

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**MESTRADO PROFISSIONALIZANTE**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

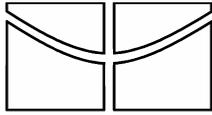
**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VÍDEO EM REDES IPTV**  
**COM ACESSO BASEADO EM ADSL**

**LUCIANO HENRIQUE DUQUE**

**ORIENTADOR: DR. PAULO ROBERTO DE LIRA GONDIM**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO:**  
**BRASILIA/DF: JUNHO -2008**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**MESTRADO PROFISSIONALIZANTE**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VÍDEO EM REDES IPTV**  
**COM ACESSO BASEADO EM ADSL**

**LUCIANO HENRIQUE DUQUE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO**  
**DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA,**  
**COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A**  
**OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

**APROVADA POR:**

---

**Paulo Roberto de Lira Gondim, Dr., ENE/UNB**  
**(Orientador)**

---

**Honório Assis Filho Crispim, Dr., ENE/UNB**  
**(Examinador Interno)**

---

**Jorge Koreeda, Dr., Brasil Telecom/BRT**  
**(Examinador Externo)**

**BRASILIA/DF, JUNHO DE 2008.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

DUQUE, LUCIANO HENRIQUE.

Avaliação da qualidade de vídeo em redes IPTV com acesso baseado em ADSL 2008

xx, 138 p. 297 mm (UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2008)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Elétrica

1. Perda de pacotes

2. Arquitetura IPTV

3. Jitter

4. Qualidade de serviço

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

DUQUE, L.H. (2008).

Avaliação da qualidade de vídeo em redes IPTV com acesso baseado em ADSL. Mestrado em Engenharia Elétrica.

Publicação 052/ 2008, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 138p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Luciano Henrique Duque

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: “Avaliação da qualidade de vídeo em redes IPTV com acesso baseado em ADSL”

GRAU/ANO: Mestre/2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de Mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Luciano Henrique Duque

Quadra 1, Cnj E, Casa 11, Sobradinho

CEP 73070-012-Brasília –DF- Brasil.

## Dedicatória

Aos meus pais pelo carinho e incentivo, à minha esposa e filhos pela paciência e apoio, e aos meus amigos do CNRS.

# Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus e a Santo Antonio de Sant'anna Galvão, que com devoção e fé tudo pode transformar, a minha querida esposa Margarete, por toda sua dedicação e compreensão em todos os momentos. Aos meus pais Aparício e Nilza, meus filhos, Marina, Danilo.

Agradeço aos professores e em especial ao professor Dr. Paulo Roberto de Lira Gondim e amigo, que muito enriqueceu minha formação técnica e humana, aos colegas de turma, em especial Layany, Kato e Ranério, com quem tive o prazer de conviver durante toda esta etapa de minha vida.

Aos amigos Cláudio, Hélio, Emerson Brother, e em especial ao meu tio Orgelino, que sempre me ajudou em todos os momentos de minha vida. Ao meu Co-orientador Msc. Evandro Bender, pela ajuda e coleguismo. Aos meus padrinhos Edir Amorim e Inês.

A todos muito obrigado pelo apoio, orações e carinho dispensados durante esta caminhada.

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VÍDEO EM REDES IPTV COM ACESSO BASEADO EM ADSL.

Autor: Luciano Henrique Duque

Orientador: Paulo Roberto de Lira Gondim

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, 20 de junho de 2008.

No cenário atual, o aumento da demanda por acesso a serviços baseados em banda larga tem fortalecido a oferta de serviços IPTV. Assim, no desenvolvimento de um projeto de arquitetura de rede IPTV, para adequar as necessidades dos clientes e os objetivos de um provedor, é importante examinar as melhores práticas, pois elas serão responsáveis pela garantia de continuidade do serviço prestado. Além disso, a arquitetura também deve responder pela qualidade do serviço e pela tentativa de superação das expectativas do usuário, tornando o referido serviço altamente competitivo, se comparado com os serviços de TV a cabo e da TV convencional.

A definição de uma arquitetura de rede IPTV envolve aspectos tais como: protocolos de transporte e de sinalização; forma de distribuição do conteúdo de vídeo; tipo de compactação do vídeo e forma de distribuição do vídeo através das redes de acesso.

A Qualidade de Experiência em uma rede IPTV tem se tornado um dos aspectos mais importantes para o sucesso de serviços e produtos voltados para IPTV. Assegurar a QoE está se transformando rapidamente em prioridade para vendedores e fornecedores de serviço. O principal desafio é aferir essa QoE com base em parâmetros de qualidade do vídeo dentre outros, de maneira simples e eficiente.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a qualidade de vídeo em função das características de perdas de pacotes e jitter, em uma rede IPTV. A perda de pacotes e o *jitter* foram alvos principais das aferições, em função de seu impacto na qualidade do vídeo oferecida ao usuário. Os valores de perda de pacotes e *jitter* foram obtidos para a arquitetura de rede de uma operadora, confrontando com os valores estabelecidos pela recomendação WT-126 do DSL Forum. Adicionalmente, através de uma pesquisa MOS (*Mean Opinion Square*), os valores obtidos permitiram uma confrontação com os valores de perda de pacotes e jitter, com base em uma arquitetura de rede de uma operadora.

Com os valores de perda de pacotes e jitter estabelecidos, é possível gerenciar melhor uma arquitetura de rede IPTV, bem como avaliar necessidades de melhorias nessa arquitetura, possibilitando assim uma garantia mínima de qualidade de vídeo, e otimizando os recursos de rede de acesso.

## **ABSTRACT**

### **VIDEO QUALITY ASSESSMENT IN IPTV NETWORKS WITH BASED ADSL ACCESS**

In the actual scenario, the growth of the access services demand based on wide\_band are Strengthening the IPTV services. Thus, the development of a IPTV network\_architecture project, to adequate to the clients needs and providers objectives, is important to examine the best usages, therefore they will be responsible for the continuity warrant of the supplied services. Beyond this, the architecture has also to respond for the service quality and for the user top expectations attempt, becoming the\_mentioned service highly competitive if it's compared to the cable TV and conventional TV services. IPTV network architecture is made of: transportation protocols and Signaling; video contents delivery form; video compacting type and video delivering form through access networks.

The IPTV network quality of experience has become one of the most important aspects for the IPTV related services and products success. To assure a QoE is quickly becoming a priority for sellers and services suppliers. The main challenge is check the QoE in an IPTV network, to determine the parameters of video quality in a simple and efficient way.

This work has the objective to evaluate video quality in function of the packets loss and jitter features, on an IPTV network. The packets loss and jitter were the key targets of measuring, in function of their impact on the video quality offered to users. The limits of packets loss and jitter were established and traced for the operator of telecommunications network architecture type, confronting the values established for the WT-126 recommendation from DSL forum. Thus, based on a MOS (Mean Opinion Score) research, the values obtained permitted the confrontation with the packets loss and jitter values based in the operator's architecture. Based on the packets loss and jitter values established, is possible to manage an IPTV architecture in a best way as well as to evaluate the enhancement needs in this architecture, so, making a minimum video quality warrant possible, and enhancing the resources of access networks better.

# SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1-MOTIVAÇÃO .....	1
1.2-OBJETIVO .....	2
1.3-METODOLOGIA .....	2
1.4-ORGANIZAÇÃO.....	2
2. ARQUITETURA DE REDE IPTV.....	4
2.1- INTRODUÇÃO .....	4
2.2- ELEMENTOS DE UMA REDE IPTV .....	4
2.3- HEADEND .....	5
2.3.1 – Arquitetura Centralizada do Headend.....	5
2.3.2 – Arquitetura Descentralizada do Headend.....	6
2.3.3 – Compressão no Headend.....	7
2.3.4 – GERÊNCIA DE CONTEÚDO E LICENÇAS NO HEADEND.....	9
2.4- CORE IP .....	14
2.4.1 – Protocolos de Transporte.....	15
2.4.2 – Protocolos de Controle.....	18
2.4.3 – Protocolo de Multicast IGMP.....	21
2.5- REDE DE ACESSO .....	24
2.6- AMBIENTE DE USUÁRIO.....	25
2.7- INSTÂNCIAS DE ARQUITETURAS DE REDE IPTV.....	27
3 - QUALIDADE DE SERVIÇO NO CORE IP.....	29
3.1 - INTRODUÇÃO.....	29
3.2 - MÉTRICAS DE QOS.....	29
3.3 - MECANISMO DE QOS INTSERV .....	31
3.3.3 - Conclusões sobre o Intserv em arquitetura IPTV.....	35
3.4 - MECANISMO DE QOS DIFFERENTIATED SERVICES.....	36
3.4.1 – Introdução.....	36
3.4.2 - Mecanismo .....	36
3.4.3 - Modelo de operação do Diffserv .....	38
3.4.4 - Introdução ao mecanismo de alocação de recurso .....	43
3.4.5 - Service level agreement (SLA) .....	44

3.4.6 - Mecanismo de alocação de recurso Diffserv-BB .....	44
3.4.7 - Comparação Intserv e Diffserv em arquiteturas IPTV .....	47
4 – QOE – QUALIDADE DA EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO.....	49
4.1 - INTRODUÇÃO.....	49
4.1.1 - Qualidade de Vídeo na rede IPTV.....	50
4.2 - MODELO DE AFERIÇÃO DE QOE E TAMANHO MÁXIMO DE BUFFER .....	52
4.2.1 - Modelo Básico PSNR .....	52
4.2.2 - Modelo Básico rPSNR.....	57
4.2.3 – Análise do tamanho de Buffer para o fluxo IPTV .....	58
4.2.4 – Dimensionamento do buffer obedecendo ao valor recomendado de DF pela WT-126.....	62
4.3 – SIMULAÇÃO DE TRAÇO TEÓRICO DE RPSNR RELATIVO DE QOE PARA ARQUITETURA DE REDE IPTV .....	64
4.3.1 – Introdução.....	64
4.3.2 – Valores da recomendação WT-126 do DSL Forum para métricas de QoE .....	65
4.3.3–Traço de rPSNR para valores de perda de pacotes e taxa de erro.....	66
4.4 – SIMULAÇÃO DE TAMANHO DE BUFFER PARA O IPTV.....	68
4.4.1 – Simulação de tamanho de Buffer sem ocorrência de Overflow .....	69
4.4.2 – Simulação de tamanho de Buffer em função do Delay Factor .....	70
5 – ESTUDOS DE CASOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO.....	71
5.1 – INTRODUÇÃO.....	71
5.2 – MEDIDAS E FERRAMENTAS PARA AFERIÇÃO DA QOE .....	71
5.3 – ESTUDO DE CASO PARA TRAÇO DE RPSNR PARA A TECNOLOGIA ATM.....	73
5.3.1 – Traço de rPSNR no caminho DSLAM –BRAS.....	74
5.3.2 – Análise do resultado do traço de rPSNR para o ATM.....	80
5.4 – ESTUDO DE CASO DE TRAÇO DE RPSNR EM GIGABIT ETHERNET .....	81
5.4.1 – Estudo de caso de perda de pacotes na última milha em Gigabit Ethernet.....	83
5.5 – ESTUDO DE CASO DE MEDIDAS DE PERDA DE PACOTES E JITTER NA ÚLTIMA MILHA COM TRÁFEGO VOD UNICAST .....	86
5.6 – ESTUDO DE CASO DE MEDIDAS DE PERDA DE PACOTES E JITTER NA ÚLTIMA MILHA COM TRÁFEGO VOD MULTICAST.....	91

5.7 – ESTUDO DE CASO DE MEDIDAS DE PERDA DE PACOTES E JITTER NA REDE INTERNA DO HEADEND .....	93
5.8 – PESQUISA SUBJETIVA DA QUALIDADE DE VÍDEO (MOS-V) .....	95
6 - CONCLUSÕES .....	102
6.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
BIBLIOGRAFIA.....	105
APÊNDICE A: RECOMENDAÇÕES DO DSL-FORUM.....	108
ANEXO A: FORMULÁRIO DE PESQUISA MOS-V .....	118

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama do Serviço IPTV com rede ADSL.....	4
Figura 2.2: Distribuição de vídeo IPTV centralizada.....	6
Figura 2.3: Distribuição de vídeo descentralizada .....	6
Figura 2.4: Características MPEG.....	9
Figura 2.5: Sistema de Gerência de Conteúdos e Licenças .....	9
Figura 2.6: Composição do NMS.....	10
Figura 2.7: Arquitetura Media Station.....	11
Figura 2.8: Client EPG .....	12
Figura 2.9: Datagrama TCP .....	16
Figura 2.10: Datagrama UDP .....	17
Figura 2.11: Datagrama RTP .....	19
Figura 2.12: Encapsulamento UDP/RTP/IP .....	21
Figura 2.13: Controle RTSP .....	21
Figura 2.14: Funcionamento do IGMP.....	22
Figura 2.15: Rede de acesso ADSL.....	24
Figura 2.16: Recomendação ITU .....	25
Figura 2.17: Ambiente de usuário .....	25
Figura 2.18: Banda do ADSL2/ADSL2+ .....	26
Figura 3.1: Funcionamento do RSVP.....	32
Figura 3.2: Elementos do Intserv. ....	33
Figura 3.3: Funcionamento Weighted Fair Queueing .....	35
Figura 3.4: Campo ToS RFC 791.....	37
Figura 3.5: Campo DS Field- RFC 2474. ....	37
Figura 3.6: Modelo de operação do Diffserv. ....	38
Figura 3.7: Diagrama de blocos de classificação de pacotes .....	39
Figura 3.8: Marcador de balde de ficha. ....	41
Figura 3.9: Marcador janela deslizante.....	42
Figura 3.10: Arquitetura Diffserv.....	43
Figura 3.11: Domínio DS no Diffserv.....	45
Figura 3.12: Sinalização BB fim a fim. ....	46
Figura 3.13: Sinalização BB imediata. ....	47

Figura 4.1: Seqüência de erros em <i>frames</i> IPTV.....	52
Figura 4.2: Relacionamento de quadros IPTV codificados. ....	53
Figura 4.3: Seqüência de <i>frames</i> P e I para IPTV.....	54
Figura 4.4: Distância de erros em frames IPTV.....	54
Figura 4.5: Seqüência de erros consecutivos de pacotes de mídia.....	55
Figura 4.6: Efeito da retirada de um quadro no set-top-box.....	60
Figura 4.7: Cadeia de Markov para perda de pacotes na rede IPTV.....	64
Figura 4.8: Frame Ethernet para compactação H.264.....	68
Figura 5.1: Ferramentas e métricas para aferição do QoE.....	72
Figura 5.2: Topologia para medida de QoE na rede ATM .....	73
Figura 5.3: Topologia para medida de QoE na última milha.....	84
Figura 5.4: Topologia para medida de QoE unicast .....	87
Figura 5.5: Fotos dos equipamentos de teste. ....	88
Figura 5.6: Captura de Fluxo de vídeo. ....	88
Figura 5.7: Tela com sumário dos pacotes. ....	90
Figura 5.8: Topologia para medida de QoE em multicast .....	92
Figura 5.9: Topologia de medida de QoE unicast na rede interna. ....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Instâncias de Arquiteturas IPTV.....	27
Tabela 2.2: Comparativo entre as Instâncias de arquiteturas IPTV.....	27
Tabela 4.1: Métricas de QoE.....	65
Tabela 5.1: Pontos da rede ATM Medidos.....	76
Tabela 5.2: Dados de Perda de pacotes coletados na rede ATM.....	78
Tabela 5.3: Medidas realizadas nos DSLAM's Gigabit Ethernet.....	82
Tabela 5.4: Perda média de pacotes nos DSLAM's.....	82
Tabela 5.5: Conversão com CRC e Taxa de erro na última milha.....	85
Tabela 5.6: Tabela MOS-V.....	96
Tabela 5.7: Métricas de QoE SDTV.....	100
Tabela 5. 8: Métricas de QoE SDTV na operadora.....	100

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Simulação de rPSNR com $P_e=2,9e-6$ .....	67
Gráfico 4.2: Simulação de traço de rPSNR para 1 pacote perdido.....	68
Gráfico 4.3: Simulação de Tamanho do Buffer para o IPTV.....	69
Gráfico 4.4: Simulação de Buffer em função de Delay- Factor DF.....	70
Gráfico 5.1: Perda de pacotes IP nos entroncamentos ATM medidos.....	79
Gráfico 5.2: Taxa de erro nos entroncamentos ATM medidos.....	79
Gráfico 5.3: Traço de rPSNR nos entroncamentos ATM.....	80
Gráfico 5.4: Topologia para medida de QoE na saída DSLAM. ....	81
Gráfico 5.5: Traço de rPSNR para os DSLAM Gigabit Ethernet. ....	83
Gráfico 5.6: Traço de rPSNR na última milha vista pelo DSLAM. ....	86
Gráfico 5.7: Delay-Factor medido no acesso Unicast. ....	89
Gráfico 5.8: Perda de pacote medida no acesso Unicast. ....	89
Gráfico 5.9: Delay-Factor medido no acesso Multicast. ....	92
Gráfico 5.10: Perda de Pacotes medida no acesso Multicast.....	93
Gráfico 5.11: Medida de Delay-Factor na rede Interna do Headend. ....	94
Gráfico 5.12: Medida de Perda de Pacotes na rede Interna do Headend.....	95
Gráfico 5.13: Pesquisa de Opinião sobre a qualidade do Vídeo 1. ....	97
Gráfico 5.14: Pesquisa de Opinião sobre a qualidade do Vídeo 2. ....	97
Gráfico 5.15: Pesquisa de Opinião sobre a qualidade do Vídeo 3. ....	98
Gráfico 5.16: Estatísticas de notas aplicadas ao vídeo 1. ....	98
Gráfico 5.17: Estatísticas de notas aplicadas ao vídeo 2. ....	99
Gráfico 5.18: Estatísticas de notas aplicadas ao vídeo 3. ....	99
Gráfico 5.19: Desvio Padrão para os vídeos 1,2,3. ....	99
Gráfico 5.20: Nota Média aplicada aos Vídeos 1,2,3.....	100

## GLOSSÁRIO DE SIGLAS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (Linha digital assimétrica de assinante)
ARPU	Average Revenue Per User (Receita média por usuário)
CBR	Constant Bit Rate (Taxa de bits constante).
CCIR	Consultative Committee for International Radio (Comitê Internacional Consultivo de Rádio)
CSRC	Contribution Source
CE	Content Engine (Motor de Conteúdo)
CMS	Content Media Station (Estação de Conteúdo de Mídia)
CIR	Committed Information Rate (Taxa de Transmissão Contratada)
CU	Currently Unused (Campo não utilizado)
DF	Delay factor (Fator de atraso)
Diffserv	Differentiated Services (Serviços Diferenciados)
DRM	Digital Rights Management (Gerenciamento Digital de Direitos)
DS FIELD	Differentiated Services Field (Campo de Serviço Diferenciado)
DSCP	Differentiated Service Codepoints (Seletor de Diferenciação de Serviço)
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer (Multiplexador Digital de Linha de assinante)
DVD	Digital Video Disc (Disco de vídeo Digital)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexagem por divisão de comprimento de onda com alta densidade)
EPG	Electronic Programming Guide (Guia Eletrônico de Programação)
GDA	Group Destination Address (Endereço Destinatário de Grupo)
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Control Management Protocol (Protocolo de Controle e Gerenciamento Internet)
Intserv	Integrated Services (Serviços Integrados)

IPMP	Intellectual Property Management and Protection (Gerenciamento e Proteção da Propriedade Intelectual)
IPTV	Internet Protocol Television (Televisão via protocolo IP)
ISO	International Standards Organization (Organização Internacional de Padrões)
ITU	International Telecommunication Union (União Internacional de Telecomunicações)
MAM	Media Asset Management (Gerenciamento de Recurso de Mídia)
MDS	Distribution Media Station (Estação de Distribuição de Mídia)
ME	Media Station (Estação de Mídia)
MOS-V	Mean Opinion Score Video (Medida de Opinião de Vídeo)
MP3	Music <i>Players</i> (Tocador de Música)
MPEG	Moving Picture Experts Group (Grupo de Peritos de Imagem em Movimento)
MSE	Mean Square Error (Erro Quadrático Médio)
MLT	Media Loss Total (Perda total de pacotes de mídia)
MLR	Media Loss Rate (Taxa de perda de mídia)
MDI	Media Delivery Index (Parâmetros de qualidade de mídia)
MOS	Mean Opinion Score (Pesquisa média de opinião)
NMS	Network Management System (Sistema de Gerenciamento de Rede)
NTSC	National Television Standards Committee (Comitê Nacional de Padrões de Televisão)
OLTN	Optical Line Terminal Network (Terminal Ótico de Linha)
ONU	Optical Network Units (Unidade de Rede ótica)
OSS	Operation Support System (Operação e Suporte do Sistema)
PAL	Phase Alternating Line (Linha de Fase Alternante)
PHP	Per Hop Behavior (Comportamento por Salto)
PIR	Peak Information Rate (Taxa de Informação de Pico)
PON	Passive Optical Network (Rede Ótica Passiva)

PQ	Priority Queueing (Enfileiramento por Prioridade)
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio (Relação sinal Ruído de Pico)
QoE	Quality of Experience (Qualidade de experiência)
QoS	Quality of Service (Qualidade de serviço)
rPSNR	Relative Peak Signal to Noise Ratio (Relação Sinal Ruído de Pico relativa)
RTSP	Real-Time Streaming Protocol (Protocolo de Transmissão de Vídeo em tempo Real)
RSVP	Resource Reservation Protocol (Protocolo de Reserva de recurso)
RTP	Real-Time Transport Protocol (Protocolo de Transporte em Tempo Real)
SIF	Source Intermediate Format (Formatação Imediata de Fonte)
SLA	Service Level Agreement (Acordo de Nível de Serviço)
STB	Set-top-box (Caixa Conversora de vídeo)
SSRC	Sincronization Source
SDTV	Standard Definition Television (Definição padrão de televisão)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de controle de transmissão)
ToS	Type of Service (Tipo de Serviço)
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo por datagramas)
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line (Linha de Assinante de Alta taxa de transmissão)
VHO	Video Hub Office (Escritório Regional de Vídeo)
VHS	Video Home System (Sistema Caseiro de vídeo)
VoD	Video on demand (Vídeo sob demanda)
WFQ	Weighted Fair Queueing (Enfileiramento ponderado justificado)

## DICIONÁRIO DE VARIÁVEIS

$B$	Tamanho máximo de buffer do set-top-box.
$B_K$	Ocupação do buffer no instante k no set-top-box.
$B_0$	Ocupação inicial do buffer do set-top-box.
$B_A$	Ocupação do buffer em um instante anterior ao próximo quadro entrante no set-top-box.
$B_{K-1}$	Ocupação do buffer do set-top-box em um instante k-1.
$B_k^i$	Ocupação do buffer após a inserção de um quadro no set-top-box.
$C$	Instante de tempo em que o set-top-box leva para consumir um quadro.
$D_1$	Erro quadrático médio para perda de uma fatia por frame.
$D_n$	Erro quadrático médio para perda de mais de uma fatia por frame.
$DF$	Delay factor em unidade de tempo (segundos).
$f(n)$	Função que relaciona perda de fatia por pacote.
$i$	Instante de tempo em que o quadro i chega ao set-top-box.
$j$	Instante de tempo em que o quadro j é consumido pelo set-top-box.
$K$	Instante de tempo em que o quadro k chega ao set-top-box.
$L$	Total de pacotes por frame.
MLR	Taxa de perda de pacotes de mídia.
MR	Taxa de codificação de quadros.
MSE	Erro quadrático médio.
$m$	Número de pacotes até um evento de perda consecutiva de pacotes.
$n$	Total de pacotes de mídia perdidos em um frame.
$n^0$	Perda alvo de pacotes consecutivos de mídia em um stream de vídeo.
$n'$	Perda de pacotes consecutivos de mídia medidos em um stream de vídeo.

$P_n$	Probabilidade de ocorrer perda de pacotes consecutivos em um frame.
$P_e$	Probabilidade de perda de pacotes consecutivos de mídia em um stream de vídeo.
$P_e^0$	Probabilidade alvo de perda de pacotes consecutivos de mídia em um stream de vídeo.
$P_e'$	Probabilidade de perda de pacotes consecutivos de mídia medidos em um stream.
$P_s$	Tamanho do quadro em bits descartado no set-top-box.
$P_j$	Tamanho do quadro em bits que é consumido pelo set-top-box .
$P_k$	Tamanho do quadro em bits no instante k no set-top-box.
$P_{k+1}$	Tamanho do quadro em um instante k+1 em bits no set-top-box.
$PSNR$	Relação sinal ruído de pico.
$q$	Probabilidade de erro de perda de pacotes.
$R_k$	É a taxa em bits por segundo que o quadro k entra no buffer.
$R$	Taxa de transmissão do stream de vídeo.
$VB(\min)$	Tamanho mínimo de buffer.
$s$	Número de fatias perdidas.
$rPSNR$	Relação sinal ruído de pico relativa.
$T$	Tempo de quadro.
$t$	Instante de tempo analisado.
$x$	Distância em número de pacotes até a ocorrência da perda de pacotes consecutivos.
$\gamma$	Atenuação do set-top-box.
$\sigma_s$	Distorção causada pela perda de uma fatia do frame.

# 1 - INTRODUÇÃO

O IPTV (*Internet Protocol Television*) consiste basicamente na oferta de serviços de áudio e vídeo sobre as redes banda larga, via protocolo IP (*Internet Protocol*) [24]. Os sinais de áudio e vídeo são comprimidos, codificados e encapsulados sobre IP utilizando TCP, UDP e RTP [2,37].

No cenário atual, uma arquitetura de rede IPTV deve ser capaz de oferecer uma qualidade de serviço (QoS), que reflita a QoE adequada às expectativas do usuário [32,42]. A Qualidade de Experiência do usuário, a QoE (*Quality of Experience*), representa a capacidade da percepção humana, em determinar o grau de qualidade do sinal de vídeo [3].

Logo, garantir a QoE tornou-se uma prioridade, entre fornecedores e provedores de serviço IPTV, possibilitando garantia e continuidade do serviço. A QoE deve ser garantida em uma arquitetura de rede IPTV fim-a-fim, de forma transparente para o usuário.

## 1.1-MOTIVAÇÃO

O movimento de queda na receita de voz na telefonia fixa, em virtude da concorrência com a telefonia móvel, gera o desafio de busca por novas fontes de receita e novos modelos de negócios, em que o IPTV surge como uma alternativa. O IPTV traz grandes volumes de “conteúdo” para pesquisar/acessar, no lugar de um conjunto definido de canais, sendo uma alternativa de TV paga, que no futuro será uma plataforma para serviços convergentes. No Brasil, os assinantes passam 70% do tempo na TV aberta [44], aliado ao baixo crescimento e penetração da TV paga, o que torna o IPTV uma alternativa de negócio que pode ser lucrativa.

O IPTV no Brasil é uma novidade recente, foi lançado pela Brasil Telecom em setembro de 2007, primeira operadora a entrar nesse mercado. No mundo, o serviço IPTV vem se expandindo cada vez mais, permitindo tanto que as operadoras de Telecom captem receita, como mantenham a carteira de clientes banda larga.

Para tal, é de grande importância garantir um serviço IPTV de boa qualidade, atendendo às expectativas dos usuários. Assim, avaliar essa qualidade de vídeo em uma arquitetura de rede IPTV é um ponto chave para o sucesso na oferta do citado serviço.

## 1.2-OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de vídeo do IPTV sobre a tecnologia de acesso ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), por meio de uma metodologia que seja capaz de associar as perdas de pacotes IP, à taxa de erro e o “jitter”, traduzindo essas métricas em qualidade de vídeo [25].

As citadas métricas serão avaliadas, a fim de garantir uma qualidade de vídeo apropriada ao usuário, e confrontando essas métricas, com aquelas recomendadas pela WT-126 [15] do DSL Forum.

## 1.3-METODOLOGIA

Como metodologia, será adotado um modelo para traçar a rPSNR (*Relative Peak Signal Rate*) [39] para a rede IPTV, medindo a qualidade relativa do vídeo, através das perdas de pacote IP, baseando em valores alvos definidos pela recomendação WT-126.

Adicionalmente, será gerada uma tabela MoS-V (*Mean Opinion Score-video*) [1,22] para avaliação da qualidade de vídeo observada pelo usuário. As métricas foram verificadas, através de uma avaliação subjetiva da qualidade de vídeo, observada em uma arquitetura de rede IPTV na “última milha”.

Na avaliação da qualidade do vídeo, através da pesquisa MoS-V, os perfis dos usuários entrevistados foram: pessoas que possuem TV a cabo, internet banda larga e cursando nível superior, assim à avaliação ficará mais rigorosa por parte dos entrevistados.

A RFC4445 foi utilizada como método para dimensionamento do jitter máximo e perda de pacotes, mostrando que esses parâmetros formam um par, que definirão a qualidade do vídeo.

## 1.4-ORGANIZAÇÃO

Essa dissertação está organizada como se segue. O capítulo 2 será descrita uma arquitetura de rede IPTV com acesso baseado em ADSL, definindo os elementos envolvidos e suas funcionalidades. O capítulo 3 será apresentado os mecanismos de qualidade de serviço, que podem ser aplicados em uma arquitetura de rede IPTV. Nele, serão mencionados sucintamente os principais mecanismos de qualidade de serviço que são: Intserv (*Integrated Services*) e Diffserv (*Differentiated Services*).

No capítulo 4, será mostrado o modelo de conversão de perda de pacotes em qualidade de vídeo, e ainda abordaremos a forma de calcular o tamanho do buffer em função do DF (*Delay Factor*). Foram apresentados ainda simulações de traço de qualidade de vídeo, em

função do rPSNR (*Relative Peak Signal to Noise Ratio*), assim como simulações de tamanho de buffer em relação a ocupação e ao DF.

O Capítulo 5 serão apresentados os objetivos da aferição da qualidade de vídeo, e as ferramentas utilizadas para aferição em uma arquitetura de rede IPTV. Nesse capítulo, serão descritos estudos de casos para traço de rPSNR em uma arquitetura de rede IPTV, e também serão apresentados estudos de casos de medidas de perda de pacotes e “*jitter*” na “última milha. Nele, as medidas serão confrontadas com aquelas recomendadas pela WT-126, obtendo uma perda de pacotes e “*jitter*” que atendam uma QoE (*Quality of Experience*) aceitável. Por fim, nesse capítulo será mostrada uma pesquisa MOS-V (*Mean Opinion Score Vídeo*), aplicada para avaliar a qualidade de vídeo na rede IPTV de uma operadora. Finalmente, O Capítulo 6 serão discutidas as conclusões obtidas, e as principais contribuições desta dissertação, assim como sugestões para trabalhos futuros.

## 2. ARQUITETURA DE REDE IPTV

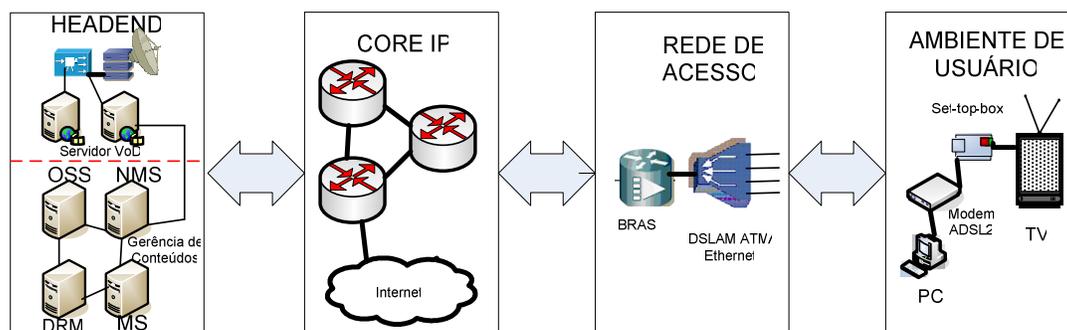
### 2.1- INTRODUÇÃO

Este capítulo descreverá uma arquitetura de rede IPTV definindo os seguintes elementos: Headend, Core IP, Rede de acesso e Ambiente de usuário. Essa arquitetura de rede IPTV deve estar apta a oferecer, aos usuários, alguns serviços básicos, podendo também oferecer outros serviços de valor agregado. Dos serviços básicos, podem ser destacados: VoD (*Video on Demand*): vídeo sob demanda; TV sobre IP (*Live TV*): canais de TV; SVoD (*Subscription VoD*): subscrição a pacotes de filmes, e NVoD (*Near Video on Demand*): canais de filmes. Como serviços de valor agregado, podem ser listados, entre outros: *Time Shifted*: gravação de canais de TV para assistir mais tarde e *IPTV Gold*: Serviço IPTV com definição HDTV.

### 2.2- ELEMENTOS DE UMA REDE IPTV

Para desenvolver um projeto de rede IPTV, buscando atender às necessidades dos clientes, é importante examinar as melhores práticas associadas, pois a arquitetura dependerá dos serviços oferecidos e da qualidade que se deseja imprimir a esses serviços. Dessa forma, a evolução das arquiteturas de rede IPTV é responsável pela garantia de continuidade do serviço; fornece, cada vez mais, serviços com qualidade garantida, adequando e superando as expectativas do usuário e, além disso, tornando o referido serviço altamente competitivo, quando comparado com serviços de TV a cabo e TV convencional.

Foram definidos os diversos componentes de uma rede IPTV, de modo a atender às exigências do usuário, baseando em uma estrutura de rede metálica ADSL. A Figura 2.1 abaixo mostra os elementos que compõem uma arquitetura de rede IPTV, baseada em tecnologia ADSL.



**Figura 2.1:** Diagrama do Serviço IPTV com rede ADSL (Adaptado de [15]).

## 2.3- HEADEND

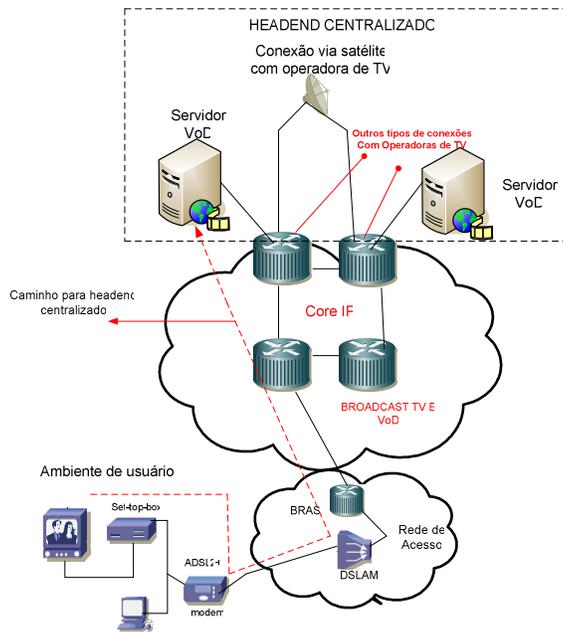
Representa a extremidade principal de vídeo, ou seja, ponto onde se encontra todo o conteúdo de vídeo (filmes, programas etc.), contendo conexões com operadoras de TV convencionais para transmissão de programas ao vivo.

O headend é constituído de vários componentes que variam de rede para rede. Inclui as fontes de vídeo analógico e digital, provedores de conteúdo, os codificadores, decodificadores e transcodificadores, para adaptar as taxas de streaming, switches, servidores para *softwares* de vídeo e de aplicação, servidores de gerência, entre outros. No *headend*, o vídeo é codificado (MPEG-1-*Moving Picture Experts Group-1*, MPEG-2, MPEG-4) e processado com qualidade, sendo depois entregue ao *backbone* IP, onde todo sinal é encapsulado com a utilização do protocolo IP e distribuído aos usuários.

A localização do headend é uma opção de implementação da arquitetura, podendo ser centralizado ou distribuído. Serviços interativos como IPTV e VoD são providos a partir de servidores de conteúdo em formato MPEG, enviando uma cópia ao usuário sob sua requisição. O servidor de vídeo precisa estar dimensionado tanto para o conteúdo total que deverá armazenar, como para o número de usuários ativos que esteja requisitando os dados; faz parte da escolha da arquitetura de rede para distribuição do serviço IPTV e VoD oferecido pela operadora.

### 2.3.1 – Arquitetura Centralizada do Headend

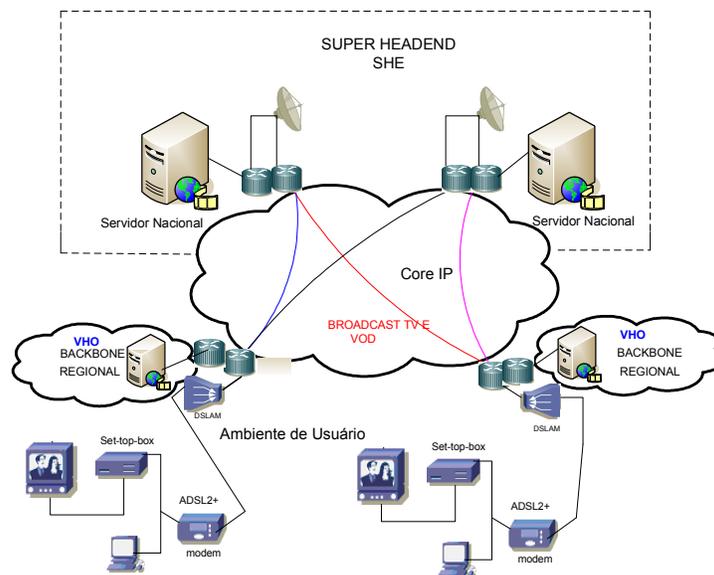
Em uma arquitetura centralizada, o vídeo é enviado do headend central até o set-top-box do usuário diretamente. Todo o tráfego de vídeo vai trafegar a partir de um link conectado ao headend, sendo esse link capaz de suportar picos elevados de tráfego. A arquitetura ainda apresenta um problema em relação ao tempo de resposta do usuário, pois o transporte irá fluir desde o centralizado até a ponta final do cliente, aumentando o *delay* entre o *headend* e o usuário final. O Backbone de transporte nesse tipo de distribuição deve ser projetado para suportar uma quantidade enorme de requisições de todas as áreas de atuação da operadora de Telecom. A figura 2.2 a seguir mostra a centralização do headend.



**Figura 2.2:** Distribuição de vídeo IPTV centralizada (Adaptado de [5]).

### 2.3.2 – Arquitetura Descentralizada do Headend

A figura 2.3 abaixo mostra a topologia de distribuição do conteúdo de IPTV/ VoD , distribuição descentralizada:



**Figura 2.3:** Distribuição de vídeo descentralizada (Adaptado de [5]).

**SHE -Super Headend**

É uma extremidade final de vídeo, centralizada, na qual se encontra o conteúdo de IPTV e Vídeo sob demanda, em nível nacional. Na estrutura acima, há dois SHEs que permitem o trabalho em paralelo. Em caso de falha, não haverá indisponibilidade de serviço, mantendo-se o suprimento das necessidades de seus usuários. Os SHEs são interligados aos Backbones regionais, para onde as informações são enviadas.

Os SHEs são interligados aos backbones regionais por meio da utilização de uma rede de transporte consistente de alta taxa de transmissão; geralmente utiliza-se uma rede óptica para tal transmissão.

### **VHO-Video Hub Offices**

Os VHOs armazenam o índice de vídeo local para suportar VoD. Cada VHO consiste no equipamento de vídeo e dois roteadores (para a redundância), os quais interconectam a espinha dorsal dos SHEs aos VHOs. Nos VHOs, também são inseridos os vídeos regionais (por exemplo, inserção da propaganda local), que são transmitidos para seus usuários.

Essa forma de distribuição reduz os atrasos de rede e os recursos de transporte entre SHE e o cliente final. Os servidores armazenam o conteúdo popular em sua área de atuação e os segmentos iniciais dos programas mais acessados. Nessa arquitetura distribuída, há um servidor responsável pela localização de todos os programas disponíveis, em todo o sistema.

A rede da operadora em análise tem sua arquitetura de distribuição de vídeo descentralizada, com cada localidade de atuação com seu VHO, permitindo a introdução das programações regionais e reduzindo o tempo de acesso ao conteúdo e economizando recursos de transporte IP.

### **2.3.3 – Compressão no Headend**

O requisito básico para provimento de serviços de vídeo é a utilização de mecanismos de compressão dos sinais. Atualmente, os padrões MPEG são os mais empregados.

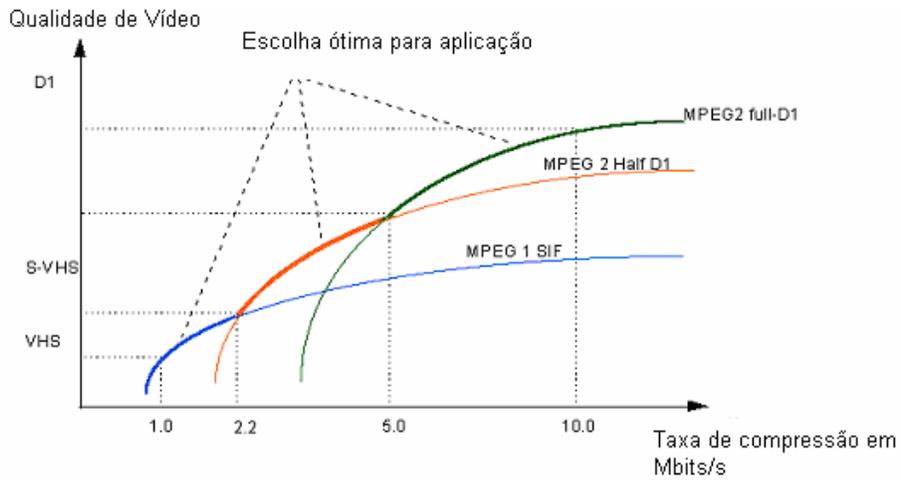
O MPEG-1 (padrão ISO/IEC 11172) provê resolução de 352x240 pixels NTSC e 352x288 pixels PAL. É necessária uma taxa de pelo menos 1 Mbits a 1,5 Mbps para se obter qualidade de VCR (*Video Cassette Recorder*) com MPEG-1. O formato MPEG-1 SIF (*Source Intermediate format*) possui uma resolução de 352x288 pixels. A resolução SIF é utilizada em aplicações como vídeo *games* e quiosques, onde o fator dominante é o custo de distribuição.

O MPEG-2 (padrão ISO/IEC 13818) permite uma qualidade melhor de imagem e oferece, por exemplo, qualidade de DVD com taxas elevadas de transmissão e apresenta exigências típicas de taxa de transmissão de 2 a 6 Mbps. O padrão MPEG-2 recomenda que a resolução de entrada do sinal antes da compressão seja D-1, para aplicações *high-end*, tais como broadcasting via satélite.

O MPEG-4 (ISO 14.496) tornou-se *standard* em 1999, mas ainda não há muitos produtos no mercado trabalhando com esse padrão. O MPEG-4 é, hoje, propriedade de um conjunto de 23 empresas que cobram *royalties* por cada patente que integra o padrão MPEG4. Foi criado um órgão de licenciamento chamado MPEG LA para tratar, de forma independente, dos acordos entre as empresas detentoras das patentes e as companhias interessadas em utilizar o *codec*. Os termos estabelecidos pelo MPEG LA estão sendo reavaliados constantemente, sendo propostos modelos os mais variados, para a cobrança e quantificação dos *royalties*. Muitos acreditam que os termos finais a serem estabelecidos poderão ser muito onerosos, podendo levar a indústria a procurar outros padrões. Um dos padrões emergentes nesse sentido é o VP5 (On2 Technologies), que promete qualidade de DVD com taxas de 400 kbps.

A representação digital internacionalmente recomendada para um sinal de vídeo CCIR 601 (padrão de vídeo estabelecido pelo *Consultative Committee for International Radio* para vídeo NTSC/PAL/SECAM) é conhecida como D-1 (formato de gravação de vídeo digital em fita de 19mm no padrão CCIR 601). Essa recomendação se refere a uma resolução de 720 x 576 pixels (PAL) ou 720x480 (NTSC).

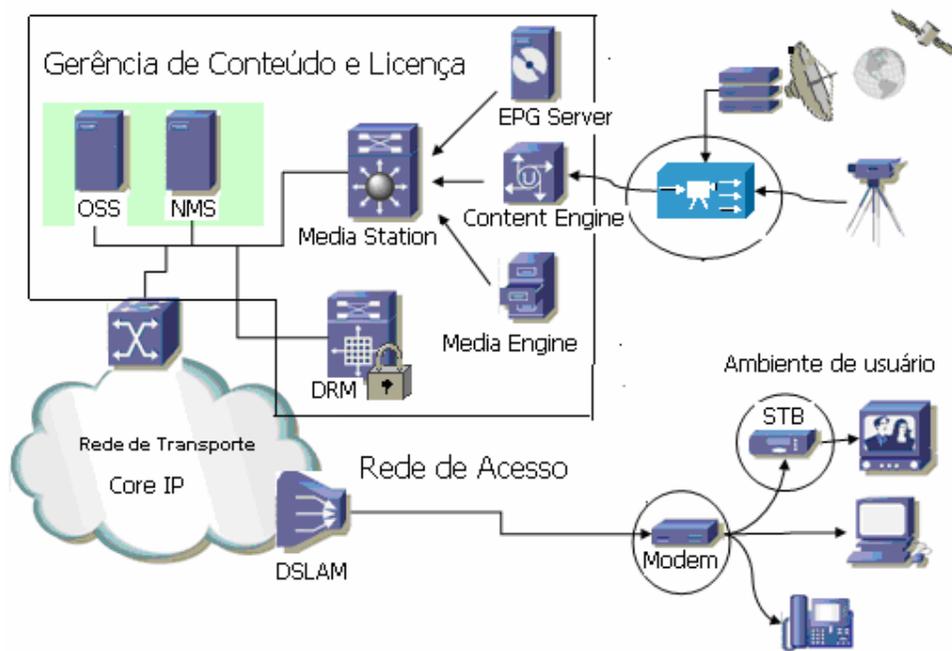
Outra resolução de entrada abrangida pelo padrão MPEG-2 é o ½ D-1, que é metade da fonte original D-1 e, apesar disso, a perda de qualidade não é muito perceptível para a média dos espectadores. No gráfico abaixo, são apresentadas curvas comparativas entre o MPEG-1 e o MPEG-2 (Full D-1 e Half D-1) em função da taxa de bits e da qualidade de imagem. Observe-se que com uma taxa de 2 Mbps em MPEG-2 Half D-1 já se alcança qualidade superior ao padrão VHS. A figura 2.4 a seguir mostra as taxas de transmissão.



**Figura 2.4:** Características MPEG (Adaptado de [3]).

### 2.3.4 – Gerência de Conteúdo e Licenças no Headend

A figura 2.5 abaixo descreve o sistema de gerência de conteúdo e licenças que faz parte da estrutura do headend.



**Figura 2.5:** Sistema de Gerência de Conteúdos e Licenças (Adaptado de [3]).

### Operation Support System (OSS)

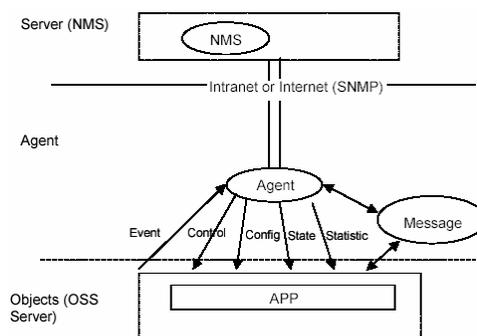
Provê as funções operacionais, tanto para a operadora de serviços de banda larga, quanto aos assinantes. Também inclui um sistema chamado *Customer Self-service*, através do qual os assinantes podem checar o *status* de sua conta, estatísticas de uso e balanços. Através do OSS, os assinantes podem comprar planos de serviços para programas especiais, registrar requisições de serviço e modificar senhas. Ele executa as seguintes funções:

1. MAM (*Media Asset Management*): mantém controle do ciclo de vida de um determinado conteúdo, e gerencia as informações deste conteúdo para todo o sistema.
2. Provê serviços de gerência de bilhetagem e de assinante. Ele também gerencia bancos de dados e suporta interfaces de usuário para configuração de políticas de bilhetagem e para inserção e modificação de informações de assinante.

### NMS (*Network Management System*)

O sistema de gerência OSS pode ser dividido em três camadas lógicas (ver figura 2.6 seguir): servidor, agente e objetos. A camada de objetos é composta de diversos servidores OSS, que podem ser gerenciados pelo NMS (*Network Management System*) através do agente. Os eventos de OSS são reportados ao NMS. O agente e as aplicações dos servidores OSS possuem uma memória compartilhada que armazena dados correlacionados.

Através do agente, o NMS pode fazer a gerência de falhas (FM – *Fault Management*), gerência de performance (PM – *Performance Management*), gerência de configuração (CM – *Configuration Management*) do sistema de suporte a operação. A figura 2.6 abaixo ilustra o NMS.



**Figura 2.6:** Composição do NMS ([3]).

O *Network Management System* é um avançado sistema de gerência de rede e de elemento, desenhado para um compreensivo gerenciamento da plataforma IPTV, envolvendo os elementos de rede, tais como CEs, MEs, *Media Station Chassis*, etc.

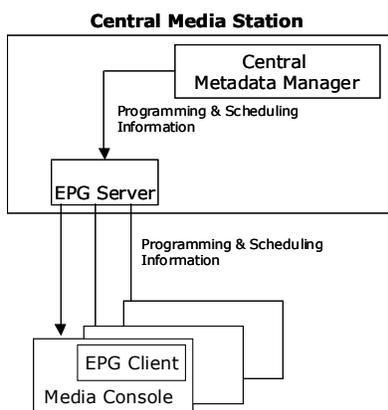
### Media Station (MS)

Uma *Media Station* funciona como um servidor de armazenamento de streaming. Coletivamente, a *Media Station* contém a informação de todos os programas localizados em todos os equipamentos envolvidos na rede IPTV.

### EPG Server

O EPG (*Electronic Programming Guide Server*) é a fonte para a informação da grade de programação presente e futura. O EPG Server recebe toda esta informação a partir do *Central Metadata Manager*, localizado no *Home Media Station*. A partir de uma requisição do assinante, o EPG envia listas de programas, grades de programação e informação do assinante ao cliente EPG presente no MC. Este cliente EPG mostra a informação no aparelho de TV do assinante.

O EPG Server é altamente customizável, com sua GUI baseada em XML e HTML. Permite que a operadora adicione logotipos, marcas e anúncios de forma rápida e eficiente. O EPG Server possui inteligência para modelar as páginas de acordo com o histórico e padrões de visualização do usuário. A figura 2.7 abaixo mostra o EPG inserido no ME.



**Figura 2.7:** Arquitetura *Media Station* ([3]).

O EPG *client* é instalado no Media Console no ambiente do usuário. Usando o controle remoto, os assinantes podem acessar suas contas, assistir a *previews* de VoD e Live TV, selecionar canais, criar listas de canais personalizados, etc. A figura abaixo mostra a página principal do guia de programação mostrado pelo EPG. Veja figura 2.8 abaixo:



**Figura 2.8:** Client EPG ([3]).

## Content Engine

O CE (*Content Engine*) é responsável pela codificação do conteúdo em formato MPEG4 ou Windows Media 9, para armazenamento ou transporte pela rede.

## Media Engine

É responsável pelo armazenamento e *streaming* do conteúdo. MEs localizados em diferentes chassis podem ser designados para funcionar como um único *Media Station*, para aumentar a capacidade do sistema em virtude do crescimento da demanda dos assinantes.

## Digital Rights Management (DRM)

É o sistema responsável por fornecer as licenças ou chaves de desbloqueio dos conteúdos protegidos por direitos autorais. Após o *download* de um conteúdo específico por um usuário, o *software* cliente ou o *set-to-box* deve buscar a licença específica para a exibição daquele conteúdo.

A licença é o mecanismo que define os direitos adquiridos pelo assinante ao pagar por determinado conteúdo, por exemplo: tempo de permanência, número de exibições, etc. O uso de um DRM permite também a expansão do serviço com a venda de licenças para conteúdos adquiridos através de outros formatos, como por exemplo, DVDs e CDs distribuídos gratuitamente ou a título de eventos.

Os padrões MPEG não possuem nenhuma funcionalidade de proteção a direitos autorais, por si só. IPMP (*Intellectual Property Management and Protection*) é um conceito tipo DRM que permite o uso comercial de conteúdo MPEG com garantia de que não será disponibilizado livremente sem que haja a devida autorização pelo detentor de seus direitos. O IPMP permite a formação de modelos de negócio complexos para a venda e distribuição de conteúdo e o direito de utilização deste conteúdo. Vários sistemas proprietários de IPMP têm sido desenvolvidos nos últimos anos. Porém, a padronização traz benefícios tanto para os produtores de conteúdo, quanto para os consumidores. O comitê do MPEG (*Motion Pictures Experts Group*) da ISO (*International Standards Organization*) está trabalhando na padronização de IPMP para os padrões MPEG.

O IPMP MPEG provê métodos para associar regras de comercialização ao conteúdo, estabelecidas pelo provedor desse. Os seguintes modelos são alguns exemplos propostos por provedores de conteúdo:

#### Distribuição em massa com Preview

Esse é, provavelmente, o modelo mais requisitado pelos provedores de conteúdo. Nesse modelo, qualquer um pode passar uma cópia do conteúdo para uma outra pessoa, por e-mail ou uma rede de distribuição como o Napster. A cópia servirá apenas para um *preview* do conteúdo, até que a pessoa que o recebeu adquira os direitos para ver o conteúdo integralmente.

#### Streaming de media

Modelo essencialmente igual ao anterior, exceto no fato de o conteúdo não ser armazenado localmente. Um servidor sob demanda provê o conteúdo e o usuário seleciona o conteúdo desejado a partir de um menu. Pode receber antes um *preview*, concordar com a aquisição dos direitos sobre aquele conteúdo, ou pode interromper ou repetir a apresentação

do conteúdo. O sistema IPMP irá processar a transação, de forma a garantir que o conteúdo não seja recebido pelo usuário e gravado localmente sem ter sido encriptado.

### Broadcast

Esse modelo é utilizado no broadcast de eventos ou na subscrição de conteúdo pré programado. O usuário se subscreve para assistir a um determinado evento ou obter um determinado conteúdo.

No mercado de vídeo, a principal razão de não ter havido a mesma explosão de pirataria como houve no mercado musical é a banda demandada pelo conteúdo de vídeo, dificultando sua livre distribuição pela Internet, ainda que os sistemas de proteção dos DVDs já tenham sido decifrados, e os softwares de compressão MPEG-4 se tornem disponíveis, que é o caso do DivX. Com redução do tamanho dos arquivos de vídeo, a disponibilização crescente de acessos banda larga facilita cada vez mais a distribuição de vídeos piratas.

A Microsoft e a RealNetworks são dois dos principais líderes no provimento de softwares proprietários para suportar estes modelos. O MPEG está trabalhando na padronização desses modelos, ainda que muitos provedores de conteúdo entendam que um padrão irá limitá-los na habilidade de escolher como proteger seu conteúdo e que o mercado é que irá decidir qual sistema de IPMP utilizar. Entretanto, ferramentas IPMP padrão MPEG eliminariam o medo de ficar dependente de uma empresa dominante para a distribuição de conteúdo, propiciando a competição aberta entre os *players* deste mercado.

## **2.4- CORE IP**

Agrupa os canais de vídeo codificados, transportando sobre a rede IP do fornecedor de serviço (Backbone IP da Operadora). São redes preparadas para a transmissão de vídeo, garantido uma QoS (*Quality of service*) que reflita uma QoE (*Quality of Experience*) aceitável pelo usuário, sendo sua qualidade comparada ou superior à das TV a cabo ou via satélite. O core IP ainda contempla os protocolos de transporte, sinalização e multicast.

O Core IP é uma rede, cuja estrutura física de transporte é comumente baseada em fibra óptica, que pode utilizar tecnologia de multiplexação como DWDM. O Core deve ser dotado de implementações de QoS, que possam garantir *jitter*, atraso e, principalmente, a **perda de pacotes** em limites aceitáveis, refletindo uma qualidade de vídeo também aceitável para o usuário final.

O Core IP deverá transportar dois tipos de tráfego específicos: multicast e unicast; onde o multicast é destinado às transmissões ao vivo, e o unicast correspondente aos serviços interativos, ou seja, o serviço de VoD.

#### **2.4.1 – Protocolos de Transporte**

Os protocolos de transporte que podemos programar em uma arquitetura de rede IPTV são: TCP e UDP.

##### **Protocolo de Transporte TCP**

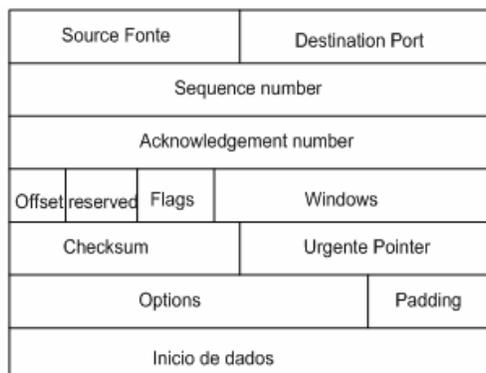
O TCP (*Transmission Control Protocol*) é um protocolo orientado para a conexão que fornece um serviço confiável de transferência de dados fim a fim. Ele interage, de um lado, com processos de aplicações e de outro, com protocolo da camada inter-rede da arquitetura Internet. A interface entre processos de aplicação e o TCP consiste em um conjunto de chamadas semelhantes às que os sistemas operacionais fornecem aos processos de aplicação para manipulação de arquivos. Por exemplo: há chamadas para abrir e fechar conexões e para enviar e receber dados em conexões previamente estabelecidas.

O TCP provê meios para que o receptor possa determinar o volume de dados que o transmissor pode enviar, ou seja, controlar o fluxo dos dados. Isso é muito importante quando esse fluxo de dados for vídeo. O mecanismo de controle de fluxo baseia-se no envio, junto com o reconhecimento, do número de octetos que o receptor tem condições de receber (tamanho da janela de recepção), contado a partir do último octeto da cadeia de dados recebido com sucesso. Com base nessa informação, o transmissor atualiza sua janela de transmissão, ou seja, calcula o número de octetos que pode enviar antes de receber outra liberação.

No receptor TCP, os números de seqüência são usados para ordenar os segmentos que porventura tenham sido recebidos fora de ordem e para eliminar segmentos duplicados.

A unidade de transferência entre o *software* TCP de duas máquinas é chamada de segmento. Os segmentos são trocados para estabelecer conexões, transferir dados, enviar reconhecimentos e fechar conexões. Dado que TCP usa a técnica de *Piggybacking*, um reconhecimento viajando, de uma máquina A à B, pode ir no mesmo segmento de dados que

estão sendo enviados de A a B, embora o reconhecimento se refira a dados enviados da máquina B a A. A figura 2.9 abaixo mostra o segmento TCP.



**Figura 2.9:** Datagrama TCP ([37]).

- Porta fonte e destino: esses campos no cabeçalho TCP contêm os números de portas TCP que identificam os programas de aplicação dos extremos de uma conexão;
- Número de seqüência (32 bits): identifica a posição no fluxo de *bytes* do segmento enviado pelo transmissor. O número de seqüência refere-se ao fluxo de dados que vai na mesma direção do segmento;
- Número de reconhecimento (32 bits): campo que identifica a posição do byte mais alto (ou último byte) que a fonte recebeu. O número de reconhecimento refere-se ao fluxo de dados na direção contrária ao segmento. Os reconhecimentos sempre especificam o número do próximo *byte* que o receptor espera receber;
- *Offset*: contém um inteiro que especifica o início da porção de dados do segmento. Esse campo é necessário, pois o campo *options* varia em comprimento, conforme as opções que tenham sido incluídas. Desse modo, o tamanho do cabeçalho TCP varia dependendo das opções selecionadas;
- RES: reservado para uso futuro.
- *WINDOW*: através desse campo, o *software* TCP indica quantos dados ele tem capacidade de receber em seu *buffer*;
- *URGENT POINTER*: o TCP, através desse campo, permite que o transmissor especifique a urgência de alguns dados, significando que tais dados serão expedidos tão rápido quanto seja possível;

- *OPTIONS*: o *software* TCP utiliza esse campo para se comunicar com o *software* do outro extremo da conexão;
- *CHECKSUM*: é usado para verificar a integridade tanto do cabeçalho como dos dados do segmento TCP;
- *CODE* (6 bits): determina o propósito e conteúdo do segmento.

### Protocolo de Transporte UDP

Streams MPEG são transportados diretamente sobre uma rede IP utilizando UDP/RTP, e como protocolo de multicast utiliza o IGMP. A Distribuição de vídeo sobre redes IP pode ser custosa em termos de banda e recursos de rede. O protocolo UDP é utilizado para comunicações em que não é garantida uma transmissão confiável.

A figura 2.10 abaixo mostra o datagrama UDP:

- Não estabelecer uma conexão prévia para o envio/recepção de dados.
- Os dados são enviados em blocos (*datagrams*).
- Cada *datagram* contém o endereço e a porta de destino.
- Admitem *Multicast* (comunicação um a vários).

Porta de origem	Porta de destino
Tamanho	Checksum
Dados	

**Figura 2.10:** Datagrama UDP ([37]).

- **Porta Origem e Porta Destino:** identificam o processo de aplicação que está enviando dados e o processo de aplicação que irá receber os dados.
- **Tamanho:** representa o tamanho total do *frame* UDP
- **Checksum:** calculado usando o *header* UDP e também a área de dados, e destina-se a verificação de erros de transmissão.

O uso do protocolo de transporte UDP é ideal para transporte de sinais IPTV, em função de não necessitar da confirmação do recebimento do pacote, reduzindo assim o tempo

de resposta e aumentado a velocidade de processamento. Esse protocolo de transporte é utilizado na arquitetura de rede IPTV da operadora em análise.

#### **2.4.2 – Protocolos de Controle**

O fluxo de vídeo do IPTV no core IP, pode ser implementado com os seguintes protocolos de sinalização: RTP e RTSP.

##### **Protocolo RTP**

O RTP ou Protocolo de Transporte em Tempo Real (*Real-Time Transport Protocol*) foi apresentado formalmente em janeiro de 1996, pelo Grupo de Trabalho de Redes (*Networkig Working Group*) do IETF (*Internet Engineering Task Force*), com objetivo de fornecer uma padronização de funcionalidades para os aplicativos de transmissão de dados em tempo-real, como vídeo, áudio, tanto em redes unicast como nas multicast, sem, entretanto garantir a qualidade de serviço QoS ou reservar recursos de endereçamento.

O RTP roda sobre a camada UDP/IP, utilizando os serviços de multiplexação e *checksum* do UDP e estabelecendo uma comunicação fim a fim. As porções de áudio e vídeo produzidas pelo aplicativo remetente são encapsuladas em pacotes RTP que, por sua vez, são encapsulados em um segmento UDP. Entretanto, apesar de utilizar o UDP e o IP, o RTP pode ser implementado em outros ambientes já que necessita apenas de serviços de transporte não orientado. Normalmente, o RTP é implementado como parte da aplicação e não como parte do Kernel do sistema operacional. Basicamente, o protocolo permite a especificação dos requisitos de tempo e conteúdo pertinentes à transmissão de multimídia, tanto no envio quanto da recepção através de:

- Numeração seqüenciada: o RTP atribui número de ordem aos pacotes, podendo ser usado para a verificação das perdas, seqüenciamento e possível redirecionamento de pacotes;

- Selo de temporização (estampilho): possibilita a correta temporização dos pacotes contendo áudio e/ou vídeo;

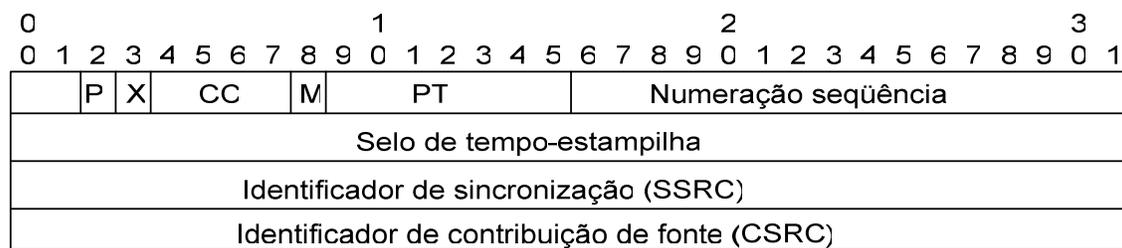
- Envio de pacotes sem retransmissão: característica fundamental das transmissões em multimídia. Pequenas perdas não ofendem a qualidade do envio, e a não retransmissão torna o sistema mais robusto. O RTP apenas permite ao receptor notar as perdas e ou atrasos;

- Identificação de origem: necessário para indicar quem enviou o pacote. Numa conferência multicast, um mesmo fluxo pode ter várias origens.

- Identificação de conteúdo: permite a alteração dinâmica dos vocoders em redes, sem garantia de QoS, em função das perdas e do atraso a fim de melhorar a qualidade final acústica.

- Sincronismo: pacotes de uma mesma corrente podem sofrer diferentes atrasos. A variação desse atraso é prejudicial à reprodução da mídia. Buffers adicionais podem então ser utilizados para eliminar a diferença entre os atrasos (*jitter*). Esses mecanismos processam de informações de tempo de cada pacote. RTP provê esta informação.

O cabeçalho do protocolo RTP tem o mesmo formato mostrado na Figura 2.11 abaixo. Qualquer pacote RTP possui, pelo menos, os doze primeiros octetos. Conforme Quadro abaixo:



**Figura 2.11:** Datagrama RTP ([37]).

**Descrição:**

**V – versão (2 bits):** usado para especificar a versão do RTP.

0: usado para especificar o primeiro protocolo utilizado na ferramenta de áudio “vat”.

1: especifica a primeira versão do RTP utilizada como teste.

2: identifica a versão do RTP especificada na RFC 1889.

**P – Preenchimento/padding (1 bit):** sinaliza a adição de octetos de enchimento adicionais ao conteúdo da carga (payload) sem fazer parte da mesma. O último octeto do preenchimento contém a informação de quantos octetos foram inseridos. Este preenchimento adicional é normalmente utilizado para uso de algoritmos de criptografia de tamanho de blocos fixos ou para transmissão de pequenos conteúdos.

**X – Extensão/extension (1 bit):** com esse bit marcado, é acrescentado uma extensão ao cabeçalho original.

**CC -Contador CSRC/CSRC count (4 bits):** esse campo contém o número de identificadores CSRC.

**M – marcador/marker (1 bit):** Usado para identificar as fronteiras de um quadro numa corrente de pacotes.

**PT – Tipo de carga/payload type (7 bits):** esse campo identifica o formato da carga do pacote RTP como também a determinação de sua interpretação pela aplicação.

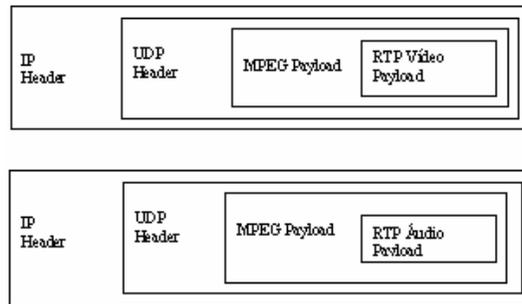
**Numeração seqüenciada/sequence number (16 bits):** a numeração seqüenciada põe em ordem os diversos pacotes de RTP. A cada novo pacote, a numeração é incrementada de uma unidade. Basicamente, esse ordenamento serve para o receptor detectar os pacotes perdidos e restaurar a seqüência de pacotes.

**Selo de temporização\timestamp (16 bits):** esse campo reflete o instante de amostragem do primeiro octeto no pacote RTP.

**SSRC (32 bits):** esse campo identifica a fonte de sincronismo. Essa identificação foi escolhida aleatoriamente tencionando-se que duas fontes de sincronismo com a mesma sessão RTP não teriam o mesmo identificador SSRC.

**CSRC (itens de 0 a 15, 32 bits cada):** a lista SCRC identifica a contribuição da fonte no conteúdo da carga (payload) de cada pacote. O número de identificadores é dado pelo campo CC. Se houver mais de 15 fontes contribuintes, somente 15 serão identificadas.

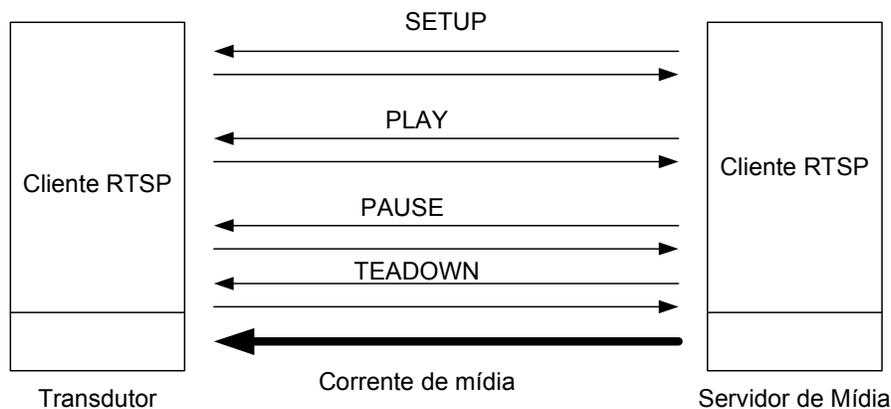
O RTP provê certas capacidades de multiplexação e controle independentes do método de compressão do áudio e vídeo. O RTP adiciona seus próprios timestamps a cada stream de áudio e vídeo independentemente, permitindo a transmissão independente sobre a rede. O receptor usa então os timestamps do RTP para estabelecer o sincronismo entre o áudio e o vídeo recebidos sobre RTP/UDP/IP. O pacote UDP/RTP/IP após encapsulado, segundo a WT-126, possui tamanho de 13262bytes, transportando 7 pacotes de mídia de 188bytes por pacote IP . A figura 2.12 ilustra o encapsulamento UDP/RTP/IP:



**Figura 2.12:** Encapsulamento UDP/RTP/IP ([37]).

### Protocolo RTSP

O RTSP ou Protocolo de Fluxo Contínuo em Tempo Real (*Real-Time Streaming Protocol* - RFC 2326) é um protocolo de domínio público, que permite a interação cliente-servidor entre a fonte do fluxo de mídia a taxa constante (servidor) e o usuário (transdutor). Essa interatividade vem da necessidade de o usuário ter um maior controle sobre a reprodução da mídia. As funcionalidades do RTSP resumem-se às manipulações de execução do arquivo, semelhante às funcionalidades que um aparelho reproduzidor de CD disponibiliza para se ouvir música gravada, ou seja, ele permite que um transdutor controle a corrente de mídia através de comandos de pausa e reinício; retrocesso e avanço rápidos e reposicionamento da reprodução. A figura 2.12 abaixo ilustra o controle RTSP.



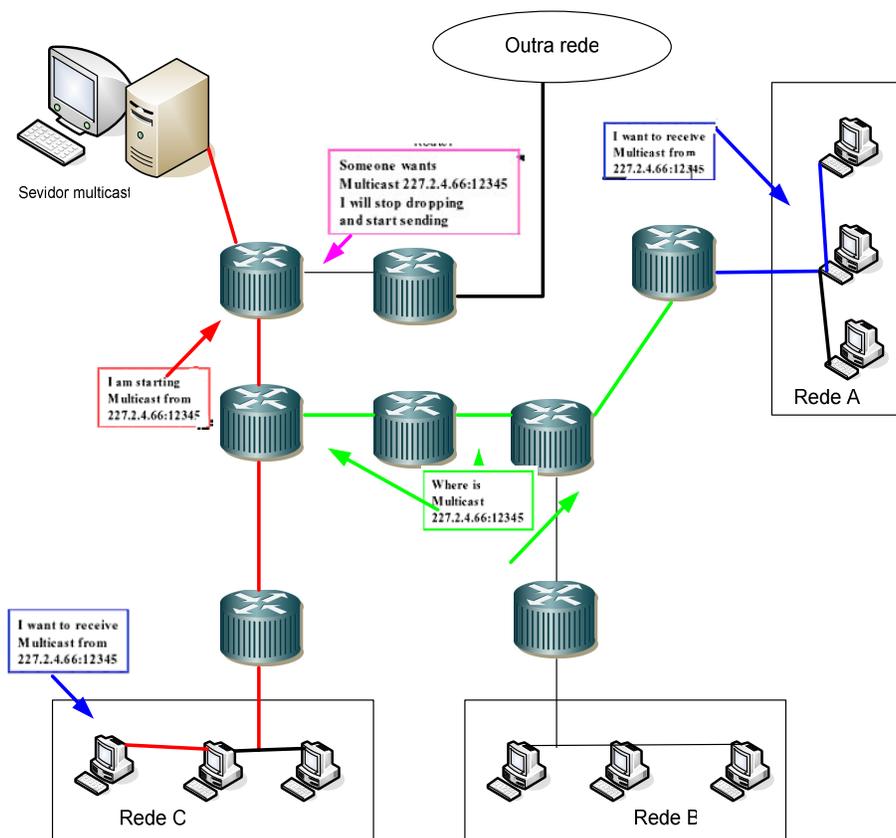
**Figura 2.13:** Controle RTSP ([37]).

### 2.4.3 – Protocolo de Multicast IGMP

O IP Multicast baseado em IGMP (*Internet Group Management Protocol*) possibilita maior eficiência na utilização da rede. O IGMP permite a distribuição de conteúdo a grande número de usuários, sem causar impacto na rede, pois o tráfego é enviado somente a um GDA

(*Group Destination Address*). Os clientes utilizam o IGMP para se registrar e receber um determinado grupo multicast.

Através do IGMP, o cliente manifesta a intenção de se juntar, aceitar ou deixar um *streaming* do grupo multicast. Somente clientes registrados para um GDA específico são influenciados pelo tráfego multicast. Usando o protocolo IGMP, um transmissor envia um stream e mensagens adicionais de controle ao próximo roteador da subnet. Esse, ao receber a informação, cria um GDA que é definido por um endereço IP Classe D (Range entre 224.0.0.0 e 239.255.255.255). O roteador, então, verifica se existe algum *host* ou roteador para esse grupo. Se não houver cliente, descarta os pacotes. Ver figura 2.14 abaixo:



**Figura 2.14:** Funcionamento do IGMP (Adaptado de [33]).

Se, entretanto, houver um cliente, mesmo localizado em uma outra rede, os seguintes procedimentos ocorrem conforme ilustrados na figura acima:

- O receptor envia um endereço IP multicast dedicado a todos os roteadores da subrede, solicitando um *join* ao grupo multicast;

- Se o roteador na subrede reconhece o grupo, inicia o envio de pacotes ao solicitante. Se o roteador não reconhecer o grupo IGMP, envia uma mensagem para os demais roteadores procurando pelo grupo;
- Os roteadores comunicam-se através de protocolos de roteamento adaptados para multicast, como o MOSPF, DVMRP ou PIM (padrão de fato utilizado atualmente);
- Quando o grupo de multicast é encontrado, o outro roteador age como fonte, enviando um *stream* duplicado para o roteador solicitante.
- O protocolo IGMP tem três versões: v1 (RFC 1112) e v2 (RFC 2236) e, mais recentemente, a v3.

O IGMPv1 trabalha com duas mensagens básicas: Query e Report. Periodicamente (default = 60 s), o roteador que figura como fonte do *stream* envia uma Query a todos os *hosts* da subrede. Esses recebem a mensagem e aquele que requer o *stream* envia um Report avisando a todos os roteadores que existe pelo menos um *host* requerendo o *stream*. Os demais *hosts* também recebem a mensagem de Report e, assim, se abstêm de gerar a mesma mensagem, caso também estejam requisitando o mesmo grupo, o que reduz o total de tráfego na rede. Um *host* também pode mandar um Report sem recebimento da Query (*unsolicited report*).

O IGMPv1 não possui mensagem de *Leave*, para deixar o grupo multicast; ele simplesmente cessa o envio de Reports, de forma que o roteador de origem (Querier) somente percebe que não há mais solicitantes quando pára de receber Reports.

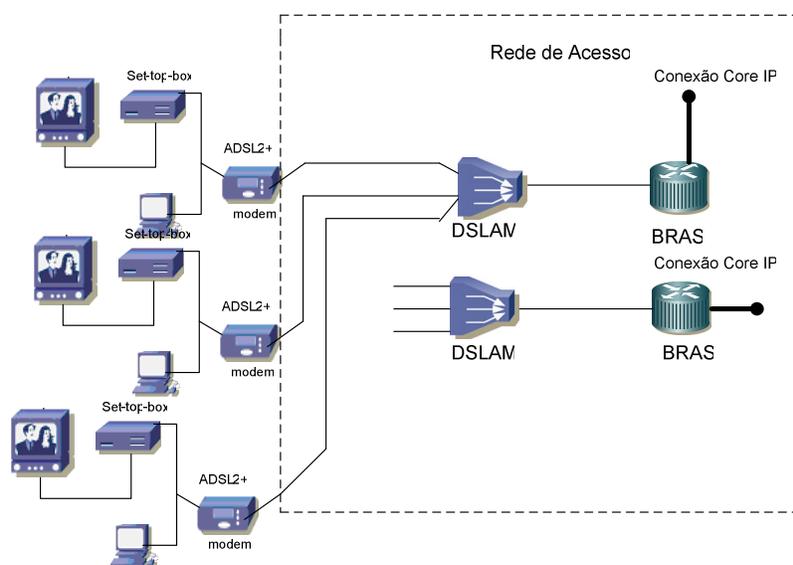
O IGMPv2 possui algumas *features* mais aprimoradas. A mensagem de Query pode ser geral ou específica por um certo grupo multicast. Os reports podem ser para a versão 1 ou para a versão 2, para manter compatibilidade com o IGMPv1. Além disso, existe uma mensagem explícita de *Leave* enviada pelo host, sinalizando seu desejo de interromper o recebimento de tráfego do grupo multicast.

A versão mais recente é o IGMPv3, que suporta *source filtering*, possibilitando que o *host* terminal receba, somente, pacotes multicast de origens especificamente selecionadas. Na prática, a versão mais utilizada nas arquiteturas de rede IPTV é a versão 2, recomendada pelo DSL Forum na recomendação H.610.

## 2.5- REDE DE ACESSO

A rede de acesso faz parte da arquitetura de uma rede IPTV, representando a ligação do fornecedor de serviço (operadora de telecom) à casa do usuário, ou seja, "a última milha". A conexão do usuário pode ser realizada com a utilização de várias tecnologias de rede de acesso. As operadoras de telecomunicações estão utilizando a tecnologia DSL (linha digital de assinante); também estão começando a usar a tecnologia de fibra, como redes PON (*networking ótico passivo*), e Metro Ethernet, permitindo estender distâncias e aumentar velocidade.

Neste trabalho considera-se, para rede de acesso, a utilização da tecnologia ADSL2, aproveitando infra-estrutura de rede metálica. Pode, a depender do comportamento e da demanda do serviço IPTV, futuramente podermos ter implementação de redes de acesso tipo PON e Metro Ethernet. Neste trabalho toda pesquisa é baseada em rede de acesso ADSL2, cuja topologia de rede é representada na figura 2.15:

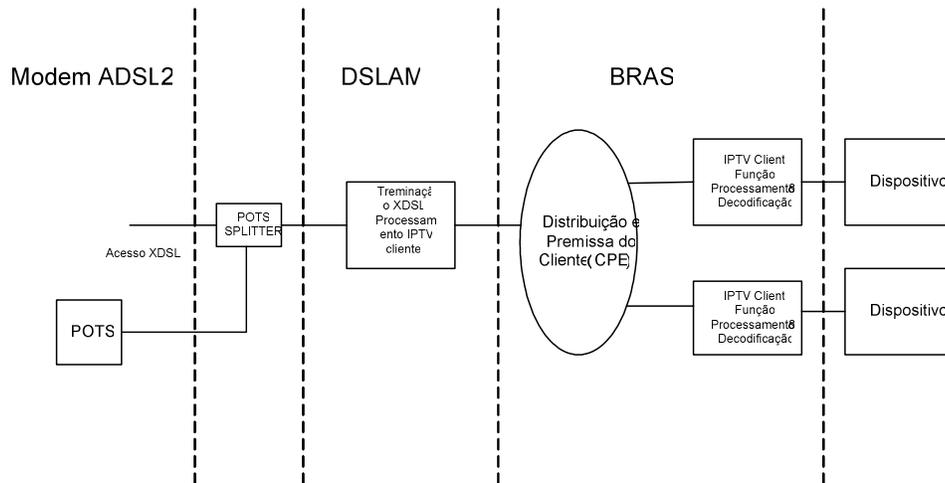


**Figura 2.15:** Rede de acesso ADSL (Adaptado de [15]).

O DSLAM (*Digital Subscriber Access Multiplexer*) conecta os usuários através do par telefônico, e possui conectividade com o BRAS (*Broadband remote Access server*); sua saída pode ser ATM, Ethernet ou Gigabit Ethernet, de acordo com a tecnologia a ser utilizada. A operadora em análise conta com as tecnologias ATM, Ethernet e Gigabit Ethernet. O BRAS pode terminar sessões PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet), aplicar políticas de tráfego, fornecer o endereço IP, etc. O BRAS é conectado diretamente ao Core IP. O BRAS

realiza toda a concentração de usuário ADSL2, atendendo o IPTV em uma dada região, em função da demanda, existe a necessidade de termos mais de um BRAS por localidade.

A rede de acesso para uma arquitetura de distribuição de IPTV sobre ADSL, segue a recomendação H.610 do ITU, conforme figura 2.16 :

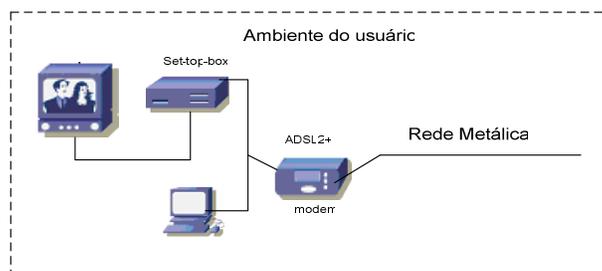


**Figura 2.16:** Recomendação ITU ([14]).

É baseada na arquitetura de distribuição xDSL, a arquitetura do sistema e o equipamento do cliente definem uma arquitetura de alto nível padrão para a entrega de vídeo, dados, e dos serviços da voz. Nessa arquitetura, o sinal de telefone, ou seja, a porta do telefone (POTS) é preservada, e com um filtro chamado *splitter* (divisor) irá multiplexar os sinais de IPTV e voz em um mesmo par metálico. Preservando o serviço telefônico juntamente com o serviço IPTV e dados.

## 2.6- AMBIENTE DE USUÁRIO

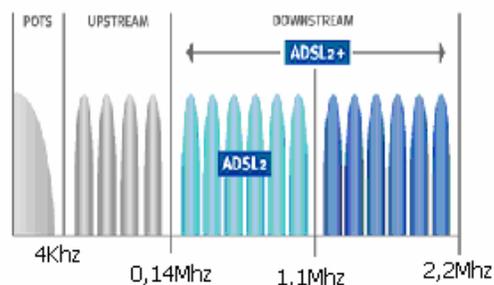
O ambiente de usuário contém: o modem ADSL2plus, o Set-Top-Box (STB), seu microcomputador e sua TV, conforme figura 2.17:



**Figura 2.17:** Ambiente de usuário (Adaptado de [15]).

### Modem ADSL2/ADSL2+:

É uma das opções quando a tecnologia de acesso for xDSL, que é objetivo de análise nesse trabalho. O modem permite velocidade de até 24Mbps em Downstream e 1 Mbps para Upstream. O Modem se conecta a linha telefônica, preservando o canal de voz de 4 KHz; Como a rede conectada ao modem é metálica, devemos ficar atentos quanto aos limites estabelecidas em relação à distância do usuário até o DSLAM, de forma a termos uma qualidade de vídeo adequada. Nesse trabalho, a linha ADSL2 com IPTV estará em condições de máxima distância e atenuação, para obtenção da perda máxima admitida na rede, sem comprometer a qualidade do vídeo. A figura 2.18 mostra a banda utilizada pelo ADSL:



**Figura 2.18:** Banda do ADSL2/ADSL2+ ([11]).

### Set-top box:

Elemento terminal de usuário que irá converter os *streams* de vídeo para uma saída de vídeo composto ou outra qualquer, de acordo com o padrão do aparelho de TV do usuário. Geralmente é baseado em tecnologia de PC, podendo incorporar interfaces xDSL para conexão direta a DSLAM's, sem necessidade de *modems* ADSL externo. Ele ainda possui funções de gravação e reprodução de som e vídeo, suportando mídias como DVD e MP3. Deve permitir a autenticação da mídia recebida e controlar o tempo de permanência desta mídia no disco interno.

A qualidade do sinal de vídeo está intimamente ligada a qualidade do set-top-box, que a existência de um buffer adequado permitirá suportar “jitters” variados. O *Set-top-box* terá um software compatível com o Middleware do Headend possibilitando o controle e a oferta dos serviços IPTV na casa do cliente.

## 2.7- INSTÂNCIAS DE ARQUITETURAS DE REDE IPTV

Analisamos todos os componentes de uma arquitetura de rede IPTV, desde o headend ao ambiente do usuário. Observamos um conjunto de particularidades, que possibilita implementar diferentes instâncias de arquitetura IPTV. Porém, deve se utilizar a instância que atenda aos requisitos do usuário e do provedor, possibilitando garantir a continuidade do serviço IPTV. A tabela 2.1 abaixo mostra algumas instâncias que podemos utilizar.

INSTÂNCIA	Distribuição do Headend	Protocolo de Transporte		Protocolo de Controle	Compactação	
		TCP	UDP	RTP	MPEG-2	MPEG-4
A	CENTRALIZADA	●			●	
B	DESCENTRALIZADA		●	●		●
C	CENTRALIZADA		●	●	●	●
D	DESCENTRALIZADA	●			●	

**Tabela 2.1:** Instâncias de Arquiteturas IPTV.

Vamos fazer uma análise quanto ao consumo do protocolo, atraso, custo de transmissão na implementação de arquitetura do headend. Para análise do consumo do protocolo, o pacote IP analisado transporta sete pacotes de mídia de 188bytes, ou seja, 1316 bytes conforme WT-126. A tabela 2.2 expressa esse resultado:

INSTÂNCIA	Overhead do protocolo [byte]	Consumo do protocolo /pacote IP[ 1316 bytes ]
A	44	3,34%
B	40	3,03 %
C	40	3,03 %
D	44	3,34%

**Tabela 2.2:** Comparativo entre as Instâncias de arquiteturas IPTV.

O custo de transmissão está relacionado com a taxa de transmissão necessária, quanto maior a taxa, maior será o custo. Logo, protocolos que possuem overhead maior vão necessitar de uma taxa de transmissão maior, portanto maior seu custo de transmissão. Quando temos uma distribuição de vídeo centralizada, todo conteúdo solicitado pelo usuário percorre todo o caminho do centralizado até a “última milha”, e às distâncias são maiores. Já na distribuição descentralizada, temos headend regionais onde o conteúdo solicitado percorre distâncias menores, logo temos um delay menor.

Na rede da operadora em análise é adotada a instância B, atende à recomendada pela WT-126, no tocante ao protocolo de transporte e multicast.

Na compressão do sinal de vídeo é utilizado o MPEG-4 parte 10 (H.264), que permite comprimir com qualidade para transmissão a uma taxa de 2Mbps, aproveitando ao máximo a infra-estrutura metálica. Ela apresenta ainda menor tempo de atraso, em relação ao fato da distribuição do headend ser descentralizada, a requisição do vídeo pelo usuário passa ser local, conforme visto na distribuição do headend.

## 3 - QUALIDADE DE SERVIÇO NO CORE IP

### 3.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo irá apresentar as métricas de qualidade de serviço e os mecanismos de qualidade de serviço que podem ser aplicados em uma arquitetura de rede IPTV, apontando aquele mais indicado. Na arquitetura de rede IPTV, estudada no capítulo 2, verifica-se que a entrega do respectivo serviço ao usuário final requer um trabalho árduo, já que essa rede é complexa, pois além dos serviços de vídeo, oferta o serviço de Internet e voz. O serviço de vídeo requer certos cuidados, desde sua geração até a sua entrega ao usuário final da rede, principalmente no tocante à perda de pacotes. Portanto, existe a necessidade de diferenciar o serviço de vídeo do serviço de Internet, em nível de prioridade de descartes.

Uma forma de fazer essa diferença é oferecer, ao serviço de vídeo, garantias de entrega, que permitirão uma perfeita reprodução pelo usuário final. O sinal de vídeo é sensível ao *delay*, *jitter*, e principalmente a **perda de pacotes**. Desse modo, são parâmetros que devem ser garantidos, sendo a perda de pacote relacionada com o *jitter* e a banda disponível no trajeto de rede IPTV. Para a garantia dos parâmetros de qualidade de vídeo, deve-se implementar mecanismos de qualidade de serviço, que irão permitir a diferenciação entre o pacote de vídeo e o pacote de dados comum (serviço Internet), garantindo as políticas de descarte de pacotes.

Entre os mecanismos de QoS Intserv (*Integrated Service*) e Diffiserv (*Differentiated Services*), esse último é o mais recomendado para redes IPTV, de acordo com a WT-126, Version 0.5, February 21, 2006. Neste trabalho, fez-se um pequeno e breve estudo do Intserv neste capítulo, com ênfase maior no Diffiserv. A qualidade de serviço no contexto do IPTV representa a forma pela qual o pacote de vídeo terá privilégio e garantias sobre o pacote de dados comum, permitindo uma percepção adequada na imagem do vídeo e obedecendo ao nível de descarte mínimo permitido na rede.

### 3.2 - MÉTRICAS DE QOS

Uma métrica de QoS representa um parâmetro do pacote de vídeo IPTV, que estará sendo garantido fim a fim na rede IPTV, transportado em redes ADSL. Aqui, são mostradas métricas de QoS; porém, o objeto de maior análise é a perda de pacotes, na qual pondera-se a qualidade de vídeo por essa métrica. As métricas de QoS são: retardo fim-a-fim; **taxa de perdas de pacotes**; banda de rede ocupada (vazão); “*jitter*”.

## **Retardo fim-a-fim**

As métricas relacionadas com o atraso em redes IPTV estimam o tempo gasto para um pacote sair de sua origem (*headend*) e chegar ao seu destino (*set-top-box*). No entanto, diversos problemas devem ser considerados para se estimar esse parâmetro, como por exemplo, a falta de sincronia e as diferentes taxas de crescimento dos relógios do transmissor e receptor.

## **Taxa de perdas de pacotes**

A sensibilidade das aplicações de vídeo, em relação ao número de **pacotes perdidos**, motiva o estudo dessa métrica, sendo a que mais afeta a qualidade de vídeo, principalmente para o IPTV. Obviamente, todas as aplicações são sensíveis à perda de pacotes e, em especial, ao vídeo. Essas perdas são recuperadas via retransmissão; entretanto, aplicações como as de transmissão de vídeo em tempo real (IPTV ao vivo) não permitem que haja retransmissão, tornando-as particularmente sensíveis a perdas.

Assim, é importante conhecer as características de perda e analisá-las, encontrando a perda máxima permitida em uma arquitetura IPTV, para que o serviço possa ainda ser aceito pelo usuário final. Isso permite a ponderação da qualidade do vídeo em função da perda de pacotes e a definição das políticas de descarte, empregadas nos mecanismo de QoS estudados mais adiante.

## **Banda de rede ocupada (vazão)**

Largura de banda é uma medida de capacidade de transmissão de dados, normalmente expressa em kbps ou Mbps. A largura de banda indica a capacidade máxima de transmissão teórica de uma conexão IPTV. Entretanto, na medida em que a taxa de transmissão utilizada se aproxima da “largura de banda” teórica máxima, fatores negativos, como atraso na transmissão das informações, podem causar deterioração na qualidade da imagem do IPTV, refletindo na entrega ao usuário final. Essa métrica, não garantida, está ligada à perda de pacotes, o que ocorre sempre que há congestionamento do caminho de rede.

## **Jitter**

Jitter é o intervalo entre a chegada de dois pacotes IPTV consecutivos, em relação ao intervalo de sua transmissão. Diferente do atraso fim-a-fim, se os instantes de envio forem conhecidos ou o intervalo entre eles for constante, essa métrica não possui problemas para ser

estimada entre máquinas com relógios não sincronizados. Uma vez não garantindo o *jitter* adequado, o mesmo irá provocar a perda de pacotes, em função, por exemplo, de *bufferr* congestionado ao longo do trajeto da rede IPTV.

### **3.3 - MECANISMO DE QOS INTSERV**

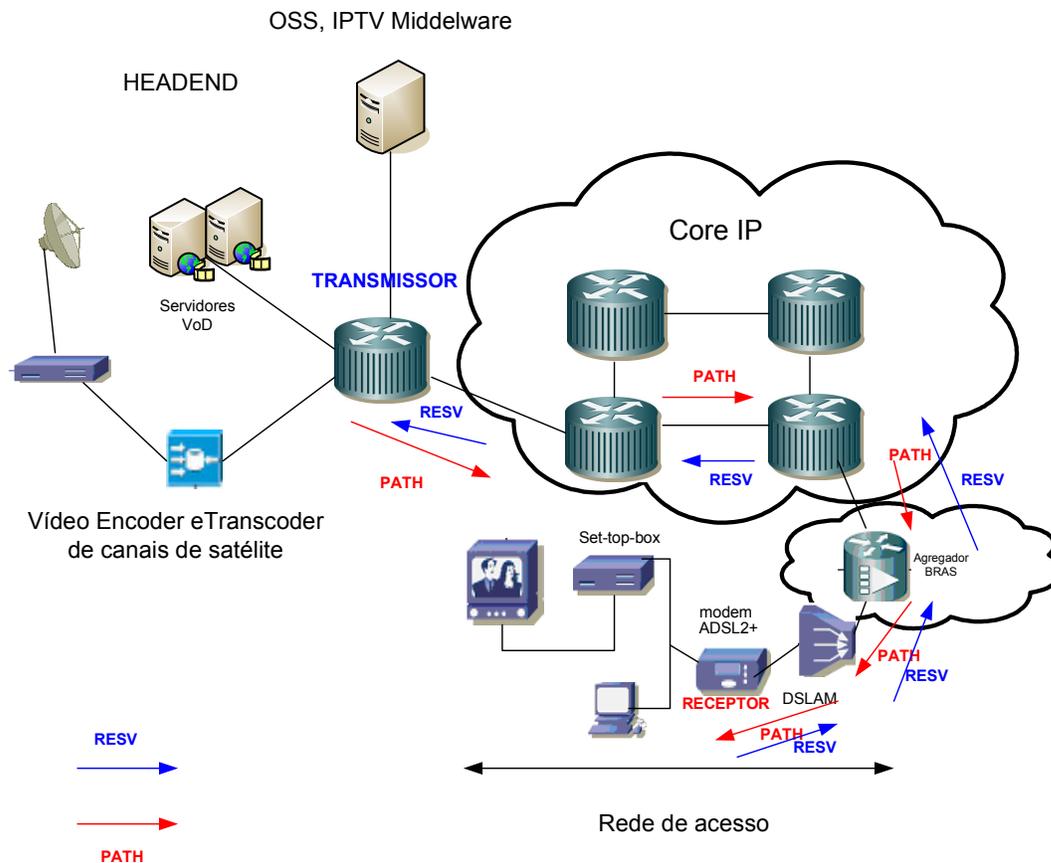
O modelo de qualidade de serviço é caracterizado, essencialmente, pela reserva de recursos (largura de banda, atraso e *jitter*), antes do estabelecimento da comunicação, ou seja, antes que o usuário final requisite um filme ao *headend*, em uma arquitetura de rede IPTV. Esse serviço utiliza o protocolo de sinalização RSVP, o qual é abordado a seguir com mais detalhes. Na sinalização RSVP, existe troca de mensagens de controle entre emissor (*headend*) e receptor (*ste-top-box*), de forma que, num determinado período de tempo, se possa alocar uma faixa da largura de banda para a transmissão do sinal IPTV.

As aplicações do IPTV que exigem banda, *delay*, *jitter* e baixa perda de pacotes, de tal forma que a implementação do mecanismo de QoS é baseada em: protocolo de sinalização (RSVP); rotina de controle de admissão; classificador e escalonador de pacotes.

Esses componentes têm por função organizar os pacotes IPTV de forma que a Qualidade de Serviço seja aplicada.

#### **3.3.1 - Resource Reservation Protocol (RSVP)**

O RSVP é usado para gerenciar recursos ao longo do caminho no qual se deseja utilizar aplicações que necessitem de QoS (IPTV). Ele não realiza transporte de dados; é apenas um protocolo de sinalização que atua juntamente com o ICMP (*Internet Control Management Protocol*) e IGMP (*Internet Group Management Protocol*). O processo de sinalização se dá antes da transmissão de dados IPTV e é renovado sempre que necessário. Para haver a requisição dos recursos, mensagens são trocadas entre o receptor e o transmissor; são elas: PATH e RESV. Vai analisar-se um único usuário baixando um filme IPTV, conforme figura 3.1 mostrada a seguir:



**Figura 3.1:** Funcionamento do RSVP (Adaptado de [15,42]).

A mensagem **PATH** é enviada pelo transmissor (roteador conectado ao VoD e Encoder), informando para o endereço de destino (unicast ou multicast) e especificações de tráfego, isto é, largura de banda, *delay* e *jitter*. Cada roteador, ao longo do caminho com RSVP habilitado, estabelece, então, um **PATH-state**. As mensagens desse tipo armazenam o estado de cada nó por onde transitaram, fornecendo também o endereço do próximo *hop*.

Quando a **PATH** chega no receptor (modem ADSL), esse analisa as informações contidas na mensagem e seleciona os parâmetros de reserva desejados. Inicia-se, assim, o procedimento de reserva de recursos através da mensagem **RESV**. Essa mensagem é enviada de volta aos roteadores, estabelecendo um **RESV-state**. Além das especificações do tráfego contidas no **PATH-state**, o **RESV** contém especificações de pedido, que indicam que tipo de serviço, dentro do IntServ, está sendo requerido (carga controlada ou serviço garantido), bem como especificações de filtro, que caracterizam os pacotes para os quais a reserva é feita.



## **Classificador**

Com a introdução dos parâmetros de QoS no pacote IPTV, foi necessária uma forma de classificação mais específica dos pacotes. Além da análise do endereço do destino, também foi considerado a porta e número de protocolo.

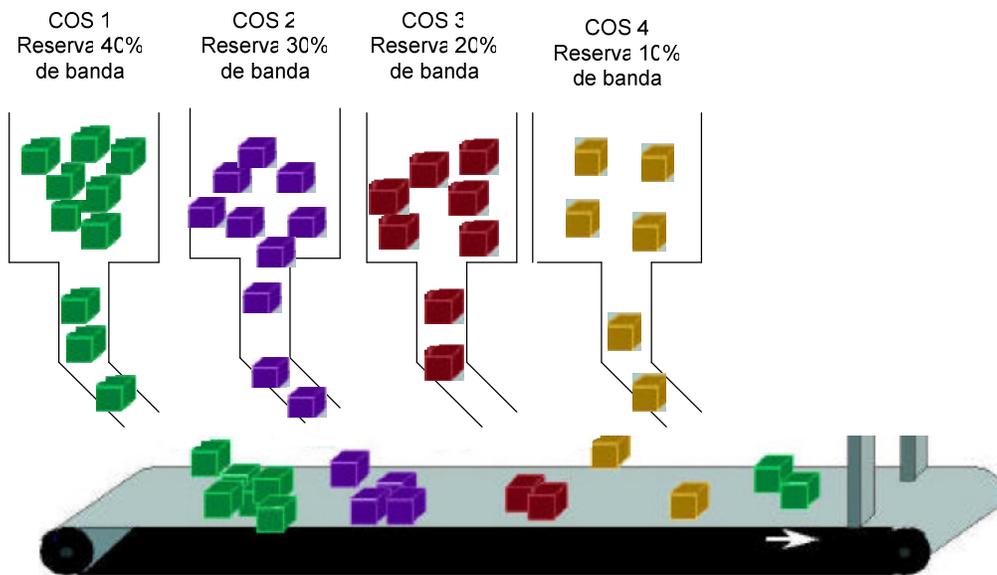
Os pacotes são marcados de modo que a se reservar banda para determinado fluxo IPTV, solicitado pelo usuário final. Esse vai ser atendido de acordo com sua prioridade de fila dentro do roteador e sua prioridade de descarte em função da perda de pacote. Quem cuida das prioridades da fila é o escalonador, que implementa algoritmos que selecionam os pacotes que serão atendidos. Isso, é claro, ocorre de acordo com a complexidade do algoritmo e marcação dos pacotes, principalmente os pacotes que serão marcados para descarte.

Existindo dois fluxos com a mesma classificação, se o estilo de reserva permitir, eles se unirão. Caso contrário um dos fluxos será tratado de forma específica.

## **Escalonador**

Como foi citado acima, o papel do escalonador é estabelecer políticas de enfileiramento e prevenção de congestionamento nas interfaces dos roteadores e *switches* de nível 3, aqueles que também roteiam, para atender as prioridades do fluxo. O escalonador trabalha com algoritmos que fazem tais implementações de acordo com a necessidade de QoS para determinados serviços. Entre os algoritmos de enfileiramento, destaca-se o WFQ e o PQ.

O WFQ (*Weighted Fair Queueing*), onde é possível ponderar os tipos de fluxo, isto é, onde são associados pesos para determinados tipos de fluxo, também de acordo com as prioridades de cada um. Ele trabalha da seguinte forma: o WFQ coloca para o início da fila o tráfego que tem maior prioridade, reduzindo o tempo de resposta desse fluxo. Ao mesmo tempo, o WFQ compartilha banda com outros fluxos de menores prioridades, porém alocando uma largura de banda menor, já que os de menor prioridade têm também menor peso junto ao WFQ. Este algoritmo se adapta automaticamente às mudanças das condições de tráfego. A figura abaixo ilustra o WFQ. A figura 3.3 abaixo mostra o WFQ:



**Figura 3.3:** Funcionamento Weighted Fair Queueing (Adaptado de [32]).

Ao utilizar-se PQ (*Priority Queueing*), o tráfego de entrada é classificado em quatro níveis de prioridade: alta, média, baixa e normal.

Os pacotes que não são marcados levam configuração default, isto é, são tratados de acordo com a prioridade normal. Neste mecanismo, o tráfego classificado e marcado como prioritário tem preferência absoluta em relação a outros fluxos. Essa é uma das desvantagens do PQ, pois pode causar um aumento de *jitter* e atrasos consideráveis em aplicações de menor prioridade. Numa situação extrema, pode acontecer até de um fluxo com menor prioridade nunca chegar a ser enviado, se o fluxo de maior prioridade ocupar toda largura de banda. Isso pode ocorrer em conexões de baixa velocidade.

### 3.3.3 - Conclusões sobre o Intserv em arquitetura IPTV

No estudo do mecanismo Intserv em redes IPTV, observou-se e comprovou-se que não se utiliza esse mecanismo para oferecer a qualidade de serviço em uma arquitetura de rede IPTV e até mesmo em redes IP, confirmado por que esse esquema de QoS não é recomendado pelo WT-126 [20] em redes IPTV. São as seguintes desvantagens do Intserv :

- A quantidade de informações de controle do RSVP aumenta com o aumento de usuários conectados ao *headend*, ou seja, quanto mais usuários conectados a um fluxo IPTV, maior a quantidade de mensagens de controle. Dessa forma, aumenta o

consumo de memória dos roteadores na rede IPTV, aumentando também o consumo de CPU dos roteadores envolvidos.

- Todos os roteadores devem implementar RSVP, controle de admissão, classificação e escalonamento de pacotes em todos os elementos da rede IPTV: transmissores, receptores e roteadores; dessa forma, problemas de escalabilidade são previsíveis, a medida que aumenta o número de elementos na rede.

### **3.4 - MECANISMO DE QOS DIFFERENTIATED SERVICES**

#### **3.4.1 – Introdução**

O mecanismo de qualidade de serviço Diffserv (*Differentiated Services*) é um modelo proposto pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*), no ano de 1994. É destinado ao tráfego de voz e vídeo, sendo um mecanismo de QoS recomendado para redes IPTV sobre ADSL, de acordo com as recomendações da WT-126.

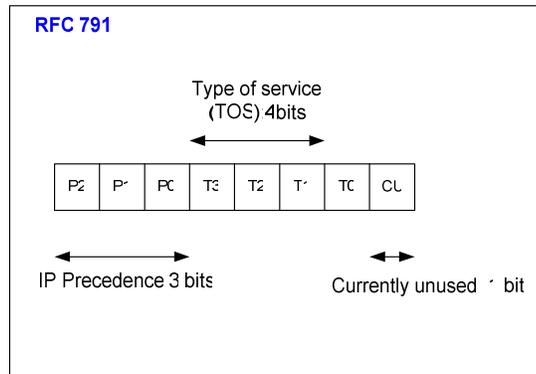
No Diffserv, ao contrário de Intserv, os pacotes são previamente marcados, de acordo com os tipos de serviços desejados. Neste estudo, o IPTV é o tráfego de maior interesse para o atendimento da QoS. Na realidade, o Diffserv não necessita estabelecer caminhos antes da transmissão do IPTV, pois existe um campo de oito bits no cabeçalho do protocolo IP, os quais foram utilizados para definição da prioridade e a classe do pacote IPTV.

#### **3.4.2 - Mecanismo**

No cabeçalho do IP, há um campo de oito bits, que era chamado de ToS (*Type of service*) e não era muito utilizado. Na verdade, o ToS, inicialmente definido e reservado para indicar tipos de serviços, nunca foi utilizado de fato para nenhuma implementação. Com a introdução da qualidade de serviço, foi necessário um tratamento mais específico, fazendo com que os pacotes fossem classificados para se obter funcionalidades para o pacote IP.

Esse campo mudou para DS (*Differentiated Services Field*), em virtude da aplicação dos serviços e tratamento que pode ser dado a ele.

A arquitetura Diffserv irá prover o pacote IPTV de prioridade e classe de serviço como: perda de pacotes, *delay* e banda. A figura 3.4 a seguir mostra o campo TOS sendo utilizado para o mecanismo de QoS na RFC 791.

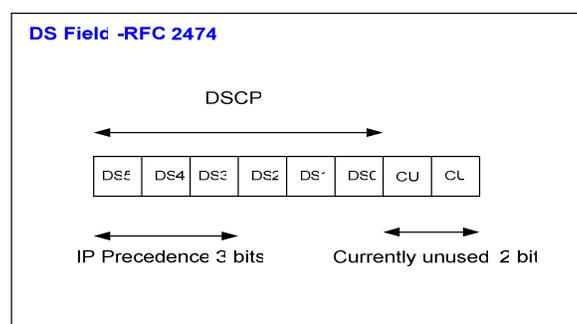


**Figura 3.4:** Campo ToS RFC 791 ([42]).

O **IP Precedence** são três bits que podem ser classificados de 0 a 7, de acordo com a prioridade do fluxo de pacotes, isto é: se um pacote tem prioridade 7 (serviço de missão crítica), e outro com prioridade 5, com certeza o de maior prioridade será atendido.

Outro caso é quando se tem um pacote marcado com valor zero: este receberá prioridade mais baixa, podendo nunca ser atendido. Há, também, mais quatro bits reservados para o **ToS field**, que vão tratar exatamente de: *delay*, *throughput* e *reability*. Os bits 6 e 7 quase não são usados, servindo também para aplicações de controle e gerência da rede.

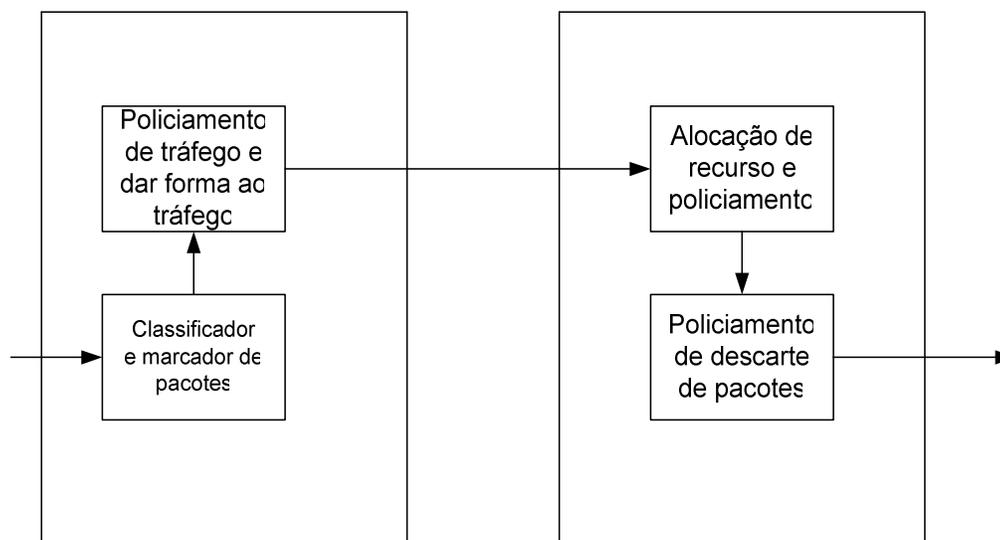
Como foi citado acima, o bit 7 não é usado; por isso, o nome de CU (*Currently Unused*). Cada campo DS abaixo corresponde a um tratamento diferente de encaminhamento (PHB - Per Hop Behavior); será tratado posteriormente. Esse caminho é marcado através do DSCP (*Differentiated Selector Codepoints*). Os roteadores ordenam os pacotes de entrada em diferentes classes de encaminhamento, de acordo com os valores correspondentes de DS Field. O DSCP preserva o IP Precedence e os PHBs, porém não valor do ToS. Veja figura 3.5 abaixo:



**Figura 3.5:** Campo DS Field- RFC 2474 ([42]).

### 3.4.3 - Modelo de operação do Diffserv

A figura 3.6 abaixo mostra o modelo de operação do mecanismo de QoS , apontado para arquiteturas de rede IPTV sobre redes ADSL:



**Figura 3.6:** Modelo de operação do Diffserv ([42]).

#### Classificadores e Condicionadores de tráfego

O modelo Diffserv usa condicionadores (*Traffic Conditioners -TC*) para moldar o tráfego, marcá-lo e descartá-lo, se necessário. Essas operações são essenciais para que o tratamento diferenciado do pacote IPTV possa ser realizado em uma rede DiffServ. Para entender o funcionamento de um condicionador de tráfego, é importante compreender a função de um classificador e a definição de perfil de tráfego.

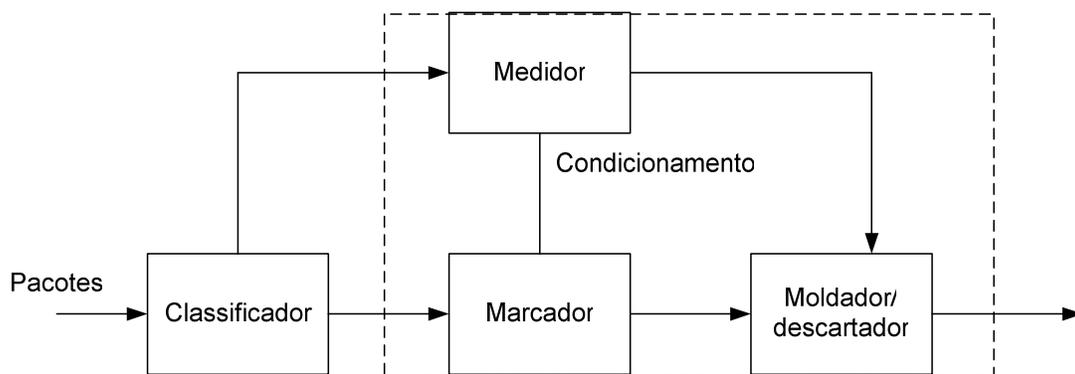
**O classificador** classifica os fluxos de entrada com base no conteúdo do cabeçalho do pacote IPTV e/ou em diferentes atributos do pacote que podem ser implicitamente derivados.

**O perfil de tráfego** especifica as propriedades temporais de um tráfego selecionado por um classificador. Possui regras que permitem determinar se um determinado pacote está ou não em conformidade com um determinado perfil (*in-profile* ou *out-profile*).

Um condicionador de tráfego pode ser formado pelos seguintes elementos: medidor, marcador e moldador/descartador. Um fluxo apropriadamente selecionado pelo classificador é conduzido ao bloco medidor ou marcador. O medidor é usado para comparar o tráfego com o

perfil de tráfego contratado. O estado do medidor em relação a um determinado pacote (*inprofile/ out-profile*) pode ser usado para executar uma das seguintes operações: marcação, descarte ou moldagem. Na saída do condicionador de tráfego de um nó DiffServ de borda, o pacote deve estar com o DSCP apropriadamente configurado. A figura abaixo apresenta os principais elementos de um condicionador de tráfego.

É importante ressaltar que o condicionador de tráfego não tem necessariamente que conter os quatro elementos. Por exemplo: um cenário de rede no qual não é definido um perfil de tráfego, os pacotes irão passar apenas pelo classificador e pelo marcador. Veja figura 3.7 abaixo:



**Figura 3.7:** Diagrama de blocos de classificação de pacotes (Adaptado de [32]).

Os medidores comparam as propriedades temporais de um fluxo selecionado pelo classificador com o perfil de tráfego especificado do TCA (*Traffic Conditioning Agreement*). O TCA é um acordo que especifica as regras de classificação de pacotes e perfis de tráfego correspondentes. Especifica, também, regras de condicionamento de tráfego a serem aplicadas aos respectivos fluxos, selecionados pelo classificador (inclui as regras explicitamente indicadas num SLA e regras implícitas derivadas dos requisitos do serviço e/ou das políticas de provisão de serviços no domínio). O medidor passa informações para os outros condicionadores de tráfego, para que a ação apropriada seja tomada em relação ao pacote.

Os marcadores marcam o campo DSCP de um pacote com um determinado código, adicionando o pacote marcado a um determinado agregado. Um marcador pode ser configurado para marcar todos os pacotes com o mesmo código, ou marcar o pacote com um dos vários códigos usados para selecionar um PHB de acordo como o estado do medidor. Quando um marcador muda o código de um pacote, ele está remarcando o pacote.

Os moldadores atrasam alguns ou todos os pacotes para atender as especificações do perfil de tráfego. Um moldador possui um *buffer* de tamanho finito, e os pacotes podem ser descartados se não houver espaço suficiente no *buffer* para segurar pacotes atrasados.

O bloco descartador descarta os pacotes para atender as especificações do perfil de tráfego. Este processo é conhecido como policiamento. O bloco mais importante de um condicionador de tráfego é o marcador. A função destes mecanismos é marcar o tráfego de acordo com o perfil contratado pelo usuário. O comportamento dos marcadores tem grande impacto no nível do serviço em relação à largura de faixa obtida por um fluxo TCP que atravessa um domínio Diffserv.

A justiça na distribuição de largura de faixa varia de acordo com o marcador utilizado e o cenário de análise. Por exemplo: fluxos TCP com expectativas de serviços diferentes e a presença de fluxos insensíveis a congestionamento (não-adaptativos) conduzem a uma distribuição da largura de faixa excedente (largura de faixa não contratada) de forma injusta.

### **Marcadores de tráfego**

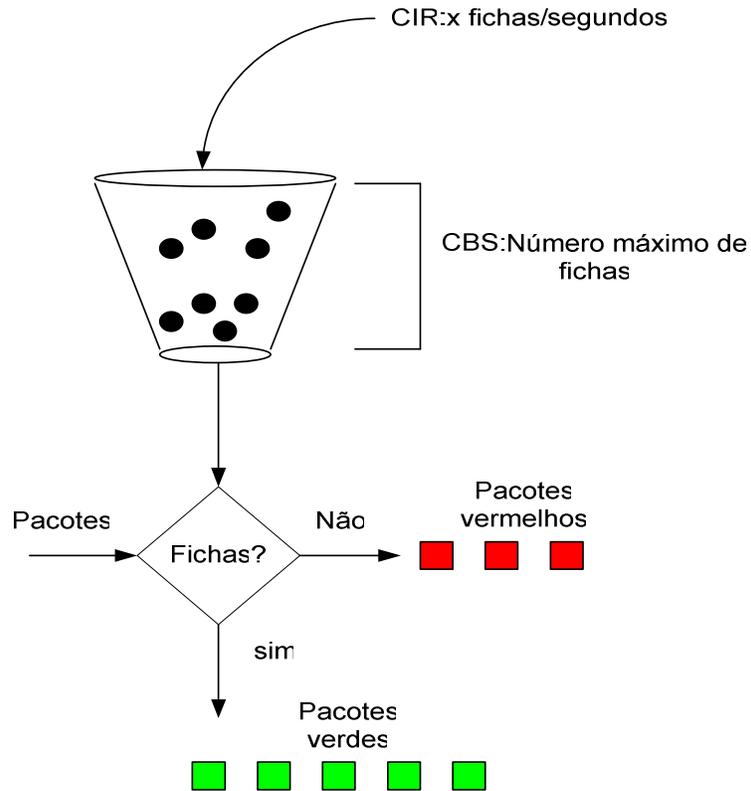
Os marcadores são responsáveis por marcar os pacotes que chegam ao roteador de acordo com o perfil de serviço contratado pelo usuário. O tráfego que estiver de acordo com as especificações do perfil de serviço é marcado com baixa prioridade de descarte e recebe um melhor atendimento. Por outro lado, o tráfego que não respeitar o perfil de serviço é marcado com alta prioridade de descarte e recebe um serviço de “melhor esforço”.

Os marcadores podem ser classificados em duas categorias: marcadores baseados em balde de fichas e marcadores baseados em um estimador de taxa média. A seguir, serão apresentadas as características de cada categoria juntamente com alguns condicionadores de tráfego propostos.

#### **a) Marcador balde de ficha**

Um condicionador de tráfego simples pode ser construído a partir de uma adaptação do algoritmo de balde de fichas. O caso mais simples consiste na definição de apenas dois níveis de marcação. Nessa implementação, a capacidade máxima do balde de fichas é determinada por CBS (*Committed Burst Size*), e o balde é preenchido com fichas a uma taxa CIR (*Committed Information Rate*). As fichas são colocadas no balde a uma taxa média constante CIR. Se houver fichas disponíveis, os pacotes serão marcados de verde (dentro do

perfil), se não, de vermelho (fora do perfil) ou amarelo, dependendo da implementação. A figura 3.8 abaixo mostra o CIR:



**Figura 3.8:** Marcador de balde de ficha ([42]).

O balde de fichas é um algoritmo que possibilita a transmissão de pacotes em rajadas, cujo tamanho máximo é determinado pelo tamanho do balde. Essa característica é extremamente importante, porque permite uma resposta rápida para surtos repentinos.

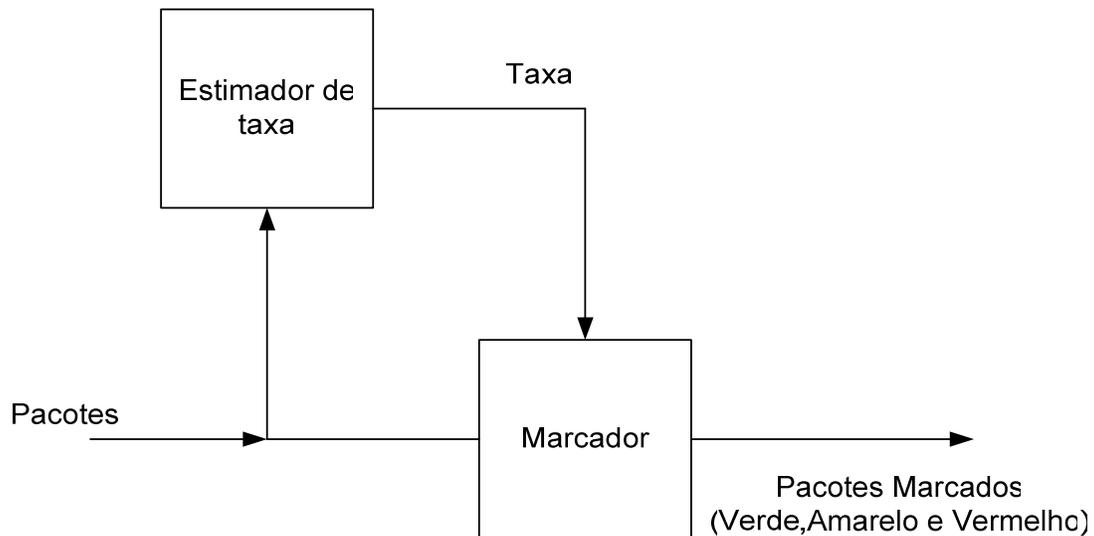
#### **b) Marcadores baseados em estimadores de taxa média**

Na marcação baseada em estimadores de taxa média, o processo de medição é realizado através da estimativa da taxa média de informação enviada pelos fluxos individuais ou agregados. A razão para medir a taxa média é acomodar a natureza em rajadas do tráfego TCP. Nos mecanismos baseados em balde de fichas, as rajadas de tráfego TCP são suportadas pelo acúmulo de fichas nos baldes.

#### **c) Marcador de janela deslizante no tempo**

O marcador de janela deslizante marca os pacotes de verde, amarelo ou vermelho. A marcação dos pacotes é realizada através da comparação da vazão medida de um determinado

tráfego com as taxas CIR (*Committed Information Rate*) e PIR (*Peak Information Rate*), sendo CIR a taxa contratada, e PIR a taxa máxima de informação aceita pela rede por um período determinado. O marcador janela deslizante é constituído basicamente de dois componentes: um estimador de taxa e um marcador. A figura 3.9 abaixo ilustra o estimador:



**Figura 3.9:** Marcador janela deslizante ([42]).

O estimador de taxa é o bloco responsável por estimar a taxa de chegada de um determinado tráfego. No algoritmo de medição, a taxa média é estimada a cada chegada de um novo pacote, taxa essa calculada em uma janela de tempo finito, que decai com o tempo. A taxa estimada é utilizada pelo marcador, para determinar com qual prioridade um determinado pacote deve ser marcado. A lógica utilizada no algoritmo de marcação janela deslizante está descrita abaixo:

- Se a taxa média estimada for menor ou igual a CIR, o pacote será marcado de verde (baixa probabilidade de descarte);
- Se a taxa média estimada for maior do que CIR e menor ou igual a PIR, os pacotes serão marcados de amarelo (probabilidade média de descarte).
- Se a taxa média estimada for maior do que PIR, os pacotes serão marcados de vermelho (alta probabilidade de descarte).

A janela deslizante pode ser configurada para essencialmente trabalhar com uma única taxa. Se o PIR e CIR tiverem os mesmos valores, todos os pacotes serão marcados de verde ou vermelho e não haverá pacotes marcados de amarelo. Se o PIR for configurado com a

velocidade do enlace e CIR estiver abaixo de PIR, todos os pacotes serão marcados de verde ou amarelo. Não havendo pacotes vermelhos.

## PHB

O PHB (*Pear-hop behavior*) é uma descrição do comportamento externamente observado, no encaminhamento de pacotes de um nó *Diffserv* aplicado a pacotes com o mesmo DSCP.

A combinação do PHB no centro da rede com as regras de policiamento na borda permite a criação de vários serviços em uma rede *Diffserv*. Recentemente, a IETF padronizou dois PHBs.

O PHB AF pode ser utilizado por serviços que necessitam de garantias não muito rígidas ou qualitativas, para obter priorização dos pacotes que trafegam na rede e, com isso, garantir um serviço melhor que o melhor esforço (BE – *Best Effort*). Por outro lado, o PHB EF define garantias mais rígidas ou quantitativas de QoS para suportar aplicações muito sensíveis a variações de natureza temporal da rede. Exemplos de serviços que utilizam o PHB EF incluem emulação de circuitos e serviços de voz e vídeo.

Uma vez definido os componentes do mecanismo *Diffserv*, a figura abaixo mostra a composição da arquitetura da arquitetura do *Diffserv*. A figura 3.10 abaixo ilustra o *Diffserv*:

:



**Figura 3.10:** Arquitetura Diffserv (Adaptado de [32]).

### 3.4.4 - Introdução ao mecanismo de alocação de recurso

As redes que implementam serviços diferenciados são chamadas Domínios DS. Esses domínios negociam SLAs entre si, com o objetivo de prover as garantias mínimas de QoS,

requeridas pelas aplicações dos usuários. Todos os pacotes são policiados nos roteadores de borda para verificar sua conformidade com os SLAs.

No núcleo da rede, os roteadores simplesmente encaminham os pacotes para seu destino, mantendo as garantias de QoS de determinados pacotes, ou seja, pacotes distintos podem ter tratamentos distintos nos roteadores, mantendo sua conformidade com os requisitos de QoS de sua classe. Esse tratamento específico de encaminhamento é chamado de PHB.

O Diffserv parte do princípio de que domínios adjacentes tenham acordo sobre os serviços disponibilizados. Os clientes podem marcar o campo DS de pacotes individuais para indicar o serviço desejado ou eles podem ser marcados pelo roteador folha (ou de borda) e assim mandados para o receptor.

Porém, dessa forma, não se sabe quanto de banda disponível há para ser utilizada, já que não foi feita nenhuma alocação. Um pacote com DS Field marcado pode até chegar a um roteador que não provê qualidade de serviço ser remarcado, de forma que passe a ser um pacote de *best effort* podendo ser descartado. Para isso, insere-se um componente para gerenciar os recursos do domínio, cuja função básica é controlar a largura de banda, as políticas e as prioridades dentro e entre as organizações. Esse componente é o controlador de banda BB (*Bandwidth Broker*), abordado adiante.

#### **3.4.5 - Service level agreement (SLA)**

É importante ressaltar SLA que gerencia o BB. Um SLA determina que classes de serviços são suportadas e a quantidade de tráfego na banda entre os domínios.

É um acordo feito entre o transmissor e o receptor, determinando os limites dos parâmetros utilizados na aplicação. O SLA pode ser estático ou dinâmico. É chamado de estático, quando negociado de forma regular, por um determinado tempo, e de dinâmico, quando é necessário o uso de um protocolo de sinalização e controle para o gerenciamento da banda, por exemplo, RSVP.

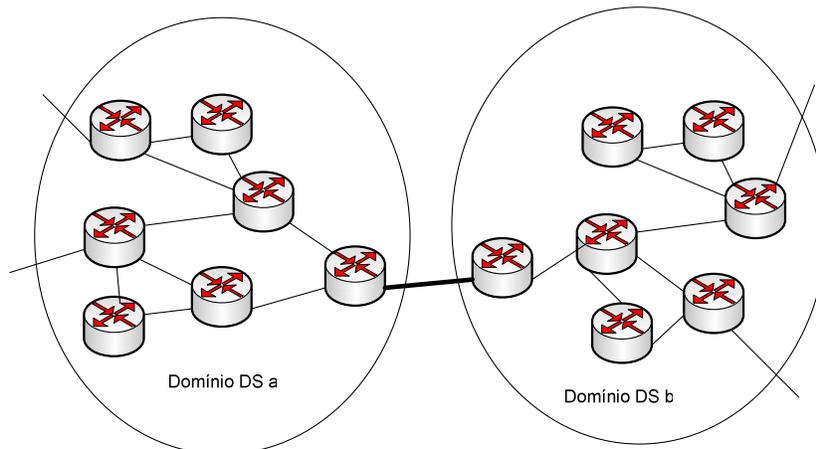
As regras de classificação, policiamento, condicionamento e escalonamento visto anteriormente, usado nos roteadores, são determinadas também pela SLA, tanto quanto o espaço nos *buffers* de cada roteador.

#### **3.4.6 - Mecanismo de alocação de recurso Diffserv-BB**

Quando há solicitação de um fluxo IPTV qualquer, o BB é um componente que verifica a disponibilidade de recursos e a autorização do cliente para a conexão dentro do

domínio QoS. Encarrega-se, também, de fazer as alocações necessárias para a comunicação dentro do seu domínio e solicita ao BB adjacente, caso o pedido seja para fora do domínio. Esse processo de solicitação de alocação de recursos é contínuo entre os BBs adjacentes, até que se chegue ao domínio do receptor.

Pode-se usar o RSVP para alocação de recursos entre BBs. Cada controlador de banda possui uma tabela de políticas estabelecidas através da SLA (*Service Level Agreement*) que é consultada a cada solicitação de QoS para o BB, por parte dos BBs vizinhos ou de outros domínios. O BB deve operar em intra-domínio (mesmo ambiente em que é oferecida a qualidade de serviço) e inter-domínio (ambientes diferentes), sendo limitado pelas políticas que dizem quais usuários podem usar e quanto dos recursos do seu domínio. A figura 3.11 a seguir ilustra o domínio DS no Diffserv:



**Figura 3.11:** Domínio DS no Diffserv ([32]).

O **QBone**, órgão regulamentador da **Internet2**, sugere que o BB seja capaz de executar tais funções:

- meio pelo qual uma aplicação ou roteador possa notificar uma requisição de banda;
- responder a aplicação ou roteador, após configuração dos roteadores para a requisição da QoS;
- rejeitar a solicitação de banda;
- reconfigurar roteadores;
- manipular aplicações que finalizam o uso de uma faixa de banda e torná-la disponível.

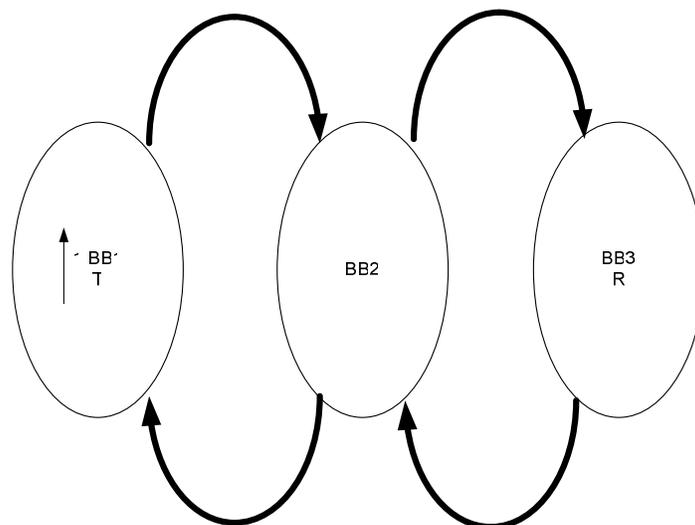
Também é responsabilidade do controlador de banda configurar os PHBs nos roteadores. O PHB é um comportamento de repasse que direciona os pacotes para filas específicas, conforme as prioridades estabelecidas pela SLA. Pode haver mais de um BB atuando no mesmo domínio; porém, só um deles pode responder pela comunicação entre BBs de domínios adjacentes. Internamente, o BB se comunica com os usuários ou BBs de suas subredes, cuja comunicação é, basicamente, receber requisições e processá-las. Já com os roteadores, os BBs precisam estabelecer comunicação para efeitos da configuração e gerência.

### 3.4.7 – Processo de sinalização dos BBS

Quando se trata de domínios diferentes, todos os BBs do caminho devem ser consultados quanto à requisição feita. Entre os BBs, há processos de sinalização para alocar recursos. Há dois tipos de sinalização: sinalização fim-a-fim e a sinalização com resposta imediata, podendo-se também usar uma combinação dos dois processos de sinalização.

#### Sinalização FIM-A-FIM

Os BBs são consultados um a um ao longo do caminho, antes que o usuário, que solicitou o recurso, seja informado do resultado. A figura 3.12 ilustra a sinalização BBS:



**Figura 3.12:** Sinalização BB fim a fim ([42]).

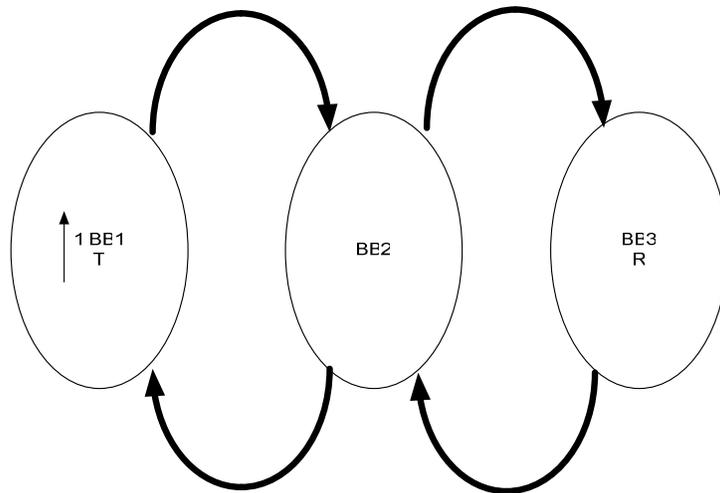
#### Procedimentos de sinalização

São os seguintes:

- 1- T consulta seu BB1 de acordo com a requisição feita;
- 2- B1 consulta BB2, que é o controlador de banda de um domínio adjacente ao BB1, também de acordo com a requisição;
- 3- BB2 faz com BB3 o mesmo procedimento que BB1 faz com BB2;
- 4- BB3 responde que a requisição foi aceita;
- 5- BB2 responde ao BB1 e este informa ao T que tudo está ok, permitindo, então que a comunicação seja estabelecida.

Se houver algum erro no caminho, uma resposta é retornada do BB que “falhou”, não sendo consultados os BBs subsequentes. A figura 3.13 ilustra a sinalização BBS:

Sinalização com resposta imediata



**Figura 3.13:** Sinalização BB imediata (Adaptado de [32]).

### 3.4.7 - Comparação Intserv e Diffserv em arquiteturas IPTV

As operações de classificação, policiamento e condicionamento dentro do DiffServ em arquiteturas IPTV são necessárias somente nos limites da rede, ou seja, nos *edge routers* (roteadores de borda). Dessa forma, os roteadores do núcleo necessitam apenas implementar classificações de repasse, não consumindo tanto processamento nos roteadores quanto no IntServ. Todos os roteadores da arquitetura IPTV desse modelo têm que utilizar classificação, condicionamento e escalonamento, resultando em problemas de escalabilidade do Intserv.

Outro ponto a favor do mecanismo DiffServ é que há um número limitado de classes de serviços, indicadas pelo DS Field. Quando o serviço é alocado, a quantidade de informação de estado é proporcional ao número de classes, consumindo menor espaço nos buffers dos roteadores, logo, menor consumo de CPU que compõe a arquitetura de rede IPTV.

Ao contrário do que acontece no Intserv, onde a quantidade de informação de estado é proporcional ao número de fluxos IPTV, esse aumenta de acordo com os dados que trafegam na rede. Logo, dependendo do tipo de serviço e da rede que este será implantado, o DiffServ é o modelo mais apropriado para o uso da Qualidade de Serviço, pelo baixo consumo dos seus roteadores, tanto que é o modelo de QoS indicado pela recomendação WT-126 do DSL Forum para redes IPTV.

## **4 – QoE – QUALIDADE DA EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO**

### **4.1 - INTRODUÇÃO**

Este capítulo irá abordar o modelo de aferição de QoE (*Quality of Experience*) em função da perda de pacotes, e o dimensionamento do *buffer* em função do DF (*Delay Factor*). Ainda apresentará simulações de traço de QoE em relação ao rPSNR, e simulações do tamanho do buffer em relação ao DF. Não é surpresa que a qualidade de experiência (*QoE-Quality of Experience*) do IPTV tem se tornado uma das expressões mais populares nas publicações dos mercados de Telecom e dos fornecedores dos produtos IPTV.

Assegurar a QoE para IPTV vem se transformando rapidamente em prioridade entre vendedores e fornecedores de serviço IPTV. A QoE para IPTV marca até que ponto o serviço de vídeo satisfaz as exigências do usuário. A expectativa sobre sua qualidade é comparada com a de serviços como TV a cabo, e o serviço deve ser melhor ou igual a essa e à TV por satélite. Muito se confunde a QoE com a QoS. Na realidade, a QoS é a qualidade do serviço IPTV em nível de pacote na rede, e a QoE é a qualidade na percepção da imagem IPTV por parte do usuário, sendo a rede do provedor transparente para o usuário.

A QoS tem como função permitir que o pacote IPTV possa ter garantias de entrega até o usuário final, utilizando os mecanismos de QoS apropriados (*Diffserv*). Objetiva refletir, para o usuário final, uma qualidade de mídia aceitável, ou seja, refletir a QoE adequada. A QoE é influenciada por fatores comerciais, tais como: preço, serviço e fatores técnicos, incluindo o tempo de resposta de mudança do canal, da taxa máxima de perdas de pacote IPTV, do tempo de atraso e a qualidade da própria mídia. Hoje, no serviço IPTV, o principal desafio tecnológico é manter uma rede na qual seja garantida a QoE, permitindo a captação de novas receitas pelas operadoras de telecomunicações.

Este trabalho vai aferir a QoE adequada à arquitetura de rede IPTV, medindo essa QoE em função de características do pacote IP na rede, como perda, “jitter” e ainda confrontar os valores aferidos com a recomendação do DSL forum WT-126.

As métricas de QoE analisadas são:

#### **MoS-V**

É uma contagem ponderada de 1 a 5, que considera o efeito do codec, a taxa de *frame* e a distribuição da perda de pacotes na rede IPTV, além da estrutura de GoP (*group off picture*).

#### **Estimativa de rPSNR**

Essa métrica representa a relação entre sinal ruído alvo pela relação sinal ruído medida, expressada em decibel (db). É uma estimativa da distorção que ocorre no *frame* de vídeo, em relação a um valor inicial de perda de pacote IP definido pela WT-126.

As métricas de QoE (rPSNR e MOS-V) são analisadas e medidas de forma percentual e definidas pela TVQM (*Telchemy Video Quality Metrics*). Essas métricas sempre estão vinculadas, no trabalho, com a perda de pacotes IP e taxa de erro (ou probabilidade de erro) no trajeto de rede IPTV.

#### **4.1.1 - Qualidade de Vídeo na rede IPTV**

Quando se fala em avaliar a qualidade de vídeo em uma rede IPTV, na realidade está-se aferindo a QoE para essa rede, e a aferição será no nível das variações que o pacote IP possa sofrer, tal como perdas de pacotes e o “jitter”. O objetivo é utilizar uma metodologia para se ter uma idéia de quanto uma perda de pacote IPTV pode influenciar a qualidade do vídeo na rede. Para tanto, optou-se por desenvolver uma aproximação que seja capaz de delinear a perda de pacotes, disponível em medidas simples, por meio de estatísticas da rede e transformar essas estatísticas em qualidade de vídeo, reconstruída pelo *set-top-box*, com base em uma arquitetura de rede IPTV sobre o ADSL.

Com a disponibilidade maior do acesso à banda larga, entregar o vídeo, através das redes IP, transformou-se numa solução cada vez mais atrativa. Entretanto, as redes IPTV podem sujeitar o vídeo a uma variedade de intempéries, por causa da perda de pacotes e do jitter. Avaliar o sinal de vídeo, de certa forma, é comparar o sinal transmitido com o sinal recebido no *set-top-box*.

Obviamente, isso é insustentável para o uso em grande escala, porque requer a disponibilidade dos vídeos recebidos e originais. A perda de um pacote IP, pode resultar em uma perda de seqüência de imagens, sendo a característica de maior peso na qualidade do vídeo observada pelo usuário, associada ao “jitter” sofrido pelo pacote IP.

Para desenvolver uma estimativa dessa qualidade, deve-se confiar nas aproximações feitas pelas primeiras medidas de perda e usá-las para gerar as estimativas de qualidade de vídeo, de acordo com o modelo perda-distorção, que será objeto de estudo. Nesse modelo, as características de perda de pacotes são convertidas em medidas de qualidade de vídeo, e associadas ao “jitter” medido.

Para a análise de medida na rede IPTV neste trabalho, deve-se conhecer alguns parâmetros de medidas do sinal de vídeo e entendê-los, para desenvolver a avaliação de QoE

na rede IPTV. Entre as medidas de qualidade de vídeo, destacam-se as seguintes: MSE e PSNR.

Tais medidas encontram-se abaixo descritas:

### MSE

O MSE representa o erro médio quadrático entre uma imagem transmitida pelo *headend* do IPTV e uma imagem recebida pelo *Set-top-box*. As técnicas normalmente utilizadas em compressão de imagens resultam em certo grau de degradação da imagem original, e pacote IPTV pode sofrer alterações de perdas até a entrega final ao usuário. O erro médio quadrático (MSE - *Mean Square Error*) é um critério amplamente usado na aferição da fidelidade da imagem reconstruída, sendo definido para uma imagem M x N pixels :

$$(Eq.1) \text{ MSE} = \left(\frac{1}{MN}\right) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E(u_{ij} - u'_{ij})^2$$

Onde  $u_{ij}$  e  $u'_{ij}$  representam os pixels da imagem original e reconstruída, respectivamente e  $E$ , a função esperança matemática. Experimentalmente, o MSE é estimado pelo MSE amostral:

$$(Eq.2) \text{ MSE} = \left(\frac{1}{MN}\right) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (u_{ij} - u'_{ij})^2$$

### PSNR

A PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) representa a relação sinal ruído em função do erro quadrático médio da distorção da imagem do sinal IPTV, conforme Eq.3. Dessa forma, quanto menor for o valor de MSE, maior será a relação PSNR, ou seja, mais próxima a imagem transmitida pelo *headend* é da imagem recebida pelo *Set-top-box*. A PSNR pode ser definida de duas maneiras:

$$(Eq.3) \text{ PSNR} = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{\text{MSE}}$$

Onde  $n$  representa o número de bits por amostra da imagem, e o MSE representa o erro quadrático médio, ou seja, a distorção da imagem.

$$(Eq.4) \text{ PSNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_s^2}{\text{MSE}}\right)$$

Onde  $\sigma_s^2$  representa a variância da imagem original. Tipicamente, o valor de pico usado no cálculo de PSNR é igual a 255 (imagens de 8 bits/pixel).

## 4.2 - MODELO DE AFERIÇÃO DE QOE E TAMANHO MÁXIMO DE BUFFER

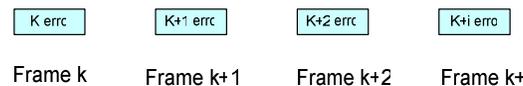
### 4.2.1 - Modelo Básico PSNR

Um aspecto importante é modelar a distorção que um evento de perda pode causar ao vídeo IPTV codificado. A modelagem que será apresentada nessa seção é baseada na referência [39]. Observa-se, que o erro resultante se propaga através dos *frames* de vídeo codificado, afetando sua qualidade. Ao se considerar um vídeo, é comum existir uma grande similaridade entre dois quadros vizinhos de uma seqüência de vídeo. Essa característica de quadros é conhecida como redundância temporal.

A predição temporal é uma técnica utilizada para aproveitar a redundância temporal da imagem e codificar apenas o sinal não redundante. Em vez de se transmitirem os quadros como uma seqüência de imagens não relacionadas entre si, somente algumas imagens são enviadas; para as demais, apenas a diferença entre um quadro e outro é enviada.

Especificamente, a predição temporal na recepção da imagem introduz dependências entre *frames* adjacentes. Assim, uma única perda do pacote de mídia afeta não somente o *frame* com o pacote errado, mas também outros *frames*, com dependências do código contido nela.

Se ocorrer um erro no *frame*  $k$ , o resultado do erro quadrático médio é dado por  $\sigma_s^2$ ; o erro introduzido tem o poder de se propagar para o *frame*  $(k + i)$ , conforme figura 4.1 abaixo:



**Figura 4.1:** Seqüência de erros em *frames* IPTV (Adaptado de [39]).

Assim, pode-se aproximar o erro quadrático médio da seguinte forma:

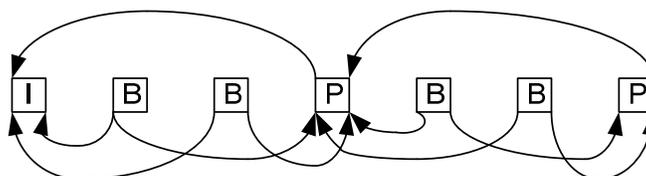
$$(Eq.5) \sigma_s^2[k + i] = \sigma_s^2[k] \cdot \gamma^i$$

Onde:  $\gamma$  ( $\gamma < 1$ ) representa o fator de atenuação do decodificador do *Set-to-box* e  $i$  representa o  $i$ -ésimo *frame*. A propagação periódica desse erro afeta a compressão do vídeo, alterando a qualidade do vídeo a ser transmitido. Como a maioria dos quadros de uma seqüência de imagens é muito parecida, exceto por deslocamentos devido a movimentos, é

possível codificar um quadro através do cálculo do vetor de deslocamento em relação à imagem anterior. Dessa forma, o *stream* de vídeo de saída consiste em três tipos de quadros:

- Quadros I (Intracoded): imagens completas codificadas individualmente;
- Quadros P (Predictive): quadros codificados com predição relativa ao último quadro;
- Quadros B (Bidirectional): diferenças entre o último e o próximo quadro.

A figura 4.2 mostra a seqüência de formação dos quadros a partir de uma seqüência codificada de vídeo:



**Figura 4.2:** Relacionamento de quadros IPTV codificados ([43]).

Os quadros I não dependem de outros quadros para ser decodificados pelo STB, mas são necessários para a decodificação de quadros P e B. Os quadros P são necessários à decodificação de quadros do tipo B e são baseados na previsão antecipada pelo último quadro de referência, que pode ser do tipo I ou P.

O quadro do tipo P possui a referência do vetor de movimento passado, utilizando-o para referenciar o bloco do quadro anterior na mesma posição do quadro atual. Os quadros do tipo B são previstos e baseados em referências de quadros anteriores e próximos, os quais podem ser do tipo I ou P. O quadro do tipo B possui a referência do vetor movimento no futuro, utilizado para referenciar o bloco do próximo quadro na mesma posição do quadro atual. Assim, se um quadro I for perdido durante a transmissão, não será possível decodificar os quadros que chegarem antes do próximo quadro I.

Considerando um instante (T-1) de codificação, por exemplo, os *frames* são codificados em P-frames, entre dois I-frames seguintes, conforme figura 4.3 :

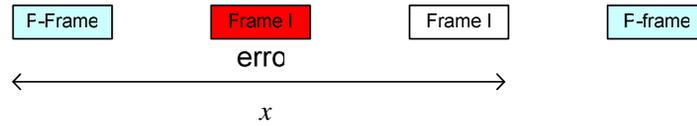


**Figura 4.3:** Sequência de *frames* P e I para IPTV (Adaptado de [39]).

O MSE foi modelado até o ponto onde ocorreu a perda  $x$ , da seguinte maneira:

$$(Eq.6) \text{MSE} = \sum_{i=0}^{x-1} \sigma^2[k+i]$$

A figura 4.4 ilustra a variável  $x$ , que representa o tamanho da perda:



**Figura 4.4:** Distância de erros em frames IPTV (Adaptado de [39]).

Onde:  $x$  representa o número de *frames* ocorridos na perda original, do *frame*  $k$  até o próximo *frame* I, sendo uma variável aleatória com distribuição uniforme no intervalo  $[0, T-1]$ . A distribuição uniforme de  $x$ , representa a distribuição contínua, cuja probabilidade de se gerar qualquer ponto do intervalo, é proporcional ao intervalo  $[0, T-1]$ . Logo, a função densidade de probabilidade é definida como:

$$(Eq.7) f(x) = \left( \frac{1}{T-1} \right)$$

Supondo que a distorção inicial causada pela perda de uma fatia (pedaço) do *frame* é uma constante dada por  $\sigma_s^2$ , modelou-se o valor de MSE referente à primeira fatia [39] da seguinte forma:

(Eq.8)

$$\text{MSE} = D_1 = \sum_{i=0}^{T-1} \sigma_s^2 \gamma^i \left( \frac{T-i}{T} \right) = \sigma_s^2 + \sigma_s^2 \gamma \left( \frac{T-1}{T} \right) + \sigma_s^2 \gamma^2 \left( \frac{T-2}{T} \right) + \dots + \sigma_s^2 \gamma^i \left( \frac{T-i}{T} \right) = \frac{\gamma^{T+1} - (T+1)\gamma + T}{T(1-\gamma)^2} \sigma_s^2 = \alpha \sigma_s^2$$

Pode-se afirmar que  $\alpha$  é função da atenuação e do tempo T. O valor de  $D_1$  [39] representa o erro quadrático para a perda de uma única fatia do *frame*. Com o sinal codificado, quando houver uma perda de  $n$  pacotes consecutivos de mídia, onde  $n > 1$ , haverá uma quantidade de  $f(n)$  fatias perdidas do pacote.

Nesse caso,  $f(n)$  faz o mapeamento de perdas de pacotes para perdas de fatia, que depende do tipo de codificação. Neste trabalho, trabalha-se com a codificação MPEG. Nesse caso, assumem-se  $s$  fatias por pacote de mídia e  $L$  pacotes de mídia por *frame*. A função de *packetization*  $f(n)$  [39] para o MPEG-2 é dada por:

$$(Eq.9) \quad f(n) = sL \left[ \frac{1}{L} \frac{n}{L} + \left(1 + \frac{1}{L}\right) \left(\frac{n}{L} + 1\right) \right]$$

Fazendo  $r = n$ , onde  $r$  é definido como resto, substituindo na Eq.9 tem-se por aproximação:

$$f(n) = sL \left\{ \frac{L-r+1}{L} \left(\frac{n}{L}\right) + \frac{r-1}{L} \left(\left(\frac{n}{L}\right) + 1\right) \right\}$$

Logo, para o MPEG-2, tem-se  $r = 1$ , uma função linear para a *packetization*

$$(Eq.10) \quad f(n) = s(n + L - 1) \text{ MPEG-2}$$

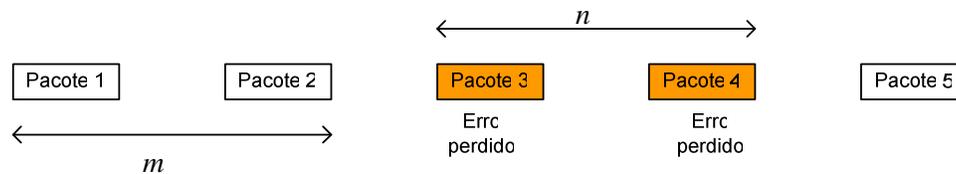
Para o MPEG-4/H264, a função de *packetization* [39] é dada por:

$$(Eq.11) \quad f(n) = sn$$

Logo, pode-se modelar a distorção quadrática (MSE) para mais de uma fatia perdida por *frame*, da seguinte forma:

$$(Eq.12) \quad D_n = f(n)D_1$$

Procura-se um modelo simples, pelo qual busca-se obter uma métrica, sem, no entanto, necessitar das características individuais do vídeo. Definiu-se  $m$  como número de pacotes de mídia transmitidos entre dois eventos consecutivos com perda, ou seja, a distância de onde ocorreu a perda, conforme figura 4.5 abaixo:



**Figura 4.5:** Sequência de erros consecutivos de pacotes de mídia (Adaptado de [39]).

Entendendo-se  $P_n$  como a probabilidade de haver  $n$  pacotes consecutivos de mídia perdidos em um dado período de tempo (taxa de erro) e  $P_m$  como a probabilidade de haver dois eventos consecutivos de perda, separados por  $m$  pacotes. Consideraram-se  $m$  e  $n$

variáveis independentes entre si, para poder determinar o MSE, reconstruído, conforme equação abaixo:

$$(Eq.13) \text{MSE} = \bar{D} = \frac{\sum_n P_n D_n}{\sum_m P_m (m/L)}$$

Substituindo a (Eq.12) na equação (Eq.13) tem-se:

$$(Eq.14) \text{MSE} = \frac{\sum_n P_n f(n) D_1}{\sum_m P_m (m/L)} = \frac{\overline{f(n)}}{m} LD_1 = \bar{D}$$

$D_1$  (Eq.8), representa o erro quadrático para a perda de uma única fatia no frame

Logo a (Eq.14) é equivalente:

$$(Eq.15) \text{MSE} = \bar{D} = P_e \overline{f(n)} LD_1$$

$P_e$  é a probabilidade de ocorrer um evento de perda de pacote de mídia dentro de um *stream* de vídeo em um período de tempo (pacotes errados/pacotes transmitidos), de qualquer tamanho.  $P_e$  e  $f(n)$  são uma função das características do processo de perda visto no *stream* de vídeo, sendo específica do codec utilizado, como por exemplo: L é tipicamente grande, quando o vídeo é codificado em uma taxa elevada.

Logo, substituindo  $f(n) = s(n+L-1)$  (Eq.10) em  $\text{MSE} = \bar{D} = P_e \overline{f(n)} LD_1$  (Eq.15) tem-se para MPEG-2 como resultado:

$$(Eq.15) \text{MSE} = \bar{D} = P_e \overline{s(n+L-1)} LD_1$$

Logo, substituindo  $f(n) = sn$  (Eq.10) em  $\text{MSE} = \bar{D} = P_e \overline{f(n)} LD_1$  (Eq.15) tem-se para MPEG-4 como resultado:

$$(Eq.16) \text{MSE} = \bar{D} = P_e \overline{sn} LD_1$$

Assim, torna-se possível determinar o valor de PSNR na arquitetura de rede IPTV.

Usando o modelo estudado até agora, a distorção média MSE em uma seqüência de vídeo pode ser estimada. Desse modo, pode-se computar a qualidade de vídeo QoE em um trajeto da rede IPTV, usando a relação sinal ruído de pico, isto é, o PSNR:

$$(Eq.17) \quad \boxed{PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE = \bar{D}} \right)}$$

Porém, o valor estimado de PSNR [39] requer não somente as estatísticas de perda na rede, mas também o conhecimento das características da aplicação. O modelo de que se necessita neste trabalho depende apenas de coletas das características da rede IPTV, tais como a perda de pacotes de mídia ou IP. Assim, vai ser estimada a métrica de PSNR relativo, sem estimar o valor de  $D_1$ .

#### 4.2.2 - Modelo Básico rPSNR

O modelo de rPSNR apresentado nessa subseção é baseado na referência [39], onde no primeiro momento, serão definidas para a rede IPTV, as características mínimas de perdas de pacotes de mídia e a probabilidade de erro (ou taxa de erro), de forma que a rede opere normalmente com qualidade aceitável; isto é: fazer  $\bar{n} = n^0$  e  $P_e = P_e^0$ . Isso seria baseado tipicamente em algum limite mais baixo da qualidade da rede IPTV, que será entregue ao usuário.

Considerando que o desempenho da perda no trajeto da rede é:  $\bar{n} = n'$  e  $P_e = P_e'$ . Logo, a qualidade relativa no trajeto de rede IPTV, é definida como a diferença entre o PSNR real e o PSNR alvo. O rPSNR mede a distância que estamos do valor alvo desejado, observado no caminho da rede IPTV. Isso pode ser descrito da seguinte forma:

$$(Eq.18) \quad rPSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{D^0} - 10 \log_{10} \frac{255^2}{D}$$

Aplicando a equação (Eq.15) na equação (Eq.18), para a codificação MPEG-2, tem-se:

(Eq.19)

$$\boxed{rPSNR = 10 \log_{10} \frac{(n^0 + L - 1)P_e^0}{(n' + L - 1)P_e'} = \frac{(n^0 + L - 1) \left( \frac{Pacotes\_mídia\_errados}{Total\_pacotes\_mídia\_transmitidos} \right)^0}{(n' + L - 1) \left( \frac{Pacotes\_mídia\_errados}{Total\_pacotes\_mídia\_transmitidos} \right)'}}$$

Pela equação acima, pode-se observar que a qualidade de vídeo relativa pode ser estimada usando somente os valores de  $n^0, n', P_e^0$  e  $P_e'$ , onde  $n^0$  e  $P_e^0$  são predefinidos (recomendado pela WT-126) e o valor de L é baseado na configuração da aplicação. Agora, o

que resta medir é  $P_e$  e  $n$  (probabilidade de erro e perda de pacotes de mídia), que representam as estatísticas coletadas dos pacotes na arquitetura de rede IPTV.

Aplicando a equação (Eq.15) na equação (Eq.18), para a codificação MPEG-4, tem-se:

$$(Eq.20) \quad rPSNR = 10 \log_{10} \frac{\binom{n^0}{n'} P_e^0}{\binom{n^0}{n'} P_e} = \frac{n^0 \left( \frac{Pa\ cot\ es\_m\ í\ dia\_errados}{Total\_pa\ cot\ es\_m\ í\ dia\_transmitidos} \right)^0}{n' \left( \frac{Pa\ cot\ es\_m\ í\ dia\_errados}{Total\_pa\ cot\ es\_m\ í\ dia\_transmitidos} \right)^0}$$

A melhor forma de observar a QoE em função do rPSNR é realizar as medidas de perda de pacotes IP, em função da QoS que está aplicado, observando o comportamento do traçado do rPSNR. A perda de pacotes é uma medida de qualidade de vídeo, que é definida pela RFC 4445, através do MDI (*Media Delivery Index*), na parte referente ao media loss rate.

Também vão ser realizadas simulações no trajeto da rede, comprando-se o rPSNR em relação ao medido. Para as simulações no trajeto da rede, vai ser utilizado o modelo de Gilbert [2,27], para estimar a probabilidade de erro (ou taxa de erro) e de perda de pacotes IP, de forma a comparar com o valor prático encontrado, avaliando a QoE na rede da operadora em análise.

#### 4.2.3 – Análise do tamanho de Buffer para o fluxo IPTV

Será apresentada uma modelagem analítica para descrever a ocupação do buffer do set-top-box, com o objetivo de determinar o tamanho do buffer para que não exista descarte de pacotes. Essa modelagem analítica apresentada nessa subseção é baseada na referência [38].

A ocupação do buffer será analisada nos instantes múltiplos de  $T = \frac{1}{taxa\_quadros}$  e considerando-se, para simplificação da análise, que o  $vbv\_delay$  é múltiplo de T, ou seja,  $vbv\_delay = C.T$ . O  $vbv\_delay$  (*video Buffer Verifier delay*) [38] representa o instante de tempo em que o quadro leva para ser retirado do buffer do set-top-box.

Considerando-se os processos de entrada e saída de quadros (conjunto de pacotes IP/mídia) do buffer do set-top-box, obtém-se o seu nível de ocupação, que pode ser expresso recursivamente como:

$$(Eq.21) \quad B_0 = 0, \text{ e}$$

$$(Eq.22) \quad B_k = \min\{B_{k-1} - P_{k-1} + R_k t, B_{\max}\}$$

Onde,  $B_k$  representa o nível de ocupação do *buffer*;  $P_k$  significa o tamanho, em bits, do quadro  $k$ ;  $R_k$  é a taxa, em bits por segundo, com que o quadro  $k$  entra no *buffer*,  $t$  é o instante de tempo analisado e  $B_{\max}$  é o tamanho do *buffer* do receptor. As equações (Eq.21) e (Eq.22) [38], definem respectivamente condição inicial de ocupação do buffer igual a zero e que a ocupação do buffer deve ser menor que o tamanho do buffer do receptor (set-top-box). Podemos descrever a ocupação do buffer da seguinte forma:

$$(Eq.23) \quad B_k = \sum_{i=0}^k P_i, \quad \forall k < C$$

$B_k$  representa o nível de ocupação do buffer do set-top-box

$P_i$  representa o tamanho do quadro em bits que entram no set-top-box, seu somatório mede o nível do ocupação.

Podemos ainda expressar a ocupação do buffer contabilizando os quadros que entram no set-top-box, e os quadros que são consumidos pelo mesmo. Os instantes onde os quadros são removidos são múltiplos do tempo de quadro, é definido o *vbv\_delay*. A equação (Eq.24) [38] abaixo descreve a ocupação do buffer, considerando a entrada e saída de quadros :

$$(Eq.24) \quad B_k = B_0 + \sum_{i=0}^k P_i - \sum_{j=1}^{k-C} P_j, \quad \forall k \geq C$$

$P_j$  representa o tamanho do quadro em bits, que é retirado do buffer do set-top-box., e  $k$  representa o instante em que cada quadro chega aos set-top-box. Pode-se ainda analisar a ocupação do buffer para um instante anterior  $A$ , quando sua ocupação inicial é  $B_A$ . A equação (Eq.25) [38] abaixo representa a ocupação para o instante  $A$ :

$$(Eq.25) \quad B_k = B_A + \sum_{i=A+1}^k P_i - \sum_{j=1}^{k-C} P_j, \quad \forall k \geq C$$

$B_A$  representa o tamanho do buffer anterior ao instante de análise.

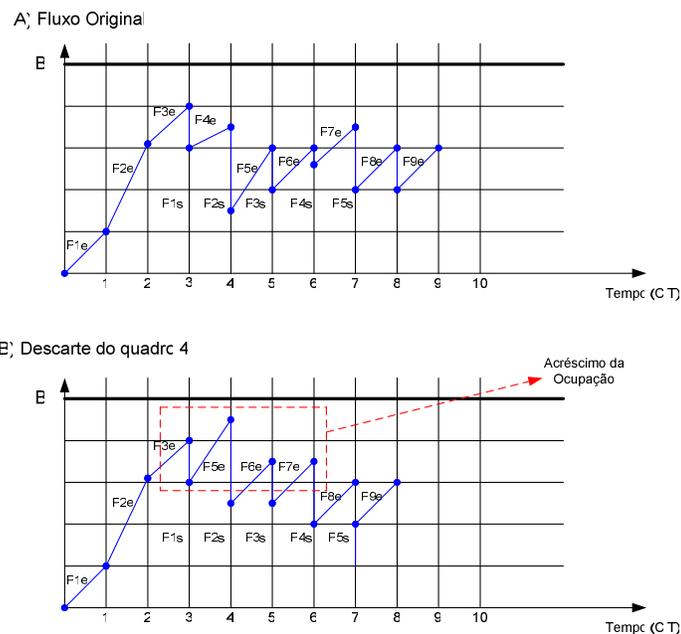
O nível de ocupação do buffer do set-top-box pode ser definido como a ocupação no instante  $k-1$  somado ao próximo quadro  $P_k$  que entra no buffer, a equação (Eq.26) [38] descreve a ocupação:

$$(Eq.26) \quad B_k = B_{k-1} + P_k, \quad \forall k \geq C$$

As equações (Eq.23) e (Eq.24) [38] estabelecem a ocupação do buffer de acordo com o tamanho das figuras (quadros) que entram e saem do buffer do set-top-box, no instante  $k$ . A equação (Eq.25) mostra a ocupação do buffer no instante  $k$  em relação a um instante anterior  $A$ . A equação (Eq.26) indica a ocupação do buffer do set-top-box no instante  $k-1$ . Essa equação reflete o interesse em determinar a ocupação do buffer do set-top-box, imediatamente antes da retirada de um quadro do set-top-box, no instante  $k$ .

### Efeito do descarte no set-top-box

Considerando-se a taxa de codificação constante ( $MR$ ), o efeito da retirada de um quadro do fluxo original também é limitado entre o instante em que ele originalmente deveria entrar no buffer do set-top-box e o instante em que ele deveria ser consumido pelo set-top-box, que pode ser mostrado na figura 6.6 abaixo. A ilustração representa a ocupação do buffer [38] do set-top-box com tamanho máximo igual a  $B$ , com  $vbv\_delay$  igual a  $3T$ , onde  $T$  é o inverso da taxa de quadros.  $P1e$  a  $P9e$  representam os quadros que entram no buffer do set-top-box e  $P1s$  a  $P5s$  representam os quadros que saem do buffer do set-top-box. O Fluxo original dos quadros que entram no set-top-box é mostrado na figura 6.6 abaixo. O gráfico B representa o efeito de descarte do quadro  $P4e$ . A figura 4.6 abaixo ilustra o efeito da retirada do quadro no STB.



**Figura 4.6:** Efeito da retirada de um quadro no set-top-box (Adaptado de [38]).

Observa-se conforme a figura 4.6, que o descarte do quadro 4 provoca aumento da ocupação do buffer, e ainda altera a ordem com que são inseridos e retirados do buffer do set-top-box. O que se procura é dimensionar qual o tamanho máximo do buffer B, para que não exista descarte, evitando perda da qualidade de vídeo observada pelo usuário IPTV.

Para verificar o efeito decorrente do descarte de um quadro, determinado as condições para que não aja overflow [38], a avaliação analítica pode ser dividida em dois casos, conforme a seguir. O quadro retirado será denominado de  $P_s$ , e será utilizada a mesma notação das equações anteriores (Eq.23) e (Eq.26) .

1) O Primeiro caso [38] considera  $k > s + C$  ,ou seja, é aplicado para instantes de tempo posteriores ao momento em que o quadro  $P_s$  seria consumido pelo set-top-box, segundo determinado no fluxo original de vídeo. Tem-se, então:

$$(Eq.27) B_k = B_A + \left( \sum_{i=A+1}^k P_i - P_s + P_{k+1} \right) - \left( \sum_{j=A+1}^{k-C} P_j - P_s + P_{k+1-C} \right)$$

A equação acima considera que o quadro  $P_s$  não deve ser contabilizado no cálculo da ocupação do buffer do set-top-box. Seu descarte faz com que, no instante  $k$  , o quadro  $P_{k-1}$  já tenha sido consumido pelo set-top-box. Portanto:

$$(Eq.26) B_k = B_A + \sum_{i=A+1}^{k+1} P_i - \sum_{j=A+1}^{k+1-C} P_j$$

Logo,

$$(Eq.27) \boxed{B_k = B_{k+1} , \forall k > s + C}$$

A equação (Eq.27) garante que a ocupação do buffer não apresente overflow devido ao descarte, uma vez que os processos de codificação, se executados corretamente, garantem que: (Eq.27)  $B_k \leq B$  onde  $B$  representa o tamanho máximo do buffer do receptor (set-top-box) ,  $\forall k \geq 0$  .

2) Para o caso em que  $k \leq s + C$  [38] , há inversão na ordem de entrada e saída de quadros, em comparação ao fluxo original, devido a antecipação da entrada, no buffer, dos quadros posteriores a  $P_s$  . O quadro  $P_s$  não deve ser contabilizado como quadro entrante no set-top-box. Tem-se, então:

$$B_k^i = B_A + \left( \sum_{i=A+1}^k P_i - P_s + P_{k+1} \right) - \sum_{j=A+1}^{k-C} P_j$$

$$B_k^i = \left( B_A + \sum_{i=A+1}^k P_i - \sum_{j=A+1}^{k-C} P_j \right) - P_s + P_{k+1}$$

$$B_k^i = B_K + (P_{k+1} - P_s)$$

Para não haver overflow:

$$(Eq.29) \quad \boxed{B_K + (P_{k+1} - P_s) \leq B}$$

Portanto, para não haver overflow, para cada instante  $k$ , a diferença do tamanho entre o próximo quadro  $(k+1)$  e o quadro  $P_s$  não pode ser superior à quantidade de bits que faltam, no instante  $k$ , para que o buffer atinja seu limite máximo. Logo, podemos calcular o buffer mínimo para que não exista descarte e overflow [38] no set-top-box. Esse buffer deve ser o suficiente atender as recomendações de DF (*Delay Factor*) da WT-126.

#### 4.2.4 – Dimensionamento do buffer obedecendo ao valor recomendado de DF pela WT-126

O DF (*Delay Factor*) representa o jitter que o fluxo de vídeo pode sofrer no caminho IPTV, sem, no entanto provocar prejuízo na qualidade de vídeo observada pelo usuário IPTV. Ou seja, o DF é a diferença máxima, observada na extremidade de cada pacote IP, entre a chegada e a drenagem dos pacotes pelo set-top-box. O MPEG-4 TS (*transporte stream*), possui tamanho de 1316Bytes (7 pacotes de 188bytes).

O DF é o valor máximo do desequilíbrio da taxa de fluxo de mídia, seu valor permite determinar o tamanho do buffer do set-top-box, que atenda aos valores recomendação da WT-126. Segundo a RFC4445, define-se um índice de entrega de mídia (*MDI-Media Delivery Index*), onde o DF é calculado da seguinte forma:

$$(Eq.30) \quad DF = \left( \frac{VB(\max) - VB(\min)}{R} = \frac{B}{R} \right)$$

Onde  $R$  representa a taxa de transmissão do fluxo de vídeo,  $VB(\max)$  é o tamanho do buffer máximo e  $VB(\min)$  tamanho mínimo de buffer do set-top-box. O *jitter* aceitável (DF), que é calculado, depende da qualidade do set-top-box. Podemos dimensionar o buffer para não ocorrer overflow [38] e associar ao DF. (Eq.26) e (Eq.29) definem condições para não ocorrer overflow:

$$(Eq.26) B_k = B_A + \sum_{i=A+1}^{k+1} P_i - \sum_{j=A+1}^{k+1-C} P_j$$

$$(Eq.29) B_K + (P_{k+1} - P_s) \leq B$$

As equações (Eq.26) e (Eq.29) determinam o tamanho mínimo do buffer, para a não ocorrência de overflow. O *buffer* calculado deve atender as duas condições e ainda atender a um dado valor de DF recomendado pela WT-126. O buffer escolhido será o maior dentre as condições de overflow e ao DF recomendado pela WT-126.

Para exemplificar a forma de determinar o buffer que atenda ao DF e a condição de não ocorrer overflow, será utilizado o exemplo do IPTV de uma operadora. Com taxa de 25 fps (PAL utilizado no Brasil) [15], considerando um tempo de retirada do quadro 160ms, que implica C=4 e k=25 (total de 25 frames). O fluxo de vídeo ofertado aos clientes IPTV da operadora em estudo possui uma taxa de transmissão de stream de 2Mbps, com qualidade de SD. O DF recomendado pela WT-126 para um fluxo de 2Mbps é de 50ms. Podemos determinar o tamanho do buffer que atende as seguintes condições: não ocorrência de overflow e um DF de 50ms.

Dessa forma o tempo de quadro é de  $T = \frac{1}{\text{taxa\_quadros}} = \frac{1}{25} = 40ms$ . O buffer será

calculado para cada segundo de tempo. O tempo T representa o tempo de transmissão de um frame. Cada frame possui um tamanho de:  $\frac{\text{taxa\_transmissão} \div 8}{\text{total\_frames}} = \frac{2.10^6 \div 8}{25} = 10000bytes$ .

Sendo o TS MPEG-4 1316bytes (7 pacotes de 188bytes), cada quadro possui um total de:

$\frac{10000bytes}{1316bytes} = 7,6$  pacotes de 1316byte. Logo, aplicando as equações; (Eq.26) e (Eq.29) tem-

se:

$$B \geq \sum_{i=1}^{25+1} P_i - \sum_{j=1}^{25+1-4} P_j = P_1 + \dots + P_{26} - (P_1 + \dots + P_{22}) = P_{23} + P_{24} + P_{25} + P_{26} = (7,6 \times 1316bytes) \times 4 =$$

40000bytes

$$B \geq \sum_{i=1}^{25} P_i - \sum_{j=1}^{25-4} P_j = P_1 + \dots + P_{25} - (P_1 + \dots + P_{22}) = P_{23} + P_{24} + P_{25} = (7,6 \times 1316bytes) \times 4 = 40000bytes$$

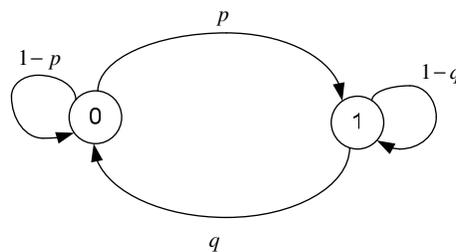
Logo, com um DF=50ms temos: (Eq.30)  $B = DF \times R = 50ms \times \frac{2 \cdot 10^6}{8} = 25Kbyte$  esse

buffer atende a condição de DF. Para as condições de não ocorrência de overflow temos uma ocupação de: **40Kbyte**, e para atender ao DF o valor do buffer mínimo é de **25Kbyte**. Logo, o buffer mínimo que o set-top-box deve possuir para atender as condições acima, deverá ser de **40Kbyte**. Para efeito de curiosidade, a operadora em análise utiliza um set-top-box que possui um buffer máximo de 3,4Mbyte, que atende com folga as condições impostas.

### 4.3 – SIMULAÇÃO DE TRAÇO TEÓRICO DE RPSNR RELATIVO DE QOE PARA ARQUITETURA DE REDE IPTV

#### 4.3.1 – Introdução

No modelamento do traçado do rPSNR [39], vamos utilizar o modelo de Gilbert [2,27], para caracterizar o processo de perda de pacotes, mostrado na figura 4.7. Neste modelo, por ser um processo markoviano, a dependência temporal tem decaimento exponencial. Trata-se de uma cadeia de Markov de dois estados, na qual cada um deles representa a perda ou não do pacote. A figura 4.7 ilustra a cadeia de Markov:



**Figura 4.7:** Cadeia de Markov para perda de pacotes na rede IPTV (Adaptado de [2,27]).

$X=0$  representa um estado da rede IPTV, no qual os pacotes chegam com sucesso; o estado  $X=1$  representa um estado no qual a rede perde todos os pacotes.

Esse modelo é capaz de reproduzir pequenas correlações entre as perdas. Novamente faz-se um paralelo entre o modelo em questão e a realidade que ele representa, supondo haver uma perda. Agora, há duas possibilidades: continuar no mesmo estado (o roteador continua congestionado, e o próximo pacote é perdido) ou mudar para o estado livre de congestionamento (indicando que já foi liberado espaço suficiente no *buffer* e que o próximo pacote será entregue com sucesso).

Como mostrado na figura acima, o modelo necessita de dois parâmetros:  $p$  e  $q$ , que indicam as probabilidades de transições entre os estados de perda e sucesso.

Utilizando a cadeia de Markov, pode-se realizar o equacionamento é determinar uma probabilidade incondicional de perda de pacotes, ou seja,  $P(X=1)$ :

$$P(0).p = P(1).q \text{ onde } : P(0) + P(1) = 1$$

$$P(0).p = P(1).q$$

$$P(0) = \frac{P(1).q}{p}$$

$$\frac{P(1).q}{p} + P(1) = 1$$

$$(Eq.31) \quad P(X=1) = \frac{p}{p+q}$$

Representa a probabilidade de ocorrer erro na rede, ou seja, de a rede IPTV atingir um regime estacionário, isto é, a condição de perda de pacotes. A probabilidade condicional de perda é igual à probabilidade de ocorrer uma perda, dado que o pacote precedente foi perdido, que é  $P(X_n = 1 - q | X_{n-1} = 1 - q) = 1 - q$ , ou seja, a probabilidade de permanecer no estado  $X=1$ . Aqui, buscou-se determinar a probabilidade de ocorrerem erros consecutivos, ou seja,  $n$  pacotes IPTV perdidos, dado que a rede entrou no estado de  $X=1$  (durante o qual todos os pacotes serão perdidos). Logo, pode-se escrever a seguinte equação de perda de pacotes consecutivos: (Eq.32)  $P_n = (1 - q)^{n-1} . q$

#### 4.3.2 – Valores da recomendação WT-126 do DSL Forum para métricas de QoE

A Recomendação do DSL Forum recomenda valores de perda de pacotes, jitter, delay, segundo a qualidade de vídeo que se deseja imprimir. A análise nesse trabalho será realizada para uma qualidade de vídeo em SDTV (*Standard definition Television*), que é utilizada na arquitetura da operadora em análise. A tabela abaixo representa os valores recomendados, para SDVT. A tabela 4.1 ilustra as recomendações da WT-126:

Vídeo stream banda de transmissão (Mbps)	latência	Jitter	Perda de Pacotes	Tempo (Coleta)	Taxa de erro média (IP)
1.75	<200ms	<50ms	1 pacote IP	30 min	3.3E-6
2.0	<200ms	<50ms	1 pacote IP	30 min	2.9E-6
2.5	<200ms	<50ms	1 pacote IP	30 min	2.3E-6
3.0	<200ms	<50ms	1 pacote IP	30 min	1.6E-6

**Tabela 4.1:** Métricas de QoE WT-126 ([15]).

Para análise de traço de rPSNR teórico e prático, vamos utilizar uma taxa de transmissão de 2Mbps, utilizada na arquitetura em análise, com uma taxa de erro de  $2,9E-6$  e 1 pacote IP perdido em um período de 30 minutos. Esses valores serão utilizados como valores alvos a obtermos em uma arquitetura de rede IPTV. Assim os valores da recomendação WT-126 serão utilizados em um primeiro momento como valores limites, obviamente iremos observar o comportamento da qualidade do vídeo e determinar os valores máximos de perda de pacotes e jitter, onde a QoE ainda possa ser atendida, segundo as expectativas do usuário.

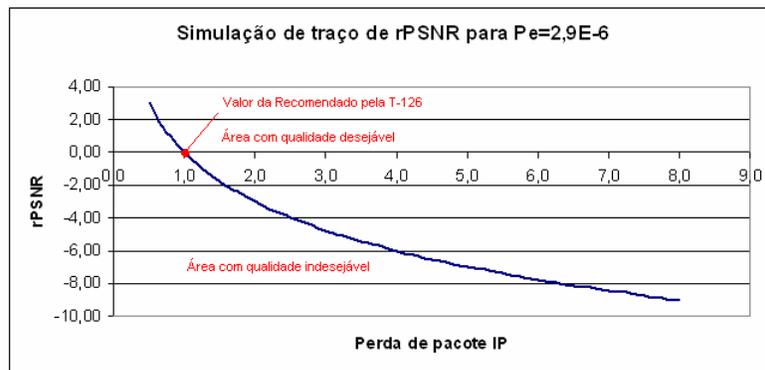
Nesse trabalho demos um enfoque maior nas recomendações WT-126 e RFC4445, que definem respectivamente os parâmetros para atender uma QoE adequada. Porém, formam pesquisadas às recomendações: TR-059, TR-092, TR-101 e TR-102. Na TR-059, esboça uma evolução do serviço ADSL, apresentando uma arquitetura de referência, e exigências necessárias para suportar múltiplos serviços na rede ADSL, com QoS. Apontando a utilização da rede xDSL para provimento do serviço IPTV, definindo requerimentos básicos para fornecimento do IPTV com QoS garantida.

Na TR-092, esboça uma metodologia comum para aplicações de QoS permitidas, entregando aos usuários xDSL uma qualidade de serviço adequada. Mostrando os níveis de QoS aplicados entre do DSLAM e o BRAS, fundamentais para suportar os conceitos esboçados na TR-059. Na TR-101, faz um esboço da qualidade de serviço, utilizando como rede de agregação o ATM, mostrando ainda a possibilidade de migração para ethernet ou GigaEthernet, estabelecidos pela evolução do serviço xDSL adequados na TR-059. A TR-102, apresenta um relatório técnico que especifica um jogo de interações da relação entre fornecedores de serviço a fim facilitar a variabilidade de serviços na rede xDSL, garantindo uma QoS adequada. Para um entendimento melhor das recomendações TR-059, TR-92, TR-101 e TR-102, vide o apêndice A.

### **4.3.3 – Traço de rPSNR para valores de perda de pacotes e taxa de erro**

O traço do rPSNR, irá mostrar qual o perfil da qualidade de vídeo em relação: à perda de pacotes IP, e probabilidade de erro (ou taxa de erro), no caminho de rede IPTV. Utilizando como valores alvo os recomendados pela WT-126, vista no item 4.3.2. A simulação do traço da qualidade relativa do sinal de vídeo rPSNR, será realizada para uma arquitetura da operadora em estudo, com uma taxa de stream de vídeo de 2Mbps em MPEG-4/H.264, em qualidade de SDTV: PAL, 25fps. Onde cada pacote IP transporta 7 pacotes de mídia (7 de 188bytes). Traço de rPSNR para Taxa de erro  $2,9E-6$  e variações de perda de pacotes IP ( $n = 0 \dots 9$ ).

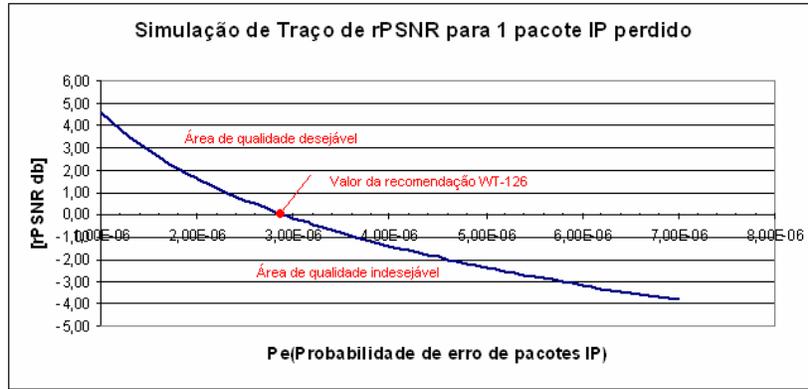
A recomendação WT-126, que é ponto de partida para o mínimo valor utilizado arquitetura de rede da operadora em análise, na qual se trabalhou com uma probabilidade de erro de (ou taxa de erro)  $P_e^0 = 2.9 \cdot 10^{-6}$ , para uma perda de pacote IP igual  $n^o = 1$ , segundo tabela do item 5.2.1.. Utilizando a distribuição de Gilbert para perda de um pacote IP consecutivo, adotou-se a expressão para o cálculo  $P_e' = (1 - q)^{n-1} \cdot q$ . Logo, variando o valor de perda de pacotes, e aplicando no modelo de rPSNR :  $rPSNR = 10 \log_{10} \frac{(n^o)P_e^0}{(n^i)P_e'}$ . Devemos destacar que o modelo de rPSNR relaciona perda de pacote de mídia, mas como um pacote IP transporta 7 pacotes de mídia e o modelo é relativo, podemos utiliza-lo para perda de pacotes IP. O Gráfico 4.1 mostra o rPSNR:



**Gráfico 4.1:** Simulação de rPSNR com  $P_e=2,9e-6$ .

Observa-se que para uma taxa de erro de  $2,9E-6$ , a perda máxima de pacotes de ser no máximo 1 pacote IP perdido, ou seja, o valor recomendado pela WT-126. A medida que a perda de pacotes aumenta, o rPSNR tende a ficar cada vez menor. Mostrando o quanto distante estamos do valor alvo, para a qualidade de vídeo desejada na rede.

Traço de rPSNR para Taxa de erro variando  $1 \times 10^{-6} \rightarrow 7 \times 10^{-6}$  e perda de pacotes. ( $n^o = 1$ ). O Traçado do rPSNR para valores de recomendação WT-126, que é ponto de partida do valor mínimo para a arquitetura de rede em análise, na qual há uma probabilidade de erro (ou taxa de erro) de  $P_e^0 = 2,910^{-6}$ , para uma perda de pacote igual  $n^o = 1$ . Utilizando a distribuição de Gilbert para perda de um pacote, adotamos a expressão para o cálculo  $P_e' = (1 - q)^{n-1} \cdot q$ . Com a variação da taxa de erro ( $1 \times 10^{-6} \rightarrow 7 \times 10^{-6}$ ), e uma taxa de perda de pacotes constante igual a 1. Logo, obtém-se o gráfico 4.2 abaixo.



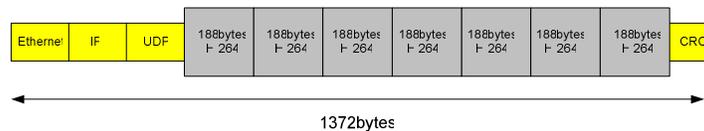
**Gráfico 4.2:** Simulação de traço de rPSNR para 1 pacote perdido.

O eixo horizontal representa a probabilidade de erro (ou taxa de erro) na rede IPTV; já o eixo vertical representa o rPSNR em db. A região de  $rPSNR \geq 0db$  é uma região com qualidade de vídeo a ser alcançada (Área de qualidade desejável), para valores de  $rPSNR < 0db$  (Área de qualidade indesejável), o serviço não tem garantias de qualidade, segundo a recomendação WT-126. O que se observa que para atender ao valor alvo da recomendação, a probabilidade de erro (ou taxa de erro) pode variar até no máximo  $2,9E-6$ , obtendo um rPSNR favorável ao QoE.

Porém, apesar dos valores recomendados pela WT-126, vamos buscar através de medidas na rede da operadora, valores de perda de pacotes IP/mídia que atendam às expectativas do usuário, quanto à qualidade do vídeo observada.

#### 4.4 – SIMULAÇÃO DE TAMANHO DE BUFFER PARA O IPTV

O Frame Ethernet que transporta o UDP/IP/Pacotes de mídia, possui um tamanho de 1372Bytes, onde em cada pacote ethernet temos 7 pacotes de mídia de 188Bytes. A figura abaixo mostra o Frame ethernet, para transporte de vídeo MPEG-4/H.264, utilizado na arquitetura da operadora em análise. A figura 4.8 ilustra o frame ethernet com os pacotes de mídia:

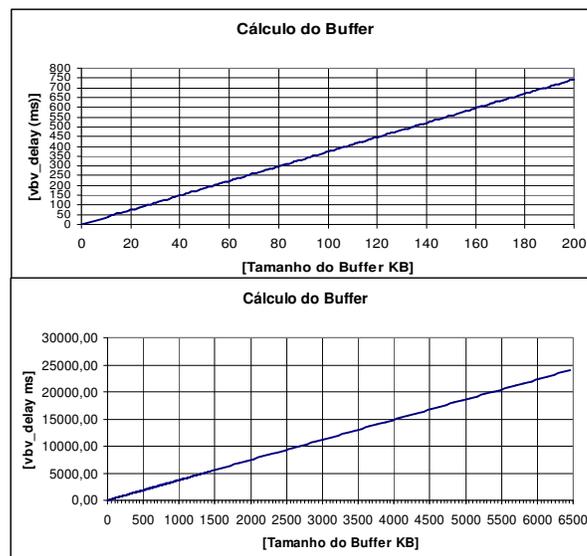


**Figura 4.8:** Frame Ethernet para compactação H.264 (Adaptado de [26]).

Para as simulações de tamanho de buffer, será considerado que os pacotes terão tamanho de 1372bytes fixo, para efeito de simplificação e previsão de buffer com folga.

#### 4.4.1 – SIMULAÇÃO DE TAMANHO DE BUFER SEM OCORRÊNCIA DE OVERFLOW

Considerando uma taxa de transmissão de vídeo de 2Mbps, para H264 com 25 frames por segundo (Sistema PAL utilizado no Brasil) [15]. Para o pacote Ethernet com 1372 bytes, com as variações de vbv\_delay [0 a 30s]. Utilizando a condição de não ocorrência de Overflow [38], vista no item 4.2.3 desse capítulo, podemos traçar os gráficos de tamanho de buffer mínimo. Os Gráficos 4.3 ilustram o tamanho do buffer:



**Gráfico 4.3:** Simulação de Tamanho do Buffer para o IPTV.

Os gráficos foram esboçados para atender as condições de não ocorra overflow[38]:

$$B_K + (P_{k+1} - P_s) \leq B$$

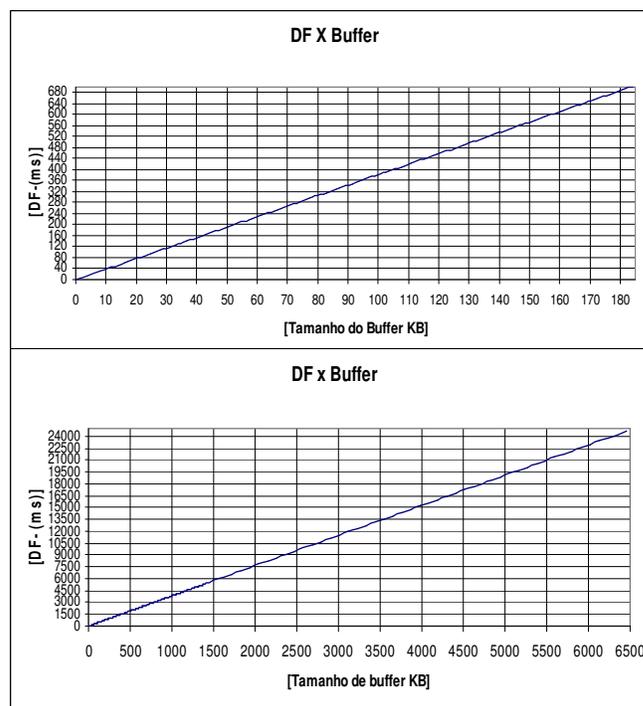
$$B_k = B_A + \sum_{i=A+1}^{k+1} P_i - \sum_{j=A+1}^{k+1-C} P_j$$

$$T = 1/25 = 40ms, vbv\_delay = C.T .$$

Os gráficos mostram que o tamanho do buffer dependerá do vbv\_delay , que é o tempo em que o STB (Set-top-box) retira os pacotes .Para cada valor de vbv\_delay é determinado o tamanho de buffer mínimo sem que ocorra overflow no STB.

#### 4.4.2 – SIMULAÇÃO DE TAMANHO DE BUFER EM FUNÇÃO DO DELAY FACTOR

A recomendação WT-126, vista no item 4.3.1 determina que o DF (*Delay Factor*) deve ser menor que 50ms (Qualidade SD e Taxa de stream 2Mbps). Porém, caso a rede IPTV apresente um DF maior que 50ms, o buffer do STB (Set-top-box) deve estar preparado para segurar essa variação sem que ocorra uma perda de pacotes. As simulações de tamanho de buffer foram eboçadas em função das variações de DF, determinado o tamanho de buffer mínimo do STB para suportar as oscilações de DF. Os gráficos 5.4 mostram o tamanho do buffer em função de variações de DF.



**Gráfico 4.4:** Simulação de Buffer em função de Delay- Factor (DF)

O DF (*delay factor*) é determinado segundo a RFC 4445, onde seu valor é determinado por:  $DF = \left( \frac{VB(\max) - VB(\min)}{R} = \frac{B}{R} \right)$  demonstrado no item 5.2.4. Logo, os gráficos foram traçados em função das variações de DF, determinado para cada variação de DF, o tamanho mínimo que o buffer do STB (Set-top-box) tem que ter. Observa-se pelas simulações, que o QoE quanto ao requisito de DF, tem sua qualidade ligada a qualidade do STB, que é instalado no usuário IPTV. Porém, uma rede IPTV de qualidade não deve apresentar grandes variações de DF.

## **5 – ESTUDOS DE CASOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO**

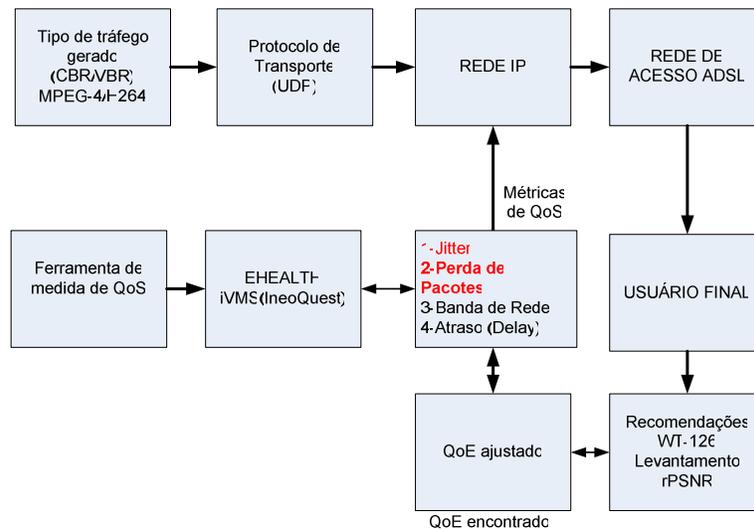
### **5.1 – INTRODUÇÃO**

Esse capítulo apresentará as ferramentas de medidas para aferição da QoE na arquitetura de rede IPTV de uma operadora em análise. Serão também apresentados estudos de casos de medidas da QoE, com o objetivo de avaliar o nível de qualidade de vídeo, observada na arquitetura IPTV da operadora em estudo. Será mostrado o perfil da qualidade de vídeo em relação à perda de pacote IP, aplicada à infra-estrutura de rede ATM existente na operadora em análise, objetivando mostrar a possibilidade de implementação de IPTV. Também utilizaremos o modelo de qualidade de vídeo, o rPSNR, para traçar a qualidade do IPTV piloto da operadora, em Brasília, medindo a qualidade na última milha e na conexão do DSLAM Gigabit Ethernet com o Switch IPTV.

### **5.2 – MEDIDAS E FERRAMENTAS PARA AFERIÇÃO DA QOE**

Como já foram definidas as métricas de QoS [capítulo 3], vai-se focar agora, na métrica de perda de pacotes e jitter, que são métricas que degradam o sinal de vídeo de forma acentuada. Foram apresentadas também as métricas de QoS, recomendadas pela WT-126. Serão medidas as variações das métricas **perda de pacotes** e **jitter**, avaliando seu comportamento em relação ao sinal de vídeo. Obtendo a métrica de QoE (em relação a perda de pacotes IP), através do traçado do r-PSNR para a arquitetura de rede em uma operadora [Capítulo 2]. O objetivo é definir, quantitativamente, a melhor QoE para a rede da operadora em análise, obtendo-se uma tabela MoS-V final para o sinal de vídeo. Espera-se obter, ainda, nossas próprias métricas, em nível da perda de pacote e jitter.

As métricas de rPSNR, descritas no capítulo 4, medidas e ajustadas para nossa rede, vão permitir um gerenciamento mais efetivo do set-top-box e modem do usuário. Bem como identificar se a qualidade de vídeo reclamada pelo usuário é condizente ou não com a sua reclamação de desempenho. Busca-se ainda melhorar os processos internos de abertura de chamados, quando ocorrerem. A figura 5.1 abaixo mostra, resumidamente, o modelo de aferição que vamos utilizar:



**Figura 5.1:** Ferramentas e métricas para aferição do QoE

As Ferramentas, Ehealth e iVMS, permitem avaliar as métricas e diagnosticar a QoE na arquitetura IPTV da operadora em estudo. Ressaltando que o iVMS é uma ferramenta específica para diagnosticar a qualidade de vídeo, permitindo as medidas de MDI-DF e MDI-MLR. Essa ferramenta não é disponível na operadora, para esse trabalho foi realizado um Trail da ferramenta junto ao representante da IneoQuest, para sua validação e obtenção das métricas de QoE. A ferramenta Ehealth não é específica para medida de qualidade de vídeo, mas permite coletar as perdas de pacotes em toda a rede, possibilitando um diagnóstico prévio de QoE em relação a perda de pacotes. O valor medido é aplicado ao modelo de rPSNR, determinando o perfil da qualidade do vídeo entregue ao usuário IPTV, em função da perda de pacotes.

No DSL Forum, foram elaboradas recomendações de QoE (WT-126), que mostram parâmetros a serem atendidos, para refletir uma QoE aceitável ao usuário. Porém, os parâmetros podem não serem atendidos em alguns pontos da arquitetura de rede da operadora em análise. Os testes têm como objetivo observar os valores de QoE, em nível de perda de pacotes e “jitter”, definindo métricas próprias, que mais se adequam a nossa realidade. As aferições permitirão determinar qual a perda de pacote que podemos ter em nossa arquitetura de rede IPTV, assim como o jitter associando a essa perda. Assim, serão estabelecidos valores que atendem aos requisitos de qualidade de vídeo observada pelo usuário, procurando sempre que possível atingir os valores alvo da WT-126.



determinar a taxa de erro nesse caminho. Para medidas de perda de pacotes foi utilizada a ferramenta de medida de desempenho de rede, o Ehealth. Também estaremos medindo a latência do caminho analisado, comparado com o valor recomendado da WT-126. A ferramenta Ehealth gera relatórios diários, mensal e por período determinado em função da necessidade, para a taxa de perda de pacotes, latência no caminho DSLAM para BRAS. O caminho de rede analisado é representado na Figura 5.2, entre o DSLAM e o BRAS, assim como a representação da ferramenta de medida. O ponto analisado (entre DSLAM e BRAS) está representado em vermelho, essa estrutura repete-se para as demais filias, onde cada ponto em vermelho tem uma concentração de cinco DSLAM's. A ferramenta Ehealth irá medir a taxa média de células perdidas no caminho entre o DSALM e o BRAS, e ainda medir a latência do caminho. Através das medidas de perda de células, converteremos para perda de pacotes IP, com pacotes de tamanho 1362byte (7 pacotes de mídia e overhead). A taxa de erro será extraída da perda de células existente em cada caminho em vermelho para o link de 155Mbps.

### 5.3.1 – Traço de rPSNR no caminho DSLAM –BRAS

Inicialmente o modelo de traçado de QoE, o rPSNR, trabalha com dois valores alvo na rede, perda de pacotes e probabilidade de erro (taxa de erro de bit). Esses valores definirão a qualidade pretendida na rede. A recomendação WT-126 define os valores recomendados de perda de pacotes IP e taxa de erro, para o fluxo de vídeo, em função da taxa de compactação e o tipo da compactação. Valores definidos para um período de medida de 30 minutos.

O Vídeo do IPTV na operadora em estudo é compactado em MPEG-4 a uma taxa de 2Mbps, com qualidade de SDTV (Standard Definition Television). O modelo de rPSNR, analisado no capítulo cinco terá como valores alvo [WT-126] o seguinte:  $n = 1$  e  $P_e = 2,9 \cdot 10^{-6}$ , onde  $n$  representa a perda média de pacotes no caminho de rede entre DSLAM e BRAS e  $P_e$  a probabilidade de ocorrência de erro (taxa de erro de pacote), para um fluxo de vídeo a uma taxa de  $R = 2Mbps$  SDTV. A WT-126 recomenda que o caminho analisado deva possuir uma latência máxima  $< 200ms$ , latência que será medida pela ferramenta Ehealth.

O modelo rPSNR converterá essas medidas em qualidade de vídeo, em função do alvo estabelecido pela recomendação WT-126. Os caminhos de rede analisados serão sempre do BRAS para o DSLAM, onde se encontra os pontos mais críticos de possíveis perdas de pacotes, por congestionamento ou falha. Os pontos em vermelho da figura 5.2 acima, são os pontos medidos para todas as filias analisadas. Cada ponto de concentração é composto por um total de cinco DSLAM's em cada final analisada da operadora em estudo.

A ferramenta Ehealth fez as medidas de perdas de pacotes, em cada ponto de concentração, para um total de cinquenta pontos distribuídos pela rede da operadora. A medida de perda de pacotes representa uma média de pacotes perdidos por ponto de concentração, já que cada ponto possui concentração de 5 DSLAM's. Já a taxa de erro foi extraída da medida da perda de pacotes.

A tabela 5.1 abaixo, mostra os pontos onde foram realizadas as medidas, distribuídos em todas as filias da operadora. Pela figura 5.2 acima é possível verificar o ponto de medida em Brasília, as demais filias possuem a mesma estrutura.

Filial	Interface Caminho [Mbps]	Caminho
BSA-1 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-2 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-3 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-4 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-5 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-6 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-7 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-8 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-9 (Brasília)	155	DSLAM-BRAS
BSA-10(Brasília)	155	DSLAM-BRAS
GNA-1(Goiânia)	155	DSLAM-BRAS
GNA-2(Goiânia)	155	DSLAM-BRAS
GNA-3(Goiânia)	155	DSLAM-BRAS
CBA-1(Goiânia)	155	DSLAM-BRAS
CBA-2(Goiânia)	155	DSLAM-BRAS
CBA-3(Goiânia)	155	DSLAM-BRAS
CBA-4(Cuiabá)	155	DSLAM-BRAS
CBA-5(Cuiabá)	155	DSLAM-BRAS
CBA-6(Cuiabá)	155	DSLAM-BRAS
CPE-1(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-2(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-3(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-4(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS

CPE-5(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-6(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-7(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-8(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-9(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
CPE-10(Campo Grande)	155	DSLAM-BRAS
PVO-1(Porto Velho)	155	DSLAM-BRAS
PVO-2(Porto Velho)	155	DSLAM-BRAS
PVO-3(Porto Velho)	155	DSLAM-BRAS
PVO-4(Porto Velho)	155	DSLAM-BRAS
PVO-5(Porto Velho)	155	DSLAM-BRAS
PR-1-CTA(Curitiba)	155	DSLAM-BRAS
PR-2-CTA(Curitiba)	155	DSLAM-BRAS
PR-3-CTA(Curitiba)	155	DSLAM-BRAS
PR-4- CSCG(Cascavél)	155	DSLAM-BRAS
PR-5- CSCG(Cascavél)	155	DSLAM-BRAS
PR-6-CSCG(Cascavél)	155	DSLAM-BRAS
SC-1(Santa Catarina)	155	DSLAM-BRAS
SC-2(Santa Catarina)	155	DSLAM-BRAS
SC-3(Santa Catarina)	155	DSLAM-BRAS
SC-4-FNS(Santa Catarina)	155	DSLAM-BRAS
SC-5-JVE(Santa Catarina)	155	DSLAM-BRAS
SC-6-JVE(Santa Catarina)	155	DSLAM-BRAS
PAE-1(Porto Alegre)	155	DSLAM-BRAS
PAE-2(Porto Alegre)	155	DSLAM-BRAS
PAE-3(Porto Alegre)	155	DSLAM-BRAS
PAE-4(Porto Alegre)	155	DSLAM-BRAS

**Tabela 5.1:** Pontos da rede ATM Medidos.

As medidas coletadas pelo Ehealth de perda de células foram convertidas em perdas de pacote IP, com pacotes de 1316byte e células de 53byte no caminho analisado. As medidas de perda de células formam tabelas e convertidas em perdas de pacotes IP, e medido as taxas de erro para cada ponto analisado. A tabela abaixo mostra as medidas realizadas assim como a

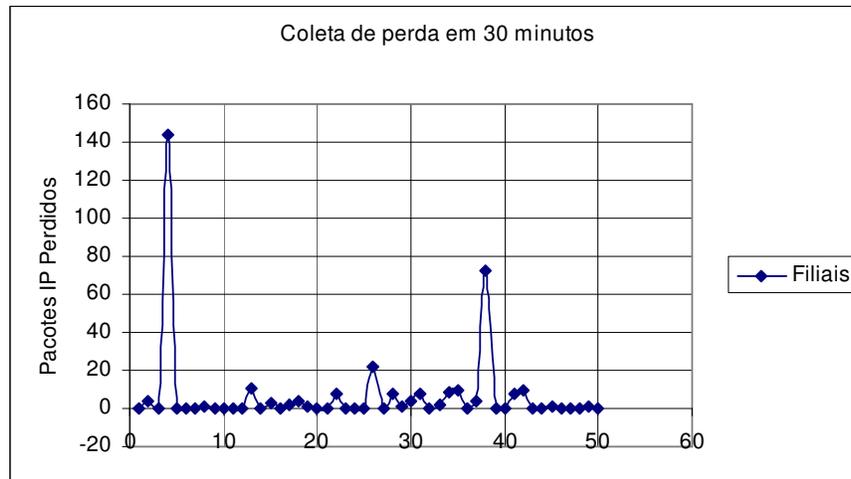
conversão para perda de pacotes IP e a taxa de erro extraída para cada caminho. O resultado das coletas é aplicado ao modelo de rPSNR , definido para um fluxo de vídeo MPEG-4:  $rPSNR = 10 \times \text{Log} \left( \frac{n^0 P_e^0}{n' P_e'} \right)$ . Onde  $n^0, P_e^0$  representam os valores da recomendação WT-126 e  $n', P_e'$  representam os valores medidos. O modelo permite avaliar o quanto distante estamos do valor recomendado de qualidade de vídeo. A tabela 5.2 abaixo mostra um resumo das coletas realizadas pela ferramenta.

Localidade ATM	Erro cell/30min	Pacote errado/IP Convertido	erro medido	Latência da rede[ms]
BSA-1	9	0,36	8,49E-07	50
BSA-2	90	3,62	8,49E-06	50
BSA-3	6,75	0,271	6,37E-07	50
BSA-4	3600	144	3,39E-04	50
BSA-5	4,5	0,18	4,24E-07	50
BSA-6	7,2	0,29	6,80E-07	50
BSA-7	2,7	0,11	2,55E-07	50
BSA-8	13,5	0,54	1,27E-06	35
BSA-9	2,25	0,09	2,12E-07	50
BSA-10	0,72	0,0289	6,79E-08	50
GNA-1	0,18	0,00724	1,69E-08	50
GNA-2	1,6	0,0644	1,51E-07	50
GNA-3	270	10,87	2,55E-05	50
CBA-1	3,24	0,13	3,10E-07	55
CBA-2	81	3,26	7,64E-06	55
CBA-3	3,6	0,145	3,40E-07	55
CBA-4	45	1,81	4,24E-06	54
CBA-5	90	3,62	8,50E-06	53
CBA-6	25	1	2,40E-06	54
CPE-1	2,88	0,115	2,72E-07	75
CPE-2	6,3	0,254	5,95E-07	65

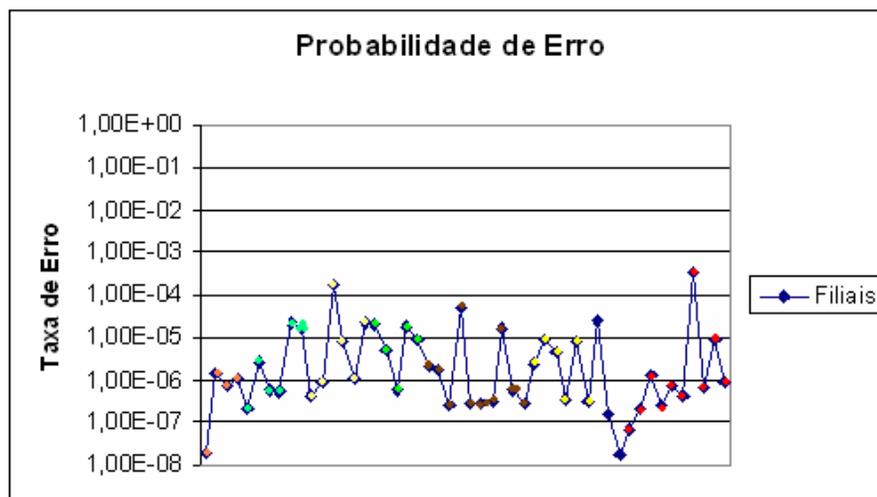
CPE-3	180	7,24	1,70E-05	63
CPE-4	3,24	0,13	3,10E-07	65
CPE-5	3,06	0,123	2,90E-07	65
CPE-6	2,88	0,1159	2,72E-07	65
CPE-7	540	21,74	5,10E-05	70
CPE-8	2,7	0,1	2,55E-07	65
CPE-9	180	7,2	1,70E-06	75
CPE-10	21,6	0,87	2,10E-06	74
PVO-1	90	3,63	8,50E-06	75
PVO-2	200	8	1,88E-05	75
PVO-3	6,3	0,25	5,94E-07	75
PVO-4	48,6	1,95	4,58E-06	75
PVO-5	220	8,86	2,00E-05	74
PR-1-CTA	225	9,1	2,12E-05	16
PR-2-CTA	10,8	0,434	1,01E-06	16
PR-3-CTA	90	3,62	8,20E-06	16
PR-4-CSCG	1800	72,4	1,64E-04	35
PR-5-CSCG	9	0,36	8,20E-07	25
PR-6-CSCG	4,5	0,181	4,10E-07	25
SC-1	180	7,2	1,64E-05	120
SC-2	225	9,1	2,10E-05	16
SC-3	5,4	0,217	5,10E-07	16
SC-4-FNS	6,3	0,26	5,95E-07	16
SC-7-JVE	27	1,06	2,54E-06	14
SC-6-JVE	2,16	0,087	2,10E-07	18
PAE-1	10,8	0,434	1,10E-06	16
PAE-2	7,2	0,29	6,80E-07	20
PAE-3	14,4	0,6	1,36E-06	20
PAE-4	0,2	0,00805	1,89E-08	25

**Tabela 5.2:** Dados de Perda de pacotes coletados na rede ATM

Os gráficos 5.1 e 5.2 abaixo foram traçados com base nas medidas realizadas, que estão na tabela 5.2. Os gráficos mostram a perda de pacotes IP e a taxa de erro nos caminhos analisados, por todas as filiais da operadora.



**Gráfico 5.1:** Perda de pacotes IP nos entroncamentos ATM medidos.

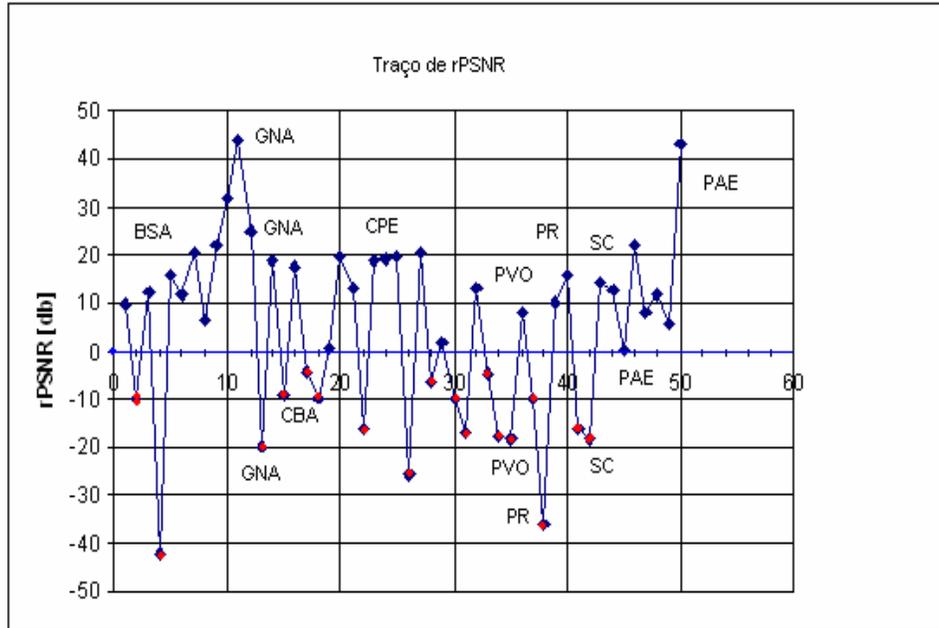


**Gráfico 5.2:** Taxa de erro nos entroncamentos ATM medidos.

Com os resultados acima é possível traçar o rPSNR, mostrando os pontos que podem ou não atender a qualidade de vídeo recomendada pela WT-126. O perfil de QoE para os pontos ATM é mostrado no gráfico abaixo. Os pontos em vermelho representam os valores onde não se recomenda a implementação de IPTV, pois os valores de rPSNR são maiores que os recomendados WT-126. A linha em azul no eixo horizontal, partindo do zero, representa o

valor recomendado pela WT-126, ou seja, valor medido igual a valor recomendado pela WT-126. O Gráfico 5.3 abaixo ilustra o rPSNR traçado por filial, em função do modelo:

$$rPSNR = 10 \times \text{Log} \left( \frac{n^0 P_e^0}{n^1 P_e^1} \right)$$



**Gráfico 5.3:** Traço de rPSNR nos entroncamentos ATM

### 5.3.2 – Análise do resultado do traço de rPSNR para o ATM

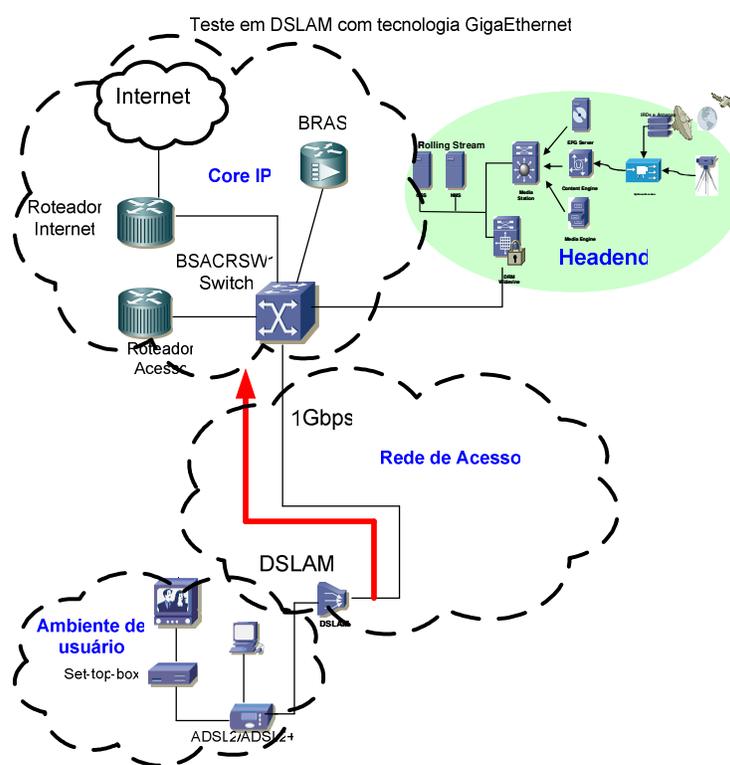
O traço da QoE, em função do rPSNR, permitiu avaliar previamente que para as localidades medidas, temos a possibilidade de implementar IPTV em 64% das filias, sem a necessidade de realizar qualquer implementação a nível de tecnologia do DSLAM, ou seja, sem a necessidade da substituição dos DSLAM's para Gigabit Ethernet. Os demais pontos restantes demandam a necessidade de um planejamento, para troca dos links, segundo os valores alvo da recomendação WT-126.

Os resultados ainda permitem mostrar que é possível utilizar a infra-estrutura dos DSLAM ATM, já consolidada em 56,4% da planta instalada, gerando receita e usufruindo de infra-estrutura já instalada. Como a infra-estrutura já esta instalada ganha-se agilidade e cobertura na implementação do IPTV. Porém deve-se considerar que a estrutura da banda larga sobre o ATM existente, necessitará sofrer algumas alterações no BRAS, e no DSLAM ATM, nesse último seria a troca das line card de modems ADSL para ADSL2. Porém os resultados mostram que podemos utilizar boa parte da infra-estrutura existente do ATM, até

que o serviço esteja consolidado, e sua demanda aumente ao ponto de trocar a tecnologia do DSLAM ATM para GigabitEthernet.

#### 5.4 – ESTUDO DE CASO DE TRAÇO DE RPSNR EM GIGABIT ETHERNET

Foram realizadas medidas de perda de pacotes e taxa de erro no trajeto DSLAM para o Switch, conforme figura 5.4. Foram analisados seis DSALM Gigabit Ethernet que atendem ao serviço IPTV implementado em Brasília, o piloto. Os DSLAM's analisados são: BSACR619, BSACR620, BSACR621, BSANO627, BSASO618, BSASW616.



**Gráfico 5.4:** Topologia para medida de QoE na saída do DSLAM (Adaptado de [3]).

O serviço IPTV ainda não é tão significativo na planta da operadora em estudo, para tal realizamos as medidas enviando pacotes de ping. Foi enviada uma seqüência de pacotes IP de 1500Bytes, das portas dos DSLAM's (BSACR619, BSACR620, BSACR621, BSANO627, BSASO618, BSASW616) para o Switch nos quais estão conectados. O fluxo de taxa de transmissão do caminho é de 1Gbps, que tem uma capacidade máxima de 250 fluxos de vídeo, em função do header que é introduzido. Os pacotes IP foram enviados por um período

de 30 minutos, tempo de medida utilizado pela recomendação WT-126. Os resultados estão representados na tabela 5.3 abaixo:

DSLAM	Pacotes IP enviados 1500bytes	Pacotes Recebidos	Pacotes Perdidos	Perda no caminho	Erro de pacote $P_e = 1 - (1 - p)^{1/x}$ $x = \text{tamanho pacote}$ $p = \text{perda no caminho}$
BSACR619	60.000	58.800	480	0,8%	6,69E-7
BSACR620	60.000	59.400	300	0,5%	4,18E-7
BSACR621	60.000	58.800	540	0,9%	7,53E-7
BSANO627	60.000	59.400	500	0,83%	6,95E-7
BSASO618	60.000	59.400	564	0,94%	7,876E-7
BSASW616	60.000	59.400	498	0,83%	6,95E-7

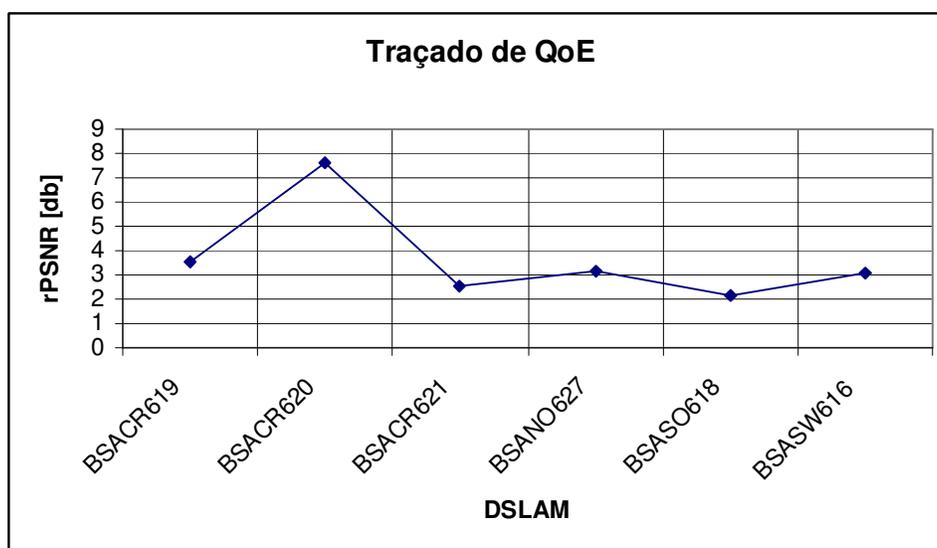
**Tabela 5.3:** Medidas realizadas nos DSLAM's Gigabit Ethernet.

Para avaliar o traçado da qualidade de vídeo nesse trajeto, vamos considerar a taxa máxima drenada em todo o caminho analisado, que seria de 250 fluxos de vídeo. Dessa forma a perda de pacotes no caminho será dividida pela quantidade máxima de fluxo, sendo possível à determinação da perda média de pacotes. A tabela 5.4 abaixo, representa a perda média de pacotes para o máximo de fluxo por DSLAM; durante o período de 30 minutos:

DSLAM	Total de Pacotes perdidos	Média de pacotes perdidos por fluxo
BSACR619	480	1,92
BSACR620	300	1,2
BSACR621	540	2,16
BSANO627	500	2
BSASO618	564	2,256
BSASW616	498	1,992

**Tabela 5.4:** Perda média de pacotes nos DSLAM's.

Com a perda média de pacotes no caminho, podemos traçar o perfil da qualidade de vídeo no caminho para o máximo de fluxo possível. A tabela 5.4 mostra a perda de pacotes em 30 minutos de coleta. Os valores serão aplicados no modelo de rPSNR associado a taxa de erro no caminho visto na tabela 5.3. Com cada fluxo a 2Mbps, e utilizando a recomendação WT-126 para valor alvo:  $P_e^0 = 2,9 \cdot 10^{-6}$  e  $n = 1$  para um período de 30 minutos. Aplicando no modelo estudado no capítulo 4  $[rPSNR = 10 \times \text{Log} \left( \frac{n^0 P_e^0}{n \cdot P_e} \right)]$ . Podemos traçar o perfil da qualidade de vídeo para o IPTV piloto implementado hoje na operadora em análise, conforme gráfico 5.5 abaixo:



**Gráfico 5.5:** Traço de rPSNR para os DSLAM Gigabit Ethernet.

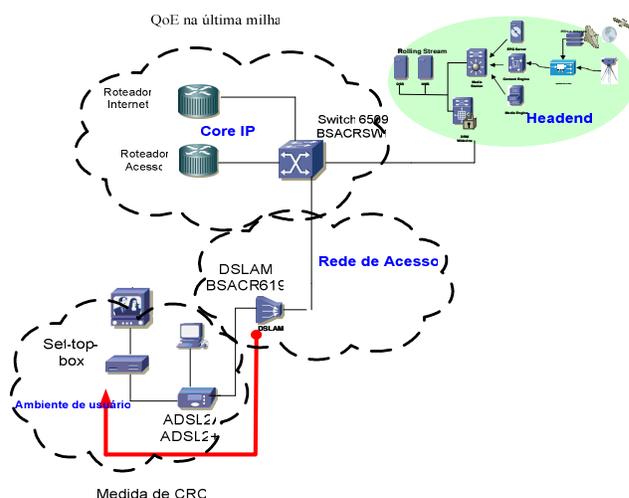
Todas as portas Gigabitethernet medidas atendem ao requisito de QoE de acordo com o modelo rPSNR. Os pontos em análise possuem usuários IPTV conectados, sem problemas de performance em relação ao caminho DSLAM switch. Logo, 100% das portas analisadas atenderam ao requisito de QoE, pois os valores de rPSNR foram maiores que o db (taxa de erro ou perda de pacotes abaixo do recomendado pela WT-126). Logo, podemos concluir que inicialmente o IPTV encontra-se com baixa ocupação, mas os testes mostram o traçado para máxima carga de vídeo sendo utilizada.

#### 5.4.1 – Estudo de caso de perda de pacotes na última milha em Gigabit Ethernet

Na operadora em estudo, temos IPTV implementado na região de Brasília, a princípio em: Sudoeste, Cruzeiro, Asa Norte, Asa Sul, Taguatinga Centro, Lago Norte e Sul. Com o

objetivo de definir uma qualidade de vídeo na última milha, foram realizadas medidas de CRC em alguns acessos IPTV. A figura 5.3 abaixo representa a topologia do IPTV implementado em Brasília, assim como o ponto onde será traçado a QoE, ou seja, o rPSNR. A figura 5.3 abaixo ilustra a topologia medida, mostrando o ponto medido com uma seta.

O caminho do traçado de QoE tem o meio de transmissão metálico, ou seja, o par telefônico com modem ADSL2. Os pontos em análise, correspondem a usuários IPTV na região atendida pela Estação telefônica do Cruzeiro (ETCR).



**Figura 5.3:** Topologia para medição de QoE na última milha (Adaptado de [3]).

As medidas foram realizadas on-line diretamente pelo sistema de gerenciamento dos DSLAM's. As coletas foram realizadas em um período de 30 minutos, para um total de 17 pontos analisados em um mesmo DSLAM. A medida oferecida pelo sistema de gerência do DSLAM é o CRC. Para definir a perda de pacote IP, o pacote IPTV foi analisado para um tamanho máximo de 1316bytes (7x188byte). Com a perda de pacote IP, podemos extrair a taxa de erro no período de coleta do CRC.

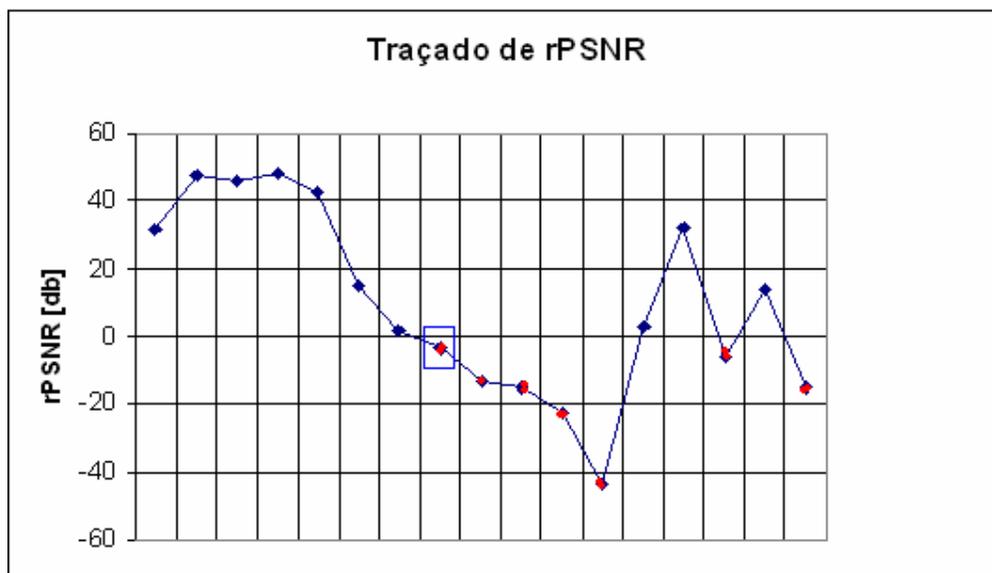
Conforme a figura 5.3 acima o ponto de análise é a última milha, onde o usuário conectado ao DSLAM GigaEthernet, mostrado em vermelho (seta indicada). A qualidade impressa ao vídeo ofertado no IPTV, tem taxa de stream de 2Mbps e qualidade de SDTV( Standard Definition Television). A linha do usuário ADSL2+ deve estar qualificada para trabalhar na taxa de 2 Mbps.

Logo, para traçar o rPSNR é necessário aplicar os valores de perda de pacotes IP e taxa de erro no modelo. Definido por:  $rPSNR = 10 \times \text{Log} \left( \frac{n^0 P_e^0}{n' P_e'} \right)$ , onde  $n^0, P_e^0$  representam os valores alvos para boa qualidade de vídeo, que é definido pela WT-126 com valores de:  $P_e^0 = 2,9.10^{-6}$  e  $n^0 = 1$  período de 30 minutos.  $P_e'$  e  $n'$  representam os valores encontrados do caminho analisado. A tabela 5.5 abaixo mostram os valores de perda de pacotes IP, convertidos a partir da medida de CRC e aplicados ao modelo de rPSNR.

Pacote IP Perdido $n' = \left( \frac{CRC \times 1316}{1800s} \right)$	Probabilidade de Erro	
	$P_e' = \left( \frac{CRC}{Tempo\_coleta \times R_{bps}} \right)$ $R_{bps} = 2Mps$ $Tempo\_coleta = 1800s$	rPSNR[db]
3,67E-02	5,55E-08	31,53
5,50E-03	8,32E-09	48,01
7,07E-03	1,07E-08	45,83
5,24E-03	7,93E-09	48,43
1,03E-02	1,56E-08	42,56
0,261	3,95E-07	14,89
1,14	1,73E-06	1,67
2,06	3,12E-06	-3,46
6,7	1,01E-05	-13,68
8,79	1,13E-05	-15,35
18,36	2,78E-05	-22,46
214	3,24E-04	-43,78
1	1,51E-06	2,83
3,53E-02	5,34E-08	31,86
2,7	4,09E-06	-5,77
0,276	4,18E-07	14
8	1,21E-05	-15,29

**Tabela 5.5:** Conversão com CRC e Taxa de erro na última milha.

Com os valores medidos de CRC é possível traçar o perfil da qualidade do vídeo, que é mostrado no gráfico 5.6 abaixo, onde se utiliza o modelo de rPSNR.



**Gráfico 5.6:** Traço de rPSNR na última milha vista pelo DSLAM.

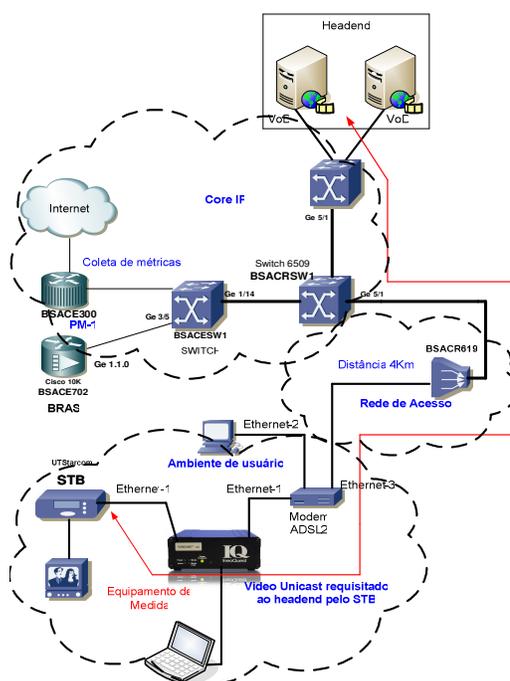
Os pontos em vermelho não atenderam aos requisitos de QoE segundo o modelo de rPSNR e a recomendação WT-126. Os pontos bem distantes do eixo horizontal [0db], segundo a recomendação não atendem ao requisito de QoE. Dos pontos medidos, 58,82% atenderam ao requisito de QoE, conforme a recomendação da WT-126.

Com os resultados acima, torna possível avaliar a qualidade de vídeo reclamada pelo usuário, através do gerenciamento do CRC, nos STB e Modens. Ou até mesmo criar um sistema automático para gerenciar CRC nos modens e set-top-box. Inserindo os valores de CRC a partir dos quais a qualidade fica comprometida, segundo o modelo rPSNR, permitindo gerar um BA (bilhete de atividade) automaticamente, disparando um técnico para reparo do acesso ADSL2. Porém, vale destacar que o traço do rPSNR teve como valor alvo na rede, a recomendação WT-126. Na Seção 5.5 vamos analisar o efeito da perda de pacotes e do “jitter” na qualidade do vídeo, onde na seção 5.8 será realizada uma pesquisa de opinião sobre a qualidade do vídeo (MOS-V), associada a uma determinada perda de pacotes e “jitter”, que permitirá estabelecer métricas próprias, onde a QoE ainda possa ser garantida para ao usuário.

### **5.5 – ESTUDO DE CASO DE MEDIDAS DE PERDA DE PACOTES E JITTER NA ÚLTIMA MILHA COM TRÁFEGO VOD UNICAST**

Para esse estudo de caso, fizemos as medidas de perda de pacotes e jitter (delay factor), utilizando a ferramenta iVMS da IneoQuest. Essa ferramenta permite medir os parâmetros de MDI (*Media Delivery Index*) [34], e ainda permite capturar o sinal de vídeo

(Não Criptografado), possibilitando uma análise da qualidade do vídeo relativa, através de uma pesquisa MOS-V. Assim será possível delinear a perda máxima e o jitter, em uma arquitetura de rede da Brasil Telecom. Para essa medida foi escolhido um acesso ADSL2, onde a distância está no limite máximo de operação em condições normais, 4Km distante do headend, permitindo delinear os parâmetros máximos, para uma qualidade mínima aceitável. A topologia de rede medida é mostrada na figura 5.4 abaixo:

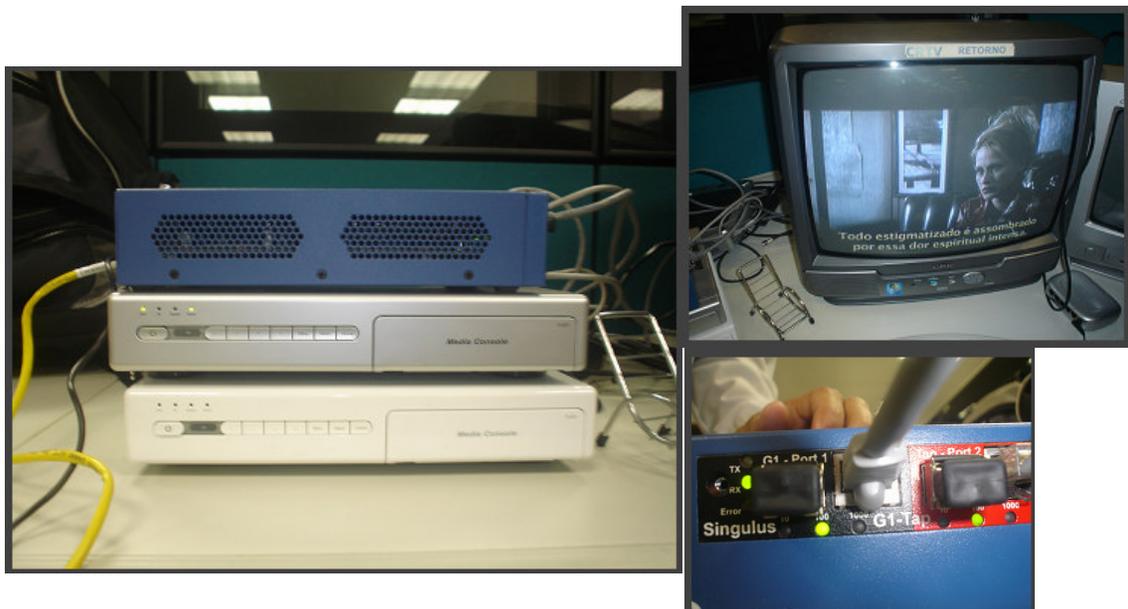


**Figura 5.4:** Topologia para medida de QoE unicast (Adaptado de [3]).

As condições de medidas na última milha são:

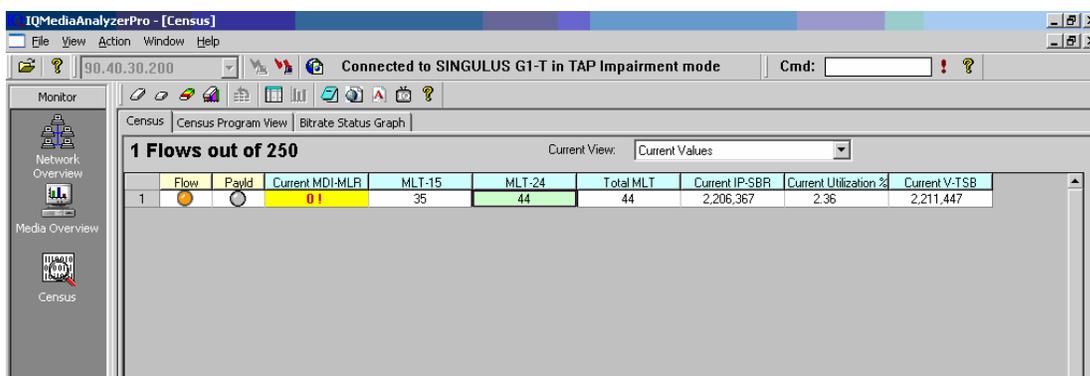
- Taxa de transmissão de stream: 2Mbps
- Codificação :H.264.
- Tráfego :CBR
- Tipo de Tráfego: Unicast
- Acesso :ADSL2
- Distância máxima do acesso ao headend : 4Km [ limite de operação ]
- Ferramenta iVMS (IneoQuest)
- Localidade :Brasília

O Acesso ADSL2 com distância de 4Km do headend, distância limite de aceitação. Possui um banda total de 2,8Mbps (Dados e Vídeo), localizado na operadora em análise. A figura 5.5 abaixo mostram as fotos dos equipamentos envolvidos na medição:



**Figura 5.5:** Fotos dos equipamentos de teste.

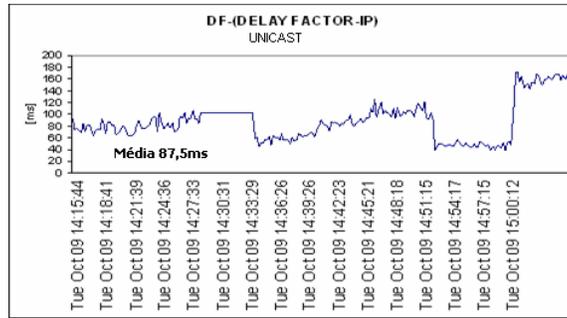
Foi inserido no Headend um conteúdo de vídeo não criptografado, onde através do controle remoto do STB (Set-top-box) foi solicitado esse vídeo. A ferramenta iVMS capturou imediatamente o fluxo de vídeo, uma vez que o equipamento de medida esta em série com o STB. A figura 5.6 mostra a captura do fluxo de vídeo pela ferramenta iVMS.



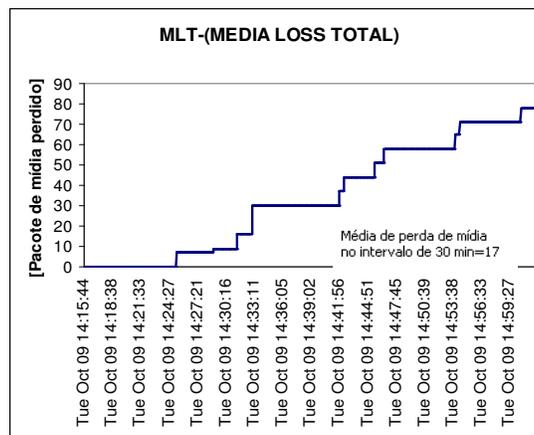
**Figura 5.6:** Captura de Fluxo de vídeo.

Através da ferramenta da IneoQuest (iVMS), foram gerados os valores de perda de pacotes MDI-MLR e Delay Factor MDI-DF.

Os valores que foram medidos são obtidos em formato de planilha Excel, onde traçamos os gráficos 5.7 e 5.8, que representam o DF e MLT.

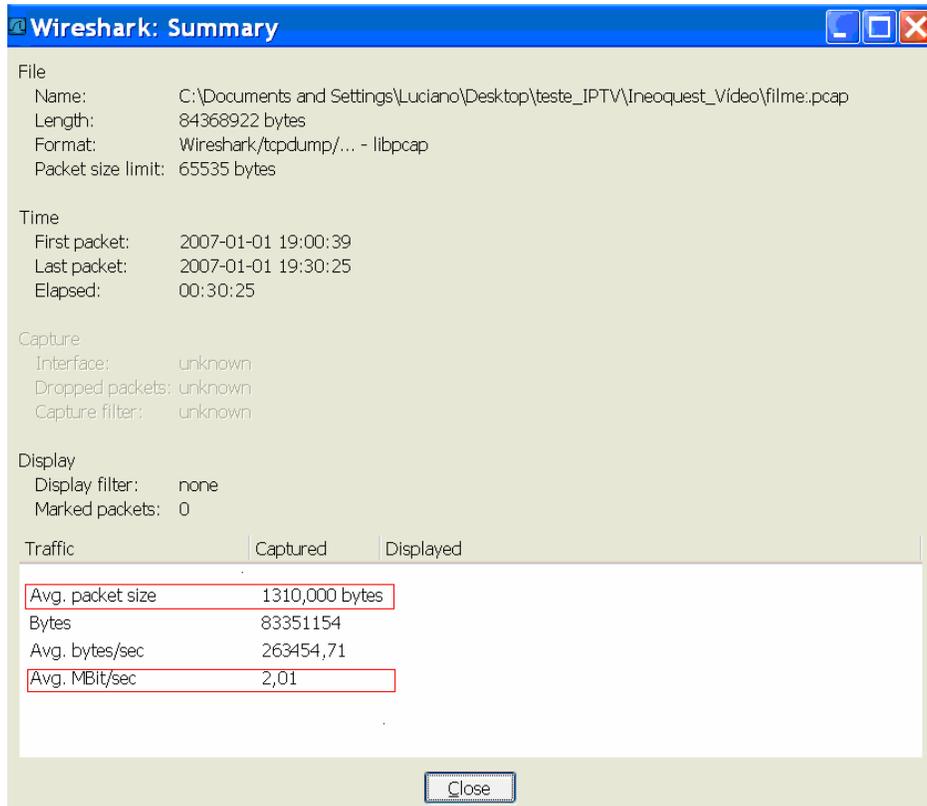


**Gráfico 5.7:** Delay-Factor medido no acesso Unicast no SIA.



**Gráfico 5.8:** Perda de pacote medida no acesso Unicast.

A perda média de pacotes de média é de aproximadamente 17 (16,98831) pacotes em 30 minutos e um desvio padrão de 15,88235 pacotes. O gráfico 5.7 acima mostram as perdas de pacotes. Observa-se que em um período de medida de 30 minutos teremos uma perda média de pacotes IP de:  $17/7=2,43$  pacotes (1 pacote IP contém 7 de média). Pelas informações coletadas no Ethereal figura 5.7, podemos determinar a taxa de erro do acesso ADSL para o tráfego Unicast/Multicast (acesso analisado é o mesmo), da seguinte maneira:



**Figura 5.7:** Tela com sumário dos pacotes.

$$(Eq.35) P_e = \frac{Pa\ cot\ e\_errado}{Pa\ cot\ e\_transmitido}$$

$$(Eq.36) Pa\ cot\ e\_transmitido = \frac{Taxa\_transmissão \times tempo\_coleta}{tamanho\_pa\ cot\ e} = \frac{(2 \times 1024 \times 1024 \times 30 \times 60) \div 8}{1310} = 360197,8625481\ pa\ cot\ es$$

Assim temos:

$$P_e = \frac{Pacote\_errado}{Pacote\_transmitido} = \frac{2,43}{360197,8635481} = 6,74 \cdot 10^{-6}$$

Logo, calculamos o rPSNR:  $rPSNR = 10 \times \log\left(\frac{n^0 P_e^0}{n P_e}\right)$ , utilizando o valor alvo da recomendação WT-126 :  $P_e^0 = 2,9 \cdot 10^{-6}$  e  $n^0 = 1$ . O acesso medido no SIA possui um taxa de

perda de pacotes de  $P_e = \frac{Pacote\_errado}{Pacote\_transmitido} = \frac{2,43}{360197,86} = 6,74 \cdot 10^{-6}$ , medida em função

da quantidade de pacotes transmitida no período de 30 minutos, e o número de pacotes IP perdidos são  $n' = 2,43$ .

$$\text{Logo, observa-se pelo modelo que o } rPSNR = 10 \times \text{Log} \left( \frac{2,9 \cdot 10^{-6}}{2,43 \times 6,74 \cdot 10^{-6}} \right) \cong -7,52 \text{db}$$

não atende ao requisito de qualidade de vídeo segundo as recomendações WT-126 que é  $rPSNR=0\text{db}$ , porém atendeu as expectativas do usuário, onde foi realizada uma pesquisa de opinião do vídeo coletado, que será apresentada mais adiante. Observamos ainda que o Delay Factor recomendado, segundo a WT-126 é de 50ms no máximo, mas as medidas mostram que esse valor foi excedido, seu valor foi de 87,5ms de média, e com desvio padrão de 34,8897ms.

Os resultados mostram que devemos procurar atingir os valores recomendados pela WT-126 no mínimo. Porém, para acessos onde a distância está no limite máximo (linhas com desempenho baixo), é importante estabelecer limites de perda e “*jitter*”, que permitam ainda atender uma qualidade de vídeo aceitável. Será mostrada nesse capítulo, a pesquisa de qualidade relativa de vídeo, com perda acima do recomendado, mas atendendo ainda requisitos mínimos de QoE para o usuário.

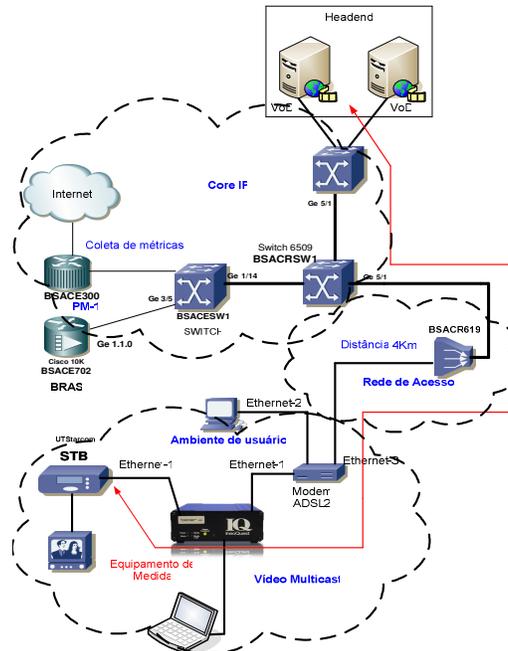
## **5.6 – ESTUDO DE CASO DE MEDIDAS DE PERDA DE PACOTES E JITTER NA ÚLTIMA MILHA COM TRÁFEGO VOD MULTICAST**

As medidas realizadas com o multicast são efetuadas no mesmo acesso, e topologia de rede analisada no Unicast. Porém, agora uma requisição de vídeo é feita ao DSLAM e não ao servidor VoD do Headend diretamente, como ocorria no Unicat.

Ocorrendo assim uma redução do DF (Delay Factor), pois o vídeo já está chegando ao DSLAM, por grupos de endereços IP's. As condições de medidas na última milha para multicast são:

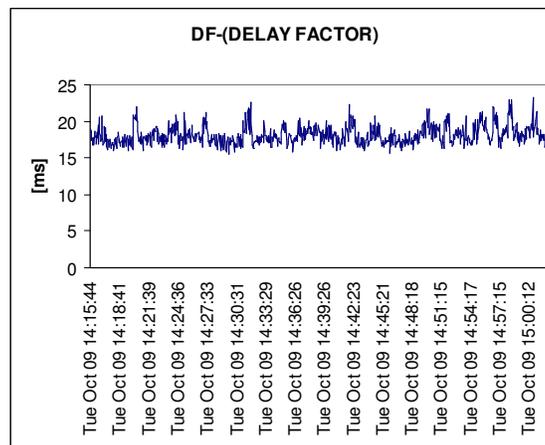
- Taxa de transmissão de stream: 2Mbps
- Codificação: H.264.
- Tráfego: CBR
- Tipo de Tráfego: Multicast
- Acesso: ADSL2
- Distância máxima: 4 km [esta no limite prático de funcionamento]
- Ferramenta iVMS (IneoQuest)

A figura 5.8 abaixo mostra a topologia analisada:

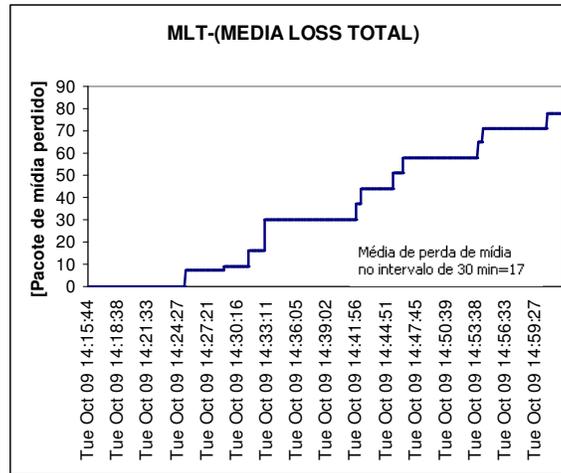


**Figura 5.8:** Topologia para medida de QoE em multicast (Adaptado de [3]).

Os valores Delay factor MDI-DF e perda de pacotes MDI-MLT, foram obtidos através do formato Excel, gerado pelo iVMS. Foram traçados os gráficos 5.9 e 5.10, mostrados abaixo respectivamente:



**Gráfico 5.9:** Delay-Factor medido no acesso Multicast.



**Gráfico 5.10:** Perda de Pacotes medida no acesso Multicast.

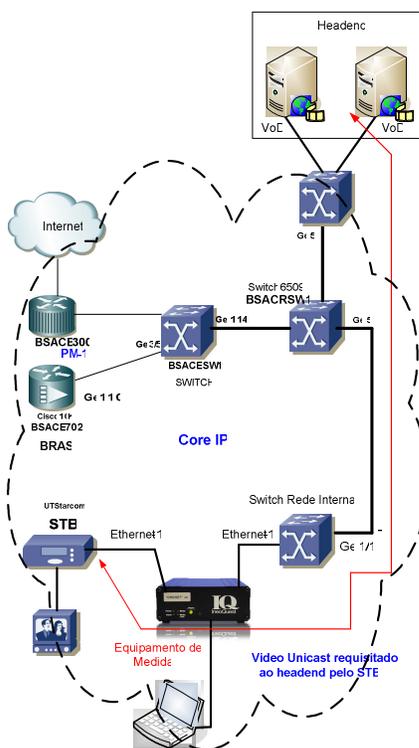
O Gráfico de DF (Delay Factor) acima, foi coletado ao solicitar um sinal de vídeo multicast sem criptografia. O valor máximo de Delay factor foi de aproximadamente 18,09ms de média e desvio padrão de 1,23ms. Esse valor atende ao valor da recomendação WT-126, onde DF deve ser menor que 50ms. Logo, o vídeo analisado não atende a recomendação WT-126, quanto à perda de pacotes IP, não sendo apropriado para atender as expectativas do usuário. O arquivo de vídeo foi capturado no formato winpcap e submetido a uma pesquisa MOS-V. A pesquisa será apresentada ao final desse capítulo, onde será feito um ajuste na recomendação WT-126, para valores que atendem aos padrões de jitter e taxa de erro, na arquitetura de rede da operadora em estudo.

## 5.7 – ESTUDO DE CASO DE MEDIDAS DE PERDA DE PACOTES E JITTER NA REDE INTERNA DO HEADEND

Para esse estudo de caso, analisamos o vídeo vindo diretamente do Headend, sem passar pela rede de acesso ADSL da operadora. O STB (Set-top-box) está conectado a um switch da rede interna do Headend. O objetivo será avaliar qual o DF (Delay Factor) e a perda existente no backbone do IPTV, para um fluxo de vídeo Unicast. As condições de testes foram:

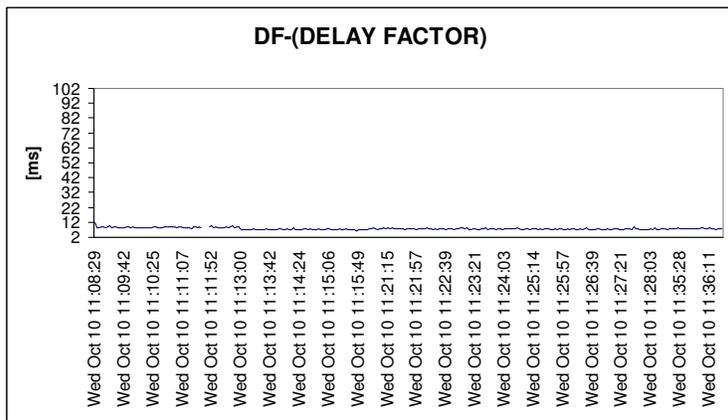
- Taxa de transmissão de stream: 2Mbps
- Codificação: H.264.
- Tráfego: CBR
- Tipo de Tráfego: Unicast
- Ferramenta iVMS (IneoQuest)

A topologia é mostrada figura 5.9 abaixo:

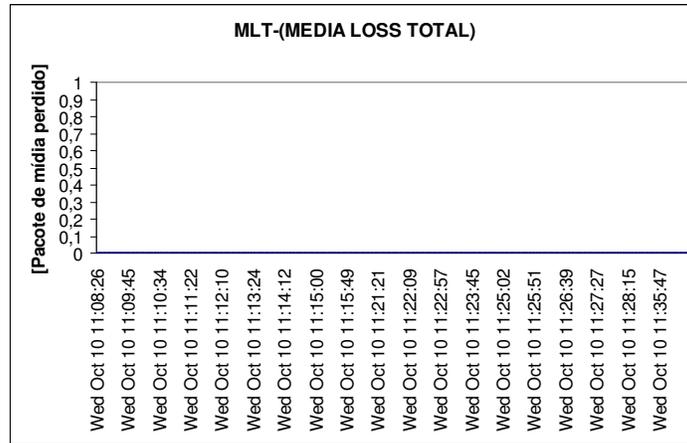


**Figura 5.9:** Topologia de medida de QoE unicast na rede interna (Adaptado de [3]).

A topologia utilizada para medida, o vídeo solicitado pelo STB (Set-top-box) percorre somente o Backbone interno da operadora, possibilitando avaliar qual é o DF médio introduzido pela rede interna. A ferramenta iVMS gerou relatórios em Excel, onde foi gerado os gráficos 5.11 e 5.12, conforme abaixo:



**Gráfico 5.11:** Medida de Delay-Factor na rede Interna do Headend.



**Gráfico 5.12:** Medida de Perda de Pacotes na rede Interna do Headend.

A figura 5.9 acima mostra que o percurso dos streams de vídeo, é composto basicamente pelo switch da rede interna e o switch BSACRSW1. O vídeo solicitado é unicast, onde a conexão é estabelecida diretamente com servidor de VoD do headend. O resultado de DF pelo gráfico acima, mostra que em média o jitter introduzido pelo Backbone é aproximadamente 7,7ms de média, e com desvio padrão de 0,7ms. Essa medida permite avaliar o jitter interno do backbone, assim quando temos a rede de acesso envolvida (DSLAM+BRAS+rede metálica), podemos esperar no mínimo um DF de 7,7ms. O valor medido de DF no backbone interno atende ao valor recomendado pela WT-126.

O Gráfico de perda de pacotes MLT, apresenta sem perda de pacotes, valores já esperados, pois estamos diretamente conectados ao switch do BSACRSW1 do IPTV. Logo, o acesso não apresentou perda, atendendo a recomendação WT-126. Claro apresentando um resultado melhor que o recomendado. Os resultados de jitter (DF) e perda de pacotes (MLR) possibilitaram avaliar a saúde do backbone interno da rede IPTV da operadora em análise.

### 5.8 – PESQUISA SUBJETIVA DA QUALIDADE DE VÍDEO (MOS-V)

Os resultados analisados nas seções 5.5 e 5.6, medidos em um acesso ADSL em limite de operação (atenuação, relação sinal ruído e distância), mostrou-se que a QoE não atende as recomendações da WT-126. Mas procuramos obter uma perda de pacotes e *jitter* máximos, onde a qualidade do vídeo é aceita pelo usuário. Os limites obtidos serão utilizados como referência de qualidade mínima aceitável, acima desses, a qualidade do vídeo será considerada inadequada. Com os resultados da pesquisa MOS-V, o modelo de rPSNR será corrigido em função de uma perda máxima de pacotes, obtendo um limite mínimo de rPSNR aceitável na rede da operadora em estudo.

A pesquisa foi realizada com um universo de 72 pessoas, onde os perfis dos entrevistados foram:

- Idade entre 18 e 40 anos
- Todos de classe média
- Estudantes de Nível Superior
- Todos possuem acesso a Internet
- Todos conhecem os serviços de TV por assinatura.
- Distância do receptor ao entrevistado: 2 metros
- Vídeo capturado e projetado via datashow.

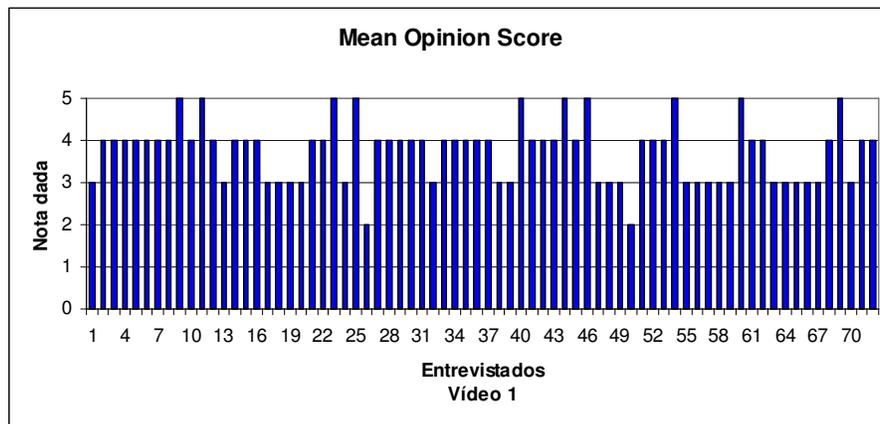
No acesso medido o vídeo foi capturado utilizando a ferramenta iVMS da IneoQuest, para três pedaços de vídeo onde o acesso apresentou uma perda de 17 pacotes de mídia em 30 minutos, conforme mostrado no item 5.5. O vídeo foi reproduzindo utilizando o computador, conectado ao datashow, projetando a imagem na parede, para que os entrevistados pudessem avaliar a qualidade.

O grupo entrevistado aplicou sua avaliação segundo a tabela MOS-V 5.5 mostrada abaixo:

Nota: MOS-V	Qualidade do MOS	Grau deficiência da Imagem
5	Excelente	Imperceptível
4	Boa	Perceptível mas não incômodo
3	Apropriado	Pouco Incômodo
2	Pobre	Incômodo
1	Ruim	Muito Incômodo

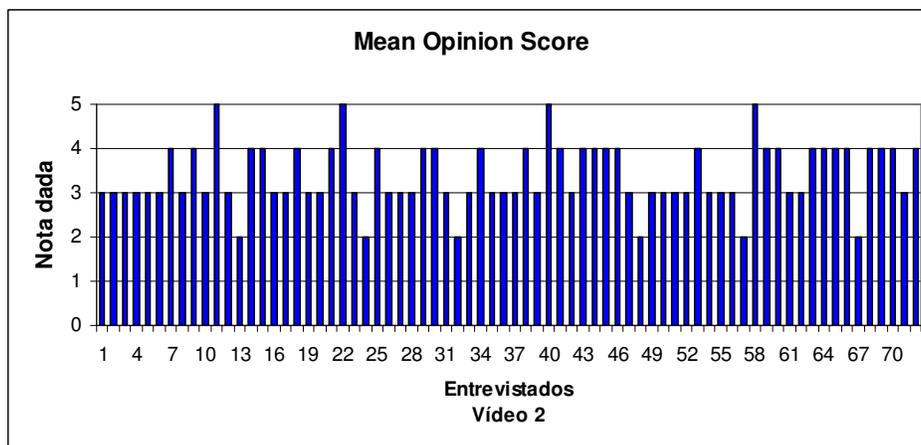
**Tabela 5.6:** Tabela MOS-V ([40]).

Foram capturados no mesmo acesso ADSL três pedaços de vídeo, com perdas, onde a pesquisa de opinião foi realizada. Os pedaços foram divididos em: Vídeo 1, Vídeo 2 e Vídeo 3. Os resultados são mostrados nos gráficos 5.13, 5.14 e 5.15:



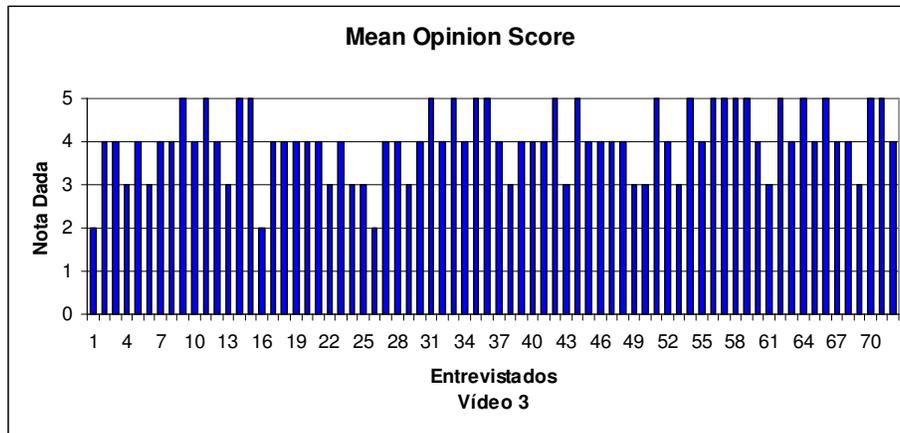
**Gráfico 5.13:** Pesquisa de Opinião sobre a qualidade do Vídeo 1.

O gráfico 5.13 acima representa a pesquisa de opinião realizada nos 72 entrevistados para verificação do vídeo 1. As colunas do gráfico representam a nota dada pelo entrevistado, a linha vermelha representa a curva de tendência de notas para essa perda de pacotes. A nota média na observação desse vídeo foi de 3,75, representando uma qualidade entre apropriado e boa, conforme tabela 5.6, satisfazendo aos requisitos de QoE.



**Gráfico 5.14:** Pesquisa de Opinião sobre a qualidade do Vídeo 2.

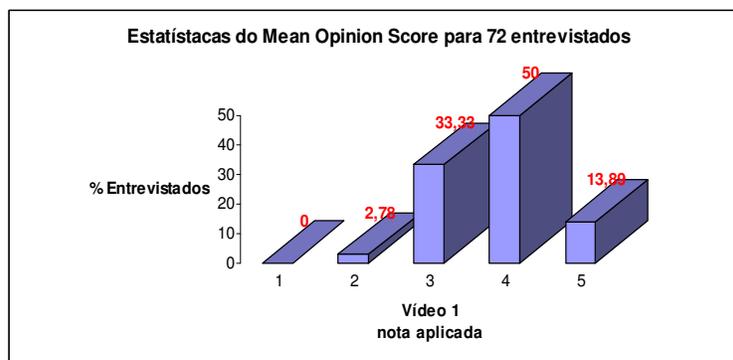
O gráfico 5.14 acima representa a pesquisa de opinião realizada nos 72 entrevistados para verificação do vídeo 2. As colunas do gráfico representam a nota dada pelo entrevistado, a linha vermelha representa a curva de tendência de notas para essa perda de pacotes. A nota média na observação desse vídeo foi de 3,4, representando uma qualidade entre apropriado e boa, conforme tabela 5.6. Que satisfaz aos requisitos de QoE.



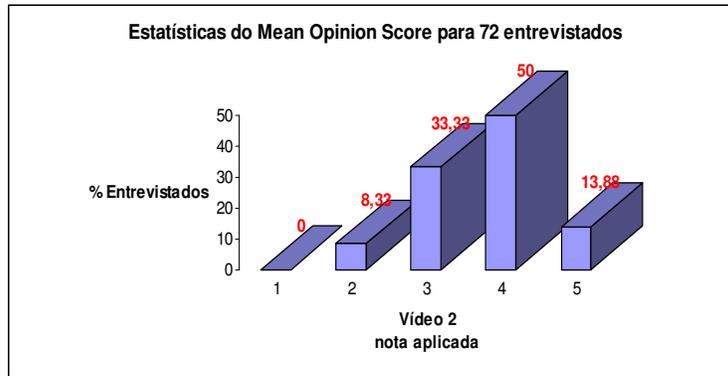
**Gráfico 5.15:** Pesquisa de Opinião sobre a qualidade do Vídeo 3.

O gráfico 5.15 acima representa a pesquisa de opinião realizada nos 72 entrevistados para verificação do vídeo 3. As colunas do gráfico representam a nota da pelo entrevistado, a linha vermelha representa a curva de tendência de notas para essa perda de pacotes. A nota média na observação desse vídeo foi de 4, representando uma qualidade boa, conforme tabela 5.6 acima, satisfazendo a QoE.

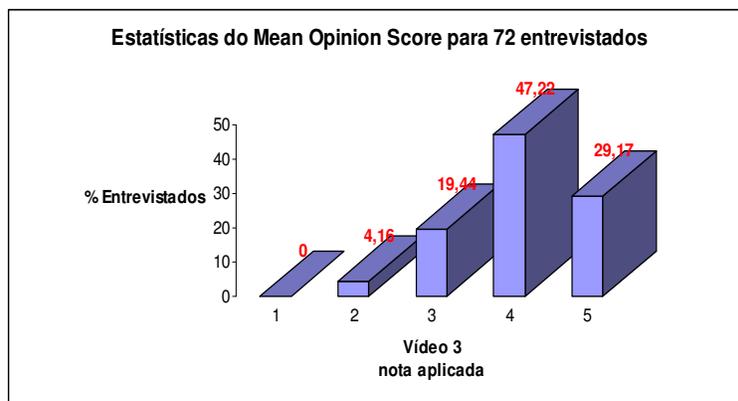
Todos os três vídeos analisados foram capturados de um único acesso ADSL, que foi medido no item 5.5, na rede da operadora em estudo. Foi realizada uma estatística para cada vídeo observado, avaliando a qualidade em relação a cada notada da pelo entrevistado. Os resultados são apresentados em 5.16, 5.17 e 5.18 abaixo:



**Gráfico 5.16:** Estatísticas de notas aplicadas ao vídeo 1.

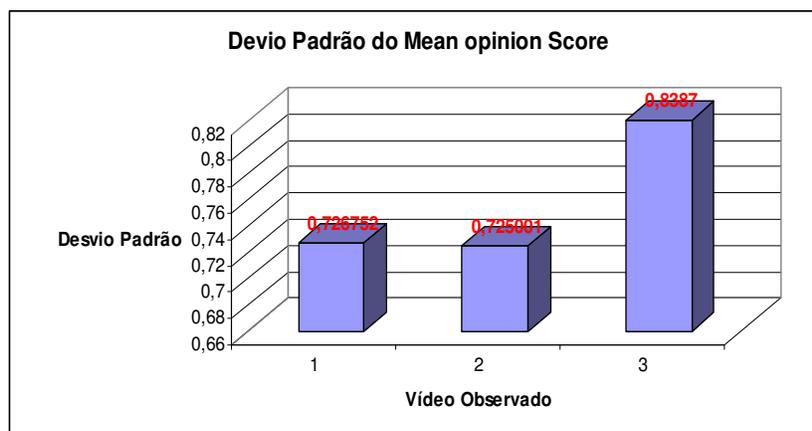


**Gráfico 5.17:** Estatísticas de notas aplicadas ao vídeo 2.

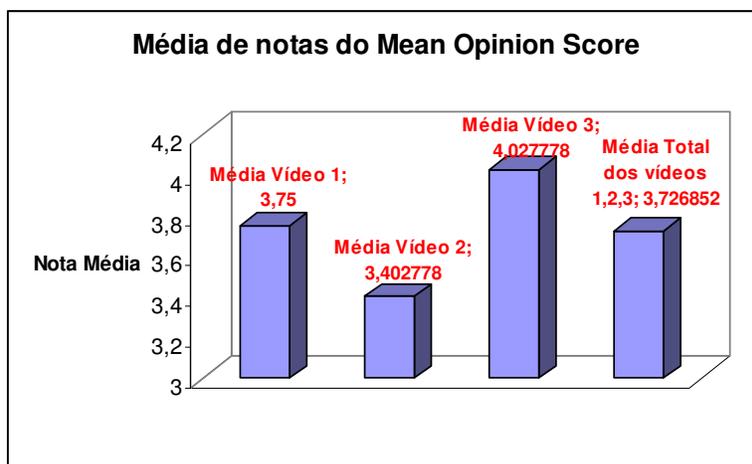


**Gráfico 5.18:** Estatísticas de notas aplicadas ao vídeo 3.

Com as estatísticas coletadas em 5.16, 5.17 e 5.18 acima, é possível determinar o desvio padrão e a nota média aplicada a cada vídeo. Os gráficos 5.19 e 5.20 mostram respectivamente o desvio padrão e a nota média:



**Gráfico 5.19:** Desvio Padrão para os vídeos 1,2,3.



**Gráfico 5.20:** Nota Média aplicada aos Vídeos 1,2,3.

Os resultados mostram que mesmo ocorrendo perdas de pacotes acima do recomendado pela WT-126, a qualidade de vídeo é considerada apropriada aos entrevistados. Baseado nas medidas realizadas em 5.5 e 5.6, e confrontando com a pesquisa MOS-V realizada, podemos estabelecer nossas próprias métricas, em valores máximos admitidos. As tabelas 5.7 e 5.8 mostram respectivamente os valores recomendados pela WT-126, e os valores obtidos para a rede IPTV da operadora em valores máximos.

Video stream -Rate Transmission (Mbps)	Jitter	Perda de Pacotes (IP)	Tempo (Coleta)	Taxa de erro média (IP)	rPSNR
2.0	<50ms	1	30 min	2.9E-6	0db

**Tabela 5.7:** Métricas de QoE SDTV WT-126 ([15]).

Video stream- Rate Transmission (Mbps)	Jitter	Perda de Pacotes (IP)	Tempo (Coleta)	Taxa de erro média (IP)	rPSNR
2.0	87,5ms	2,43	30 min	6,74E-6	-7,52db

**Tabela 5. 8:** Métricas de QoE SDTV na operadora.

Logo, a qualidade de vídeo mínima estabelecida para a rede da operadora, terá como valores máximos os indicados na tabela 5.8. Os valores medidos no acesso ADSL2 em condição máxima de operação, ou seja, o usuário distante de 4Km do headend. O resultado foi distante do recomendado pela WT-126, veja tabela 5.7 e 5.8. Porém, já era esperado que os

valores medidos para esse acesso ADSL seriam diferentes do recomendado, pois a mesma está na situação de pior caso dentro da arquitetura de rede ADSL da operadora em estudo, em função de sua distância.

Assim, os valores medidos mostram a realidade dessa condição de operação do acesso, contudo foi possível estabelecer esses valores como os máximos admitidos na estrutura de rede da operadora em análise. Pois, segundo a pesquisa MOS-V realizada junto aos usuários, o QoE foi aceitável. Contudo, valores acima dos obtidos, tabela 5.8, serão considerados inadequados para operação do serviço IPTV.

Portanto, o que devemos procurar é sempre imprimir uma qualidade máxima ao serviço IPTV, mas visando sempre aproveitar ao máximo a infra-estrutura metálica de rede existente, permitindo atendimento do serviço a um número maior de usuários, sem comprometer a qualidade mínima aceitável.

Mas na situação em que realizamos as medidas, é possível que os valores medidos sejam melhores ou iguais ao recomendado pela WT-126. Nesse caso seria necessário reduzir a distância do acesso ao headend, para tal é necessário, por exemplo, colocar o DSLAM mais próximo do usuário, pois assim temos redução da distância, melhorando as condições da linha ADSL2.

Por fim, as medidas servirão de limites para geração de “traps” nas ferramentas de gerenciamento, sempre que as métricas forem superiores aos valores obtidos pela tabela 6.8. Contudo, será possível gerenciar o QoE fim-a-fim, prevenindo e antecipando a qualquer variação das métricas delineadas, reduzindo deslocamentos indevidos ao ambiente do usuário, por reclamação de baixa qualidade.

## 6 - CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi analisada a qualidade de vídeo em função das estatísticas simples de perda de pacotes e jitter, coletadas na arquitetura de rede IPTV da operadora em estudo [Capítulo 2]. As perdas de pacotes são aplicadas ao modelo de rPSNR [Capítulo 4] , com o objetivo de traçar o perfil de QoE para perda de pacotes, partindo de uma medida inicial conhecida, recomendada pela WT-126 .

Com o perfil traçado em função do rPSNR (*Peak Signal Rate*) e associando ao jitter, é possível estabelecer a QoE que atenda a recomendação WT-126, e aos requisitos do usuário. Em função das medidas de perda e jitter, foi estabelecida uma tabela MOS (*Mean Opinion Score*), onde se verificou que os valores medidos em um acesso no limite de operação, são diferentes dos recomendados , no caso maiores. Contudo, a pesquisa revelou que a qualidade do vídeo foi considerada apropriada pela grande maioria dos usuários, possibilitando um ajuste das métricas de perda e jitter do pacote IP, em relação aos valores recomendados pela WT-126.

Com as métricas definidas o gerenciamento da rede fica delineado, pelos valores máximos de perda e *jitter*, possibilitando melhoria na operação da rede, em nível de identificação de problemas. Permitindo também a redução de deslocamentos de técnicos, por reclamação indevida, já que as métricas são conhecidas. Assim os custos operacionais tendem a diminuir, uma vez que a rede possui valores definidos de qualidade mínima do serviço, possibilitando antecipar-se a problemas de queda de qualidade.

Isso influenciará diretamente nos ganhos e margens da empresa, permitindo um aumento do ARPU (*Average Revenue Per User*) e redução da taxa de cancelamento de acessos ADSL, por parte do cliente, visto que a qualidade pretendida pelo usuário será atendida.

O estabelecimento de métricas próprias, permite utilizar ao máximo a estrutura de rede metálica de acesso ADSL, otimizando os recursos existentes, sem, no entanto prejudicar a qualidade de vídeo oferecida ao usuário. Porém, sempre que possível procura-se atender a uma qualidade máxima, ou ao recomendado pela WT-126.

Ainda com os resultados de rPSNR apresentado, possibilitará melhoria nos processos operacionais para o IPTV, analisando e verificando se uma dada reclamação de usuário procede ou não. Possibilitando um gerenciamento dos recursos da rede IPTV, sem que as métricas de QoE fiquem comprometidas. Logo, é possível fazer um planejamento eficiente da

rede IPTV, em níveis de limites de descarte e jitter por congestionamento, ou seja, estabelecendo um planejamento dos recursos, para não comprometer a QoE entregue ao usuário.

Com os resultados de rPSNR e MoS-V [Capítulos 5] de vídeo, é possível avaliar o desempenho da rede IPTV, através das coletas remotas de perda de pacotes e jitter, facilitando uma avaliação prévia do vídeo, quando, por exemplo, se receber reclamações de usuários. Assim teremos um controle maior da qualidade do vídeo, possibilitando uma automatização na geração de falhas na rede IPTV, a partir dos valores limites definidos.

Com as métricas de perda de pacotes e jitter definidas, será possível gerar traps na ferramenta Ehealth, sempre que a QoE estiver abaixo do aceitável. Hoje na operadora em estudo temos um ferramenta centralizada chamada de SICA, que permite receber “traps” de todos os sistemas (Telefonia, SDH, IP, ATM, GSM), essa ferramenta é responsável por gerar uma solicitação de abertura de uma BA (Bilhete de Atividade de manutenção), para a ferramenta SGE (Gerência de força de Trabalho). Logo, com o “trap” definido será possível gerar um bilhete de atividade, sinalizando baixa de performance da QoE .

Esse trabalho ainda faz o traço do perfil da QoE em função da perda de pacotes, para os DSALM's que utilizam a tecnologia ATM. Esses DSLAM's correspondem 56,4% de toda a planta instalada, possibilitando uma visibilidade dos pontos onde são possíveis utilizar seus recursos, sem que exista necessidade de instalar DSLAM GigabitEthernet. Logo, será possível avaliar o quanto é possível explorar da base instalada de DSLAM ATM, otimizando recursos e aumentando a capilaridade do IPTV.

Os resultados permitem planejar a rede IPTV em nível de política de prioridade de descarte, permitindo um ajuste do QoS [Capítulo 3] , que reflita um QoE adequado ao usuário. Ainda possibilita uma adequação da QoS (*Quality Of Service*), implementada na rede IPTV, em nível de perda pacotes.

Os resultados mostram que a QoE , deve ser monitorada e gerenciada fim a fim, em qualquer arquitetura de rede IPTV analisada, desde o Headend até o STB (set-top-box) do cliente. Portanto, deve se utilizar uma ferramenta de gerência eficiente, que controle toda a rede medido os parâmetros, gerando relatórios de desempenho e identificando pontos de falhas . Assim verificou-se que a ferramenta da IneoQuest , o iVMS, possibilita gerenciar a QoE , com eficiência e facilidade.

Por fim, este trabalho vai ser utilizado como documentação interna na operadora em análise, objetivando o entendimento do serviço IPTV, mostrando as funcionalidades dos elementos da arquitetura e definindo a qualidade de vídeo adequada aos requisitos do usuário, segundo as métricas medidas na arquitetura de rede da operadora em análise.

## **6.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Realizar uma avaliação da qualidade do sinal de vídeo no IPTV, associando as métricas perda de pacotes e jitter, com as características elétricas da linha ADSL2. Seria traçar a qualidade de vídeo em função da distância do usuário ao DSLAM, permitindo mapear as características elétricas do cabo metálico tais como: relação sinal ruído e atenuação, associando ao jitter e a perda de pacotes medidas.

Assim, seria possível um mapeamento de toda a rede metálica, quanto à qualidade de vídeo apresentada em relação à distância do usuário ao DSLAM. Possibilitando uma visualização da qualidade de vídeo, que a rede metálica poderia imprimir ao serviço IPTV, sobre as redes ADSL2. O Mapeamento permitirá definir em toda a estrutura de rede metálica da operadora, os possíveis pontos de atendimento ao serviço IPTV, com qualidade aceitável, em função das características elétricas da linha metálica.

Logo, tornaria possível realizar um planejamento nos pontos onde não temos viabilidade de oferecer uma QoE aceitável, elaborando um estudo de implantação de outra tecnologia de acesso ou encurtando a distância do DSLAM ao usuário.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Agilent Technologies, “IPTV QoE Test Solution”, Disponível em : <http://www.home.agilent.com> , Acesso em: 20 set. 2006.
- [2] Brito, J.M.C.“Uma Introdução às Redes de Computadores e Sua Performance”,Ed 2. Santa Rita do Sapucaí:Inatel,1994.
- [3] Operadora de Telecom,“Sistema de Distribuição de Conteúdo”, SDC/IPTV, SEP-30 0724 – 0100002135, Set. 2005.
- [4] Broadband Services Fórum ,Disponível em: [www.broadbandserivcesforum.org](http://www.broadbandserivcesforum.org) , Acesso em: 13 out. 2007.
- [5] Choudhury, G., Yatesy, J., Shaikh, A., Moon, S. Kaist, “Case Study: Resilient Backbone Design for IPTV Services”,Ed 3. Nova York: McGraw-Hill, 2006.
- [6] Corriveau, P., Webster, A. “VQEG evaluation of objective methods of video quality assessment”, set. 1999.
- [7] Carlos Gustavo Araújo da Rocha & Guido Lemos de Souza Filho, “Um Framework para provisão de Qualidade de Serviço em redes IP”, UFRN, jun. 2001.
- [8] Christiane Montenegro Bortoleto, Lau Cheuk Lung, Frank A. Siqueira, Alysson Neves Bessani, Joni da Silva Fraga,” Um Protocolo de Multicast Semi-confiável para Aplicações Multimídia Distribuídas em Redes de Larga Escala”, CNPQ, Paper, jun. 2005.
- [9] Cisco, “Video Delivery in Broadband Networks”, IPTV Seminar Copenhagen, nov. 2005.
- [10] DSL Forum, “IPTV Architeture Overview”,Disponível em: <http://www.dslforum.org/arcitetur> , Acesso em: 18 abr. 2007.
- [11] DSL Forum, TR-092: “Broadband Remote Access Server (BRAS). Requirements Document”, agost. 2003.
- [12] DS L Forum, TR-059. “Architecture Requirements for the Support of QoS-Enabled IP Services”, set. 2003.
- [13] DSL Forum, TR-102. “Service Interface Requirements for TR-058 Architectures”, dez. 2005.
- [14] DSL Forum, TR-101. “Migration to Ethernet-Based DSL Aggregation”, abr. 2006.
- [15] DSL Forum,“Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements and Mechanisms”. Working Text WT-126, Version 0.5, fev. 2006.
- [16] DSL Forum., Disponível em: <http://www.dslforum.org/techwork/treports.shtml> , Acesso em: 18 abr. 2007.
- [17] DSL Forum,“Forum on QoE requirements for IPTV”, ITU FG IPTV-OD, Set. 2006.

- [18] Harte, L., Ofrane, A. (2006) “Introduction To IPTV Billing”. USA: Althos, jun. 2006.
- [19] ITU-T, “Framework Architecture Model”,Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-T/>>, Acesso em: 13 agost. 2006.
- [20] Intellon,“IPTV Network Distribution” ,Disponível em: <<http://www.intellon.com/>> Acesso em: 13 abr. 2006.
- [21] ITU-R,“Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures”, Recommendation. BT.500-7, Geneva, abr. 1999.
- [22] ITU-T, “Subjective video quality assessment methods for multimedia applications”. Geneva, fev. 1996.
- [23] ITU-T H.360 Recomendación, “Arquitectura para la señalización y el control de la calidad de servicio de extremo a extremo”,jun. 2004.
- [24] IETF, Request for Comments 4445, “A Proposed Media Delivery Index (MDI) “.IneoQuest & Cisco Systems, jun. 2006.
- [25] IneoQuest,“Testing Triple Play Networks With Controllable Vídeo Signal Test Sources and Simultaneous MDI Measurements”,Disponível em: <[www.ineoquest.com](http://www.ineoquest.com)>, Acesso em: 13 agost. 2007.
- [26] IneoQuest Technologies, “ Advanced Quality e Service Assurance Solutions for IP Vídeo”, abr. 2007.
- [27] Kershenbaum, A., “Telecommunications Network Design Algorithms”,Ed.3.New York: McGraw-Hill, 1993.
- [28] Luciano Duque & Paulo Gondim, Paper, “Avaliação de Arquiteturas IPTV em redes ADSL”, revista da SET Ed.94 , out. 2007.
- [29] Netlab, Disponível em <<http://www.netlab.tkk.fi/engl.shtml>>, Acesso em: 18 mai. 2007.
- [30] Nonnenmacher, J. “Video QOS Measurement for IPTV Networks.”, Disponível em: [www.castify.net](http://www.castify.net), Acesso em: 13 abr. 2005.
- [31] Perez Ávila, R. N., “Streaming: Aprenda a Criar sua Rádio ou TV na Internet:”. Ed.4: São Paulo: Brasport, 2004.
- [32] QosForum, “QoS Protocols & Architectures”, Disponível em <[http://www.qosforum.com/white-papers/qosprot\\_v3.pdf](http://www.qosforum.com/white-papers/qosprot_v3.pdf)>,Acesso em: 19 Abr. 2007.
- [33] Rabinowitz, A. “Paper Internet Group Management Protocol, By Networking Support Engineer”, jun. 2006.
- [34] Reading Heavy,“Assuring Quality of Experience for IPTV”.Disponível em: <[www.heavyreading.com](http://www.heavyreading.com)>, Acesso em: 18 abr. 2007.
- [35] Radim Javrek, “Efficient Models for Objective Video Quality“,Dept. of Radio Electronics, Czech Technical University, Technická ,jun. 2004.

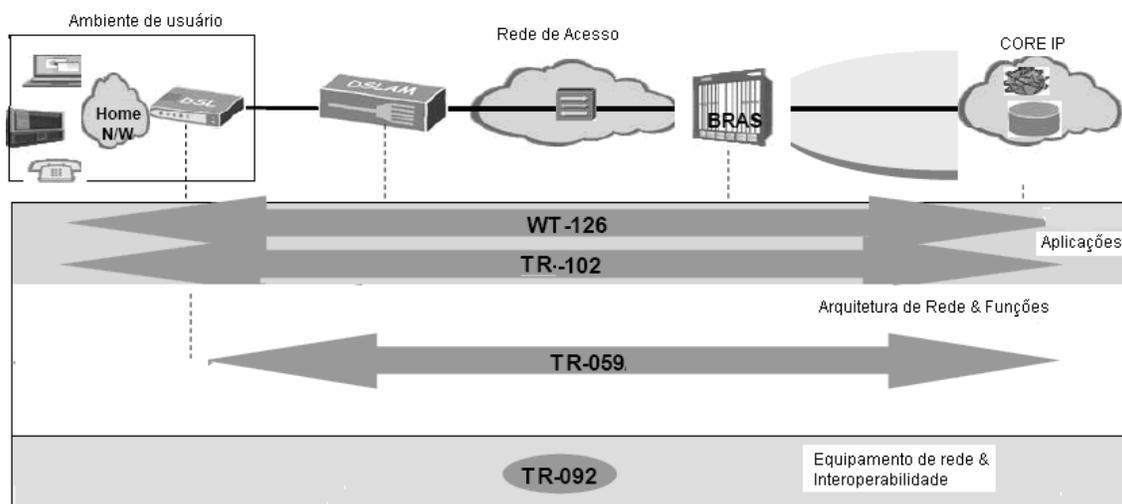
- [36] Siemens Communications and Juniper Networks, “High Quality and resilient IPTV Multicast Architecture”, Disponível em :< [www.siemens.com/resip](http://www.siemens.com/resip)>, Acesso em: 19 abr. 2006.
- [37] Soares, L. F. G., “Redes de Computadores”, Rio de Janeiro, Campus, 1994, Ed. 4.
- [38] Sérgio Alves Cavendish, “Algoritmo de Ajuste Elástico para Vídeo em Fluxos MPEG-2”. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2005. 120p Dissertação Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Redes, Faculdade de Tecnologia, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- [39] Tao, S., “RealTime Monitoring of Video Quality in IP Networks”, University of Pennsylvania Philadelphia, jun. 2006.
- [40] TVQM, “Telchemy Vídeo Quality metrics (TVQM)”, Disponível em: <[iptvtroubleshooter.com](http://iptvtroubleshooter.com)>, Acesso em: 13 jul. 2007.
- [41] Van Unen, T., “Validating IPTV service quality under realistic triple play network conditions”, Disponível em:< [www.agilent](http://www.agilent.com)>, Acesso em :19 abr. 2007.
- [42] Vegesna, S., “IP Quality of service”, Cisco Press, jul. 2001.
- [43] Weber, J., Newberry, T., “IPTV Crash Course”, McGraw –Hill, Chicago San Francisco, jun. 2006.
- [44] Possebon, S., Disponível em:< <http://www.telaviva.com.br/revista/159/capa.htm>>, Acesso em 30 Abr. 2008.

## APÊNDICE A: RECOMENDAÇÕES DO DSL-FORUM

Além da Recomendação WT-126 [15], as seguintes recomendações são pertinentes ao contexto; elaboradas pelo DSL Forum:

- 1) **TR-059**
- 2) **TR-092**
- 3) **TR-101/TR102**

Tais recomendações têm o mapa de aplicabilidade mostrada na figura A.1. Essas recomendações são definidas pelo DSL Forum. As recomendações TR-509, TR-092, TR-101, referenciam ao serviço de distribuição de banda larga, e a WT-126 define parâmetros de QoE para provimento de serviço de vídeo em redes banda larga.



**Figura A.1:** Mapeamento das recomendações ([17]).

### 1) **Recomendação TR-059:**

Os fornecedores de serviço xDSL estão altamente interessados em impulsionar o xDSL, para ser a tecnologia de banda larga preferida para o acesso. Expandindo suas redes, diversificando os serviços oferecidos, como por exemplo a implementação do serviço IPTV.

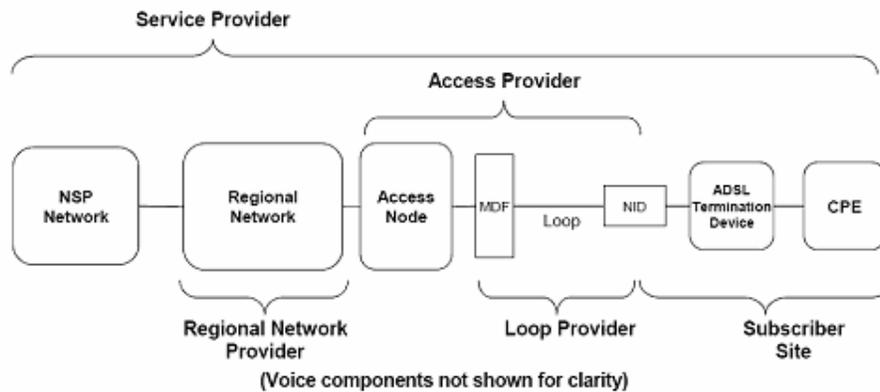
Para isso devem dirigir-se a diversas necessidades críticas, particularmente:

- O serviço deve tornar-se mais acessível aos usuários finais, com qualidade adequada.

- O serviço deve dirigir-se a um mercado mais amplo com: velocidades variáveis, permitindo que o tráfego da aplicação faça exame da precedência sobre outra, através da implementação de QoS. Sustentação específica de aplicações sobre IP (Vídeo e Voz).
- O serviço deve ser do competitivo com tecnologias alternativas do acesso tais como o modem de cabo. Quando adotar arquiteturas novas, como VDSL, podendo também cumprir estas necessidades de QoS, utilizando a arquitetura de rede metálica.

A finalidade desse trabalho e dos modelos novos de serviço (VoD, IPTV) é fornecer uma arquitetura comum de serviço para alcançar às necessidades críticas, de qualidade de serviço. Aderindo a uma arquitetura de serviços, associada aos modelos de serviço determinados aqui na em TR-059, que simplifique a entrega desses serviços (Vídeo, Voz, dados). Este original apresenta uma arquitetura para evoluir a distribuição e a interconexão do DSL, esboçando uma metodologia comum para aplicações QoS permitidas, entregando aos usuários xDSL de um ou mais fornecedores de serviço. Finalmente, as diversas aplicações podem ser dadas o tratamento de QoS, de modo que tráfegos de : jogos, vídeo e acesso a Internet, possam trafegar na estrutura xDSL, apenas com implementações de QoS na arquitetura existente

Geralmente, os serviços em redes banda larga de acesso ADSL serão fornecidos e suportados por um número de diferentes operadoras. Estas operadoras devem fazer parte de uma ou mais companhias sendo desejável ter uma idéia clara dos papéis das diferentes organizações e de como a funcionalidade dos equipamentos, gerenciamento de redes e testes de equipamentos pode dar suporte as suas habilidades para desempenho de suas funções em benefício do consumidor final. Visando fornecer uma linha base para servir de contraste, este documento gera a visão de uma arquitetura ADSL comum. A figura A.2 abaixo mostra a arquitetura:



**Figura A.2:** Evolução da arquitetura xDSL para suporte a QoS sobre IP ([12]).

As caixas na figura apresentam entidades funcionais – redes e componentes lógicos ao invés de elementos físicos. Esta arquitetura tradicional é centrada em providenciar serviços para uma linha ou enlace. Ela é desejada, todavia, para ser capaz de prover serviços específicos para o usuário. Adicionalmente, mais de um assinante pode estar presente numa mesma instalação e compartilhando um único enlace. Há uma necessidade, portanto, de descrever mais delicadamente uma complexa situação e ocultar a complexidade comum ilustrada, esta descrição é fornecida pela figura A.2. Note que a figura mostra muitos acessos através de uma rede de acesso regional comum. Ela é usada pra fornecer simultaneamente serviços aplicativos entre uma rede ASP e o usuário ao mesmo tempo e sobre uma mesma interface U, como se ela suporta-se uma rede de serviços entre o usuário e uma rede NSP.

A figura 1 acima mostra os componentes chave de uma rede banda larga de acesso ADSL. Elas indicam as propriedades dos componentes fornecidos por diferentes provedores. As funções desses vários provedores são indicadas abaixo:

**O provedor de serviços de rede (NSP):**

- Incluem provedores de serviços de internet (ISPs) e provedores de serviços corporativos (CSPs)
- É responsável pela total garantia do serviço
- Deve fornecer CPE, ou software para funcionar no CPE possuído pelo consumidor, para suportar o serviço oferecido.

- Fornece ao consumidor um ponto de contato para todo e qualquer problema relacionado ao suprimento do seu serviço
- Autentica o acesso, fornecendo e gerenciando o endereço de IP para o assinante.

**O provedor de serviços aplicativos (ASP):**

- Fornece serviços aplicativos de acordo com a utilização do assinante(jogos, vídeo, demanda de conteúdo, telefonia IP, etc)
- É responsável pela garantia do serviço aplicativo
- É responsável por prover aos assinantes, softwares ou CPE exigidos para serviços específicos.
- Fornece ao usuário um ponto de contato para todo e qualquer problema do assinante relacionado aos fornecimentos de aplicativos para serviços específicos e qualquer problema relacionado ao software do assinante
- Não fornece ou gerencia endereços de IP para o assinante

**O provedor de enlace:**

- Fornece um enlace metálico desde o equipamento da rede de acesso a instalação do assinante
- É responsável pela integridade e reparo do enlace metálico
- Deve fornecer também, o provedor de acesso agregado para rede ADSL implantada remotamente, equipamento adquirido, operado e mantido pelo provedor de enlace.

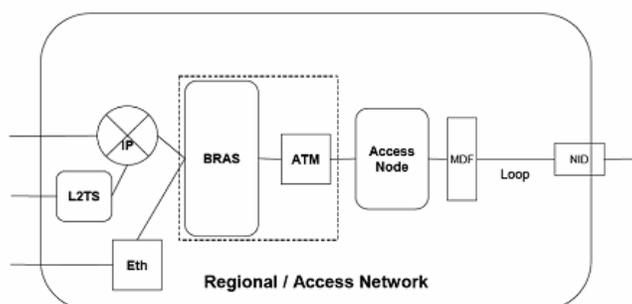
**O provedor da rede de acesso:**

- Fornece conectividade digital ao consumidor via enlace metálico
- É responsável pela performance e reparo do transmissor de acesso

**O provedor de rede regional:**

- Fornece conectividade apropriada entre a rede de acesso e as redes NSPs e ASPs
- É responsável pela performance e reparo da rede regional
- Deve realizar a agregação de serviços para NSPs ou ASPs e/ou deve fornecer qualquer que seja a conectividade dentro do RBN em favor de NSP/ASP.

Como resultado, outros dispositivos precisam ser adicionados a rede regional para fornecerem melhor agregação do tráfego de assinantes. Existem várias opções para se fazer isto, a maioria delas envolve a habilitação do IP de rede regional como mostrado na figura 4. Assinantes que usam IP nativo, que é m protocolo de roteamento, podem ser agregados no nível de IP em uma LAN virtual (VLAN) ou rede virtual privada (VPN) por intermédio de seus provedores de serviços associados. Estes assinantes que usam variações de protocolo “ponto a ponto” (PPP), tais quais PPPOA (PPP OVER ATM) e PPPOE (PPP OVER ETHERNET).



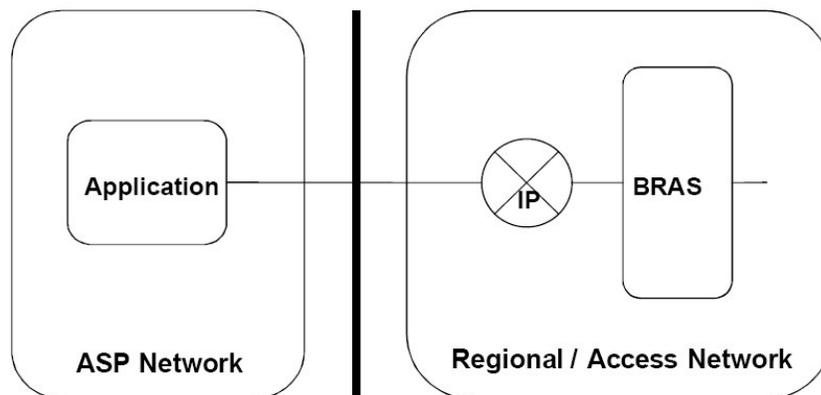
**Figura A.3:** IP aplicado na rede de acesso ([12]).

As arquiteturas acima mostram as aplicações IP sendo transportadas pela rede de acesso xDSL, podendo ter agregação ATM ,Ethernet .A entrega do serviço é garantida com aplicação de QoS sobre a rede IP. Os canais podem ser agregados em ambas as camadas IP ou PPP. Se a agregação é realizada em camada PPP, essas sessões PPP serão necessárias para serem transmitidas sobre um protocolo de roteamento como um protocolo de sintonia em camada 2 (L2TP). Quando o novo elemento de agregação do assinante esta funcionando desse modo, ele é referido como um concentrador de acesso L2TP ou LAC. A outra opção para assinantes com serviço baseado em PPP é determinar também a sessão PPP e os endereços de assinatura dos usuários.

Este tráfego pode então ser coletado em uma VLAN ou VPN como tráfego de IP nativo. Quando se realiza terminação PPP e agregação (PTA), o pacote é tipicamente chamado de servidor de acesso remoto em banda larga ou BRAS. Como mais e mais agregações DSL são realizadas na camada IP ao invés da camada ATM, opções adicionais de transporte devem ser acrescentadas. Além do ATM, ETHERNET e pacotes sobre SONET, são também opções para transporte de IP. Existem varias soluções para ETHERNET metropolitana disponível em velocidades de 10MBps (ETHERNET), 100Mbps (FAST ETHERNET) ou 1Gbps(GIGABIT ETHERNET).

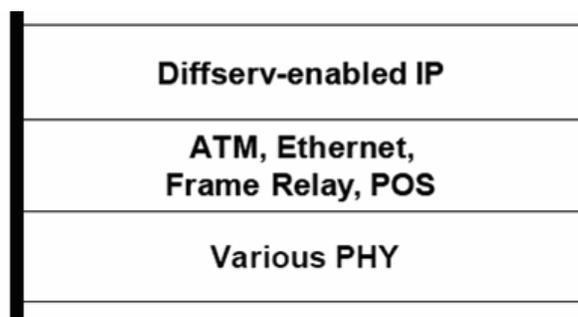
Estes novos elementos de rede também precisam ser capazes de funcionar como um dispositivo de agregação ATM em primeira camada, onde o nó de acesso está conectado diretamente. Como tal, estes dispositivos também precisam manejar o nível de agregação do ATM e comutação, e precisam funcionar como um adjunto para a rede ATM existente. Desde que eles estejam a par do IP, eles podem servir como um Label Edge Router (LER) (roteador de rota delimitada) que é exigido se o núcleo da rede for informado como comutação multi-protocolo (MLS). Isto pode ser mostrado pela figura 4 colidindo as comutações BRAS e ATM em um único dispositivo multi-protocolo.

A estrutura abaixo mostra a implementação do mecanismo de QoS diffserv, aplicada a rede do provedor de acesso, sendo um dos mecanismos recomendados. A figura A.4 mostra as aplicações sendo transportadas via IP, sendo o BRAS o elemento que trabalha no nível de cada rede.



**Figura A.4:** Interface rede de acesso e ASP ([12]).

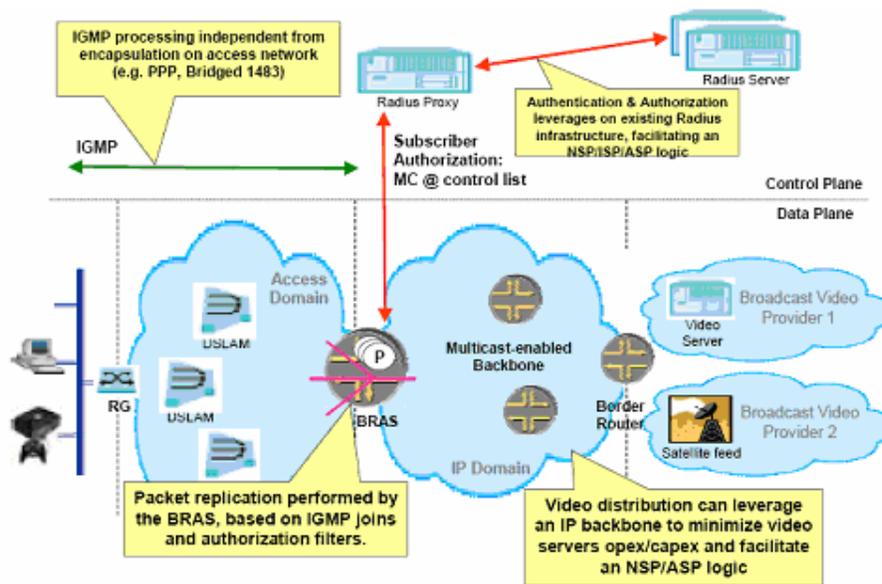
A TR-59 define que o mecanismo indicado para implementação de QoS, em nível 3, é o diffserv. A figura A.5 mostra as camadas implantadas no modelo OSI, pela TR-59, do nível físico ao nível de rede.



**Figura A.5:** Mecanismos de QoS ([12]).

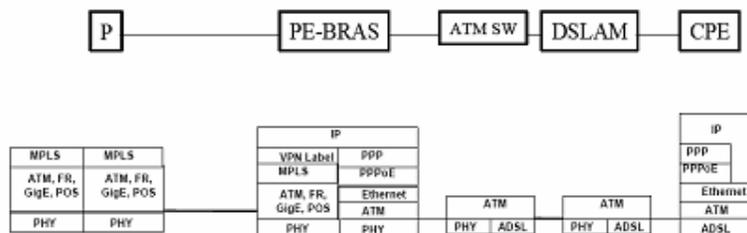
**2) Recomendação TR-092:**

Mostra uma evolução da TR-59 do DSL, mostrando as exigências da arquitetura, dos serviços com QoS sobre IP, com uma arquitetura para evoluir a distribuição e a interconexão do DSL. Esboça uma metodologia comum para aplicações QoS permitidas, entregue aos usuários xDSL de um ou mais fornecedor de serviço. Esboços técnicos deste relatório, mostra como uma rede do aggregation ATM pode ser migrada a uma rede baseada. Este original fornece um modelo de arquitetura/topologia de uma rede. Descreve exigências para a tradução e interconectividade do protocolo, o QoS, o multicast, a segurança, e o OAM para uma rede xDSL. Observa-se que essa recomendação mostra também como deve ser o modelo de multicast aplicado ao IP, sobre as redes xDSL devem ser modelados. A figura A.6 mostra uma visão do modelo:



**Figura A.6:** Modelo Multicast ([11]).

Mostra também o mapeamento dos diversos protocolos, na agregação ATM, conforme figura A.7:



**Figura A.7:** MPLS baseado em VPN ([11])

### 3) Recomendação TR-101 e TR-102:

Na TR-101, faz um esboço da qualidade de serviço, utilizando como rede de agregação o ATM, mostrando ainda a possibilidade de migração para ethernet ou GigaEthernet, estabelecidos pela evolução do serviço xDSL, adequados na TR-059. A TR-102, apresenta um relatório técnico que especifica um jogo de interações da relação entre fornecedores de serviço a fim facilitar a variabilidade de serviços na rede xDSL, garantindo uma QoS adequada.

A figura A.8 mostra a interoperabilidade ethernet/ATM pela TR-101:

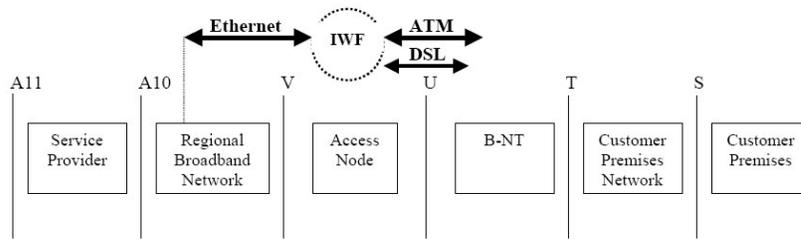


Figure 5 - ATM to Ethernet inter-working function

Figura A.8: Interoperabilidade ATM/Ethernet ([13,14]).

A figura A.9 mostra a migração para tecnologia Ethernet:

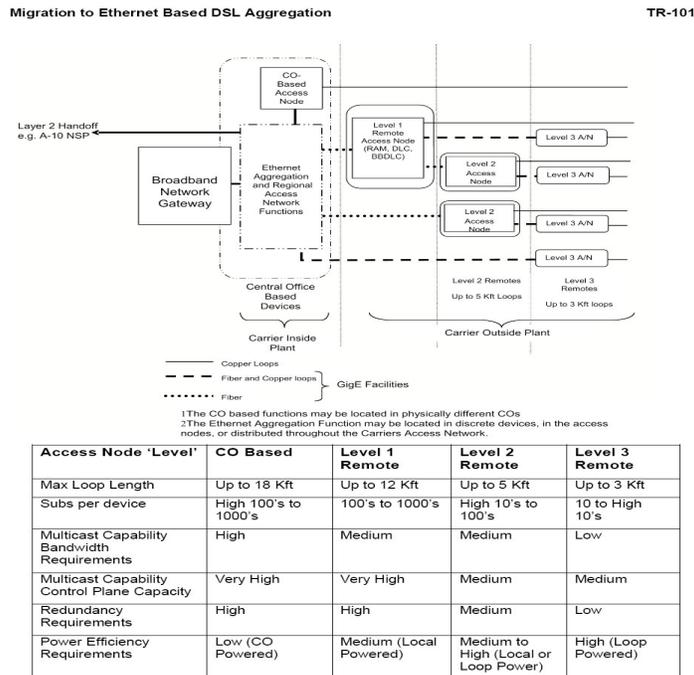


Figura A.9: Migração Ethernet ([13,14]).

Esta especificação é limitada a serviços baseados em AAL5 quando o ATM está presente na interface U (figura A.8), apesar das exigências descritas neste documento acrescentarem certas capacidades de rede para o nó de acesso, esta especificação não pretende importar para o nó de acesso qualquer capacidade de rede, que não seja diretamente derivada da necessidade de interação das entre redes ATM e ETHERNET, fornecendo compatibilidade com os cenários atuais de distribuição ou suporte multi-transmissão. Por exemplo, esta especificação não exige funcionalidades BRAS tais quais LAC ou PTA a serem importadas para o nó de acesso. O intuito geral é que o nó de acesso comporte-se como um comutador de ETHERNET fornecendo também funcionalidade melhorada ao protocolo de interação, suporte a multi-transmissão e customização para o suporte de redes de acesso (e.g ARP e processamento IGMP, identificação de usuário e isolamento).

### **Recomendação WT-126**

Essa recomendação apresenta a qualidade mínima recomendada de exigências da experiência (QoE) e discute algumas alternativas da arquitetura para aplicações e serviços entregados através de uma infra-estrutura de banda larga em ADSL. As exigências de QoE definem o desempenho total nos serviços/aplicações ao nível do perspectiva do usuário final e estabelecendo valores alvo de QoE, para que o serviço possa ser aceitável pelo usuário. Apresenta também as alternativas da arquitetura e do mecanismo que podem ser usados para manter uma QoE aceitável, definindo alguns mas os guidelines de QoE. As aplicações iniciais apresentadas são vídeo sob demanda, voz, outras aplicações tais como o game, a vídeo conferencia podem ser incluídos se os recursos permitirem.

O escopo preliminar dessa recomendação é a definição das exigências de usuário (qualidade da experiência - QoE) na sustentação de serviços avançados em uma arquitetura banda larga. Estes serviços novos podem ser oferecidos aos usuários residências, utilizando a tecnologia XDSL.

A qualidade de exigências da experiência é definida em função da perspectiva final, sendo observada na ponto final, com arquitetura de distribuição baseadas em ATM ou IP. Adicionalmente os fatores que influenciam nas decisões alternativas da arquitetura, e os modelos do tráfego são apresentados com os ponteiros a trabalho relacionado em ir em outros grupos de funcionamento definir arquiteturas e guidelines da execução. A qualidade de exigências da experiência e de redes do fornecedor de serviço deve ser considerada em um sistema fim-a-fim completo. Todos os serviços da aplicação e elementos da rede que podem contribuir à experiência do consumidor em usar um serviço devem ser explicados incluindo:

- Redes nacionais e regionais
- Rede de acesso
- Rede da premissa do cliente
- Terminal da aplicação (exemplo STB e TV)

Tais elementos mostrados acima, são definidos pelas recomendações: TR-059, TR-092, TR-101, TR-102. Atualmente, as tecnologias banda larga (ADSL2+ e VDSL ligados) parecem ser os meios os mais econômicos para distribuição do serviço, aja visto que a rede metálica tem boa capilaridade. A WT-126 define um conjunto de parâmetros mínimos, para garantia de entrega de um serviço de qualidade, conforme tabela abaixo:

Video Stream Bit rate (Mbps)	Latency	Jitter	Loss Period	Loss Distance	Corresponding Average IP Packet Loss Rate
1.75	<200 ms	<50 ms	1 IP packet	1 error event per 30 minutes	3.3E-06
2.0	<200 ms	<50 ms	1 IP packet	1 error event per 30 minutes	2.9E-06
2.5	<200 ms	<50 ms	1 IP packet	1 error event per 30 minutes	2.3E-06
3.0	<200 ms	<50 ms	1 IP packet	1 error event per 30 minutes	1.9E-06

**Figura A.10:** Tabela com valores para atender um QoE aceitável ([15]).

A recomendação ainda prevê os parâmetros mínimos para o Standard definition (SD), o utilizado hoje na rede da operadora em estudo. Assim são definidos pela WT-126 os valores mínimos:

- Fonte de vídeo: NTSC (North America) e PAL/SECAM (Europe/AsiaPac). O sistema Brasileiro e o PAL, logo o utilizado no IPTV da operadora em análise.
- Resolução Horizontal x vertical: PAL=720 pixels x 520 linhas , NTSC=720 pixels x 480 linhas.
- Taxa de frame: PAL=25 fps (frames por segundo), NTSC=29,97 fps (frames por segundo).
- Com 25 fps temos um GOP (Group Of Pictures)=15

## ANEXO A: FORMULÁRIO DE PESQUISA MOS-V

### Formulário Pesquisa MOS-V

Nome:

Data:

Avaliação da Qualidade de Vídeo

Nota: MOS-V	Qualidade do MOS	Grau deficiência da Imagem
5	Excelente	Imperceptível
4	Boa	Perceptível mas não incômodo
3	Apropriado	Pouco Incômodo
2	Pobre	Incômodo
1	Ruim	Muito Incômodo

Baseado nos valores da tabela acima, dê sua opinião sobre a qualidade de três vídeos mostrados:

#### Vídeo 1

Nota: [1]            [2]            [3]            [4]            [5]

#### Vídeo 2

Nota: [1]            [2]            [3]            [4]            [5]

#### Vídeo 3

Nota: [1]            [2]            [3]            [4]            [5]

Comentário:

---