless* utilizam o ar como meio de transmissão tornando-se mais propensas a problemas e interferências do que as redes cabeadas. Para que os dados sejam transmitidos confiavelmente é necessária a utilização de um protocolo de transmissão e de correção de erros. Isso também diminui a percentagem de bits úteis da transmissão, sem falar do *overhead* inserido pelos aplicativos. A velocidade de transmissão se torna baixa, pois, para cada *byte* de dados úteis, a placa acaba precisando transmitir dois.

Conforme aumenta-se a distância, entre o transmissor e o receptor, os moduladores reduzem a taxa de transmissão, como alguém que passa a falar devagar quando a ligação telefônica está ruim. No caso da placa g as taxas caem de 54Mbps para 48, 36, 24, 12, 11, 9, 6, 5,5, 2 ou 1 até que o sinal se perca totalmente. Quando a rede está operando a 11Mbps (mesma taxa da placa b), a taxa de transmissão real fica abaixo de 750kbps.

Nas redes 802.11b e 802.11g estão disponíveis 11 canais de transmissão que englobam as frequências de 2,412GHz (canal 1) a 2,462GHz (canal 11), com intervalos de apenas 5MHz entre eles. Como os canais utilizam uma banda total de 22MHz, o valor é arredondado para 20MHz [9]. As frequências acabam sendo compartilhadas, fazendo com que redes operando em canais próximos interfiram entre si. O canal 6, cuja frequência nominal é 2,437GHz opera na verdade entre 2,426 e 2,448GHz, invadindo as frequências dos canais 2 até o 1. Na Tabela 4.1 pode-se ver a faixa de frequência que cada canal opera:

**Tabela 4.1 – Valores de frequência utilizada por canal de transmissão**

Canal	Frequência nominal (GHz)	Frequência prática (GHz)	Canal	Frequência nominal (GHz)	Frequência prática (GHz)
1	2,412	2,401 a 2,423	6	2,437	2,426 a 2,448
2	2,417	2,405 a 2,428	7	2,442	2,431 a 2,453
3	2,422	2,411 a 2,433	9	2,452	2,441 a 2,463
4	2,427	2,416 a 2,438	10	2,457	2,446 a 2,461
5	2,432	2,421 a 2,443	11	2,462	2,462 a 2,468

Os canais 1, 6, 11 são utilizados na simulação da transmissão de vídeo, pois são os três canais que operam simultaneamente sem ter interferências consideráveis entre as redes (o chamado "*non-overlapping channels*"). Como foi dito, a interferência não é considerável, mas existe uma diferença de cerca de 30dB entre a potência do sinal dentro da faixa de frequência e a parcela que vaza para as frequências próximas. Se fosse uma porcentagem, "30" seria uma diferença relativamente pequena, mas como se trata de decibéis, tem-se na verdade uma proporção de 1 para 100.

#### **4.4.2 Emulador de Canal**

Por meio da coleta das medidas de propagação feitas na praça de alimentação da PUC-Campinas com a antena Yagi-Uda de 5 elementos foram obtidos resultados em vários pontos. A Fig. 4.8 apresenta um esboço da praça de alimentação com a localização dos diversos pontos de medidas.

As curvas de comportamento do sinal de RF podem ser verificadas na Fig.4.9. Os gráficos relacionam a Potência da Portadora (dBm) com a Tensão de Pico da Portadora (V). Foram obtidas por meio do *NetStumbler*, que proporcionou a obtenção de dados do comportamento geral da bancada em relação ao atenuador variável, possibilitando uma melhor análise dos fenômenos obtidos.

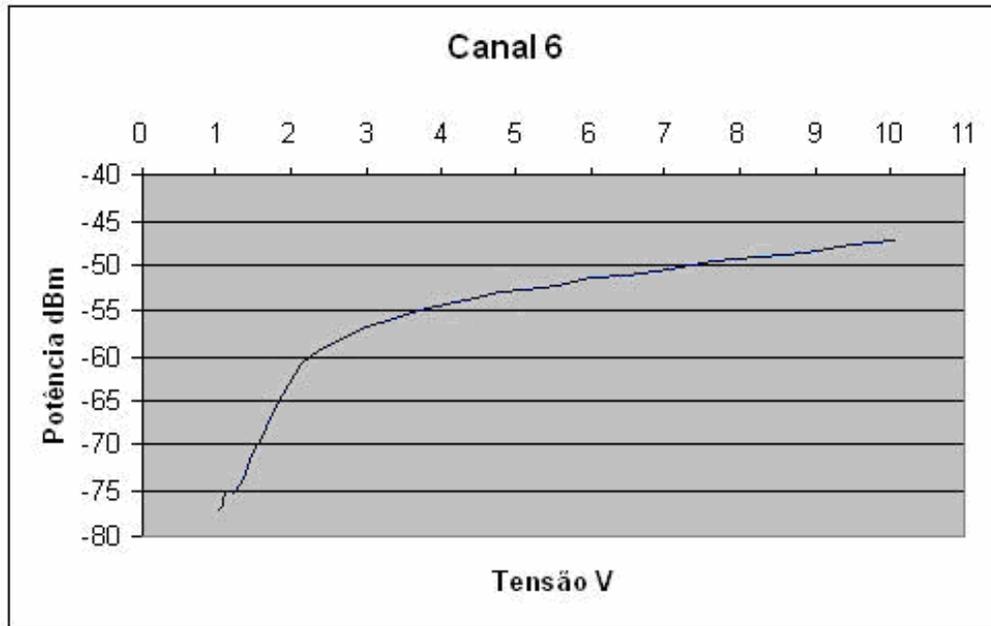


Fig. 4.9 – Curva de atenuação da bancada

No atenuador variável, a frequência foi variada para 2,412GHz (canal 1), 2,437GHz (canal 6) e para 2,462GHz (canal 11). Assim, foi possível fazer a comparação dos gráficos obtidos como pode-se ver nas Fig. 4.11, 4.12 e 4.13, com o que foi proposto pelo fabricante, observados na Fig. 4.1

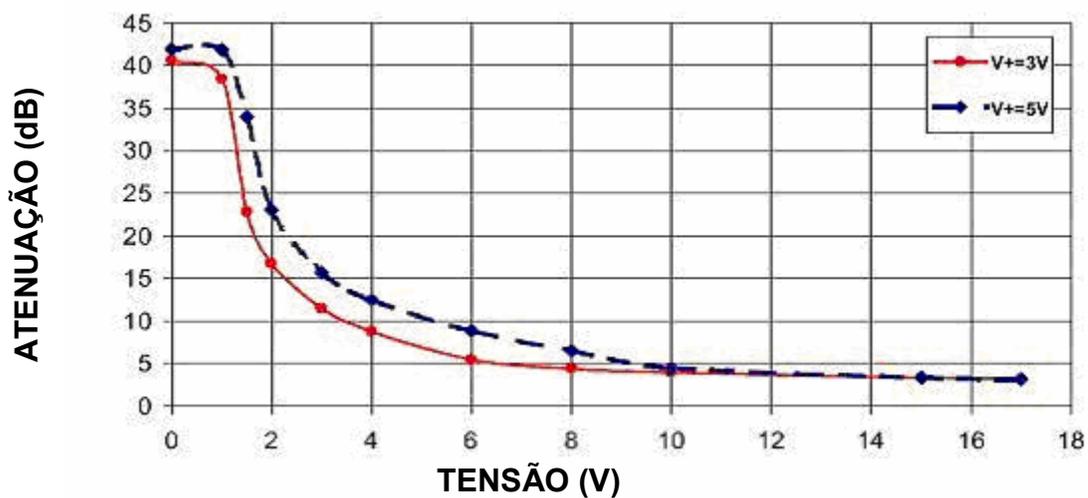


Fig. 4.10 – Resposta especificada pelo fabricante

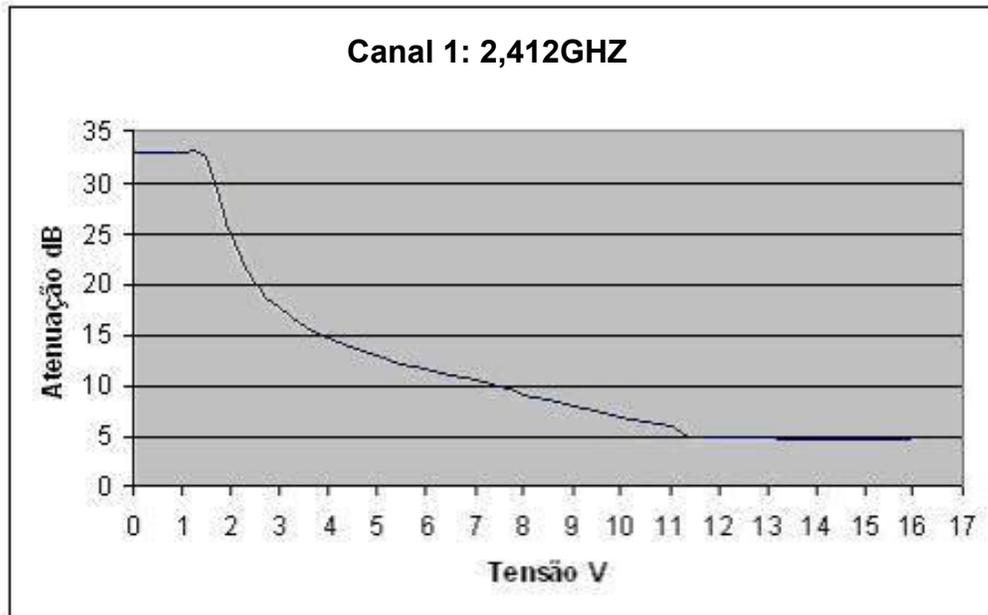


Fig. 4.11 – Curva do atenuador variável para o canal 1

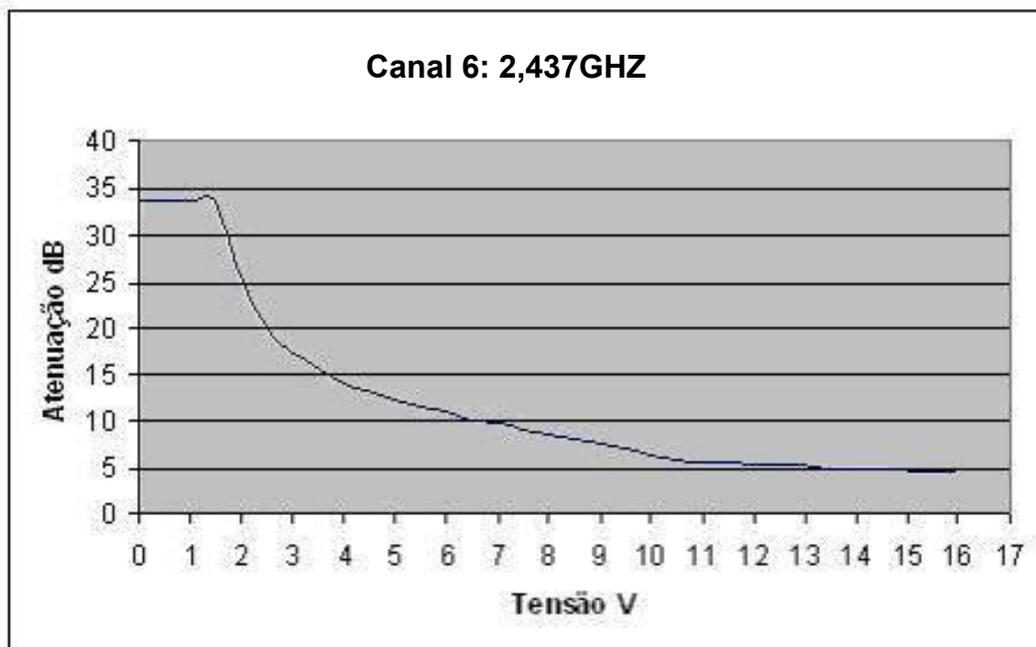
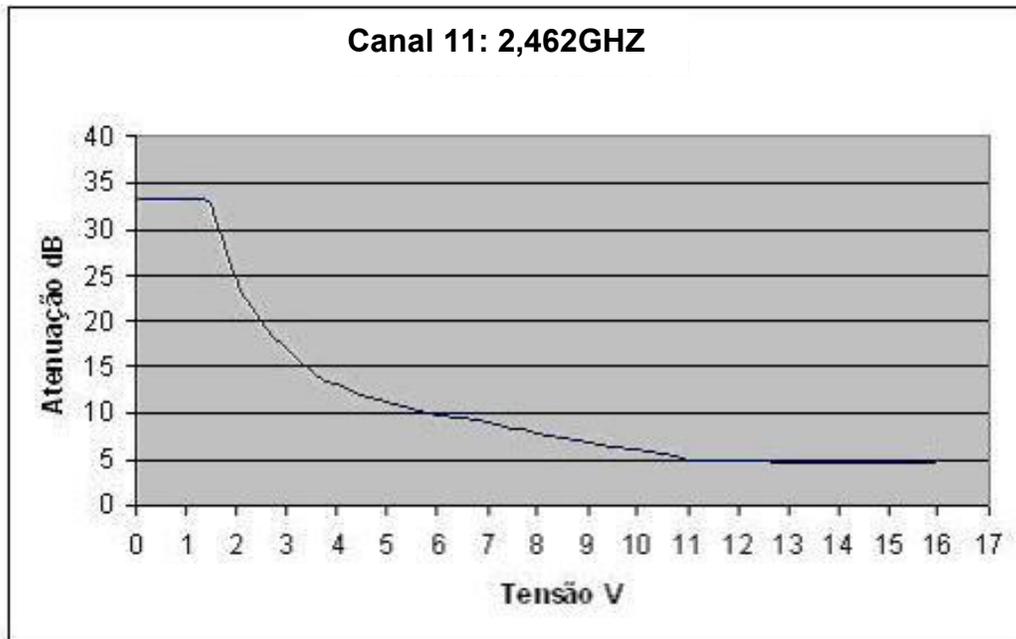


Fig. 4.12 – Curva do atenuador variável para o canal 6.



**Fig. 4.13 – Curva do atenuador variável do canal 11.**

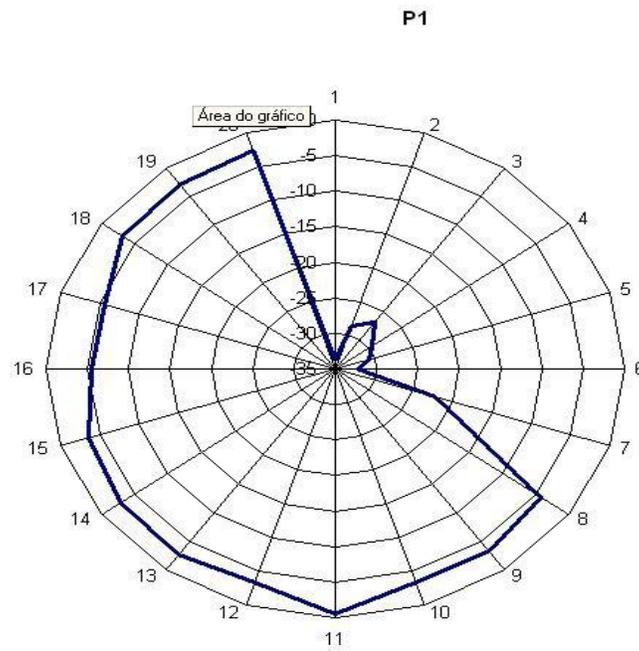
Repetiu-se os testes para as Chave1 de RF e para a Chave2 de RF afim de calibrar o equipamento segundo as especificações do fabricante e a curva proposta pelo mesmo. Os gráficos gerados para as Chaves 1 e 2 de RF encontram-se no Apêndice.

#### **4.4.3 Medidas da Antena Yagi-Uda de 5 Elementos**

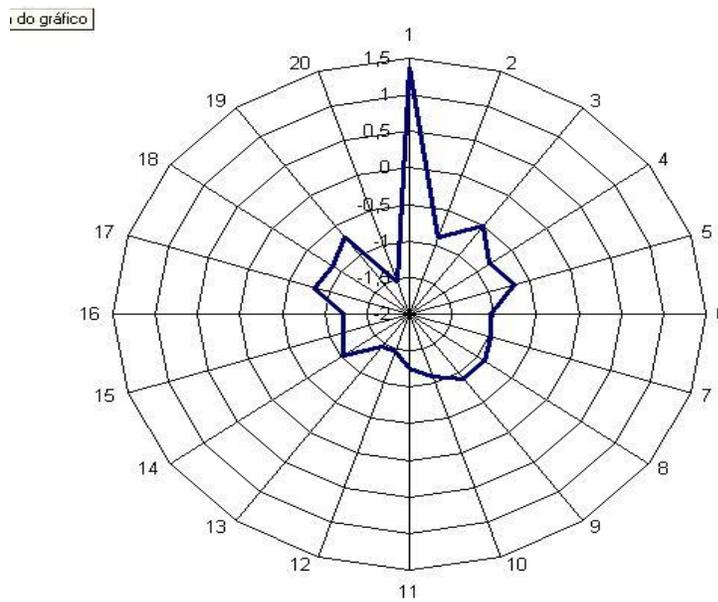
Por meio das medidas feitas na praça de alimentação com a antena *Yagi-Uda* de 5 elementos foram obtidas os gráficos referentes ao ponto com visada direta, como na Fig. 4.14, e ao ponto sem visada direta, referente à Fig. 4.15. Foram feitos dois testes com a antena, um teste com visada direta e outro sem visada, para determinar as regiões onde seriam feitos os testes de transmissão, todos os dados coletados foram utilizados para a leitura da potência de portadora assim fazendo que o sinal de portadora variasse.

Os gráficos gerados tratam-se de gráficos azimute, essa é uma medida de separação angular associada um plano horizontal, em diversos sistemas de referência. Por extensão, também pode representar uma direção definida em função de sua separação angular a um ponto de origem, geralmente o Norte. Na Fig. 4.14, a parte sem medições caracteriza caixa blindada do equipamento, não ocorrendo medidas nesse ponto. A escala utilizada nos gráficos é feita em graus ( $^{\circ}$ ). Na Fig. 4.15 o transmissor se encontra no ponto (-2) e é gerado os pontos sem visada

direta.



**Fig. 4.14 – Potência de sinal em ponto com visada**



**Fig. 4.15 – Potência de sinal em ponto sem visada**

## Capítulo 5 Análise de Resultados

Para fazer a análise da transmissão de vídeo sobre as redes IEEE 802.11b/g, utilizou-se as *streams* do protocolo RTP (*Real Time Protocol*).

### 5.1 Descrição dos Testes

Realizou-se primeiramente uma série de testes usando a variação b e posteriormente uma série de testes usando as variações g. A Fig. 5.1 mostra a disposição do servidor de *streaming*, o *sniffer* (analisador de rede), a bancada e a estação receptora de *streaming* (usuário).

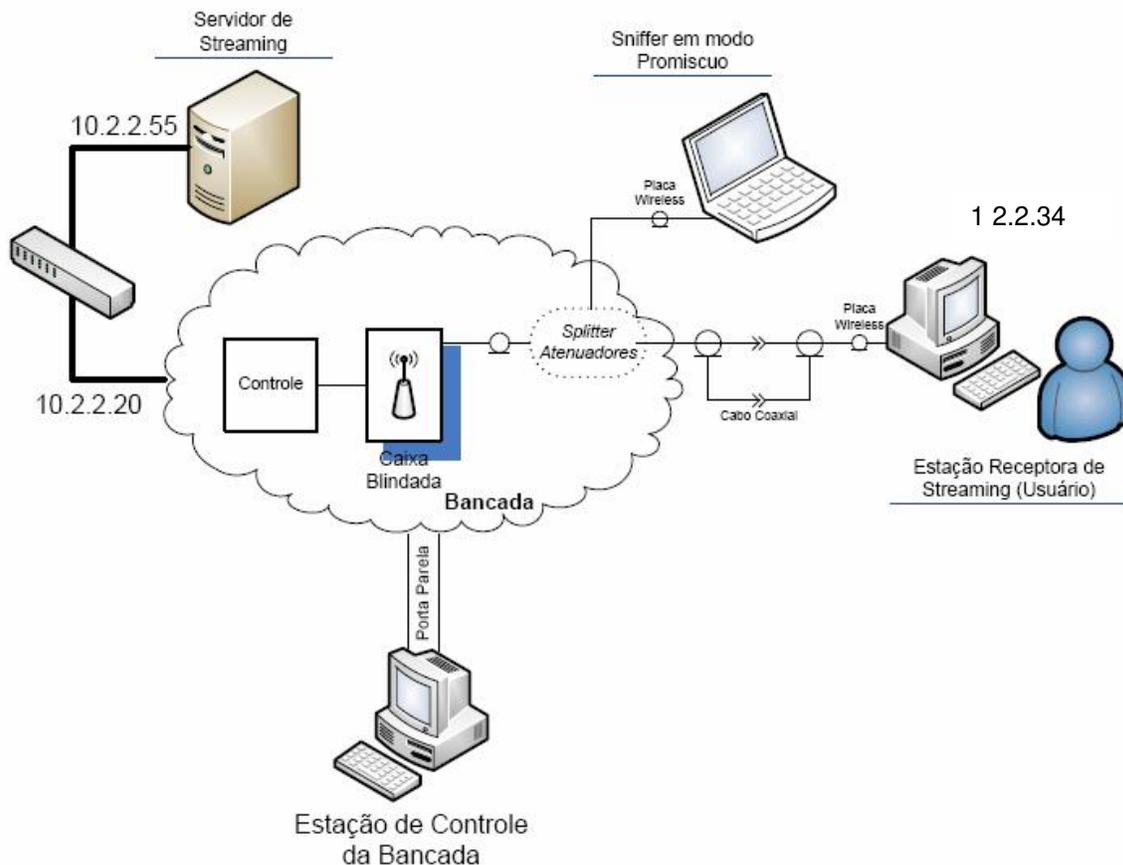


Fig. 5.1 – Arquitetura da rede utilizada

O PC1 envia o sinal de *streamings* de vídeo por meio do *software* VLC (*VideoLAN Client*) (Apêndice A). Neste *software* são configuradas algumas opções para realizar os testes. Pode-se

visualizar o *software* por meio da Fig. 5.2.



Fig. 5.2 – Software VLC

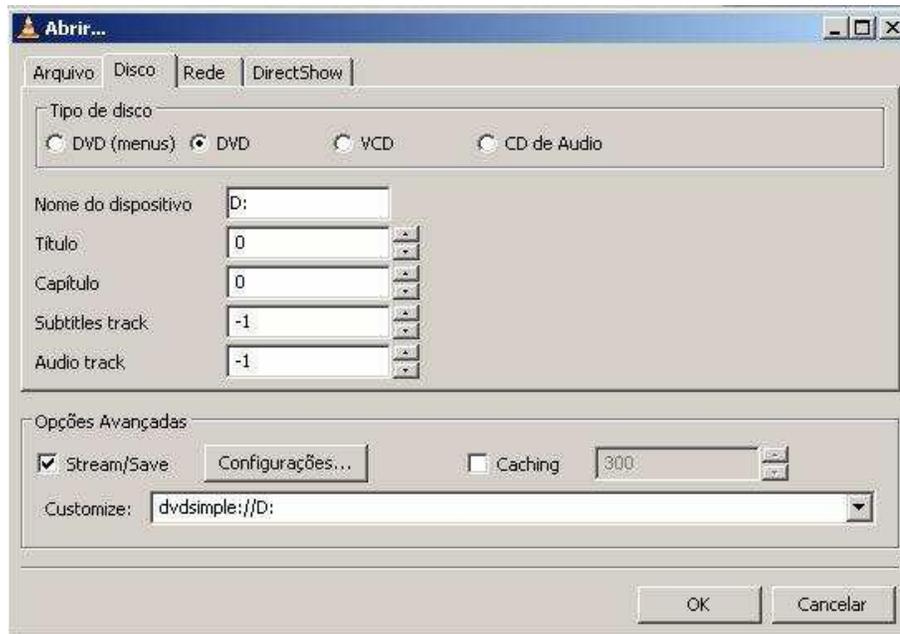


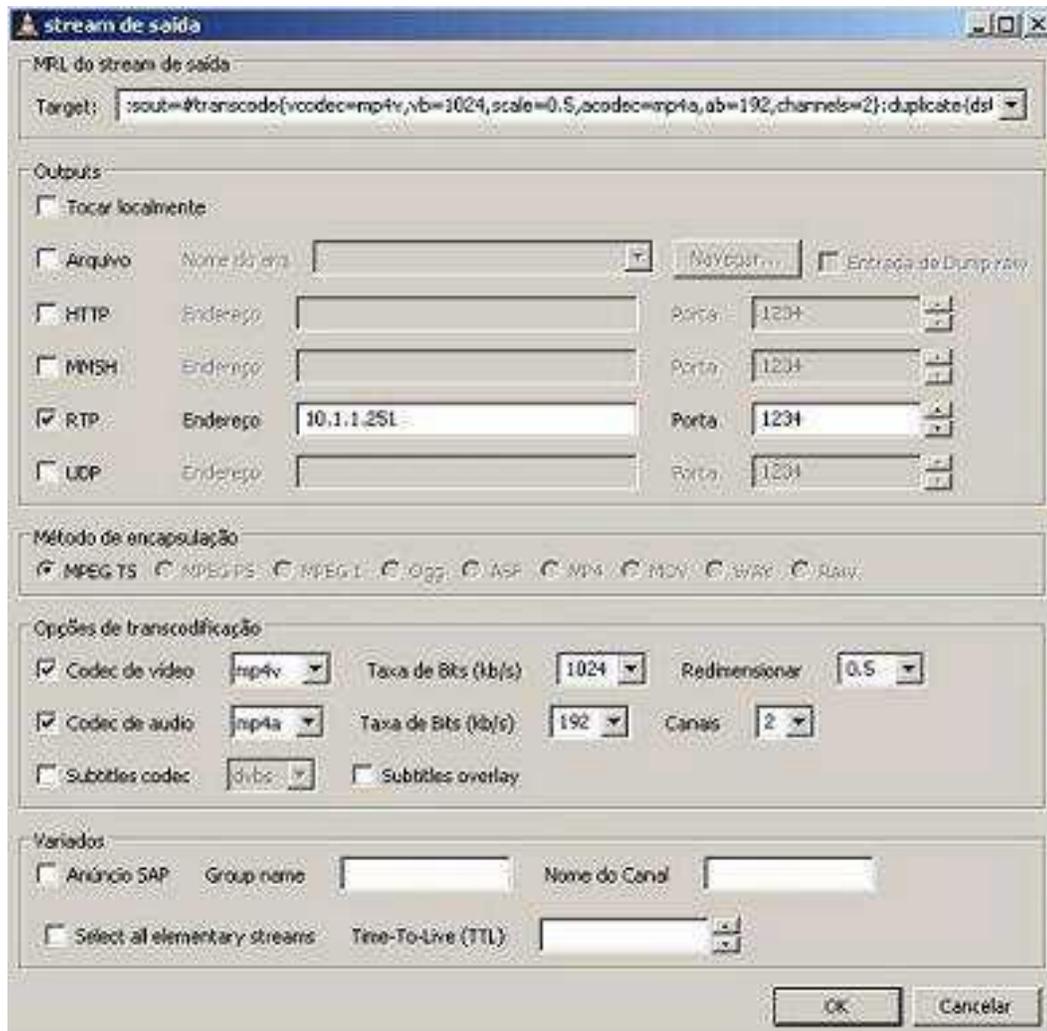
Fig. 5.3 – Opções selecionadas no VLC

No menu arquivo, na opção *open*, escolhe-se *File*. Configure no menu disco a opção DVD, selecione a opção de *stream/save* e clique em Configurações. A Fig. 5.3 mostra o menu do *software* para ser configurado.

Configurou-se no VLC, a opção RTP (*Real Time Protocol*). Essa opção indica o protocolo utilizado para a transmissão do vídeo (o qual é utilizado em aplicações em tempo real) faz a fragmentação do fluxo de dados áudio, adiciona a cada fragmento uma informação de seqüência e de tempo de entrega. Utiliza-se o protocolo de transporte UDP, o qual não garante que os pacotes serão entregue num determinado intervalo [4]. Também indica o endereço do IP que irá receber o vídeo, no caso de ser *unicast* ou *multicast*, bem como a porta. Na parte inferior da tela serão selecionadas as opções de transcodificadores, sendo marcadas as opções de *codec* de vídeo. Deve-se selecionar o tipo mp4v, *codec* de áudio e selecionar o tipo mp4a. O *codec* é um dispositivo que codifica ou decodifica os sinais, permitindo que o som e a imagem quando codificados comprimam o arquivo sem alterar as condições originais. Como exemplo: MPEG1 *layer 3* (MP3) para som, JPEG para imagem e Xvid para vídeo.

Deve-se também redimensionar o vídeo para a metade do formato original, pois só assim é

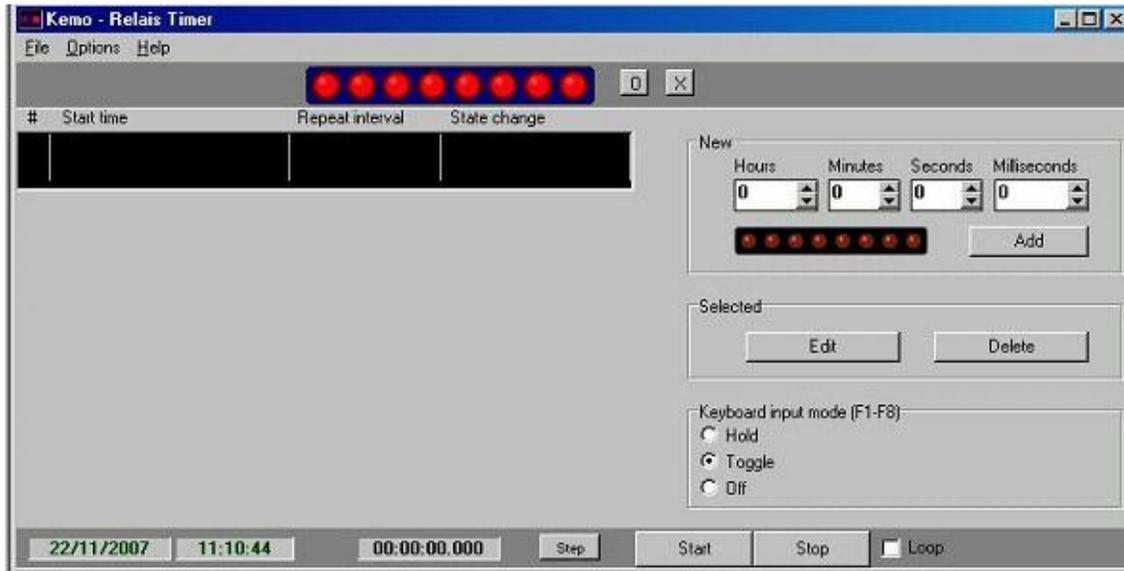
possível transmiti-lo em diversas condições sem que as imagens deixem de ser recebidas. Para melhor compreensão das opções selecionadas podem-se vê-las na Fig. 5.4.



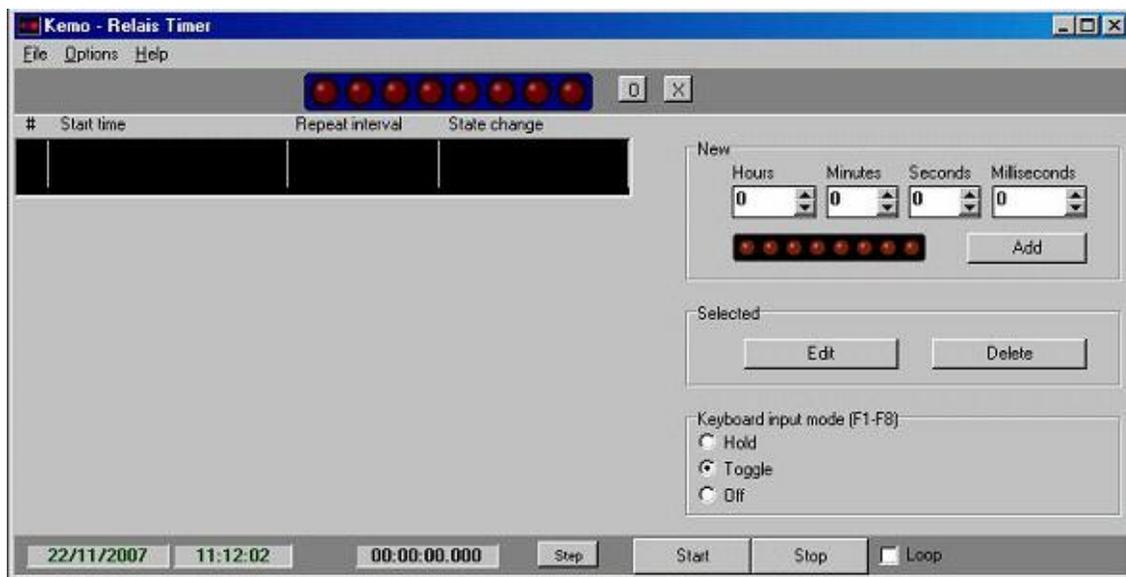
**Fig. 5.4 – Opções de codec no VLC**

Quando enviado o *streaming* de vídeo, o sinal de RF irá passar pelos equipamentos dentro do *hack*. O AP que está dentro da caixa blindada irá determinar qual a rede de teste, ou seja, se será 802.11 b ou g. Esta opção pode ser escolhida ao conectar-se ao AP por meio de seu IP tendo a senha do administrador. O sinal de RF percorrerá a chave e o atenuador variável, o qual determinará se a qualidade do sinal será a melhor (tensão máxima possível, 5V) ou o pior (tensão mínima, 0,8V). O atenuador variável atenua o sinal de RF ou não por meio do PC de controle, o qual consegue enviar esse comando pelo *software Kemo: Relais Timer*. Quando são selecionados todos os bits da porta paralela a tensão é de 5V e assim a qualidade do sinal é alta e quando nenhum bit for selecionado a tensão será 0,8V e a qualidade do sinal será baixa. Podemos ver

todos os bits selecionados no *software* nas Fig. 5.5 e Fig.5.6.



**Fig. 5.5 – Software *Kemo-Relais Timer* para o sinal máximo**



**Fig. 5.6 – Software *Kemo-Relais Timer* para o sinal mínimo**

O sinal de RF será monitorado por um *sniffer* por meio do *software Wireshark*. Esse *software* analisa o tráfego da rede, organiza os protocolos e controla o tráfego de uma rede, sendo possível assim saber o que entra e sai do computador. Os pacotes enviados são armazenados por esse programa, pois podem ser usados para comparação com os pacotes recebidos pelo PC2. Esse sinal irá percorrer o cabo RJ45, o qual produz certa atenuação pelo seu próprio material e irá chegar por meio da placa WiFi cliente no PC2. Esse PC2 irá receber o *streaming* de vídeo por

meio do VLC, analisar seus pacotes por meio do *software Wireshark* (Apêndice A) e verificar a potência do sinal em dBm pelo *software Netstumbler* [Apêndice A].

Os testes iniciais foram feitos em rede 802.11 b, tanto para o sinal máximo (5V), quanto para o sinal mínimo (0,8V). Posteriormente realizou-se outra série de testes tanto para b quanto para g com sinal máximo e mínimo, mas desta vez gerou-se tráfego UDP para consumir 50% da banda da WLAN. Para gerar esse tráfego UDP, disparou-se um tráfego pelo *iperf* no PC2 (servidor) e houve a recepção no PC de controle (cliente). O *Iperf* é um *software* de análise de desempenho de banda e cálculo de perda de datagramas na rede. O *Iperf* é um *software* cliente/servidor adequado para medições ativas. Além das medições, esse software pode ser usado com um gerador simples de carga na rede, quando não há preocupação com o perfil do tráfego que está sendo gerado. Também com *iperf* é possível medir o *Jitter* (variação do atraso) e a perda. O *Iperf* é capaz de usar tanto o protocolo UDP, quanto TCP e pode lidar com múltiplas conexões simultâneas. Nos testes utilizou-se o protocolo UDP.

As linhas de comando no *iperf* e o que acontecia ao longo do tempo são observados na Fig.5.7.

```
C:\iperf>iperf -c 10.2.2.34 -u -b 5m -t 200 -i 0.5
-----
Client connecting to 10.2.2.34, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 8.00 KByte (default)
-----
[1920] local 10.2.2.35 port 3799 connected with 10.2.2.34 port 5001
[ ID] Interval          Transfer          Bandwidth
[1920] 0.0- 0.5 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 0.5- 1.0 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 1.0- 1.5 sec      304 KBytes       4.99 Mbits/sec
[1920] 1.5- 2.0 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 2.0- 2.5 sec      304 KBytes       4.99 Mbits/sec
[1920] 2.5- 3.0 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 3.0- 3.5 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 3.5- 4.0 sec      304 KBytes       4.99 Mbits/sec
[1920] 4.0- 4.5 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 4.5- 5.0 sec      304 KBytes       4.99 Mbits/sec
[1920] 5.0- 5.5 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 5.5- 6.0 sec      306 KBytes       5.01 Mbits/sec
[1920] 0.0- 6.5 sec      3.87 MBytes      4.99 Mbits/sec
read failed: Connection reset by peer
C:\iperf>iperf -c 10.2.2.34 -u -b 5m -t 200 -i 0.5_
```

Linha de comando  
para execução do  
*iperf*

Fig. 5.7 – Geração de tráfego UDP (cliente)

Foram utilizados os parâmetros de linhas de comando:

- c – especificação do cliente;
- s – especificação do servidor;
- t – intervalo de tempo entre mensagens (envio contínuo por omissão);
- b – tamanho da banda (*bandwidth*);
- u – roda em modo único usando UDP;

Além de gerar tráfego UDP com o *streaming* de vídeo, foram transmitidas as medidas de tensão obtidas na praça de alimentação da PUC-Campinas campus1 por um robô. Essas medidas foram coletadas por alunos de iniciação científica. Por meio do software *flat fading*, pode-se vê-lo na Fig.5.8, carrega-se com o arquivo .csv g com as medidas da praça, seta-se um intervalo de 10.000ms e a opção de *loop* para não ser interrompido durante os testes.



Fig. 5.8 – Software *flat flating*

Os testes feitos durante a pesquisa utilizaram os sinais máximos e mínimos em b ou g, tráfego UDP, assim como foram feitos e medidas com sinal portador variando obtidas na praça e alimentação – *flat fading*. Isso proporcionou uma variedade de testes que condizem com as diversidades de um ambiente real.

## 5.2 O Protocolo RTP e os Resultados

Para fazer a análise da transmissão de vídeo sobre as redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, utilizou-se as *streams* do protocolo RTP.

O RTP (*Real-time Transport Protocol*) é usado entre um servidor de mídia e uma aplicação que lê mídia. O RTP fornece a transferência de dados, por exemplo, o áudio e vídeo vêm do servidor de mídia. Tem-se duas *streams* diferentes no protocolo RTP. Normalmente o RTP corre

em UDP, mas também pode rodar em TCP, e pode até rodar sobre outros sistemas de transportes. Toma conta do sincronismo de pacote; não assegura realmente a entrega em tempo real, mas envolve diferentes *frames* de áudio e vídeo com informação de sincronização suficiente para que possam ser sincronizados em tempo real na recepção final. O RTP é também a maneira padronizada para entregar *streaming* por UDP em redes *multicast*.

O RTSP (*Real Time Stream Protocol*) fornece, essencialmente, os controles de um gravador de videocassetes, a um servidor de *streaming media*. O protocolo é modelado, de certa forma, pelo HTTP, porque se pretendia que fosse tão bom para a *streaming media* como o HTTP tinha sido para as páginas de *internet*. O RTSP pode trabalhar em conjunto com o RTP; o RTSP instala a ligação e o RTP é usado para entregar os dados. Tanto a *RealNetworks* quanto a *Netscape* trabalharam na especificação deste protocolo.

Nos testes, quando o cliente solicita o conteúdo aos servidores de *streaming* de vídeo os *sockets* TCP e UDP são usados para enviar os *streamings*. Para encapsular os pacotes gerados usa-se o protocolo RTP. O *buffer* é utilizado assim que o usuário começa a receber os dados, mas logo os *streamings* já são reproduzidos. O protocolo que disponibiliza funções de interatividade (como retroceder e parar o vídeo) é o RSTP. O protocolo que se utilizou na camada de rede é o IP.

O TCP e UDP são responsáveis por funções de transporte, multiplexação e controle de erro. Na multiplexação o TCP consegue multiplexar *streams* de vários tópicos rodando na mesma máquina com o mesmo IP. No controle de erro, TCP e UDP usam a técnica do *checksum* para detectar erros, e se houver um erro o pacote com erro é descartado, o TCP retransmite-o e o UDP não. O TCP adapta-se à taxa de transmissão de acordo com a rede. Dessa forma, faz o controle de fluxo, mas adiciona um atraso de tráfego ao pacote, que não é permitido em aplicações de *streaming* de vídeo.

Durante os testes no PC2 o *streaming* de vídeo foi recebido pelo *software* VLC e os pacotes foram analisados pelo *software* Wireshark, no qual precisam ser setadas algumas opções. Deve-se ir ao menu *Edit* selecionar *preference* e assim aparecerá uma tela onde será setado o protocolo RTP.

Ao fazer isso os pacotes do protocolo RTP serão selecionados pelo *Wireshark*. Assim será possível um estudo estatístico destes dados por meio de gráficos gerados pelo próprio *software*. Para gerar os gráficos deve-se ir ao menu *statistics*, selecionar RTP e depois *stream analysis*. Estas opções estão na Fig.5.9.

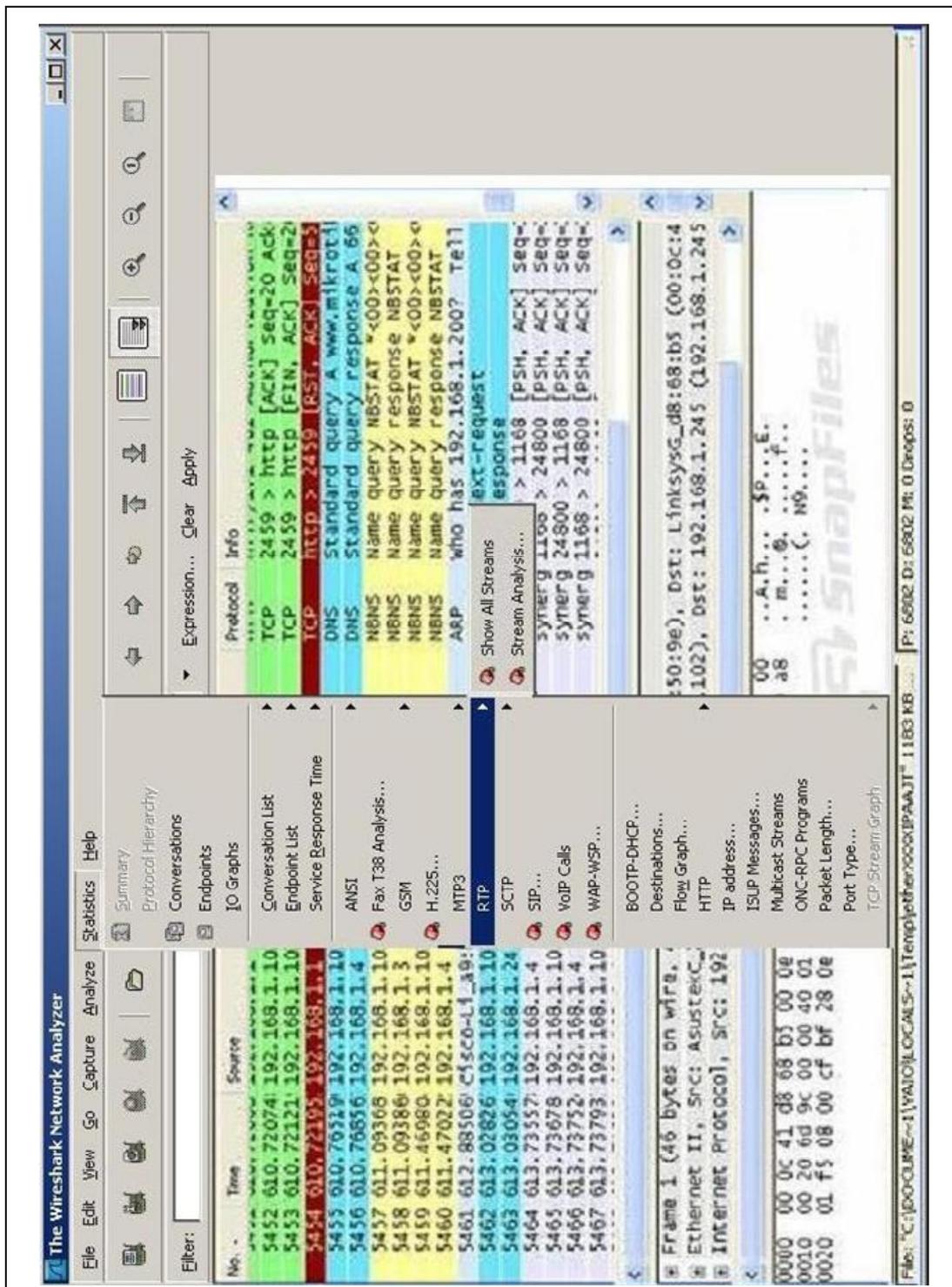


Fig. 5.9 – Opções para gerar gráficos no wireshark

### 5.3 Resultados Obtidos

Foi possível obter os valores necessários para analisar o *streaming* de vídeo não só em redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g com sinal de potência máximo e mínimo, mas também nas diversas condições já mencionadas anteriormente na descrição dos testes.

#### 5.3.1 Testes com a Rede IEEE 802.11 b

Os testes feitos com o modulador do padrão IEEE 802.11b foram as seguintes situações:

##### (a) Transmissão de vídeo com sinal máximo de potência

O cenário utilizado nesse caso transmite o sinal de vídeo *streaming* com o sinal máximo sem nenhum tráfego concorrente com potência máxima da portadora.

A transmissão de vídeo com o sinal máximo de potência é demonstrada nas figuras a seguir. A Fig. 5.10 mostra os parâmetros de qualidade *jitter* e *difference*, do servidor de *streaming* (IP 10.2.2.55) para a estação receptora de *streaming* – usuário (IP 10.2.2.34). O esquema está demonstrado na Fig. 5.1.

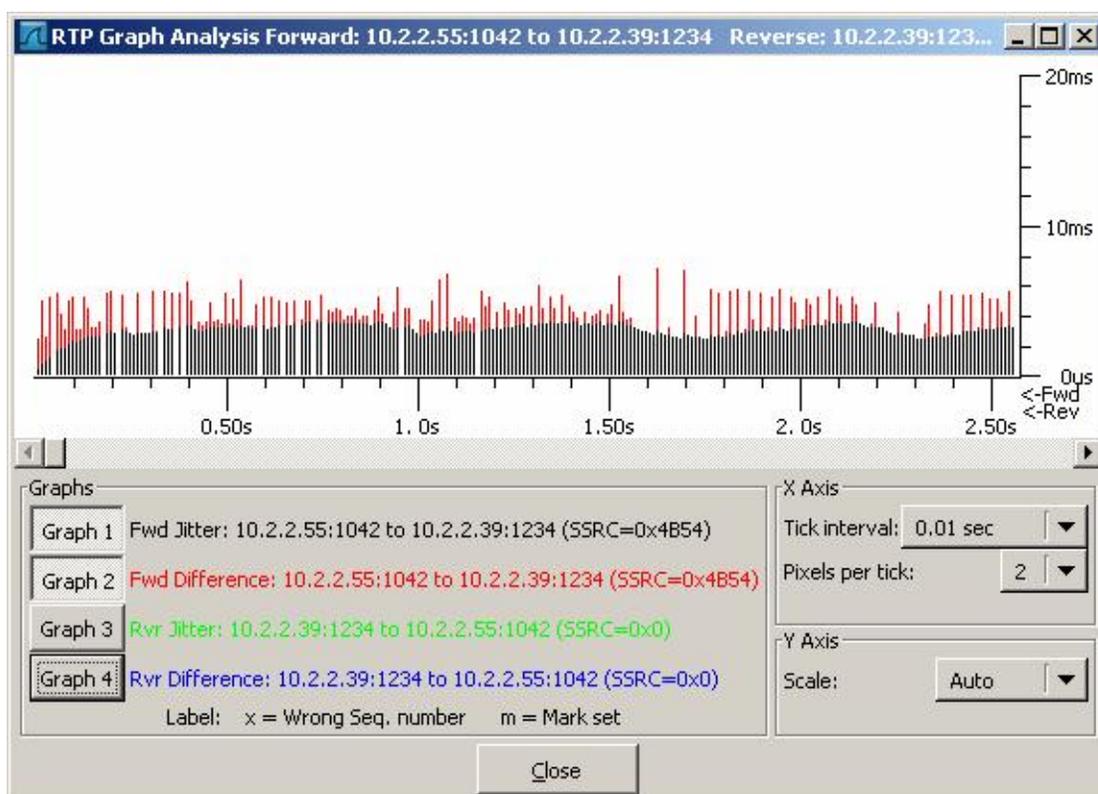


Fig. 5.10 – Gráfico (*wireshark*) – parâmetros – *difference* e *jitter*

Para melhor visualização dos dados e a obtenção de um banco de dados com os valores de *difference* e *jitter* durante a transmissão utilizou-se os gráficos das Fig. 5.11 e 5.12.

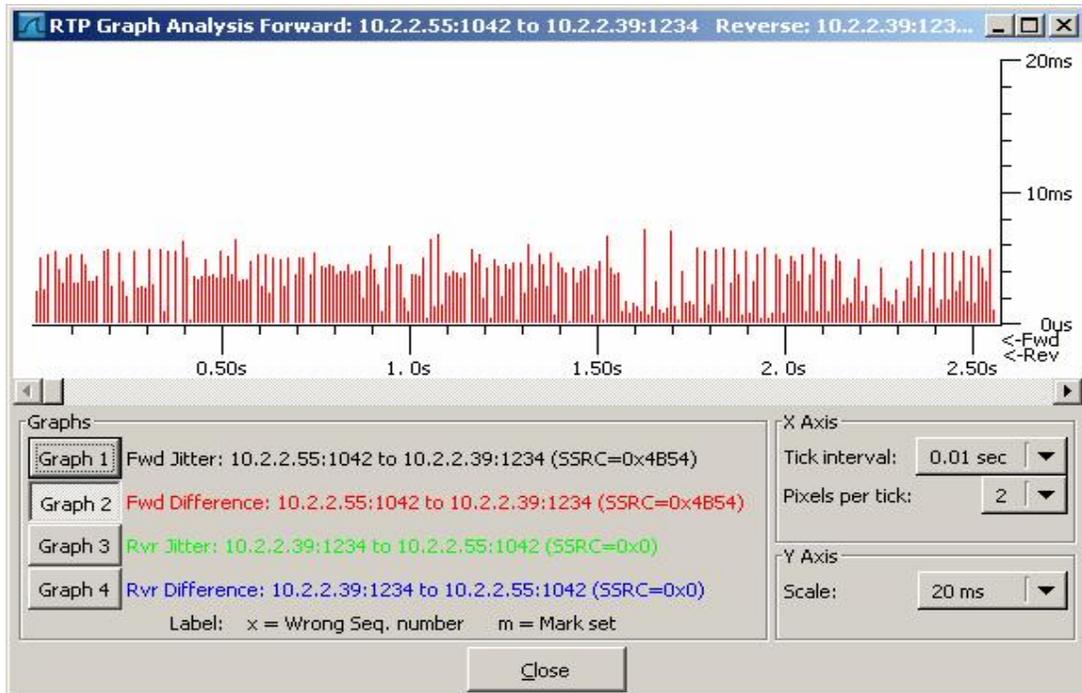


Fig. 5.11 – *Difference* da transmissão em máxima potência

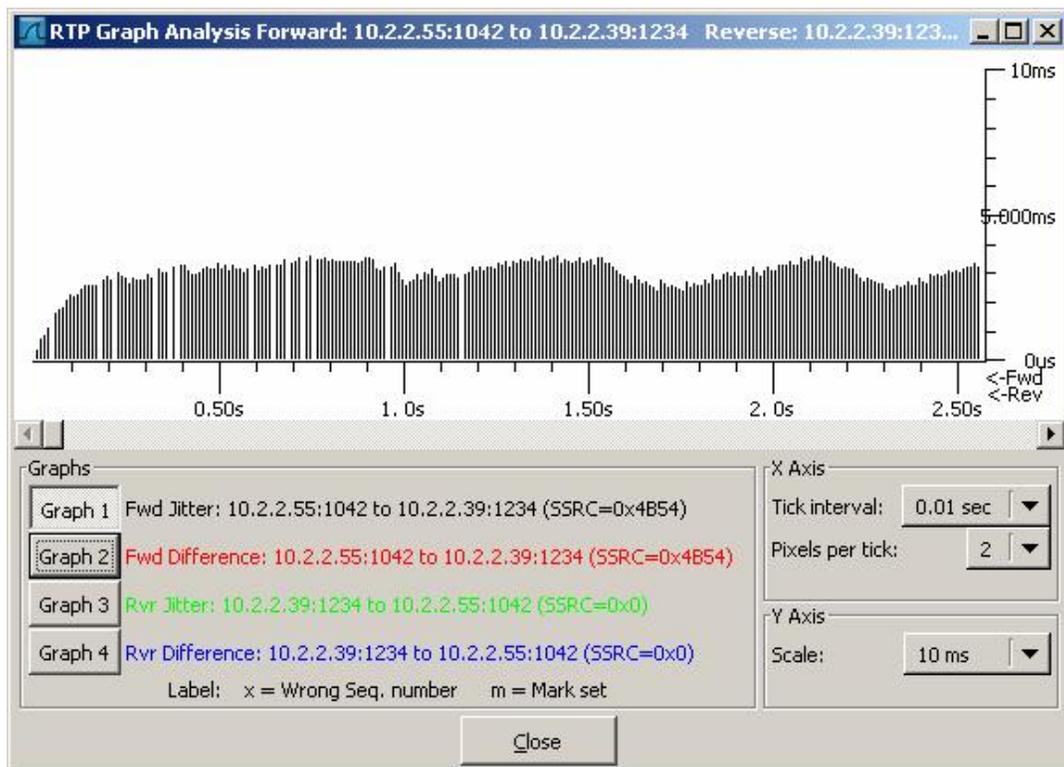


Fig. 5.12 – *Jitter* da transmissão em máxima potência

**(b) Transmissão de vídeo com sinal máximo de potência e tráfego concorrente UDP**

O cenário utilizado nesse caso transmite o sinal de vídeo *streaming* com o sinal máximo com tráfego concorrente gerado pelo *iperf* com potência máxima da portadora.

A transmissão de vídeo com sinal máximo de potência e tráfego concorrente UDP é demonstrado na Fig. 5.13, em que utilizou-se o tráfego gerado pelo *software iperf*, explicado anteriormente. O vídeo é transmitido por meio da rede *wireless* e com o sinal máximo de portadora. A largura de banda nesse caso foi ocupada com 50% do tráfego concorrente. Esse caso caracteriza quando o receptor está próximo da fonte do sinal transmitido e possui concorrência. Os níveis de *difference* entre o servidor e o cliente são mostrados na Fig. 5.14.

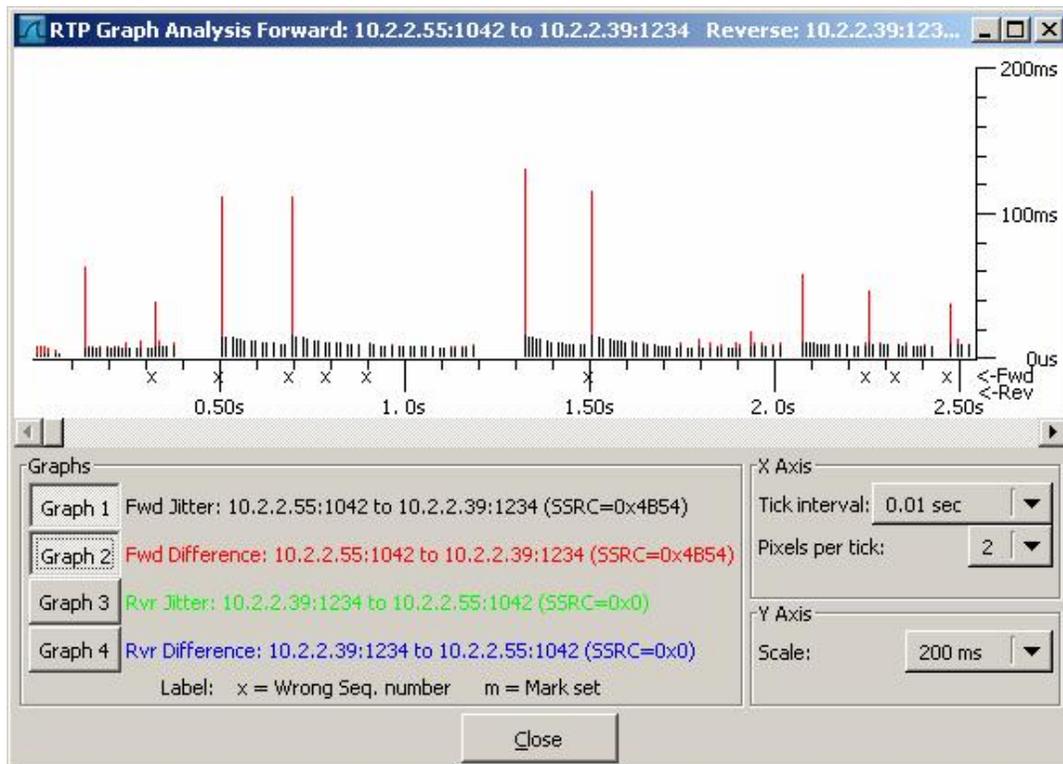


Fig. 5.13 – *Difference e jitter* transmissão em sinal máximo com tráfego UDP

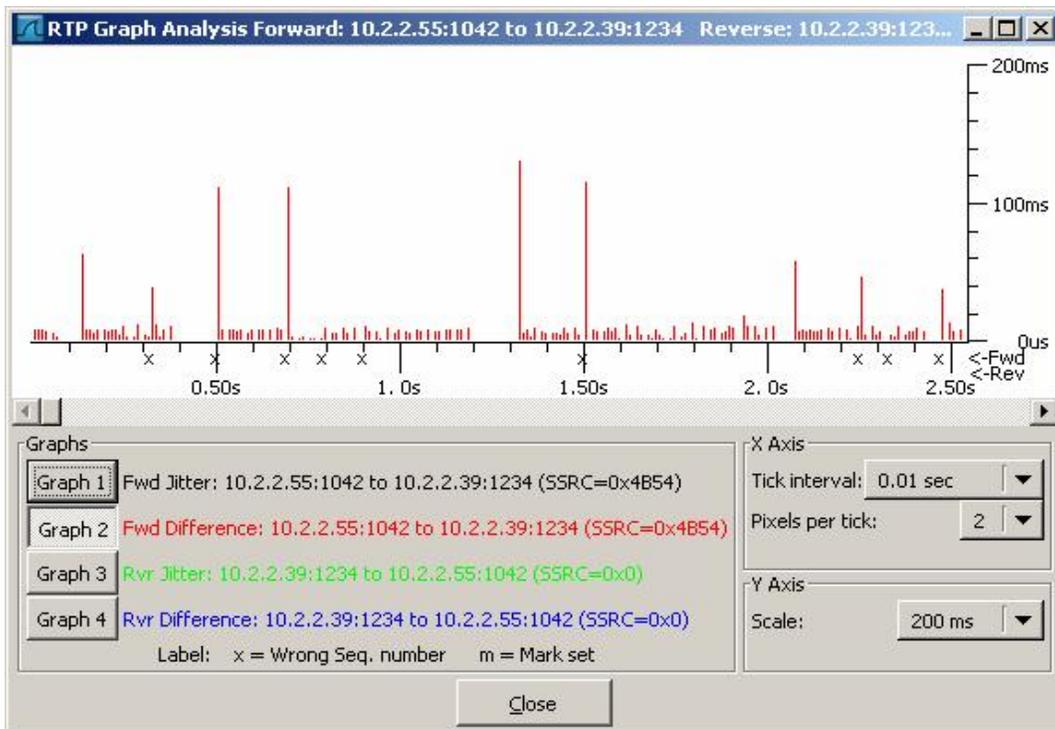


Fig. 5.14 – *Difference* – transmissão em sinal máximo com tráfego UDP

A Fig. 5.15 mostra os níveis de *jitter* obtidos com a transmissão de vídeo com tráfego concorrente UDP.

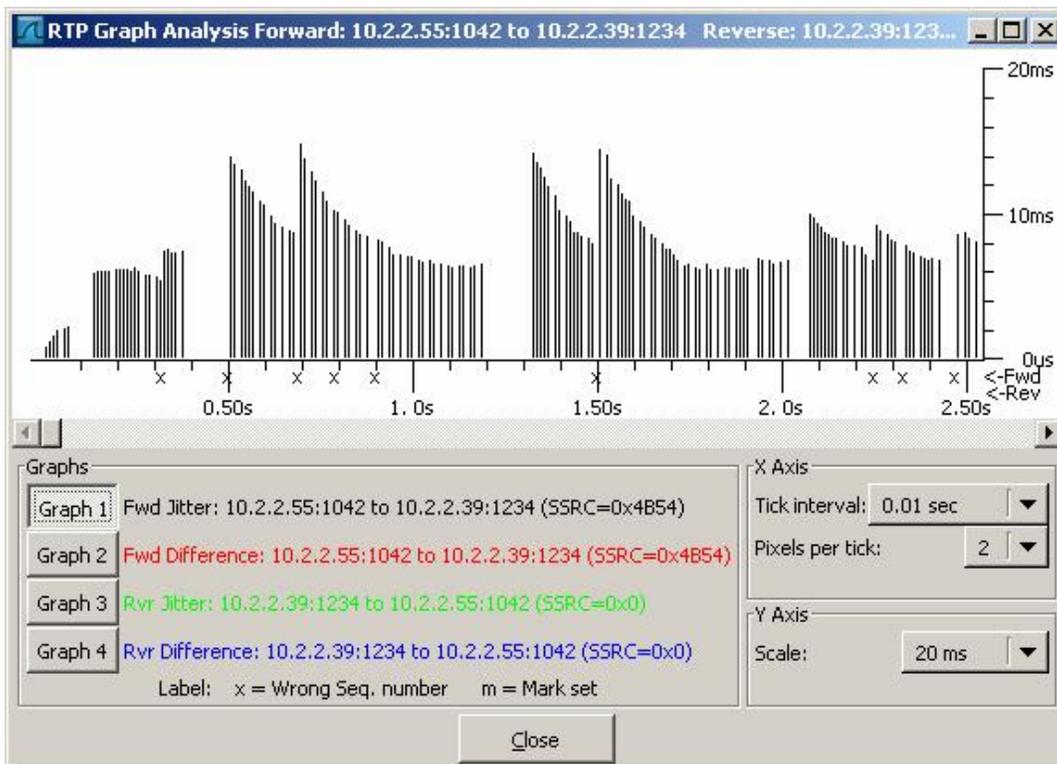


Fig. 5.15 – *Jitter* – transmissão em sinal máximo com tráfego UDP

### (c) Transmissão de vídeo com sinal na praça de alimentação sem tráfego concorrente UDP

A Fig. 5.16 mostra os dados de um vídeo sendo transmitido por meio da rede *wireless* com o sinal da portadora variando, conforme a variação de potência, obtida por com as medições feitas na praça de alimentação, feitas com a antena Yagi-Uda de 5 elementos. Nesse caso a transmissão ocorre sem tráfego concorrente. Isso acontece quando o receptor é móvel em relação à fonte, mas, a banda é dedicada para a transmissão do *streaming*.

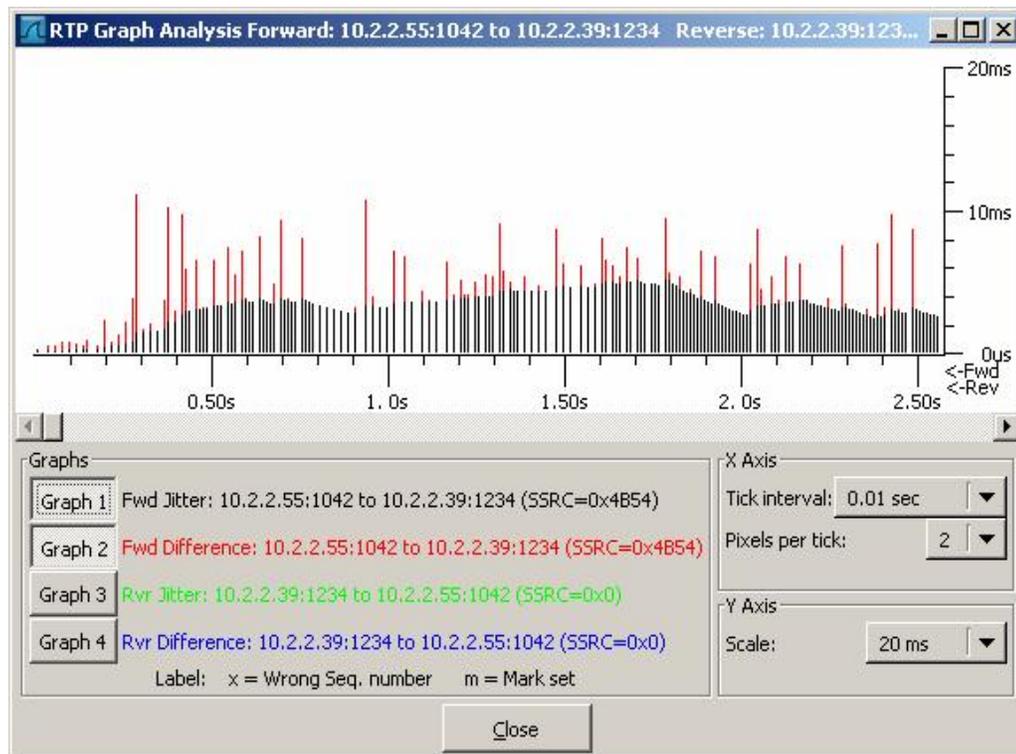
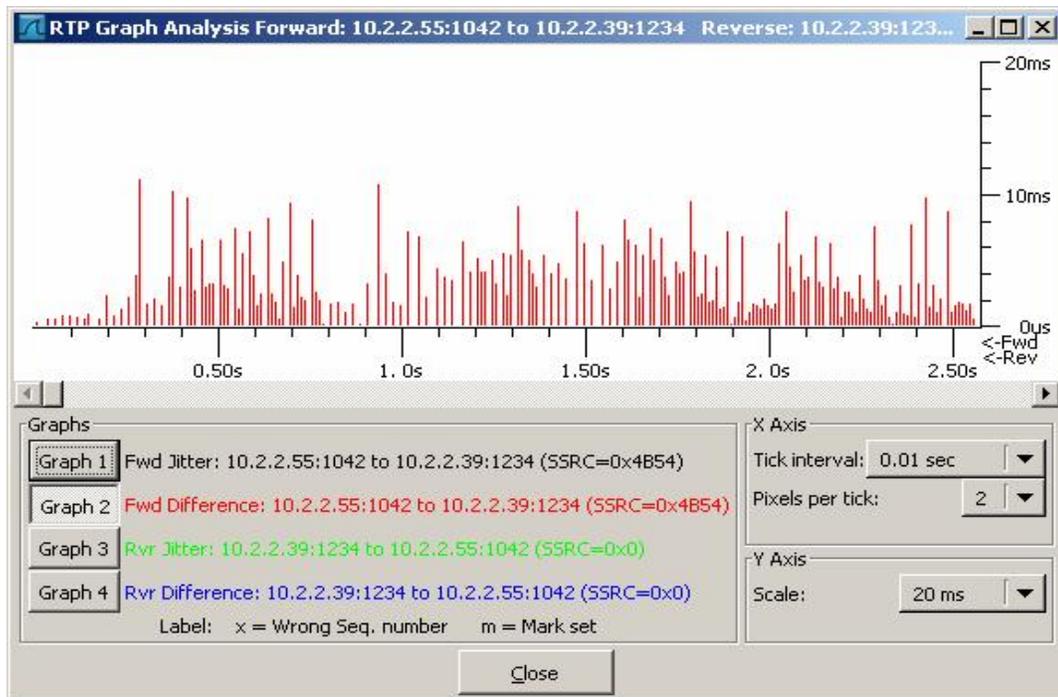


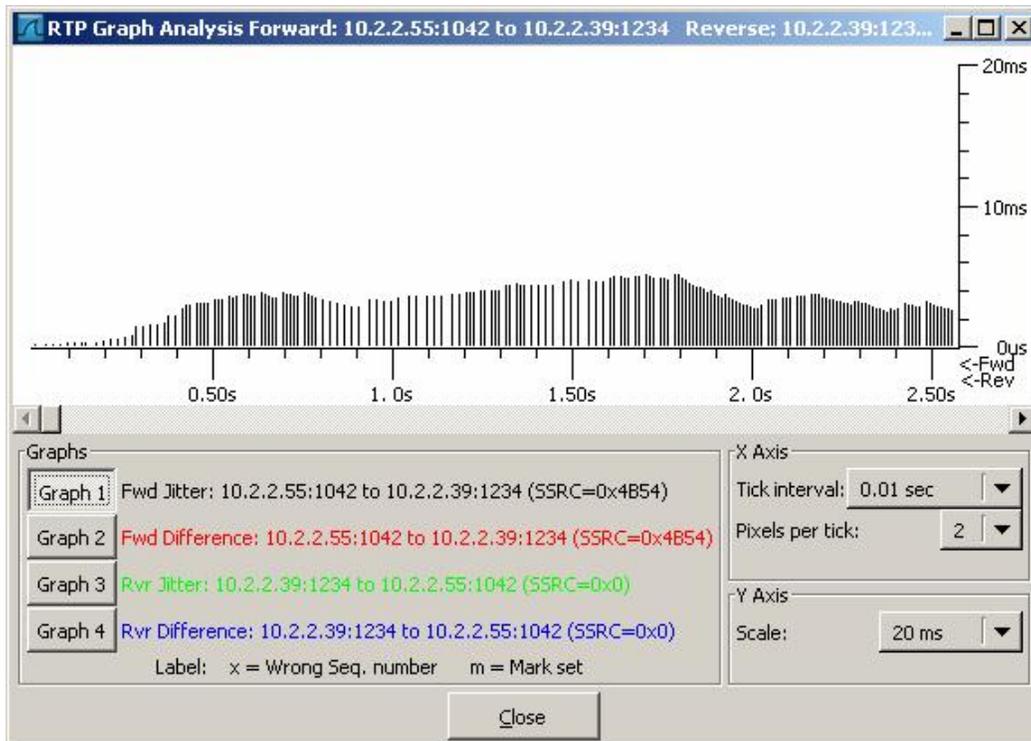
Fig. 5.16 – *Difference e jitter* utilizando sinal da praça de alimentação

A Fig. 5.17 ilustra os dados do parâmetro de qualidade *difference*. Todos os resultados analisados e retirados os valores máximos a fim de formar as tabelas da próxima subseção que foram base para as análises feitas.



**Fig. 5.17 – Difference – sinal da praça de alimentação**

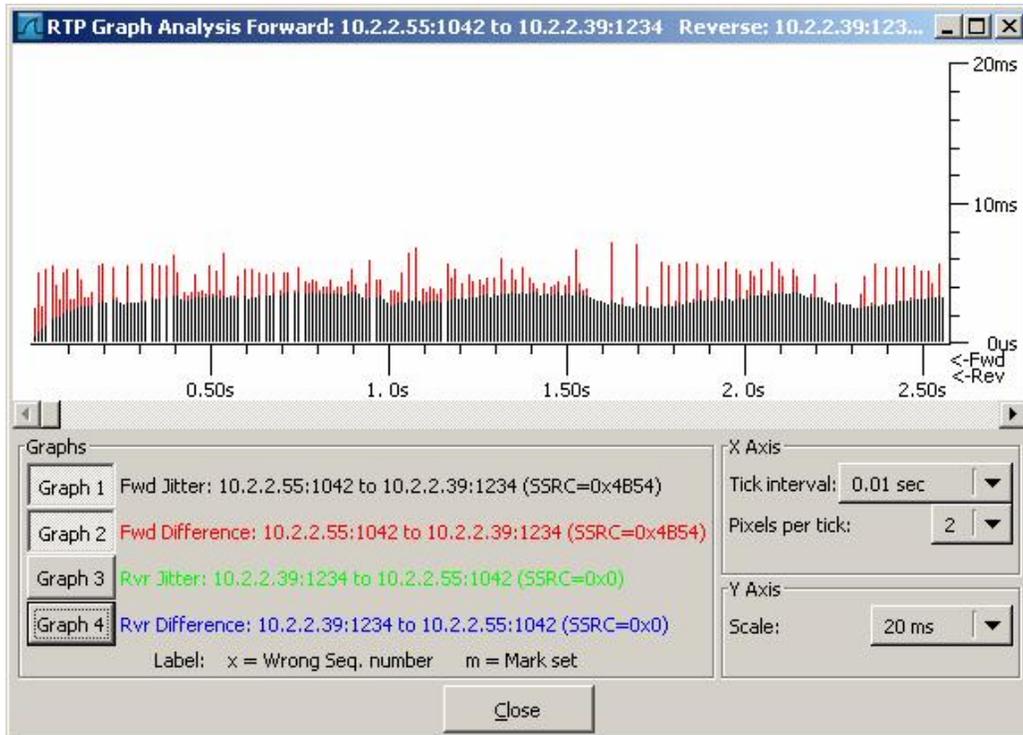
A Fig. 5.18 ilustra os dados do parâmetro de qualidade *jitter*. Para todos os dados analisados foram mostrados os valores máximos na Tabela 5.1.



**Fig. 5.18 – Jitter – sinal da praça de alimentação**

**(d) Transmissão de vídeo com sinal na praça de alimentação e tráfego concorrente UDP**

A simulação mostrada na Fig. 5.19, associa-se o tráfego concorrente e variação de potência obtida com os dados da praça de alimentação. Isso demonstra uma situação onde o receptor é móvel e a banda não é dedicada à transmissão *streaming*.



**Fig. 5.19 – Difference e jitter transmissão com sinal da praça e tráfego UDP**

Na Fig. 5.20 são mostrados apenas os dados com relação ao parâmetro de qualidade *difference* e na Fig. 5.21 são mostrados os dados com relação ao *jitter*.

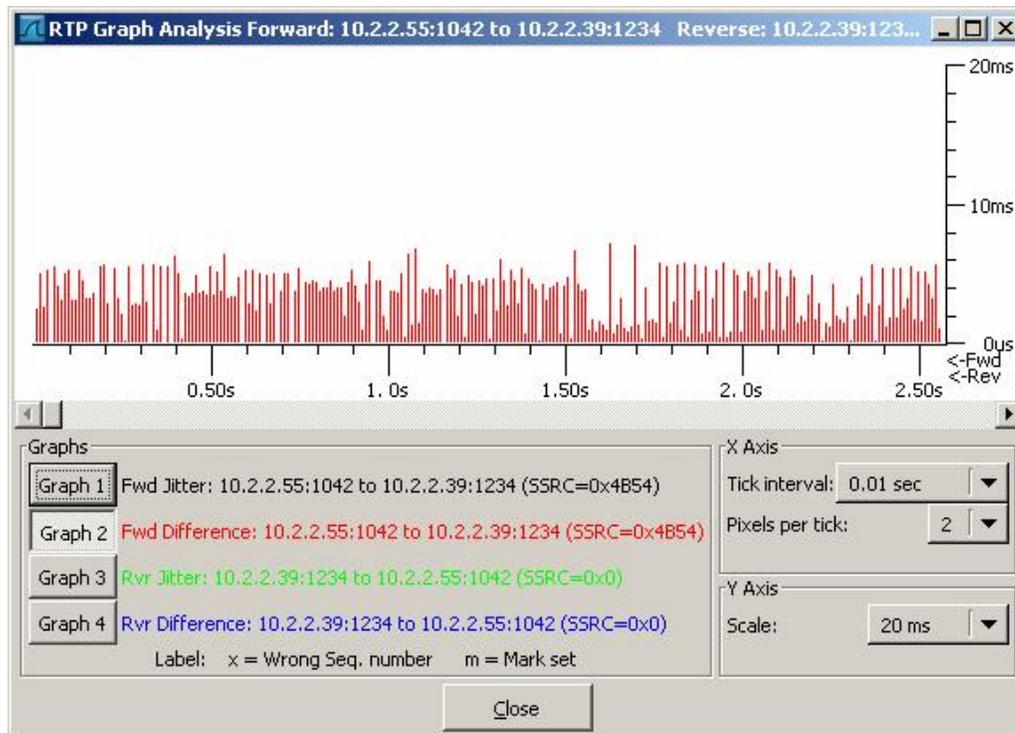


Fig. 5.20 – *Difference* – transmissão com sinal da praça e tráfego UDP

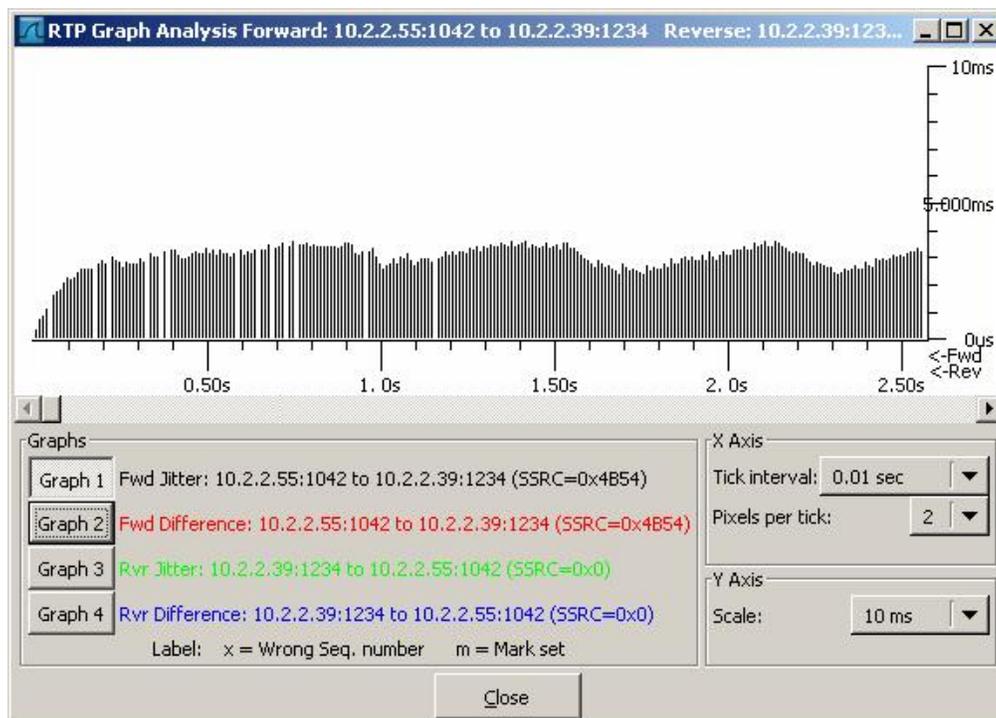
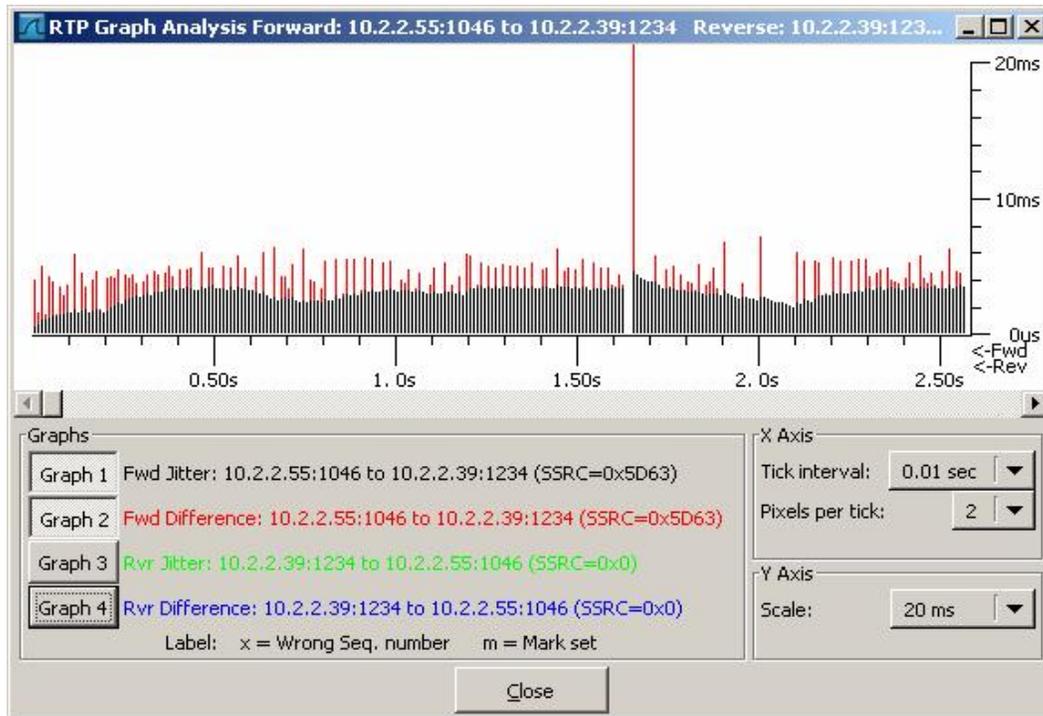


Fig. 5.21 – *Jitter* transmissão com sinal da praça e tráfego UDP

**(e) Transmissão de vídeo com sinal mínimo de potência**

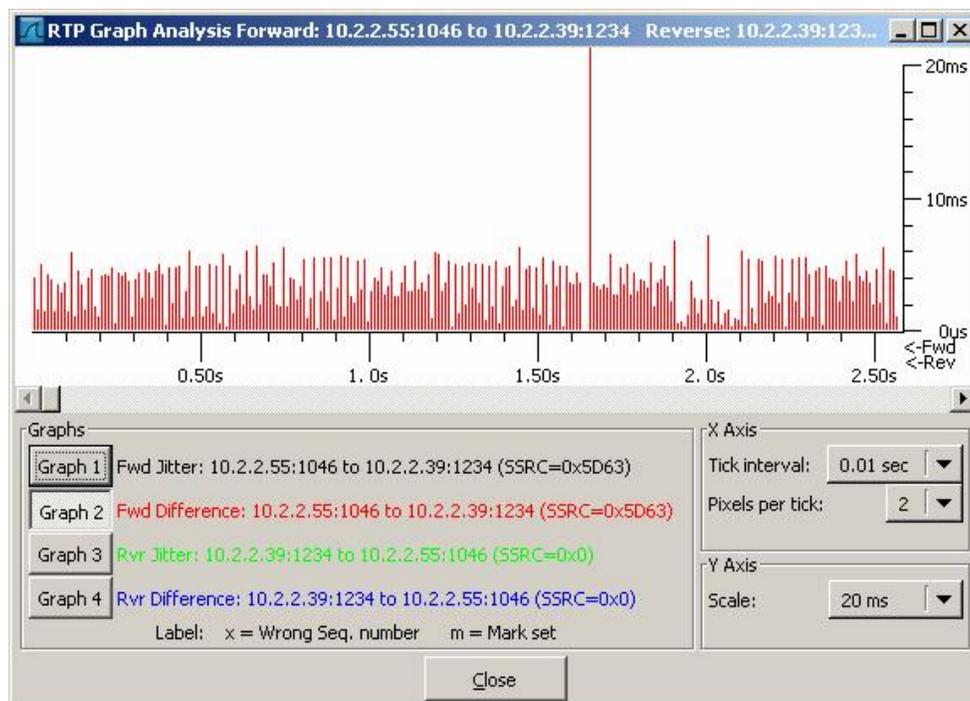
A transmissão de vídeo com sinal de potência mínimo é mostrada na Fig. 5.22. Esse caso

mostra quando o receptor situa-se em um local longe da zona de transmissão.



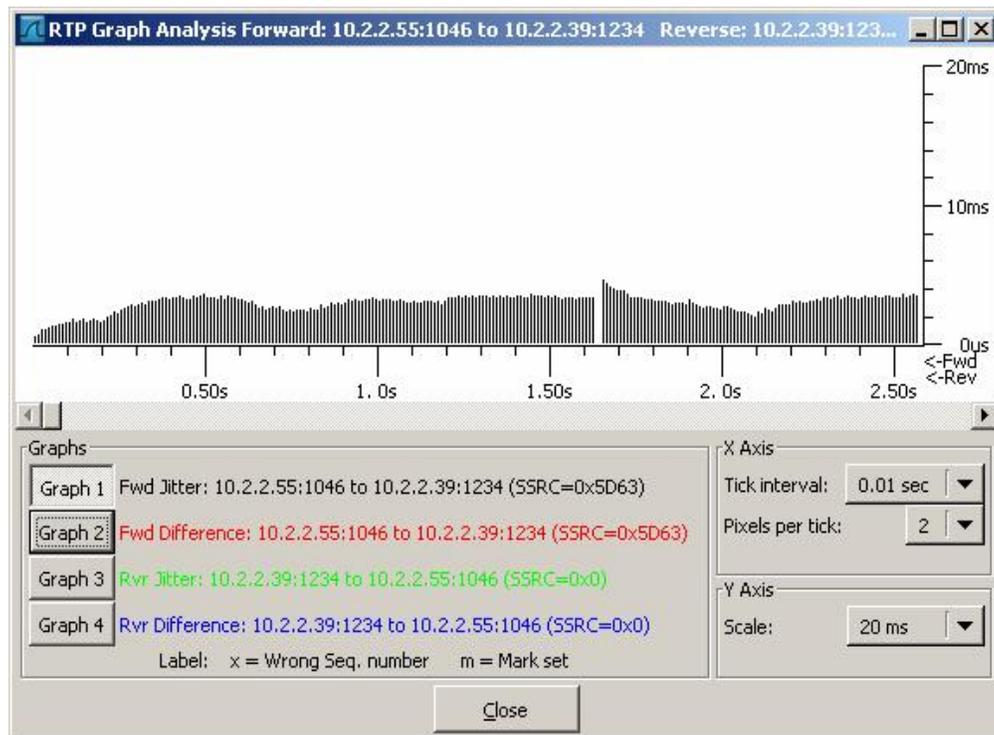
**Fig. 5.22 – Difference e jitter – transmissão com o sinal mínimo de potência**

A Fig. 5.23 mostra os dados de *difference*, que ocorreram durante a transmissão com sinal de potência mínimo.



**Fig. 5.23 – Difference – transmissão com o sinal mínimo de potência**

O *jitter* medido durante a transmissão de vídeo com potência mínima é mostrado na Fig. 5.24.



**Fig. 5.24 – Jitter – transmissão com o sinal mínimo de potência**

#### **(f) Transmissão de vídeo com sinal mínimo de potência e tráfego concorrente UDP**

Para o caso onde o sinal de potência é mínimo e a transmissão de vídeo é feita com tráfego concorrente, não houve transmissão com essa configuração. Os vídeos não foram recebidos, pois a potência do sinal era mínima e o tráfego concorrente dominou a transmissão. Os níveis de *jitter* e *difference* se tornaram grande demais e não foram detectados pelo sistema. A transmissão de vídeo com o modulador da rede IEEE 802.11b, nessas condições fica comprometida. Apenas os valores de tempo total de transmissão (DELTA MAX) foram medidos, mas não chegou nenhum pacote no receptor.

### **5.3.1.1 Resultados Obtidos com a Transmissão de Vídeo com a Rede IEEE 802.11 b**

Os dados da Tabela 5.1 foram obtidos por meio das análises dos dados gerados pelo *software Wireshark*.

**Tabela 5.1 – Parâmetros de QoS e valores das simulações dos ambientes propostos**

	<b>DIFFERENCE MAX (ms)</b>	<b>JITTER (ms)</b>	<b>BW (kbps)</b>	<b>Pacotes Perdidos (%)</b>	<b>Potência (dBm)</b>
<b>Sinal Max</b>	35,24	5,63	2332,32	0,00	-20
<b>Sinal Max UDP</b>	2407,34	203,69	1583,81	37,49	-20
<b>Sinal Praça</b>	64,89	11,12	1627,20	0,00	
<b>Sinal Praça UDP</b>	35,24	5,63	2332,32	0,00	
<b>Sinal Min</b>	45,75	6,33	5879,62	0,00	-50
<b>Sinal Min UDP</b>	80,29	-	-	-	-50

O sistema *Flat Fading* foi usado nas simulações “Sinal Praça e Sinal Praça UDP”. O sistema automático emula a movimentação de usuários de uma rede WLAN. A degradação do sinal foi caracterizada pela variação de sinal de potência da portadora. Isso foi feito a partir dos dados gerados quando o robô capturou o sinal de potência ao redor da praça de alimentação da PUC Campinas, por meio de uma antena Yagi-Uda de 5 elementos, salvando as variações de potência da portadora.

Os resultados de medição correspondem a um canal de degradação de sinal – canal de *flat fading* e as informações sobre qualidade de rede, *jitter*, perda de pacotes foram obtidas pelo uso do *sniffer* da bancada e das medições dos *softwares* de análise de sinal, *Wireshark* e *Netstumbler*. A instabilidade do sistema quando este se encontra em movimento, foi notado com os números máximos no valor do *jitter*. Quando a transmissão é feita junto com um tráfego concorrente. Pode-se notar uma degradação considerável nos parâmetros quando usado o canal de *flat fading*, influenciando diretamente a qualidade da rede. A qualidade do serviço fica comprometida dependendo da grande variação da potência do sinal e se ainda houver tráfego concorrente ocupando a banda de transmissão.

Quando, de fato, o receptor se encontra em movimento a eficiência da rede torna-se inadequada para aplicações de alta taxa.

A eficiência da rede foi melhor quando o receptor se encontrava parado, mesmo que a potência fosse menor, não dependendo da distância entre o receptor e o AP.

As justificativas, da proposta com relação ao canal de retorno e a rede IEEE 802.11 b estão na próxima subseção.

### **5.3.2 Redes IEEE 802.11 g**

Todos os testes realizados com a placa IEEE 802.11b foram repetidos para a placa IEEE 802.11 g.

Os gráficos para todas as situações simuladas foram dispostos no Apêndice A3.

Os cenários simulados foram as seguintes:

- (a) Transmissão de vídeo com sinal máximo de potência;
- (b) Transmissão de vídeo com sinal máximo de potência e tráfego concorrente UDP;
- (c) Transmissão de vídeo com sinal da praça de alimentação sem tráfego concorrente UDP;
- (d) Transmissão de vídeo com sinal da praça de alimentação e tráfego concorrente UDP;
- (e) Transmissão de vídeo com sinal mínimo de potência;
- (f) Transmissão de vídeo com sinal mínimo de potência e tráfego concorrente UDP;

### 5.3.3 Resultados Obtidos com a Transmissão de Vídeo com a Rede IEEE 802.11 g

A transmissão de vídeo é feita do servidor de *streaming* (IP 10.2.2.55) para a estação receptora de *streaming* – usuário (IP 10. 2.2.34) e é ilustrada por meio dos gráficos.

Os dados da Tabela 5.2 foram obtidos por meio das análises dos dados gerados pelo *software Wireshark*.

**Tabela 5.2 – Parâmetros de QoS e valores das simulações dos ambientes propostos**

	<b>DIFFERENCE MAX (ms)</b>	<b>JITTER (ms)</b>	<b>BW (kbps)</b>	<b>Pacotes Perdidos (%)</b>	<b>Potência (dBm)</b>
<b>Sinal Max</b>	33,04	6,00	1844,16	0,00	-20
<b>Sinal Max UDP</b>	0,58	3,40	1583,81	0,00	-20
<b>Sinal Praça</b>	36,75	6,50	3004,9	0,00	
<b>Sinal Praça UDP</b>	1707,84	134,03	1627,2	17,47	
<b>Sinal Min</b>	31,54	5,66	2451,65	0,00	-50
<b>Sinal Min UDP</b>	37,78	6,73	2017,73	0,02	-50

Os cenários simulados para as redes IEEE 802.11 b e IEEE 802.11 g mostram situações que devem ser levadas em conta tratando-se de redes sem fio e transmissão de conteúdo para TV Digital.

Na transmissão de vídeo com sinal máximo de potência e tráfego concorrente UDP utilizou-se o tráfego gerado pelo *software iperf*. Nessa situação o vídeo é transmitido por meio da rede *wireless* e com o sinal máximo de portadora. A largura de banda nesse caso foi ocupada com 50% do tráfego concorrente. Esse caso caracteriza quando o receptor está próximo da zona da fonte do sinal transmitido e possui concorrência. A análise pode ser feita quando se fala em um canal de retorno de TV digital, utilizado, por exemplo, em um computador, um *pager* ou um celular.

O cenário onde um vídeo é transmitido por meio da rede *wireless* com o sinal da portadora variando acontece quando o receptor é móvel em relação à fonte, mas, a banda é dedicada para a transmissão do *streaming*. Nesse caso a mobilidade do sistema é tratada. A rede IEEE 802.11g obteve resultado satisfatório comparado com a rede IEEE 802.11 b. A mobilidade é um fator importante quando se trata de interatividade e canal de retorno.

Quando se associa o tráfego concorrente e variação de potência obtida com os dados da praça de alimentação, o *jitter* aumenta e a perda de pacotes mostra-se significativo (aproximadamente 17,5% de pacotes perdidos). Isso demonstra uma situação onde o receptor é móvel e a banda não é dedicada à transmissão *streaming*, utilizando essas redes para promover mobilidade com tráfegos concorrente devem-se melhorar as condições de tráfego ou aumentar a largura de banda.

Na transmissão de vídeo com sinal de potência mínimo, pela medição feita com o *software Netstumbler*, a potência do sinal de portadora é -50 dBm. Esse caso mostra quando o receptor situa-se em um local longe da zona de transmissão, para receptores móveis trata-se das zonas onde são limites de transmissão ou até mesmo região de sombra.

Não houve transmissão com a situação onde há tráfego concorrente e sinal mínimo de potência com a placa b. Os vídeos não foram recebidos, pois o tráfego concorrente dominou a transmissão, nas análises do *software Wireshark* detectou-se apenas pacotes UDP, e nenhum pacote que caracteriza a transmissão em tempo real (RTP). A transmissão de vídeo com a placa b, nessas condições fica comprometida, mas na placa g a transmissão ocorreu normalmente com uma pequena perda de pacotes, que são normalmente corrigidos durante a transmissão.

Os testes com a placa g foram feitos em mesmas condições que dos testes feitos com a placa b. Com a placa g obteve-se melhor desempenho com relação a degradação do sinal, condições reais de sinal de potência de portadora e o tráfego concorrente. A placa g também responde de melhor a teste em movimento causando menor perda independente da distância do receptor e do AP.

## Capítulo 6 Conclusões

Verificou-se por meio dos resultados obtidos com os testes realizadas na bancada de emulação de canal que, em relação à placa g, os valores do *jitter* variam cerca de 1ms, consome-se menos banda para a transmissão de *streaming* de vídeo, e para ambos os moduladores não houve perda de pacotes.

Já nos testes de *streaming* de vídeo em que foi gerado tráfego UDP notou-se que na placa g a perda de pacotes foi menor. Logo, o desempenho da placa foi considerado mais apropriado para a transmissão de vídeo. Chegou-se a essa observação, pois utilizando a placa b com máxima potência de sinal com o tráfego UDP perdeu-se cerca de 37% dos pacotes transmitidos, sendo assim considerados necessária a retransmissão do conteúdo.

A placa g apresentou desempenho melhor na transmissão de vídeo e as potências mínimas e máximas expressam a energia que se deve dispor para a transmissão de vídeo. A rede *Wireless* teve bom desempenho na transmissão de vídeo e houve uma transmissão com qualidade. O resultado com a placa b foi satisfatório até que se colocou um tráfego UDP. Nessas condições, quando a potência foi diminuída, a transmissão foi muito afetada e a transmissão não se manteve estável, ou seja, gerou um alto valor do parâmetro *difference*. Essa configuração comprometeria a transmissão de vídeo *tempo real*, como por exemplo, transmissão de conteúdo para TV digital, ou o retorno de uma aplicação interativa do usuário para o provedor de conteúdo televisivo.

O sistema *Flat Fading* foi usado nas simulações “Sinal Praça e Sinal Praça UDP”. O sistema automático emula a movimentação de usuários de uma rede WLAN. A degradação do sinal foi caracterizada pela variação de sinal de potência da portadora. Isso foi feito a partir dos dados gerados quando o robô capturou o sinal de potência ao redor da praça de alimentação da PUC Campinas, por meio de uma antena Yagi-Uda de 5 elementos, gerando as variações de potência da portadora.

Os resultados de medição correspondem a um canal de degradação de sinal – canal de *flat fading* e as informações sobre qualidade de rede, *jitter*, perda de pacotes foram obtidas pelo uso do *sniffer* da bancada e das medições dos *softwares* de análise de sinal, *Wireshark* e *Netstumbler*. A instabilidade do sistema quando este se encontra em movimento, foi notada com os números máximos no valor do *jitter*. Quando a transmissão é feita junto com um tráfego concorrente, pode-se notar uma degradação considerável nos parâmetros quando usado o canal de *flat fading*, influenciando diretamente a qualidade da rede. A qualidade do serviço fica comprometida dependendo da grande variação da potência do sinal e se ainda houver tráfego concorrente ocupando a banda de transmissão. Quando, de fato, o receptor se encontra em movimento a eficiência da rede torna-se inadequada para aplicações de alta taxa.

A eficiência da rede foi melhor quando o receptor se encontrava parado, mesmo que a

potência fosse menor, não dependendo da distância entre o receptor e o AP.

Nas tabelas 5.1 e 5.2, mostradas no capítulo 5, os testes cujos os valores não foram apresentados foram repetidos, mas não foram obtidas respostas que satisfazem os testes e propostas apresentadas. Fica evidente com os resultados que as redes IEEE 802.11g apresentam resultados mais satisfatórios para a transmissão de vídeo, pois mesmo com tráfegos adjacentes – o tráfego UDP, a rede transmitiu os *streamings* de vídeo com qualidade aceitável.

A transmissão de vídeo é feita do servidor de *streaming* (IP 10.2.2.55) para a estação receptora de *streaming* – usuário (IP 10.2.2.34) e é ilustrada por meio dos gráficos.

As situações simuladas para as redes IEEE 802.11 b e IEEE 802.11 g mostram situações que devem ser levadas em conta tratando-se de redes sem fio e transmissão de conteúdo para TV Digital.

Na transmissão de vídeo com sinal máximo de potência máxima e tráfego concorrente UDP utilizou-se o tráfego gerado pelo *software iperf*. Nessa situação o vídeo é transmitido por meio da rede *wireless* e com o sinal máximo de portadora. A largura de banda nesse caso foi ocupada com 50% de tráfego concorrente. Esse caso é caracterizado quando o receptor está próximo da zona da fonte do sinal transmitido e possui concorrência. A análise pode ser feita quando se fala em um canal de retorno de TV digital, utilizado, por exemplo, em um computador, um *pager* ou um celular.

A mobilidade do sistema é tratada nos testes quando utilizou-se a portadora variando e com a rede IEEE 802.11g obteve resultado satisfatório comparado com a rede IEEE 802.11 b. A mobilidade é um fator importante quando se trata de interatividade e canal de retorno.

Quando se associa o tráfego concorrente e uma variação de potência obtida com os dados da praça de alimentação, observa-se que o *jitter* aumenta e a perda de pacotes mostra-se significativa (aproximadamente 17,5% de pacotes perdidos). Isso demonstra uma situação onde o receptor é móvel e a banda não é dedicada à transmissão *streaming*. Para utilizar essas redes para promover mobilidade com tráfegos concorrentes, deve-se melhorar as condições de tráfego ou aumentar a largura de banda.

Na transmissão de vídeo com sinal de potência mínimo, pela medição feita com o *software Netstumbler*, a potência do sinal de portadora é -50dBm, isso acontece quando o receptor situa-se em um local longe da zona de transmissão. Para receptores móveis trata-se das zonas onde são limites de transmissão ou até mesmo região de sombra.

Não houve transmissão com a situação onde há tráfego concorrente e sinal mínimo de potência com a placa b. Os vídeos não foram recebidos, pois o tráfego concorrente dominou a transmissão. Nas análises do *software Wireshark* detectou-se apenas pacotes UDP, e nenhum pacote que caracteriza a transmissão em tempo real (RTP). A transmissão de vídeo com a placa b, nessas condições fica comprometida, mas na placa g a transmissão ocorreu normalmente com uma pequena perda de pacotes, que é normalmente corrigida durante a transmissão.

As mesmas situações foram simuladas tanto para rede IEEE 802.11b quanto para rede IEEE 802.11g. Com a placa g obteve-se melhor desempenho com relação à degradação do sinal, condições reais de sinal de potência de portadora e o tráfego concorrente. A placa g também responde melhor a teste em movimento causando menor perda, independente da distância do receptor e do AP.

Com os testes viabiliza-se a idéia de incorporar ao *Set-top-box* placas IEEE 802.11g para a provisão de interatividade, de modo que os dados sejam transmitidos, caracterizando um Canal de Retorno. Nos testes foram utilizados arquivos de vídeos, pois é uma forma de mídia contínua e dá a idéia de imagem, som e movimento. Verificaram-se atrasos toleráveis, estabilidade e sincronismo da transmissão que são requisitos importantes para a transmissão em tempo real.

## **6.1 Trabalhos Futuros**

A abordagem de redes que possam ser integradas para a formação de um canal de retorno híbrido está sendo estudada atualmente. A proposta é utilizar várias arquiteturas de redes para prover o canal de retorno em todas as localidades. Como cenário ideal, a geografia brasileira será estudada, pois em várias áreas não seria possível interagir se o *Set-top-box* depender apenas de uma tecnologia como as redes coaxial, atualmente utilizadas pela TV a cabo.

As tecnologias sem fio, como as redes IEEE 802.11, rede IEEE 802.16 e a rede 3G, sendo que as duas últimas estão em fase testes e expansões de território, são importantes no desenvolvimento dessa rede híbrida, que deve fazer conexão entre o sistema de transmissão (emissoras e provedoras de serviços) e o sistema de recepção (fixos ou móveis), promovendo interatividade para o usuário por meio das aplicações transmitidas.

# Apêndice A

## A1 – Definição dos Softwares

### *Software VLC*

VLC *Media Player* é um tocador multimídia de código aberto e poderoso. Ele pode ler diversos formatos de áudio e vídeo (MPEG-4, MPEG-2, MPEG-1 DIVX, MP3 OGG, etc.), assim como lê DVDs, VCDs e vários protocolos de transmissão (*streamings*). Também há a opção de ser usado como servidor de vídeos.

A transmissão é feita no formato MPEG2TS em UDP ou http, por meio de pacotes *unicast* (conexão ponto a ponto) ou *multicast* (conexão multiponto) ambos para rede IPv4 ou IPv6 (diferentes versões do protocolo IP, ou seja, a identidade do seu computador).

Permite a transmissão de dados multimídia por meio de pacotes na *internet*. Ele faz uso da tecnologia *Unicast* IP, que na prática seria um computador enviando dados para vários outros espalhados pela rede inteira (um para N).

### *Software NetStumbler*

*NetStumbler* também conhecido como *Network Stumbler* é uma ferramenta para Windows e facilita a detecção de redes *wireless* que usem as normas IEEE 802.11b, IEEE 802.11a e IEEE 802.11 g. *NetStumbler* é usado geralmente para verificar configurações de rede encontrando coberturas carentes em WLAN, além de detectar fontes de interferência e determinar falhas na área de cobertura.

### *Software Wireshark*

*Wireshark* (antigo *Ethereal*) é um programa que analisa o tráfego de rede e organiza por protocolos. As funcionalidades do *Wireshark* são parecidas com o *tcpdump*, mas com uma interface GUI (interface gráfica do utilizador) com mais informações e com a possibilidade de utilização de filtros.

É possível controlar o tráfego de uma rede e saber o que entra e sai do computador em diferentes protocolos. Também é possível controlar o tráfego de um determinado dispositivo de rede numa máquina que pode ter um ou mais desses dispositivos. Caso esteja numa rede local

com micros ligados por meio de um *hub* ou *switch*, outro usuário pode usar o *Wireshark* (Fig. A.1) para capturar todas as suas transmissões.



Fig. A.1 – Software Wireshark

## A2 – Gráficos de Calibração das Chaves RF

Para a **chave1** de RF foram obtidos os gráficos para os canais 1, 6 e 11, respectivamente, como pode ser observado nas Fig. A.2, A.3 e A.4.

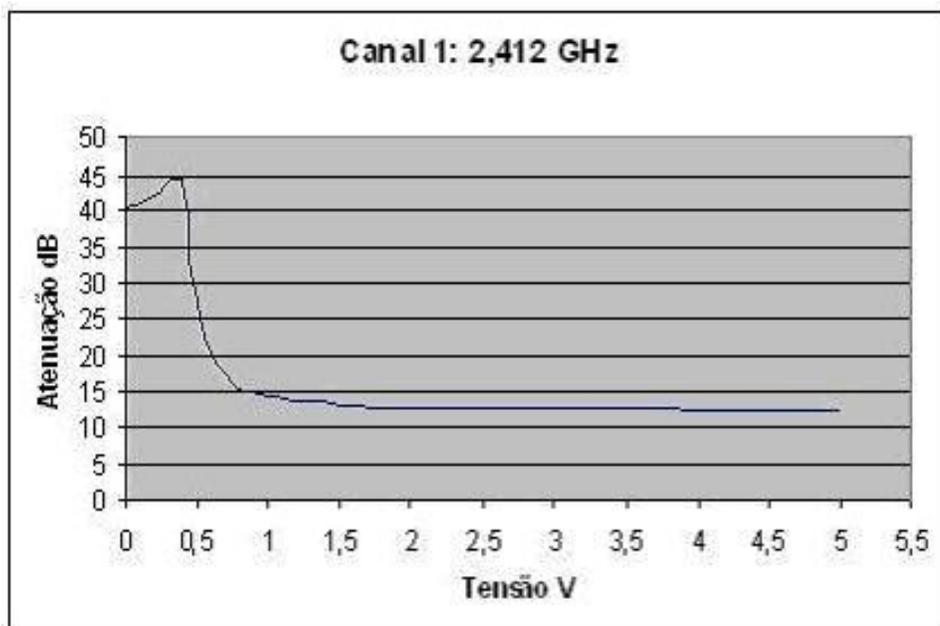


Fig. A.2 – Atenuação da chave 1 no canal 1

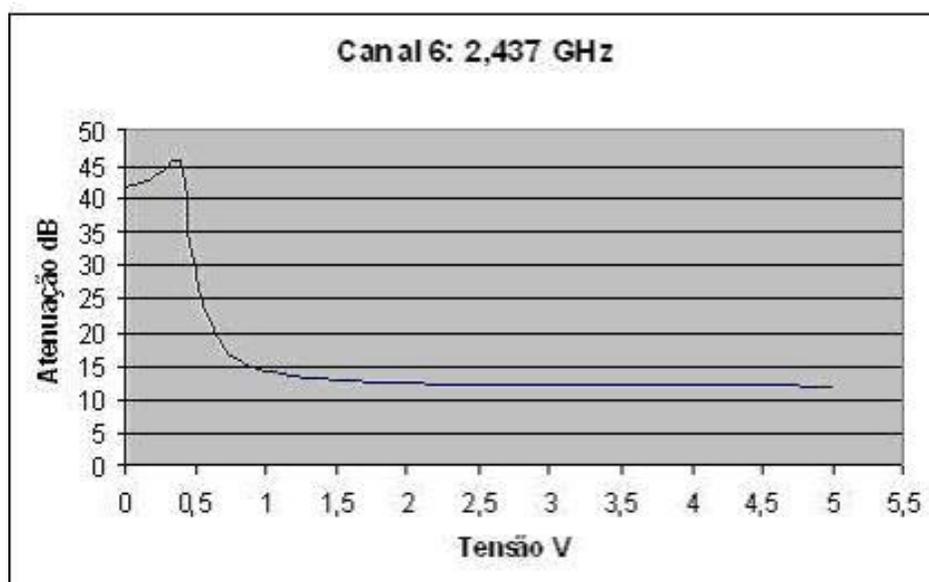


Fig. A.3 – Atenuação da chave 1 no canal 6

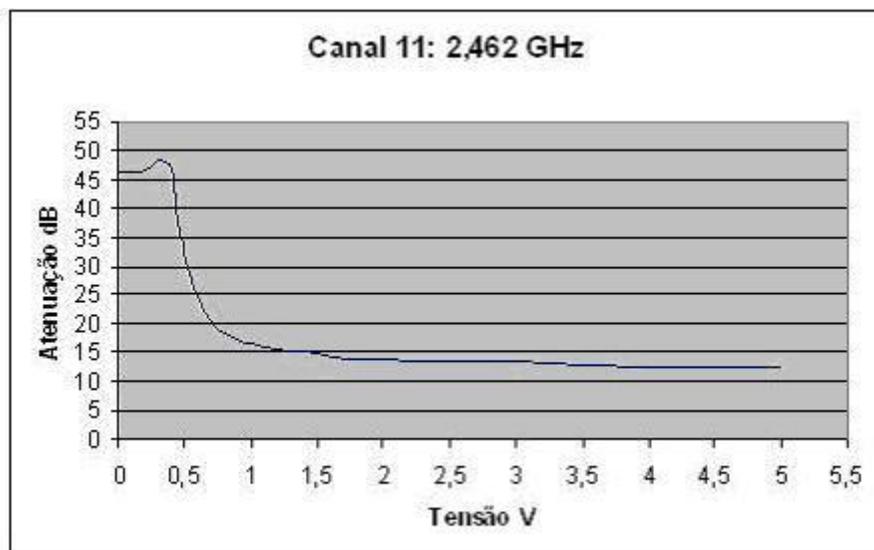


Fig. A.4 – Atenuação da chave 1 no canal 11

Para **chave2** de RF foram obtidos os gráficos observados nas Fig. A.5, A.6 e A.7.

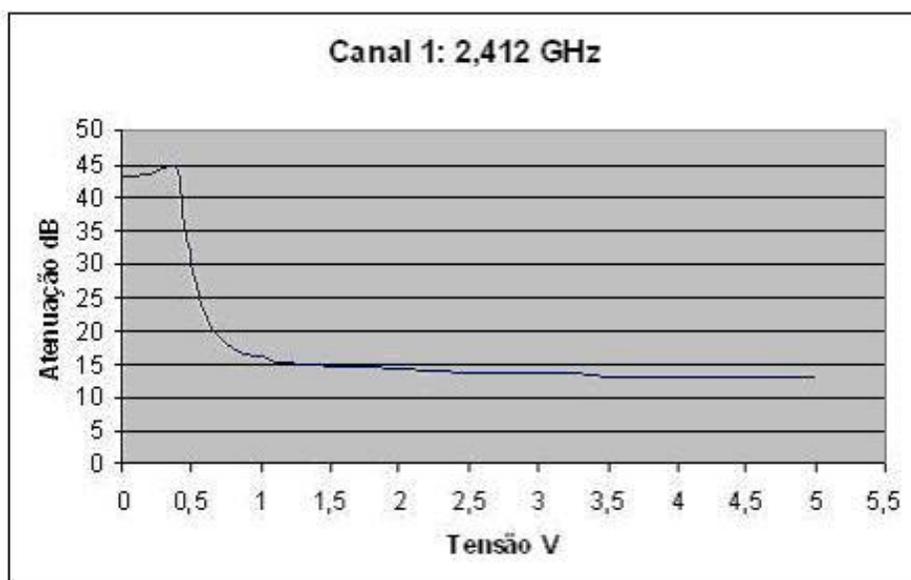


Fig. A.5 – Atenuação da chave 2 no canal 1

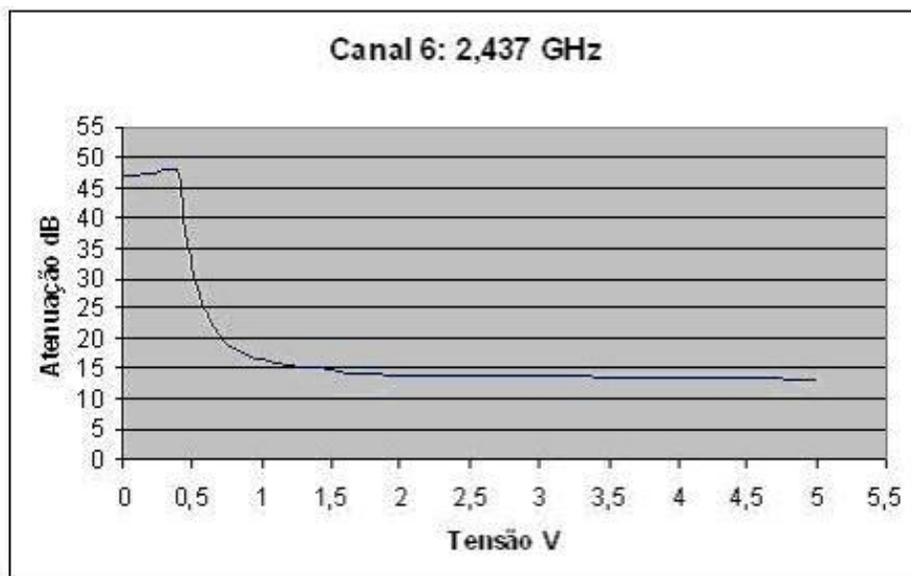


Fig. A.6 – Atenuação da chave 2 no canal 6.

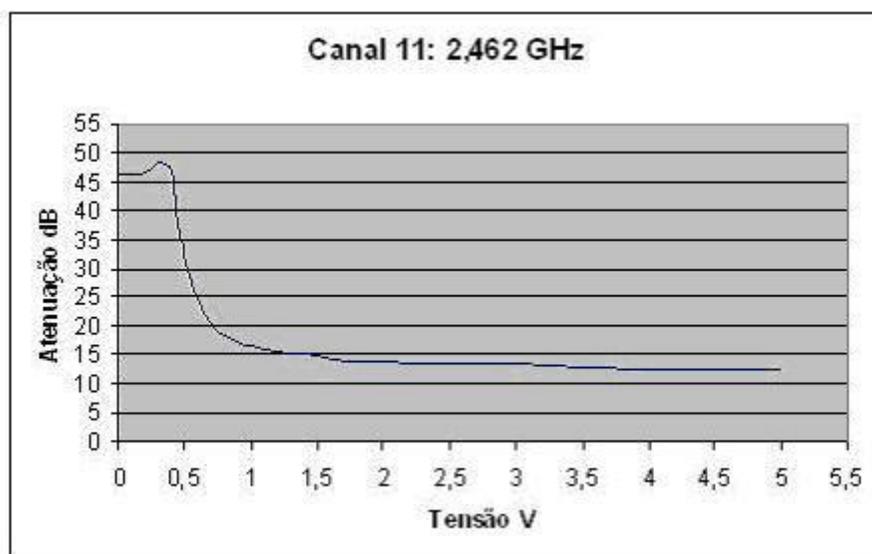


Fig. A.7– Atenuação da chave 2 no canal 11.

## A3 – Gráficos dos Testes - Rede IEEE 802.11 g

A Fig. A.8 mostra os dados da transmissão de vídeo feita com sinal máximo de potência.

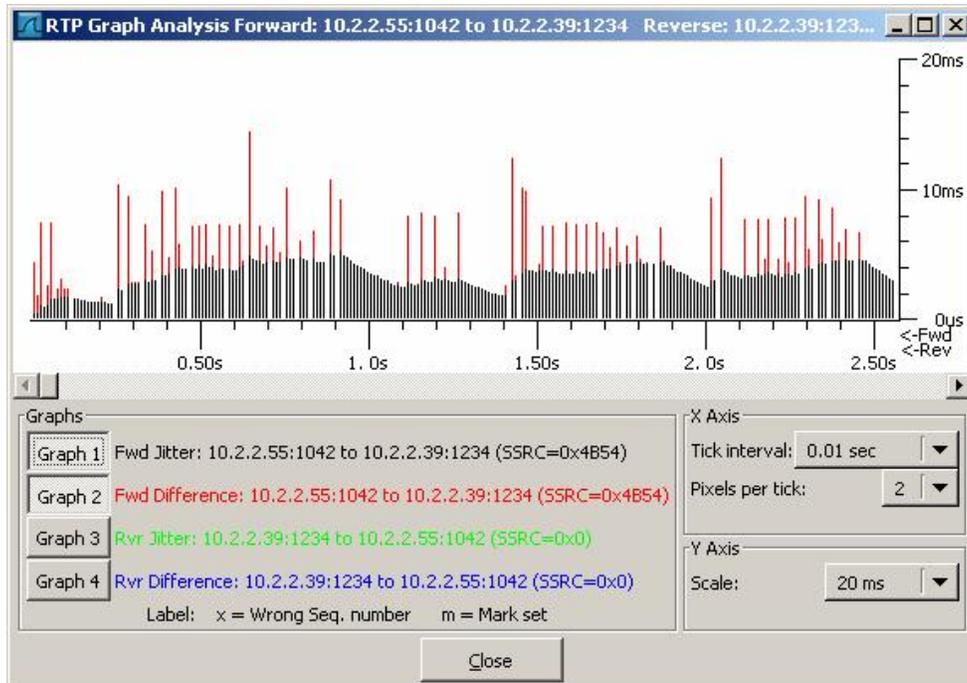


Fig. A.8 – *Difference e jitter* na transmissão com o sinal máximo de potência

A Fig. A.9 mostra os dados de *Difference* obtidos com o sinal máximo de potência.

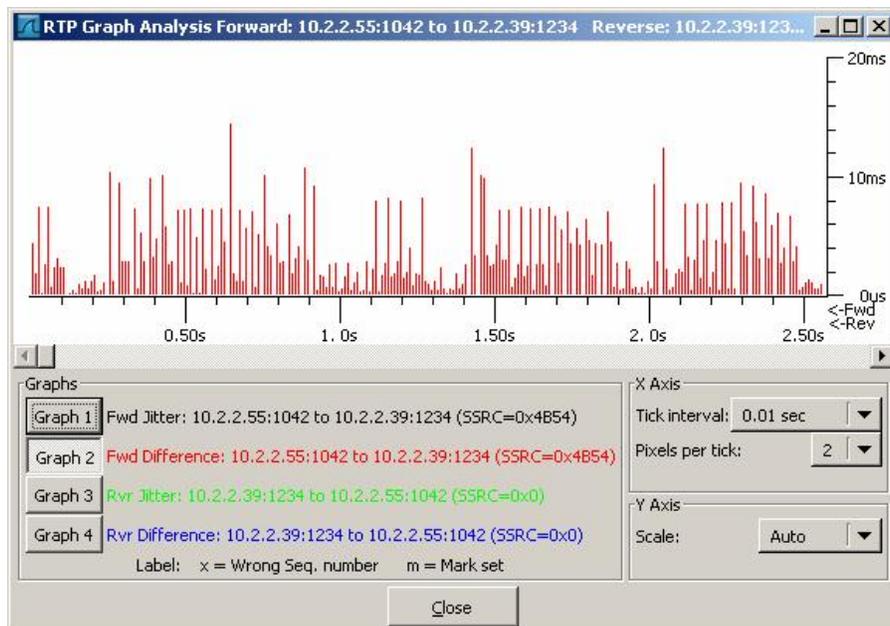
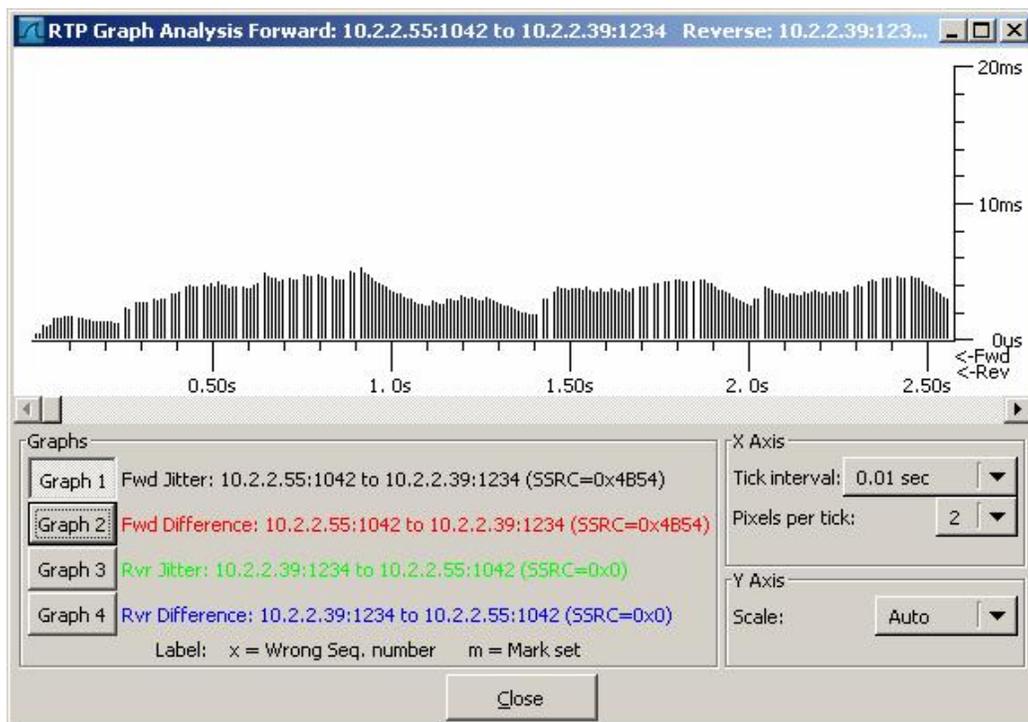


Fig. A.9 – *Difference* na transmissão com o sinal máximo de potência

A Fig. A.10 ilustra o *jitter* obtido durante a transmissão de vídeo com o sinal máximo de potência.



**Fig. A.10 – Jitter na transmissão com o sinal máximo de potência**

A Fig. A.11 ilustra o caso onde a transmissão de vídeo foi feita com tráfego concorrente e o sinal de potência máximo. Como nos outros casos, separou-se para melhor visualização, os gráficos de *difference*, visto na Fig. A.12 e *jitter* na Fig. A.13.

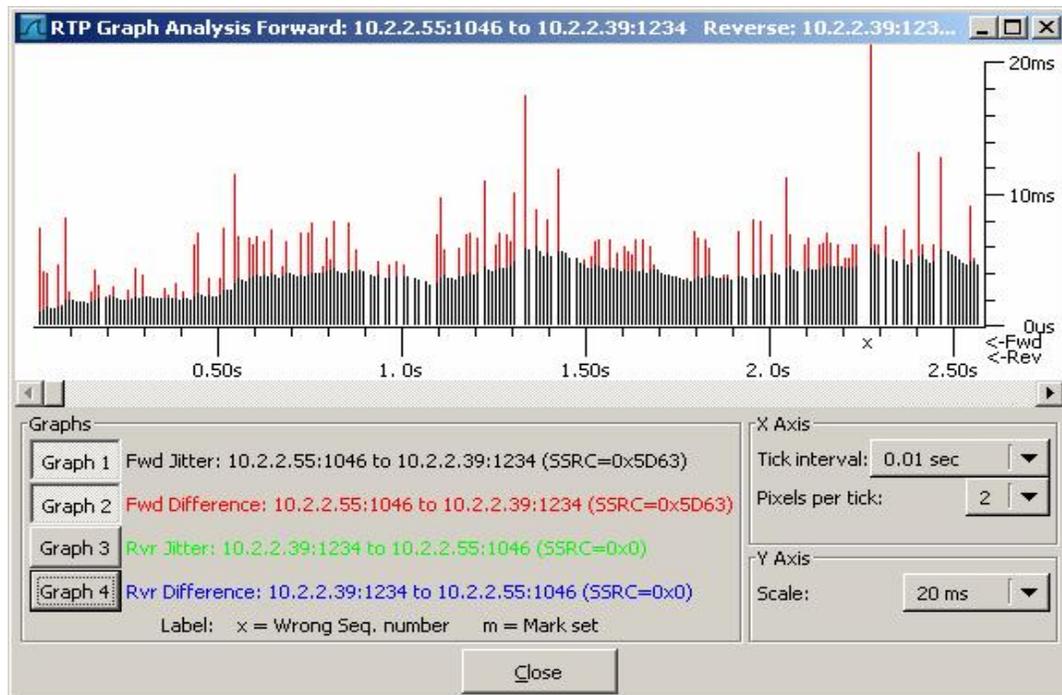


Fig. A.11 – *Difference e jitter* na transmissão com sinal máximo e tráfego UDP

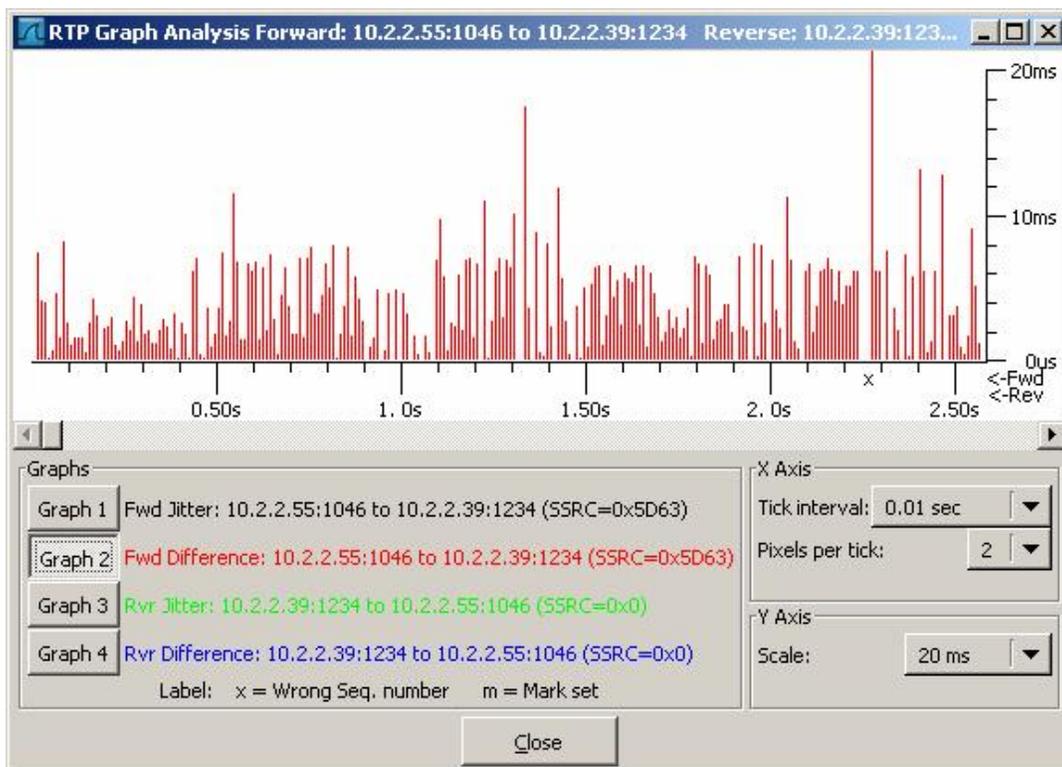
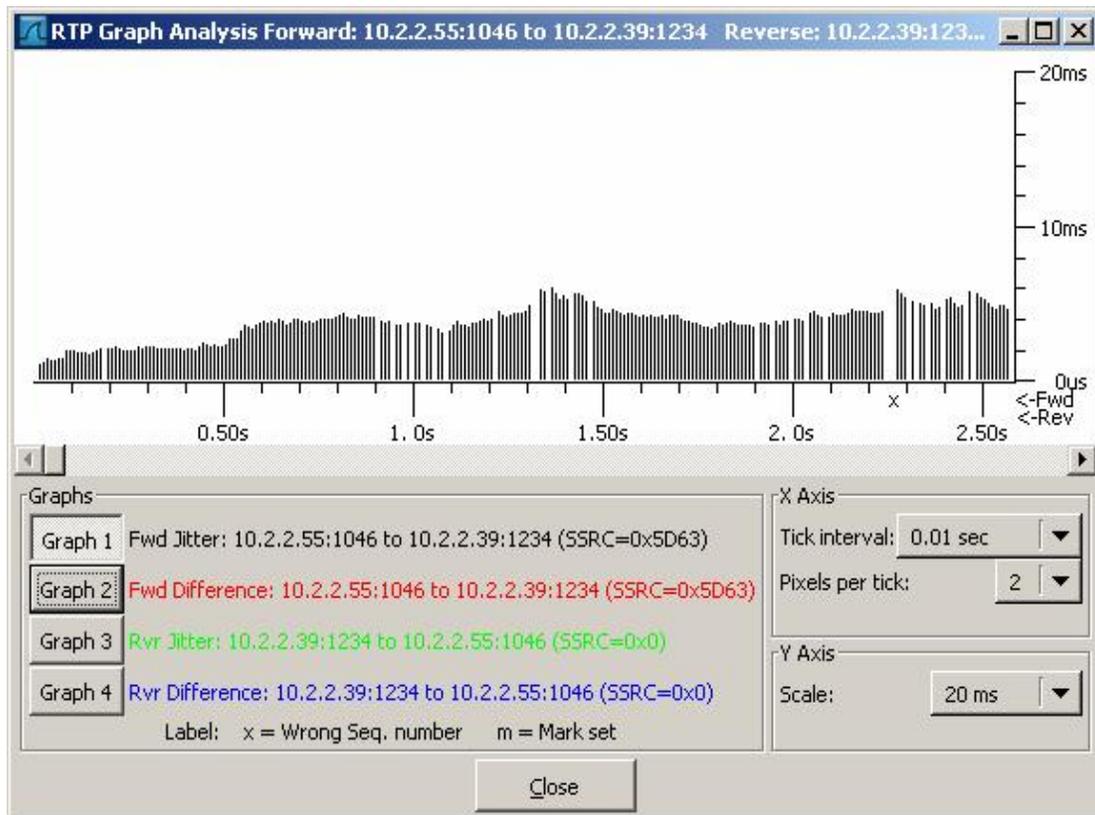


Fig. A.12 – *Difference* na transmissão com sinal máximo e com tráfego UDP



**Fig. A.13 – Jitter na transmissão com sinal máximo e com tráfego concorrente UDP**

A transmissão de vídeo com o sinal da praça é mostrada na Fig. A.14. A portadora, nesse caso, varia, mas a banda é dedicada em 50% para a transmissão de *streaming*. A Fig. A.15 mostra o *difference* e a Fig. A.16 mostra *jitter*.

Os outros dados estudados como parâmetros de qualidade são gerados pelo *software Wireshark* durante a transmissão, esses formam uma base de dados, essa foi usada para colher os dados da Tabela 5.2.

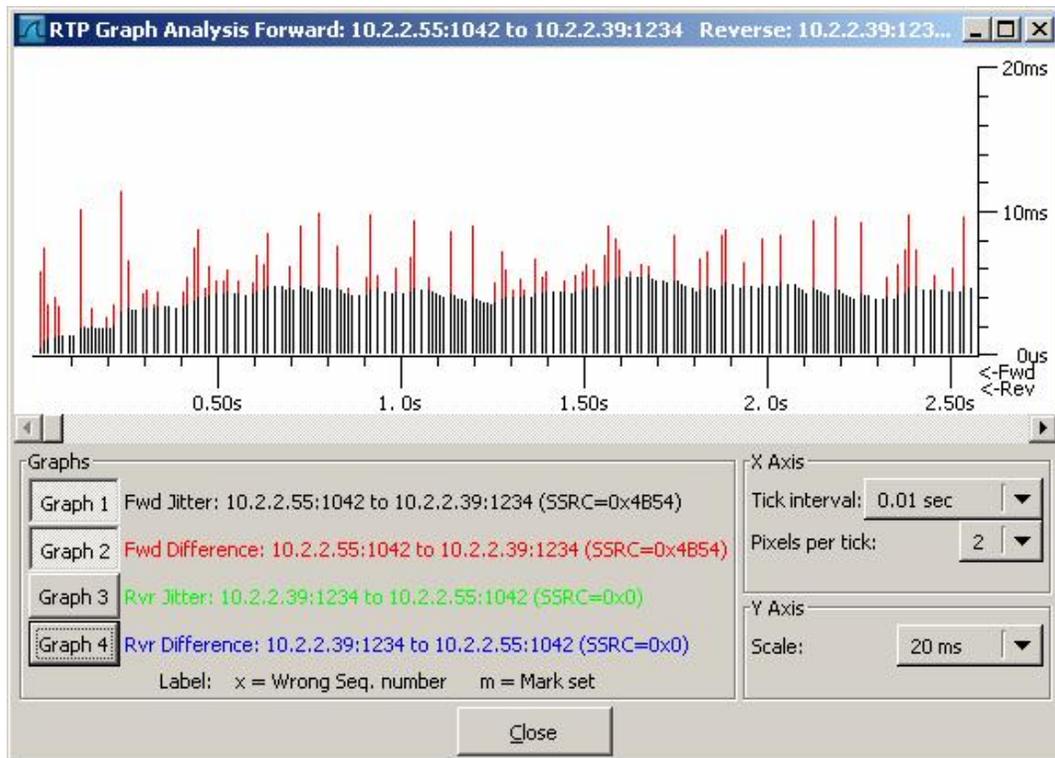


Fig. A.14 – *Difference e jitter* na transmissão com o sinal da praça de alimentação

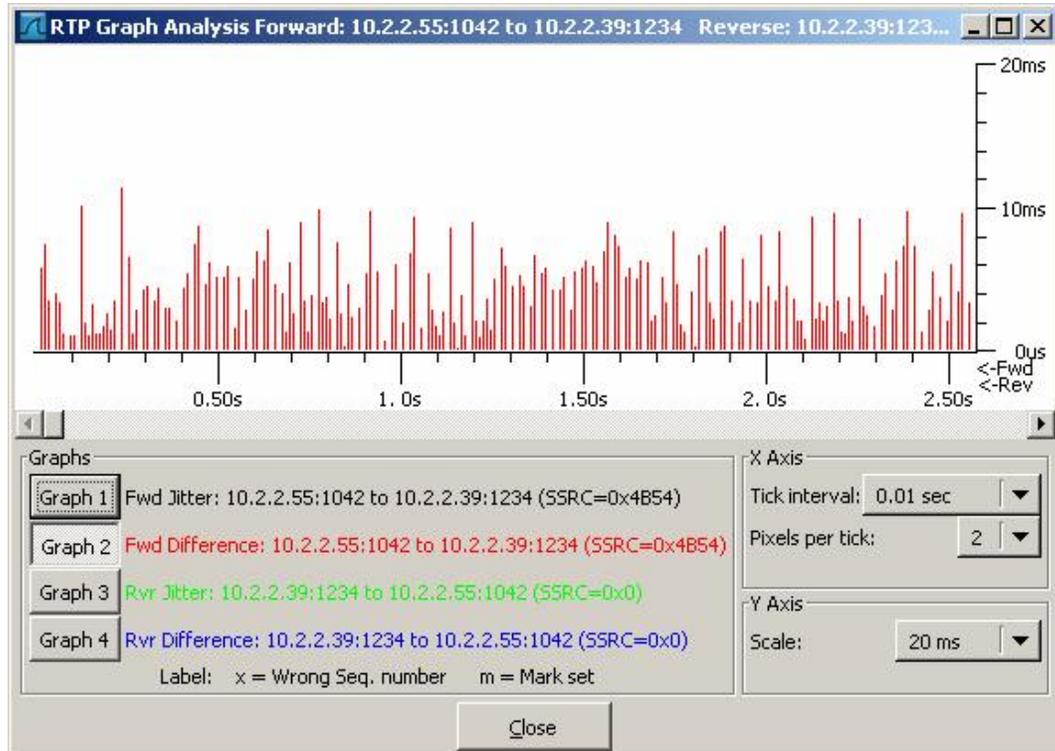
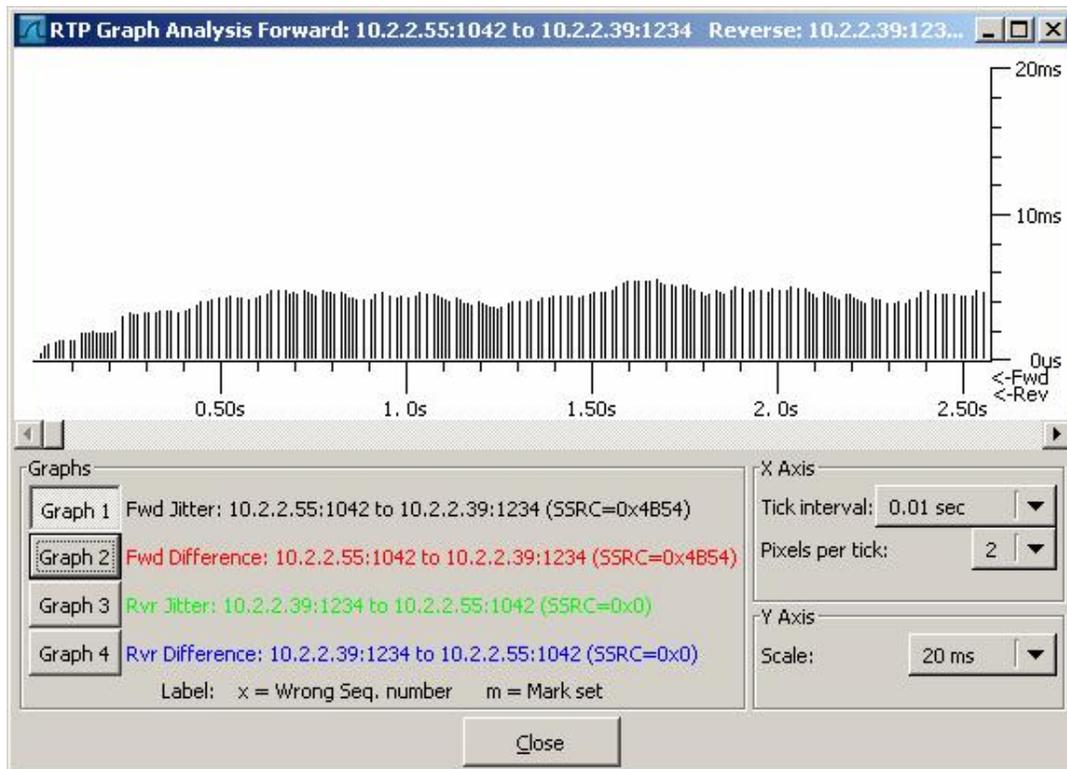
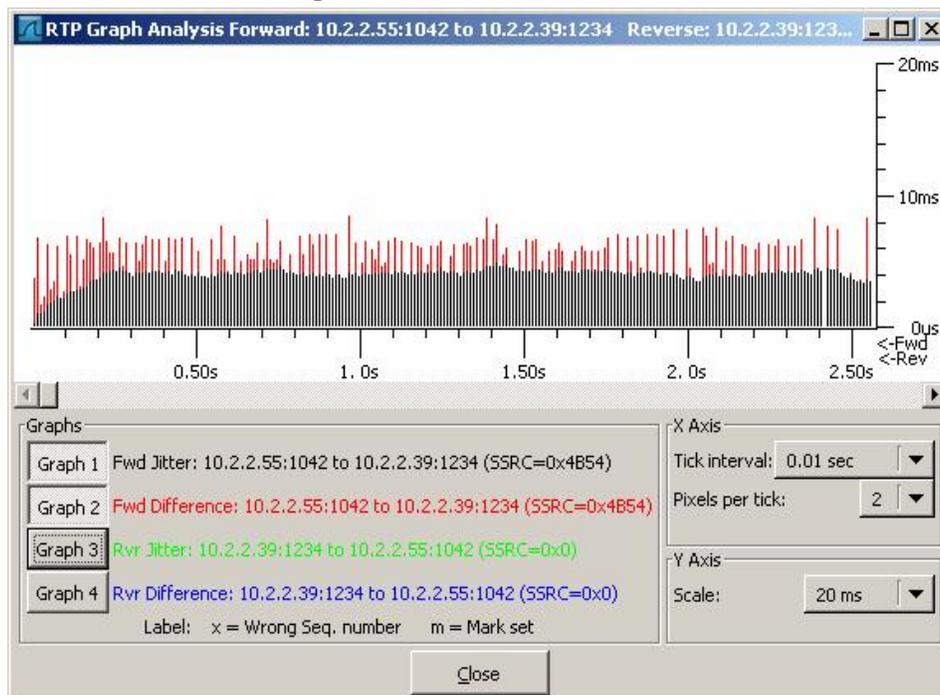


Fig. A.15 – *Difference* na transmissão com o sinal da praça de alimentação



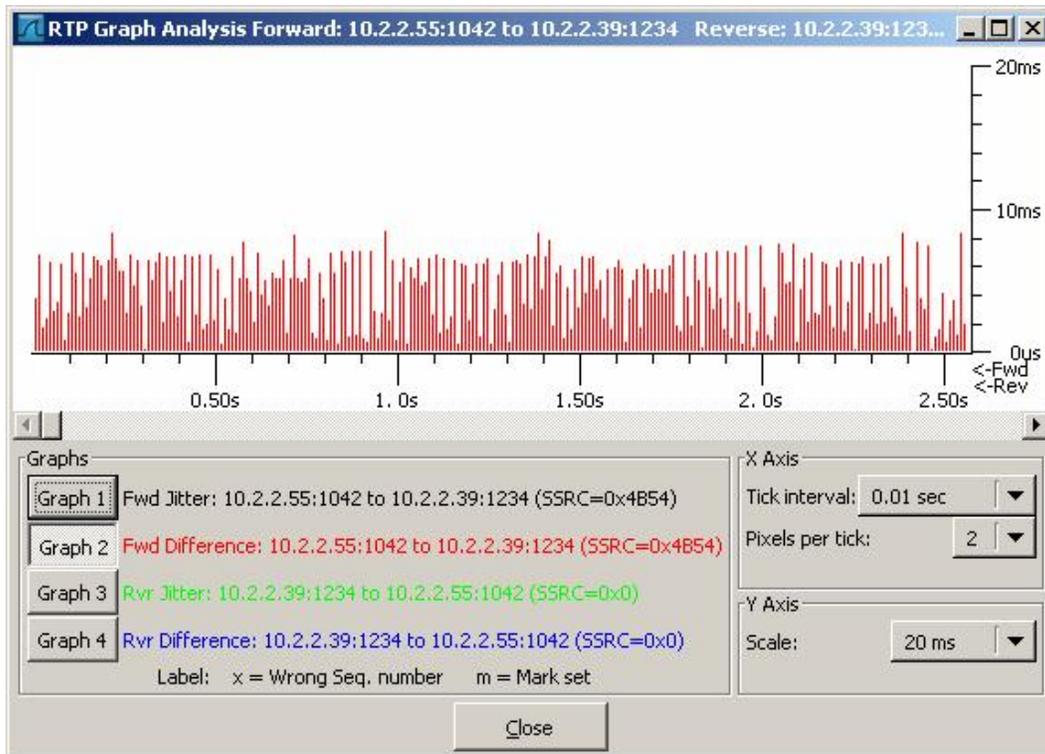
**Fig. A.16 – Jitter na transmissão com o sinal da praça de alimentação**

A Fig. A.17 mostra os dados obtidos com a transmissão de vídeo feita com potência variando e trafego concorrente. Nesse caso a portadora varia e a banda não é dedicada.

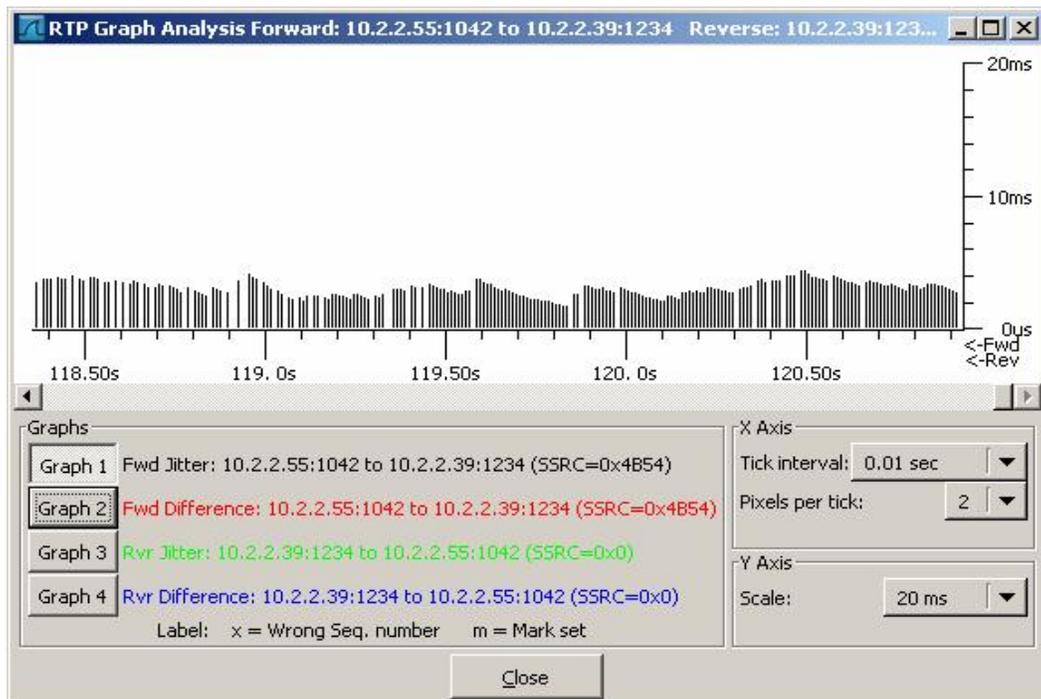


**Fig. A.17 – Difference e jitter – transmissão com sinal da praça e tráfego UDP**

A Fig. A.18 separa os dados de *difference* encontrados na Fig. 5.17. A Fig. 5.19 mostra os dados de *jitter*, na situação de portadora variando e tráfego concorrente.



**Fig. A.18 – Difference na transmissão com sinal da praça e tráfego UDP**



**Fig. A.19 – Jitter na transmissão com sinal da praça e tráfego UDP**

A transmissão de vídeo com sinal de potência mínimo é mostrada na Fig. A.20. Esse caso mostra quando o receptor situa-se em um local longe da zona de transmissão. Os dados de *difference* foram separados para a obtenção do banco de dados nas Fig. A.21 e na Fig. A.22 os dados de *jitter*.

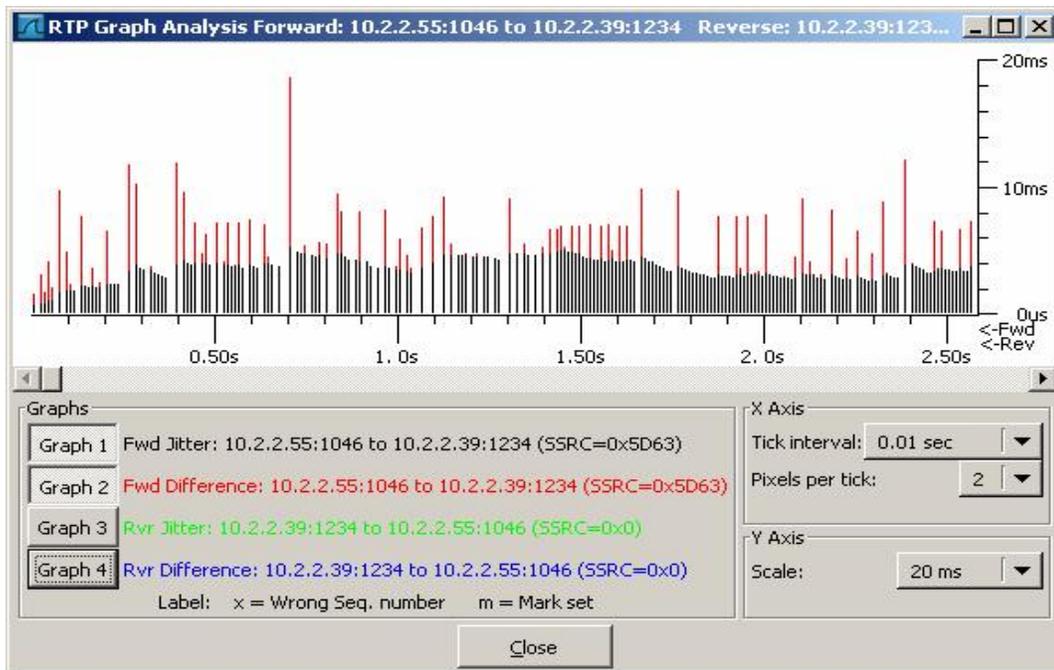


Fig. A.20 – *Difference* e *jitter* na transmissão com sinal mínimo de potência

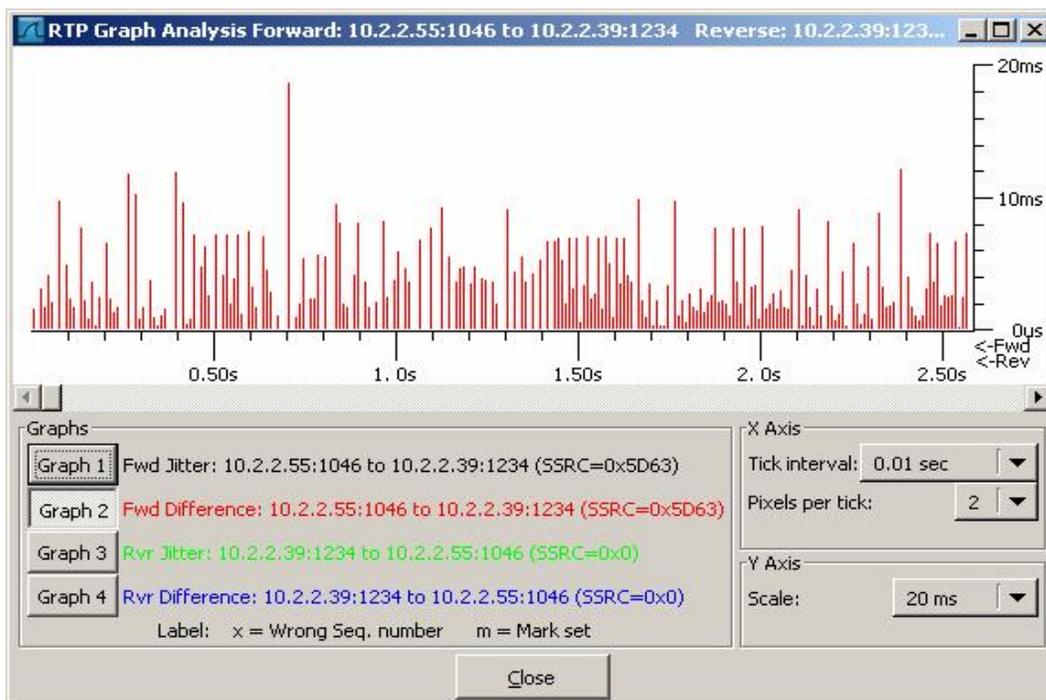
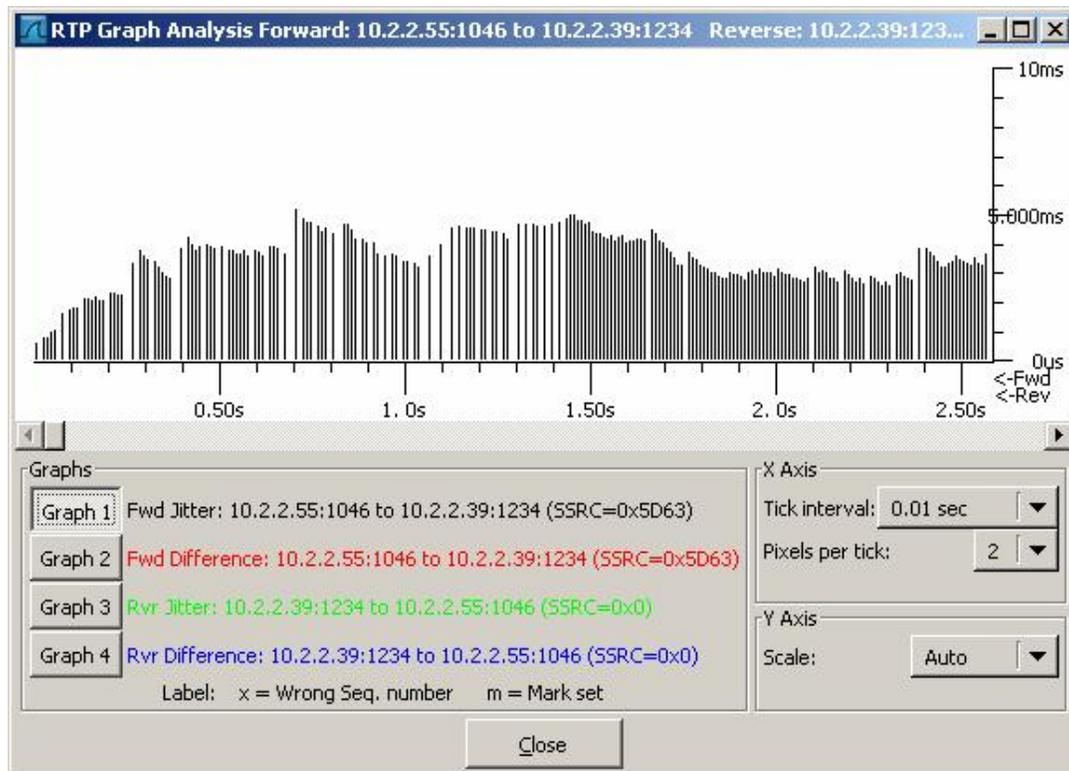
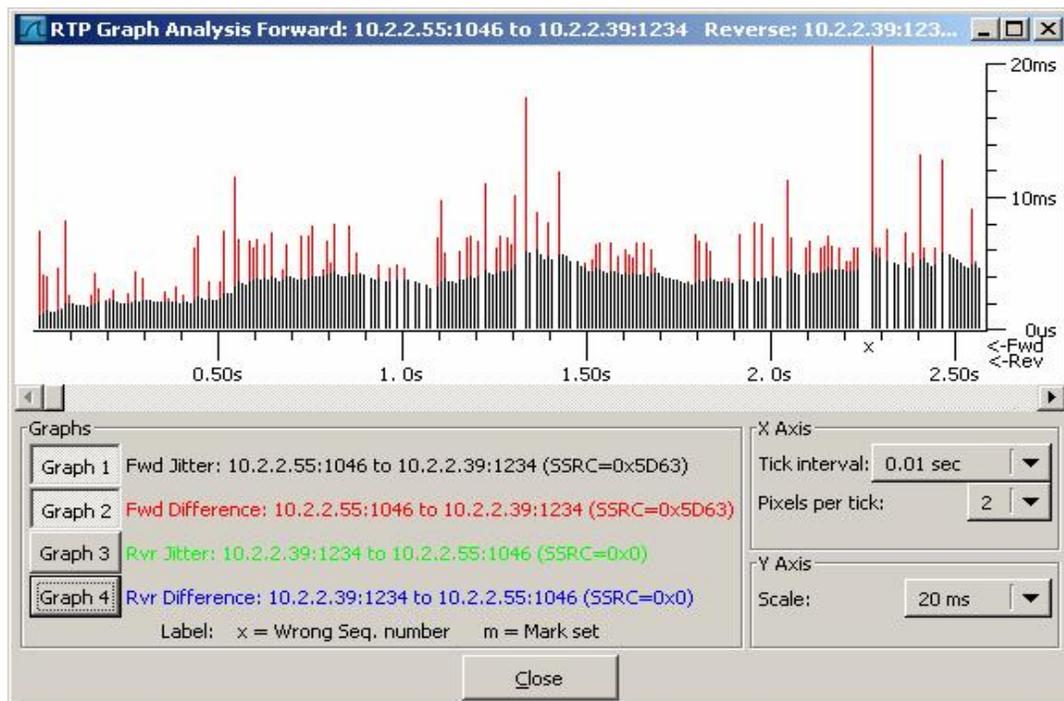


Fig. A.21 – *Difference* na transmissão com sinal mínimo de potência



**Fig. A.22 – Jitter na transmissão com o sinal mínimo de potência**

A transmissão com sinal mínimo de potência e tráfego concorrente é vista nos gráficos das Fig. A.23 (*difference e jitter*), A.24 (*difference*) e A.25 (*jitter*).



**Fig. A.23 – Difference e jitter na transmissão com sinal mínimo e tráfego UDP**

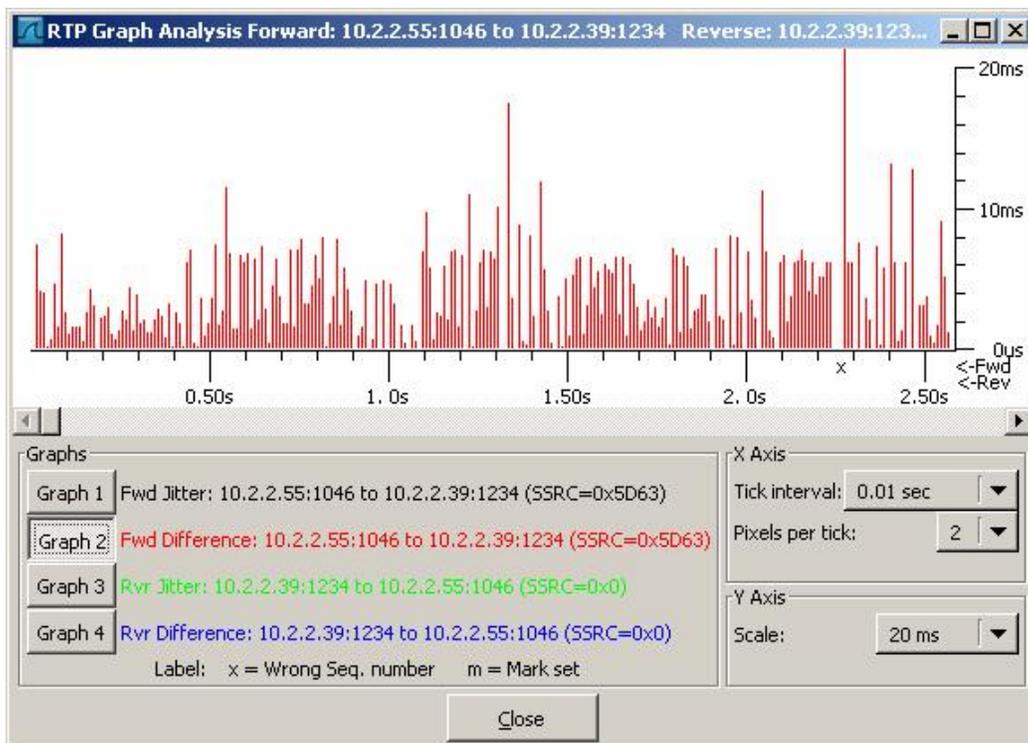


Fig. A.24 – *Difference* na transmissão com sinal mínimo de potência e tráfego UDP

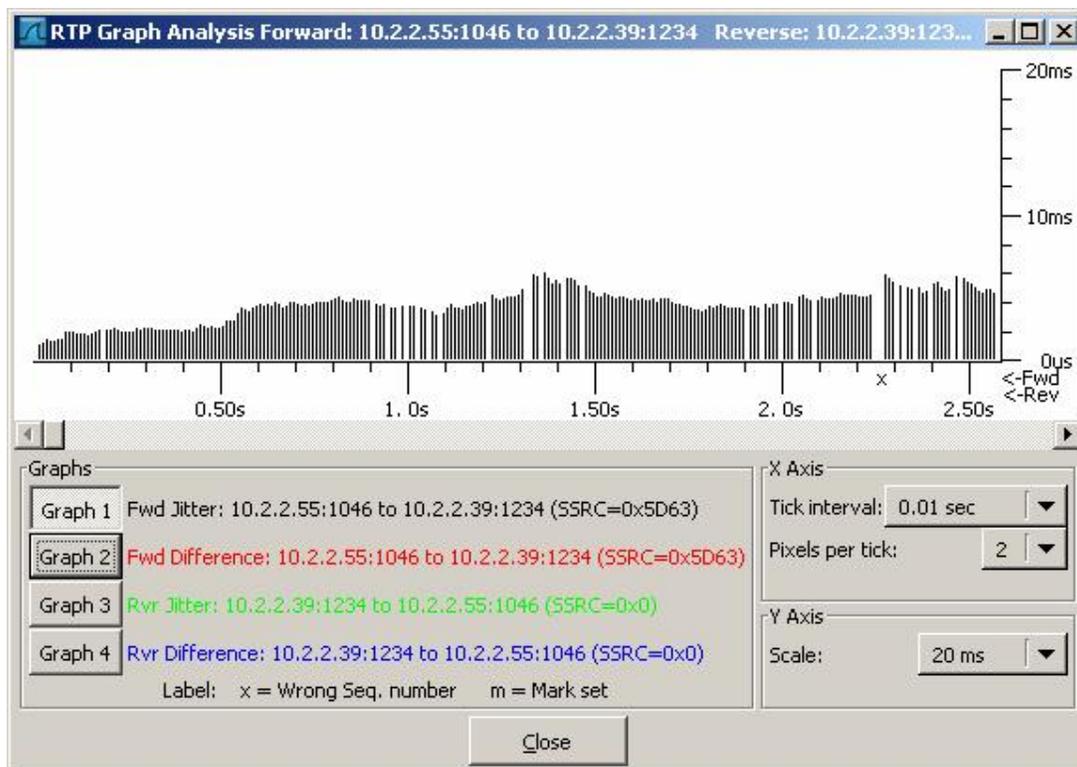


Fig. A.25 – *Jitter* na transmissão com sinal mínimo de potência e tráfego UDP

## Referências Bibliográficas

- [1] J. Schiller. Mobile Communications. 1ªed., Addison-Wesley, ISBN 0201398362, 2001.
- [2] V. Bharghavan, e C. Ramamoorthy. Security Issues in Mobile Communications. In Proceedings of Second International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, pg. 19-24, 1995.
- [3] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, e A. Hatami. Handoff in Hybrid Mobile Data Networks. IEEE Personal Communications, vol. 7, pg. 34-46, 2000
- [4] B. McFarland, e M. Wong. The Family Dynamics of 802.11. ACM Queue, vol. 1, pg. 28-38, 2003.
- [5] IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard 802.11, 1999.
- [6] A. J. S. Silva - Disponível em <http://stdsbbs.ieee.org/groups/802/11/index.html> - IEEE Computer Society 802.11 Working Group for Wireless LAN acessado em dezembro de 2008.
- [7] A. J. Silva – <http://www.rnp.br/newsgen/9805/wireless.html> - RNP - Revista Nacional de Ensino e Pesquisa, vol. 2 numero 5, 1998.
- [8] J. PREECE, - The Handbook of Human-Computer Interaction. Addison Press. 1994.
- [9] C. Eklund; R. B. Marks; K. L. Stanwood; S. Wang. IEEE Standard 802.16- A Technical Overview of the WirelessMAN™ Air Interface for Broadband Wireless Access. IEEE C802.16.02/05. June 04, 2002. Disponível em [http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216:02\\_05.pdf](http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216:02_05.pdf)
- [10] E. G. Silveira, O. Branquinho. “Análise de Streaming de vídeo em redes WLAN”. Projeto de iniciação científica - SBrT 2007.
- [11] J. Zhang et al. Virtual operator based AAA in wireless LAN hot spots with *ad hoc* networking support. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 6, pg. 10-21, 2002.
- [12] M. Topic. 2002. Streaming Media Demystified. Nova Iorque : McGraw-Hill TELECOM, 2002. 0-07-140962-9.
- [13] M. C. Lopes. 2006. Transmissão de vídeo em redes sem fio padrão IEEE 802.11b. Trabalho Final de Mestrado Profissional. Campinas : Unicamp, 2006.

- [14] T. Szigeti; C. Hattingh. End-to-End QoS Network Design- Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs Indianapolis- Cisco Press, 2004.
- [15] <http://www.inforede.net/Network/FAQ%20CDados.htm>. Acessado em agosto de 2008.
- [16] W. U. Dapeng. et al. 2001. Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology. Março, 2001, Vol. 11, No. 3.
- [17] A. Lugmayr, S. Niiranen e K. Seppo Digital Interactive TV and etadata: Future broadcast multimedia. Nova York : Springer-Verlag, 2004. ISBN 0-387-20843-7.
- [18] <http://www.datasheetarchive.com/ZMSW-1111-datasheet.html>. Acessado em Novembro de 2008.